مقاله پژوهشی

ارزیابی تأثیر سایکوسل و سالیسیلیک اسید برخصوصیات رشدی، فیزیولوژیک و عملکرد اسانس گیاه بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) تحت شرایط تنش خشکی

اردوان بخشی گنجه، محمد مهدی رحیمی* و عبدالصمد کلیدری

گروه زراعت، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج

(تاریخ دریافت:۱۴۰۰/۱۰/۰۴، تاریخ پذیرش نهایی:۱۴۰۰/۱۲/۱۶)

چکیده

با توجه به اینکه گیاه بادرنجبویه از گیاهان دارویی مهم است، آزمایشی به‌منظور بررسی اثرات سایکوسل و سالیسیلیک اسید در شرایط تنش خشکی بر خصوصیات زراعی، بیوشیمیایی و میزان اسانس این گیاه، به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ای واقع در شمال غربی یاسوج در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ انجام شد. تنش خشکی به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح ۳۵ (شاهد)، ۷۰ و ۹۰ درصد ظرفیت زراعی و فاکتور فرعی شامل سایکوسل در دو سطح (صفر و ۱۰۰۰ میکرومولار) و اسید سالیسیلیک در دو سطح (صفر و ۱۰۰۰ میکرومولار) بود. نتایج به‌دست آمده نشان داد که محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و سایکوسل تأثیر معنی‌داری بر عملکرد اسانس، درصد اسانس، ارتفاع بوته، وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن تر و خشک ریشه و میزان آنزیم‌های سازگارکننده گیاه به تنش مانند کاتالاز، پراکسیداز و مالون دی‌آلدئید داشت و باعث افزایش این صفات در شرایط تنش خشکی گردید. بیشترین میزان عملکرد اسانس (۸/۱ کیلوگرم درهکتار) متعلق به تیمار ۳۵٪ ظرفیت مزرعه به‌همراه محلول‌پاشی با سایکوسل و اسید سالیسیلیک بود. میزان افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و مالون دی‌آلدئید در بالاترین سطح تنش رطوبتی به‌همراه محلول‌پاشی با سایکوسل و اسید سالیسیلیک نسبت به شاهد به‌ترتیب (۷۳٪)، (۷۴٪) و (۸۰٪) بود. بطورکلی نتایج این پژوهش نشان داد که گیاه دارویی بادرنجبویه واکنش مثبتی به محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و سایکوسل نشان داد و کاربرد این مواد تأثیر مطلوبی در جبران صدمات ناشی از تنش خشکی در این گیاه داشت، و می‌توان این نتایج را برای مناطقی با شرایط آب‌وهوایی منطقه مورد مطالعه پیشنهاد کرد.

واژگان کلیدی: آنزیم، تنش کم آبی، درصد اسانس، عملکرد اسانس، وزن اندام هوایی

مقدمه

گیاه بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) از تیره نعناعیان و گیاهی چند ساله است. قسمت‌های مورد استفاده آن برگ، سرشاخه‌های جوان و اسانس گیاه است. بادرنجبویه دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی (Hassan zadeh *et al.*, 2016) و آلفا توکوفرول (Munne and Alegre, 2000) است. عصاره بادرنجبویه برای رفع سردرد، سرماخوردگی، ضعف عمومی بدن، به‌عنوان مسکن در دردهای عصبی و اسپاسم‌های معدوی و کلیوی، برای شستشوی دهان و درد دندان و خاصیت ضدتوموری استفاده می‌شود (Hussein *et al.*, 2006).

خشکی از مهمترین عوامل محیطی کاهش رشد و عملکرد بسیاری از گیاهان زراعی و دارویی، به‌ویژه در مناطق خشک

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: m.rahimi1351@yahoo.com

و نیمه‌خشک دنیا است. تنش‌های محیطی باعث بروز دامنه وسیعی از واکنش‌ها در گیاهان، از تغییر بیان ژن و متابولیسم سلول تا تغییر در سرعت رشد و عملکرد محصولات می‌شوند (ظفری و همکاران، ۱۳۹۷). تنش خشکی بیشتر از هر عامل محیطی دیگری رشد گیاهان را محدود می‌کند و زمانی حادث می‌شود که خروج آب از گیاه به‌واسطه فرایند تعرق بیشتر از جذب آن از طریق ریشه باشد (Amiri *et al*., 2022; Ghodrat and Bahrani, 2022).

با توجه به مشکلات زیست‌محیطی، استفاده از انواع اسید آلی برای بهبود کمی و کیفی محصولات زراعی و باغی رواج فراوان یافته است. مقادیر بسیار کم از اسیدهای آلی به‌دلیل وجود ترکیبات هورمونی اثرات قابل ملاحظه‌ای در بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک و افزایش تولید و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی دارند، بنابراین، استفاده از انواع ترکیبات هورمونی از جمله اسید سالیلیک اسید و سایکوسل بدون اثر مخرب زیست‌محیطی جهت بالابردن عملکرد می‌تواند مثمر ثمر واقع شود (Kheirizadeh Arough *et al*., 2016).

کلرمکوات کلراید (CCC) یا سایکوسل از گروه ترکیبات آنیومی و از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی بوده که جهت کنترل رشد رویشی گیاهان کاربرد فراوانی پیدا کرده است. سایکوسل یکی از شناخته‌ترین مشتقات کولین است که موجب کاهش باز و بسته‌شدن روزنه‌ها و کاهش حساسیت به خشکی و شوری می‌گردند. کولین‌ها در غشاء لیپیدی سلول وجود دارند و به‌عنوان جذب‌کننده رادیکال آزاد عمل می‌کنند که موجب کاهش برخی از آسیب‌های ناشی از تنش‌های خشکی و شوری می‌گردد (Pirasteh-Anosheh *et al*., 2014). این ماده موجب جلوگیری از پژمردگی شده و تسهیم مواد فتوسنتزی به بذرها را افزایش می‌دهد (Wang *et al*., 2009). سایکوسل در شرایط تنش خشکی از طریق کاهش هدایت روزنه‌ای و کاهش سرعت تعرق موجب کاهش هدررفت آب و افزایش محتوای نسبی آب برگ شد و سبب افزایش عملکرد و درصد اسانس در گیاه دارویی رازیانه گردید (Aliabadi-Farahani *et al*., 2009).

اسید سالیسیلیک یا اسید اورتوهیدروکسی بنزوئیک یک ترکیب فنلی گیاهی است که به‌عنوان یک تنظیم‌کننده هورمونی مورد توجه است و در راهبردهای دفاعی علیه تنش‌های زیستی و محیطی نیز نقش دارد. کاربرد سالسلیک اسید خارجی موجب افزایش مقاومت گیاهان نسبت به تنش خشکی و شوری می‌شود (Zafar *et al*., 2021). همچنین گزارش شده است که اسید سالیسیلیک باعث افزایش صفات رشدی در گیاهان دارویی مرزنجوش (*Origanum majorana*) و ریحان (*Ocimum basilicum*) در تنش خشکی شد (El-Lateef Gharib, 2006). در آزمایش که بر روی گشنیز (*Coriandrum sativum*) انجام گرفت محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید موجب افزایش آنتی‌اکسیدانت‌ها، رنگیزه‌های فتوسنتزی و اسانس شد (Naderi *et al*., 2015). سالیسیلیک اسید در شرایط تنش خشکی در گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum vulgare*) موجب کاهش نشت الکترولیت شد اما محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل، کاروتنوئیدها و عملکرد دانه را افزایش داد (Salarpur Ghorba and Frahbakhsh, 2016). محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید ۱۶۰۰ میکرومولار در گیاه رازیانه موجب افزایش عملکرد دانه و عملکرد اسانس در شرایط تنش خشکی شد (Mohtashemi *et al*., 2015). محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در شرایط تنش خشکی موجب افزایش عملکرد و درصد اسانس در گیاهان دارویی گلرنگ (*Carthamus tinctorius*)، بادرنجبویه (*Melissa officinalis*) و سیاهدانه (*Nigella sativa*) شد (Hassan zadeh *et al*., 2016; Jami *et al*., 2015).

با توجه به حساس‌بودن گیاه بادرنجبویه به شرایط کم آبی (جلالوند و همکاران، ۱۳۹۸) و اهمیت این گیاه دارویی و مصرف گسترده آن در صنایع داروسازی از جمله داروهایی که برای درمان ناراحتی‌های عصبی، درمان اختلالات گوارشی، مُسکن‌ها، داروهای مشکلات قلبی و سردردهایی با منشاء عصبی و اضطراب، ضدویروس‌ها، ضدباکتری، ضداسپاسم، ضدنفخ و آرام‌بخش، تولید می‌شود، این پژوهش با هدف

بررسی کاربرد اسید سالیسیلیک و سایکویل بر ویژگی‌های زراعی، بیوشیمایی، ارزیابی فعالیت آنزیم‌های سازگارکننده گیاه به تنش و میزان اسانس گیاه بادرنجبویه در شرایط تنش خشکی در شهرستان یاسوج، انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثرات سالیسیلیک اسید و سایکوسل در شرایط تنش خشکی بر ویژگی‌های موفولوژیکی، بیوشیمایی، عملکرد اسانس و میزان اسانس گیاه بادرنجبویه آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار در دو سال ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ در مزرعه‌ای تحقیقاتی وابسته به دانشگاه آزاد یاسوج، واقع در شمال غربی این شهرستان با مختصات جغرافیایی ۵۳/۶۸ درجه شرقی و ۳۲/۴۲ درجه شمالی با ارتفاع ۱۸۷۰ متر از سطح دریا انجام گرفت (جدول ۱). تنش خشکی به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح ۳۵ (شاهد)، ۷۰ و ۹۰ درصد ظرفیت مزرعه و فاکتورهای فرعی شامل سایکوسل (صفر و ۱۰۰۰ میکرومولار) و اسید سالیسیلیک (صفر و ۱۰۰۰ میکرومولار) بود (جلالوند و همکاران، ۱۳۹۸). قبل از انجام آزمایش، از خاک مزرعه نمونه‌گیری انجام شد و برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن تعیین شد (جدول ۲).

در اوایل بهار در زمینی که سال قبل به‌صورت آیش بود، عملیات شخم و دو دیسک عمود بر هم صورت گرفت. بذرها به‌صورت دستی در عمق ۲– ۱/۵ سانتی‌متر در هفته آخر اسفند کاشته شدند. در هر نقطه کشت،سه تا چهار عدد بذر قرار داده شد که بعد از استقرار گیاه در مرحله دو تا چهار برگی، یک بوته حفظ گردید. هر کرت شامل پنج خط کشت به طول ۲ متر با فاصله بین خطوط ۲۵ سانتی‌متر و فاصله روی خطوط ۲۰ سانتی‌متر بود. بین کرت‌های اصلی برای جلوگیری از اختلاط تیمارها، ۲/۵ متر فاصله در نظر گرفته شد. ابعاد هر کرت فرعی ۳ متر مربع بود. کوددهی و تغذیه گیاه براساس آزمون خاک و نیاز گیاه به میزان ۷۰ کیلوگرم کود نیتروژن از منبع اوره، ۸۰ کیلوگرم کود سوپرفسفات تریپل و ۱۰۰ کیلوگرم کود سولفات پتاسیم مورد استفاده قرار گرفت. در سال دوم آزمایش نیز کلیه عملیات مربوط به کاشت مانند سال اول بود.

ظرفیت زراعی خاک (۲۱/۳۲ درصد) با استفاده از دستگاه دیسک صفحه فشاری مشخص شد، و سطوح تنش ۳۵، ۷۰ و ۹۰ درصد این مقدار تعیین شد. به‌منظور تعیین دقیق زمان آبیاری از دستگاه رطوبت سنج خاک (TDR) مدل (German, FM-Trime) که درصد حجمی رطوبت خاک را در عمق مورد نظر (۴۰ سانتی‌متر) تعیین می‌کند، استفاده شد. تمامی کرت‌ها تا استقرار کامل گیاه در مرحله چهار برگی در وضعیت یکنواخت آبیاری قرار داشته و بعد از آن تیمارهای متفاوت آبیاری براساس نقشه کاشت تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی گیاه اعمال گردید. با توجه به روش آبیاری انجام‌شده که به‌صورت نوار تیپ بود راندمان آب ۹۰٪ در نظر گرفته شد. لذا با توجه به مساحت هر کرت حجم مورد نیاز برای هر تیمار محاسبه و با نصب کنتور حجمی میزان آب مورد نیاز بدست آمد. در تیمار شاهد (۳۵٪ ظرفیت مزرعه) ۷۸۵۵ متر مکعب در هکتار، در تیمار (۷۰٪ ظرفیت مزرعه) ۵۶۹۰ متر مکعب در هکتار و در تیمار ۹۰٪ ظرفیت مزرعه، ۲۷۳۰ مترمکعب در هکتار آب استفاده شده است.

اعمال سطوح فرعی به‌صورت سه مرحله محلول‌پاشی دو روز قبل از اعمال تنش خشکی در مرحله ۳–۵ برگی گیاه در هفته اول اردیبهشت‌ماه (۴۳ روز پس از کاشت)، هفته آخر اردیبهشت‌ماه (۶۵ روز پس از کاشت) و در هفته سوم خرداد (۹۰ روز پس از کاشت) (در اواخر مرحله رویشی) آخرین مرحله محلول‌پاشی انجام شد. محلول‌پاشی در ساعات نخستین صبح پس از نایلون‌کشی کرت‌های مجاور برای عدم اختلاط تیمارها انجام گرفت.

پس از حذف یک متر از ابتدا و انتهای هر کرت آزمایشی به‌عنوان اثر حاشیه‌ای، در انتهای مرحله گلدهی نمونه‌برداری از کرت‌ها صورت گرفت و از هر کرت ده بوته به‌طور تصادفی برداشت شد. برای تعیین ارتفاع، وزن تر و خشک و اندام هوایی گیاه از ردیفی که درون منطقه نمونه‌برداری بود، ۱۰ بوته

جدول ۱- برخی مشخصات آب‌وهوایی یاسوج در فصل زراعی سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۳۹۹

سال زراعی	ماه‌های سال	حداکثر دمای ماهیانه (درجه سانتی‌گراد)	حداکثر رطوبت ماهیانه (درصد)	بارش ماهیانه (میلی‌متر)
۱۳۹۸-۱۳۹۷	اسفند	۱۳/۹	۴۲	۱۱۲/۳
	فروردین	۱۵/۶	۳۷	۶/۳
	اردیبهشت	۱۸/۳	۴۶	۲/۲
	خرداد	۳۱/۴	۲۸	۰
	تیر	۳۴/۵	۱۷	۰
	مرداد	۳۹/۱	۱۸	۰
	شهریور	۳۱/۵	۲۱	۰
۱۳۹۹-۱۳۹۸	اسفند	۱۴/۵	۴۶	۱۴۵/۶
	فروردین	۱۵/۷	۴۲	۱۰/۵
	اردیبهشت	۱۷/۸	۳۴	۱/۹
	خرداد	۲۹	۳۰	۰
	تیر	۳۴/۲	۲۱	۰
	مرداد	۳۸	۲۲	۰
	شهریور	۳۱	۲۰	۰

جدول ۲- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش

هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	pH	درصد مواد خنثی‌شونده	درصد رطوبت گل اشباع	کربن آلی (درصد)	نیتروژن کل (درصد)	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	رس	سیلت	شن	بافت خاک
۰/۴	۷/۵	۱۲	۵۵	۰/۹	۰/۰۹	۱۰	۱۹۳	۴۰	۳۳	۲۴	Clay-Loam

بطور تصادفی انتخاب شده و ارتفاع گیاه یادداشت شد. استخراج ریشه پس از انجام آبیاری و در زمان مرطوب بودن خاک انجام شد. برای این منظور پس از حفر اطراف بوته، ابتدا عرض و عمق ریشه به سانتی‌متر در مزرعه اندازه‌گیری و سپس نمونه برای شستشوی اولیه به بیرون مزرعه حمل شد. عمل شستشو در دو مرحله شامل، گرفتن گل‌های اضافی در جوی آبیاری مزرعه و سپس شستشوی کامل در آزمایشگاه بود (ابراهیم‌زاده و حسن‌لی، ۱۳۸۷). سپس برای تعیین وزن تر ریشه و وزن تر اندام هوایی گیاهان در انتهای مرحله گلدهی توزین شدند و برای تعیین وزن خشک ریشه و اندام هوایی گیاه به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد داخل آون قرار گرفت.

برای اندازه‌گیری درصد اسانس اندام هوایی از روش تقطیر با استفاده از دستگاه کلونجر استفاده شد. بدین منظور در گلدهی کامل از هر کرت یک نمونه ۳۰ گرمی کاملاً خرد در بالن ۱۰۰۰ میلی‌لیتر ریخته و به آن ۵۰۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر اضافه گردید و سه ساعت حرارت داده شد. سپس با استفاده از ترازوی آزمایشگاهی با دقت ۰/۰۰۰۱ اسانس اندازه‌گیری گردید (Pharmacopoeia, 1998).

به‌منظور اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و مالون دی‌آلدئید، نیاز به تهیه محلول حاوی عصاره آنزیمی بود در گلدهی کامل ابتدا ۰/۱ گرم از بافت برگ تازه را پس از شستشو با آب‌مقطر، با یک میلی‌لیتر محلول کلرید پتاسیم ۰/۸ مولار (با افزودن ۰/۶ گرم کلرید پتاسیم جامد به ۱۰ میلی‌لیتر محلول بافر فسفات ۰/۱ مولار با pH=۶/۸، محلول کلرید پتاسیم ۰/۸ مولار تهیه گردید) در هاون چینی ساییده و مخلوط حاصل با سرعت ۷۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ۱۰ دقیقه با استفاده از سانتریفوژ یخچالدار Vision مدل VS-15000 CFN II سانتریفوژ گردید و مایع فوقانی به‌عنوان عصاره خام حاوی آنزیم مورد استفاده قرار گرفت به‌منظور حفظ فعالیت آنزیم، تمامی مراحل استخراج آنزیم در ظرف یخ انجام گرفت (Sudhakar *et al.*, 2001).

برای اندازه‌گیری آنزیم کاتالاز از روش Chance و Maehly (۱۹۹۵) استفاده شد. مخلوط واکنش شامل ۰/۸۱ میلی‌لیتر بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار با pH=۶/۶، ۲۰ میکرولیتر پروتئین محلول نمونه و ۹۰ میکرولیتر گوئیکول ۱٪ به‌عنوان الکترون‌دهنده مورد استفاده قرار گرفت. مخلوط واکنش در کووت ریخته شد و قبل از اندازه‌گیری سرعت واکنش، ۹۰ میکرولیتر پراکسید هیدروژن ۰/۳ درصد به‌عنوان پذیرنده الکترون به مخلوط واکنش اضافه شد و مقدار جذب در طول‌موج ۴۷۰ نانومتر به‌مدت ۶۰ ثانیه در ۲۵ درجه سانتی‌گراد با استفاده از اسپکتروفتومتر مدل UV/۱۱۰۰ اندازه‌گیری شد. مقدار فعالیت آنزیم کاتالاز برحسب میلی‌گرم پروتئین محلول در دقیقه ($U/mg_{Pro}.min$) محاسبه شد.

سنجش فعالیت پراکسیداز به روش Mac-Adam و همکاران (۲۰۱۲) صورت گرفت. به‌منظور اندازه گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز، پس از تهیه عصاره آنزیمی، در ابتدا ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیم،۳ میلی‌لیتر محلول بافر فسفات ۰/۱ مولار و ۵۰ میلی‌لیتر گایاکول و سپس ۵۰ میکرولیتر هیدروژن پراکسید ۳ درصد اضافه شد و بلافاصله تغییرات جذب نوری در طول‌موج ۴۳۶ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر مدل UV/۱۱۰۰ در فواصل زمانی ۱۵ ثانیه به‌مدت ۳ دقیقه ثبت گردید. مقدار فعالیت آنزیم پراکسیداز برحسب میلی‌گرم پروتئین محلول در دقیقه ($U/mg_{Pro}.min$) محاسبه شد.

برای تعیین میزان مالون دی‌آلدئید در گلدهی کامل ۰/۲ گرم از بافت تازه برگی توزین و در هاون چینی با ۵ میلی‌لیتر اسید تری کلرواستیک (TCA) ۰/۱ ٪ ساییده شد. عصاره حاصل به‌مدت ۵ دقیقه سانتریفوژ شد و یک میلی‌لیتر از محلول رویی حاصل، ۴/۵ میلی‌لیتر محلول TCA ۲۰٪ که دارای ۵ گرم اسید تیوباربیتوریک (TBA) در ۱۰۰ گرم بود، اضافه شد. مخلوط حاصل به‌مدت ۱۰ دقیقه با ۴۰۰۰ دور (۱۰۰۰ g) سانتریفوژ گردید. شدت جذب این محلول با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۳۲ نانومتر خوانده شد. ماده مورد نظر برای جذب در این طول‌موج کمپلکس قرمز (MDA-TBA) است. جذب بقیه رنگیزه‌های غیراختصاصی در ۶۰۰ نانومتر تعیین گردید. (Aebi, 1974).

برای انجام تجزیه واریانس مرکب داده‌ها از نرم‌افزار (SAS 9.1) استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد انجام پذیرفت و شکل‌ها با نرم‌افزار اکسل رسم گردید.

نتایج

ارتفاع بوته: تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که تأثیر تیمارهای سال، تنش خشکی، اسید سالیسیلیک و سایکوسل و اثرات متقابل آنها در سطح احتمال یک درصد بر ارتفاع بوته معنی‌دار بود (جدول ۳). در تیمار ۹۰٪ ظرفیت مزرعه میزان ارتفاع بوته بیش از ۲۹ درصد کاهش پیدا کرد. اعمال تیمار سالیسلیک اسید و سایکوسل به‌ترتیب سبب افزایش بیش از ۱۲ درصدی و کاهش ۲۰ درصدی ارتفاع بوته گردید (جدول ۴). اثرات متقابل تیمارهای آزمایش نشان داد که درصد افزایش ارتفاع بوته در تیمار ۳۵٪ ظرفیت مزرعه به‌همراه محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک بود ۷۸٪ نسبت به تیمار ۹۰٪ ظرفیت مزرعه همراه با محلول‌پاشی سایکوسل بیشتر بود (شکل ۱).

جدول ۳- میانگین مربعات صفات مورد مطالعه در گیاه بادرنجبویه طی دو سال آزمایش

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع گیاه	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه
سال	۱	۱۷۸/۹*	۷۱۷**	۵۳۶/۴**	۵۸۶/۴**	۳۷۸/۲**
تکرار در سال	۴	۹۶/۲	۵۸۸/۸	۴۰۹/۵	۴۴۱	۲۳۸/۲
تنش	۲	۳۲۰/۷*	۱۱۰۷/۴**	۸۷۰/۷*	۶۸۱/۳**	۵۰۹/۵*
سال × تنش	۲	۶۶ns	۶۶۰/۷**	۵۳۸/۴**	۵۲۳/۱ns	۳۶۶/۲ns
سال × تنش × تکرار	۶	۲۷/۴	۴۰۰/۵	۲۷۲/۸	۲۶۱/۲	۱۳۵/۷
اسید سالیسیلیک	۱	۲۸۵/۶**	۶۱۹/۴*	۴۹۹/۸**	۴۷۳/۷*	۳۶۱*
سال × اسید سالیسیلیک	۱	۱۰۹/۸*	۸۴/۶**	۴۶/۷**	۲۳/۶*	۱۷/۵**
تنش × اسید سالیسیلیک	۲	۳۰۹/۵**	۳۷۱/۹**	۱۵۰/۲**	۴۴۲/۵**	۲۷۵/۲**
سال × تنش × اسید سالیسیلیک	۲	۲۷۱/۹**	۳۲۲/۶**	۱۰۸**	۲۱۵/۷**	۷۲/۴**
خطا	۱۲	۱۷۲/۶	۸۷/۳	۲۹/۴	۶۰	۳۱/۶
سایکوسل	۱	۱۹۶/۲**	۷۲۹/۶**	۵۳۳/۲**	۲۹۴/۳**	۲۲۰/۵**
سال × سایکوسل	۱	۱۲۰/۳ns	۱۰۷/۸*	۸۵/۸*	۳۵/۴*	۵۶/۲*
تنش × سایکوسل	۲	۳۷۷/۲**	۴۷۳/۲**	۴۶۰**	۳۲۶/۳**	۲۳۸/۲**
سال × سایکوسل × تنش	۲	۹۹/۱*	۱۲۰/۷*	۱۳۲**	۸۰/۵*	۴۵/۹**
اسید سالیسیلیک × سایکوسل	۱	۲۵۵/۶**	۷۱۵/۸**	۴۲۵/۳**	۲۲۸/۲**	۱۷۰/۱**
سال × اسید سالیسیلیک × سایکوسل	۱	۷۷/۳*	۳۰۸/۲**	۲۷۳/۵**	۱۹۰/۸*	۹۲/۳**
تنش × اسید سالیسیلیک × سایکوسل	۲	۱۶۲/۷**	۵۵۹/۸**	۴۹۷/۵**	۲۱۵/۶**	۱۲۵/۷**
سال × تنش × اسید سالیسیلیک × سایکوسل	۲	۱۰۵/۱*	۲۹۵/۴**	۲۳۳/۶**	۸۸/۴*	۶۳**
خطا	۲۴	۴۷/۶	۱۸۵/۱	۱۰۷/۹	۱۰۸/۳	۷۶/۵
ضریب تغییرات		۱۳/۶۹	۱۵/۹۴	۱۲/۲	۱۳/۶۱	۱۴/۱۷

*** و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و ns غیرمعنی‌دار**

وزن تر و خشک اندام هوایی: نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که تأثیر تیمارهای سال، تنش خشکی، اسید سالیسیلیک و سایکوسل و اثرات متقابل آنها در سطح یک درصد بر وزن تر و خشک اندام هوایی بادرنجبویه معنی‌دار است (جدول ۳). با افزایش شدت تنش خشکی، وزن تر و خشک اندام هوایی کاهش یافت، بطوریکه بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی مربوط به تیمار شاهد بود و تنش خشکی به‌ترتیب سبب کاهش بیش از ۴۹ درصدی و ۵۶/۵ درصدی در وزن خشک و وزن تر اندام هوایی گردید. اعمال تیمار سالیسلیک اسید و سایکوسل به‌ترتیب سبب افزایش معنی‌دار ۱۳/۹ درصدی و ۸/۵ درصدی وزن تر اندام هوایی و افزایش ۱۵ و ۸/۶ درصدی در وزن خشک اندام هوایی در این دو تیمار گردید (جدول ۴). در بررسی اثرات متقابل تیمارهای آزمایش بر این صفت نیز، بیشترین وزن تر(۲۱۵/۷ گرم در بوته) و خشک (۱۱۱/۶ گرم بر وزن بوته) اندام هوایی متعلق به تیمار ۳۵٪ ظرفیت مزرعه به‌همراه محلول‌پاشی با سایکوسل و اسید سالیسیلیک بود و کمترین وزن تر (۹۰/۵ گرم در بوته) و وزن خشک (۴۴/۵ گرم در بوته) مربوط به تیمار برهمکنش تیمار ۹۰٪ ظرفیت مزرعه بدون محلول‌پاشی با سایکوسل و اسید سالیسیلیک بود (شکل ۲ و ۳).

وزن تر و خشک ریشه: نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که تأثیر تیمارهای سال، تنش خشکی، اسید سالیسیلیک و سایکوسل و اثرات متقابل آنها در سطح یک درصد بر وزن تر و خشک ریشه بادرنجبویه معنی‌دار بود

ادامه جدول ۳-

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد اسانس	درصد اسانس	کاتالاز	پراکسیداز	مالون دی‌آلدئید
سال	۱	۱۴/۶**	۰/۰۱۸**	۲/۳**	۵/۹**	۰/۱۵**
تکرار در سال	۴	۱۱/۵	۰/۰۰۶	۲/۸	۹/۱	۰/۰۶
تنش	۲	۲۲/۳**	۰/۰۴**	۹۲/۴**	۵۷/۲**	۰/۲۹**
سال × تنش	۲	۱۰/۹**	۰/۰۰۷ns	۰/۷**	۲/۶**	۰/۰۰۶**
سال × تنش × تکرار	۶	۵/۸	۰/۰۰۳	۲/۵	۱۱/۵	۰/۰۰۲
اسید سالیسیلیک	۱	۷/۱۱**	۰/۰۲**	۶/۴**	۱۵/۶**	۰/۰۸**
سال × اسید سالیسیلیک	۱	۲/۹*	۰/۰۰۲*	۱/۲**	۲/۸**	۰/۰۰۵**
تنش × اسید سالیسیلیک	۲	۴**	۰/۰۲۸**	۱۱/۹**	۸/۵**	۰/۰۳**
سال × تنش × اسید سالیسیلیک	۲	۳/۱**	۰/۰۰۲**	۰/۶**	۱/۹**	۰/۰۰۵**
خطا	۱۲	۲/۶۵	۰/۰۲	۱۰/۳	۸/۶	۰/۰۰۱
سایکوسل	۱	۱۳/۸**	۰/۰۰۷**	۳/۲**	۹/۲**	۰/۰۵۲**
سال × سایکوسل	۱	۶/۴**	۰/۰۰۳**	۰/۸**	۱/۷**	۰/۰۲**
تنش × سایکوسل	۲	۱۸/۳**	۰/۰۱۴**	۸/۲**	۱۴/۱**	۰/۵۵**
سال × سایکوسل × تنش	۲	۶/۵**	۰/۰۳۲**	۲/۷**	۵/۱**	۰/۰۰۹**
اسید سالیسیلیک × سایکوسل	۱	۱۳/۲**	۰/۰۵**	۱۷/۸**	۲۶/۶**	۰/۰۷**
سال × اسید سالیسیلیک × سایکوسل	۱	۴/۷**	۰/۰۷**	۵/۱**	۱۲/۳**	۰/۲۵**
تنش × اسید سالیسیلیک × سایکوسل	۲	۱۵/۶**	۰/۰۴۶**	۲۶/۸**	۵۴/۷**	۰/۰۳۸**
سال × تنش × اسید سالیسیلیک × سایکوسل	۲	۶/۳**	۰/۰۲۴**	۸/۲**	۱۶/۱**	۰/۱۱**
خطا	۲۴	۷/۴	۰/۲۳	۹/۱	۵/۲	۰/۳
ضریب تغییرات		۱۲/۲	۱۷/۷۳	۱۰/۵	۱۱/۵۴	۱۲/۷۵

*** و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و ns غیرمعنی‌دار**

جدول ۴- نتایج مقایسه میانگین تیمارهای مورد بررسی بر صفات مورد مطالعه

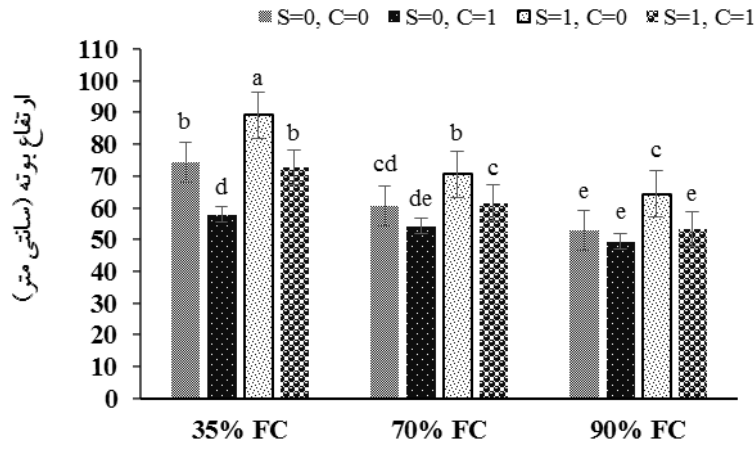
تیمار	سطوح مختلف تیمار	ارتفاع گیاه (سانتیمتر)	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه
			(گرم در بوته)			
تنش	۳۵٪ ظرفیت مزرعه	۷۸/۸a	۱۷۵/۴a	۹۶/۷a	۱۲۱/۷a	۵۷/۲a
	۷۰٪ ظرفیت مزرعه	۶۶/۵b	۱۳۰/۳b	۶۸b	b۸۵/۴۲	۳۲/۸b
	۹۰٪ ظرفیت مزرعه	۵۵/۶c	۸۸/۹c	۴۲/۱b	۶۵/۹c	۲۶/۳c
سالیسیلیک اسید	عدم محلول‌پاشی	۷۶/۵b	۱۸۰/۴b	۹۳/۵b	۱۱۸/۸b	۵۵/۲b
	محلول‌پاشی	۸۶/۴a	۲۰۵/۶a	۱۰۷/۷a	۱۵۶/۲a	۶۱/۵a
سایکوسل	عدم محلول‌پاشی	۷۵/۱a	۱۸۳/۱b	۹۴/۳b	۱۲۰/۵b	۵۸/۶b
	محلول‌پاشی	۵۹/۸b	۱۹۸/۶a	۱۰۲/۴a	۱۴۰/۶a	۶۷a

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن ندارد.

ادامه جدول ۴-

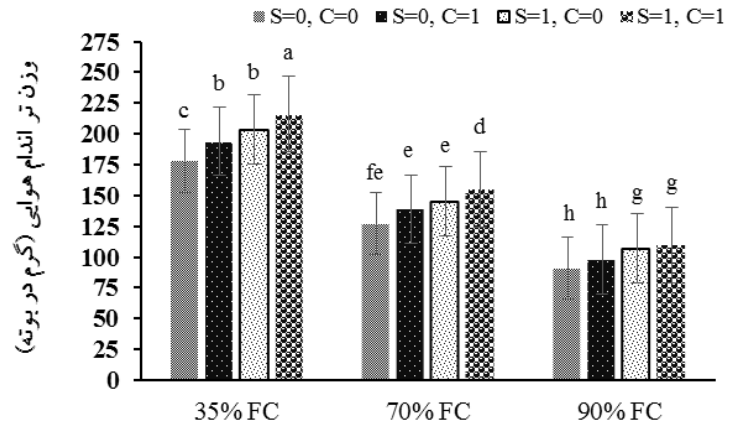
تیمار	سطوح مختلف تیمار	عملکرد اسانس (کیلوگرم در هکتار)	درصد اسانس	کاتالاز (میلی‌گرم پروتئین محلول در دقیقه)	پراکسیداز (میلی‌گرم پروتئین محلول در دقیقه)	مالون دی‌آلدئید (میلی‌گرم پروتئین محلول در دقیقه)
تنش	۳۵٪ ظرفیت مزرعه	۴/۴^{a}	۰/۲^{a}	۶/۸^{c}	۳۴/۲^{c}	۴/۱^{c}
	۷۰٪ ظرفیت مزرعه	۵/۱^{a}	۰/۲۶^{b}	۹/۱^{b}	۴۵/۸^{b}	۵/۸^{b}
	۹۰٪ ظرفیت مزرعه	۳/۵^{c}	۰/۱۷^{c}	۱۱/۸^{a}	۵۶/۵^{a}	۷/۴^{a}
سالیسیلیک اسید	عدم محلول‌پاشی	۳/۹^{a}	۰/۱۹^{b}	۶/۳^{b}	۳۶/۲^{b}	۲/۹^{b}
	محلول‌پاشی	۵/۱^{a}	۰/۲۸^{a}	۸/۵^{a}	۴۷/۵^{a}	۴/۴^{a}
سایکوسل	عدم محلول‌پاشی	۴/۲^{b}	۰/۲۱	۶/۷^{a}	۳۳/۳^{b}	۳/۶^{b}
	محلول‌پاشی	۵^{a}	۰/۲۴	۷/۷^{a}	۳۹/۴^{a}	۴/۱^{a}

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن ندارد.

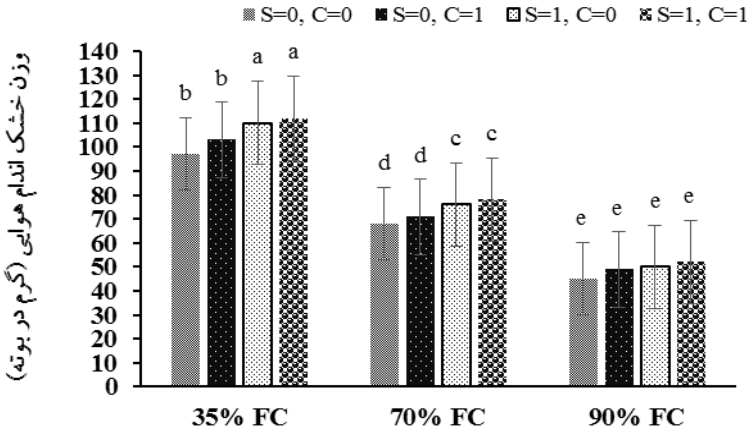


شکل ۱- مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای آزمایش بر ارتفاع بوته. ستون‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند. S = سالیسیلیک اسید و C= سایکوسل

(جدول ۳). با افزایش شدت تنش، وزن تر و خشک ریشه کاهش یافت، بطوریکه بیشترین وزن تر و خشک ریشه مربوط به تیمار شاهد بود، و به‌ترتیب باعث کاهش ۴۵/۹ و ۵۴ درصدی وزن تر و خشک ریشه نسبت به تیمار شاهد شد. اعمال تیمار سالیسلیک اسید به‌ترتیب سبب افزایش معنی‌دار ۳۱/۵ و ۱۱/۴ درصدی وزن تر و خشک ریشه گردید. همچنین اعمال تیمار سایکوسل به‌ترتیب سبب افزایش معنی دار ۱۶/۷ و ۱۴/۴ درصدی وزن تر و خشک ریشه نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۴). نتایج اثرات متقابل تیمارهای آزمایش بر صفت وزن تر و خشک ریشه نشان داد که بیشترین میزان وزن تر (۱۷۲/۳ گرم) و خشک (۸۳/۶ گرم) ریشه متعلق به تیمار ۳۵٪ ظرفیت مزرعه به‌همراه محلول‌پاشی با سایکوسل و اسید سالیسیلیک بود. کمترین میزان وزن تر (۶۶/۷ گرم) و خشک (۲۴/۵ گرم) ریشه هر بوته مربوط به تیمار برهمکنش تیمار ۹۰٪ ظرفیت مزرعه بدون محلول‌پاشی با سایکوسل و اسید سالیسیلیک بود (شکل ۴ و ۵).



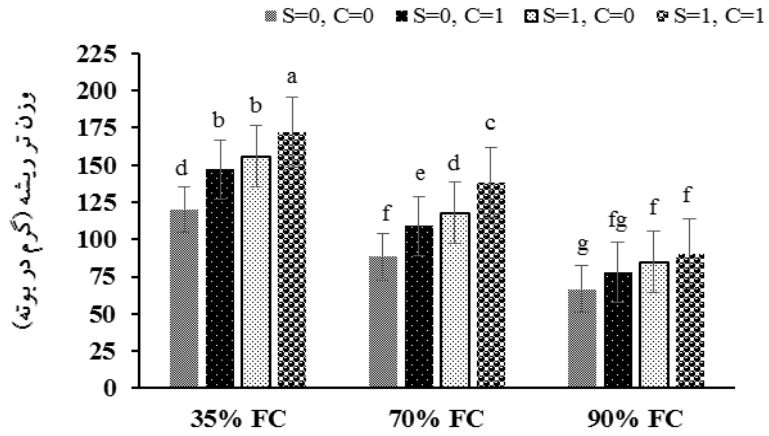
شکل ۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای آزمایش بر وزن تر اندام هوایی. ستون‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.S = سالیسیلیک اسید و C= سایکوسل



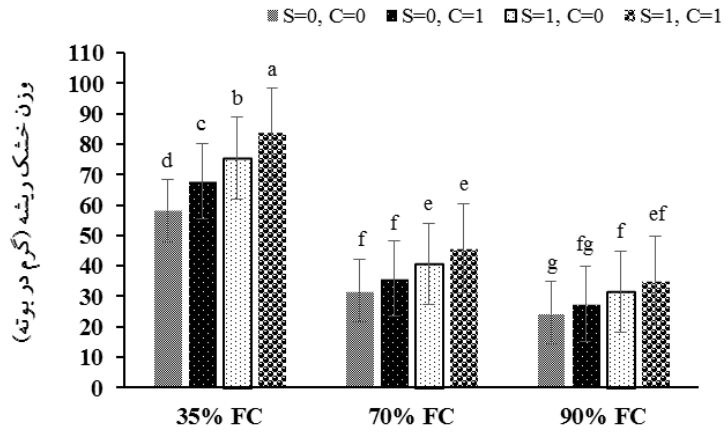
شکل ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای آزمایش بر وزن خشک اندام هوایی. ستون‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند. S= سالیسیلیک اسید و C= سایکوسل

عملکرد اسانس: نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که تأثیر تیمارهای سال، تنش خشکی، اسید سالیسیلیک و سایکوسل و اثرات متقابل آنها در سطح یک درصد بر عملکرد اسانس بادرنجبویه معنی‌دار بود (جدول ۳). تیمار ۹۰٪ ظرفیت مزرعه سبب کاهش معنی‌دار ۳۱/۸ ٪ عملکرد اسانس گیاه شد. اعمال تیمار سایکوسل و سالیسلیک اسید به‌ترتیب سبب افزایش معنی‌دار ۱۸/۹ و ۱۳/۸درصدی عملکرد اسانس نسبت به تیمار شاهد گردید (جدول ۴). اثرات متقابل تیمارهای آزمایش نشان داد که بیشترین عملکرد اسانس (۸۱ کیلوگرم در هکتار) متعلق به تیمار ۳۵٪ ظرفیت مزرعه به‌همراه محلول‌پاشی با سایکوسل و اسید سالیسیلیک بود. کمترین میزان آن (۴۶ کیلوگرم در هکتار) نیز مربوط به تیمار برهمکنش تیمار ۹۰٪ ظرفیت مزرعه بدون محلول‌پاشی با سایکوسل و اسید سالیسیلیک بود (شکل ۶).

درصد اسانس: تأثیر تیمارهای سال، تنش خشکی، اسید سالیسیلیک و سایکوسل و اثرات متقابل آنها در سطح یک درصد بر میزان درصد اسانس معنی‌دار بود (جدول ۳). اعمال تنش خشکی ملایم سبب افزایش معنی‌دار درصد اسانس شد، بطوریکه در تیمار ۷۰٪ ظرفیت مزرعه میزان درصد اسانس ۳۰٪ نسبت به تیمار شاهد افزایش پیدا کرد ولی در تیمار ۹۰٪



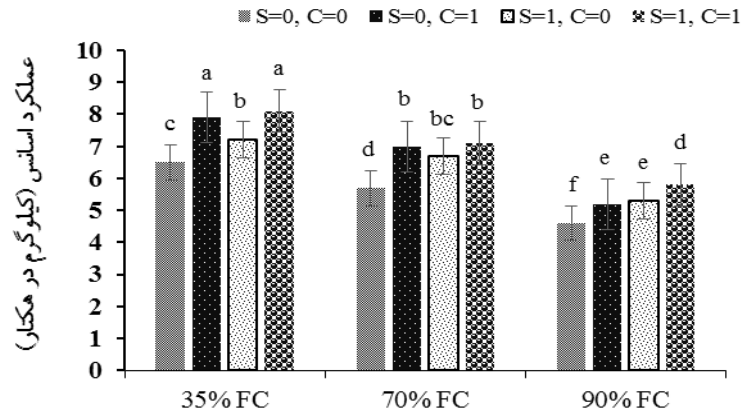
شکل ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای آزمایش بر وزن تر ریشه. ستون‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند. S= سالیسیلیک اسید و C= سایکوسل



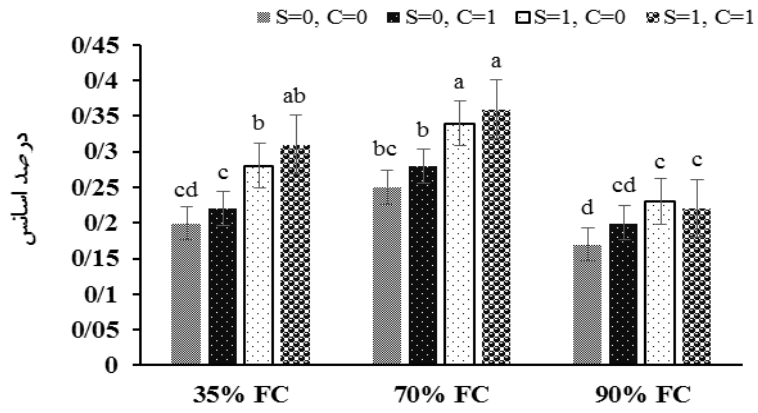
شکل ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای آزمایش بر وزن خشک ریشه. ستون‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند. S= سالیسیلیک اسید و C= سایکوسل

ظرفیت مزرعه، میزان درصد اسانس کاهش معنی‌دار ۱۵٪ پیدا کرد. اعمال تیمار اسید سالیسیلیک و سایکوسل به‌ترتیب سبب افزایش ٪۴۷/۳ و ٪۱۴/۳ میزان درصد اسانس نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۴). اثرات متقابل تیمارهای آزمایش بر صفت درصد اسانس نشان داد که بیشترین میزان درصد اسانس (٪۰/۳۶) متعلق به تیمار ۷۰٪ ظرفیت مزرعه به‌همراه محلول‌پاشی با سایکوسل و اسید سالیسیلیک بود، و کمترین میزان درصد اسانس (٪۰/۱۷) مربوط به تیمار برهمکنش تیمار ۹۰٪ ظرفیت مزرعه بدون محلول‌پاشی با سایکوسل و اسید سالیسیلیک بود (شکل ۷).

میزان آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و مالون دی‌آلدئید: نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که تأثیر تیمارهای سال، تنش خشکی، اسید سالیسیلیک و سایکوسل و اثرات

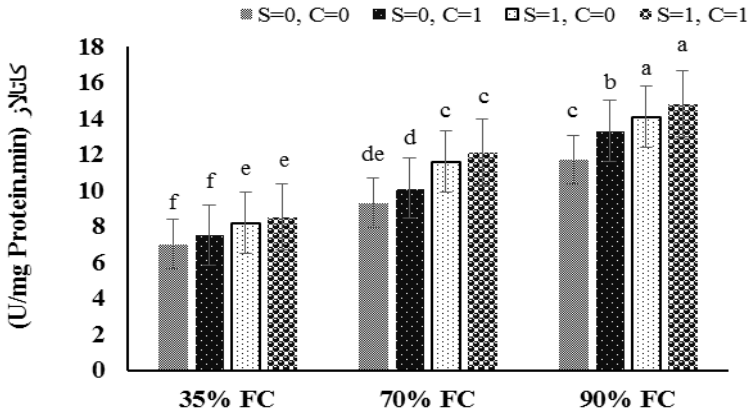


شکل ۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای آزمایش بر عملکرد اسانس. ستون‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.S = سالیسیلیک اسید و C= سایکوسل

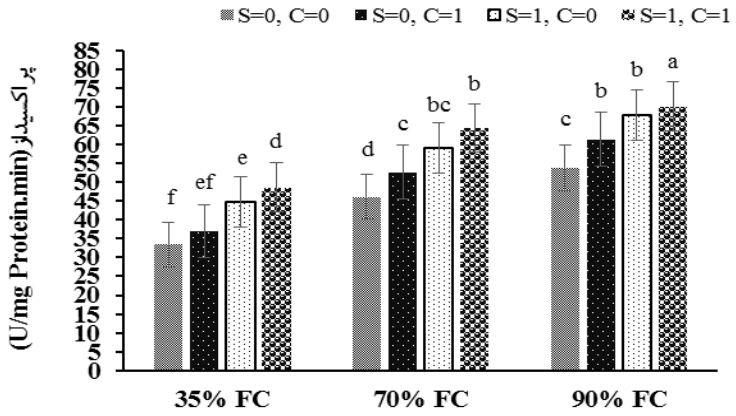


شکل ۷- مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای آزمایش بر میزان درصد اسانس. ستون‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند. S= سالیسیلیک اسید و C= سایکوسل

متقابل آنها در سطح یک درصد بر میزان آنزیم‌های فوق معنی-دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش شدت تنش، میزان آنزیم‌های فوق افزایش محسوسی پیدا می-کند، بطوریکه بیشترین میزان کاتالاز، پراکسیداز و مالون دی-آلدئید مربوط به تیمار ۹۰٪ ظرفیت مزرعه، به‌ترتیب سبب افزایش ۶۵، ۷۰ و ۸۰ درصدی به‌ترتیب در آنزیم کاتالاز، پراکسیداز و مالون دی‌آلدئید گردید. اعمال تیمار سالیسلیک اسید سبب افزایش معنی‌دار ۳۰، ۳۱ و ۳۴ درصدی کاتالاز، پراکسیداز و مالون دی‌آلدئید گردید. همچنین اعمال تیمار سایکوسل سبب افزایش معنی‌دار ۱۰، ۱۵ و ۱۲ درصدی کاتالاز پراکسیداز و مالون دی‌آلدئید نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۴). براساس نتایج اثرات متقابل، بیشترین میزان کاتالاز (۱۴/۱۸ پراکسیداز (۷۰/۲ واحد بر میلی‌گرم) و مالون دی‌آلدئید (۷/۶ میکرومول بر گرم وزن تر) متعلق به تیمار ۹۰٪ ظرفیت مزرعه به‌همراه محلول‌پاشی با سایکوسل و اسید سالیسیلیک بود، و کمترین میزان کاتالاز (۷ واحد بر میلی‌گرم بر پروتئین) پراکسیداز (۳۳ واحد بر میلی‌گرم بر پروتئین) و



شکل ۸- مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای آزمایش بر کاتالاز. ستون‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند. S =سالیسیلیک اسید و C= سایکوسل

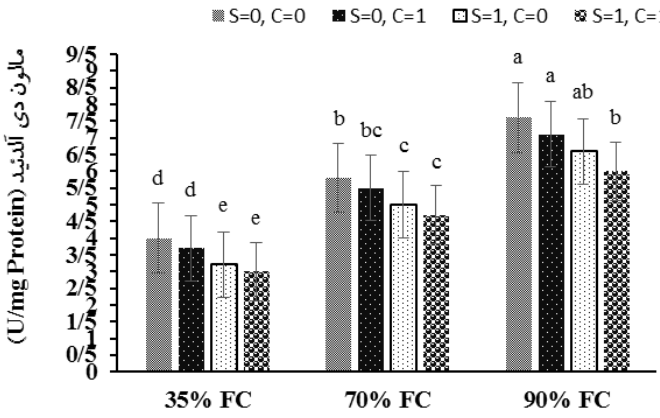


شکل ۹- مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای آزمایش بر پراکسیداز. ستون‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند. S = سالیسیلیک اسید و C= سایکوسل

مالون دی‌آلدئید (۳ میکرومول بر گرم وزن تر) نیز مربوط به تیمار برهمکنش تیمار ۳۵٪ ظرفیت مزرعه بدون محلول‌پاشی با سایکوسل و اسید سالیسیلیک بود (شکل ۸، ۹ و ۱۰).

بحث

نتایج مطالعه نشان داد که تنش خشکی سبب کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی، ریشه، ارتفاع، عملکرد و درصد اسانس شد. نتایج مشابهی نیز توسط برخی پژوهشگران گزارش شده است که یافته‌های پژوهش را تأیید می‌کند (ارجی و همکاران، ۱۳۸۲). نتایج مشابهی نیز در بررسی اثر اسید سالیسیلیک و سایکوسل بر ویژگی‌های زراعی گیاهان بدست آمده که بیانگر بهبود عملکرد گیاه در شرایط تنش بود، که با نتایج بدست آمده مطابقت داشت (مهربانی مقدم و همکاران ۱۳۹۰؛ دلاوری پاریزی و همکاران، ۱۳۹۱ ;Jami *et al.*, 2015). در مطالعه بر روی گیاه لوبیای چشم بلبلی، افزایش ارتفاع بوته در اثر کاربرد اسید سالیسیلیک گزارش شده است که با نتایج بدست آمده در این پژوهش مطابقت دارد (شکاری و همکاران، ۱۳۸۹؛ حق‌جو و بحرانی، ۱۳۹۷). سایکوسل با اختلال در مسیر بیوسنتز



شکل ۱۰- مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای آزمایش بر مالون دی‌آلدئید. ستون‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند. S= سالیسیلیک اسید و C= سایکوسل

جیبرلیک منجر به کاهش سطوح کائورن (پیش‌ماده سنتز جیبرلیک اسید) و درنتیجه کاهش سطوح جیبرلین در گیاه می‌گردد و ارتفاع گیاه را کاهش می‌دهد (Khalilzadeh *et al.*, 2018). نتایج‌این تحقیق مبنی بر کاهش معنی‌دار ارتفاع گیاه، با محلول‌پاشی سایکوسل در شرایط تنش خشکی با نتایج Khalilzadeh و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت داشت.

اسید سالیسیلیک از طریق افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو و افزایش کلروفیل، میزان فتوسنتز کل را افزایش می‌دهد و در نتیجه موجب افزایش وزن خشک گیاه می‌گردد (Singh and Usha, 2003). گزارش شده است که اسید سالیسیلیک طویل‌شدن و تقسیم سلولی را به‌همراه مواد دیگری از قبیل اکسین تنظیم نماید. همچنین اسید سالیسیلیک در سنتز پروتئین‌های خاصی بنام پروتئین کیناز نقش دارد، که این پروتئین‌ها نقش مهمی در تنظیم تقسیم، تمایز و ریخت‌زایی سلول دارند (Naderi *et al.*, 2015).

به نظر می‌رسد که در شرایط تنش، فراورده‌های فتوسنتز بیشتری به ریشه‌ها تخصیص داده شده و وزن تر ریشه‌ها افزایش می‌یابد. گیاه برای رویارویی با تنش آبی، از طریق افزایش وزن ریشه تا حدودی با کمبود آب مقابله می‌کند ولی درنهایت با تشدید تنش آبی، رشد رویشی اندام هوایی و ریشه‌ها کاهش می‌یابد (Hassani and Omidbaigi, 2006). افزایش رشد ریشه و برگ‌های گیاه بابونه آلمانی تحت تأثیر اسید سالیسیلیک مشاهده شد که با نتایج بدست آمده در این تحقیق مطابقت دارد (Kovacik *et al.*, 2009). سایکوسل با افزایش تعداد بقای پنجه و همچنین سطح برگ، موجب فتوسنتز بیشتر شده و مواد پرورده بیشتری به سمت ریشه‌ها انتقال می‌یابد که نتیجه آن افزایش وزن ریشه است (امام و همکاران، ۱۳۸۰). افزایش عملکرد و کارایی مصرف آب در شرایط تنش را به افزایش رشد ریشه، کاهش هدایت روزنه‌ای و تعرق گیاه در اثر کاربرد سایکوسل نسبت داده شده است (Rajala and Peltonen-Sainio, 2001). سایکوسل به‌دلیل داشتن اثرات تعدیل‌کننده مختلفی مانند بسته‌شدن روزنه‌ها، افزایش محتوای کلروفیل، افزایش غلظت CO_2 و کاهش تعرق، اثرات کاهش رشد و عملکرد را در شرایط تنش خشکی تعدیل می‌کند (پیراسته انوشه و امام، ۱۳۹۱).

با اعمال تنش، ابتدا عملکرد اسانس بالا رفته و با شدیدتر شدن تنش رطوبتی، از مقدار اسانس کاسته می‌شود. گیاهان بسته به گونه گیاه و ژنوتیپ، واکنش‌های متفاوتی به خشکی نشان می‌دهند، بنابراین تنظیم و مدیریت آب در گیاهان دارویی و معطر از نظر تولید اسانس اهمیت زیادی دارد (Rebey *et al.*, 2012). در مطالعه‌ای بر روی گیاه حنا *Lawsonia inermis* نشان داده شد که محلول‌پاشی سایکوسل تحت تنش متوسط نسبت به تیمار بدون تنش و تنش شدید، از اسانس بالاتری برخوردار بودند و تأثیر فزاینده‌ای بر مقدار

عملکرد اسانس داشت، که با نتایج بدست آمده مطابقت دارد (Khandelwal *et al*., 2002).

زمانی که آب و درنتیجه عناصر غذایی در دسترس گیاه است، گیاه کربن را ترجیحاً برای رشد اختصاص می‌دهد ولی با کاهش آب، میزان دسترسی به عناصر غذایی کمتر شده و رشد گیاه محدود می‌شود، و درنتیجه بخش بیشتری از مواد فتوسنتزی به تولید متابولیت‌های ثانویه و اسانس‌ها اختصاص می‌یابد و درنتیجه درصد اسانس در گیاه افزایش می‌یابد (Alipour *et al*., 2021). افزایش درصد اسانس در اثر محلول‌پاشی گیاهان با سالیسیلیک اسید ممکن است در اثر افزایش رشد رویشی و جذب مواد غذایی بیشتر توسط ریشه‌ها و افزایش بیشتر فعالیت فتوسنتزی گیاه و همچنین افزایش در جمعیت غده‌های تولیدکننده و اسانس باشد (Hassan zadeh *et al*., 2016). گزارش شده است که محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در شرایط تنش خشکی سبب افزایش درصد اسانس سیاهدانه گردید اما عملکرد اسانس گیاه کاهش یافت، که علت افزایش درصد اسانس به‌دلیل بیشتربودن تراکم غده‌های اسانس در اثر کاهش سطح برگ ناشی از تنش و تجمع بیشتر اسانس گزارش شد (رضایی چیانه و پیرزاد، ۱۳۹۳).

بطورکلی با توجه نتایج بدست آمده از این آزمایش می‌توان بیان کرد که در شرایط تنش خشکی درصد اسانس افزایش یافت اما عملکرد اسانس به‌علت کاهش وزن تر و وزن خشک بوته کاهش پیدا کرد. همچنین تیمار محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و سایکوسل سبب مقاومت به خشکی گیاه بادرنجبویه گردید و گیاه را قادر به تحمل شرایط نامطلوب کرد. در مجموع نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و سایکوسل می‌تواند نقش مؤثری در جبران کاهش تنش خشکی و افزایش عملکرد اسانس وزن تر و وزن خشک گیاه در گیاه دارویی بادرنجبویه داشته باشد، برای مناطقی با شرایط آب‌وهوایی منطقه مورد مطالعه پیشنهاد می‌شود.

منابع

ابراهیم‌زاده، م.ع. و حسن‌لی، ع. م. (۱۳۸۷) بررسی توسعه ریشه ذرت و تأثیر آن بر کاهش مصرف آب در روش‌های مختلف آبیاری با پساب در دشت نیمه‌خشک کربال در استان فارس. نشریه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک ۱۲: ۸۲-۶۹.

ارجی، ع.، ارزانی، ک. و ابراهیم‌زاده، ح. (۱۳۸۲) مطالعه کمی پرولین و کربوهیدرات‌های محلول در پنج رقم زیتون تحت تنش خشکی. زیست‌شناسی ایران ۴: ۵۹-۴۷.

امام، ی.، تفضلی، ع. و کریمی، ه. (۱۳۸۰) اثر سایکوسل بر رشد و نمو گندم. مجله علوم کشاورزی ایران ۲۷: ۳۰-۲۳.

شکاری، ف.، پاکمهر، آ.، راستگو، م.، وظایفی، م. و قریشی‌نسب، م. ج. (۱۳۸۹) اثر پرایمینگ بذر با اسید سالیسیلیک بر پارهای صفات فیزیولوژیک لوبیا چشم بلبلی *Vigna unguiculata* L. تحت تنش کم آبی در زمان گلدهی. مجله علمی پژوهشی علوم کشاورزی ۴: ۲۹-۱۳.

پیراسته انوشه، ه. و امام، ی. (۱۳۹۱) دست‌ورزی صفات مورفو- فیزیولوژیک گندم نان و گندم ماکارونی با استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد در شرایط متفاوت آبیاری. مجله تولید و فراوری محصولات زراعی و باغی ۲: ۴۶-۲۹.

رضایی چیانه، ا. و پیرزاد، ع. (۱۳۹۳) اثر سالیسیلیک اسید بر عملکرد، اجزای عملکرد و اسانس سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) در شرایط تنش کم آبی. پژوهش‌های زراعی ایران ۱۲: ۴۳۷-۴۲۷.

جلالوند، ع.، اندلیبی، ب.، توکلی، ا. و مرادی، پ. (۱۳۹۸) تأثیر سالسیلیک اسید و سایکوسل بر درصد و عملکرد اسانس و ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه بادرنجبویه (*Dracocephalum moldavica* L.) در شرایط تنش خشکی. تنش‌های محیطی در علوم زراعی ۱۲: ۸۷۶-۸۶۵.

حق‌جو، م. و بحرانی، ع. (۱۳۹۷) تأثیر پیش‌تیمارهای سالسیلیک اسید و جیبریک اسید بر تجمع برخی از یون‌ها و شاخص‌های جوانه‌زنی در کلزا تحت تنش شوری. دو فصلنامه علوم به‌زراعی گیاهی ۸: ۳۵-۲۳.

دلاوری پاریزی، م.، باقی‌زاده ا.، انتشاری، ش. و منوچهری کلانتری، خ. (۱۳۹۱) مطالعه تأثیر سالیسیلیک اسید بر مقاومت و القای تنش اکسیداتیو در گیاه ریحان سبز تحت تنش شوری. زیست‌شناسی گیاهی ایران ۴: ۳۶-۲۵.

ظفری، م.، عبادی، ع. و جهانبخش گده کهریز، س. (۱۳۹۷) تأثیر کودهای زیستی بر افزایش پرولین در یونجه تحت تنش کم‌آبی. مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران) ۳۱: ۱۶۵-۱۵۶.

مهربانی مقدم، ن.، آروین، م. ج.، خواجویی‌نژاد، غ. و مقصودی، ک. (۱۳۹۰) اثر اسید سالسیلیک بر رشد و عملکر علوفه و دانه ذرت در شرایط تنش خشکی در مزرعه. مجله به‌زراعی نهال و بذر ۲: ۵۵-۴۱.

Aebi, H. (1974) Catalase. In: Methods of Enzymatic Analysis. (ed. Bergmeyer, H.U.,) Pp. 673-677. Academic Press, New York, USA.

Aliabadi-Farahani, H., Valadabadi, S. A., Daneshian, J. and Khalvati, M. A. (2009) Evaluation changing of essential oil of balm (*Melissa officinalis* L.) under water deficit stress conditions. Journal of Medicinal Plant Research 3: 329-333.

Alipour, A., Rahimi, M. M., Hosseini, M. and Bahrani, A. (2021) Mycorrhizal fungi and growth-promoting bacteria improves fennel essential oil yield under water stress. Industrial Crops and Products 170: 1-11.

Amiri, E., Bahrani, A., Irmak, S. and Mohammadiyan Roshan, N. (2022) Evaluation of irrigation scheduling and yield response for wheat cultivars using Aqua Crop model in an arid climate. Water Supply 22: 602-614.

Chance, B. and Maehly, A. (1955) Assay of catalases and peroxidases. Methods Enzymol 2: 764-775.

El-Lateef Gharib, F. (2006) Effect of salicylic acid on the growth, metabolic activities and oil content of basil and marjoram. International Journal of Agriculture and Biology 8: 485-492.

Ghodrat, V. and Bahrani, A. (2022) Drought tolerance indices in cotton genotypes as affected by different irrigation regimes. Egyptian Journal of Agricultural Research 101: 129-139.

Hassan zadeh, K., Hemmati, K. H. and Alizadeh, M. (2016) Effect of organic and salicylic acid on performance and some secondary metabolites of *Melissa officinalis* L. Plant Breeding Research 20: 107-130.

Hassani, A. and Omidbaigi, R. (2006) Effect of water stress on some morphological and biochemical characteristics of purple basil (*Ocimum basilicum*). Journal of Biological Science 6: 763-767.

Hussein, M. S., El-Sherbeny, S. E., Khalil, M. Y., Naguib, N. Y. and Aly, S. M. (2006) Growth characters and chemical constituents of *Dracocephalum moldavica* L. plants in relation to compost fertilizer and planting distance. Scientia Horticulturae 108: 322-331.

Jami, N., Mousavi Nik, S. M. and Taghizadeh, M. (2015) The effect of drought stress and foliar application with salicylic acid on qualitative and quantitative yield of Black cumin under Kerman climatic conditions. Journal of Crops Improvement 17: 827-840.

Khalilzadeh, R., Seyed Sharifi, R. and Jalilian, J. (2018) Growth, physiological status and yield of salt-stressed wheat (*Triticum aestivum* L.) plants as affected by application of bio fertilizer and cycocel. Arid Land Research and Management 32: 1-18.

Khandelwal, S. K., Guptanarendra, K. and Sahu, M. P. (2002) Effect of plant growth regulators on growth, yield and essential oil production of henna (*Lawsonia inermis* L.). Horticultural Science and Biotechnology 5: 71-77.

Kheirizadeh Arough, Y., Seyed Sharifi, R., Sedghi, M. and Barmaki, M. (2016) Effect of zinc and bio fertilizers on antioxidant enzymes activity, chlorophyll content, soluble sugars and proline in triticale under salinity condition. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca 44: 116-124.

Kovacik, J., Gruz, J., Backor, M., Strand, M. and Repcak, M. (2009) Salicylic acid induced changes to growth and phenolic metabolism in Matricaria chamomilla plant. Plant Cell Reproduction 28: 135-143.

Mac-Adam, J. W., Marasco, R., Rolli, E., Ettoumi, B., Vigani, G., Mapelli, F., Borin, S. and Zocchi, G. (2012) A drought resistance promoting microbiome is selected by root system under desert farming. Public Library of Science 7: e 48479.

Mohtashemi, M., Puriusf, M., Andalibi, B. and Bakhtiari, F. (2015) Effect of spraying and pretreatment with salicylic acid on yield and essential oils of fennel (*Feniculum vulgare* L.) under drought stress conditions. Biomedical Journal of Iranian Herbs and Medicinal Herbs Research 31: 841-852.

Munne, S. and Alegre, L. (2000) The significance of beta carotene, alpha, tocopherol and the xanthophylls cycle in droughted *Melissa officinalis* plant. Journal of Plant Physiology 27: 139-146.

Naderi, N., Haha, H. and Ahmadi, H. (2015) The effect of salicylic acid on some physiological characteristics of coriander (*Coriandurum sativum* L.). Scientific Journal of Ecophysiology of Agricultural Plants 7: 287-305.

Pharmacopoeia, B. (1988) HM Stationery Office: London.

Pirasteh-Anosheh, H., Emam, Y. and Ashraf, M. (2014) Impact of cycocel on seed germination and growth in some commercial crops under osmotic stress conditions. Archives of Agronomy and Soil Science 60: 1277-1289.

Rajala, A. and Peltonen-Sainio, P. (2001) Plant growth regulator effects on spring cereal root and shoot growth. Agronomy Journal 93: 936-943.

Rebey, B. I., Jabri-Karoui, I., Hamrouni-Sellami, I., Bourgou, S., Limam, F. and Marzouk, B. (2012) Effect of drought on the biochemical composition and antioxidant activities of cumin (*Cuminum cyminum* L.) seeds. Industrial Crops and Products 36: 238-245.

Salarpur Ghraba, F. and Frahbakhsh, H. (2016) Effect of salicylic acid on some physiological traits, functional functions of fennel (*Foeniculum vulgare* L.) under drought stress. Biomedical Journal of Iranian Herbs and Medicinal Herbs Research 32: 216-230.

Singh, B. and Usha, K. (2003) Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. Planant Growth Regulation 39: 137-141.

Sudhakar, C., Lakshmi, A. and Giridarakumar, S. (2001) Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) under NaCl salinity. Plant Science 161: 613-619.

Wang, H., Li, Q., Liu, H. S. and Xiao, L. T. (2009) Chlorocholine chloride application effects on photosynthetic capacity and photo assimilates partitioning in potato (*Solanum tuberosum* L.). Scientia Horticulturae 119: 113-116.

Zafar, Z., Rasheed, F., Atif, R. M., Maqsood, M. and Gailing, O. (2021) Salicylic acid-induced morpho-physiological and biochemical changes triggered water deficit tolerance in *Syzygium cumini* L. saplings. Forests 12: 491-508.

Evaluation of cycosel and salicylic acid on growth characteristics, physiologic and essence yield in lemon balm (*Melissa officinalis* L) under water stress

Ardavan Bakhshi Ganjeh, Mohammad Mehdi Rahimi *, Abdolsamad Kelidari

Department of Agronomy, Yasouj Branch, Islamic Azad University, Yasouj
(Received: 25/12/2021, Accepted: 07/03/2022)

Abstract

In order to investigate the effects of salicylic acid and cycocel under drought stress conditions on agronomic and biochemical properties and essential oil of lemon balm, an experiment as a factorial split-plot in a randomized complete block design with three replications was carried out in northwest of Yasuj province during 2019 and 2020. Drought stress as the main factor included 35% (control), 70% and 90% field capacity, and the subplots included cycocel (0 and 1000 µM) and salicylic acid (0 and 1 µM). Results showed that foliar application of salicylic acid and cycocel had significant effect on grain yield, essential oil percentage, plant height, fresh and dry weight of shoot and fresh and dry weight of root and the amount of catalase, peroxidase and malondialdehyde enzymes. The highest yield belonged to irrigation treatment after application of 35% moisture along with foliar application with cyclocel and salicylic acid. Also, the most of essential oil yield belonged to irrigation treatment after consuming 70% moisture along with foliar application with cyclocel and salicylic acid. In general, the results showed that foliar application of salicylic acid and cyclocel caused drought resistance in lemon balm, and therefore it is recommended for areas similar to the climatic conditions of the study.

Keywords: Biomass weight, enzyme, essential oil yield, percentage of essential oil, water stress

Corresponding author, Email: lshabani@gmail.com