تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد چهاردهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۰
۴۱۵-۴۲۴
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.2851.1740

مقاله پژوهشی

بررسی اثر الیسیتورها بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی، درصد و عملکرد اسانس زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

عاطفه سادات موسوی[۱]، معصومه نعیمی[۲*]، عبدالطیف قلی‌زاده[۲]، علی راحمی[۲]
۱. دانشجوی کارشناسی ارشد رشته کشاورزی اکولوژیک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبدکاووس
۲. استادیار گروه تولیدات گیاهی، عضو هیئت‌علمی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبدکاووس

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۷/۰۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۸/۱۹

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر اسید سالیسیلیک و کیتوزان بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکرد اسانس گیاه دارویی زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) در شرایط تنش کم‌آبی، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه گنبدکاووس، به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای موردبررسی شامل دور آبیاری در سه سطح ۷، ۱۴ و ۲۱ روزه به‌عنوان فاکتور اصلی و چهار سطح محلول‌پاشی شامل عدم مصرف الیسیتور (تیمار شاهد: محلول‌پاشی با آب خالص)، محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک (۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، محلول‌پاشی کیتوزان (۵ گرم در لیتر) و تلفیق اسید سالیسیلیک و کیتوزان به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج تحقیق نشان داد اثر متقابل آبیاری و محلول‌پاشی بر صفات محتوای نسبی آب برگ، کمبود اشباع آب برگ و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان معنی‌دار بود. در این پژوهش اعمال تنش کم‌آبی منجر به افزایش درصد اسانس گردید درحالی‌که با کاهش عملکرد اسانس همراه بود و کاربرد الیسیتورها عملکرد اسانس را افزایش داد. نتایج هم‌چنین مشخص کرد کاربرد کیتوزان و اسید سالیسیلیک با هم منجر به افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان تحت تیمار ۱۴ روزه تنش کم‌آبی گردید. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده و تأثیر محلول‌پاشی این دو الیسیتور بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و متابولیتی گیاه، مصرف آن‌ها جهت تولید مواد باارزش دارویی ازجمله اسانس و همچنین ایجاد مقاومت به تنش خشکی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: **آنزیم آنتی‌اکسیدان، تنش خشکی، درصد اسانس، کاتالاز، گیاه دارویی**

مقدمه

گیاهان دارویی در طول تاریخ همیشه مورد مصرف انسان‌ها قرار داشته و آثار دارویی و موارد استفاده آن بر هیچ‌کس پوشیده نیست (Dehghanipoor and Dehghanizadeh, 2013). کشت گیاهان دارویی همانند دیگر زراعت‌ها با مشکلاتی روبه‌رو است، در بسیاری از نقاط دنیا گیاهان اغلب با تنش‌های غیرزیستی مانند شوری، خشکی، بالا و یا پایین بودن دما، مسمومیت با فلزات، ازن، پرتو فرابنفش و علف‌کش-ها مواجه‌اند که تهدید جدی برای تولید گیاهان محسوب می-شود (Ahmad and Prasad., 2012). دراین‌بین، تنش خشکی مهم‌ترین عامل محیطی محدودکننده رشد و نمو گیاهان در سراسر جهان است، به‌طوری‌که کاهش رشد در اثر تنش خشکی به‌مراتب بیشتر از سایر تنش‌های محیطی است (Veisipoor et al., 2012). نتایج پژوهش‌های گوناگون نشان می‌دهد که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار تولید ماده‌ی خشک گیاه و برخی دیگر از صفات زراعی گیاه ازجمله عملکرد و اجزای عملکرد خواهد شد (Aziz et al., 2008; Pirzad et al., 2012; Sani and Aliabadi Farahani, 2010; Shabanzadeh and Galavi, 2011). بحرینی‌نژاد و همکاران (Bahreyni Nejad et al., 2014) افزایش درصد اسانس و کاهش ارتفاع بوته، وزن تر و خشک گیاه و عملکرد

* نگارنده پاسخگو: معصومه نعیمی. پست الکترونیک: naeemi_701@yahoo.com

اسانس آویشن را در شرایط بروز تنش خشکی گزارش کردند. در گیاه پونه تنش خشکی و شوری باعث کاهش صفات رشدی گیاه، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد اسانس شد، ولی درصد اسانس در شرایط تنش افزایش نشان داد (Saljooghian pour and Ebrahimi, 2014).

الیسیتورها ترکیباتی با منشأ زیستی یا غیرزیستی هستند که از طریق القای سیستم دفاعی باعث بیوسنتز و انباشت متابولیتهای ثانویه می‌شوند (Zhao et al., 2005) و از این طریق باعث افزایش تحمل به خشکی گیاه می‌شوند. یکی از جدیدترین این ترکیبات که می‌تواند باعث کاهش اثرات تنش خشکی شود، کیتوزان است (Amiri et al., 2013; Mahdavi et al., 2011) که پلیمری غیر سمی، قابل‌تجزیه در طبیعت و سازگار با محیط‌زیست بوده و به‌طور طبیعی در پوست خرچنگ، میگو و نیز دیواره سلولی قارچها یافت می‌گردد (Soleimani et al., 2015). کیتوزان، به‌عنوان یکی از الیسیتورهای زیستی کارآمد برای بهبود بخشیدن تولید متابولیت‌های ثانویه در کشت سلول گیاهان دارویی زیادی تائید شده است (Cheng et al., 2006). طی پژوهشی مشخص شد که با افزایش مصرف الیسیتور کیتوزان، میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه آویشن دنایی افزایش یافت (Bistgani et al., 2015). بررسی‌ها همچنین نشان داد، کیتوزان فعالیت پراکسیداز و کاتالاز را در دو گونه ذرت افزایش داده است (Guan et al., 2009).

اسید سالیسیلیک یک ترکیب شبه‌هورمونی طبیعی تنظیم‌کننده‌ی رشد درون‌زای گیاهی است که به‌عنوان یک مولکول پیام‌رسان، فرآیندهای فیزیولوژیکی متعددی در گیاهان مانند رشد، فتوسنتز و بعضی از فرآیندهای متابولیکی را تنظیم می‌کند (Raskin, 1992 and Khan et al., 2011). استفاده از اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی باعث افزایش بعضی از فرایندهای فیزیولوژیکی می‌گردد که می‌تواند به مقاومت گیاه در برابر تنش خشکی بیفزاید. در پژوهشی که توسط نیاکان و زنگنه (Niacan and Zangane, 2014) انجام گردید مشاهده شد که میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز برگ شنبلیله تحت تنش خشکی شدید در مقایسه با سایر تیمارها کاهش معنی‌داری یافت و کاربرد اسید سالیسیلیک در تیمار تنش شدید خشکی موجب کاهش فعالیت آن شد. در رابطه با اسید سالیسیلیک جامی و همکاران (Jami et al., 2016) نیز گزارش کردند که کاربرد این ماده سبب افزایش درصد و عملکرد اسانس گیاه سیاه‌دانه تحت تنش کم‌آبی شده است.

گیاه زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) از خانواده نعناییان (Lamiaceae)، گیاهی بوته‌ای و پایا است که بخش‌های قابل‌استفاده آن سرشاخه‌های گل‌دار، برگ و بذر است. اسانس زوفا به‌عنوان طعم‌دهنده در بسیاری از محصولات غذایی و لوازم‌آرایشی به کار می‌رود (Wesołowska et al., 2010) و دارای اثر ضد ایدز (Najafpour-navayi and Mirza, 2003) و نیز فعالیت ضد باکتریایی و ضد قارچی است (Soleimani et al., 2011; Zheljazkov et al., 2012). در پزشکی از آن به‌عنوان عامل ضدالتهاب و ضداسپاسم استفاده می‌شود.

با توجه به شرایط اقلیمی ایران و بروز تنش‌های محیطی ازجمله تنش خشکی و همچنین اهمیت گیاه دارویی زوفا، این تحقیق با هدف ارزیابی اثر کاربرد الیسیتورها در شرایط تنش خشکی بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و عملکرد اسانس زوفا صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبدکاووس با مختصات جغرافیایی ۵۵ درجه و ۱۲ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۴۵ متر از سطح دریا در زمستان و بهار سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. اقلیم گنبدکاووس بر اساس طبقه‌بندی کوپن اقلیم مدیترانه‌ای گرم و نیمه‌خشک بوده و دارای متوسط بارندگی ساله ۴۵۰ میلی‌متر است. قبل از اجرای آزمایش برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورداندازه‌گیری قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۱ درج شده است.

آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک-های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای موردبررسی در این آبیاری در سه سطح شامل دور آبیاری ۷ روزه (I1)، دور آبیاری ۱۴ روزه (I2) و دور آبیاری ۲۱ روزه (I3) به‌عنوان فاکتور اصلی و چهار سطح محلول‌پاشی شامل عدم مصرف الیسیتورها (تیمار شاهد محلول‌پاشی با آب خالص)، محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک (۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، محلول‌پاشی کیتوزان (۵ گرم در لیتر) و تلفیق اسید سالیسیلیک و کیتوزان به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد.

پس از آماده‌سازی زمین و عملیات شخم و دیسک و اجرای نقشه کرت‌ها بذور زوفا در فواصل معین کاشته شدند. پس از سبز شدن بذور در مرحله ۶-۴ برگی عملیات تنک در دو مرحله انجام گرفت و عمل وجین علف‌های هرز نیز در چندین مرحله به‌صورت دستی صورت گرفت. آبیاری بوته‌ها بر اساس تیمارهای مختلف انجام شد و محلول‌پاشی در دو مرحله قبل از گلدهی (مرحله رویشی و غنچه‌دهی) اعمال شد. پس از اعمال تیمارها در مرحله گل‌دهی گیاه، برداشت سرشاخه‌های گل‌دار شروع شد. قبل از برداشت نهایی، نمونه‌های برگی جهت انجام آزمایش‌ها برداشت و در ظرف حاوی یخ به آزمایشگاه منتقل و تا زمان شروع آزمایش‌ها مربوط به ارزیابی صفات فیزیولوژیک در فریزر ۸۰- نگه داشته شدند.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش (عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری)

Table 1. Physical and chemical characteristics of the soil in experimental site (0-30 cm depth)

EC	pH	بافت خاک Soil texture	لای Silt	شن Sand	رس Clay	فسفر قابل‌جذب Available phosphorus	نیتروژن کل Total nitrogen	کربن آلی Organic carbon	مواد خنثی شونده Self-neutralizing material
ds/m			----------%----------			ppm	----------%----------		
0.96	7.6	Silt-Loam	56	13	31	13	0.08	0.78	10.8

نحوه اسانس‌گیری و اندازه‌گیری میزان بازده و عملکرد اسانس

در پایان عملیات مزرعه‌ای، گل‌های خشک حاصل از هر کرت به‌طور جداگانه به‌منظور تعیین بازده اسانس به آزمایشگاه منتقل شدند. برای استخراج اسانس از دستگاه کلونجر استفاده شد و اسانس گیاه طبق فرمول زیر محاسبه شد:

بازده اسانس = (وزن خشک گل اسانس‌گیری شده / وزن اسانس به‌دست‌آمده) × ۱۰۰ [۱]

عملکرد اسانس از حاصل‌ضرب درصد اسانس در عملکرد گل خشک حاصل گردید.

اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ و کمبود آب اشباع

میزان آب نسبی برگ برحسب درصد و از طریق رابطه زیر محاسبه شد (Omaie et al., 2007) در این رابطه Fw وزن تازه، Tw وزن آماس و Dw وزن خشک برگ‌ها برحسب گرم می‌باشند:

$$RWC= (FW-DW /SW-DW) \times 100 \quad [۲]$$

جهت اندازه‌گیری کمبود اشباع آب (WSD) از رابطه زیر استفاده شد (Sepehri and Golparvar, 2011):

$$WSD= 100-RWC \quad [۳]$$

سنجش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت

فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) با روش ابی (Aebi, 1984) انجام شد، فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز (GPX)، به‌عنوان نمونه‌ای از انواع پراکسیدازها از روش چانس و مهلی (Chans and Mehli, 1955) مورد ارزیابی قرار گرفت و فعالیت آنزیم آسکوربیت پراکسیداز به روش ناکانو و اسدا (Nakano and Asda, 1987) اندازه‌گیری گردید.

جهت آنالیز آماری داده‌ها از نرم‌افزار SAS (Ver.9) استفاده گردید و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد و قابل‌ذکر است برای صفاتی که اثر متقابل آبیاری ضرب‌در کیتوزان معنی‌دار شد، برش‌دهی اثرات متقابل در هر یک از سطوح آبیاری با استفاده از نرم‌افزار SAS صورت گرفت و مقایسه میانگین سطوح مختلف کیتوزان و رتبه‌بندی آن‌ها در هر سطح آبیاری به‌طور مجزا انجام شد

نتایج و بحث

محتوای نسبی آب برگ (RWC) [1]

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار سطوح مختلف آبیاری، محلول‌پاشی و برهمکنش آن‌ها بر محتوای نسبی آب برگ بود (P<۰/۰۱، جدول ۲).

در جدول مقایسه میانگین این صفت مشاهده شد که کمترین میزان رطوبت نسبی (۴۸/۳۹ درصد) مربوط به شرایط تنش شدید (آبیاری ۲۱ روزه) بدون کاربرد الیسیتورها و بیش‌ترین میزان آن (۷۴/۲۲ درصد) مربوط به تیمار

[1] Relative water content

محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک تحت شرایط تیمار آبیاری شاهد (دور آبیاری ۷ روزه) بود (جدول ۳). تحت تمام تیمارهای آبیاری کاربرد اسید سالیسیلیک منجر به افزایش معنی‌دار صفت مذکور گردید و به‌ویژه در تیمار تنش شدید (آبیاری ۲۱ روزه) مصرف اسید سالیسیلیک افزایش ۳۰/۵۴ درصدی محتوای رطوبت نسبی نسبت به تیمار شاهد را به همراه داشت (جدول ۳). پیش‌ازاین محققان دیگر گزارش کردند سالیسیلیک‌اسید سبب افزایش محتوی رطوبت نسبی آب در ریحان تحت تنش خشکی (Ramroudi and Khamar, 2013) گردیده است. تأثیر کاربرد برون‌زای سالیسیلیک‌اسید در افزایش تحمل تنش‌های مختلف زیستی و غیر زیستی بررسی شده است (Kadioglu et al., 2011؛ Hayat et al., 2010). نتیجه این آزمایش با نتیجه پژوهش امیری و همکاران (Amiri et al., 2018) روی گیاه گلرنگ مطابقت دارد، ایشان گزارش اظهار داشتند که مصرف توأم کیتوزان و اسید سالیسیلیک سبب افزایش ۱۸/۶۲ درصدی محتوی رطوبت نسبی برگ شده است. می‌توان این نتیجه را دریافت که اسید سالیسیلیک با افزایش قدرت سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی و کاهش تنش و پایداری غشاء و هم‌چنین تعدیل و تنظیم اسمزی از طریق افزایش مقدار پتاسیم به‌عنوان یون بسیار مهم در حفظ تورژسانس سلولی سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ شده است (Ashraf, 1989;Baninasab and Baghbanha, 2013).

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی زوفا

Table 2. Analysis of variance of physiological and biochemical traits of hyssop

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	عملکرد اسانس essential oil yield	درصد اسانس Essential oil percentage	کمبود آب اشباع برگ WSD	محتوای نسبی آب برگ RWC
Replication	تکرار	2	28.00	0.01	52.60	52.60
Irrigation (I)	آبیاری	2	127.40*	0.03**	265.5**	265.5**
Main error	خطای اصلی	4	15.03	0.0004	14.08	14.08
Foliar solution (F)	محلول‌پاشی	3	72.29**	0.02**	137.67**	137.67**
F × I	محلول‌پاشی×آبیاری	6	1.42^{ns}	0.001^{ns}	54.68**	54.68**
Sub Error	خطای فرعی	12	1.66	0.0007	7.27	7.27
C.V%	ضریب تغییرات	-	*6.38*	*4.41*	*7.09*	*4.35*

Table 2. Continued **جدول ۲. ادامه**

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	آسکوربات پراکسیداز APX	پراکسیداز POX	کاتالاز CAT
Replication	تکرار	2	79.57	0.81	7.38
Irrigation (I)	آبیاری	2	7871.6**	2896.7**	1572.4**
Main error	خطای اصلی	4	53.2	11.01	4.59
Foliar solution (F)	محلول‌پاشی	3	1194.1**	303.6**	168.4**
F × I	محلول‌پاشی×آبیاری	6	144.3**	26.58**	26.05**
Sub Error	خطای فرعی	12	5.9	3.01	2.65
C.V%	ضریب تغییرات	-	6.5	7.26	7.37

**، * و ns به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم معنی‌داری می‌باشد.

**, * and ns indicate significance at the level of probability of one percent, five percent and non-significance, respectively.

کمبود آب اشباع برگ (WSD) [2]

سطوح مختلف آبیاری، محلول‌پاشی و برهم‌کنش آن‌ها بر میزان کمبود اشباع آب برگ تأثیر معنی‌داری داشتند (P<۰/۰۱، جدول ۲). نتایج جدول مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که کاربرد اسید سالیسیلیک در تیمار آبیاری ۷ روزه، کاهش ۲۵/۲ درصدی و در تیمار آبیاری ۲۱ روزه، کاهش ۲۸/۶۴ درصدی کمبود آب اشباع گیاه را به دنبال داشت. در تیمار آبیاری ۱۴ روزه، مصرف توأم دو الیسیتور سبب کاهش ۱۳/۴ درصدی کمبود آب اشباع گیاه گردید (جدول ۳). با افزایش شدت تنش میزان این صفت افزایش خواهد یافت (Jabbari et al., 2015) که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد و همان‌طور که ذکر شد در این پژوهش کاربرد کیتوزان و اسید سالیسیلیک منجر به کاهش صفت مذکور گردید (جدول ۳). مشخص شده است که در صورت کاربرد اسید سالیسیلیک از طریق ایجاد و ارسال سیگنال در تمام بخش‌های گیاه و ایجاد حالت دفاعی در گیاه هنگام مواجهه با تنش‌های محیطی و درنهایت کاهش تعرق، مقدار آب موردنیاز برگ حفظ می‌شود و تقسیم سلولی و رشد سلولی به‌صورت مطلوب‌تری نسبت به حالت عدم مصرف اسید سالیسیلیک صورت می‌گیرد (Sibi, 2011).

کاتالاز

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر تأثیر معنی‌دار سطوح مختلف آبیاری، محلول‌پاشی و برهمکنش آبیاری در محلول‌پاشی (P<۰/۰۱) بر صفت کاتالاز بود (جدول ۲). با توجه به نتایج جدول مقایسه میانگین اثرات متقابل مشاهده شد در هر ۳ تیمار آبیاری کاربرد توأم کیتوزان و سالیسیلیک‌اسید سبب افزایش به ترتیب ۴۲/۲۵، ۸۲/۳۹ و ۴۱/۸۷٪ میزان فعالیت آنزیم کاتالاز نسبت به عدم مصرف شده است (جدول ۳). به نظر می‌رسد همان‌طور که (Niacan and Zanganeh, 2014) بیان کردند، تنش کمبود آب موجب افزایش میزان فعالیت آنزیم کاتالاز می‌گردد. حیات و همکاران (Hayat et al., 2005) بیان کردند که سالیسلیک‌اسید در شرایط تنش، میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، مثل کاتالاز و پراکسیداز را زیاد می‌کند و به‌عنوان یک سوبسترادهنده الکترون برای کاتالاز و پراکسیداز عمل نموده و باعث کاهش تنش می‌گردد. بررسی‌ها هم‌چنین نشان داد، کیتوزان فعالیت کاتالاز را در دو گونه ذرت افزایش داده است (Guan et al., 2009). اثر متقابل محلول‌پاشی در آبیاری نشان داد محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک و کیتوزان سبب افزایش معنی‌دار غلظت کاتالاز در گیاه شده است (جدول ۳). پسندی‌پور و همکاران (Pasandy pour et al., 2013) نیز به این نتیجه در تحقیقات خود رسیدند.

پراکسیداز

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر آبیاری، محلول‌پاشی و برهمکنش آن‌ها بر روی فعالیت آنزیم پراکسیداز معنی‌دار بود (P<۰/۰۱، جدول ۲). طبق جدول مقایسه میانگین اثرات متقابل مشاهده شد که با اعمال تنش خشکی میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز نیز افزایش یافته است (جدول ۲). بیش‌ترین میزان آن (۴۳/۵۸ میکرومول بر دقیقه) مربوط به تیمار ۱۴ روز آبیاری و محلول‌پاشی توأم اسید سالیسیلیک و کیتوزان بود (جدول ۳). حبیب‌پور و همکاران (Habib Pour et al., 2016) نیز بیان کردند با افزایش تنش خشکی میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز نیز افزایش یافته است. هم‌چنین اثرات متقابل نشان داد محلول‌پاشی توأم کیتوزان و سالیسیلیک‌اسید باعث افزایش میزان فعالیت پراکسیداز در تنش خفیف (آبیاری ۱۴ روزه، ۴۵/۴۷٪) و تنش شدید (آبیاری ۲۱ روزه) به میزان ۳۳/۶۶٪ نسبت به عدم مصرف شده است (جدول ۳) که این نتیجه با نتایج پژوهش امیری و همکاران (Amiri et al., 2016) هم‌خوانی داشت. اسید سالیسیلیک می‌تواند با افزایش توانایی آنتی‌اکسیدانی، خسارت ناشی از تنش خشکی بر گیاه را کاهش دهد (Amin et al., 2009).

آسکوربات پراکسیداز

به استناد نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز تحت تأثیر اثر آبیاری، محلول‌پاشی و برهمکنش آبیاری در محلول‌پاشی قرار گرفت (P<۰/۰۱، جدول ۲). در جدول اثرات متقابل داده‌ها مشاهده شد مصرف اسید سالیسیلیک همراه با کیتوزان سبب افزایش میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز نسبت به تیمار عدم مصرف تحت شرایط آبیاری شاهد شد. در شرایط آبیاری ۱۴ و ۲۱ روزه نیز این نتیجه حاصل شد و مصرف توأم این دو

[2] Water Saturation Deficient

ماده سبب به ترتیب ۵۴/۱۱ و ۴۴/۳۲ درصد افزایش میزان فعالیت آسکوربات پراکسیداز نسبت به عدم مصرف شد (جدول ۳). هم‌چنین طاهری و همکاران (Taheri et al., 2017) طی تحقیق خود بر روی زنیان دریافتند که کیتوزان سبب افزایش این آنزیم شده است. نتایج یافته‌های محققین بر گوجه‌فرنگی (Hayat et al., 2008) تائید کننده نتایج حاصل از این بررسی بود که اسید سالیسیلیک باعث تحریک فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز تحت تنش خشکی می‌گردد.

جدول ۳. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل آبیاری و محلول‌پاشی بر صفات مورد ارزیابی زوفا

Table 5- Means comparison of Interactive effects of irrigation and foliar spraying on evaluated traits of hyssop

آبیاری Irrigation	محلول‌پاشی Foliar solution	آسکوربات پراکسیداز APX	کاتالاز CAT	پراکسیداز peroxidase	کمبود آب اشباع WSD	رطوبت نسبی RWC
		----------µmol/mlg pr----------			----------%----------	
شاهد control	H_1	3.59^{c}	6.71^{c}	3.05^{b}	34.49^{a}	65.50^{b}
	H_2	7.23^{b}	10.55^{a}	4.82^{b}	25.78^{b}	74.22^{a}
	H_3	9.17^{b}	8.64^{b}	6.13^{b}	33.27^{a}	66.72^{b}
	H_4	15.99^{a}	11.62^{a}	9.68^{a}	38.19^{a}	61.80^{b}
LSD		*3.24*	*1.71*	*3.48*	*6.07*	*6.07*
۱۴ روزه Mild drought	H_1	37.43^{d}	21.59^{c}	23.76^{c}	42.04^{a}	57.95^{b}
	H_2	51.77^{c}	33.85^{b}	29.71^{bc}	37.23^{b}	62.76^{a}
	H_3	64.27^{b}	31.44^{b}	35.61^{ab}	39.84^{a}	60.15^{b}
	H_4	81.57^{a}	39.38^{a}	43.58^{a}	36.41^{b}	63.58^{a}
LSD		*7.22*	*4.98*	*8.49*	*2.51*	*2.51*
۲۱ روزه Severe drought	H_1	31.35^{c}	20.49^{b}	26.48^{b}	51.60^{a}	48.39^{b}
	H_2	40.79^{bc}	24.83^{ab}	28.18^{b}	36.82^{b}	63.17^{a}
	H_3	49.05^{ab}	27.10^{a}	35.36^{a}	43.44^{ab}	56.55^{ab}
	H_4	56.31^{a}	29.07^{a}	39.92^{a}	37.00^{b}	62.99^{a}
LSD		*10.27*	*6.27*	*6.56*	*12.44*	*12.44*

در هر ستون، حروف مشابه بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار هستند

In each columns, similar letters indicate no significant difference

درصد و عملکرد اسانس

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده سطوح مختلف آبیاری بر میزان عملکرد اسانس ($P<۰/۰۵$) و بر درصد اسانس ($P<۰/۰۱$) معنی‌دار بود هم‌چنین این دو پارامتر تحت تأثیر معنادار اثر ساده محلول‌پاشی نیز قرار گرفت ($P<۰/۰۱$) ولی برهم‌کنش آبیاری در محلول‌پاشی بر درصد و عملکرد اسانس اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۲). جدول مقایسه میانگین اثر ساده آبیاری بر عملکرد اسانس نشان داد با افزایش تنش خشکی میزان عملکرد اسانس کاهش و درصد اسانس افزایش یافته است، به‌طوری‌که بیش‌ترین عملکرد اسانس (۲۳/۲۱ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار دور آبیاری ۷ روز و کمترین میزان آن (۱۶/۷۵ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار تنش شدید (دور آبیاری ۲۱ روز) بود و این نتیجه در مورد درصد اسانس بالعکس شده بود (جدول ۴). طبق نتایج جدول مقایسه میانگین اثرات ساده محلول‌پاشی مشاهده شد که محلول‌پاشی همزمان اسید سالیسیلیک و کیتوزان سبب افزایش ۳۷/۴ درصدی عملکرد اسانس نسبت به تیمار شاهد گردید که با تیمار محلول‌پاشی کیتوزان اختلاف معنی‌داری نداشت، محلول‌پاشی کیتوزان هم‌چنین سبب افزایش ۲۰ درصدی میزان اسانس گردید که با تیمار مصرف توأم آن با اسید سالیسیلیک اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۵). پیش‌ازاین محتشمی و همکاران (Mohtashami et al., 2015) نیز دریافتند که با افزایش تنش کم‌آبی میزان درصد اسانس در گیاه دارویی رازیانه افزایش یافته و همچنین کاربرد محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک نیز منجر به افزایش درصد اسانس گیاه شده

است. به نظر می‌رسد که تنش خشکی موجب افزایش متابولیت‌های ثانویه ازجمله اسانس که تأثیر حفاظتی در برابر تنش‌های محیطی ازجمله تنش خشکی در گیاه دارند می‌شود و کاربرد مقدار مناسب الیسیتورهایی همچون کیتوزان و اسید سالیسیلیک از طریق خنثی کردن رادیکال‌های آزاد و فرم‌های فعال اکسیژن تولیدشده در اثر تنش، موجب افزایش درصد اسانس در گیاه دارویی زوفا شده است (Kabiri, 2012).

جدول ۴. مقایسه میانگین اثرات ساده سطوح مختلف آبیاری روی صفات موردمطالعه (حروف مشابه بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار)

Table 3. Comparison of mean simple effects of different levels of irrigation on studied traits (Similar letters indicate no significant difference)

آبیاری Irrigation	عملکرد اسانس essential oil yield	درصد اسانس Essential oil percentage
	kg/ha	%
۷ روزه (شاهد) Control	23.21[a]	0.55[b]
۱۴ روزه Mild drought	20.70[a]	0.63[a]
۲۱ روزه Severe drought	16.75[a]	0.64[a]

در هر ستون، حروف مشابه بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار هستند

In each columns, similar letters indicate no significant difference

جدول ۵. مقایسه میانگین اثرات ساده محلول‌پاشی روی صفات موردمطالعه (حروف مشابه بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار)

Table 4. Comparison of mean simple effects of foliar application on studied traits (Similar letters indicate no significant difference)

محلول‌پاشی Foliar solution	عملکرد اسانس essential oil yield	درصد اسانس Essential oil percentage
	kg/ha	%
عدم مصرف (شاهد) Control	16.63[c]	0.55[b]
سالیسیلیک اسید Salicylic acid	19.33[b]	0.59[b]
کیتوزان Chitosan	22.08[a]	0.66[a]
اسیدسالیسیلیک+کیتوزان Salicylic acid+chitosan	22.85[a]	0.64[a]

در هر ستون، حروف مشابه بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار هستند

In each columns, similar letters indicate no significant difference

گروهی از محققین اظهار داشتند که کاربرد کیتوزان در شرایط کمبود آب منجر به افزایش عملکرد و درصد اسانس گیاه آویشن دنایی گردید و علت آن را نقش کیتوزان در فعال کردن مسیرهای بیوسنتزی مختلف و ژن‌های جدید در جهت تولید متابولیت‌های ثانویه ذکر کردند (Emamai Bistgani et al., 2017). تنش خشکی به علت کاهش تجمع ماده خشک، شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک سبب کاهش عملکرد و اجزای عملکرد در اغلب گیاهان دارویی ازجمله زوفا شد و سالیسیلیک‌اسید و کیتوزان با اثر آنتی‌اکسیدانی خود سبب افزایش عملکرد اسانس در این گیاه شدند (جدول ۵). نتایج حاصل با گزارش‌های رضایی چیانه و پیرزاد (Rezaichianeh and Pirzad, 2014) مطابقت دارد. غالباً در شرایط کمبود آب، میزان اسانس و متابولیت‌های ثانویه در گیاهان دارویی افزایش می‌یابد. با توجه به این‌که عملکرد اسانس در گیاه به میزان زیادی تابع تغییرات عملکرد است، احتمالاً دلیل افت عملکرد اسانس زوفا در تحقیق حاضر، درنتیجه اثرات مضر تنش کم‌آبی بر پیکره رویشی و کاهش عملکرد سرشاخه‌های گل‌دار گیاه به‌عنوان عملکرد زوفا بوده است (نتایج ارائه نشده است).

نتیجه‌گیری نهایی

تنش‌های محیطی مهم‌ترین عوامل کاهش‌دهنده عملکرد گیاهان زراعی در سطح جهان هستند (Alizadeh, 2008). نتایج این پژوهش نیز نشان داد که تنش خشکی سبب تغییرات مختلفی در صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه زوفا و هم‌چنین میزان اسانس در آن شده است. خشکی با کاهش عملکرد گیاه و به طبع آن سبب کاهش عملکرد اسانس شد. افزایش درصد اسانس در شرایط تنش خشکی ممکن است به علت افزایش تجمع متابولیت‌های ثانویه برای محافظت از گیاه در شرایط تنش باشد. کاربرد اسید سالیسیلیک و کیتوزان به‌صورت محلول‌پاشی اثرات سوء تنش خشکی بر گیاه را کاهش داده و از این طریق سبب بهبود فعالیت آنتی‌اکسیدانی، عملکرد و درصد اسانس گیاه زوفا گردید به‌طوری‌که محلول‌پاشی توأم اسید سالیسیلیک و کیتوزان سبب افزایش ۳۷/۴ درصدی عملکرد اسانس نسبت به عدم مصرف شد. محلول¬پاشی برگی اسید سالیسیلیک با افزایش محتوای نسبی آب برگ گیاه سبب حفظ تورم و نگهداشت آب در گیاه شد و از این طریق باعث حفاظت از غشاء شد. سالیسیلیک اسید هم‌چنین باعث کاهش ۲۸/۶۴

درصدی کمبود آب اشباع تحت تیمار آبیاری ۲۱ روزه در گیاه زوفا شد. هم‌چنین استفاده از این الیسیتورها با افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان سبب افزایش مکانیسم‌های کارآمد جهت از بین بردن گونه‌های اکسیژن فعال ایجادشده توسط تنش خشکی شدند. چنانچه پراکسید هیدروژن نیز به‌وسیله آنزیم آسکوربات پراکسیداز در بخش‌های مختلف سلول از بین برده شد. درنتیجه کلی بهترین عملکرد کاربرد محلول‌پاشی‌ها در تیمار آبیاری ۱۴ روزه مشاهده شد. با توجه به شرایط آب‌وهوایی خشک در کشور و کمبود بارش با آبیاری ضعیف، می‌توان به عملکرد بهتری از این گیاه دارویی دست یافت و از هدر رفت آب نیز جلوگیری کرد. هم‌چنین بر اساس نتایج تحقیق حاضر، محلول‌پاشی با غلظت مناسب اسید سالیسیلیک در مناطق خشک و نیمه‌خشک برای افزایش عملکرد به کشاورزان توصیه می‌شود.

منابع

Ahmad, P., Prasad, M.N.V., 2012. Abiotic Stress: Responses in Plants: Metabolism, Productivity and Sustainability. New York, Springer.

Alizadeh, A., 2008. Water, soil and plant relationships. Astan Quds Publications. 480p. [In Persian].

Amin, B., Mahleghah, G., Mahmood, H.M.R., 2008. Evaluation of interaction effect of drought stress with ascorbate and salicylic acid on some of physiological and biochemical parameters in okra (*Hibiscus esculentus* L.). 4, 380–387. Second National Conference on Cell and Molecular Biology, January 29 and 30, 2008, International Center for Science and Technology Development and Environmental Sciences, Kerman, Iran. [In Persian].

Amiri, A., Esmaeilzadeh Bahabadi, S., Yadollahi deh cheshmeh, P., Sirus Mehr, A., 2018. The role of salicylic acid and chitosan foliar applications under drought stress condition on some physiological traits and oil yield of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Journal of Crop Ecophysiology. 41, 69-84. [In Persian with English Summary].

Amiri, A., Esmaeilzadeh Bahabadi, S., Sirus Mehr, A.R., 2013. The effect of chitosan spraying on crop yield under drought stress. First National Conference of Agricultural Engineering and Natural Resources, Hamedan. [In Persian].

Amiri, A., Sirousmehr, A., Yadollahi, P., Asgharipour, M., Esmaeilzadeh Bahabadi, S., 2016. Effect of drought stress and spraying of salicylic acid and chitosan on photosynthetic pigments and antioxidant enzymes in safflower. Agricultural Crop Management. 18, 453-466. [In Persian with English Summary].

Ashraf, M., 1989. The effect of NaCl on water relation, chlorophyll, protein and proline contents of two cultivars of black gram (*Vigna mungo* L.). Plant and Soil. 119(2), 205-210.

Aziz, E.E., Hendawi, S.T., Azza, E.E., Omar, E.A., 2008. Effect of oil type and irrigation intervals on plant growth, essential oil yield and constituents of thymus vulgaris plant. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences. 4, 443-450.

Bahreini nejad, B., Razmjoo, J., Mirza, M., 2014. Effect of water stress on productivity and essential environment: A review Journal of Experimental Botany. 68, 14-25.

Baninasab, B., Baghbanha, MR., 2013. Influence of salicylic acid pre-tretment on emetgence and early seeding growth of cucumber (*Cucumis sativus* L.) under salt stress. International Journal of Plant Production. 7, 1-20.

Cheng, X., Zhou, U., Cui, X., 2006. Improvement of phenylethanoid glycosides biosynthesis in Cistanche deserticola cell suspension cultures by chitosan elicitor. Biotechnology Journal. 121, 253–260.

Dehghan Pour, H., Dehghanzadeh, H., 2013. Investigating the economic and social factors affecting the use of medicinal plants in Yazd from the people's point of view. Iranian Journal of Medicinal Plants and Herbs Research. 30, 67-57. [In Persian with English Summary].

Emami Bistgani, Z., Siadat, S., Bakhshandeh, A., Ghasemi Pirbaloti, A., 2015. Effects of chemical and organic fertilizers and chitosan on physiological traits and phenolic compound amounts in thyme (*Thymus deanensis* Celak) in Shahrekord region. Journal of Crop Production

Research. 7(1), 11- 26. [In Persian with English Summary].

Emami Bistgani, Z., Siadat, S.A., Bakhshandeh, A., Ghasemi Pirbalouti, A., Hashemi, M., 2017. Interactive effects of drought stress and chitosan application on physiological characteristics and essential oil yield of Thymus daenensis Celak. The Crop Journal. 5(5), 407-415.

Guan, Y.J., Hu, J., Wang, X.J., Shao, C.X., 2009. Seed priming with chitosan improves maize germination and seedling growth in relation to physiological changes under low temperature stress. Journal of Zhejiang University-Science B. 10, 427-433.

Habib Pour, S.S., Naderi, A., Lak, SH., Faraji, H., Majdam, M., 2016. Effects of salicylic acid on yield and some physiological characteristics of sweet corn hybrids in water difficient condition. Iranian Journal of Plant Physiology and Biochemistry. 1(2), 1-15. [In Persian with English Summary].

Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, M., Ahmad, A., 2010. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment. A review Environmental and Experimental Botany. 68, 14-25.

Hayat, S., Hasan, S.A., Fariduddin, Q., Ahmad, A., 2008. Growth of tomato (*Lycopersicon esculentum*) in response to salicylic acid under water stress. Journal of Plant Interactions. 3(4), 297–304.

Jabbari, H., Akbari, GH.A., Azam Khosh Kholgh Sima, N., Shirani Rad, A., Alahdadi, I., Tajodini, F., 2015. Study of agronomical, physiological and qualitative characteristics of canola (Brassica napus) under water stress. Environmental stresses in crop sciences. 8(1), 35-49.

Jami, N., Mousavi Nik, S.M., Naghizadeh, M., 2016. 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 Crop Improvment. 17(3), 827-840. [In Persian].

Kabiri, R., 2012. Investigation of Salicylic Acid Pre-treatment Effect on Reduction of Drought-Induced Oxidative Stress in Hydroponic Culture of Black Seed. Masters. Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman. Master's Thesis. [In Persian].

Kadioglu, A., Saruhan, N., Saglam, A., Terzi, R., Acet, T.E., 2011. Exogenous salicylic acid alleviates effects of long term drought stress and delays leaf rolling by inducing antioxidant system. Plant Growth Regulation. 64, 27-37.

Khan, M.A., Iqba, M., 2011. Breeding for drought tolerance in wheat constraints and future prospects. Frontiers of Agriculture in China. 5, 31-34.

Mahdavi, B., Modarres Sanavy, S.A.M., Aghaalikhani, M., Sharifi, M., 2011. Effect of water stress and chitosan on germination and proline of seedling in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Journal of Crop Improvement. 25, 728-741. [In Persian with English Summary].

Mohtashami, F., Pour Yousef, M., Andalibi, B., SHekari, F., 2015. Effects of seed priming and foliar application of salicylic acid on yield and essence of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) under drought stress condition. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 31, 841-852. [In Persian with English Summary].

Najafpour-navayi, M., Mirza, M., 2003. Comparison of chemical components of (*Hyssopus officinalis* L.) esentialo oil in vitro and in natural habitat. Iranian Journal of Medical and Aromatic Plants. 18, 41-53. [In Persian with English Summary].

Niacan, M., Zanganeh, A., 2014. Effect of drought stress and salicylic acid on the activity of antioxidant enzymes in fenugreek. Journal of plant environmental physiology. 33(9), 38-45. [In Persian with English Summary].

Pasandy pour, A., Farahbakhsh, H., Safari, M., Keramat, B., 2013. The effect of salicylic acid on some physiological reactions of fenugreek (*Trigonella foenum*-graecum) under salinity stress. Journal of Crop Ecophysiology. 2, 215-228. [In Persian with English Summary].

Pirzad, A., Fayyaz Moghaddam, A., Razban M., Raei, Y., 2012. The evaluation of dried flower and essential oil and harvest index of *Matricaria chamomilla* L. under varying irrigation regimes and amounts of super absorption polymer (A200). Journal of Sustainable Agriculture and Production Science. 22, 85-99. [In Persian with English Summary].

Ramroudi, M., Khamar, A.R., 2013. Interaction of salicylic acid spraying and irrigation treatments on some properties of quantitative, qualitative and basil osmotic regulator. Journal

of Applied Research of plant EcoPhysiology. 1(1), 19- 32. [In Persian with English Summary].

Raskin, I., 1992. Role of salicylic acid in plants. Annual Review of Plant Biology. 43, 439-463.

Rezaichianeh, A. and Pirzad, A.R., 2014. Effect of Salicylic Acid on Yield, Component Yield and Essential Oil of Black Cumin (*Nigella sativa* L.) under Water Deficit Stress. Iranian Journal of Field Crops Research. 12, 437-427. [In Persian with English Summary].

Saljooghian Pour, M., Ebrahimi, A., 2014. Investigation of qualitative and quantitative effects of drought and salinity stress on the pennyroyal plant. International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research. 2, 98-104.

Sani, B., Aliabadi Farahani, H., 2010. Effect of P_2O_5 on coriander induced by AMF under water deficit stress. Journal of Ecology and the Natural Environment. 2(4), 52-58.

Shabanzadeh, S., Galavi, M., 2011. Effect of micronutrients foliar application and irrigation regimes on agronomic traits and yield of black cumin (*Nigella sativa* L.). Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences. 4, 1-9. In Persian with English Summary].

Sibi, M., 2011. Effect of water stress, zeolite and foliar application of salicylic acid on some of agronomical and physiological traits in spring safflower. M.Sc thesis in Agronomy. Islamic Azad University, Arak. 215p. [In Persian].

Soleimani, H., Barzegar, M., Sahari, M.A., Naghdi Badi, H., 2011. An investigation on the antioxidant activities of *Hyssopus officinalis* L. and *Echinacea Purpurea* L. Plant extracts in oil model system. Journal of Medicinal Plants. 10, 61-72. [In Persian with English Summary].

Soleimani, N., Mohabati Mobarez, A., Seyed Jafari Olia, M., Atyabi, F., 2015. Investigation of the effect of recombinant Neutrophil activating protein (Hp-NapA) of helicobacter pylori on proliferation and viability by peritoneal macrophage from BALB/c mice. Arak Medical University Journal (AMUJ). 18, 43-50. [In Persian with English Summary].

Taheri, F., Dehmordeh, M., Salari, M., Bagheri, R., 2017. Evaluation of the effect of different levels of chitosan on the activity of antioxidant enzymes in dermatophytes (*Carum copticum* L.) under drought stress conditions. Iranian Horticultural Science. 48, 575-584. [In Persian with English Summary].

Veisipoor, A., Majidi, M.M. and Mirlohi, A., 2012. Traits relationship in Sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) under normal and water stress conditions. Iranian Journal of Field Crop Research. 42, 745-756. In Persian with English Summary].

Wesołowska, A., Jadczak, D., Grzeszczuk, M., 2010. Essential oil composition of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) cultivated in north-western Poland. Herba Polonica. 56, 57-65.

Zhao, J., Davis, L.C., Verpoorte. R., 2005. Elicitor signal transduction leading to production of plant secondary metabolites. Biotechnology Advances. 23, 283-333.

Zheljazkov, V.D., Astatkie, T., Hristov, A.N., 2012. Lavender and hyssop productivity, oil content, and bioactivity as a function of harvest time drying. Industrial Crops and Products. 36, 222-228.