بررسی اثر نانواکسیدروی بر عملکرد، میزان کیفیت و کمیت ترکیبات اسانس گیاه دارویی *Salvia leriifolia* Benth. در شرایط تنش شوری

مهدی آخوندی[۱]، مجید دشتی[۲]*، مریم نیاکان[۳]، هما محمودزاده آخرت[٤]

[۱]استادیار، گروه زیست شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

[۲]استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

[۳]دانشیار، گروه زیست‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرگان، گرگان، ایران

[٤]دانشیار، گروه زیست‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱/۳/ ۱٤۰۰ تاریخ پذیرش: ۰۰/٤/۱۲

چکیده

در گیاهان دارویی تولید متابولیت‌های ثانویه به‌ویژه اسانس تحت تأثیر عوامل محیطی مختلفی از جمله شوری قرار می‌گیرند. در این تحقیق به منظور بررسی اثر سطوح مختلف تنش شوری و نانواکسیدروی بر عملکرد کمی و کیفی ترکیبات اسانس گیاه نوروزک (*Salvia leriifolia* Benth.)، یک آزمایش فاکتوریل با پنج سطح شوری (۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم) و سه سطح نانواکسید روی (۰ ، ۲ و ٤ میلی‌گرم در لیتر) درقالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه دانشگاه آزاد اسلامی مشهد در سال ۱۳۹۸ انجام گردید. اسانس‌گیری به روش تقطیر با آب توسط دستگاه کلونجر از اندام هوایی رویشی گیاه انجام شد. تجزیه اسانس با استفاده از دستگاه کروماتوگراف گازی و کروماتوگرافی متصل به طیف‌سنج جرمی انجام شد. نتایج نشان داد، تأثیر سطوح مختلف تنش شوری بر وزن خشک، بازدهی و عملکرد اسانس گیاه نوروزک معنی‌دار بود، لیکن کاربرد نانو اکسید روی، تنها بازدهی و عملکرد اسانس را تحت تأثیر قرار داد. با افزایش تنش شوری، وزن خشک برگ‌ها، درصد و عملکرد اسانس برگ به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت، در حالی که افزایش غلظت نانو اکسیدروی باعث افزایش صفات فوق در سطوح بالای شوری گردید. ماده موثره ۱و۸- سینئول بیشترین ترکیب اسانس گیاه را تشکیل داد که با افزایش سطح شوری مقدار آن ٤۳ درصد افزایش نشان داد. ترکیبات ایزوپینوکاروئل، کاروتول، اندوبرونئول نیز در سطوح پایین شوری ابتدا کاهش و سپس در سطح ۲۰۰ میلی‌مولار شوری افزایش یافت. همچنین افزایش غلظت نانوذرات اکسیدروی سبب افزایش میزان اندوبرونوئل، ۱و ۸- سینئول و بتا- پینن و کاهش میزان ایزوپینوکاروئل، کاروتول و آلفا- کادینول شد.

واژه‌های کلیدی: اسانس، شوری، نانو اکسیدروی، نوروزک.

*نویسنده مسئول: m.dashti@areeo.ac.ir

مقدمه

شوری خاک یک مشکل جهانی است که به طور فزاینده ای در حال افزایش می باشد. علاوه بر این درنتیجه روش‌های نامناسب آبیاری و تغییرات آب و هوایی (افزایش سطح دریا و افزایش میزان تبخیر در دوره های خشکسالی) بر این مشکل افزوده می شود (Van Zelm et al., 2020).

گیاهان به‌طور مداوم در معرض تغییرات محیطی و عوامل تنش زا در طول زندگی خود قرار گرفته و ساز و کارهای مختلفی را برای مقابله با این شرایط به کار می گیرند. بنابراین شناسایی راهکارهایی که بتواند موجب افزایش تحمل تنش در گیاهان گردد، جهت کشاورزی پایدار و تولید محصولات مختلف از اهمیت بالایی برخوردار است (Parihar et al., 2015 ; Saxena et al., 2016). گیاهان دارویی یکی از منابع بسیار ارزشمند در گستره وسیع منابع طبیعی ایران هستند که در صورت شناخت علمی، کشت، توسعه و بهره‌برداری صحیح می توانند نقش مهمی در سلامت جامعه، اشتغال‌زایی و صادرات غیرنفتی داشته باشند. جنس سالویا بزرگ ترین و مهم ترین جنس خانواده نعناعیان است (Porres-Martínez et al., 2014). گیاه نوروزک (*Salvia leriifolia* Benth.) ازجمله گونه‌های چندساله و با ارزش دارویی، اکولوژیکی و اقتصادی خانواده نعناعیان می‌باشد. این گونه بومی ایران و قسمتی از افغانستان بوده و پراکنش آن در ایران محدود به استان خراسان و قسمتی از استان سمنان است (Dashti et al., 2015). در خصوص خواص دارویی گیاه نوروزک پژوهش‌های زیادی صورت گرفته است. خواص دارویی نظیر کاهش قند خون، ضدالتهاب، خواص آنتی اکسیدانی، معالجه کم خونی، ضدتشنج، اضطراب و زخم معده این گیاه را به عنوان گیاه دارویی ارزشمند معرفی کرده است (Hosseinzadeh et al., 2009).

در گیاهان دارویی، تولید متابولیت های ثانویه به ویژه اسانس تحت تأثیر عوامل محیطی مختلفی قرار می‌گیرند (Aftab, 2019). گونه گیاهی، مرحله رشد و نمو، شرایط فصلی خاص، میزان دسترسی به مواد غذایی معدنی و شرایط تنشی ازجمله این عوامل هستند (Aftab, 2019; Russo et al., 2016).

نتایج ضد و نقیض زیادی درباره تأثیر تنش شوری بر پارامترهای کمی و کیفی اسانس گیاهان معطر گزارش‌شده است (Vatankhah et al., 2017; Khademalhosseini et al., 2018; Taariat et al., 2012). علت دقیق افزایش برخی از ترکیبات اسانس و کاهش برخی دیگر تحت تنش شوری مشخص نیست و ممکن است در گیاهان تحت تنش شوری برخی از آنزیم‌ها و یا حتی بیان برخی از ژن‌ها مربوط به مسیرهای بیوسنتزی و یا تجزیه‌ای دخیل در متابولیسم متابولیت های ثانویه دستخوش تغییر شده باشند (Aftab, 2019).

وطن خواه و همکاران (Vatankhah et al., 2017) در بررسی اثر تنش شوری بر گیاه نعناع فلفلی گزارش دادند که میزان بازده اسانس تا غلظت ۷/۵ دسی زیمنس بر متر افزایش ولی بعد از آن کاهش یافت. خادم الحسینی و همکاران (Khademalhosseini et al., 2018) با بررسی اثر تنش شوری بر گیاه بادرنجبویه گزارش دادند با افزایش تنش شوری برخی ترکیبات در تیمار شاهد وجود نداشتند ولی با افزایش تنش شوری در تیمار ٤ دسی‌زیمنس بر متر تولید شدند و یا برخی دیگر از ترکیبات در تیمار شاهد تولید شدند ولی با افزایش تنش شوری در تیمار ٤ دسی‌زیمنس بر متر تولید آنها قطع شد.

تعاریت و همکاران (Taariat et al., 2012) گزارش دادند که اجزای اسانس گیاه مریم گلی کبیر (*Salvia sclarea* L.) تحت تأثیر شوری قرار نگرفت و در همه تیمارهای شوری، ترکیبات اسانس

شامل آلفا و بتا-پینن، ۱ و ۸- سینئول، کامفور، آلفا-هومولن، ویریدی فلورول و مانول بود.

فناوری نانو به تمام فناوری های پیشرفته در عرصه کار با مقیاس نانو اطلاق می‌شود (Singh et al., 2018). این فناوری، امروزه درزمینه‌های متنوع همچون کشاورزی، صنایع غذایی، تشخیص و مقابله با عوامل بیماری زا و بهبود مقاومت در برابر تنش‌های محیطی استفاده می‌شود. به نظر می‌رسد که این فناوری پتانسیل بالایی برای ایجاد آینده مطمئن و قابل‌اعتماد درزمینه کشاورزی دارد (Farooqui et al., 2016). یکی از کاربردهای امروزه فناوری نانو، استفاده از مواد نانوساختار جهت بهبود و اصلاح مکانیسم های موجود در گیاه به خصوص گیاهانی داروئی در شرایط تنش می‌باشد (Saxena et al., 2016). نتایج نشان‌دهنده این است که پاسخ گیاه بستگی به نوع ذره، گونه گیاهی، نوع تنش و دوره رویشی گیاه دارد (Khan et al., 2017). در موجودات زنده، عنصر روی، عنصر بسیار مهم و دومین عنصر فلزی از نظر انتقال در گیاهان، پس از آهن است که حضور آن برای رشد و حیات جانداران ضروری است (Li et al., 2013). همچنین نانو ذره روی علاوه بر افزایش شاخص های رشد ، باعث افزایش متابولیت های ثانویه هم می‌شود (Zafar et al., 2019).

اکسیدروی از طرف سازمان غذا و داروی آمریکا به‌عنوان یکی از ترکیبات ایمن و سالم عنصر روی شناخته‌شده است. نانواکسیدروی نیز در همین راستا به‌عنوان نانوذره‌ای جدید مهندسی‌شده است. بررسی‌ها نشان داده‌اند که کاربرد نانواکسیدروی علاوه برافزایش مصرف غلظت عنصر روی در گیاهان بر میزان جذب سایر عناصر نیز تأثیر دارد (Kisan et al., 2015).

محلول‌پاشی گیاه ریحان با کلات روی، باعث بهبود رشد و عملکرد گیاه، درصد و عملکرد اسانس و نیز میزان لینالول و متیل کاویکول به‌عنوان اجزاء غالب اسانس در شرایط تنش شوری گردید (Said-Al Ahl & Mahmoud, 2010). با توجه به اینکه بخش عمده‌ای از کشور ما را مناطق شور و یا مناطق با محدودیت منابع آبی تشکیل می‌دهد، اهمیت تحقیق در این زمینه بیشتر احساس می شود. تا کنون پژوهشی در زمینه اثر تنش شوری بر گیاه نوروزک صورت نگرفته است لذا با توجه به اهمیت این گونه مهم دارویی و معطر، مطالعه اثرات تنش شوری بررشد و عملکرد این گونه دارویی جهت توسعه در مناطق شور و نسبتاً شور ضروری است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی نانواکسیدروی بر میزان عملکرد ماده خشک، درصد و عملکرد اسانس و تغییرات ترکیبات اسانس گیاه نوروزک در شرایط تنش شوری، آزمایشی در سال ۱۳۹۸ در گلخانه دانشکده علوم دانشگاه آزاد مشهد به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل دو سطح محلول‌پاشی نانواکسیدروی (۲ و ٤ میلی‌گرم در لیتر) و پنج سطح شوری (صفر،۵۰ ،۱۰۰ ، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار از نمک NaCl) بود. نانواکسیدروی به رنگ سفید پودری و تولید کشور چین بود که از شرکت پیشگامان نانو مواد ایران تهیه شد و دارای خلوص ۹۹ درصد، میانگین اندازه ذرات کمتر از ۳۰ نانومتر، سطح ویژه ذرات بیشتر از ۳۰ مترمربع در هر گرم بود.

بذور گیاه نوروزک با نام علمی *Salvia leriifolia* Benth. از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی تهیه گردید. بذور گیاه پس از ضدعفونی با پودر وتابل ۶۰٪ کاربندازیم به میزان ۱/۵ در ۱۰۰۰، به تعداد کافی در ظروف پتری

۹۰ میلی‌متری بین دولایه کاغذ صافی واتمن شماره یک، در داخل ژرمیناتور یخچال دار با درجه حرارت ۱±۱۵ قرار داده شدند. پس از جوانه‌زنی، ٦ گیاهچه سالم با طول ریشه حداکثر ۱۰ تا ۱۵ میلی‌متر به گلدان‌های پلاستیکی منتقل شدند. گلدان‌ها (٤٥ عدد) با وزن خاک تقریبی ۳/۵ تا ٤ کیلوگرم خاک با خصوصیات فیزیکوشیمیایی جدول ۱ در شرایط گلخانه و درجه حرارت ٤ ± ۲۵ درجه سانتی‌گراد، شدت روشنایی ۵۰۰۰ لوکس و دوره نوری ۱٦ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی قرار گرفتند. تنش شوری پس از تهیه محلول‌های مختلف (صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم)، در آغاز چهارمین هفته پس از انتقال به گلدان‌ها اعمال شد. محلول‌پاشی نانواکسیدروی در غلظت‌های صفر، ۲، ٤ میلی‌گرم در لیتر به مدت ۸ هفته به‌صورت هفتگی به روش محلول‌پاشی بر اندام هوایی صورت گرفت. در طول مدت تنش، برای کاهش خطای آزمایش و نیز یکنواخت نمودن شرایط رویش برای تمامی گیاهان، گلدان‌های هر تیمار به‌طور تصادفی جابه‌جا می‌شدند. پس از پایان دوره تیماردهی گیاهان گروه‌های شاهد و تیمار به‌منظور سنجش پارامترها، نمونه‌برداری شدند.

جدول ۱: خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورداستفاده در گلدان حاوی گیاه نوروزک

مشخصات	pH	EC	آهک	رس	سیلت	شن	کربن آلی	پتاسیم	فسفر	روی	نیتروژن	درصد اشباع
		dS/m	درصد					پی‌پی‌ام			درصد	
میزان	۷/٤	۱/۲	۱۲	٤	۱۰	۸٦	۰/۹۸	۱٦۰	۳۵	۰/۵٤	۰/۱٦	۳۵

سنجش وزن خشک برگ: برای اندازه‌گیری وزن خشک برگ نمونه‌ها به‌مدت ۲٤ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرارگرفته و سپس با ترازو با دقت ۰/۰۰۰۱، برحسب گرم توزین شدند.

استخراج اسانس: برای این منظور بخش رویشی اندام هوایی گیاه به مدت ۵–۷ روز در شرایط سایه‌خشک شدند. پس از خشک شدن با آسیاب برقی کاملاً پودر شده و به میزان مشخصی از نمونه پودر شده و ۱۰۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر را در بالن به روش تقطیر با آب (طرح کلونجر) اسانس‌گیری شد. بالن روی هیتر مخصوص قرارگرفته و به مدت ۳–٤ ساعت اسانس‌گیری شد. حجم اسانس روی لوله مدرج خوانده شد و در نهایت درصد اسانس بدست آمد.

شناسایی ترکیبات اسانس: از دستگاه‌های کروماتوگراف گازی (GC) و گاز کروماتوگراف متصل به طیف سنج جرمی (GC/MS) ساخت شرکت Konik اسپانیا جهت شناسایی ترکیبات اسانس استفاده شدند. ستون موئینه PH-5 به طول ۱۰ متر، قطر داخلی ۰/۱ میلی‌متر و ضخامت لایه فاز ساکن برابر با ۰/٤ میکرون استفاده گردید که سطح داخلی آن با فاز ساکن از جنس ۵٪ Phenyl dimethyl siloxane پوشیده شده بود. برنامه‌ریزی حرارتی ستون از ٦۰ تا ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت افزایش دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد در هر دقیقه انجام گردید. فشار گاز سرستون ۳۵ پوند بر اینچ مربع و برنامه‌ریزی حرارتی ستون از ٦۰ تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد با افزایش دمای سه درجه سانتی‌گراد در هر دقیقه انجام شد. درجه حرارت ترانسفرلاین ۲۷۰ درجه سانتی‌گراد و درجه حرارت محفظه تزریق ۲٦۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد. سرعت حرکت گاز حامل هلیوم به میزان ۳۱/۵ سانتی‌متر بر ثانیه در طول ستون بود. زمان اسکن برابر یک ثانیه انرژی یونیزاسیون ۷۰ الکترون ولت و ناحیه جرمی از ٤۰ تا ۳٤۰ بود. شناسایی

ترکیبات موجود در هر اسانس بر اساس زمان بازداری و با استفاده از اطلاعات کتابخانه‌ای موجود در رایانه دستگاه GC/MS و مقایسه با ترکیبات استاندارد انجام گردید. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9/3 و میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح آماری ۵٪ مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، اثر تنش شوری بر وزن خشک برگ و بازدهی اسانس گیاه نوروزک در سطح ۵ درصد و بر عملکرد اسانس در سطح یک درصد معنی دار بود. همچنین تغییرات عملکرد و بازدهی اسانس تحت اثر نانواکسیدروی در سطح ۵ درصد معنی دار بود، در حالیکه تغییرات وزن خشک برگ تحت اثر نانو اکسید روی قرار نگرفت. اثر متقابل تیمارهای سطوح شوری و نانو اکسید روی بر صفات مورد مطالعه معنی دار نبود (جدول ۲).

جدول ۲: تجزیه واریانس و میانگین مربعات بر وزن خشک برگ، عملکرد ودرصد اسانس نوروزک

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن خشک برگ	عملکرد اسانس	بازدهی اسانس
شوری	۲	۰/۱۶۲*	۰/۰۴۷**	۰/۰۵۷*
نانو اکسید روی	٤	۰/۰۱۷ns	۰/۰۰٦*	۰/۰۲۳*
نانو اکسیدروی * شوری	۸	۰/۰۰۳ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۱ns
خطای آزمایشی	۳۰	۰/۰۰۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱

ns، *، **به‌ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح معنی‌دار ۰/۰۵ و ۰/۰۱

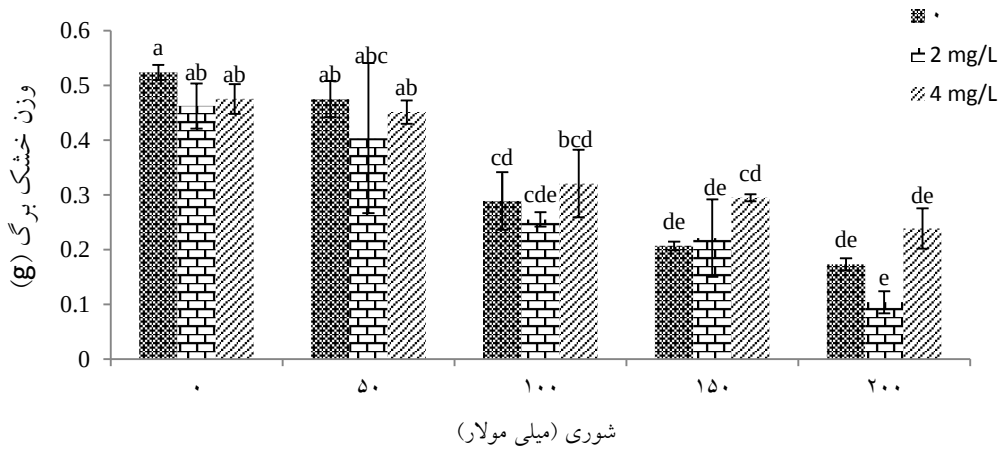
وزن خشک برگ: مقایسه میانگین وزن خشک برگ در سطوح مختلف کلرید سدیم نشان داد که میزان وزن خشک برگ با افزایش سطح کلرید سدیم نسبت به شاهد به‌ترتیب به میزان ۹/۰۳، ٤۰/۸٦، ۵۰/۷۲ و ٦٤/۸۹ درصد کاهش داشت (جدول ۳). در بررسی نتایج مشخص شد که غلظت ٤ میلی‌گرم در لیتر نانواکسیدروی باعث افزایش ۱۵/۲٤٪ وزن خشک برگ نسبت به شاهد شد، درحالی‌که وزن خشک برگ در شاهد و غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر نانواکسیدروی تفاوت معنی‌داری نداشتند.

جدول ۳: مقایسه میانگین اثر شوری بر وزن خشک، عملکرد و درصد اسانس *Salvia leriifolia*

تیمار	وزن خشک برگ (g)	عملکرد اسانس (mg/g)	درصد اسانس (٪)
شاهد	۰/٤۸۷a	۰/۲۱۲a	۰/٤۳٦a
۵۰ میلی‌مولار	۰/٤٤۳a	۰/۱۷۹a	۰/٤۰۲a
۱۰۰ میلی‌مولار	۰/۲۸۸b	۰/۰۹۱b	۰/۳۱۲b
۱۵۰ میلی‌مولار	۰/۲٤۱bc	۰/۰٦۸bc	۰/۲۸۲bc
۲۰۰ میلی‌مولار	۰/۱۷۲c	۰/۰٤۵c	۰/۲٤۸c

*در هرستون اعداد دارای حروف مشترک، تفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند ($\alpha = 1\%$).

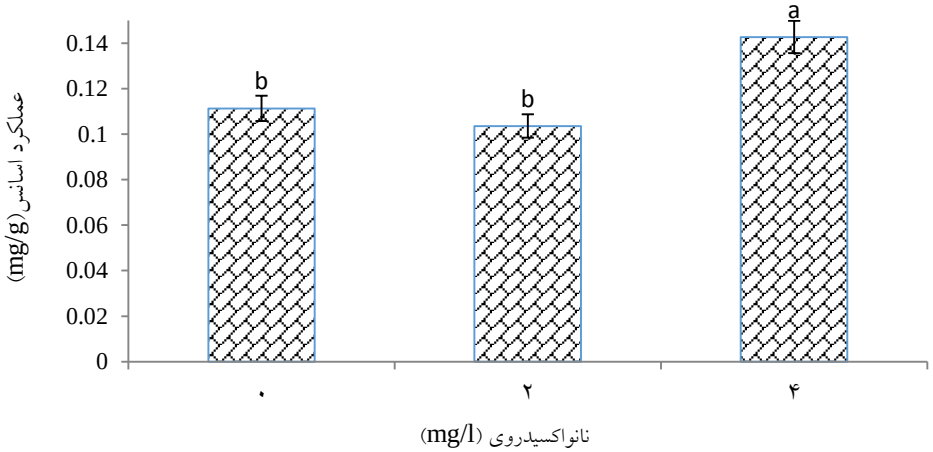
برهمکنش سطوح شوری و نانواکسیدروی بر وزن خشک برگ نشان داد که بیشترین میزان وزن خشک برگ در شاهد بدون حضور نانواکسیدروی و کمترین میزان در سطح ۲۰۰ میلی‌مولار و غلظت ۲ میلی‌گرم درلیتر نانواکسیدروی حاصل شد. بین غلظت‌های مختلف نانواکسیدروی تفاوت معنی داری مشاهده نشد (شکل ۱).



شکل ۱: اثر متقابل شوری و نانواکسیدروی بر وزن خشک برگ *Salvia leriifolia*

(مقادیر نشانگر میانگین ± خطای استاندارد است–حروف مشابه در ازمون دانکن دارای عدم اختلاف معنی دار است)

عملکرد اسانس: نتایج نشان دادند اثرات ساده شوری (P≤۰/۰۵) و نانواکسیدروی (P≤۰/۰۵) بر عملکرد اسانس معنی‌دار بود. با افزایش شوری مقدار عملکرد اسانس کاهش یافت. به‌طوری‌که کمترین مقدار در تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر کلرید سدیم بدست آمد که با سایر تیمارها به غیر از ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر اختلاف معنی‌دار داشت (جدول ۳). کاربرد ٤ میلی‌گرم نانواکسیدروی باعث افزایش ۲۸/۸۳ درصد عملکرد اسانس نسبت به شاهد شد (شکل ۲).

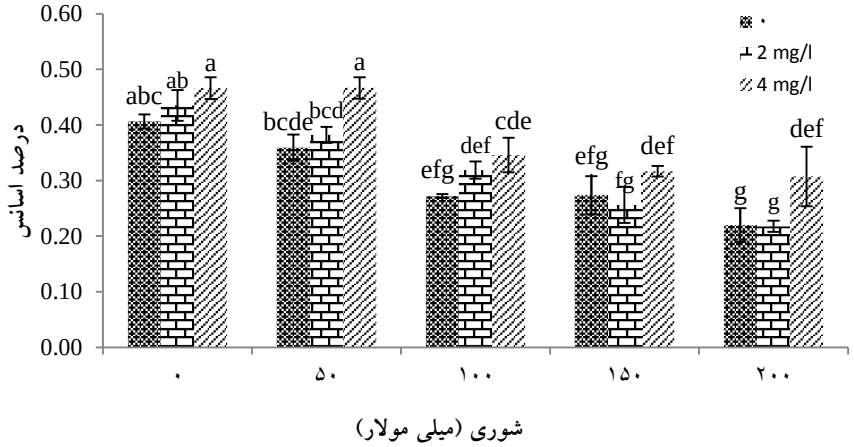


شکل ۲: اثر نانواکسیدروی بر عملکرد اسانس *Salvia leriifolia*

مقادیر نشانگر میانگین ± خطای استاندارد است–حروف مشابه در آزمون دانکن دارای عدم اختلاف معنی‌دار است

درصد اسانس: نتایج بررسی داده‌های مربوط به درصد اسانس نشان داد که در سطوح مختلف شوری بیشترین درصد اسانس در شاهد و کمترین مقدار در تیمار ۲۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم می‌باشد. میزان کاهش در سطوح مختلف شوری ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ مولار نسبت به شاهد به‌ترتیب ۷/۸، ۲۸/٤۲، ۳۵/۳۲ و ٤۳/۱۲ درصد بود (جدول ۳).

همچنین نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر متقابل این دو تیمار نشان داد که نانواکسیدروی سبب افزایش درصد اسانس در شرایط شوری شد. بیشترین اسانس برگ در نمونه شاهد وجود داشت. مقایسه کاهش اسانس برگ در سطوح مختلف شوری نشان داد تیمار گیاه با نانواکسیدروی سبب بهبود درصد اسانس برگ در همان سطح شوری می‌شود. در تیمار ۲۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم، درصد کاهش اسانس برگ در شوری بدون وجود نانوذره نسبت به شاهد ٤٥/٨١ درصد، درحالی‌که در همان سطح شوری نسبت کاهش در شرایط اعمال ٤ میلی‌گرم در لیتر نانواکسیدروی ٢٤/٣٨ درصد بود (شکل ۳).



شکل ۳ : اثرمتقابل تنش شوری و نانواکسیدروی بر درصد اسانس برگ *Salvia leriifolia*

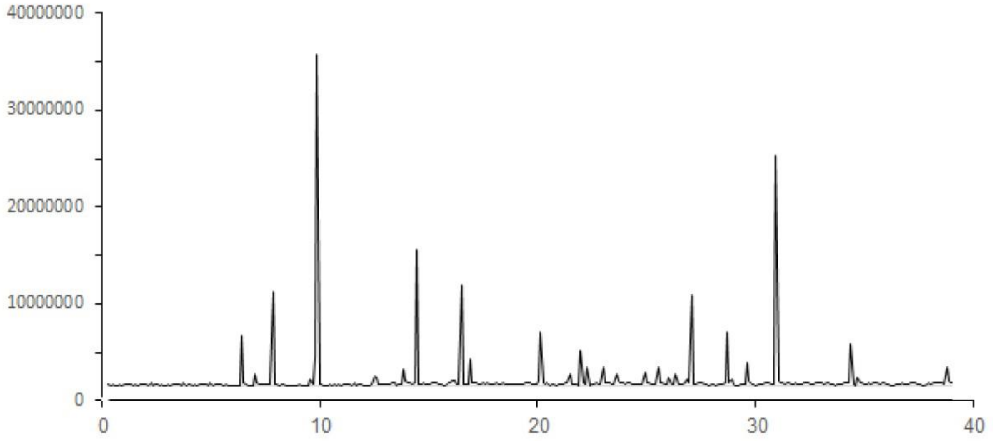
(مقادیر نشانگر میانگین ±خطای استاندارد است–حروف مشابه در ازمون دانکن دارای عدم اختلاف معنی‌دار است)

ترکیبات اسانس: نتایج تجزیه اسانس و ترکیبات شناسایی شده در تیمارهای مختلف در جدول ٤ و شکل های ۴، ۵ و ۶ آورده شده است. نتایج نشان داد که کیفیت اسانس گیاه دارویی نوروزک تحت تأثیر تنش شوری و نانواکسیدروی قرار گرفت. بر اساس نتایج آنالیز GC-Mass، ۳۲ نوع ترکیب در اسانس این گیاه وجود داشت. در همه تیمارهای آزمایش اجزای اصلی اسانس شامل، ۱و۸-سینئول، بتا-پینن، ایزوپینوکاروئل، کاروتول، اندو برونوئل و آلفا-کادینول بود (جدول ٤). همانطور که در جدول ٤ ارائه شده است تعداد ترکیبات با افزایش میزان شوری کاهش یافت به طوریکه در تیمار شاهد ۳۲ ترکیب، ولی در ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به‌ترتیب ۲۹ و ۲۱ ترکیب شناسایی شد. نتایج همچنین نشان دادند ترکیب اجزای اسانس تحت تاثیر تنش شوری قرار گرفتند. به طوریکه با افزایش غلظت شوری از صفر به ۲۰۰ میلی‌مولار مقدار ایزوپینوکاروئل (۸/۹۷ به ۱۱/۱۲)، کاروتول (٦/٠٤ به ۷/۳۷)، اندوبرونوئل (٦/٦٢ به ۸/۱۹)، آلفا-کادینول (۱۵/۳۳ به ١٤/٨٦)، ۱و۸-سینئول (۲۱/۸۱ به ۳۱/۲) و بتا-پینن (٦/٢٧ به ۷/۲۷) درصد تغییر یافت. حضور نانواکسیدروی در هنگام تنش بالا در این گیاه باعث افزایش میزان اندوبرونوئل، آلفا- کادینول شد. در حالیکه افزایش آن باعث کاهش میزان ایزوپینوکاروئل، آلفا-پینن و ۱و۸-سینئول شد.

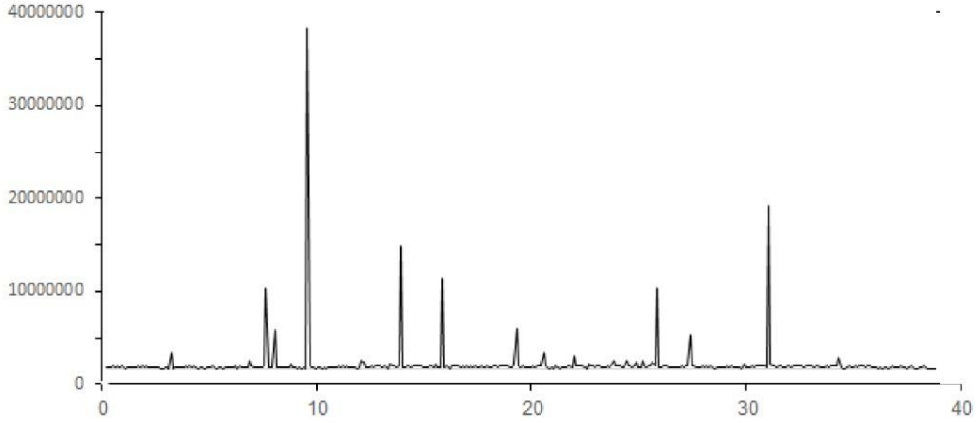
جدول ٤: اثر تنش شوری و نانواکسیدروی بر ترکیبات موجود در اسانس *Salvia leriifolia*

ردیف	شوری (میلی‌مولار) / نانواکسیدروی (mg/l)	زمان بازداری (RT)	شاهد			۱۰۰ میلی‌مولار			۲۰۰ میلی‌مولار		
			صفر	۲	٤	صفر	۲	٤	صفر	۲	٤
۱	α-pinene	٦/٥٥	۳/۳	۷	-	۲/۳٤	٤/٥۱	۰/۰٦	۱/۳۷	۱/۸٦	۰/٦۲
۲	camphene	۷/۰۷	۰/۷٦	۰/۸	۰/۱	-	۲/۱٥	-	۰/٦۲	-	۲/۹٤
۳	β-pinene	۷/۹٥	٦/۲۷	٦/۰۹	۷/٥٥	۷/۲	۱/۱۷	۸/٥۳	۷/۲۷	٦/۲	٦/۸٥
٤	β-myrcene	۸/۲۸	۰/۱٤	۰/٦٥	۰/۱	۰/۹٦	۰/۸۲	۱/٥۹	۳/٤۷	۱/۲۳	۰/۳۹
٥	δ-3-carene	۹/۰۱	۰/۱۲	۰/٦۸	۰/۲	۰/۸	۱/۰۹	۰/۹٥	۰/۳۷	-	۰/۲۱
٦	p-cymene	۹/٦٤	۰/٤۳	۲/۷٦	۱/۲٥	۰/۷۲	۳/٥٦	۳/۸۷	-	۱/٤	۲/۱٤
۷	limonene	۹/۷۹	۱/۸۷	۲/۹۲	۲/۹۸	۱/۱۸	۳/٤۷	۰/٤۹	-	-	۰/٤٦
۸	1,8-cineole	۹/۹٤	۲۱/۸۱	۱٦/۳۹	۲۲/٤	۲٤/٥	۳۲/۹	۳۳/۱۷	۳۱/۲	۳۱/۰۷	۲٦/٦۲
۹	camphenol,	۱۳/۸٦	۱/۱٥	۰/٤۹	۰/۱۱	۰/۳۹	۰/٤۸	۰/۷۱	۰	۱/۲۷	۰/٥٦
۱۰	isopinocarveol	۱٤/٤٦	۸/۹۷	۱۱/۰٤	۷/۳٥	٦/٥	۳/۲٦	۷/۲۲	۱۱/۱۲	۱۱	۸/۷٥
۱۱	pinocarvone	۱٦/۰۳	۰/٤۲	۰/۷۸	۰/۷	۰/٤۲	۰/۱	۰/٥۸	۰/۱۲	۰/٤۱	-
۱۲	endo-Borneol	۱٦/٤۲	٦/٦۲	۷/۳٥	۸/۲	٦/۹٥	٤/٤۱	۷/۷۸	۸/۱۹	٦/۱٤	۹/۲۸
۱۳	myrtenol	۱٦/۸۸	۱/۸	-	۱/۲	۰/۹	-	۰/٦۷	-	-	-
۱٤	thymol	۲۱/۲٤	۳/٦۱	٤/٤۱	٤/۸۹	۳/۲۸	٥/۸۳	٤/٥۸	۳/٥۷	٤/٥۳	۳/٥٦
۱٥	cycloundecene, 1-methyl	۲۲/٥۱	۰/۷٦	-	۰/۳	-	۰/٥٦	-	۱/٤	-	۰/۱
۱٦	α-copaene	۲۲/۸٤	۰/۱۳	۰/۸	۰/۲	۰/۱	-	-	-	-	-
۱۷	isoledene	۲۳/۰۱	۲/۳٦	۰/۷٤	٥/۲۲	۱/۸۲	۰/٦	۱/۷	-	۰/٥۷	۱/۱٥
۱۸	β-patchoulene	۲۳/۳۳	۱/۲۳	۲/۳۸	-	۱/۹٥	٤/۲٤	-	-	-	۰/۲٤
۱۹	E-caryophyllene	۲٤/۰٤	۱/۲۹	۰/۹۸	۱/٤	۱/۸	-	۰/۲۹	۱/۱٤	-	-
۲۰	guaia-3,9-diene	۲٤/٥۷	۰/۷۸	۱/۹٦	۱/۲۲	۲/۲۹	-	-	-	-	-
۲۱	γ-muurolene	۲٥/۹۲	۰/۹۲	-	۰/۲	۲/۹	-	۰/٦۲	۰/۷٥	-	-
۲۲	α-muurolene	۲٦/٤۷	۱/۲۳	۰/۹٥	۰/۷	۰/٦	۱/٦۹	۰/۱٥	۰/۷٥	۱/۳۱	۰/٦۲
۲۳	caryophyllene oxide	۲۷/۳۳	۰/۸۱	۰/۹	۰/۱	۱/٤٥	۲/۳۹	۰/۳٥	۰/٦٥	۰/۳	۲/۱۷
۲٤	globulol	۲۷/۸	۰/٥	۱/٥	۱/٦	۱/۷۸	-	-	۰/٥٦	۰/٥۱	-
۲٥	carotol	۲۷/۹٤	٦/۰٤	٤/۷٦	٥/۰۱	۳/۲۸	۱/۷۱	۲/۸٦	۷/۳۷	٦/٥۳	٤/۲٤
۲٦	junenol	۲۹/٦٥	۳/٥۲	٤/٥٤	۳/۰٥	۳/۹٥	٥/٦۸	٤/۲۱	۳/۱۲	۲/٦٤	۳/۹۷
۲۷	humulane-1,6-dien-3-ol	۲۹/۷٥	۰/٥	-	۲/۹	۲/۲۸	-	-	۰/۲۷	-	۰/۱٥
۲۸	β-acorenol	۳۰/٥۹	۱/٥٦	-	۳/٤	۲/۳۸	-	-	-	-	-
۲۹	α-cadinol	۳۱/۸۸	۱٥/۲۳	۱٦/۱۸	۱٤/۱۷	۱٦/۲٤	۱٤/۳۳	۱۳/٦	۱٤/۸٦	۱٦/۹۱	۱۷/۲٤
۳۰	α-vetivol	۳٥/۲۱	۲/۸٤	۰/۸۹	۱/۷۹	۱/٤۸	۱/۲٤	۱/٦۲	۰/۹٥	۲/۰۲	۰/٦۹
۳۱	isobornyl thiocyanoacetate	۳٥/٥۹	۰/٦	۰/۷٥	۰/۲	۰/۹۸	۱/۲	۱/۲٥	-	۰/٤۳	۲/٤٦
۳۲	cis-z-α-bisabolene epoxide	۳۸/۳۳	۱/۲	-	۱/۱	-	-	۰/۲٥	-	-	-

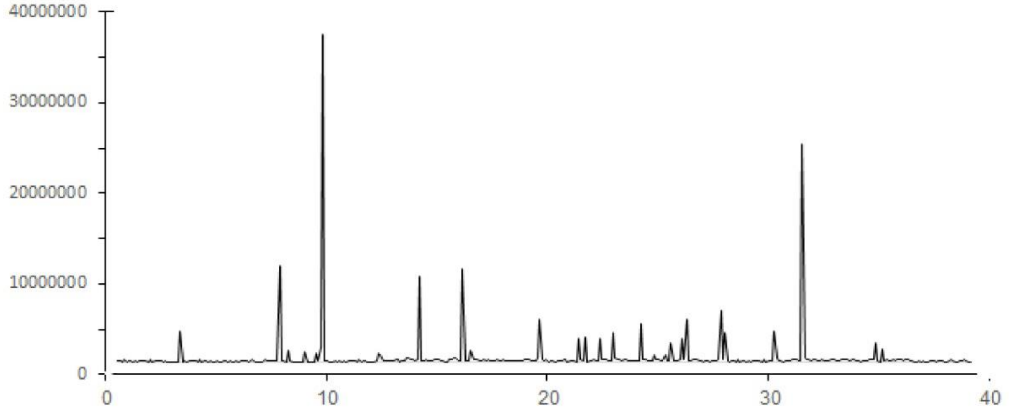
نتایج این تحقیق نشان داد حضور نانواکسیدروی در شوری ۲۰۰ میلی‌مولار باعث افزایش تعداد ترکیبات موجود در اسانس شد، به‌طوری‌که در این سطح کلرید سدیم تعداد ترکیبات شناسایی شده در غلظت ۰ و ٤ میلی‌گرم در لیتر نانواکسیدروی به‌ترتیب ۲۲ و ۲٤ ترکیب می‌باشد.



شکل ٤: کروماتوگرام آنالیز اسانس گیاه نوروزک در تیمار شاهد بدون نانو اکسید روی



شکل ٥: کروماتوگرام آنالیز اسانس گیاه نوروزک در تیمار شوری ۱۰۰ میلی‌مولار بدون نانو اکسید روی



شکل ٦: کروماتوگرام آنالیز اسانس گیاه نوروزک در تیمار شوری ۲۰۰ میلی‌مولار بدون نانو اکسید روی

بحث

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که تنش شوری و نانواکسیدروی بر وزن خشک برگ و درصد اسانس گیاه نوروزک در سطح ۵ درصد اثر معنی‌داری داشت (جدول ۲). با افزایش سطح شوری به‌ویژه در شرایط تنش ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، وزن خشک برگ نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری یافت و کاربرد نانواکسیدروی باعث افزایش این صفت در سطوح بالای تنش شوری نسبت به شاهد شد(شکل ۱). کاهش وزن خشک به دلیل کاهش آماس سلول‌ها در شرایط شور، متأثر از فرایندهای اسمزی و کاهش جذب آب و عناصر غذایی است. از علل دیگر کاهش رشد و عملکرد گیاه در اثر شوری، بالا رفتن مصرف انرژی در گیاه برای خروج یون‌های سدیم مهاجمی است که در محیط به مقدار وفور وجود دارند (Arvin, 2015). کاهش فتوسنتز، تخریب غشای سلولی، کاهش آب در دسترس گیاهان و تجمع سدیم در برگ‌ها اصلی‌ترین علل کاهش وزن‌تر و خشک گیاه در شرایط تنش شوری گزارش‌شده است (Askary et al., 2017).

اثر مثبت نانواکسیدروی بر بهبود شاخص‌های رشد و تحمل به تنش در گیاه پیاز (Laware & Raskar, 2014)، نخود (Yadghari et al., 2014) و نعناع فلفلی (Rostami et al., 2017) نیز اثبات شده است. نجفی وفا و همکاران (Najafi vafa et al., 2015) نشان دادند نانوروی باعث افزایش بر وزن خشک برگ گیاه مرزه شد. آنها بیان نمودند که ریز مغذی ها همانند روی در متابولیسم پروتئینها شرکت می کنند و از این طریق می‌توانند بر صفات رویشی اثر داشته باشند. نتایج مشابهی توسط محمودی و همکاران (Mahmoodi et al., 2018) در گیاه گاوزبان اروپایی و قربانی و همکاران (Ghorbani et al., 2018) در گیاه نعناع فلفلی نیز ارائه شد.

نتایج نشان دادند عملکرد و درصد اسانس گیاه نوروزک با افزایش شوری کاهش یافت، در حالی که حضور نانواکسیدروی در غلظت ٤ میلی گرم در لیتر باعث افزایش عملکرد اسانس گردید(شکل ۲). کاهش عملکرد اسانس در گیاهان مختلف تحت تنش شوری نیز گزارش شده است. گوهری و همکاران (Gohari et al., 2013) گزارش کردند که افزایش سطوح شوری باعث کاهش محتوا و عملکرد اسانس گیاه ریحان شد.

تعاریت و همکاران (Taariat et al., 2012) نشان دادند که عملکرد اسانس در گیاه *Salvia sclarea* در سطوح شوری ۵۰ و ۷۵ میلی مولار نمک طعام کاهش یافت. آنان نتیجه گرفتند که با توجه به اینکه برگ‌ها دارای غده‌های حاوی اسانس هستند، تحت تأثیر شوری، نکروزه شدن برگ‌ها و تجزیه غده‌های حاوی اسانس، عامل کاهش عملکرد اسانس است. دشتی و همکاران (Dashti et al., 2014) در بررسی تأثیر تنش خشکی بر کمیت و کیفیت اسانس گیاه نوروزک دریافتند که درصد اسانس برگ‌های سبز نوروزک در تیمارهای تنش خشکی شدید و بدون آبیاری به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار آبیاری کامل بود. خراسانی نژاد و همکاران (Khorasaninejad et al., 2016) دریافتند که تنش شوری به‌طور معنی‌داری بر مقدار اسانس گیاه اسطوخودوس تأثیر داشته و افزایش شوری باعث کاهش آن شد. در آزمایش حاضر افزایش تنش شوری به صورت همزمان باعث کاهش ماده خشک برگ و همچنین درصد اسانس در گیاه نوروزک شد که این امر در نهایت به کاهش عملکرد اسانس منجر شد. تاثیر منفی تنش شوری بر وزن خشک برگ بیشتر از میزان تاثیر بر درصد اسانس نوروزک بود، به صورتیکه در شرایط تنش ۲۰۰ میلی مولار کلریدسدیم، وزن خشک برگ و درصد اسانس نسبت

به تیمار شاهد به‌ترتیب ٦٦/٩٢ و ٤٥/٨١ درصد کاهش یافت (شکل ۳).

اسماعیل‌پور و همکاران (Esmaielpour et al., 2020) در گیاه بادرشبو گزارش دادند که افزایش سطوح نانواکسید روی بر عملکرد اسانس اثر افزایشی داشته است. آنها همچنین گزارش کردند میزان درصد اسانس در گیاه بادرشبو تحت تنش شوری در حضور نانواکسیدروی آفزایش می یابد. مطابق با نتایج این آزمایش محلول پاشی ریحان با غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر روی در شرایط تنش شوری منجر به افزایش محتوا و عملکرد اسانس گردید (Said-Al Ahl & Mahmoud, 2010). اثر مثبت نانواکسیدروی بر میزان اسانس در گیاهان مختلف همچون مریم گلی و زوفا (Hegazy et al., 2016; Riyazi et al., 2016) و رزماری (Moghimi Pour et al., 2017) نیز گزارش شده است.

بر اساس نتایج جدول ٤، نوع و تعداد اجزاء اسانس گیاه نوروزک تحت تأثیر تنش شوری و نانواکسیدروی قرار گرفت. تعداد ترکیبات با افزایش میزان شوری کاهش یافت. در همه تیمارهای آزمایش اجزای اصلی اسانس شامل ایزوپینوکاروئل، کاروتول، اندوبرونوئل، آلفا-کادینول، ۱، ۸- سینئول و بتا-پینن بود. احتمالاً تفاوت ترکیبات اسانس این آزمایش با تحقیقات دیگر به دلیل نوع ترکیبات تیماری اعمال شده و فراوانی یونهای سدیم، کلر و نانواکسیدروی است. این تغییرات را می‌توان به صرف بیشتر انرژی گیاه برای جذب آب در شرایط تنش، تغییر و افزایش غلظت پروتوپلاست، تغییر در مسیرهای تنفسی و مسیر فسفات پنتوز مربوط دانست که به نوعی در تولید آنزیم‌های تولید کننده اسانس در گیاه اختلال ایجاد کرده و در نتیجه سبب تغییر در اجزای اسانس می‌شوند و می‌تواند نوع ترکیب‌های اسانس را نیز تغییر دهد (Aftab, 2019).

همچنین آقایی جویبانی و همکاران (Aghaei Joubani et al., 2015) با مطالعه اثر تنش شوری بر دو گونه مریم گلی گزارش دادند که برخی از ترکیبات تشکیل دهنده اسانس مانندآلفا پینن، کارن و لینالول درگونه S. viridis در مقایسه با گیاهان شاهد افزوده شد. خراسانی نژاد و همکاران (Khorasaninejad et al., 2011) در مطالعه خود بر تاثیر تنش شوری روی نعناع فلفلی بیان داشته‌اند که در سطوح تنش ۵۰ و۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم مقادیر منتول و منتون بیشترین مقدار را نسبت به سایر ترکیبات اسانس دارد. این در حالی است که مقدار کادینین تحت این سطوح از تنش در کمترین میزان خود هستند. از طرف دیگر در نتیجه تنش شوری متابولیسم گیاه و تولید آنزیم‌های سازنده اسانس تحت تاثیر قرار می گیرد و در نتیجه در مقدار نهایی اجزای اسانس تغییر ایجاد می‌گردد. دشتی و همکاران (Dashti et al., 2014) با بررسی اثر تنش خشکی بر گیاه نوروزک گزارش دادند تیمارهای بدون آبیاری و یا تنش شدید فاقد ترکیبات سابینن و گاماترپینن می باشند، همچنین ترکیباتی همچون میرتنال و میرتنول تنها در تیمار بدون آبیاری مشاهده شدند. آقایی جویبانی و همکاران (Aghaei Joubani et al., 2015) در بررسی اثر تنش شوری بر دو گیاه Salvia viridis و Salvia spinosa گزارش دادند که شوری سبب افزایش برخی از ترکیبات تشکیل دهنده اسانس مانند آلفا پینن، کارِن و لینالئول شد.

امیری و قاسمی رمضان آباد (Amiri and Ghasemi Ramadanabad, 2018) نشان دادند که تغییرات میزان کارواکرول، لینالول، تیمول و ٤-ترپینئول به عنوان مهم‌ترین ترکیب شناخته شده در اسانس گیاه مرزه رشینگری (Satureja rechingeri Jamzad.) از روندهای منظم افزایشی یا کاهشی تبعیت نمی‌کنند. با وجود این نجفی و همکاران

(Najafi et al., 2010) معتقدند در گیاه مرزه تابستانی (*Satureia hortensis* L.) با افزایش میزان شوری، مقدار کارواکرول افزایش یافته در حالی که از میزان گاماترپینین کاسته می‌شود. در تحقیقی دیگر ترکیبات اصلی اسانس γ_terpinene ، p- cymene و carvacrol در گیاهان مرزنجوش و رازیانه تحت تاثیر تنش شوری کاهش نشان داد (Timperio et al., 2008).

در این تحقیق مشاهده شد که حضور نانواکسیدروی بر میزان ترکیبات موجود دراسانس افزود. یزدانی و همکاران (Yazdani et al., 2014) در گیاه زیره گزارش دادند که کاربرد آهن و روی به صورت محلولپاشی موجب افزایش محتوای اسانس گیاه شد. حنیف و همکاران (Hanif et al., 2017) در ریحان گزارش نمودند که گیاهانی که با کود روی با غلظت ۰/۹۵ میلی‌گرم در لیتر تیمار شده اند، دارای لینالول بالایی هستند. محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2017) با مطالعه اثر نانوکودها از جمله نانوروی بر میزان عملکرد و درصد اسانس در گیاه گاوزبان اروپایی از افزایش این صفات در حضور نانوروی گزارش کرده‌اند. در آزمایش دیگری، مقیمی‌پور و همکاران (Moghimi Pour et al., 2014) با بررسی تأثیر کاربرد برگی نانوکلات‌روی و سولفات روی در گیاه ریحان مقدس (*Ocimum sanctum*)، دریافتند که افزایش درصد و عملکرد اسانس در گیاهان تیمار شده با نانو کلات بیشتر از سولفات روی بود. روی بر متابولیسم قندها و پروتئین‌ها، ثبات و پایداری غشاء سلولی، تنظیم سنتز هورمون اکسین و تشکیل دانه گرده اثر داشته و بیان ژن‌های دخیل در تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی را تنظیم می‌کند (Li et al., 2013; Castillo-Gonzales et al., 2018). نانوذرات به‌دلیل جذب بیشترشان توسط گیاه، اثرگذاری بیشتری نسبت به ذرات معمولی دارند.

نتیجه‌گیری نهایی

در مجموع نتایج این تحقیق نشان داد که محلول پاشی نانواکسیدروی به ویژه در غلظت ٤ میلی‌گرم در لیتر، می‌تواند اثرات مفیدی در بهبود رشد، عملکرد و درصد اسانس گیاه نوروزک در شرایط تنش شوری داشته باشد.

References

1. Aftab, T. 2019. A review of medicinal and aromatic plants and their secondary metabolites status under abiotic stress. Journal of Medicinal Plants, 7(3): 99-106 .
2. Aghaei Joubani, K., Taei, N., and Kanani, M.R. 2015. Effect of salt stress on some physiological and biochemical parameters of two *Salvia* species. Journal of Plant Process and Function 3(9): 85-96
3. Amiri, H., and Ghasemi Ramadanabad, Z. 2018. The effects of salinity on chemical composition of essential oil of *Satureja rechingeri*. Journal of plant research, 31(2): 248-257.
4. Arvin, P. 2015. Effect of gibberellin on some morphological traits, photosynthetic pigments content and proline in savory (*Satureja hortensis* L.) under salinity stress conditions. Journal of Agricultural Research, 7(2): 90-104.
5. Askary, M., Talebi, S.M., Amini, F., and Dousti Balout Bangan, A. 2017. Effects of iron nanoparticles on *Mentha piperita* L. under salinity stress. Bioilogija, 63(1): 65-75.
6. Castillo-González, J., Ojeda-Barrios, D., Hernández-Rodríguez, A., González-Franco, A.C., Robles-Hernández, L., and López-Ochoa, G.R. 2018. Zinc metalloenzymes in plants. Interciencia, 43(4): 242-248 .
7. Dashti, M., Kafi, M., Tavakkoli, H., and Mirza, M. 2015. Cardinal temperatures for germination of *Salvia leriifolia Benth*. Herba polonica, 61(1): 5-18.
8. Dashti, M., Kafi, M., Tavakoli, H., and Mirza, M. 2014. Effect of water deficit on water relations, photosynthesis and

osmolytes accumulation of *Salvia leriifolia* Benth. Iranian Journal of Field Crops Research, 12(4): 813-821.

9. Esmaielpour, B., Shiekhalipour, M., and Torabi-Giglo, M. 2020. Effects of zinc nanoparticles on growth, some physiological characteristics, and essential oil yield of *Dracocephalum moldavica* L. under salinity stress conditions. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 36(5): 867-884.
10. Farooqui, A., Tabassum, H., Ahmad, A., Mabood, A., Ahmad. A., and Ahmad, V. 2016. Role of nanoparticles in growth and development of plants: a review. Int. J. Pharm. Bio. Sci. 7(4): P22-P37.
11. Gohari, G., Hassanpouraghdam, M.B., Dadpour, M.R., and Shirdel, M. 2013. Influence of Zn foliar application on growth characteristics and essential oil yield of basil (*Ocimum basilicum* L.) under salinity stress. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture, 4(3): 15-24.
12. Hanif, M.A., Nawaz, H., Ayub, M.A., Tabassum, N., Kanwal, N., Rashid, N., Saleem, M. and Ahmad, M. 2017. Evaluation of the effects of Zinc on the chemical composition and biological activity of basil essential oil by using Raman spectroscopy. Industrial Crops and Products, 96: 91-101.
13. Hegazy, M.H., Alzuaibr, F.M., Mahmoud, A.A., Mohamed, H.F., and Said-Al Ahl, H.A. 2016. The effects of zinc application and cutting on growth, herb, essential oil and flavonoids in three medicinal Lamiaceae plants. European Journal of Medicinal Plants, 1-12.
14. Hosseinzadeh, H., Sadeghnia, H.R., Imenshahidi, M. and Fazly Bazzaz, B.S. 2009. Review of the pharmacological and Toxicological Effects of *Salvia leriifolia*. Iranian Journal of Basic Medical Sciences 12(1): 1-8.
15. Khademalhosseini, Z., Jafarian, Z., Roshan, V., and Ranjbar, G. 2018. Effect of water salinity on quantity and quality of biochemical characteristics of *Mellissa officinallis* L. Rangeland 12(3): 370-379.
16. Khan, M.N., Mobin, M., Abbas, Z.K., AlMutairi, K.A., and Siddiqui, Z.H. 2017. Role of nanomaterials in plants under challenging environments. Plant Physiology and Biochemistry, 110: 194-209.
17. Khorasaninejad, S., Soltanloo, H., Hadian, J., and Atashi, S. 2016. The effect of salinity stress on the growth, quantity and quality of essential oil of Lavender (*Lavandula angustifulia* Miller). Journal of Horticultural Science 30(2): 209-216.
18. Kisan, B., Shruthi, H., Sharanagouda, H., Revanappa, S., and Pramod, N. 2015. Effect of nano-zinc oxide on the leaf physical and nutritional quality of spinach. Agrotechnology, 5(1): 135.
19. Laware, S., and Raskar, S. 2014. Influence of zinc oxide nanoparticles on growth, flowering and seed productivity in onion. International Journal of Current Microbiology Science, 3(7): 874-881.
20. Li, W.T., He, M., Wang, J., and Wang, Y.P. 2013. Zinc finger protein (ZFP) in plants-A review. Plant Omics, 6(6): 474.
21. Mahmoodi, P., Yarnia, M., Rashidi, V., Amirnia, R., Tarinezhad, A. 2018. Effect of type and method of application of nano- and chemical fertilizers on seed yield and essential oils of borage (*Borago officinalis* L.). Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research, 13(51): 95-107.
22. Moghimi Pour, Z., Mahmoodi Sourestani, M., Alamzade Ansari, N. and Ramezani, Z. 2014. Effects of foliar application of nano zinc chelate and zinc sulfate on chlorophyll content, photosynthetic parameters, essential oil content and yield of holy basil (*Ocimum sanctum*). 3rd National Congress on Medicinal Plants, Mashhad, Iran, 14-15 May: 266.
23. Moghimi Pour, Z., Mahmoodi Sourestani, M., Alamzade Ansari, N. and Ramezani, Z. 2014. Effects of foliar application of nano zinc chelate and zinc sulfate on chlorophyll content, photosynthetic parameters, essential oil content and yield of holy basil oil composition of basil (*Ocimum sanctum*). National Congress on Medicinal Plants, Mashhad, Iran, 14-15 May, 266.
24. Monfared, A., and Ghorbanli, M. 2010. Composition of the essential oils of *Salvia leriifolia* Benth. growing wild in around of

two mines in Iran. Research Journal of Phytochemistry, 4(1): 13-17.

25. Najafi, F., Khavari nejad, R.A. and Siahali, M. 2010. The effects of salt stress on certain physiological parameters in summer savory (*Satureja hortensis* L. Plants. Journal of Stress Physiology and Biochemistry, 6(1): 13-21.
26. Parihar, P., Singh, S., Singh, R., Singh, V.P., and Prasad, S.M. 2015. Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. Environmental Science and Pollution Research, 22(6): 4056-4075.
27. Porres-Martínez, M., González-Burgos, E., Carretero, M.E., and Gómez-Serranillos, M.P. 2014. Influence of phenological stage on chemical composition and antioxidant activity of *Salvia lavandulifolia* Vahl. Essential oils. Industrial Crops and Products, 53: 71-77.
28. Riyazi, P., Nejatzadeh, F., and Valizadegan, E. 2016. Effect of irrigation and zinc nutrition on growth and yield of essential oil (*Salvia officinalis* L.). New Cellular and Molecular Biotechnology Journal, 6(22): 35-40.
29. Rostami, G., Moghaddam, M., Ghasemi Pirbalouti, A., and Tehranifar, A. 2018. The effects of iron and zinc spraying in sulfate and nano forms on morphological and biochemical properties of peppermint (*Mentha piperita* L.) under salinity stress. Environmental stresses in crop sciences, 11(3): 707-720.
30. Russo, A., Formisano, C., Rigano, D., Senatore, F., Delfine, S., Cardile, V., and Bruno, M. 2013. Chemical composition and anticancer activity of essential oils of Mediterranean sage (*Salvia officinalis* L.) grown in different environmental conditions. Food and Chemical Toxicology, 55: 42-47.
31. Said-Al Ahl, H., and Mahmoud, A.A. 2010. Effect of zinc and/or iron foliar application on growth and essential oil of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) under salt stress. Ozean Journal of Applied Sciences, 3(1): 97-111.
32. Saxena, R., Tomar, R.S., and Kumar, M. 2016. Exploring nanobiotechnology to mitigate abiotic stress in crop plants. Journal of Pharmaceutical Sciences and Research, 8(9): 974.
33. Singh, A., Singh, N., Afzal, S., Singh, T., and Hussain, I. 2018. Zinc oxide nanoparticles: a review of their biological synthesis, antimicrobial activity, uptake, translocation and biotransformation in plants. Journal of Materials Science, 53(1): 185-201.
34. Taarit, M.B., Msaada, K., Hosni, K., and Marzouk, B. 2011. Physiological changes and essential oil composition of clary sage (*Salvia sclarea* L.) rosette leaves as affected by salinity. Acta physiologiae plantarum 33(1): 153-162.
35. Timperio, A. M., Egidi, M.G., and Zolla, L. 2008. Proteomics applied on plant abiotic stresses: role of heat shock proteins (HSP). Journal of Proteomics, 71: 391-411.
36. Van Zelm, E., Zhang, Y., and Testerink, C. 2020. Salt tolerance mechanisms of plants. Annual review of plant biology, 71.
37. Vatankhah, E., Kalantari, B., and Andalibi, B. 2017. Effects of methyl jasmonate and salt stress on physiological and phytochemical characteristics of peppermint (*Mentha piperita* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research 33(3): 449-465.
38. Yadghari, R., Nyakan, M., and Mosavat, A. 2014. The effect of nano and non-nano forms chelate zinc on growth, chlorophyll content and soluble sugar pea plants (*Cicer arietinum* L.) in different levels of salinity. Iranian Journal of Plant Ecophysiology Research. 9: 137-150.
39. Yazdani Chamheidary, Y., Ramroudi, M. and Asgharipour, M.R. 2014. Evaluation the effects of drought stress on yield, yield components and quality of *Cuminum cyminum* L. under Fe and Zn foliar spraying conditions, 21(3): 81-96.
40. Yousefi, M., Nazeri, V., and Mirza, M. 2013. Study on some ecological characteristics, morphological traits and essential oil yield of *Salvia leriifolia* Benth. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 29(1): 157-175.

Nano-ZnO Effect on Yield, Quantity and Quality of *Salvia leriifolia* Benth. Essential oils Under Salinity Stress Conditions

Akhondi, M.[1], Dashti, M.[2*], Niakan, M.[3], Mahmodzadeh Akharat, H.[4]

[1]Assistant Professor, Department of Biology, Payame Noor University, Tehran, Iran.
[2]Assistant Professor, Khorasan-e-razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran
[3]Associate Professor, Department of Biology, Gorgan Branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran
[4]Associate Professor, Department of Biology, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran

Received: 2021-3-23; Accepted: 2021-7-3

Abstract

In medicinal plants, the production of secondary metabolites, especially essential oils, are affected by various environmental factors, including salinity. In this study, in order to investigate the effect of different levels of salinity stress and nano- ZnO on the quantitative and qualitative yield of essential oil (EO) composition of *Salvia leriifolia* Benth. a factorial experiment was performed with five salinity levels (0, 50, 100, 150 and 200 mM NaCl) and three levels of nano-ZnO (0, 2 and 4 mg. liter $^{-1}$) in a completely randomized design with three replications in the greenhouse of Mashhad Islamic Azad University in 2019. Extraction of EO from the vegetative shoot of the plant was carried out by water distillation using clevenger apparatus. EO analysis was performed using a gas chromatograph and chromatography attached to a mass spectrometer. The analysis of EOs was carried out by Gas chromatography/mass spectrometric (GC/MS). Based on the results, the effect of different levels of salinity stress on dry weight, EO percent and its yield was significant, but the application of zinc nanooxide only affected the EO and its yield. With increasing salinity stress, leaves dry weight, EO percent and EO yield significantly decreased, but all traits increased by increasing the nano-ZnO concentration at high salinity levels. 1, 8-cinnamol, was the highest composition of plant EO, which increased by 43% with increasing salinity. isopinocaruel, carotene, and endobronol compounds decreased at low salinity levels and then increased at 200 mM salinity level. Also, increasing the nano-ZnO concentration increased the levels of endo-Borneol, 1, 8-cineol and ß-pinene and decreased the levels of isopinocarveol, carotol and α-cadinol.

***Keywords*:** Essential oil, Nano-ZnO, Salinity, *Salvia leriifolia* Benth.

*Corresponding author: m.dashti@areeo.ac.ir