تأثیر پلیمرهای سوپرجاذب بر خصوصیات مورفولوژیک گیاه رزماری (*Rosmarinus officinalis*) در شرایط تنش خشکی

علی ضیایی[۱]، محمد مقدم[۲*] و بهاره کاشفی[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۳/۱۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۴/۴)

چکیده

به منظور بررسی تأثیر پلیمرهای سوپرجاذب و تنش خشکی بر برخی خصوصیات مورفولوژیک گیاه رزماری، پژوهشی گلدانی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با چهار سطح تنش خشکی (آبیاری در حد ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی) و دو سطح سوپرجاذب (بدون سوپرجاذب و یک گرم در سوپر جاذب کیلوگرم خاک) در چهار تکرار، در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه انجام گرفت. صفات مورد ارزیابی شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، وزن تر و خشک اندام هوایی، ریشه و کل گیاه و همچنین وزن خشک برگ و ساقه بود. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که اثر متقابل این دو عامل بر تمام صفات مورد بررسی بجز ارتفاع بوته، وزن خشک برگ و نسبت وزن خشک برگ به ساقه معنی‌دار بود. بیشترین تعداد شاخه فرعی (۹/۵۵ شاخه در بوته)، وزن تر ریشه (۱۷/۷ گرم در بوته)، وزن خشک ریشه (۱۰ گرم در بوته) و وزن خشک کل گیاه (۳۳/۷۵ گرم) در تیمار ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی و همراه با کاربرد سوپرجاذب مشاهده شد. همچنین، بیشترین وزن خشک برگ (۱۲/۳ گرم در بوته) و ساقه (۱۳/۳ گرم در بوته)، وزن تر اندام هوایی (۵۸/۳ گرم در بوته) و وزن خشک اندام هوایی (۲۳/۸ گرم در بوته) و وزن تر کل (۷۱/۷ گرم در بوته) در تیمار ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی و بدون کاربرد سوپرجاذب حاصل شد. بر اساس نتایج این تحقیق، آبیاری گیاه رزماری در حد ظرفیت زراعی باعث بهبود اکثر صفات مورفولوژیک آن شد.

واژه‌های کلیدی: گیاهان دارویی، تنش خشکی، سوپرجاذب، خصوصیات مورفولوژیک

مقدمه

رُزمای یا اکلیل کوهی (*Rosmarinus officinalis* L.)، گیاهی پایا و معطر، به صورت بوته‌ای و دارای ساقه‌های چوبی به ارتفاع ۱-۰/۵ متر متعلق به خانواده نعناعیان (Lamiaceae/ Labiatae) می‌باشد (۱۰). در حال حاضر از این گیاه و اسانس آن در صنایع غذایی، دارویی، آرایشی و بهداشتی استفاده می‌شود (۴). در طب سنتی از آن برای درمان سردرد، روماتیسم، اختلالات گردش خون، بیماری‌های عروق محیطی، اختلالات مجاری ادراری، افزایش قدرت بینایی، ضعف و ناتوانی مزمن، اختلالات عصبی و ریزش مو استفاده می‌شود (۱۰). بیشترین مواد مؤثره در هنگام گل‌دهی و از برگ‌ها و سرشاخه‌های جوان آن استحصال می‌شود. مهمترین ترکیبات موجود در آن شامل اسانس، تانن (۶-۸ درصد)، مواد تلخ، فلاونوئید (آپی‌ژنین، دیوسمین و لوتئولین)، اسیدهای آلی (مانند اسید رزمارینیک و

۱. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ساوه

۲. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳. گروه کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دامغان

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: m.moghadam@ferdowsi.um.ac.ir

اسید نئوکلروژنیک)، ترکیب‌های ترپنی (مانند اپی- آلفا- آمارین و اسید اوروسلیک)، دی‌ترپن‌ها (مانند اسید کارنوسیک، رزماریسین و دی‌ترپن پیکروسالوین می‌باشند (۴، ۱۰ و ۲۳). رزماری گیاهی، خشکی‌دوست است، نیاز آبی کمی دارد و با توجه به شرایط اقلیمی محل رویش به ۳۰۰-۲۷۰ میلی‌متر آبیاری در طول سال نیاز دارد (۴، ۱۰ و ۲۳).

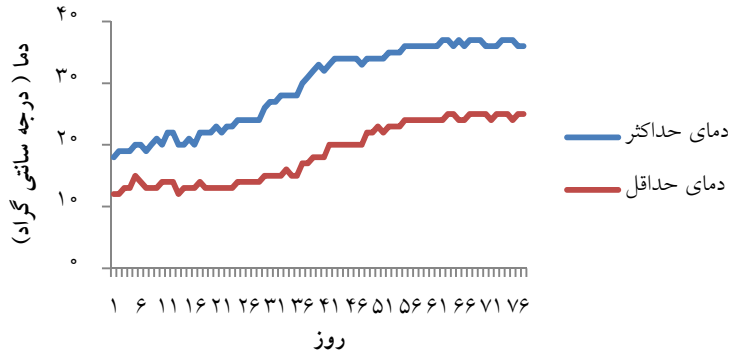
گیاهان برای رشد و عملکرد مطلوب دارای یک حداقل نیاز آبی‌اند که بایستی این نیاز آبی آنها تأمین شود. آنها در طی دوران رشد خود با تنش‌های متعدد محیطی مواجه می‌شوند که هر یک از این تنش‌ها می‌توانند با توجه به میزان حساسیت و مرحله رشد گیاه اثرهای متفاوتی بر رشد و عملکردشان داشته باشند. خشکی، یکی از مهمترین عوامل اقلیمی محدود کننده تولید محصولات کشاورزی است که بر پراکنش، رشد و نمو و مواد مؤثره گیاهان دارویی در سراسر جهان مؤثر است و می‌تواند باعث تغییرات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در گیاه گردد (۸). تغییرات مورفولوژیک در رشد می‌تواند به عنوان یک سازگاری مورفولوژیک گیاه به تنش‌های آبی و محیطی برای کاهش تعرق و مصرف کمتر آب در نظر گرفته شود (۲۸).

بخش وسیعی از ایران تحت تأثیر اقلیم خشک و نیمه‌خشک می‌باشد و در سال‌های اخیر خشکسالی منجر به افزایش مشکلات مربوطه شده است. یکی از روش‌های جدید در علوم آب و خاک برای مقابله با شرایط کم‌آبی و کاهش اثرهای سوء تنش خشکی، استفاده از مواد سوپرجاذب به منظور افزایش نگهداری و جذب آب در خاک می‌باشد (۲، ۱۶ و ۴۶). پلیمرهای سوپرجاذب با افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک (۱۶) باعث بهبود دانه‌بندی و ساختمان خاک، افزایش ثبات خاکدانه‌ها و کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک شده و شرایط بهتری را برای رشد و نمو گیاهان زراعی، خصوصاً در شرایط تنش خشکی، فراهم می‌کنند (۱۶). این اثرها عمدتاً به دلیل جذب مقادیر قابل ملاحظه آب در ساختمان سوپرجاذب و متعاقب آن قرار دادن این آب ذخیره شده به هنگام خشکی در اختیار ریشه گیاه می‌باشد (۳۹).

بررسی اثر تنش خشکی بر صفات مورفولوژیک گیاه حاکی از کم شدن رطوبت اندام هوایی می‌باشد. مطالعات نشان داده است که تنش ناشی از کمبود آب، گیاه را وادار به واکنش‌های مختلف مورفولوژیک مانند کاهش رشد قسمت‌های مختلف گیاه اعم از ریشه و اندام هوایی (۱۱) و نیز کاهش ارتفاع و وزن خشک (۸) می‌کند. کاهش خصوصیات رشدی گیاه تحت شرایط خشکی در نعناع و ریحان سبز گزارش شده است. حسنی و امیدبیگی (۸) اظهار داشتند که تنش آبی باعث کاهش معنی‌دار در ارتفاع بوته و افزایش نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی ریحان می‌شود. با کاهش مقدار آب خاک، ارتفاع بوته کاهش و در مقابل نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی افزایش می‌یابد. لباسچی و شریفی عاشورآبادی (۲۲) ضمن بررسی سطوح مختلف تنش خشکی در گیاهان دارویی اسفرزه، بومادران، مریم گلی، همیشه بهار و بابونه، گزارش کردند که با تشدید تنش خشکی، وزن اندام هوایی و ارتفاع بوته در همه گیاهان مورد مطالعه کاهش یافت.

السعید و همکاران (۳۱) در نتیجه کاربرد سوپرجاذب‌ها، بهبود ظرفیت نگهداری رطوبت خاک و افزایش آب قابل استفاده گیاه را گزارش کردند. اختر و همکاران (۲۵) نیز بیان کردند که افزایش ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد سوپرجاذب به خاک لومی و لوم شنی منجر به افزایش خطی رطوبت ظرفیت زراعی و افزایش آب قابل استفاده خواهد شد.

ایران در یکی از مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان قرار دارد و کمبود منابع آب و بروز خشکسالی‌های مکرر در نقاط مختلف کشور یکی از مشکلاتی است که تولید محصولات گیاهی هر ساله با آن مواجه است. استفاده از مواد جاذب رطوبت مانند سوپرجاذب‌ها که سبب مقاومت بیشتر گیاه به خشکی، رفع آسیب‌های ناشی از خشکسالی و کمبود رطوبت خاک می‌گردند، یکی از راه‌حل‌های مناسب می‌باشد که کمتر مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به اهمیت رزماری و مصرف گسترده آن در



شکل ۱. روند تغییرات دمای گلخانه در طول دوره آزمایش

صنایع مختلف، این تحقیق به منظور ارزیابی تأثیر پلیمر سوپرجاذب بر خصوصیات مورفولوژیک رزماری در شرایط تنش خشکی انجام شد تا نتایج حاصل بتواند برای بهبود تولید این گیاه در مناطق خشک و کم آب کشور مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر پلیمر سوپرجاذب بر خصوصیات مورفولوژیک گیاه رزماری در شرایط تنش خشکی، این تحقیق در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ در گلخانه مزرعه تحقیقاتی شهرک دانشگاهی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه اجرا شد. روند تغییرات دمایی گلخانه در طول آزمایش در شکل ۱ آورده شده است.

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی در چهار تکرار انجام شد. تیمارهای مورد آزمایش شامل چهار سطح تنش خشکی [T_1 (بدون تنش_ شاهد- آبیاری در حد ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی)، T_2 (۷۵٪ ظرفیت زراعی)، T_3 (۵۰٪ ظرفیت زراعی) و T_4 (۲۵٪ ظرفیت زراعی)] و دو سطح سوپر جاذب (S_0، بدون سوپر جاذب و S_1، یک گرم سوپرجاذب در کیلوگرم خاک) بودند. در این تحقیق، از هیدروژل مصنوعی به عنوان پلیمر سوپرجاذب استفاده شد که از شرکت دیم گستران سبز آتیه تهیه گردید. برخی از خصوصیات شیمیایی و فیزیکی این پلیمر در جدول ۱ نشان داده شده است. بوته‌های یک‌ساله و هم‌اندازه رزماری نیز از نهالستان گل پروران ایران سبز واقع در مشکین دشت شهریار تهیه شد. سوپرجاذب مورد نظر در تیمارهای حاوی این ماده به خاک گلدان افزوده و به خوبی با خاک مخلوط شدند. خاک مورد استفاده دارای بافت لوم شنی رسی بود. تعداد ۳۲ گلدان با قطر دهانه ۲۵ و ارتفاع ۳۵ سانتی‌متر و گنجایش ۱۲ کیلوگرم خاک انتخاب و داخل هر گلدان ۳ نشای سالم و یکنواخت کشت گردید. گلدان‌ها در داخل گلخانه در شرایط کنترل شده نگهداری شدند. گیاهان پس از کشت در ۲۵ فروردین ماه، طی دوره استقرار به مدت ۲۵ روز تحت شرایط بهینه و بدون اعمال تنش آبی رشد کردند. سپس به مدت ۵۲ روز تحت تنش قرار گرفتند. اندازه‌گیری و نمونه‌برداری در تیرماه صورت پذیرفت.

برای تعیین منحنی رطوبتی خاک از دستگاه صفحات فشاری استفاده شد. جهت تعیین نیاز آبی و اعمال تنش خشکی از روش وزنی استفاده شد. به این صورت که در طول دوره تنش، گلدان‌ها هر روز وزن می‌شدند و مقدار آب مورد نیاز به هر گلدان تا رسیدن به ظرفیت زراعی مورد نظر افزوده می‌شد. پس از اعمال تنش، نمونه‌برداری و اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک در مرحله گل‌دهی انجام گرفت. صفات اندازه‌گیری شده شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، وزن تر اندام‌هوایی، ریشه و کل گیاه، وزن خشک اندام هوایی، ریشه و کل بوته و همچنین وزن برگ و ساقه در اندام هوایی بودند.

تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS (ver.21) و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ به کمک نرم‌افزار MSTATC صورت گرفت.

جدول ۱. خصوصیات پلیمر سوپرجاذب

محتوای رطوبت (٪)	چگالی (g/cm^3)	pH	اندازه ذرات (μm)	حداکثر طول عمر (سال)	ظرفیت جذب آب (g/g)		
					آب مقطر	آب معمولی	محلول NaCl ۰٫۹٪
۳-۵	۱/۴-۱/۵	۶-۷	۵۰-۱۵۰	۷	۶۰۰	۵۵۰	۶۰

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر تنش خشکی و سوپرجاذب بر برخی خصوصیات مورفولوژیک و وزن تر رزماری

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		ارتفاع بوته	تعداد شاخه فرعی	وزن تر اندام هوایی	وزن‌تر ریشه	وزن تر ریشه/ اندام هوایی	وزن تر کل گیاه
تنش	۳	۰/۵۲^{ns}	۸/۸۲**	۱۱۷۹/۶۹**	۱۸/۶۸**	۰/۰۰۹**	۱۴۵۰/۷۶**
سوپرجاذب	۱	۰/۰۳۱^{ns}	۶/۲۵**	۵/۵۶^{ns}	۸۴/۴۳**	۰/۰۰۷**	۴۳۷/۳۴**
تنش × سوپرجاذب	۳	۱/۲۶^{ns}	۵/۸۸**	۵۱/۱۵**	۱۵/۳۳**	۰/۰۰۳**	۱۲۸/۵۸**
خطا	۲۴	۰/۹۷	۰/۲۳	۵/۵۵	۳/۸۲	۰	۳/۷۱

**و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۱٪ و بدون اختلاف معنی‌دار

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر تنش خشکی و سوپرجاذب بر وزن خشک رزماری

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه	وزن خشک برگ/ساقه	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	وزن خشک ریشه /اندام هوایی	وزن خشک کل
تنش	۳	۱۷/۷۴**	۲۳/۱۴**	۰/۰۲^{ns}	۶۱/۷۹**	۱۱/۴۲**	۰/۰۰۱^{ns}	۱۳۱/۲۷**
سوپرجاذب	۱	۱/۳۸^{ns}	۷/۳۲^{ns}	۰/۰۱۳^{ns}	۵/۰۲^{ns}	۴۸/۳۲**	۰/۰۱۹**	۷۰/۰۶**
تنش ×سوپرجاذب	۳	۰/۹۸^{ns}	۷/۷۳*	۰/۰۰۷^{ns}	۱۰/۳۷*	۹/۵۲**	۰/۰۰۳**	۴۰/۲۶**
خطا	۲۴	۲/۴۸	۲/۲۶	۰/۰۰۸	۳/۴۳	۱/۶۳	۰	۵/۷۵

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح ۱٪ و ۵٪ و بدون اختلاف معنی‌دار

نتایج و بحث

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر تیمار سوپرجاذب، تنش خشکی و اثر متقابل آنها بر تعداد شاخه فرعی، میزان وزن تر ریشه، نسبت وزن تر ریشه به اندام هوایی، وزن تر کل گیاه، وزن خشک ریشه و وزن خشک کل گیاه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد. سوپرجاذب بر میزان وزن تر اندام هوایی، وزن خشک ساقه و وزن خشک اندام هوایی اثر معنی‌داری نداشت. در صورتی که تنش خشکی و اثر متقابل آنها بر این صفات معنی‌دار شد. اثر تنش خشکی بر وزن خشک برگ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. ولی اثر سوپرجاذب و تأثیر متقابل این دو عامل بر این صفت معنی‌دار نشد. نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی تحت تأثیر تنش خشکی قرار نگرفت. ولی اثر سوپرجاذب و اثر متقابل این دو عامل بر این صفت معنی‌دار شد. علاوه بر این، هیچکدام از این عوامل بر ارتفاع بوته و نسبت وزن خشک برگ به ساقه اثر معنی‌داری نداشت (جداول ۲ و ۳). نتایج مقایسه میانگین اثرهای ساده تنش خشکی نشان داد که

جدول ۴. مقایسه میانگین سطوح مختلف تنش خشکی بر برخی خصوصیات مورفولوژیک و وزن تر رزماری

تیمار تنش	تعداد شاخه فرعی	وزن تر هوایی (گرم)	وزن تر ریشه (گرم)	وزن تر ریشه/هوایی	وزن تر کل (گرم)
۱۰۰	۹/۱۷ a*	۵۵/۹۱ a	۱۴/۴۹ a	۰/۰۶۸ d	۶۹/۹۹ a
۷۵	۷/۵۳b	۴۶/۲۵ b	۱۳/۴۱ ab	۰/۰۹۶ c	۶۱/۸۳ b
۵۰	۷/۲۶ b	۳۲/۹۹ c	۱۱/۷۵ bc	۰/۱۲ b	۵۲/۷۰ c
۲۵	۶/۷۵ c	۲۹/۶۶ d	۱۱/۱۶ c	۰/۱۴ a	۳۸/۵۸ d

*در هر ستون، اعداد با حداقل یک حرف مشابه، اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

جدول ۵. مقایسه میانگین سطوح مختلف تنش خشکی بر وزن خشک رزماری

تیمار تنش	وزن خشک برگ (گرم)	وزن خشک ساقه (گرم)	وزن خشک هوایی (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	وزن خشک ریشه/اندام هوایی	وزن خشک کل (گرم)
۱۰۰	۱۲/۰۸ a*	۱۱/۴۹ a	۲۱/۲۱ a	۸/۱۶ a	۰/۱۰ b	۲۹/۷۵ a
۷۵	۱۰/۶۶ ab	۹/۶۲ b	۲۲/۱۶ a	۷/۵۰ a	۰/۱۱ ab	۲۸/۲۵ a
۵۰	۹/۶۶bc	۸/۴۹ bc	۱۸/۱۶ b	۷/۵۰ a	۰/۱۲ ab	۲۹/۳۷ a
۲۵	۸/۵۸ c	۷/۵۴ c	۱۶/۱۲ c	۵/۴۱ b	۰/۱۳ a	۲۱/۱۲ b

*در هر ستون، اعداد با حداقل یک حرف مشابه، اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

بیشترین و کمترین تعداد شاخه فرعی، وزن تر اندام هوایی، وزن تر ریشه، وزن‌تر کل بوته، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه، وزن خشک ریشه، وزن خشک کل گیاه به ترتیب در تیمارهای ۱۰۰٪ و ۲۵٪ ظرفیت زراعی، بیشترین و کمترین وزن خشک اندام هوایی به ترتیب در تیمارهای ۷۵٪ و ۲۵٪ ظرفیت زراعی و بیشترین و کمترین نسبت وزن تر ریشه به اندام هوایی و نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی به ترتیب در تیمارهای ۲۵٪ و ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی به دست آمد (جداول ۴ و ۵). بررسی اثر متقابل تنش خشکی و سوپرجاذب بر وزن تر اندام هوایی، وزن خشک ساقه و وزن خشک اندام هوایی نشان داد که بیشترین مقدار در تیمار شاهد (۱۰۰٪ ظرفیت زراعی) و بدون کاربرد سوپرجاذب و کمترین میزان در تیمار ۲۵٪ ظرفیت زراعی و بدون استفاده از سوپرجاذب، بیشترین و کمترین تعداد شاخه فرعی، وزن تر ریشه، وزن تر کل گیاه، وزن خشک ریشه و وزن خشک کل گیاه در تیمارهای ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی و همراه با سوپرجاذب و ۲۵٪ ظرفیت زراعی و بدون سوپرجاذب، بیشترین و کمترین نسبت وزن تر ریشه به اندام هوایی و نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی در تیمارهای ۲۵٪ ظرفیت زراعی و همراه با کاربرد سوپرجاذب و ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی و بدون سوپرجاذب به‌دست آمد (جداول ۶ و ۷).

مطالعات قبلی روی گیاهان دارویی نشان داده که اعمال تنش خشکی در شوید، گشنیز و رازیانه در شرایط گلخانه‌ای (۵) منجر به کاهش ارتفاع و تعداد شاخه جانبی؛ در مرزه (۱ و ۲۷)، ریحان (۸)، بادرشبو (۷، ۹ و ۱۵) سبب کاهش ارتفاع، تعداد شاخه جانبی، وزن تر اندام هوایی، وزن تر ریشه، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه و وزن خشک ریشه؛ در آویشن (۶) موجب کاهش ارتفاع، وزن تر اندام هوایی، وزن تر ریشه، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه؛ در رُزماری (۳۲) و گل مکزیکی (۳) منجر به کاهش تعداد شاخه جانبی، وزن تر ریشه و وزن خشک ریشه؛ در مریم گلی (۲۹) سبب کاهش ارتفاع و در جعفری (۳۹) منجر به کاهش وزن تر ریشه، وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه گردید که با افزایش تنش خشکی،

جدول ۶. مقایسه میانگین اثرهای متقابل سطوح مختلف تنش خشکی و سوپرجاذب بر برخی خصوصیات مورفولوژیک و وزن تر رزماری

تنش خشکی × سوپرجاذب	تعداد شاخه فرعی	وزن تر اندام هوایی (گرم)	وزن تر ریشه (گرم)	وزن تر ریشه /اندام هوایی	وزن تر کل گیاه (گرم)
T_1S_0	۸/۸۰b	۵۸/۳۳ a	۱۳/۳۳ b	۰/۰۶ c	۵۵/۹۱ d
T_2S_0	۷/۷۷ c	۴۲/۹۹ d	۱۱/۳۳ bc	۰/۱۰ bc	۴۵/۲۵ e
T_3S_0	۶/۴۱ de	۳۳/۸۳e	۱۰/۸۳ bc	۰/۱۱ bc	۴۱/۶۶ f
T_4S_0	۵/ ۹۶ e	۲۷/۹۹ f	۸/۸۳ c	۰/۱۰ bc	۳۵/۴۹ g
T_1S_1	۹/۵۵ a	۵۳/۴۹ b	۱۷/۶۶a	۰/۰۷ c	۷۱/۶۶ a
T_2S_1	۹/۱۰ab	۴۹/۴۹ c	۱۳/۴۹ b	۰/۰۹ bc	۶۸/۳۳ b
T_3S_1	۷/۰۸ cd	۳۲/۱۶ e	۱۳/۴۹ b	۰/۱۴ ab	۶۷/۷۴ b
T_4S_1	۶/۷۴ d	۳۱/۳۳ef	۱۲/۶۶b	۰/۱۸ a	۶۰/۱۶ c

*در هر ستون، اعداد با حداقل یک حرف مشابه، اختلاف معنی‌داری با هم ندارند. T_1 : آبیاری در حد ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی، T_2 : ۷۵٪ ظرفیت زراعی، T_3 : ۵۰٪ ظرفیت زراعی و T_4 : ۲۵٪ ظرفیت زراعی، S_0 : بدون سوپرجاذب و S_1 : با سوپرجاذب.

جدول ۷. مقایسه میانگین اثرهای متقابل سطوح مختلف تنش خشکی و سوپرجاذب بر وزن خشک رزماری

تنش خشکی × سوپرجاذب	وزن خشک ساقه (گرم)	وزن خشک اندام هوایی (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	وزن خشک ریشه/اندام هوایی	وزن خشک کل گیاه (گرم)
T_1S_0	۱۳/۳۳ a	۲۳/۸۳ a	۸/۳۳ ab	۰/۰۸ c	۳۰/۶۶ ab
T_2S_0	۹/۶۶ b	۲۱/۹۹ ab	۶/۱۶ cd	۰/۱۱ bc	۲۷/۶۶bc
T_3S_0	۸/۹۹ bc	۱۸/۳۳ cd	۴/۹۹ de	۰/۰۹ bc	۲۴/۹۹ cd
T_4S_0	۷/۰۸ c	۱۵/۰۸ e	۴/۱۶ e	۰/۰۹ bc	۱۹/۲۴ e
T_1S_1	۹/۵۸ b	۲۰/۴۱ bc	۹/۹۹a	۰/۱۲ bc	۳۳/۷۵a
T_2S_1	۹/۶۶ b	۲۰/۴۹ bc	۸/۸۳ a	۰/۱۴ ab	۲۸/۸۳ b
T_3S_1	۷/۹۹ bc	۱۷/۹۹ cd	۷/۹۹ abc	۰/۱۳ bc	۲۸/۸۳b
T_4S_1	۷/۹۹ bc	۱۷/۱۶ de	۶/۶۶ bcd	۰/۱۸ a	۲۲/۹۹ d

*در هر ستون، اعداد با حداقل یک حرف مشابه، اختلاف معنی‌داری با هم ندارند. T_1 : آبیاری در حد ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی، T_2 : ۷۵٪ ظرفیت زراعی، T_3 : ۵۰٪ ظرفیت زراعی و T_4 : ۲۵٪ ظرفیت زراعی، S_0 : بدون سوپرجاذب و S_1 : با سوپرجاذب.

کاهش کلیه صفات مذکور، بجز ارتفاع، با نتایج حاصل از این تحقیق همخوانی دارد.

کاهش تعداد و طول شاخه جانبی در شرایط تنش شدید آبی را شاید بتوان به عنوان یک مکانیسم سازگاری برای گیاه در نظر گرفت (۳). اختلاف ارتفاع در اغلب گیاهان ناشی از خصوصیات ژنتیکی و تغییر شرایط محیطی است و از آنجا که تقسیم و رشد سلول مهمترین فرایندی است که تحت تأثیر تنش آبی قرار می‌گیرد، افزایش اندازه سلول به تنش خشکی بسیار حساس است. لذا، به نظر می‌رسد که در تیمارهای تحت تنش آبی، افزایش اندازه سلول تحت تأثیر قرار گرفته و با ممانعت از رشد طولی ساقه، سبب کاهش ارتفاع گردیده است. با افزایش تنش خشکی، از رشد رویشی گیاه کاسته می‌شود. راه‌کار گیاه بر

این اصل است که با حداقل رشد رویشی وارد فاز زایشی شود و دوره رشد خود را سریع به اتمام برساند. بنابراین، تعداد شاخه‌های جانبی روندی کاهشی دارد. کاهش تعداد شاخه به عنوان یک مکانیسم سازگاری برای گیاه بادرشبو در شرایط کم آبی در نظر گرفته شد (۷). شاخه‌دهی زیاد تحت شرایط خشکی، یک صفت نامطلوب به حساب می‌آید، زیرا باعث مصرف بیهوده رطوبت خاک می‌شود که این یک صفت نامطلوب است.

پژوهش‌های قلی‌زاده و همکاران (۱۹) در گیاه بادرشبو و حسنی و امیدبیگی (۸) در ریحان نیز نشان داد که با افزایش تنش خشکی، وزن تر گیاه کاهش پیدا می‌کند که با نتایج حاصل از این تحقیق مطابقت دارد. در پژوهشی، زهتاب سلماسی و همکاران (۱۱) نشان دادند که با کاهش عرضه آب قابل استفاده در انیسون، ارتفاع گیاه و نسبت وزنی ریشه به اندام هوایی، افزایش معنی‌داری یافت که در مورد نسبت وزنی ریشه به اندام هوایی با نتایج حاصل از این تحقیق همخوانی دارد. با کاهش رشد سلول، اندازه اندام محدود می‌شود و به همین دلیل است که اولین اثر محسوس کم‌آبی روی گیاه را می‌توان از روی کاهش ارتفاع تشخیص داد. به طور کلی، آب از طریق افزایش تعداد گره‌ها و طول میان‌گره‌ها، ارتفاع گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. رشد و نمو گیاه به تقسیم سلولی، رشد و تمایز سلول‌ها وابسته است. رشد سلولی یکی از حساس‌ترین واکنش‌های گیاهی در برابر تنش خشکی می‌باشد. نتیجه کاهش اندازه سلول در رابطه با الگوی رشد گیاه به زمان وقوع کمبود آب از نظر فنولوژی گیاه بستگی دارد (۲۴). بنابراین، با کاهش رشد، وزن تر گیاه نیز کاهش می‌یابد. علت کاهش ارتفاع با افزایش تنش خشکی، کاهش فشار تورژسانس و متعاقب آن کاهش تقسیم و بزرگ شدن سلولی و کاهش رشد و نمو سلول (۲۹)، مخصوصاً در ساقه و برگ، به دلیل عدم وجود فشار درون سلول در شرایط تنش خشکی، می‌باشد (۳۰).

مطابق با نتایج این آزمایش، شریفی عاشورآبادی (۴۳) اثر سطوح مختلف تنش خشکی (۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) را بر برخی از گیاهان دارویی مطالعه و گزارش کرد که افزایش سطح تنش خشکی باعث کاهش وزن خشک گیاهان مورد مطالعه شد. باهر و همکاران (۲۷) در مرزه و حسن و همکاران (۳۲) در گیاه رزماری نیز نشان دادند که تنش آبی، وزن خشک گیاه را کاهش داد.

در شرایط خشکی، نقصان مواد فتوسنتزی به علت کاهش سطح برگ رخ می‌دهد که منجر به کاهش انتقال مواد به سمت گل‌ها نیز می‌گردد. بنابراین، وزن خشک برگ در واحد سطح کاهش یافته و سبب کاهش تولید مواد فتوسنتزی می‌گردد. با کاهش مواد فتوسنتزی، تعداد ساقه فرعی کاهش یافته و میزان وزن خشک ساقه در واحد سطح و در نهایت وزن خشک کل گیاه کاهش می‌یابد. بنابراین، کاهش وزن خشک تحت کمبود آب می‌تواند در نتیجه کاهش در محتوای کلروفیل و در نتیجه کارایی فتوسنتز باشد (۳۴). همچنین، نتایج حاصل از بررسی تجمع ماده خشک نشان داد که در شرایط تنش، به دلیل کاهش مواد فتوسنتزی، وزن خشک بوته کاهش می‌یابد و گیاه برای فرار از خشکی و حفظ بقاء زودتر به گل می‌رود. بنابراین، بیشترین مقدار وزن خشک در شرایط بدون تنش به دست می‌آید که مطابق با نتایج این تحقیق می‌باشد. بر خلاف نتایج حاصل از این پژوهش، ریزوپولو و دیامانتوگلون (۴۱) اثر آبیاری را بر گونه‌ای مرزنجوش بررسی کرده و مشاهده نمودند که وزن خشک برگ با تشدید کمبود رطوبت خاک، افزایش یافت که به نظر می‌رسد این تفاوت‌ها به علت واکنش‌های گوناگون گیاهان در برابر تنش است. کاهش وزن خشک اندام هوایی در شرایط تنش می‌تواند تحت تأثیر تخصیص بیشتر بیوماس تولیدی گیاه به سمت ریشه‌ها و یا در اثر کاهش میزان کلروفیل و بازدهی فتوسنتز رخ داده باشد (۲۶). بنابراین، مطابق با نتایج این تحقیق، با افزایش تنش خشکی، وزن خشک اندام هوایی کاهش نشان می‌دهد.

از مهمترین دلایل کاهش وزن گیاه در طول دوره تنش، اثر سوء تنش بر رشد گیاه می‌باشد. اگرچه کل رشد گیاه در خلال تنش آبی کاهش می‌یابد، اما ریشه در مقایسه با رشد اندام هوایی در این شرایط از وضعیت مطلوب‌تری برخوردار است.

توسعه ریشه‌های گیاه علاوه بر اینکه یک صفت ژنتیکی می‌باشد، به وضعیت محیطی که در آن رشد می‌کند نیز وابسته است (۱۷). در شرایط تنش، فرآورده‌های فتوسنتزی بیشتری به ریشه‌ها نسبت به شاخه‌ها تخصیص داده می‌شود و در صورتی که تنش آبی زیاد شود، با بسته شدن روزنه‌ها، باعث کاهش رشد پیکررویشی و افزایش رشد ریشه‌ها می‌شود (۸). نتایج مختلفی از اثر تنش خشکی بر نسبت وزن خشک ریشه به شاخه حاصل شده است. گیاه برای رویارویی با تنش آبی، از طریق افزایش نسبت وزن ریشه به شاخه، تا حدودی با کمبود آب مقابله می‌کند. ولی در نهایت با کاهش آب (تشدید تنش آبی) رشد رویشی گیاه (اندام هوایی و ریشه‌ها) کاهش می‌یابد (۸) که در این پژوهش نیز این اثر ملاحظه شد. در تنش شدید (۲۵٪ ظرفیت زراعی)، با کاهش رشد رویشی، نسبت وزن ریشه به اندام هوایی کمتری نسبت به تیمار ۵۰٪ ظرفیت زراعی مشاهده شد. برخی محققین نیز نشان داده‌اند که در شرایط تنش خشکی، نسبت وزن خشک ریشه به شاخه با کاهش رطوبت افزایش می‌یابد (۱۸). علت آن است که در شرایط تنش خشکی، آبدهی و کاهش حجم سلولی در شاخه‌ها نسبت به ریشه‌ها بیشتر است. یا به عبارتی، در شرایط خشکی، رشد ریشه‌ها نسبت به شاخه‌ها کمتر تحت تأثیر قرار می‌گیرد و در این شرایط فتوآسیمیلات بیشتری به ریشه‌ها اختصاص داده می‌شود. بنابراین، برخی گیاهان در پاسخ به تنش خشکی، میزان جذب آب را از طریق حفظ نسبی رشد ریشه و افزایش نسبت ریشه به شاخه، افزایش داده و آب قابل دسترس بیشتری در اختیار گیاه قرار می‌گیرد (۳۸). مطابق با این نظرات، در این تحقیق نیز کاهش رطوبت سبب افزایش نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی گردید.

یک مطالعه قبلی نشان داد که در یک آزمایش گلدانی، اعمال تنش‌های ۸۰٪ و ۶۰٪ ظرفیت زراعی، سه هفته پس از کشت تا پایان زمان برداشت، خصوصیات مورفولوژیک رزماری را در مقایسه با ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی تغییر داد و منجر به کاهش ارتفاع گیاه آن گردید (۳۲) که بر خلاف نتایج این تحقیق است. به نظر می‌رسد که کاهش ارتفاع در اثر تنش خشکی به دلیل بافت خاک، زمان و طول دوره تنش متفاوت اعمال شده باشد. به دلیل اینکه بافت خاک در میزان جذب آب اثرگذار است و دوره تنش طولانی اعمال شده تا زمان برداشت، موجب کندی رشد و کاهش ارتفاع گردید؛ ولی طول دوره تنش در این تحقیق کوتاه‌تر بوده و اثر زیادی بر تقسیم و رشد سلول‌ها نداشت.

همان طور که اشاره شد، برای صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش قدرت جذب آب، و همچنین کاهش آثار سوء تنش خشکی بر خصوصیات مورفولوژیک گیاه، استفاده از سوپرجاذب یکی از راه‌حل‌های مناسب می‌باشد. پژوهش‌های انجام گرفته توسط سایر محققین در چمن اسپورت، ذرت علوفه‌ای و کتان روغنی حاکی از افزایش رشد رویشی گیاهان با مصرف سوپرجاذب می‌باشد (۲، ۱۴ و ۲۰) که با نتایج حاصل از این تحقیق مطابقت ندارد. مطالعات قبلی نشان داد که مصرف سوپرجاذب منجر به افزایش وزن تر شاخه در گیاهانی مانند گوجه‌فرنگی و خربزه گردید (۱۲). پلیمر سوپرجاذب با تأثیر بر دور آبیاری در کشت صیفی (خربزه که نیاز آبی آن کم است) سبب افزایش وزن تر اندام هوایی گیاه گردید. ولی در این آزمایش، پلیمر سوپرجاذب اثری بر وزن تر رزماری نداشت. با توجه به پژوهش‌های انجام شده، سوپرجاذب‌ها می‌توانند سبب افزایش وزن تر ریشه در گیاهانی مانند گوجه‌فرنگی و خربزه شوند (۱۲). مطابق با نتایج حاصل از این پژوهش، استفاده از سوپرجاذب منجر به افزایش وزن خشک ریشه در گیاهانی از جمله گندم (۳۳) و گیاه دارویی کتان روغنی (۲۰) گردید.

استفاده از سوپرجاذب در شرایط تنش خشکی سبب افزایش وزن تر گیاه گردید که این امر به دلیل افزایش ظرفیت نگهداری آب، افزایش آب قابل دسترس، افزایش جذب عناصر غذایی و بهبود رشد گیاه می‌باشد (۴۵ و ۴۴). خلیلی محله و همکاران (۳۵) گزارش کردند که دلیل کاهش وزن گیاه در اثر تنش خشکی، کاهش پتانسیل اسمزی سلول و کاهش طول سلول و تقسیم در ساقه است. آنها نشان دادند که سوپرجاذب،

با توانایی زیاد نگهداری آب، می‌تواند اثرهای بد تنش را کاهش دهد. سوپرجاذب باعث بازماندن روزنه‌ها به مدت طولانی می‌شود و سپس باعث تثبیت مناسب با دی‌اکسیدکربن و افزایش وزن خشک در گیاه می‌گردد (۳۶).

خصوصیات ریشه، مخصوصاً طول و تراکم و تعداد ریشه‌های ضخیم، به منظور رشد خوب اندام هوایی گیاه، اهمیت زیادی دارند. گیاهان معمولاً با تولید سیستم ریشه‌ای عمیق، به منظور افزایش جذب آب، از خشکی اجتناب می‌کنند. سیستم ریشه‌ای افشان با جذب آب از لایه‌های سطحی در مراحل اولیه رشد گیاه، نقش مؤثری در تسریع رشد گیاه دارد (۳۷). توزیع سیستم ریشه‌ای درون خاک می‌تواند عامل کلیدی جهت اجتناب از تنش خشکی شدید باشد. جانسون و وودهاوس (۳۳) گزارش کردند که کاربرد سوپرجاذب باعث افزایش وزن خشک ریشه در گیاه گندم گردید که با نتایج حاصل از این تحقیق مطابقت دارد. بررسی نتایج حاصل از این تحقیق حاکی از عدم تأثیر سوپرجاذب بر ارتفاع گیاه رزماری بود که به نظر می‌رسد این امر به دلیل زمان و طول دوره تنش اعمال شده، نیاز آبی کم گیاه و مقاومت به خشکی یا رشد کند آن باشد. علاوه بر این، شکل و ضخامت کوتیکول سبب کاهش تبخیر و تعرق از سطح برگ می‌گردد. همچنین، در این تحقیق، کاربرد سوپرجاذب سبب افزایش تعداد شاخه فرعی در شرایط تنش گردید. گزارش شده است که این امر به علت افزایش ظرفیت نگهداری آب، افزایش آب قابل دسترس و بهبود رشد گیاه می‌باشد (۴۲). بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش، عدم تأثیر تنش خشکی و سوپرجاذب بر نسبت وزن خشک برگ به ساقه ممکن است به علت مقاومت به خشکی و واکنش رزماری در برابر تنش وارد شده باشد. همچنین، زمان و طول دوره تنش اعمال شده بر این امر اثرگذار است.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که استفاده از سوپرجاذب در شرایط تنش خشکی موجب بروز تغییراتی در خصوصیات مورفولوژیک گیاه رزماری، بجز ارتفاع، گردید. شرایط رشدی متفاوت گیاهان مختلف در مقایسه با رزماری ممکن است سبب عدم تأثیر سطوح مختلف تنش بر رشد سلول و در نتیجه ارتفاع آن باشد. بیشترین تعداد شاخه فرعی، وزن تر و خشک ریشه و وزن خشک کل گیاه در تیمار آبیاری تا حد ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی و همراه با کاربرد سوپرجاذب، بیشترین وزن خشک برگ و ساقه، وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن تر کل در ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی و بدون کاربرد سوپرجاذب و بیشترین نسبت وزن خشک و تر ریشه به اندام هوایی در تیمار ۲۵٪ ظرفیت زراعی و همراه با سوپرجاذب حاصل شد. به نظر می‌رسد که نتایج متفاوت حاصل از این تحقیق با سایر تحقیقات به دلیل زمان و طول دوره تنش اعمال شده، نیاز آبی کم گیاه و مقاومت به خشکی یا رشد کند آن باشد. نتایج این آزمایش نشان داد که آبیاری گیاه رزماری در حد ظرفیت زراعی خاک باعث بهبود اکثر صفات مورفولوژیک آن شد و از آنجا که این گیاه نیاز آبی کمی دارد مصرف سوپرجاذب تنها باعث بهبود برخی از صفات مورفولوژیک آن گردید. با توجه به اینکه تنش‌های محیطی، و به‌ویژه تنش کم‌آبی، یکی از موانع اصلی در تولید محصولات زراعی و باغی در بسیاری از نقاط دنیا، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک همچون ایران محسوب می‌شوند، در حال حاضر، استفاده از گیاهان و ارقام مقاوم به کم‌آبی، مانند رزماری، یکی از مهمترین روش‌های مؤثر در بهره‌برداری و افزایش عملکرد هکتاری در این مناطق است. بنابراین، شناسایی گونه‌های مقاوم و نیمه مقاوم به خشکی با انجام آزمایش‌های مربوطه و کاربرد مواد مؤثر در کاهش آثار سوء تنش‌ها، مانند سوپرجاذب‌ها، برای حصول آستانه‌های اقتصادی عملکرد گیاهان زراعی و دارویی مهم به نظر می‌رسد. در مجموع، با به کارگیری روش‌های پیشرفته مانند استفاده از سوپرجاذب‌ها، از طریق حفظ و ذخیره رطوبت در خاک، بهبود نفوذپذیری آب در خاک و افزایش بازده مصرف آب می‌توان گامی مؤثر در جهت بهره‌برداری از منابع محدود آب برداشت. بنابراین، مطالعات بیشتر و استفاده از مقادیر متفاوت سوپرجاذب توصیه می‌شود.

منابع مورد استفاده

۱. اسکندری، م. ۱۳۹۲. بررسی پارامترهای رشد و تغییرات درصد اسانس گیاه دارویی مرزه بختیاری (*Satureja bachtiarica* Bunge) تحت تأثیر ۲۸- هموبراسینولید و تنش خشکی. تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۲۹ (۱): ۱۷۶- ۱۸۶.

۲. اله‌دادی، ا.، ب. مؤذن قمصری، غ. اکبری و م. ظهوریان مهر .۱۳۸۴. بررسی تأثیر مقادیر مختلف پلیمر سوپرآب آ- ۲۰۰ و سطوح مختلف آبیاری بر رشد و عملکرد ذرت علوفه‌ای. مجموعه مقالات سومین سمینار تخصصی کاربرد کشاورزی هیدروژل‌های سوپرجاذب، ۱۶ آبان، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، تهران.

۳. امیدبیگی، ر. و م. محمودی سورستانی. ۱۳۸۹. اثر تنش خشکی بر برخی صفات مورفولوژی، میزان و عملکرد اسانس گیاه گل مکزیکی *Agastache foeniculum* [Pursh] Kuntze . علوم باغبانی ایران ۴۱(۲): ۱۵۳-۱۶۱.

۴. امیدبیگی، ر. ۱۳۸۹. تولید و فرآوری گیاهان دارویی. به نشر، مشهد.

۵. امیری ده احمدی، س. ر.، پ. رضوانی مقدم و ح. ر. احیایی. ۱۳۹۱. تأثیر تنش خشکی بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی و عملکرد سه گیاه دارویی شوید (*Anethum graveolens*)، گشنیز (*Coriandrum sativum*) و رازیانه (*Foeniculum vulgare*) در شرایط گلخانه. پژوهش‌های زراعی ایران ۱۰(۱): ۱۱۶-۱۲۴.

۶. بابایی، ک.، م. امینی دهقی، ع. م. مدرس ثانوی و ر. جباری. ۱۳۸۹. اثر تنش خشکی بر صفات مورفولوژیک، میزان پرولین و درصد تیمول در آویشن (*Thymus vulgaris* L.) . تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۲۶(۲): ۲۵۱-۲۵۹.

۷. حسنی، ع. ۱۳۸۵. بررسی تأثیر تنش کم‌آبی بر رشد، عملکرد و میزان اسانس گیاه دارویی بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.). تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۲۲(۳): ۲۵۶-۲۶۱.

۸. حسنی، ع. و ر. امیدبیگی. ۱۳۸۱. اثرات تنش آبی بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و متابولیکی گیاه ریحان. دانش کشاورزی ۱۲(۳): ۴۷-۵۹.

۹. رهبریان، پ. و غ. ر. افشارمنش. ۱۳۹۰. اثر کم‌آبیاری و کود دامی بر عملکرد و برخی صفات مورفولوژیکی گیاه دارویی بادرشبو (*Dracocephalum moldavica*) در جیرفت. اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی و علف‌های هرز ۵(۱۷) :۴۱-۵۲.

۱۰. زرگری، ع. ۱۳۹۰. گیاهان دارویی. انتشارات دانشگاه تهران.

۱۱. زهتاب سلماسی، س.، ع. جوانشیر، ر. امیدبیگی، ه. آلیاری، ک. قاسمی گلعذانی و ج. افشار. ۱۳۸۲. اثر تاریخ کاشت و حذف آبیاری بر روی میزان اسانس و آنتول در گیاه دارویی انیسون (*Pimpinella anisum* L.). دانش کشاورزی ۱۳(۲): ۴۷-۵۶.

۱۲. سالار، ن.، م. فرحپور و ف. بهادری. ۱۳۸۴. بررسی اثر پلیمر آبدوست Terra-Cotta بر دور آبیاری در کشت صیفی (خربزه). سومین دوره تخصصی- آموزشی- کاربرد کشاورزی و صنعتی هیدروژل‌های سوپرجاذب، ۱۶ آبان.

۱۳. سرمدنیا، غ. و ع. کوچکی. ۱۳۷۶. جنبه‌های فیزیولوژیکی زراعت دیم. جهاد دانشگاهی، دانشگاه فردوسی مشهد، ۴۲۰ صفحه.

۱۴. شیخ مرادی، ف.، ع. ارجی، ا. اسماعیلی و و. عبدوسی. ۱۳۹۰. بررسی اثر دور آبیاری و پلیمر سوپرجاذب روی برخی خصوصیات کیفی چمن اسپورت. علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۵(۲): ۱۷۰-۱۷۷.

۱۵. صفی‌خانی، ف.، ح. حیدری شریف آباد، س. ع. ا. سیادت، ا. شریفی عاشورآبادی، س. م. سیدنژاد و ب. عباس‌زاده. ۱۳۸۶. تأثیر تنش خشکی بر عملکرد و صفات مورفولوژیک گیاه دارویی بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.). تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۲۳(۲): ۱۸۳-۱۹۴.

۱۶. عابدی کوهپایی، ج. و ف. سهراب. ۱۳۸۳. ارزیابی تأثیر کاربرد پلیمرهای ابرجاذب بر ظرفیت نگهداشت و پتانسیل آب بر سه نوع

خاک. علوم و تکنولوژی پلیمر ۳: ۱۶۳-۱۷۳.

۱۷. علیزاده، ا. ۱۳۷۴. رابطه آب و خاک و گیاه. انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد، ۷۳۵ صفحه.

۱۸. قربانلی، م.، ز. باهر، م. میرزا و م. رضایی. ۱۳۸۰. بررسی برخی از پارامترهای رشد و تغییرات کمی و کیفی ترکیبات موجود در اسانس مرزه (*Satureja hortensis*) تحت تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری در طی دوره‌های رویشی و زایشی. پژوهش و سازندگی (در منابع طبیعی) ۱۴(۳): ۴۰-۴۵.

۱۹. قلی‌زاده، آ.، م. اصفهانی و م. عزیزی. ۱۳۷۵. مطالعه اثرات تنش آب به همراه زئولیت طبیعی بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی بادرشبی (*Dracocephalum moldavica*). پژوهش و سازندگی (در منابع طبیعی) ۷۳: ۹۶-۱۰۲.

۲۰. کیخایی، ف. ۱۳۸۰. بررسی اثر سوپرجاذب PR 3005 A بر میزان آب مصرفی و برخی خصوصیات کمی و کیفی گیاه کتان روغنی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، ۹۶ صفحه.

۲۱. گنجی خرم دل، ن. ۱۳۸۱. تأثیر سوپرجاذب بر خصوصیات فیزیکی خاک. دومین دوره تخصصی- آموزشی- کاربرد کشاورزی و صنعتی هیدروژل‌های سوپرجاذب، ۲۸ بهمن.

۲۲. لباسچی، م. ح. و ا. شریفی عاشورآبادی. ۱۳۸۳. شاخص‌های رشد برخی گونه‌های گیاهان دارویی در شرایط مختلف تنش خشکی. تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۲۰(۳) : ۲۴۹-۲۶۱.

۲۳. مجنون حسینی، ن. و س. دوازده امامی. ۱۳۸۶، زراعت و تولید برخی گیاهان دارویی و ادویه‌ای. انتشارات دانشگاه تهران، ۳۰۰ صفحه.

۲۴. میری، ح. ر. ۱۳۸۷. بیولوژی کارآیی مصرف آب در گیاه (ترجمه). انتشارات دانشگاه آزاد ارسنجان، ۵۳۴ صفحه.

25. Akhtar, J., K. Mahmood, K.A. Malik, M. Ahmad and M.M. Igbal. 2004. Effect of hydrogel amendment on water storage of sandy loam and loam soils and seedling growth of barley, wheat and chickpea. Plant Soil Environ. 50(10): 463-469.
26. Albouchi, A., Z. Bejaoui and M.H. El Aouni. 2003. Influence d'un stress hydrique mode´re´ou se´ve' resurlacroissance de jeunes plants de *Casuarina glauca*. Se´ Cheresse 14: 137-142.
27. Baher, Z.F., M. Mirza, M. Ghorbanli and M.B. Rezaii. 2002. The influence of water stress on plant height, herbal and essential oil yield and composition in *Satureja hortensis* L. Flavour Fragra J. 17(4): 275-277.
28. Banon, S., J. Ochoa, J.A. Franco, M.J. Sanchez-Blanco and J.J. Alarcon. 2003. Influence of water deficit and low air humidity in the nursery on survival of *Rhamnus alaternus* seedlings following planting. J. Hort. Sci. Biotech. 78: 518-522.
29. Bettaieb, I., N. Zakhama, W. Aidi Wannes, M.E. Kchouk and B. Marzouk. 2009. Water deficit effects on *Salvia officinalis* fatty acids and essential oils composition. Sci. Hort. 120: 271-275.
30. Cabuslay, G.S., O. Ito and A.A. Alejal. 2002. Physiological evaluation of responses of rice (*Oryza sativa* L.) to water deficit. Plant Sci. 63: 815-827.
31. El-Saied, H., A.I. Waley and A.H. Basta. 2000. High water absorbent from lignocelluloses. I: Effect of reaction variables on the water absorbency of polymerized lignocelluloses. Polymer-Plastics Technol. Eng. 39(5): 905-926.
32. Hassan, F.A.S., S. Bazaid and E.F. Ali. 2013. Effect of deficit irrigation on growth, yield and volatile oil content on *Rosmarinus officinalis* L. plant. J. Med. Plants Studies 1(3): 12-21.
33. Johnson, M.S. and J. Woodhouse. 1990. Effect of super absorbent polymers on efficiency of water use by crop seeding. J. Sci. Food Agric. 52: 431-434.
34. Khalid, K.A. 2006. Influence of water stress on growth, essential oil and chemical composition of herbs (*Ocimum* sp.). Int. Agrophys. 20(4): 289-296.
35. Khalili Mahalleh, J., H. Heidari Sharif Abad, G. Nourmohammadi, F. Darvish, I. Majidi Haravan and E. Valizadegan . 2011. Effect of superabsorbent polymer (Tarawat A200) on forage yield and qualitative characters in corn under deficit irrigation condition in Khoy zone (Northwest of Iran). Adv. Environ. Biol. 5(9): 2579-2587.
36. Keshavarz, L., H. Farahbakhsh and P. Golkar. 2012. The effects of drought stress and super absorbent polymer on morphphysiological traits of pearl millet (*Pennisetum glaucum*), Int. Res. J. Appl. Basic Sci. 3(1): 148-154.
37. Martinez, J.P., J.F. Ledent, M. Bajji, J.M. Kinet and S. Lutts. 2003. Effect of water stress on growth, Na^+ and K^+ accumulation and water use efficiency in relation to osmotic adjustment in two populations of *Atriplex halimus* L.

Plant Growth Regul. 41: 63-73.
38. Nicholas, S. 1998. Plant resistance to environmental stress. Current Opin. Biotechnol. 9: 214–219.
39. Petropoulos, S.A., D. Daferera, M.G. Polissiou and H.C. Passam .2008. The effect of water deficit stress on the growth, yield and composition of essential oils of parsley. Sci. Hort. 115(4): 393-397.
40. Rao, K.V., S. Mohapatra, T.K. Maji and S.J. George. 2012. Guest-responsive reversible swelling and enhanced fluorescence in a superabsorbent, dynamic microporous polymer. Chem. A Eur. J. 18(15): 4505-4509.
41. Rizopoulou, S. and S. Diamantoglon. 1991. Water stress, induced diurnal variation in leaf water relation stomatal conductance, soluble sugar, lipids and essential oil content of *Origanum majorana* L. J. Hort. Sci. 66: 119-125.
42. Sawut, A., M.Yimit, W. Sun and I. Nurulla. 2014. Photopolymerisation and characterization of maleylatedcellulose-g-poly(acrylic acid) superabsorbent polymer, Carbohyd. Polym.101: 231-239.
43. Sharifi Ashoorabadi, E., M. Matin, H. Lebaschi, B. Abbaszadeh and B. Naderi. 2005. Effects of water stress on quantity yield in *Achillea millefolium*. Abstracts Book of The First International Conference on the Theory and Practices in Biological Water Saving.
44. Wu, F., Y. Zhang, L. Liu and J. Yao. 2012. Synthesis and characterization of a novel cellulose-g-poly (acrylic acid-co-acrylamide) superabsorbent composite based on flaxyarnwaste.Carbohyd. Polym. 87: 2519-2525.
45. Yadav, M. and K.Y. Rhee. 2012. Superabsorbent nanocomposite (alginate-g-PAMPS/MMT): synthesis, characterization and swelling behavior. Carbohyd. Polym. 90: 165-173.
46. Zohuriaan-Mehr, M.J., H. Omidian, S. Doroudiani and K. Kabiri. 2010. Advances in non-hygienic applications of superabsorbent hydrogel materials. J. Mater. Sci. 45: 5711-5735.