به‌زراعی کشاورزی
دوره ۲۳ ■ شماره ۳ ■ پاییز ۱۴۰۰
صفحه‌های ۶۳۲-۶۲۱

مقاله پژوهشی:

تأثیر الیسیتورها بر تنظیم اسمزی، پایداری غشا، رنگیزه‌های فتوسنتزی و عملکرد اسانس گیاه زوفا تحت تنش خشکی

عاطفه سادات موسوی[1]، معصومه نعیمی[2*]، علی راحمی کاریزکی[2]، عبدالطیف قلی‌زاده[2]
۱. دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبد کاووس، ایران.
۲. استادیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبد کاووس، ایران.
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۱۰/۰۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۱۹

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد الیسیتورهای کیتوزان و اسیدسالیسیلیک بر تنظیم اسمزی و برخی صفات فیزیولوژیکی گیاه دارویی زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) تحت شرایط خشکی، آزمایشی به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه گنبد کاووس در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ اجرا شد. عامل آبیاری در سه سطح شامل دور آبیاری هفت، ۱۴ و ۲۱ روزه به‌عنوان فاکتور اصلی و چهار سطح محلول‌پاشی شامل عدم مصرف الیسیتور (تیمار شاهد، محلول‌پاشی با آب خالص)، محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک (۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، محلول‌پاشی کیتوزان (پنج گرم در لیتر) و تلفیق اسیدسالیسیلیک و کیتوزان به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد اثر متقابل محلول‌پاشی و آبیاری روی صفات میزان نشت یونی، محتوای کلروفیل a، قند محلول و میزان مالون‌دی‌آلدهید معنی‌دار اما بر میزان کاروتنوئید و عملکرد اسانس معنی‌دار نبود. محلول‌پاشی هم‌زمان سالیسیلیک اسید و کیتوزان با کاهش ۱۷ درصدی نشت یونی و کاهش ۴۰ درصدی میزان مالون‌دی‌آلدهید گیاه نسبت به شاهد سبب افزایش پایداری غشای سلولی تحت تنش آبیاری ۲۱ روزه شد، در همین تیمار (۲۱ روزه) کیتوزان سبب افزایش ۵۱ درصدی میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی و کلروفیل کل نسبت به شاهد شد. بنابر نتایج به‌دست‌آمده اسید سالیسیلیک و کیتوزان توانستند از طریق فعال‌نمودن مکانیسم‌های مختلف تحمل، توانایی گیاه زوفا را در پاسخ به تنش کم‌آبی افزایش دهند.

کلیدواژه‌ها: اسیدسالیسیلیک، پرولین، کلروفیل، کم‌آبی ، کیتوزان.

Study of the Effect of Elicitors Application on Osmotic Regulation, Cell Membrane Stability, Photosynthetic Pigments and Essential Oil Yield in Hyssop under Drought Stress

Atefeh Sadat Mousavi[1], Masoumeh Naeemi[2*], Ali Rahemi Karizaki[2], Abdolatif Gholozadeh[2]
1. M.Sc. Student, Department of Crop Productions, Faculty of Agricultural and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran
2. Assistant Professor, Department of crop productions, Faculty of Agricultural and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran
Received: December 26, 2020 Accepted: February 7, 2021

Abstract

In order to investigate the effect of chitosan and salicylic acid elicitors on osmotic adjustment and some physiological traits of Hyssop under experimental drought conditions, an experiment has been carried out as a split plot design with randomized complete block design with three replications at research farm of Gonbad Kavous University during 2018-2019. Irrigation factor at three levels include 7, 14, and 21 days irrigation interval as main factor and four levels of spraying including no elicitor (control treatment, spraying), salicylic acid (300 mg. l^{-1}), Chitosan spraying (5 g. l^{-1}), and combination of salicylic acid and chitosan, considered as auxiliary agents. Results of analysis of variance show that the interaction between spraying and irrigation has had significant effects on ion leakage, chlorophyll a content, soluble sugar, and malondialdehyde content but insignificant impacts on carotenoid and essential oil yield. Spraying of salicylic acid, with 17% reduction in ion leakage and 40% reduction in plant malondialdehyde, compared to the control, increase the stability of cell membranes under 21-day irrigation stress. In the same treatment, chitosan has increased the amount of photosynthetic pigments and total chlorophyll by 51%, compared to the control. According to the results, salicylic acid and Chitosan have been able to increase the ability of hyssop in response to water deficit stress by activating different tolerance mechanisms.

Keywords: Chitosan, chlorophyll, deficit water, proline, salicylic acid.

* نویسنده مسئول
Email: Naeimi@gonbad.ac.ir

۱. مقدمه

زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) گیاهی بوته‌ای و چندساله از خانواده نعناییان[1] است که به‌دلیل دارابودن خواص آنتی‌بیوتیک، ضدالتهاب و ضداسپاسم در پزشکی کاربرد بسیاری دارد. اسانس این گیاه در درمان سرماخوردگی، برونشیت، آسم و تسکین درد دندان به‌کار می‌رود و هم‌چنین دارای اثرات ضد باکتری، ضد قارچ و ضد ویروس می‌باشد (Wesolowska *et al*., 2010).

در بسیاری از نقاط دنیا گیاهان با تنش‌های غیرزیستی از جمله خشکی، شوری، گرما، سرما، ازن، مسمومیت توسط فلزات سنگین، تشعشعات فرابنفش و علف‌کش‌ها مواجه هستند که تهدید جدی برای تولید گیاهان به‌شمار می‌آید (Ahmad & Prasad, 2012). تنش خشکی در بین تنش‌های محیطی غیرزنده، یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار به‌شمار می‌آید. تنش خشکی زمانی ایجاد می‌شود که میزان آب قابل‌دسترس گیاه کم‌تر از میزان تلفات آب باشد (Asgarirad *et al*., 2010). تجمع اسید آمینه پرولین موجب کاهش خسارت به غشا و حفظ تورژسانس می‌شود و به این ترتیب تنظیم اسمزی را می‌توان نوعی سازگاری فیزیولوژیک در جهت افزایش تحمل به خشکی در گیاهان به‌شمار آورد (Naseri *et al*., 2011). هم‌چنین مشخص شده است افزایش میزان قند های محلول تحت تنش کمبود آب نیز موجب پایداری و استحکام غشای سلولی می‌شود (Xoconostle-Cazares *et al*., 2010).

پژوهش‌های مختلف اثبات کرده‌اند که استفاده از الیسیتورها یکی از راه‌های تأثیرگذار در افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاه و هم‌چنین افزایش تحمل به خشکی است. کیتوزان بیوپلیمری سازگار با محیط‌زیست و قابل تجزیه در طبیعت است که از پوست خرچنگ، میگو و نیز دیواره سلولی قارچ‌ها استخراج می‌شود (Soleimani *et al*., 2015).

کیتوزان یکی از جدیدترین ترکیباتی است که می‌تواند منجر به کاهش اثرات زیان‌بار تنش کمبود آب شود (Amiri *et al*., 2013; Mahdavi *et al*., 2011). تأثیرات مثبت کیتوزان بر بهبود سنتز متابولیت‌های ثانویه در گیاهان دارویی در پژوهش‌های مختلف تأیید شده است. امروزه از این ماده هم‌چنین به‌منظور محافظت گیاه در مقابل میکروارگانیسم‌ها، تحریک جوانه‌زنی، جهت افزایش تولید گیاه، به‌عنوان تقویت‌کننده و بهبود رشد گیاه در شرایط تنش خشکی استفاده می‌شود (Yin *et al*., 2011). Emami Bistgani *et al.* (2017) گزارش کردند که تنش کمبود آب منجر به ایجاد تنش اکسیداتیو در آویشن دنایی گردید و محلول‌پاشی برگی کیتوزان از طریق افزایش تنظیم‌کننده‌های اسمزی مانند پرولین توانست خسارت ناشی از پراکسیداسیون لیپیدی غشا را جبران کند و تراوایی غشای سلول را کاهش دهد.

اسید سالیسیلیک به‌عنوان یک شبه‌هورمون طبیعی تنظیم‌کننده رشد گیاهی مطرح می‌باشد که قادر است به‌عنوان یک مولکول پیام‌رسان، برخی فرایندهای فیزیولوژیکی از جمله فتوسنتز، رشد و برخی از فرایندهای متابولیکی در گیاه را تنظیم کند (Khan *et al*., 2011). مشخص شده است محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در گیاه نخود تحت شرایط تنش خشکی موجب افزایش پایداری غشا شد (Ramezannezhad *et al*., 2013). گزارش شده است کاربرد اسید سالیسیلیک در غلظت‌های مختلف با افزایش میزان پرولین موجب بهبود تحمل گیاه دارویی مرزه تحت تنش خشکی می‌شود (Yazdanpanah *et al*., 2010). هم‌چنین Jami *et al.* (2015) اظهار داشتند که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک سبب افزایش درصد و عملکرد اسانس گیاه دارویی سیاهدانه تحت تنش کم‌آبی شده است.

1. Lamiaceae

با توجه به مطالب ذکرشده هدف از این پژوهش بررسی اثر کاربرد برگی اسیدسالیسیلیک و کیتوزان بر برخی صفات فیزیولوژیک از جمله فرایندهای تنظیم اسمزی، محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی، پایداری غشای سلولی و عملکرد اسانس گیاه زوفا تحت شرایط خشکی بود.

۲. مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد الیسیتورهای کیتوزان و اسیدسالیسیلیک بر تنظیم اسمزی و برخی صفات فیزیولوژیکی گیاه دارویی زوفا تحت شرایط خشکی این آزمایش در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبدکاووس اجرا شد. طول جغرافیایی محل اجرای آزمایش، ۵۵ درجه و ۱۲ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و ارتفاع ٤٥ متر بالاتر از سطح دریا می‌باشد. اقلیم گنبدکاووس براساس طبقه‌بندی کوپن، اقلیم مدیترانه‌ای گرم و نیمه‌خشک بوده و دارای متوسط بارندگی ده ساله ٤٥٠ میلی‌متر می‌باشد. قبل از شروع آزمایش به‌منظور بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش، نمونه‌برداری از عمق ۳۰-صفر سانتی‌متر انجام گردید که نتایج آن در جدول (۱) گزارش شده است.

آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای موردبررسی در این پژوهش، دور آبیاری در سه سطح شامل دور آبیاری هفت روزه (I_1)، دور آبیاری ١٤ روزه (I_2) و دور آبیاری ۲۱ روزه (I_3) به‌عنوان فاکتور اصلی و چهار سطح محلول‌پاشی شامل عدم مصرف الیسیتورها (تیمار شاهد محلول‌پاشی با آب خالص)، محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک (۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، محلول‌پاشی کیتوزان (پنج گرم در لیتر) و تلفیق اسیدسالیسیلیک و کیتوزان به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. عملیات شخم و دیسک‌زنی و خط‌کشی زمین در نیمه دوم اسفندماه ١٣٩٦ انجام و نقشه آزمایش روی زمین پیاده شد و در پی آن کرت‌بندی انجام شد. پس از پیاده‌سازی نقشه طرح، کرت‌هایی با ابعاد ۲/۵×۱/۷۰ متر ایجاد و در داخل هر کرت پنج خط برای کاشت در نظر گرفته شد. کشت در ردیف‌هایی با فاصله ٤٠ سانتی‌متر و با فاصله ۳۰ سانتی‌متر روی ردیف و به عمق دو سانتی‌متر با تراکم هشت بوته در مترمربع در اسفندماه انجام گرفت. بذور زوفا قبل از کاشت در زمین با قارچ‌کش بنومیل ضدعفونی شدند و سپس طبق طرح در تاریخ ١٣٩٦/١٢/٢٧ کاشته شدند. در طول اجرای آزمایش از هیچ نوع کود شیمیایی، علف‌کش و آفت‌کشی استفاده نشد. پس از سبزشدن بذور در مرحله چهار تا شش برگی عملیات تنک در دو مرحله انجام گرفت و عمل وجین علف‌های هرز در چندین مرحله به‌صورت دستی انجام شد. آبیاری بوته‌ها براساس تیمارهای مختلف انجام شد و محلول‌پاشی در دو مرحله قبل از گل‌دهی و مرحله گل‌دهی اعمال شد.

سنجش محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل برگ گیاه براساس روش Arnon (1949) و Ashraf *et al.* (1994) انجام شد.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکو شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش (عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر)

کربن آلی (%)	نیتروژن کل (%)	فسفر (ppm)	پتاسیم (ppm)	رس (%)	لای (%)	ماسه (%)	پی اچ (pH)	EC (dS/m)
۰/۷۸	۰/۰۸	۱۳	۳٤۰	۳۱	٥٦	۱۳	۷/٦	۰/۹٦

برای انجام محاسبات مربوط به تعیین میزان کلروفیل a، کلروفیل b، وکلروفیل (کل) برحسب میلی‌گرم در یک گرم وزن‌تر برگ به‌ترتیب از روابط زیر استفاده شد:

رابطه ۱) $Chl_{.a}\ (mgl^{-1}) =$
$[12.7\ (D663) - 2/69\ (D645)] \times V/(1000\times W)$

رابطه ۲) $Chl_{.b}\ (mgl^{-1}) =$
$[22/9\ (D645) - 4/69\ (D663)] \times V/(1000\times W)$

رابطه ۳) $Chl_{.T}\ (mgl^{-1}) =$
$[20.2\ (D645) - 8.02\ (D663)] \times V/(1000\times W)$

که در آن، D= میزان جذب نوری قرائت‌شده در طول موج مربوطه، V= حجم عصاره و W= وزن نمونه تر هستند. برای اندازه‌گیری مقدار کاروتنوئید از روش Lichtenthaler(1987) با در نظرگرفتن میزان جذب نمونه‌ها در ٤٧٠ نانومتر از رابطه (٤) استفاده شد:

رابطه ٤) $C\ (mg.\ g^{-1}\ F.W.) =$
$(1000 \times A_{470} - 1/8\ Chl_a - 85/52\ Chl_b)/198$

در رابطه فوق A_{470} میزان جذب در طول موج ٤٧٠ نانومتر، Chl_a و Chl_b به‌ترتیب مقادیر کلروفیل a و b هستند.

ارزیابی میزان پرولین آزاد برگ به‌روش Bates *et al.* (1973) انجام شد. غلظت اسید آمینه پرولین نمونه با استفاده از منحنی استاندارد پرولین خالص تعیین شد و میزان آن براساس رابطه (۵) در گرم وزن تر نمونه محاسبه شد.

رابطه ۵) = میکرومول پرولین برگرم وزن تر
(۵ /گرم نمونه) / (میکروگرم بر میکرومول ۱۱۵.۱۳/
میکروگرم پرولین برمیلی‌لیتر × میلی‌لیتر تولوئن

به‌منظور سنجش میزان نشت الکترولیت از روش Srivastava & Sairam (2001) استفاده شد. سپس پایداری غشای سلولی از طریق رابطه (٦) محاسبه شد:

رابطه ٦) $CMS = 1- (EC_0 / EC_1) \times 100$

CMS= پایداری غشای سلولی، EC_0= هدایت الکتریکی پس از ٢٤ ساعت استراحت نمونه‌ها و قبل از اتوکلاو، EC_1= هدایت الکتریکی بعد از خروج از دستگاه اتوکلاو.

ارزیابی میزان قندهای محلول با استفاده از روش Kochert (1978) انجام شد و به‌منظور سنجش مالون‌دی‌آلدهید از روش Heath & Packer (1968) استفاده شد. غلظت MDA با استفاده از (MDA extinction coefficient) 155 $Mm^{-1}cm^{-1}$ محاسبه شد.

برای استخراج اسانس از دستگاه کلونجر استفاده شد. برای این منظور، یک نمونه ۳۰ گرمی سرشاخه گلدار خشک، آسیاب شده و به‌همراه ۳۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به‌مدت سه ساعت در بالن حجمی ۱۰۰۰ میلی‌لیتری روی دستگاه قرار داده شد. بازده اسانس طبق رابطه (۷) محاسبه شد:

رابطه ۷) $\text{بازده اسانس} = \frac{\text{وزن اسانس به‌دست‌آمده}}{\text{وزن گل}} \times ۱۰۰$

جهت آنالیز آماری داده‌های جمع‌آوری‌شده، از نرم‌افزار SAS (Ver.9/3) استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون LSD در سطح پنج درصد انجام شد. در ضمن برای صفاتی که برهم‌کنش آبیاری و اسیدسالیسیلیک معنی‌دار شد، برش‌دهی سطوح محلول-پاشی در سطوح مختلف عامل آبیاری به صورت جداگانه انجام شد. نمودارهای موردنیاز نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شدند.

۳. نتایج و بحث

۳. ۱. نشت الکترولیت

تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد اثر فاکتورهای آبیاری، محلول‌پاشی و برهم‌کنش آن‌ها بر صفت نشت الکترولیت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است.

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی زوفا

منابع تغییر	درجه آزادی	نشت یونی	کلروفیل کل	عملکرد اسانس	کاروتنوئید	قند محلول	مالون‌دی‌آلدهید	پرولین
تکرار	۲	۱۵/۵۵	۰/۵۸	۲۸/۰۰	۰/۰۵	۱۱/۰۲	۰/۰۰۰۰۳	۰/۴۸
آبیاری	۲	۹۵۸/۹۴**	۸/۲۹*	۱۲۷/۴۰*	۳/۷۷**	۲۵۰/۵۸**	۰/۰۰۰۴**	۶۱/۵۵**
خطای اصلی	۴	۷/۹۲	۰/۸۵	۱۵/۰۳	۰/۰۴	۱/۵۶	۰/۰۰۰۰۲	۱/۷۹
محلول‌پاشی	۳	۱۵۰/۵۹**	۹/۳۱**	۷۲/۲۹**	۴/۷۳**	۲۰/۴۱**	۰/۰۰۰۱**	۱۱/۶۸**
محلول‌پاشی×آبیاری	۶	۱۷/۷۵**	۰/۷۸*	ns۱/۴۲	۰/۲۴**	۱۲/۷۰**	۰/۰۰۰۱**	۰/۹۵*
خطای فرعی	۱۲	۳/۹۱	۰/۲۵	۱/۶۶	۰/۱۶	۱/۶۰	۰/۰۰۰۰۱	۰/۳۱
ضریب تغییرات	–	۳/۴	۵/۵	۶/۴	۷/۳	۸/۰	۱۰/۵	۵/۲

ns ، **، * به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطوح ۱ و ۵ درصد.

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

تیمارها		نشت یونی	قندهای محلول	مالون‌دی‌آلدهید	کلروفیل کل	پرولین
آبیاری	محلول‌پاشی	(%)	(mg.g^{-1})	(µmol.g^{-1})	(ml.gr^{-1} FW)	(ml.gr^{-1} FW)
شاهد (۷ روزه)	H_1	۵۲/۴۶ a	۱۰/۶۰ ab	۰/۰۲۲ a	۹/۶۲ a	۷/۴۷ a
	H_2	۴۳/۳۸ b	۱۲/۲۷ a	۰/۰۲۰ a	۹/۷۳ a	۸/۰۹ a
	H_3	۴۹/۹۰ a	۷/۰۶ b	۰/۰۲۹ a	۱۰/۸۹ a	۸/۳۳ a
	H_4	۳۸ ۴۹/a	۱۲/۲۴ a	۰/۰۲۷ a	۱۰/۴۷ a	۸/۹۵a
LSD		۵/۵۰	۳/۹۷	۰/۰۰۹	۳/۱۶	۱/۷۱
۱۴ روزه	H_1	۶۰/۴۷ a	۱۶/۴۲ b	۰/۰۴۱ a	۷/۷۰ b	۹/۸۳ b
	H_2	۵۴/۵۶ a	۱۷/۵۸ b	۰/۰۲۷ b	۹/۱۶ ab	۱۱/۶۷ ab
	H_3	۵۶/۹۸ a	۲۰/۲۱ a	۰/۰۲۷ b	۱۰/۰۲ a	۱۳/۲۵ a
	H_4	۵۴/۱۴ a	۲۱/۲۶ a	۰/۰۳۳ ab	۹/۶۰ ab	۱۲/۹۵ a
LSD		۸/۳۳	۱/۶۷	۰/۰۱۰	۲/۱۷	۲/۸۵
۲۱ روزه	H_1	۷۵/۴۲ a	۱۵/۴۷ b	۰/۰۴۷ a	۶/۷۳ c	۱۰/۶۲ b
	H_2	۶۱/۹۹ c	۱۷/۱۶ ab	۰/۰۳۳ b	۷/۹۹ bc	۱۱/۹۲ ab
	H_3	۶۶/۶۰ b	۱۹/۳۵ a	۰/۰۳۷ ab	۱۰/۱۵ a	۱۳/۴۷ a
	H_4	۶۲/۴۲ c	۱۹/۹۲ a	۰/۰۲۸ b	۹/۲۷ ab	۱۳/۲۳ a
LSD		۳/۴۶	۳/۵۰	۰/۰۱۱	۱/۳۰	۲/۰۶

در هر ستون و برای هر جز حروف مشابه نمایانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد می‌باشد.

(H_1= شاهد (عدم محلول‌پاشی)، H_2= اسید سالیسیلیک، H_3= کیتوزان و H_4= اسید سالیسیلیک+ کیتوزان)

Naghizadeh & Gholami Tooran Poshti (2014) اظهار داشتند محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک منجر به کاهش نشت یونی در گیاه گندم شد که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. کاهش میزان خسارت غشای سلول در صورت کاربرد اسیدسالیسیلیک که به‌عنوان راه‌کاری در جهت افزایش مقاومت به خشکی در گیاهان شناخته می‌شود، می‌تواند با تولید آنتی-اکسیدان‌ها که عکس‌العملی از سوی گیاه برای کاهش خسارت اکسیداتیو است، در ارتباط باشد. Amiri *et al.* (2017) هم‌چنین گزارش کردند که کاربرد اسیدسالیسیلیک و کیتوزان موجب افزایش پایداری غشای سلول در گیاه گلرنگ شده است.

۳. ۲. پرولین

محتوای پرولین به‌طور معناداری تحت تأثیر اثرات ساده آبیاری و محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد و برهم‌کنش آنها در سطح پنج درصد قرار گرفت (جدول ۲). نتایج اثرات متقابل نشان داد که در شرایط تنش ۱٤ روزه بیش‌ترین میزان پرولین برگ متعلق به تیمار محلول‌پاشی کیتوزان (۱۳/۲۵ میکرومول بر گرم وزن تر) بود که با کاربرد هم‌زمان آن با اسیدسالیسیلیک از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳). طبق جدول (۳)، تیمار کیتوزان بیش‌ترین میزان پرولین (۱۳/٤۷ میکرومول بر گرم وزن تر) را تحت آبیاری ۲۱ روزه به‌خود اختصاص داد و کم‌ترین میزان آن متعلق به تیمار عدم مصرف الیسیتورها در تیمار شاهد آبیاری (۷/٤۷ میکرومول بر گرم وزن تر) بود.

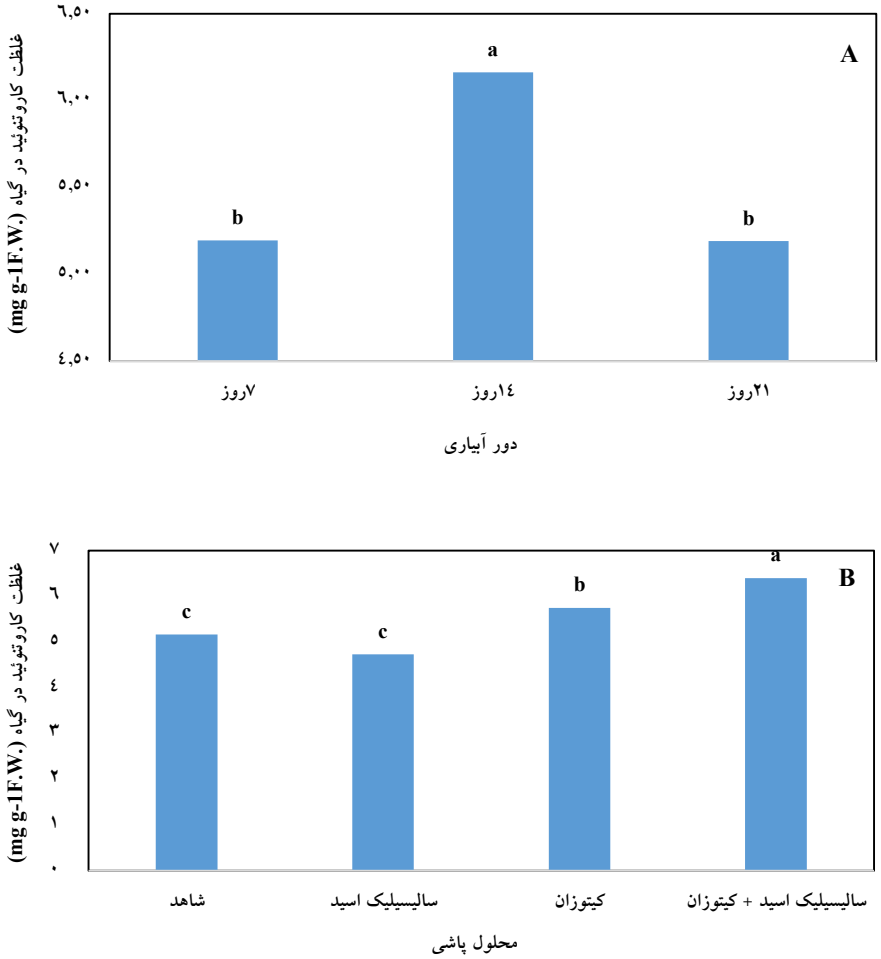
به‌نظر می‌رسد کیتوزان با افزایش تجمع پرولین و از طریق فرایند تنظیم اسمزی منجر به کاهش آثار زیان‌بار تنش خشکی می‌شود. Naderi *et al.* (2014) گزارش کردند که کیتوزان می‌تواند به‌عنوان تنظیم‌کننده کلیدی عکس‌العمل‌های گیاه در برابر تنش‌های غیرزیستی عمل کند. مطالعات نشان دادند که افزایش میزان پرولین در زمان مواجهه گیاه با تنش‌های محیطی یک راه‌کار محافظتی برای اغلب گیاهان به‌شمار می‌آید.

افزایش میزان پرولین توسط کیتوزان نیز در پژوهش Mahdavi & Rahimi (2013) روی گیاه گلرنگ نیز گزارش شده است. استفاده از اسیدسالیسیلیک هم‌چنین سبب بهبود میزان پرولین در گیاه و مقاومت به تنش شده است که با نتایج Moradi & Pourghasemian (2018) روی گیاه همیشه بهار مطابقت دارد.

۳. ۳. رنگیزه‌های فتوسنتزی

میزان غلظت کاروتنوئید تحت تأثیر اثرات متقابل آبیاری و محلول‌پاشی قرار نگرفت، اما اثرات ساده آبیاری و محلول‌پاشی در سطح احتمال ۱ درصد تأثیر معنی‌داری بر صفت مذکور داشتند. بیش‌ترین غلظت کلروفیل کل در تیمار شاهد با محلول‌پاشی کیتوزان (۱۰/۸۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کم‌ترین میزان آن در تیمار ۲۱ روز آبیاری و بدون محلول‌پاشی (٦/۷۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مشاهده شد (جدول ۳). کاربرد کیتوزان میزان کلروفیل کل را ۳۰ درصد نسبت به عدم مصرف آن در تیمار آبیاری ۱٤ روزه افزایش دادند. نتایج مقایسه میانگین‌ها مشخص کرد که کاربرد کیتوزان تحت شرایط کمبود رطوبت (دور آبیاری ۲۱ روزه)، منجر به افزایش قابل‌ملاحظه (۵۱ درصد) کلروفیل کل نسبت به عدم مصرف محلول‌پاشی شد (جدول ۳).

در رابطه با کاروتنوئید تنش ۲۱ روزه سبب کاهش اندکی در میزان غلظت این رنگیزه شد و در مقابل محلول‌پاشی هم‌زمان اسیدسالیسلیک و کیتوزان به میزان ۲۳/۷۹ درصد غلظت کاروتنوئید را نسبت به عدم مصرف افزایش دادند (شکل ۱).



شکل ۱. اثرات ساده آبیاری (A) و محلول‌پاشی (B) بر میزان کاروتنوئید (حروف مشابه بیان‌گر عدم وجود اختلاف معنی‌دار)

با توجه به نتایج به‌نظر می‌رسد که میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی با شدت تنش خشکی کاهش یافته و کاربرد اسیدسالیسیلیک و کیتوزان موجب افزایش آن در شرایط تنش خشکی شده است، که با نتایج Mosapoue Yahyaabadi (2016) روی گیاه شنبلیله مطابقت دارد.

اسید سالیسیلیک با افزایش فعالیت آنزیم‌های درگیر در فتوسنتز و هم‌چنین کاهش گونه‌های فعال اکسیژن با تحت تأثیر قراردادن فرایندهای بیوشیمیایی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی منجر به افزایش محتوای کلروفیل در گیاه می‌شود (Dolatmand Shahri & Hagh Shenas, 2017).

نتایج مشابهی در زمینه تأثیر مثبت کیتوزان بر محتوای کلروفیل در شرایط تنش خشکی ارائه شده است. از جمله Mosapour Yahyaabadi *et al.* (2016) گزارش کردند که کاربرد کیتوزان موجب افزایش کلروفیل a در گیاه شنبلیله شده است. طی مطالعه‌ای تأثیر کیتوزان روی گیاه دارویی بادرنجبویه موردمطالعه قرار گرفت و مشخص شد که میزان رنگیزه‌های کلروفیلی و کاروتنوئید تحت تأثیر کاربرد کیتوزان افزایش یافته است (Khajeh & Naderi, 2014).

مشخص شده است که کیتوزان با فعال‌کردن و افزایش بیان ژن‌ها در مسیر بیوسنتزی تولید کلروفیل،

در نهایت منجر به افزایش کلروفیل در گیاه می‌شود (Emami Bistgani *et al*., 2015).

کاربرد هم‌زمان کیتوزان و اسید سالیسیلیک نیز سبب افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی و هم‌چنین رنگیزه کاروتنوئید در گیاه گلرنگ شد (Amiri *et al*., 2016). در پژوهش‌های انجام‌شده گزارش شده است که اسیدسالیسیلیک و کیتوزان به‌دلیل داشتن خواص آنتی‌اکسیدانی سبب کاهش رادیکال‌های آزاد در گیاه و در نتیجه افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی و غیر فتوسنتزی شدند.

۳. ٤. محتوای قندهای محلول

میزان قندهای محلول برگ به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات ساده آبیاری و محلول‌پاشی و برهم‌کنش این دو تیمار در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۲). نتایج جدول (۳) نشان داد که بیش‌ترین میزان قندهای محلول در شرایط آبیاری ١٤ روزه (٢١/٢٦ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) مربوط به تیمار مصرف هم‌زمان کیتوزان و اسیدسالیسیلیک بود که با تیمار مصرف جداگانه کیتوزان اختلاف معنی‌داری نداشت و سبب افزایش ٢٩/٤٧ درصدی میزان قند محلول نسبت به عدم مصرف شده بود (جدول ۳).

به‌نظر می‌رسد افزایش محتوای قندهای محلول تحت تیمارهای محلول‌پاشی کیتوزان به‌دلیل هیدرولیز نشاسته به قندهای محلول نظیر فروکتوز، گلوکز و ساکارز است که به نوعی مکانیسم تطابقی و سازگاریافته برای نگهداری و حفظ پتانسیل اسمزی می‌باشد. نتایج برخی پژوهش‌ها نشان داد که میزان قندهای محلول تحت تأثیر تیمار کیتوزان افزایش یافت (Khajeh & Naderi, 2014; Mahdavi *et al*., 2011). اسیدسالیسیلیک با تأثیر بر آنزیم‌های هیدرولیزکننده پلی‌ساکاریدها، تشکیل قندهای محلول از این پلی‌ساکاریدها را تسریع می‌نماید (Sartip & Sirousmehr, 2018).

طبق گزارش Kamali *et al.* (2012) محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک در گیاه ذرت موجب افزایش قابل‌ملاحظه‌ای در میزان قندهای محلول در گیاه شد. Habibi *et al.* (2015) گزارش کردند کاربرد اسیدسالیسیلیک سبب افزایش میزان قندهای محلول در گیاه توتون شد.

۳. ۵. مالون‌دی‌آلدهید

تجزیه واریانس داده‌ها معنی‌دارشدن اثر آبیاری و محلول‌پاشی و برهم‌کنش آن‌ها را در سطح احتمال ۱ درصد روی میزان مالون‌دی‌آلدهید گیاه را نشان داد (جدول ۲). طبق جدول اثرات متقابل (جدول ۳) مشاهده شد محلول‌پاشی کیتوزان و اسیدسالیسیلیک سبب کاهش میزان مالون‌دی‌آلدهید تحت شرایط آبیاری ١٤ روزه شده است و در تنش شدید (آبیاری ۲۱ روزه) مصرف هم‌زمان این دو ماده سبب کاهش ٤٠ درصدی میزان MDA نسبت به عدم محلول‌پاشی در این تیمار شده است.

بیش‌ترین میزان مالون‌دی‌آلدهید در سطوح بالای تنش خشکی بدون محلول‌پاشی مشاهده شد که نشان‌دهنده افزایش پراکسیداسیون لیپیدهای غشا در سطوح بالای تنش بوده است، اما کاربرد اسیدسالیسیلیک منجر به افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و پرولین و کاهش پراکسیداسیون لیپیدهای غشای سلول شد.

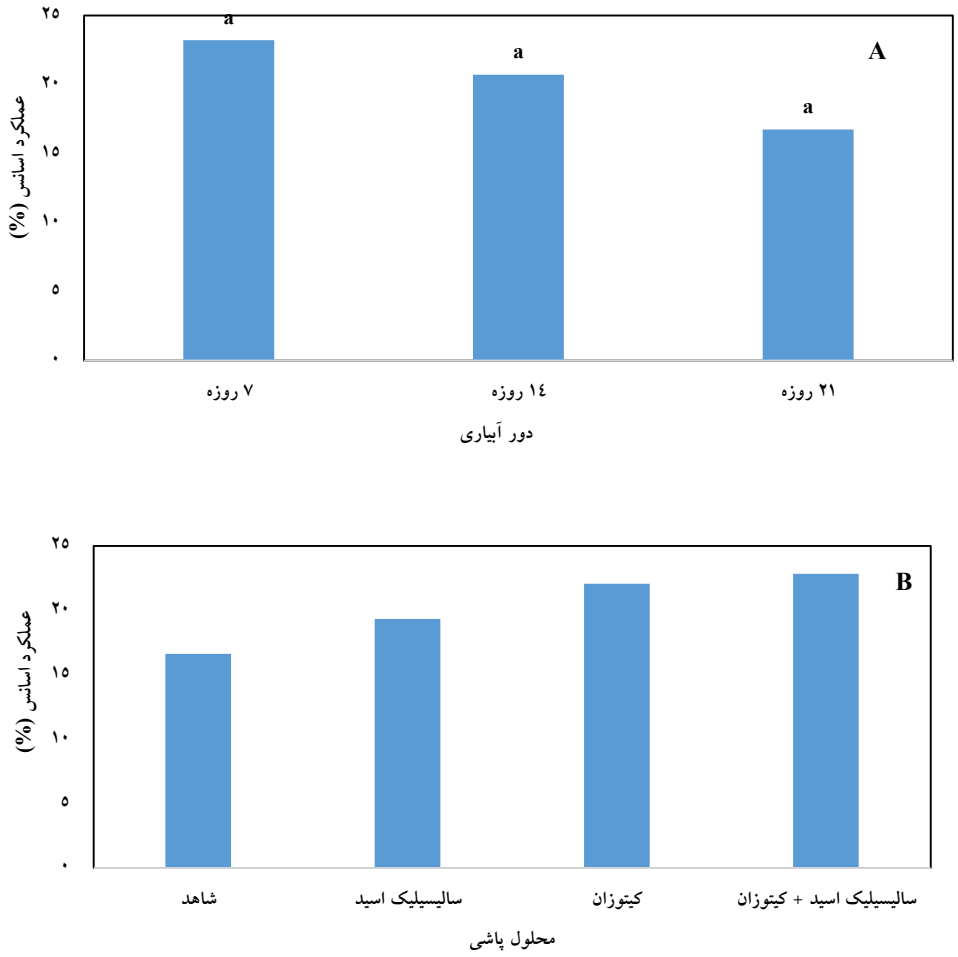
با توجه به نتایج حاصل به‌نظر می‌رسد کاربرد کیتوزان و اسیدسالیسیلیک با القای سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی و حذف رادیکال‌های آزاد به‌طور مستقیم و یا توسط آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از اکسیداسیون لیپیدهای غشا ممانعت نموده و مانع افزایش میزان مالون‌دی‌آلدهید گیاه شده و از این طریق باعث افزایش مقاومت گیاه به تنش خشکی شده‌اند. در بررسی Mahdavi *et al.* (2014) روی گلرنگ مشخص شد که میزان مالون‌دی‌آلدهید در گیاه با مصرف کیتوزان کاهش یافت. هم‌چنین این نتیجه با یافته‌های Taheri (2015) روی گیاه کمای بینالودی

مطابقت دارد. هم‌چنین گزارش شده است میزان مالون‌دی‌آلدهید گیاه رازیانه با مصرف سالیسیلیک اسید نسبت به شاهد کاهش پیدا کرده است (Salarpour & Farahbakhsh, 2014).

۳. ٦. عملکرد اسانس

اثر آبیاری بر عملکرد اسانس در سطح احتمال پنج درصد و اثر محلول‌پاشی بر آن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، اما برهم‌کنش آبیاری در محلول‌پاشی بر عملکرد اسانس بی‌معنی بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر ساده آبیاری بر عملکرد اسانس نشان داد با افزایش تنش خشکی میزان عملکرد اسانس کاهش یافت، به‌طوری‌که بیش‌ترین عملکرد اسانس مربوط به تیمار شاهد و کم‌ترین میزان آن مربوط به تیمار تنش شدید یعنی آبیاری ۲۱ روزه بود (شکل ۲).

طبق نتایج به‌دست‌آمده اثرات ساده محلول‌پاشی، مشاهده شد که محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک و کیتوزان با هم سبب افزایش ۳۷/٤ درصدی عملکرد اسانس نسبت به شاهد شده بود که با تیمار جداگانه کیتوزان اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۲).



شکل ۲. اثرات ساده آبیاری (A) و محلول‌پاشی(B) بر میزان عملکرد اسانس (حروف مشابه بیان‌گر عدم وجود اختلاف معنی‌دار)

نتیجه آزمایش‌های قبلی انجام‌گرفته روی گیاهان دارویی حاکی از آن است که کاهش عملکرد اسانس در نتیجه، کاهش رطوبت خاک ممکن است ناشی از اثر زیانبار تنش آبی بر رشد پیکر رویشی و عملکرد گیاه باشد چون عملکرد اسانس تابعی از درصد اسانس و عملکرد گیاه می‌باشد.

براساس موارد ذکرشده می‌توان چنین نتیجه گرفت که کیتوزان و اسید سالیسیلیک با تحریک چرخه فیزیولوژیکی گیاه و فعالیت فتوسنتزی بالاتر سبب افزایش در رشد رویشی، تعداد غدد تولیدکننده اسانس، مواد اولیه تولید متابولیت‌های ثانویه و در نهایت باعث افزایش تولید اسانس در گیاه دارویی زوفا شده است. این نتایج با یافته‌های Rezaichianeh & Pirzad (2014) نیز مطابقت دارد. این نتایج هم‌چنین با یافته‌های Hasanzadeh *et al*. (2016) در گیاه دارویی بادرنجبویه[1] مطابقت داشت.

٤. نتیجه‌گیری

براساس نتایج حاصل از این پژوهش تنش کم‌آبی منجر به ایجاد تنش اکسیداتیو در گیاه زوفا شد، به‌صورتی‌که سبب افزایش میزان نشت غشای سلول و به‌دنبال آن محتوای مالون‌دی‌آلدهید و در نتیجه آسیب به غشای سلول شد. محلول‌پاشی با الیسیتورهای کیتوزان و سالیسیلیک اسید توانست خسارت ناشی از تنش خشکی را از طریق افزایش تنظیم‌کننده‌های اسمزی هم‌چون پرولین و کاهش پراکسیداسیون لیپیدی غشا جبران نماید و تراوایی غشای سلولی را کاهش دهد.

کاربرد برگی کیتوزان و اسید سالیسیلیک هم‌چنین با بهبود محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه سبب افزایش میزان فتوسنتز و در نتیجه افزایش عملکرد گیاه شد. در حقیقت این الیسیتورها با نقش محافظتی خود توانستند منجر به افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی، پایداری بیش‌تر غشا و افزایش عملکرد اسانس و در نهایت مقاومت گیاه به تنش کم‌آبی در تیمار تنش شدید (آبیاری ۲۱ روزه) شوند. بنابراین کاربرد کیتوزان و اسید سالیسیلیک با توجه به نقش مؤثر این الیسیتورها در کاهش صدمات و مخاطرات زیست‌محیطی، نیل به کشاورزی پایدار، افزایش عملکرد گیاهان دارویی و مقاومت به تنش‌های محیطی توصیه می‌شود.

٥. تشکر و قدردانی

از کارشناسان آزمایشگاه‌های دانشکده کشاورزی جهت کمک به پیشبرد پژوهش حاضر، تشکر و قدردانی می‌گردد.

٦. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

٧. منابع

Ahmad, P., & Prasad M. N. V. (2012). Abiotic Stress Responses in Plants: Metabolism, Productivity and Sustainability, Springer, New York, USA, 279p.

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, Iran. (In Persian).

Amiri, A., Esmaeilzadeh Bahabadi, S., Yadollahi Dehcheshmeh, P., & Sirousmehr, A. (2017). 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*(1), 69-84. (In Persian). https://dx.doi.org/10.22059/jci.2016.56581

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*(2), 453-466. https://10.22059/JCI.2016.56581

1. *Melissa officinalis* L.

Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, *24*(1), 1-15.

Asgarirad, H., Pourmorad, F., Hosseinimehr, S., Saeidnia, J., Ebrahimzadeh, S., & Lotfi, F. (2010). In vitro antioxidant analysis of (*Achillea tenuifolia*. L.). *African Journal of Biotechnology, 9*(24), 3536-3541.

Ashraf, M.Y., & Azmi, A. R., & Khan, A. H., & Ala, S. A. (1994). Effect of water stress on total phenols, peroxidase activity and chlorophyll content in wheat. *Acta Physiology Planta, 16*(3), 185-191. (In Persian)

Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39(1), 205-207.

Dolatmand Shahri, N., & Hagh Shenas, M. (2017). Effect of different amounts of soil moisture in different salicylic acid levels on enzymes activity and morphophysiological characteristics of alfalfa. *Crop Physiology Journal, 9*(33).

Emami Bistgani, Z., Siadat, S. A., Bakhshandeh, A., & Ghasemi Pirbalouti, A. (2017). The effect of drought stress and elicitor of chitosan on photosynthetic pigments, proline, soluble sugars and lipid peroxidation in (*Thymus deanensis* Celak.) in Shahrekord climate. *Environmental stresses in Crop Sciences, 10*(1), 20-13.

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). (In Persian).

Habibi, Gh., Sadeghipour, Z., & Hajiboland, R. (2015). Flora, life form and chorological study of soil seed banking Sisangan box tree (*Buxus hyrcanus* Pojark). *Forest Reserve, 7*(25), 17-28.

Hasanzadeh, K., Hemmati, Kh., & Alizadeh, M. (2016). Effect of organic fertilizers and salicylic acid on the yield and some secondary metabolites of lemon balm (*Melissa officinalis* L.). *Journal of Plant Production Research, 23*(1), 107-130. (In Persian). https://jopp.gau.ac.ir

Heath, R.L., & Packer, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Archives of Biochemistry and Biophysics, *125*, 189-198.

Jami, N., Mousavi Nik, S. M., & Naghiza, M. (2015). The effect of drought stress and foliar application with salicylic acid on qualitative and quantitative yield of Black cumin under Kerman climatic condition. *Journal of Crops Improvement, 17*(3), 827-840. (In Persian). https://10.22059/JCI.2015.54389

Kamali, M., Kharrazi, S. M., Salah Variz, Y., & Tehrani Far, A. (2012). Effect of salicylic acid on growth and some morphophysiological traits of (*Gomphrena globosa* L.) in salinity stress conditions. *Journal of Horticulture, 26*(1), 104-112. (In Persian). https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.12899

Khajeh, H., & Naderi, S. (2014). The effect of chitosan on some antioxidant enzymes activity and biochemistry characterization in Melissa (*Melissa officinalis*) . *Research Journal of Crop Science in Arid Area, 1*, 100-116. (In Persian)

Khan, M. A., & Iqba, M., (2011). Breeding for drought tolerance in wheat constraints and future prospects. *Frontiers Agri*culture in *China*, *5*(1), 31-34.

Kochert, G. (1978). Carbohydrate determination by the phenol sulfuric acid method. In Helebust, J. A., & Craig, J. S (ed) *Handbook physiological methods*, Cambridge university. Press, Cambridge, 96-97.

Lichtenthaler, H.K. (1987). Cholorophylls & cartenoids: pigments of photosynthetic bio membranes. *Method Enzymology 148*: 350-382.

Mahdavi, B., & Rahimi, A. (2013). Seed priming with chitosan improves the germination and growth performance of ajowan (*Carum copticum*) under salt stress. *EurAsian Journal of BioSciences, 7*, 69-76.

Mahdavi, B., Modarres Sanavy, S. A. M., Aghaalikhani, M., Sharifi, M., & Dolatabadian, A. (2011). Chitosan improves osmotic potential tolerance in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) seedlings, *Journal of Crop Improvement, 25*, 728-741. (In Persian). https://doi.org/10.1080/15427528.2011.606354

Mahdavi, B., ModarresSanavy, S. A. M., Aghaalikhani, M., Sharifi, M., & Alavi Asl, S. A. (2014). Effect of Foliar Application of Chitosan on Growth and Biochemical Characteristics of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under Water Deficit Stress. *Iranian Journal of Field Crops Research, 12*(2), 229-236. (In Persian). https://doi.org/10.22067/gsc.v12i2.39153

Moradi, R., & Pourghasemian, N. (2018). Effect of Salicylic Acid Application on Mitigating Impacts of Drought Stress in Marigold (*Calendula officinalis* L.). *Water and Soil Science, 28*(2), 15-28. (In Persian).

Mosapour Yahyaabadi, H., Asgharipour, M. R., & Basiri, M. (2016). Role of chitosan in improving salinity resistance through some morphological and physiological characteristics in fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture Soilless Culture Research Center, 7*(1), 165-175.

Naderi, S., Fakheri, B. A., & Seraji, M. (2014). The effect of chitosan on some physiological and biochemical characteristics of Ajowan (*Carum copticum* L.). *Crop Sciences Research in the Dry Areas, 1*, 187-201. (In Persian). https://10.22034/CSRAR.01.01.05

Naghizadeh, M., & Gholami Tooran Poshti, M. (2014). Evaluation the effect of seed priming by salicylic acid on yield and yield components of wheat under drought stress conditions. *Agroecology*, *6*(1), 162-170. (In Persian). https://doi.org/10.22067/jag.v6i1.35683

Naseri, Z., Abbassi, F., & Mahmoodzadeh, H. (2011). Effects of different water deficit levels and GA3 on the accumulation of proline and soluble and insoluble sugars in leaves of a new cultivar of barley (*Hordeum vulgar* L.). *Journal of Plant Science Researches, 6*(2), 1-10. (In Persian).

Ramezannezhad, R., Lahooti, M., & Ganjali, A. (2013). Effect of salicylic acid spraying on some physiological and biochemical indices of susceptible and resistant chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Journal of Plant Ecophysiology, 5*(12), 46-62. (In Persian).

Rezaei Chiyaneh, A., & 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*(3), 437-427. (In Persian). https://doi.org/10.22067/gsc.v12i3.42218

Sairam, R.K., & Srivastava, G.C. (2001). Water stress tolerance of wheat *Triticum aestivum* L.: Variation in hydrogen peroxide accumulation and antioxidant activity in tolerant and susceptible genotype. *Journal Agronomy and Crop Science 186*, 63-70.

Salarpour, F., & Farahbakhsh, H. (2014). Effects of drought stress and salicylic acid on morphological and physiological traits of (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Journal of Crop Improvement, 16*(3), 765-778. (In Persian). https://10.22059/JCI.2014.53276

Sartip, H., & Sirousmehr, A. R. (2018). Evaluation of salicylic acid effects on growth, yield and some biochemical characteristics of cumin (*Cuminum cyminum* L.) under three irrigation regimes. *Environmental stresses in crop science*, *10*(4), 547-558. (In Persian). https://10.22077/ESCS.2017.21.1007

Soleimani, N., Mohabati Mobarez, A., Seyed Jafari Olia, M., & Atyabi, F. (2015). Synthesis, characterization and effect of the antibacterial activity of chitosan nanoparticles on vancomycin- resistant Enterococcus and other gram negative or gram positive bacteria. *International Journal of Pure and Applied Sciences and Technology*, *26*(1), 14-23.

Taheri, Gh. (2015). Effects of Chitosan Spraying on Physiological Characteristics of *Ferula flabelliloba* (Apiaceae) under drought stress. *Iranian Journal of Field Crops Research, 13*(4), 728-737. (In Persian). https://doi.org/10.22067/gsc.v13i4.32342

Wesolowska, A., Jadczak, D., & Grzeszczuk, M. (2010). Essential oil composition of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) cultivated in north-western Poland. *Herba Polonica, 56*(1), 57-65. 26.

Xoconostle-Cazares, B., Ramirez-Ortega, F. A., Flores-Elenes, L., & Ruiz-Medrano, R. (2010). Drought tolerance in crop plants. *American Journal of Plant Physiology, 5*(5), 241-256.

Yazdanpanah, S., Abasi, F., & Baghzadeh, A. (2010). Effect of salicylic acid and ascorbic acid on proline, sugar and protein content in (*Satureja hortensis* L.) under aridity stress. *Proceeding of the First National Conference of Environmental Stress in Agricultural Science, The University of Birjand,* 28-29. (In Persian).

Yin, H., Xavier, F., Chrestensen, L. P., & Grevsen, K. (2011). Chitosan Oligosaccharides promote the Content of polyphenols in Greek Oregano (*Oreganum vulgare* ssp.hirtum). *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 136-143.