

تأثیر بسترهای کشت مختلف و نانوکود پتاسیم بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک

همیشه‌بهار زیر تنش خشکی^۱

Effect of Different Substrates and Nano Potassium Fertilizer on Morpho-Physiological Characteristics of Pot Marigold (*Calendula officinalis* L.) under Drought Stress

مهسا بهرام پور، مریم دهستانی اردکانی^{*}، مصطفی شیرمردی و جلال غلام نژاد^۲

چکیده

هدف از این پژوهش کاربرد برخی ماده‌های آلی در خاک برای افزایش تحمل گیاه همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) به تنش خشکی بود. این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح به طور کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. تیمارها شامل ۱۰۰٪ حجمی گلدان خاک زراعی (شاهد)، ۱ و ۲ گرم نانوکود پتاسیم به ازای یک کیلوگرم خاک، ۳۰٪ حجمی گلدان کوکوپیت + ۷۰٪ خاک زراعی، ۳۰٪ حجمی گلدان پالم‌پیت + ۷۰٪ خاک زراعی و ۳۰٪ حجمی گلدان بقایای گیاه روناس + ۷۰٪ خاک زراعی در سه سطح خشکی (۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه) بود. بر اساس نتیجه‌های به دست آمده با افزایش سطح تنش خشکی شاخص‌های رشدی گیاه به طور معنی‌داری کاهش یافت. بیشترین ارتفاع گیاه (۱۴/۳ سانتی‌متر)، تعداد برگ (۷۰/۳ عدد)، وزن تر و خشک اندام هوایی (به ترتیب ۷۹/۲ و ۱۱/۱ گرم) و ریشه (به ترتیب ۳۴/۰۶ و ۹/۳ گرم) در گیاهانی که در تنش خشکی ۶۰٪ ظرفیت مزرعه با بقایای گیاه روناس تیمار شده بودند، حاصل شد. در زمان اعمال تنش شدید (۴۰٪ ظرفیت مزرعه) گیاهان تیمار شده با پالم‌پیت کمترین ارتفاع (۷ سانتی‌متر)، تعداد برگ (۱۱/۶ عدد) و قطر سایه‌سار (۱۰/۱ سانتی‌متر) را تولید کردند. به طور کلی، بقایای گیاه روناس در مقایسه با دیگر تیمارها، به خوبی توانست تحمل گیاه را به تنش خشکی افزایش دهد. با توجه به هزینه کم، قدرت بالای نگهداری رطوبت و تخلخل بالا، بقایای روناس می‌تواند به عنوان بستر کشت مطلوب در مناطق خشک برای کاهش مصرف آب مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: بقایای گیاهی، پالم‌پیت، روناس، کوکوپیت، نانوکود پتاسیم.

مقدمه

خشکسالی مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد گیاه و تولید محصول در سراسر نقاط جهان است (۱۱). کشور ایران با میانگین بارندگی ۲۴۰ میلی‌متر (یک‌سوم میانگین جهانی)، جز مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب می‌شود. زمانی که از دست دادن آب به صورت تعرق بر مقدار آب جذب‌شده از خاک پیشی گیرد، تنش آبی رخ می‌دهد. تنش طولانی مدت بر تمام فرایندهای سوخت‌وسازی گیاه اثر گذاشته و در نتیجه بیشتر موجب کاهش تولید گیاه می‌شود. مقدار کاهش عملکرد متأثر از نژادگان، شدت کمبود آب و مرحله نمو گیاه است (۳). تنش خشکی از جمله تنش‌های محیطی است که افزون بر رشد رویشی و تغییر در ساختارهای بیرونی گیاه با ایجاد تنش ثانویه مانند تنش اکسیداتیو سبب تغییر در مسیرهای ساخت ترکیب‌ها و متابولیت‌های ثانویه می‌شود (۱۵). طی عملیات فتوسنتز در شرایط کم‌آبی، نشت بالای الکترون با سمیت O_2 اتفاق افتاده و گونه‌های فعال اکسیژن^۳ مانند سوپراکسید و پراکسید هیدروژن تولید می‌شوند. هم‌چنین در شرایط خشکی به دلیل محدود شدن تثبیت CO_2 و

۱- تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۱/۱

۲- تاریخ دریافت: ۹۶/۶/۱

۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.

* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: (mdehestani@ardakan.ac.ir).

Reactive Oxygen Species -۳

افزایش فعالیت اکسیژنازی، تنفس نوری افزایش می‌یابد که این امر افزایش تولید پراکسید هیدروژن را به همراه خواهد داشت (۲۶). بررسی‌ها نشان داده است که اثر تنش آبی بر رشد و عملکرد گیاهان در طی فصل رشد متفاوت است. در اثر کمبود آب در گیاه مرزنجوش (*Origanum majorana* L.)، مقدار اسانس و چربی بیشتر شد و به دلیل کاهش تقسیم یاخته‌ای، طول برگ‌ها نیز کاهش یافت (۶). همچنین در گیاه بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.)، بیشترین مقدار قند، اسانس و کلروفیل به ترتیب در شرایط آبیاری مطلوب، تنش شدید و تنش ملایم حاصل شد (۶). در پژوهشی تنش خشکی سبب کاهش شدید ارتفاع بوته و تعداد گل گیاه همیشه‌بهار شد (۳۲). دوام فتوسنتز و حفظ سبزینه برگ در شرایط تنش از جمله شاخص‌های فیزیولوژیکی تحمل تنش است. تنش خشکی باعث تولید اکسیژن فعال همراه با کاهش و تجزیه کلروفیل می‌شود. در تنش، کلروفیل در کلروپلاست تجزیه و ساختارهای تیلاکوئید ناپدید می‌شوند (۲). نتیجه‌های پژوهش‌ها نشان داده است که خشکی ملایم بر مقدار سبزینه دو گیاه سردسیری *Poa pratensis* و *Festuca* اثری نداشت ولی خشکی شدید مقدار کلروفیل را در هر دو گیاه کاهش داد (۱۶). به‌طور کلی، زنده ماندن گیاه در شرایط تنش، مستلزم توانایی ایستادگی آن در برابر شرایط اسمزی شدید حاصل از خشکی می‌باشد. تنظیم اسمزی به‌عنوان جزئی مهم از سازوکار تحمل به تنش خشکی در گیاهان در نظر گرفته می‌شود (۲۸).

گیاه همیشه‌بهار با نام علمی (*Calendula officinalis* L.)، گیاهی بوته‌ای از تیره میناسانان است که تحمل خوبی به خشکی داشته و دماهای پایین را نیز به‌خوبی تحمل می‌کند. همیشه‌بهار یک گیاه دارویی و زینتی بوده و یکی از هدف‌های کشت آن، تولید دارو و ماده‌های مؤثره موجود در گل‌ها و به‌ویژه در گلبرگ‌ها می‌باشد (۲۵). از ماده‌های مؤثره موجود در این گیاه می‌توان به فلاونوئیدها، گلوکوزیدها و کاروتنوئیدها و همچنین اسانس‌های ترپنی اشاره کرد. گل‌های نارنجی و زرد رنگ این گیاه افزون بر مصرف خوراکی، طعم‌دهنده و رنگ‌دهنده غذاهای مختلف، دارای ماده‌های مؤثره و ترکیب‌هایی است که در صنعت، تهیه رنگ‌های نقاشی و در داروسازی برای تهیه انواع کرم‌ها و لوسیون‌ها کاربرد دارد (۱۹).

افزون بر شناسایی گیاهان متحمل به خشکی، باید به دنبال راهکارهایی برای بهبود شرایط گیاهان کشت شده زیر تنش خشکی بود. یکی از این راهکارها توجه به تغذیه گیاهان زیر تنش خشکی می‌باشد. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که تغذیه مناسب گیاهان باعث بهبود تحمل آن‌ها به تنش خشکی می‌شود (۲۳). به بیان دیگر با توجه به مقدار فراهمی آب برای گیاه، افزودن عنصرهای غذایی به خاک می‌تواند منجر به افزایش، کاهش و عدم تأثیر بر تحمل گیاهان به خشکی شود (۳۳). پتاسیم در رشد و توسعه یاخته‌های گیاهی، آماس یاخته، باز و بسته شدن روزنه‌ها و حفظ آب در گیاه نقش داشته و از آن‌جا که پتاسیم به‌عنوان عنصر تنش خشکی شناخته شده است، استفاده از نانوکود پتاسیم می‌تواند گیاه را در شرایط تنش یاری کند (۲۸).

در ایران نه تنها بیشتر خاک‌ها از نظر ماده‌های آلی فقیر می‌باشند (کمتر از یک درصد) بلکه به جهت بالا بودن دما، ثابت نگه‌داشتن و حفظ مقدار ماده آلی خاک بسیار دشوار است (۳). بنابراین، استفاده از بسترهای کشت آلی نیز می‌تواند در شرایط تنش مفید واقع شود. ماده‌های آلی افزون بر تأثیر مثبت بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک، به دلیل آن‌که عنصرهای موجود در آن‌ها به آهستگی آزاد و در اختیار گیاه قرار می‌گیرد، آلودگی کمتری در محیط ایجاد می‌کنند (۳۰). تاکنون دامنه وسیعی از ماده‌ها از جمله دورریزهای چوبی خاک اره، پوست درختان پهن‌برگ و سوزنی‌برگ، خاک‌برگ، لجن فاضلاب و کوکوپیت به‌عنوان بستر کشت مورد استفاده قرار گرفته و استفاده از کوکوپیت نیز به‌عنوان یک جایگزین برای پیت ماس در کشورهای اروپایی در حال گسترش است (۵). کوکوپیت با داشتن منافذ زیاد، می‌تواند حجم زیادی از آب و ماده‌های مغذی محلول را جذب کند و نیاز به آبیاری‌های پی‌درپی و در فاصله‌های کوتاه را کاهش دهد. الیاف سلولزی درخت خرما نیز شباهت زیادی به الیاف کوکوپیت دارند. در ایران هر ساله مقدار زیادی بقایای گیاهی تولید و به‌دلیل بدون استفاده بودن سوزانده می‌شوند که می‌توان با اندکی تغییر از آن‌ها به‌عنوان جایگزینی برای کوکوپیت استفاده نمود (۵). افزون بر این موارد، اندام هوایی گیاه روناس نیز می‌تواند به‌عنوان یک اصلاح‌کننده آلی برای افزایش محتوای ماده‌های آلی و افزایش نگهداشت آب در خاک مورد استفاده قرار گیرد.

از آن‌جا که شهرستان اردکان در استان یزد یکی از مناطق اصلی تولید روناس (*Rubia tinctorum*) در کشور است و سالیانه مقدار زیادی از بقایای این گیاه ارزشمند دور ریخته می‌شود و از سوی دیگر خشکسالی و کمبود آب موجب شده تا کشاورزی در

منطقه رونقی نداشته باشد، در این پژوهش اثر این ماده گیاهی با کوکوپیت و پالم پیت در افزایش تحمل گیاه همیشه بهار به تنش خشکی مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر بسترهای مختلف کشت بر برخی ویژگی‌های ریخت‌شناسی و فیزیولوژی گیاه همیشه بهار (*C. officinalis* L.) در شرایط خشکی، آزمایشی در گلخانه دانشگاه اردکان، واقع در استان یزد، طی سال‌های ۹۶-۹۵ انجام شد. اردکان با طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۴۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی، ۶۲ میلی‌متر میانگین بارش سالانه و ۱۹ درجه سلسیوس میانگین دمای سالانه جز شهرهای گرم و خشک می‌باشد. شدت نور گلخانه در ساعت ۱۲ ظهر در محدوده ۱۵ تا ۱۸ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه بود. میانگین دمای شبانه گلخانه 18 ± 2 درجه سلسیوس و میانگین دمای روزانه 24 ± 2 درجه سلسیوس حفظ شد. رطوبت گلخانه با استفاده از آبیاری کف گلخانه و باز کردن دریچه‌های جانبی و سقف گلخانه تا حد امکان تنظیم شد و میزان رطوبت بین ۵۰ تا ۷۰٪ در نوسان بود. این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح به طور کامل تصادفی با دو فاکتور و سه تکرار اجرا شد. فاکتور اول دارای شش سطح شامل شش ماده اصلاحی شاهد (فقط خاک)، یک و دو گرم نانو کود پتاسیم به ازای یک کیلوگرم خاک، ۳۰ درصد حجمی گلدان کوکوپیت، ۳۰ درصد حجمی گلدان پالم پیت و ۳۰ درصد حجمی بقایای روناس) و فاکتور دوم دارای سه سطح شامل سه سطح خشکی (۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه^۱ بودند. بافت خاک به روش هیدرومتری، EC و pH در عصاره اشباع، فسفر، پتاسیم قابل جذب به روش استات آمونیوم و نیتروژن کل به روش کج‌لدال (۱۳) اندازه‌گیری شد. نتیجه‌های واکاوی فیزیکوشیمیایی خاک در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی بسترهای کشت مورد مطالعه.

Table 1. Physicochemical properties of studied culture media.

سلیت (%)	رس Clay (%)	شن Sand (%)	K (mg kg ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	N (%)	pH	EC (dS m ⁻¹)	کربن الی OC (%)	بافت Texture	بسترهای کشت Culture media
27	19	54	105	28.94	0.06 4	7	3.2	0.477	لومی-شنی Sandy loam	Soil خاک
-	-	-	9834	508	0.7	8.1	3.1	-	-	کوکوپیت Cocopeat
-	-	-	0.35%	0.1%	2.33	7.4	2.51	-	-	پالم پیت Palmpeat
-	-	-	1140	0.18%	1.68	7.15	1.2 (1:5)	52.1	-	بقایای روناس Madder residue

کشت گیاه

پس از تهیه بذر گل همیشه بهار (رقم نارنجی پاکوتاه کم پر) از شرکت پاکان بذر اصفهان، بذرها در اواخر شهریورماه در سینی‌های تویی کشت‌شده و در اواخر آبان ماه در مرحله‌ی ۳ تا ۴ برگ، به گلدان اصلی انتقال داده شدند. گلدان‌های ۲/۵ کیلوگرمی با ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر با خاک الک شده پر شدند. الیاف خرمای مورد استفاده در این آزمایش از درختان نخل کشت شده در نخلستان‌های شهرستان بافق واقع در استان یزد تهیه شد. برای حذف آلودگی‌های سطحی، ابتدا برگ‌ها با آب گرم شستشو شدند و در مقابل نور آفتاب خشک گردیدند. سپس توسط دستگاه خردکن به قطعه‌های کوچک (۲ تا ۵ میلی‌متری) خرد شدند. کوکوپیت مورد نیاز از بلوک‌های فشرده‌شده این محصول از شرکت بستر کشت سبزینه فراهم

شد. قبل از به کارگیری این ماده مقداری آب به منظور باز و حجیم شدن به آن افزوده شد تا به طور کامل یکنواخت شود. بقایای روناس از مزارع شهرستان اردکان تهیه و پس از شستشو توسط دستگاه خردکن یونجه به قطعه‌های ۲ تا ۵ میلی‌متری خرد گردید. بقایای روناس، کوکوپیت و پالم پیت با نسبت حجمی ۳۰٪ (حجم گلدان) با ۷۰٪ خاک گلدان به طور کامل مخلوط شدند. گلدان‌ها با فاصله ۲۰ سانتی‌متر از هم قرار گرفتند. نانو کود پتاسیم (حاوی ۲۷٪ پتاسیم) از شرکت خضراء تهیه و به مقدار ۱ و ۲ گرم به ازای یک کیلوگرم خاک در ۲ نوبت (اوایل دوره رشد و قبل از گلدهی) استفاده شد. در طول دوره رشد، آبیاری گلدان‌ها به صورت وزنی و بر اساس تیمار خشکی در نقطه ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه انجام شد. تغذیه گیاهان به صورت یکسان با کود کامل ۲۰-۲۰-۲۰ (N-P-K) به نسبت یک در هزار در سه دوره (اوایل، اواسط و اواخر کشت) انجام گرفت.

ویژگی‌های مورد ارزیابی

ویژگی‌های مورد ارزیابی شامل برخی از ویژگی‌های رشدی (ارتفاع، تعداد گل، قطر گل، قطر سایه‌سار، تعداد برگ، وزن تر و خشک شاخساره)، شاخص سبزی‌گی برگ، غلظت عنصر پتاسیم و مقدار آنزیم کاتالاز بود. ارتفاع هر بوته در پایان فصل رشد، زمانی که به بیشینه رشد خود رسیدند، اندازه‌گیری شد. بوته‌ها در بهمن ماه به گل رفته و تا اواخر فروردین ماه گل‌ها برداشت شدند. همزمان با وارد شدن گیاه به مرحله زایشی، زمانی که گل‌ها به صورت کامل باز شدند، در چندین نوبت، طبقه‌ها از بوته‌ها برداشت و پس از خشک کردن، توزین شدند. برای اندازه‌گیری وزن تر اندام هوایی، کل بوته با حذف ریشه از ناحیه پاهنگ جدا و وزن شد و برای اندازه‌گیری وزن خشک گیاه به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار داده شد. شاخص سبزی‌گی برگ با استفاده از دستگاه کلروفیل سنج مدل (CCM-200) اندازه‌گیری شد. وزن تر و خشک ریشه نیز اندازه‌گیری شد. سطح برگ با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (مدل Winarea-UT-11، ساخت ایران) محاسبه شد. پس از خاکستر کردن ماده‌های گیاهی و تهیه عصاره گیاهی، غلظت عنصر پتاسیم با رقیق کردن عصاره اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری پتاسیم در گیاه به روش نشر شعله‌ای و با استفاده از دستگاه فیلم فتومتر (PFP7 Jenway، ساخت آلمان) تعیین شد (۱). فعالیت آنزیم کاتالاز نیز بر اساس روش ارائه شده توسط Gong و همکاران (۱۸)، ارزیابی شد.

واکاوی آماری داده‌ها

تجزیه واریانس همه داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS نسخه ۹ و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ صورت گرفت.

نتایج

ویژگی‌های رشدی

بر اساس نتیجه‌های به دست آمده با افزایش تنش خشکی ارتفاع بوته، تعداد برگ، قطر سایه‌سار گیاه و تعداد و قطر گل به طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۲). همچنین، تنش خشکی سبب به تاخیر افتادن گلدهی شد به طوری که گیاهان کشت شده زیر تنش خشکی ۴۰٪ ظرفیت مزرعه حدود یک ماه پس از سطح ۶۰ و ۸۰٪ ظرفیت مزرعه به گل رفتند. بیشترین ارتفاع بوته، تعداد برگ، قطر سایه‌سار گیاه و همچنین تعداد و قطر گل در تیمار بقایای روناس حاصل شد (جدول ۳). با بررسی برهمکنش تنش خشکی و تیمارهای کودی و نانوکود پتاسیم مشخص شد که بیشترین ارتفاع گیاه (۱۴ سانتی‌متر) و تعداد برگ (۷۰/۳ عدد) در تنش خشکی میانه (۶۰٪ ظرفیت مزرعه) که با بقایای روناس تیمار شده بودند، حاصل شده است (جدول ۴) و نیز در زمان اعمال تنش شدید (۴۰٪ ظرفیت مزرعه) گیاهان تیمار شده با پالم پیت کمترین ارتفاع گیاه (۷ سانتی‌متر)، تعداد برگ (۱۱/۶ عدد) و قطر سایه‌سار گیاه (۱۰/۱ سانتی‌متر) را تولید کردند (جدول ۴). همچنین بیشترین تعداد (۱۲/۳ عدد) و قطر گل (۶/۶ سانتی‌متر) و نیز قطر سایه‌سار (۱۹/۵ سانتی‌متر) در گیاهان دارای آبیاری مطلوب (۸۰٪ ظرفیت مزرعه) و تیمار شده با بقایای روناس حاصل شد (جدول ۴). نتیجه‌ها نشان داد که در گیاهان تیمار شده با پالم پیت در هر سه سطح تنش خشکی گلی تشکیل نشد (جدول ۴). در تنش خشکی ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه، گیاهان تیمار شده با دو گرم نانو کود بیشترین سطح برگ (۸۶/۴ سانتی‌متر مربع) را تولید کردند (جدول ۴). بر اساس نتیجه‌های به دست آمده مشخص شد که همه ویژگی‌های رویشی با یکدیگر و نیز با مقدار پتاسیم، وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی همبستگی معنی‌دار داشتند (جدول ۵).

جدول ۲- اثر سطح‌های مختلف تنش خشکی بر شاخص‌های رشد همیشه‌بهار.

Table 2. Effect of different levels of drought stress on growth characteristics of pot marigold.

سطح‌های خشکی Drought levels	قطر گل Flower diameter (cm)	تعداد گل Flower number	قطر سایه‌سار Canopy diameter (cm)	تعداد برگ Leaf number	ارتفاع Height (cm)	وزن تر شاخساره Fresh weight of shoot (g)	وزن خشک شاخساره Dry weight of shoot (g)	وزن خشک ریشه Dry weight of root (g)	وزن تر ریشه Fresh weight of root (g)
۸۰٪ ظرفیت مزرعه 80% FC	3.9 ^a	6.61 ^a	15.3 ^a	31.3 ^a	10.65 ^a	25.38 ^a	2.29 ^b	2.7 ^b	14.2 ^a
۶۰٪ ظرفیت مزرعه 60% FC	3.4 ^b	5.1 ^b	15.34 ^a	31.7 ^a	10.52 ^a	29.56 ^a	4.58 ^a	3.4 ^a	13.4 ^a
۴۰٪ ظرفیت مزرعه 40% FC	2.9 ^c	4.05 ^c	13.52 ^b	25.7 ^b	9.58 ^b	24.38 ^b	2.96 ^b	2.2 ^b	8.4 ^b

†Means in each column followed by the same letters are not significantly different at $P<0.05$ according to the Duncan's test.

†میانگین‌های دارای حرف‌های مشترک در هر ستون بیانگر نبود اختلاف معنی‌دار بر پایه آزمون دانکن ($P<0.05$) است.

جدول ۳- اثر تیمارهای مختلف بر شاخص‌های رشدی همیشه‌بهار.

Table 3. The effect of different treatments on growth characteristics of pot marigold.

تیمارها Treatments	ارتفاع بوته Height	تعداد گل Flower number	قطر گل Flower diameter (cm)	قطر سایه‌سار Crown diameter (cm)	شاخص سبزی Greenness index	سطح برگ Leaf area (cm ²)	تعداد برگ Leaf number	وزن تر ریشه Fresh weight of root (g)	وزن خشک ریشه Dry weight of root (g)	وزن تر شاخه Fresh weight of shoot (g)	وزن خشک شاخه Dry weight of shoot (g)	پتاسیم K (%)
شاهد Control	8.80 ^c	3.55 ^c	3.3 ^c	6.12 ^b	27.8 ^{b c}	68.3 ^{a b}	19.16 ^d	9.95 ^{c d}	1.5 ^c	14.8 ^{cd}	1.8 ^c	1.31 ^{cd}
نانوکود پتاسیم 1 g kg ⁻¹ Nano-potassium	11.11 ^b	5.7 ^b	3.9 ^b	6.16 ^a	32.9 ^b	68.1 ^{a b}	34.22 ^c	15.04 ^b	3 ^b	27.4 ^{c b}	4.6 ^b	2.21 ^c
نانوکود پتاسیم 2 g kg ⁻¹ Nano-potassium	11.86 ^b	9.8 ^a	3.4 ^b	5.17 ^a	40.9 ^a	75.09 ^a	45.11 ^b	12.1 ^{c b}	2.9 ^b	34.8 ^b	6.7 ^a	5.48 ^a
بقایای روناس Madder residue	12.66 ^a	10.2 ^a	4.5 ^a	8.17 ^a	33.6 ^b	57.2 ^b	52.44 ^a	22.7 ^a	5.4 ^a	48.6 ^a	7.08 ^a	3.56 ^b
کوکوپیت Cocopeat	8.41 ^c	2.2 ^d	4.3 ^a	7.11 ^b	23.8 ^c	54.3 ^b	13.27 ^e	6.6 ^{d e}	1.6 ^c	21.5 ^{b c d}	1.5 ^c	0.73 ^d
پالم‌پیت Palm peat	8.66 ^c	0 ^e	0 ^d	1.12 ^b	23.6 ^c	57.2 ^b	13.55 ^e	5.7 ^e	2.1 ^{c b}	11.3 ^d	1.7 ^c	1.42 ^{cd}

†Means in each column followed by the same letters are not significantly different at $P<0.05$ according to the Duncan's test.

†میانگین‌های دارای حرف‌های مشترک در هر ستون بیانگر نبود اختلاف معنی‌دار بر پایه آزمون دانکن ($P<0.05$) است.

جدول ۴- برهمکنش تیمارهای مختلف و تنش خشکی بر شاخص‌های رشد همیشه‌بهار.

Table 4. The interaction effects of different treatments and drought stress on growth characteristics of pot marigold.

سطح‌های خشکی Drought levels	تیمارها treatments	پتاسیم Potassium (%)	شاخص سبزی‌نگی Greenness index	وزن خشک ریشه Dry weight of (g) root	وزن تر ریشه Fresh weight (g) of root	وزن تر شاخساره Fresh weight (g) of shoot	وزن خشک شاخساره Dry weight of (g) shoot	قطر سایه‌سار Crown diameter (cm)	قطر گل Flower diameter (cm)	تعداد گل Flower number	سطح برگ Leaf area (cm ²)	تعداد برگ Leaf number	ارتفاع Height (cm)
۸۰٪ ظرفیت مزرعه 80% FC	شاهد Control	1.56 ^{g fed}	25.2 ^{de}	1.4 ^c	11.9 ^{cdef}	15.1 ^f	1.9 ^f	12 ^{def}	4.2 ^{cdef}	4.6 ^{gf}	62.2 ^{abc}	16.1 ^{gf}	8.08 ^{gh}
	نانوکود پتاسیم 1 g kg ⁻¹ Nano-potassium	2.9 ^{efg}	27.6 ^{cde}	3.2 ^{bc}	16.9 ^c	28 ^{cde}	4.9 ^{cde}	17 ^{abc}	4.4 ^{bcde}	8 ^{de}	74.3 ^{ab}	36.3 ^{cd}	11.1 ^{cd}
	نانوکود پتاسیم 2 g kg ⁻¹ Nano-potassium	3.8 ^{bcd}	31.4 ^{bcd}	3.5 ^{bc}	17.6 ^c	43.1 ^b	11.5 ^b	18 ^{abc}	4.7 ^{bc}	11.6 ^{ab}	73.8 ^{ab}	52 ^b	12.9 ^b
	بقایای روناس Madder residue	5.5 ^{ab}	30.02 ^{cd}	4.7 ^b	26.9 ^b	40.2 ^{bcd}	6.1 ^{cd}	19.5 ^{Δa}	6.6 ^a	12.3 ^a	52.7 ^{bc}	54 ^b	12.8 ^b
	کوکوپیت Cocopeat	1.05 ^{efg}	25.3 ^{de}	1.4 ^c	6.8 ^{def}	11.9 ^e	1.8 ^f	12.4 ^{def}	3.7 ^{gfed}	3 ^{gh}	60.2 ^{abc}	14.3 ^{gf}	8.9 ^{fg}
	پالم‌پیت Palm peat	1.5 ^{defg}	30.1 ^{cd}	2 ^c	5.2 ^f	13.9 ^{ed}	2.2 ^f	13.3 ^{de}	0 ⁱ	0 ⁱ	42.5 ^c	15.5 ^{gf}	10 ^{def}
	شاهد Control	1.15 ^{efg}	26.8 ^{de}	1.3 ^c	9.03 ^{def}	16.4 ^{bcde}	1.7 ^f	12.6 ^{def}	3.5 ^{gfe}	3.6 ^{gh}	77.8 ^{ab}	18 ^{gf}	8.3 ^{gf}
۶۰٪ ظرفیت مزرعه 60% FC	نانوکود پتاسیم 1 g kg ⁻¹ Nano-potassium	1.8 ^{defg}	32.8 ^{bcd}	3.06 ^{bc}	14.7 ^{cd}	28.7 ^{bcde}	4.5 ^{ed}	16.5 ^{abc}	4 ^{gfecd}	5.6 ^{ef}	68.8 ^{abc}	31.6 ^{de}	11.3 ^{c_d}
	نانوکود پتاسیم 2 g kg ⁻¹ Nano-potassium	5.2 ^{bc}	46.3 ^a	2.9 ^{bc}	11.06 ^{cdef}	31.4 ^{bcde}	6.7 ^c	19 ^{ab}	4.1 ^{cdef}	10.6 ^{abc}	86.4 ^a	45 ^{bc}	11.5 ^c
	بقایای روناس Madder residue	3.2 ^{cde}	42.8 ^{ab}	9.3 ^a	34.06 ^a	79.2 ^a	11.1 ^a	18.5 ^{abc}	5.1 ^b	9 ^{cd}	58.2 ^{abc}	70.3 ^a	14.3 ^a
	کوکوپیت Cocopeat	0.67 ^{ef}	23.6 ^{de}	2.1 ^c	6.2 ^{ef}	10.5 ^e	1.7 ^f	12.5 ^{def}	3.5 ^{gfe}	2 ^{hi}	58.9 ^{abc}	12 ^g	8.1 ^{gh}
	پالم‌پیت Palm peat	1.14 ^{efg}	18.2 ^e	2.03 ^c	5.3 ^{ef}	11 ^e	1.6 ^f	12.9 ^{def}	0 ⁱ	0 ⁱ	60.3 ^{abc}	13.5 ^{gf}	9 ^{fg}
	شاهد Control	1.21 ^{efg}	31.5 ^{cd}	1.8 ^c	8.9 ^{def}	12.9 ^{ed}	1.8 ^f	13.3 ^{de}	2.2 ^h	2.3 ^{hig}	65.1 ^{abc}	23.3 ^{ef}	9.5 ^{efg}
۴۰٪ ظرفیت مزرعه	شاهد Control	1.21 ^{efg}	31.5 ^{cd}	1.8 ^c	8.9 ^{def}	12.9 ^{ed}	1.8 ^f	13.3 ^{de}	2.2 ^h	2.3 ^{hig}	65.1 ^{abc}	23.3 ^{ef}	9.5 ^{efg}

40% FC	1 g kg ⁻¹ نانو کود پتاسیم Nano-potassium	1.8 ^{defg}	38.2 ^{abc}	2.9 ^{bc}	13.4 ^{cde}	25.5 ^{bcde}	4.4 ^{ed}	16.3 ^{bc}	3.4 ^{fg}	3.6 ^{fgh}	61.2 ^{abc}	34.6 ^{cd}	10.8 ^{cde}
	2 g kg ⁻¹ نانو کود پتاسیم Nano-potassium	7.3 ^a	42.9 ^{ab}	2.4 ^c	7.6 ^{def}	30.03 ^{bcde}	5 ^{cde}	15.5 ^{cd}	4.1 ^{cdef}	7.3 ^{ed}	64.9 ^{abc}	38 ^{cd}	11.1 ^{cd}
	بقایای روناس Madder residue	1.9 ^{defg}	27.8 ^{cde}	2.3 ^c	7.3 ^{def}	26.3 ^{bcde}	4 ^e	15.5 ^{cd}	4.5 ^{bcd}	9.3 ^{cdb}	60.6 ^{abc}	33 ^{ed}	10.8 ^{cde}
	کوکوپیت Cocopeat	0.47 ^g	22.5 ^{de}	۱.3 ^c	6.8 ^{def}	42.1 ^{bc}	1.1 ^f	10.3 ^{ef}	3.1 ^g	1.6 ^{hi}	44.05 ^c	13.5 ^{gf}	8.1 ^{gh}
	پالم پیت Palm peat	1.54 ^{defg}	22.4 ^{de}	2.5 ^c	6.5 ^{ef}	9.2 ^e	1.4 ^f	10.1 ^f	0 ⁱ	0 ⁱ	69 ^{abc}	11.6 ^g	7 ^h

†Means in each column followed by the same letters are not significantly different at $P<0.05$ according to the Duncan's test.

†میانگین‌های دارای حرف‌های مشترک در هر ستون بیانگر نبود اختلاف معنی‌دار بر پایه آزمون دانکن ($P<0.05$) است.

جدول ۵- همبستگی بین ویژگی‌های رشدی گیاه همیشه‌بهار زیر تاثیر بسترهای مختلف کشت و تنش خشکی.

Table 5. Simple correlation between growth characteristics of pot marigold under the impact of different culture media and drought stress.

ویژگی‌ها Parameters	پتاسیم K	کاتالاز Catalase	وزن خشک شاخساره Dry weight of shoot	وزن تر شاخساره Fresh weight of shoot	وزن تر ریشه Fresh weight of root	وزن خشک ریشه Dry weight of root	شاخص سبزیگی Greenness index	سطح برگ Leaf area	تعداد برگ Leaf number	قطر گل Flower diameter	قطر سایه‌سار Crown diameter	تعداد گل Flower number
کاتالاز Catalase	-0.198 ^{ns}											
وزن خشک شاخساره Dry weight of shoot	0.572**	-0.140 ^{ns}										
وزن تر شاخساره Fresh weight of shoot	0.260 ^{ns}	-0.182 ^{ns}	0.646**									
وزن تر ریشه Fresh weight of root	0.274*	-0.162 ^{ns}	0.73**	0.62**								
وزن خشک ریشه Dry weight of root	0.28*	-0.12 ^{ns}	0.73**	0.62**	0.84**							
شاخص سبزیگی Greenness index	0.54**	-0.23 ^{ns}	0.62**	0.38**	0.37**	0.39**						
سطح برگ Leaf area	0.05 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.14 ^{ns}	-0.05 ^{ns}	0.04 ^{ns}	-0.01 ^{ns}	0.12 ^{ns}					
تعداد برگ Leaf number	0.57**	-0.18 ^{ns}	0.93**	0.7**	0.76**	0.74**	0.61**	0.13 ^{ns}				

قطر گل Flower diameter	0.39**	0.06 ^{ns}	0.56**	0.49**	0.61**	0.37**	0.34*	0.14 ^{ns}	0.65**			
قطر سایه‌سار Crown diameter	0.52**	-0.15 ^{ns}	0.76**	0.54**	0.6**	0.51**	0.52**	0.25 ^{ns}	0.83**	0.59**		
تعداد گل Flower number	0.67**	-0.03 ^{ns}	0.76**	0.48**	0.55**	0.44**	0.5**	0.24 ^{ns}	0.79**	0.78**	0.73**	
ارتفاع Height	0.56**	-0.12 ^{ns}	0.84**	0.60**	0.65**	0.62**	0.57**	0.05 ^{ns}	0.86**	0.57**	0.86**	0.75**

+Significant levels at $P \leq 0.01$ are represented by ** using Pearsons correlation coefficient.

+ سطح‌های معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ با استفاده از ضریب‌های همبستگی پیرسون با ** نشان داده شده است.

وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه

بر اساس نتیجه‌های به‌دست آمده سطح‌های مختلف تنش خشکی تفاوت معنی‌داری در وزن تر اندام هوایی ایجاد نکرد (جدول ۲)، اما با افزایش سطح خشکی وزن خشک اندام هوایی و ریشه نیز کاهش یافت (جدول ۲). بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه در تیمار بقایای رونس حاصل شد (جدول ۳). همچنین بررسی برهمکنش تنش خشکی و تیمار نشان داد که بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه در تنش خشکی ۶۰٪ ظرفیت مزرعه و بقایای رونس تولید شده است (جدول ۴). این نتیجه‌ها با نتیجه‌های به‌دست آمده در مورد ارتفاع و تعداد برگ گیاه مطابقت داشت. بررسی ضریب همبستگی ویژگی‌ها نیز نشان داد که وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی به‌طور معنی‌داری با یکدیگر و دیگر ویژگی‌های رویشی مرتبط بود (جدول ۵).

شاخص سبزی‌نگی

سطح‌های مختلف تنش خشکی اثر معنی‌داری بر میزان شاخص سبزی‌نگی گیاه نداشتند. بیشترین مقدار شاخص سبزی‌نگی در گیاهان تیمار شده با ۲ گرم نانو کود پتاسیم در گلدان به‌دست آمد (جدول ۳). بیشترین مقدار شاخص سبزی‌نگی (۴۶/۳) در زمان تنش خشکی متوسط (۶۰٪ ظرفیت مزرعه) و در گیاهان تیمار شده با ۲ گرم نانو کود در گلدان به‌دست آمد (جدول ۴). در حالی که کمترین مقدار شاخص سبزی‌نگی (۱۸/۲) در زمان تیمار گلدان‌ها با پالم پیت و سطح تنش ۶۰٪ ظرفیت مزرعه حاصل شد (جدول ۴). همچنین شاخص سبزی‌نگی همبستگی معنی‌دار با دیگر ویژگی‌ها به غیر از فعالیت آنزیم کاتالاز و سطح برگ نشان داد (جدول ۵).

آنزیم کاتالاز

بر اساس نتیجه‌های به‌دست آمده سطح‌های خشکی، اثر بسترهای کشت و نیز برهمکنش آن‌ها بر مقدار آنزیم کاتالاز معنی‌دار نشد. همچنین آنزیم کاتالاز همبستگی مثبت با دیگر ویژگی‌های مورد ارزیابی نشان نداد (جدول ۵).

پتاسیم

بر اساس نتیجه‌های حاصل شده، اختلاف معنی‌داری بین سطح‌های مختلف خشکی و مقدار پتاسیم گیاه یافت نشد. بیشترین مقدار پتاسیم (۷/۳٪) هنگام اعمال تنش خشکی شدید (۴۰٪ ظرفیت مزرعه) در گیاهان تیمار شده با نانو کود پتاسیم (۲ گرم بر کیلوگرم) به‌دست آمد (جدول ۴). کمترین مقدار پتاسیم (۰/۶۷٪) نیز در نمونه‌های ۶۰٪ ظرفیت زراعی و تیمار شده با کوکوپیت به‌دست آمد. همچنین پتاسیم برگ همبستگی معنی‌داری با دیگر ویژگی‌های مورد اندازه‌گیری به غیر از کاتالاز، سطح برگ و وزن تر اندام هوایی نشان داد (جدول ۵).

بحث

بر اساس نتیجه‌های به‌دست آمده از این پژوهش با افزایش سطح تنش خشکی میزان رشد رویشی گیاه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. این نتیجه‌ها با نتیجه‌های لباسچی و شریفی عاشورآبادی (۸) روی گیاه همیشه بهار در شرایط تنش خشکی مطابقت داشت. جعفرزاده و همکاران (۳) نیز کاهش ارتفاع گیاه همیشه بهار را در شرایط تنش خشکی گزارش کردند. در پژوهشی، Shubhra و همکاران (۳۳)، در بررسی‌های خود روی همیشه بهار دریافتند که ارتفاع بوته و تعداد گل گیاه در شرایط خشکی به شدت کاهش پیدا کرد. این نتیجه‌ها روی بادرشو نیز به‌دست آمد (۶). بر اساس نتیجه‌های به‌دست آمده مشخص شد که همه ویژگی‌های رویشی با یکدیگر و نیز با مقدار پتاسیم، وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی همبستگی معنی‌دار داشتند. در واقع با کمبود آب و تنش خشکی، فشار آماس در یاخته کاهش یافته، کاهش نمو یاخته و در نتیجه اندازه یاخته رخ می‌دهد که این شرایط در نهایت منجر به کاهش رشد در تمام گیاه می‌شود (۷). بنابراین ارتفاع، سطح برگ، قطر سایه‌سار و وزن گیاه نیز کاهش می‌یابد.

تنش خشکی به دلیل کاهش آب در خاک و فعال نمودن فرایندهای مختلف در گیاه که با مصرف انرژی همراه می‌باشد، روی ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه تأثیر می‌گذارد. تنش آبی با کاهش مقدار آب و فشار تورژانس، کاهش پتانسیل کل آب، پژمردگی، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش اندازه یاخته و ارتفاع گیاه همراه است. مقدار و کیفیت رشد گیاه وابسته به تقسیم، بزرگ شدن و تمایز یابی یاخته و افزایش پیری برگ‌ها است که زیر تأثیر تنش آبی قرار می‌گیرد (۲۲). هر چه شدت تنش خشکی بیشتر باشد رشد اندام هوایی کاهش می‌یابد که این کاهش می‌تواند مربوط به افزایش آبسازیک اسید در اندام هوایی باشد. کاهش تعداد

برگ به دلیل افزایش انباشت اتیلن و پیری زودرس گیاه در زمان بروز تنش خشکی، به عنوان راهکاری در کاهش تعرق و فرار از تنش می باشد. کمبود آب می تواند تعداد برگ در بوته، اندازه هر برگ و طول عمر برگ را به دلیل کاهش پتانسیل آب خاک کاهش دهد (۱۴). در پژوهشی، Singh و Khurana (۲۱)، نشان دادند که کاهش سطح و تعداد برگ در اثر افزایش تنش خشکی سبب کاهش اتلاف آب و تعرق و به دنبال آن افزایش تحمل گیاهان در برابر خشکی می شود. ریزش و کاهش تعداد برگ در شرایط تنش خشکی یک سازش مورفولوژیکی و عاملی برای انتشار مجدد ماده های غذایی در گیاه است. مشخص شد با افزایش سطح خشکی مقدار سایه سار گیاه به طور معنی داری کاهش می یابد. کاهش آبیاری و در نتیجه کند شدن سرعت رشد منجر به کاهش گسترش پوشش گیاه می شود. یکی از نقش های اصلی آب تولید آماس در یاخته است که در بزرگ شدن روزنه ها، افزایش فتوسنتز، رشد گیاه و کار دیگر اندام های تخصص یافته گیاه نقش مهمی را ایفا می کند. در واقع یکی از اولین واکنش ها به تنش آبی، کاهش رشد است و با طولانی شدن دوره خشکی، رشد شاخه و سایه سار اغلب گیاهان کاهش پیدا می کند (۳۵). کاهش آب مصرفی در گیاه همیشه بهار منجر به کاهش اندازه و تاج پوش گیاه گردید (۲۹) که این موضوع با نتیجه های به دست آمده در مورد ارتفاع و تعداد برگ گیاه نیز همخوانی داشت. در شرایط خشکی می توان با استفاده از بقایای آلی مختلف و نانوکود پتاسیم، اثر مخرب تنش روی گیاه را کاهش داد. نتیجه های به دست آمده با نورانی و همکاران (۹) که بیان کردند کمپوست ضایعات نخل می تواند بستر مناسبی برای پرورش دیفن باخیا باشد، مطابقت نداشت. به نظر می رسد به دلیل این که پالم پیت مورد استفاده در این پژوهش به طور کامل تجزیه نشده و در زمان آزمایش تغییر نسبت C/N رخ داده است، موجب آلی شدن نیتروژن معدنی خاک شده باشد. هم چنین به نظر می رسد که کاهش رشد در تیمارهای پالم پیت و کوکوپیت به دلیل عدم تهویه مناسب بستر کشت و شوری احتمالی پالم پیت باشد (۹).

در پژوهش حاضر با افزایش شدت خشکی از تعداد و عمر گل کاسته شد. هم چنین در سطح های بالای تنش تاخیر در گلدهی مشاهده شد که این می تواند نشان دهنده عدم توانایی گیاه برای تحمل این سطح از تنش باشد. از آنجایی که در گیاهان زینتی گلدار اندام اصلی مورد توجه گل می باشد، ضروری است که دوره گلدهی این گیاهان طولانی شود. در گیاهانی که با تنش خشکی روبرو هستند برای ذخیره سازی کربوهیدرات مورد حیات، میزان گلدهی کاهش پیدا می کند (۱۲). این نتیجه ها با نتیجه های جعفرزاده و همکاران (۳)، روی گیاهان همیشه بهار پرورش یافته در شرایط تنش خشکی مطابقت داشت. کاربرد بقایای روناس بر عملکرد گل موثر بود و بیشترین عملکرد گل را به دنبال داشت. به طور کلی هر چند با کاهش میزان آب مصرفی و به دنبال آن بروز تنش خشکی از عملکرد گل در گیاه همیشه بهار کاسته می شود، اما با به کارگیری بقایای روناس، به ویژه در سطوح بالای تنش، می توان تا حدی از بروز اثرهای سوء تنش خشکی بر عملکرد تولیدی این گیاه کاست.

به نظر می رسد که بقایای گیاهی روناس موجب افزایش خلل و فرج خاک شده و در نتیجه ظرفیت نگهداری آب در گلدان ها در زمان بروز تنش افزایش یافته است به طوری که ملاحظه می شود بهترین نتیجه در زمان بروز خشکی متوسط (۶۰٪ ظرفیت مزرعه) ایجاد شده است. ممکن است در زمان آبیاری نرمال (۸۰٪ ظرفیت مزرعه) خلل و فرج زیاد، موجب نگهداری آب بیش از حد شده باشد و تاثیر نامطلوب در گیاه گذاشته باشد اما با کاهش آبیاری به تدریج آب در اختیار گیاه قرار گرفته و اثرهای نامطلوب رفع گردیده است.

بر اساس نتیجه های به دست آمده با افزایش سطح خشکی وزن تر و خشک گیاه کاهش یافت. در واقع با کاهش سطح و تعداد برگ مقدار آب موجود در گیاه و وزن آن نیز کم شد. در تیمار ۸۰٪ ظرفیت مزرعه، با به کار بردن بقایای روناس، وزن خشک اندام هوایی به مقدار ۲/۲ برابر نسبت به شاهد افزایش یافت. در سطح ۶۰٪ ظرفیت مزرعه، کاربرد بقایای روناس باعث افزایش ۵/۵۳ برابری وزن خشک اندام هوایی نسبت به شاهد شد، این در حالی است که کاربرد یک و دو گرم نانو کود پتاسیم تنها توانست وزن خشک اندام هوایی را به ترتیب ۱/۶ و ۲/۹ برابر نسبت به شاهد افزایش دهد و دیگر تیمارها تفاوت معنی داری نسبت به شاهد نداشتند. افزون بر وزن خشک اندام هوایی، توجه به وزن خشک ریشه نیز اثر مثبت کاربرد بقایای روناس را به خوبی نشان می دهد. کاربرد بقایای روناس در سطح های ۸۰ و ۶۰٪ ظرفیت مزرعه، باعث شد که وزن خشک ریشه نسبت به شاهد به ترتیب ۲/۴ و ۶/۲ برابر افزایش یابد در حالی که دیگر تیمارهای اصلاحی نتوانستند باعث ایجاد تغییر معنی داری در وزن خشک ریشه نسبت به شاهد شوند. این نتیجه ها نشان می دهد که اثر بخشی بقایای روناس در ارتباط با وزن خشک اندام هوایی و ریشه

با افزایش تنش خشکی (از ۸۰٪ به ۶۰٪ ظرفیت مزرعه) بیشتر شده است که این امر می‌تواند به دلیل افزایش تخلخل خاک و همچنین افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک باشد.

نتیجه‌های به دست آمده با نتیجه‌های لباسچی و شریفی عاشور آبادی (۸) روی وزن تر اسفرزه، بومادران، مریم گلی، همیشه بهار و بابونه در شرایط تنش خشکی مطابقت نداشت. گیاه در هنگام تنش، سطح برگ خود را کاهش داده و سبب کاهش وزن خشک برگ در واحد سطح می‌شود. این رفتار سبب کاهش تولید ماده‌های فتوسنتزی می‌گردد و در نهایت وزن خشک ساقه به دلیل کاهش تعداد ساقه فرعی کاسته می‌شود. با کمبود ماده‌های فتوسنتزی، انتقال آن‌ها به سمت اندام زایشی نیز کاهش می‌یابد که در نهایت موجب کاهش عملکرد رویشی و زایشی گیاه می‌شود. در شرایط تنش، کاهش وزن خشک می‌تواند به دلیل فشار آماس یاخته ناشی از کاهش سطح برگ گیاه و همچنین کاهش نرخ فتوسنتزی به دلیل محدودیت‌های زیست‌شیمیایی ناشی از کمبود آب مانند کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی به ویژه کلروفیل‌ها باشد (۲۴). با افزایش تنش خشکی در گیاه مرزه نیز وزن خشک گیاه کاهش یافت (۱۰). کم شدن وزن خشک گیاه ممکن است با کاهشی قابل ملاحظه در رشد، فتوسنتز، پیری برگ‌ها و ساختار شاخساره گیاه در ارتباط باشد. بقایای روناس به سبب افزایش نگهداری رطوبت گیاه، موجب بهبود کیفیت و افزایش عملکرد گیاه همیشه‌بهار شدند. از این رو، استفاده از ماده‌های آلی در کشاورزی باعث کاهش مصرف کودهای شیمیایی می‌شود.

نتیجه‌های حاصل نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی مقدار کلروفیل برگ به طور معنی‌داری کاهش یافت. نتیجه‌های آزمایش Abdalla و El-Khoshiban (۱۰) روی گندم نشان داد که در زمان تنش خشکی ساختار پلاستیدها از جمله پروتئین غشای تیلاکوئیدها تخریب شده که در نتیجه موجب انحلال فتوسیتیم دو که فتون‌ها را به دام می‌اندازد، شده، در نتیجه کارایی آن کاهش یافته، ظرفیت انتقال الکترون، تولید ATP و NADPH و در نهایت فرایند تثبیت دی‌اکسید کربن کاهش می‌یابد. محتوای نسبی کلروفیل یک رابطه مثبت با نرخ فتوسنتز دارد. دشتی و همکاران (۴) گزارش کردند که تنش‌های ملایم تا میانگین در گیاه نوروژک (*Salvia leriifolia* Benth) باعث تخریب ساختار کلروفیل نشد، اما در سطوح شدید تنش (۹۲/۱ مگاپاسکال) محتوای کلروفیل برگ به طور معنی‌داری کاهش یافت. کاهش محتوای کلروفیل برگ زیر تنش خشکی یک نشانه معمول از تنش اکسیداتیو بوده و ممکن است در نتیجه اکسیداسیون نوری رنگدانه و تخریب کلروفیل باشد (۴). محیط کشت‌های دارای ماده‌های آلی به خاطر عمل ریزاندامواره‌ها می‌پوسند. در فرایند پوسیدگی، نیتروژن توسط ریزاندامواره‌ها جذب می‌شود. اگر مقدار زیادی ماده‌های آلی در کوتاه مدت از هم پاشیده شوند، محیط کشت از نیتروژن تهی می‌شود و برای استفاده گیاه در دسترس نیست. پوسیده شدن منجر به از هم پاشیدن سریع ذره‌های ماده‌های آلی در پالم پیت شده و ذرات درشت که سریع نمی‌پوسند، باقی می‌مانند. این پوسیدن سریع موجب تغییر ساختار محیط کشت می‌گردد (۱۳).

در ارتباط با فعالیت آنزیم کاتالاز پژوهش‌های متعددی وجود دارد که حاکی از رفتارهای مختلف این آنزیم در برابر تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی می‌باشد. برخی بر این باورند که فعالیت آنزیم کاتالاز در تنش خشکی کاهش و برخی دیگر باور به افزایش آن دارند. اما نتیجه پژوهش‌های Shehab و همکاران (۳۲) روی گیاه برنج (*Oryza sativa*) حاکی از افزایش فعالیت این آنزیم در شرایط خشکی می‌باشد. در زمان فتوسنتز زیر شرایط کم آبی، نشت بالای الکترون با سمیت اکسیژن اتفاق افتاده و گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن مانند سوپراکسید و پراکسید هیدروژن تولید می‌شوند. همچنین در شرایط خشکی به دلیل محدود شدن تثبیت دی‌اکسید کربن و افزایش فعالیت اکسیژنازی، تنفس نوری افزایش می‌یابد که این امر افزایش تولید پراکسید هیدروژن را به همراه خواهد داشت (۲۶). آنزیم اصلی حذف پراکسید هیدروژن، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز می‌باشد که هر کدام تمایل‌های متفاوتی به این نوع گونه واکنش‌گر اکسیژن دارند (۲۶). عدم معنی‌داری مقدار فعالیت آنزیم ممکن است ناشی از کاهش ظرفیت برگ‌ها برای تجزیه گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن در زمان بروز تنش باشد.

نتیجه‌های این پژوهش نشان داد که مقدار پتاسیم در برگ گیاه زیر تنش خشکی قرار نگرفت. تغییر سرعت جذب ماده‌های معدنی و گردش آن‌ها در پیکره گیاه سبب تغییر pH شیره خام شده که انباشت ماده‌های معدنی از جمله پتاسیم را به دنبال دارد (۷). اثر مثبت پتاسیم روی تحمل تنش خشکی می‌تواند ناشی از افزایش رشد ریشه در نتیجه جذب بیشتر عناصر و آب توسط گیاه و همچنین ناشی از کاهش تعرق آب باشد. افزون بر این، نگهداری پتاسیم، پتانسیل اسمزی و آماس یاخته‌ها و تنظیم‌های روزنه‌های در حال کار در شرایط تنش خشکی را سبب شود. پژوهش Kuchenbuch و همکاران (۲۲) نشان داد که

کاهش محتوای آب خاک، سبب کاهش جذب پتاسیم توسط ریشه‌های پیاز شد. دلیل این موضوع را کاهش جذب پتاسیم توسط ریشه اعلام نمودند. به احتمال علت کاهش پتاسیم در شرایط تنش خشکی، کاهش میزان حلالیت پتاسیم و در پی آن کاهش جذب آن توسط ریشه‌های گیاه است. از سوی دیگر کلونیدهای خاک با قدرت بیشتری پتاسیم را جذب می‌کنند و مانع جذب آن توسط ریشه می‌شوند (۷). در واقع به نظر می‌رسد که بقایای گیاهی به علت دارا بودن عنصر پتاسیم در بافت خود، در نهایت منجر به افزایش سطح این عنصر غذایی در گیاه شده باشند.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتیجه‌های به دست آمده می‌توان چنین نتیجه گرفت که گیاه در هنگام تنش خشکی با ایجاد تغییرها در برخی از ویژگی‌های فیزیولوژیکی خود از جمله کاهش ارتفاع بوته، عملکرد گل، تعداد برگ و وزن تر و خشک اندام هوایی به تنش پاسخ داد. در میان تیمارهای مورد استفاده، بقایای روناس افزون بر افزایش شاخص‌های رشد سبب افزایش تعداد و دوره گلدهی گیاه همیشه بهار شد. بستر کشت حاوی بقایای گیاه روناس به دلیل در دسترس بودن، هزینه بسیار کمتر و نیز به خاطر وزن کم و کاهش هزینه حمل و نقل و صادرات گیاهان گلدانی با انجام تیمارهایی در راستای نگهداری رطوبت، می‌تواند به عنوان جایگزین مناسب بسترهای خارجی مانند پیت‌ماس معرفی گردد. همین‌طور با توجه به کمبود آب در استان یزد به ویژه در شهرستان اردکان که منجر به کاهش رونق کشاورزی گشته، این بستر کشت با اتکا به پتانسیل‌های منطقه، بستری مناسب برای افزایش تحمل گیاهان به تنش خشکی در منطقه برای بهبود وضع کشاورزی می‌باشد.

References

منابع

۱. امامی، ع. ۱۳۷۵. روش‌های تجزیه گیاه. جلد اول، انتشارات سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، وزارت کشاورزی، ۱۲۸ ص.
۲. ترحمی، گ.، م. لاهوتی و ف. عباسی. ۱۳۸۹. بررسی اثرات ناشی از تنش خشکی بر روی تغییرات قندهای محلول، میزان (*Salvia leriifolia* Benth) کلروفیل و پتاسیم در گیاه نوروک. علوم زیستی دانشگاه آزاد اسلامی زنجان. ۷-۱: ۳(۲).
۳. جعفر زاده، ل.، ح. امیدی و ع. بستانی. ۱۳۹۲. تاثیر تنش خشکی و کود زیستی بر عملکرد گل، رنگ‌ریزه‌های فتوسنتزی و محتوی پرولین گیاه دارویی همیشه بهار (*Calendula officinalis*. L). فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. ۶۸۰-۶۶۶: ۳(۳). ۲۹.
۴. دشتی، م.، م. کافی، ح. توکلی و م. میرزا. ۱۳۹۴. مطالعه برخی شاخص‌های مورفو فیزیولوژیک گیاه دارویی نوروک در شرایط تنش کمبود آب. نشریه پژوهش‌های ایران زراعی. ۲۹۸-۳۰۷: ۲(۲). ۳.
۵. دعاگوی، ع و ا. غضنفری مقدم. ۱۳۹۳. استفاده از الیاف خرما به عنوان بستر کشت و بهینه سازی قابلیت جذب و نگهداشت رطوبت به روش پاسخ سطح. مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. ۱-۱۴: ۴(۴). ۵.
۶. صفی‌خانی، ف. ۱۳۸۶. تأثیر تنش خشکی بر عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویی بادرشبو تحت شرایط مزرعه. پایان نامه دکتری زراعت. دانشگاه رامین اهواز. ۲۴۱-۲۳۵.
۷. کافی، م.، ا. زند، ب. کامکار، ح. شریفی و م. گلدانی. ۱۳۸۰. فیزیولوژی گیاهی (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. چاپ دوم. ۳۷۹ ص.
۸. لباسچی، م و ا. شریفی عاشور آبادی. ۱۳۸۳. شاخص‌های رشد برخی گونه‌های گیاهان دارویی در شرایط مختلف تنش خشکی. فصلنامه پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۲۴۹-۲۶۱: ۲(۲). ۲۰.
۹. نورانی، س.، م. کافی و ع. محبوب خمایی. ۱۳۹۲. اثر کمپوست ضایعات نخل به عنوان جایگزین پیت بر پرورش گیاه زینتی دیفن باخیا (*Dieffenbachia amoena*). علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، ۹۸-۸۹: ۳(۴). ۴.
10. Abdalla, M.M. and N.H. El-Khoshiban. 2007. The influence of water stress on growth, relative water content, photosynthetic pigments, some metabolic and hormonal contents of two *Triticum aestivum* cultivars. J. Appl. Sci. Res. 3 (12):2062-2074.

11. Abedi, T. and H. Pakniyat. 2010. Antioxidant enzyme changes in response to drought stress in ten cultivars of oilseed rape (*Brassica napus* L.). Czech. J. Genet. Plant Breed. 46:27-34.
12. Auge, R.M., A.J.W. Stodola, J.L. Moore, W.E. Klingeman and X. Duan. 2003. Comparative dehydration tolerance of foliage of several ornamental crops. Sci. Hort. 98:511-516.
13. Bremner, J. M. 1996. Nitrogen total. PP. 1085-1122. In: Klute, A., et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part III, 3rd Ed., ASA, Madison, WI. 1085-1122.
14. Dole, J.M. and H.F. Wilkins. 2005. Floriculture: Principales and species. Published by Prentice Hall. 595 pp.
15. Farooq, M., A. Wahid, N. Kobayashi, D. Fujita and S.M.A. Basra. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agron. Sustainable Dev. 29:185-212.
16. Foyer, C.H., M. Leandais and K.J. Kunert, 1994. Photooxidative stress in plants. Physiol. Plant. 92: 696-717.
17. Fu, J and B. Haung. 2001. Involvement of antioxidants and lipid peroxidation in the adaptation two cool season grasses to localized drought stress. Environ. Exp. Bot. 45:105-114.
18. Gong, H., X. Zhu, K. Chen, and S. Wang. 2005. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pot under drought. Plant Sci. 169:313-321.
19. Jiang, Y. and N. Huang. 2001. Drought and heat stress injury to two cool-season turfgrasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. Crop Sci. 41:436-442.
20. Kalvatchev, Z., R. Walder and D. Garzaro. 1997. Anti-HIV activity of extracts from *Calendula officinalis* flowers. Biomed. Pharmacother. 51(4):176-180.
21. Khurana, E. and J.S. Singh. 2000. Influence of seed size on seedling growth of *Albizia procera* under different soil water levels. Ann. Bot. 86:1185-1190.
22. Kuchenbuch, R., N. Claasen and A. Jungk. 1986. Potassium availability in relation to soil moisture, calculations by II means of a mathematical simulation model. Plant Soil. 95:233-243.
23. Kusaka, M., A.G. Lalusin and T. Fujimura. 2005. The maintenance of growth and turgor in pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) Leeke) cultivars with different root structures and osmo regulation under drought stress. Plant Sci. 168:1-14.
24. Lal, P., B.R. Chhipa and A. Kumar. 1993. Salt affected soil and crop production: a modern synthesis. Agro Botanical Publishers, India, 375 pp.
25. Lawlor, D.W. and G. Cornic. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plant. Plant. Cell. Environ. 25:275-294.
26. Martin, R.J. and B. Deo. 1999. Effect of plant population on *Calendula* (*Calendula officinalis* L.) flower production. N. Z. J. Crop. Hort. Sci. 28: 37-44.
27. Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. Trends Plant Sci. 7:405-410.
28. Mohammadi Torkashvand, A. and T. Toofighi Alikhani. 2015. The impact of drought stress of the cultivation medium on the growth and postharvest life of *Lilium* and chlorophyll in different potassium concentrations of nutrient solution. J. Ornament. Plant. 5(2):123-130.
29. Omidi, H. 2010. Changes of proline content and activity of antioxidative enzymes in two canola genotypes under drought stress. Amer. J. Plant Physiol. 5 (6):338-349.
30. Rahmani, N., H. Aliabadi Farahani and S.A.R. Valadabadi. 2008. Effects of nitrogen on oil yield and its component of calendula (*Calendula officinalis* L.) in drought stress conditions. Abstracts Book of the world Congress on Medicinal and Aromatic Plants, South Africa p.364.
31. Roe, N.E., J. Stoffella and D. Greatz. 1997. Compost from various municipal solid wastes feed stocks affect vegetable crops. II. Growth, yield and fruit quality. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 122:433-437.

32. Shehab, G.G., O.K. Ahmed and H.S. El-Beltagi. 2010. Effects of various chemical agents for alleviation of drought stress in rice plants (*Oryza sativa* L.). Not. Bot. Hort. Agrobot. 38:139-148.
33. Shubhra, K., J. Dayal, G.L. Goswami and R. Munjal. 2004. Effects of water-deficit on oil of *Calendula* aerial parts. Biol. Plant. 48(3):445-448.
34. Sreevalli, Y., K. Baskaran, R. Chandrashekara, R. kuikkarni, S. SuShil Hasan, D. Samresh, J. Kukre, A. Ashok, K. Sharman Singh, S. Srikant and T. Rakesh 2001. Preliminary observations on the effect of irrigation frequency and genotypes on yield and alkaloid concentration in petriwinkle. J. Medic. Aroma. Plant Sci. 22:356-358.
35. Taiz, L. and E. Zeiger. 2010. Plant physiology (5th ed). Sinauer associates inc., publishers, Sunderland, Massuchusette USA. P 647.
36. Yin, C., Y. Peng, R. Zang, Y. Zhu and C. Li. 2005. Adaptive responses of *Populus kangdigensis* to drought stress. Physiol. Plant. 123:445-451.

Effect of Different Substrates and Nano Potassium Fertilizer on Morpho-Physiological Characteristics of Pot Marigold (*Calendula officinalis* L.) under Drought Stress

M. Bahrampour, M. Dehestani-Ardakani*, M. Shirmardi and J. Gholam-Nejad¹

Aim of this study was the application of some organic materials in soil to improve pot marigold plant (*Calendula officinalis* L.) tolerance to drought stress. Experiment was performed as factorial based on a completely randomized design with three replications. Treatments were consisted of 100% of pot volume soil (control), 1 and 2 g kg⁻¹ nano-potassium fertilizer, 30% of pot volume cocopeat (v/v) + 70% soil, 30% of pot volume palmpeat + 70% soil and 30% of pot volume madder plant residues + 70% soil in three levels of drought stress (40, 60, and 80% of field capacity). According to the results, with increasing the drought stress, growth parameters were significantly decreased. The highest plant height (14.3 cm), leaf number (70.3), fresh and dry weight of shoot (79.2 and 11.1 g respectively) and roots (34.06 and 9.3 g respectively) were obtained in interaction of madder plant residue and 60% field capacity drought stress treatment. In severe stress (40% field capacity), plants in medium with palm peat showed the lowest height (7 cm), leaf number (11.6) and crown diameter (10.1 cm). Generally, results showed that madder plant residues with compared to other treatments increased pot marigold resistance to drought stress. Regard to low cost, high moisture keeping and high porosity of madder plant residues, it could be as a suitable substance in arid land to reduce water consumption.

Keywords: Cocopeat, Madder, Nano-potassium, Palm peat, Plant residues.

1. M.Sc. Student, and Assistant Professors, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, P.O. Box 184, Ardakan, Iran, respectively.

* Corresponding author, Email: (mdehestani@ardakan.ac.ir).