

بررسی اثر نانو اکسیدروی 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^۴

^۱استادیار، گروه زیست شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

^۲استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات،

آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

^۳دانشیار، گروه زیست‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرگان، گرگان، ایران

^۴دانشیار، گروه زیست‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱/۳ تاریخ پذیرش: ۰۰/۴/۱۲

چکیده

در گیاهان دارویی تولید متابولیت‌های ثانویه به ویژه اسانس تحت تأثیر عوامل محیطی مختلفی از جمله شوری قرار می‌گیرند. در این تحقیق به منظور بررسی اثر سطوح مختلف تنش شوری و نانو اکسیدروی بر عملکرد کمی و کیفی ترکیبات اسانس گیاه نوروبوک (*Salvia leriifolia* Benth.)، یک آزمایش فاکتوریل با پنج سطح شوری (۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و سه سطح نانو اکسید روی (۰، ۲ و ۴ میلی‌گرم در لیتر) در قالب 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 نوروبوک 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 ۸۱- سینئول بیشترین ترکیب اسانس گیاه را تشکیل داد که با افزایش سطح شوری مقدار آن ۴۳ درصد افزایش نشان داد. ترکیبات ایزوپینوکارونل، کاروتول، اندیروئول نیز در سطوح پایین شوری ابتدا کاهش و سپس در سطح ۲۰۰ میلی‌مولار شوری افزایش یافت. همچنین افزایش غلظت نانو ذرات اکسیدروی سبب افزایش میزان اندیروئول، ۸۱- سینئول و بتا- پینن و کاهش میزان ایزوپینوکارونل، کاروتول و آلفا- کادینول شد.

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

در گیاهان دارویی، تولید متابولیت های ثانویه به ویژه اسانس تحت تأثیر عوامل محیطی مختلفی قرار می گیرند (Aftab, 2019). گونه گیاهی، مرحله رشد و نمو، شرایط فصلی خاص، میزان دسترسی به مواد غذایی معدنی و شرایط تنشی از جمله 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 گزارش شده 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 آنزیم ها و یا حتی بیان برخی از ژن ها مربوط به مسیرهای بیوسنتزی و یا تجزیه ای 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 ۴ دسی زیمنس بر متر تولید شدند و یا برخی دیگر از ترکیبات در تیمار شاهد تولید شدند ولی با افزایش تنش شوری در تیمار ۴ دسی زیمنس 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

شوری خاک یک مشکل جهانی است که به طور فزاینده ای در حال افزایش می باشد. علاوه بر این در نتیجه روش های 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 به طور 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 بهره برداری صحیح می توانند نقش مهمی در سلامت جامعه، اشتغال زایی و صادرات غیر نفتی داشته باشند. جنس سالویا بزرگ ترین و مهم ترین جنس خانواده نعناعیان است (Porres-Martínez et al., 2014). گیاه نوروژک (*Salvia leriifolia* Benth.) از جمله گونه های چندساله و با ارزش دارویی، اکولوژیکی و اقتصادی خانواده نعناعیان می باشد. 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 نوروژک پژوهش های زیادی صورت گرفته است. خواص دارویی نظیر کاهش قند خون، ضد التهاب، خواص آنتی اکسیدانی، معالجه کم خونی، ضد تشنج، اضطراب و زخم معده این گیاه را به عنوان گیاه دارویی ارزشمند معرفی کرده است (Hosseinzadeh et al., 2009).

شامل آلفا و بتا-پینن، ۱ و ۸- سینثول، کامفور، آلفا-هومولن، ویریدی فلورول و مانول بود. فناوری نانو به تمام فناوری های پیشرفته در عرصه کار با مقیاس نانو اطلاق می شود (Singh et al., 2018). این فناوری، امروزه در زمینه های متنوع همچون کشاورزی، صنایع غذایی، تشخیص و مقابله با عوامل بیماری زا و بهبود مقاومت در برابر تنش های محیطی استفاده می شود. به نظر می رسد که این فناوری پتانسیل بالایی برای ایجاد آینده مطمئن و قابل اعتماد در زمینه 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 دارویی در شرایط تنش می باشد (Saxena et al., 2016). نتایج نشان دهنده 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 می شود (Zafar et al., 2019).

اکسیدروی از طرف سازمان غذا و داروی آمریکا به عنوان یکی از ترکیبات ایمن و سالم عنصر روی شناخته شده است. نانو اکسیدروی نیز در همین راستا به عنوان نانوذره ای جدید مهندسی شده است. بررسی ها نشان داده اند که کاربرد نانو اکسیدروی علاوه بر افزایش مصرف غلظت عنصر روی در گیاهان بر میزان جذب سایر عناصر نیز تأثیر دارد (Kisan et al., 2015). محلول پاشی گیاه ریحان با کلات روی، باعث بهبود رشد و عملکرد گیاه، درصد و عملکرد اسانس و

نیز میزان لینالول و متیل کایکول به عنوان اجزاء غالب اسانس در شرایط تنش شوری گردید (Said-Al Ahl & Mahmoud, 2010). با توجه به اینکه بخش عمده ای از کشور ما را مناطق شور و یا مناطق محدودیت منابع آبی تشکیل می دهد، اهمیت تحقیق در این زمینه بیشتر احساس می شود. تا کنون پژوهشی در زمینه اثر تنش شوری بر گیاه نوروژک صورت نگرفته است لذا با توجه به اهمیت این گونه مهم دارویی و معطر، مطالعه اثرات تنش شوری بر رشد و عملکرد این گونه دارویی جهت توسعه در مناطق شور و نسبتاً شور ضروری است.

مواد و روش ها

به منظور بررسی اثر محلول پاشی نانو اکسیدروی بر میزان عملکرد ماده خشک، درصد و عملکرد اسانس و تغییرات ترکیبات اسانس گیاه نوروژک در شرایط تنش شوری، آزمایشی در سال ۱۳۹۸ در گلخانه دانشکده علوم دانشگاه آزاد مشهد به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل دو سطح محلول پاشی نانو اکسیدروی (۲ و ۴ میلی گرم در لیتر) و پنج سطح شوری (صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی مولار از نمک NaCl) بود. نانو اکسیدروی 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 نوروژک 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 و تابل ۶۰٪ کاربندازیم به میزان ۱/۵ در ۱۰۰۰، به تعداد کافی در ظروف پتری

۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی مولار کلرید سدیم)، در آغاز چهارمین هفته پس از انتقال به گلدان‌ها اعمال شد. محلول پاشی نانواکسیدروی در غلظت‌های صفر، ۲، ۴ میلی گرم در لیتر به مدت ۸ هفته به صورت هفتگی به روش محلول پاشی 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 به طور تصادفی جابه‌جا می‌شدند. پس از پایان دوره تیماردهی گیاهان گروه‌های شاهد و تیمار به منظور سنجش پارامترها، نمونه برداری شدند.

۹۰ میلی متری بین دولایه کاغذ صافی واتمن شماره یک، در داخل ژرمیناتور یخچال دار با درجه حرارت 15 ± 1 قرار داده شدند. پس از جوانه‌زنی، ۶ گیاهچه سالم با طول ریشه حداکثر ۱۰ تا ۱۵ میلی متر به گلدان‌های پلاستیکی منتقل شدند. گلدان‌ها (۴۵ عدد) با وزن خاک تقریبی $3/5$ تا ۴ کیلوگرم خاک با خصوصیات فیزیکوشیمیایی جدول ۱ در شرایط گلخانه و درجه حرارت 25 ± 4 درجه سانتی‌گراد، شدت روشنایی ۵۰۰۰ لوکس و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی قرار گرفتند. تنش شوری پس از تهیه محلول‌های مختلف (صفر،

جدول ۱: خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده در گلدان حاوی گیاه نوروزک

مشخصات	pH	EC	آهک	رس	سیلت	شن	کربن آلی	پتاسیم	فسفر	روی	نیتروژن	درصد اشباع
		dS/m			درصد			پی پی ام			درصد	
میزان	۷/۴	۱/۲	۱۲	۴	۱۰	۸۶	۰/۹۸	۱۶۰	۳۵	۰/۵۴	۰/۱۶	۳۵

شناسایی ترکیبات اسانس استفاده شدند. ستون موئینه PH-5 به طول ۱۰ متر، قطر داخلی ۰/۱ میلی متر و ضخامت لایه فاز ساکن برابر با ۰/۴ میکرون استفاده گردید که سطح داخلی آن با فاز ساکن از جنس ۵٪ Phenyl dimethyl siloxane پوشیده شده بود. برنامه‌ریزی حرارتی ستون از ۶۰ 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 ۶۰ 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 ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد. سرعت حرکت گاز حامل هلیوم به میزان ۳۱/۵ سانتی متر بر ثانیه در طول ستون بود. زمان اسکن برابر یک ثانیه انرژی یونیزاسیون ۷۰ الکترون ولت و ناحیه جرمی از ۴۰ تا ۳۴۰ بود. شناسایی

سنجش وزن خشک برگ: برای اندازه‌گیری وزن خشک برگ نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آن با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته 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 سایه خشک شدند. پس از خشک شدن با آسیاب برقی کاملاً پودر شده و به میزان مشخصی از نمونه پودر شده و ۱۰۰۰ میلی لیتر آب مقطر را در بالن به روش تقطیر با آب (طرح کلونجر) اسانس‌گیری شد. بالن روی هیتر مخصوص قرار گرفته و به مدت ۳-۴ 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

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، اثر تنش شوری بر وزن خشک برگ و بازدهی اسانس گیاه نوروژک در سطح ۵ درصد و بر عملکرد اسانس در سطح یک درصد معنی دار بود. همچنین تغییرات عملکرد و بازدهی اسانس تحت اثر نانو اکسیدروی 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).

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. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9/3 و میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح آماری ۰/۰۵ مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج

جدول ۲: تجزیه واریانس و میانگین مربعات بر وزن خشک برگ، عملکرد و درصد اسانس نوروژک

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن خشک برگ	عملکرد اسانس	بازدهی اسانس
شوری	۲	۰/۱۶۲*	۰/۰۴۷**	۰/۰۵۷*
نانو اکسید روی	۴	۰/۰۱۷ ^{ns}	۰/۰۰۶*	۰/۰۲۳*
نانو اکسیدروی * شوری	۸	۰/۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}
خطای آزمایشی	۳۰	۰/۰۰۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱

ns, *, ** به ترتیب عدم معنی دار و معنی دار در سطح معنی دار ۰/۰۵ و ۰/۰۱

نتایج مشخص شد که غلظت ۴ میلی گرم در لیتر نانو اکسیدروی باعث افزایش ۱۵/۲۴٪ وزن خشک برگ نسبت به شاهد شد، در حالی که وزن خشک برگ در شاهد و غلظت ۲ میلی گرم در لیتر نانو اکسیدروی تفاوت معنی داری نداشتند.

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 به ترتیب به میزان ۹/۰۳، ۴۰/۸۶، ۵۰/۷۲ و ۶۴/۸۹ درصد کاهش داشت (جدول ۳). در بررسی

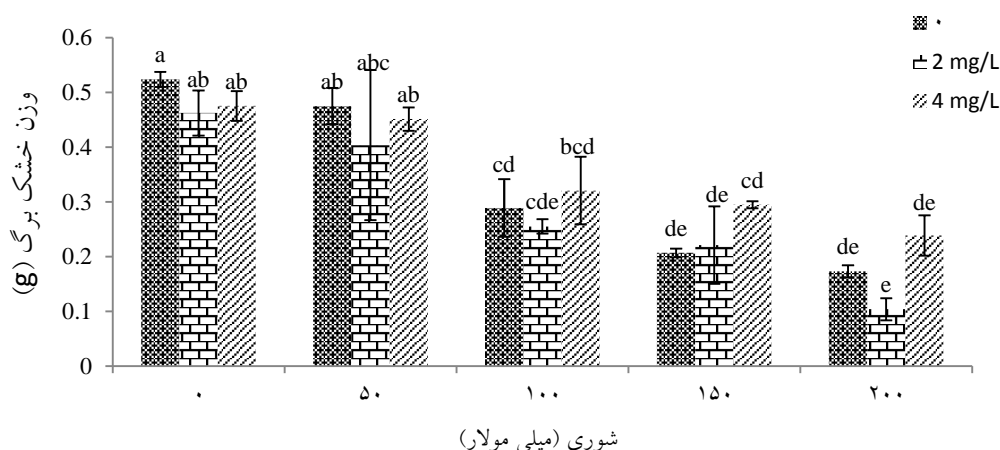
جدول ۳: مقایسه میانگین اثر شوری بر وزن خشک، عملکرد و درصد اسانس *Salvia leriifolia*

تیمار	وزن خشک برگ (g)	عملکرد اسانس (mg/g)	درصد اسانس (%)
شاهد	۰/۴۸۷a	۰/۲۱۲a	۰/۴۳۶a
۵۰ میلی مولار	۰/۴۴۳a	۰/۱۷۹a	۰/۴۰۲a
۱۰۰ میلی مولار	۰/۲۸۸b	۰/۰۹۱b	۰/۳۱۲b
۱۵۰ میلی مولار	۰/۲۴۱bc	۰/۰۶۸bc	۰/۲۸۲bc
۲۰۰ میلی مولار	۰/۱۷۲c	۰/۰۴۵c	۰/۲۴۸c

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

در لیتر نانو اکسیدروی حاصل شد. بین غلظت‌های مختلف نانو اکسیدروی تفاوت معنی داری مشاهده نشد (شکل ۱).

برهمکنش سطوح شوری و نانو اکسیدروی بر وزن خشک برگ نشان داد که بیشترین میزان وزن خشک برگ در شاهد بدون حضور نانو اکسیدروی و کمترین میزان در سطح ۲۰۰ میلی مولار و غلظت ۲ میلی گرم

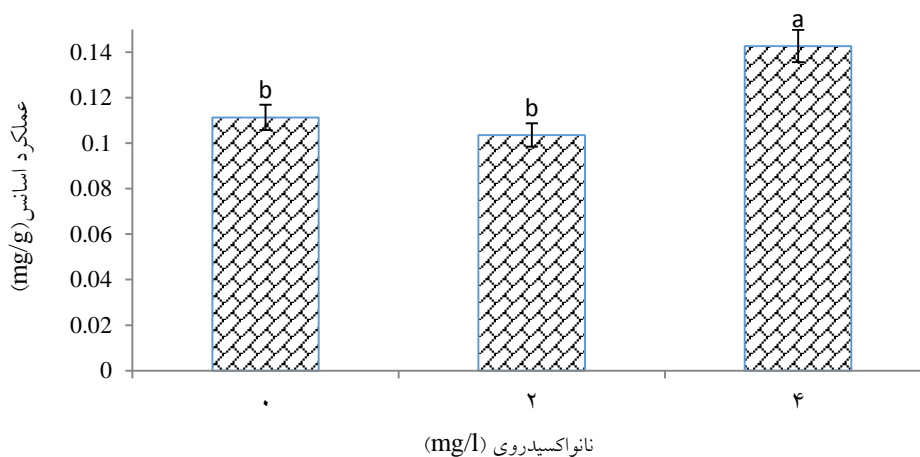


شکل ۱: اثر متقابل شوری و نانوآکسیدروی بر وزن خشک برگ *Salvia leriifolia*

مقادیر نشانگر میانگین \pm خطای استاندارد است -حروف مشابه در آزمون دانکن دارای عدم اختلاف معنی دار است)

که با سایر تیمارها به غیر از ۱۵۰ میلی گرم در لیتر اختلاف معنی دار داشت (جدول ۳). کاربرد ۴ میلی گرم نانوآکسیدروی باعث افزایش ۲۸/۸۳ درصد عملکرد اسانس نسبت به شاهد شد (شکل ۲).

عملکرد اسانس: نتایج نشان دادند اثرات ساده شوری و نانوآکسیدروی ($P \leq 0/05$) بر عملکرد اسانس معنی دار بود. با افزایش شوری مقدار عملکرد اسانس کاهش یافت. به طوری که کمترین مقدار در تیمار ۲۰۰ میلی گرم در لیتر کلرید سدیم بدست آمد



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

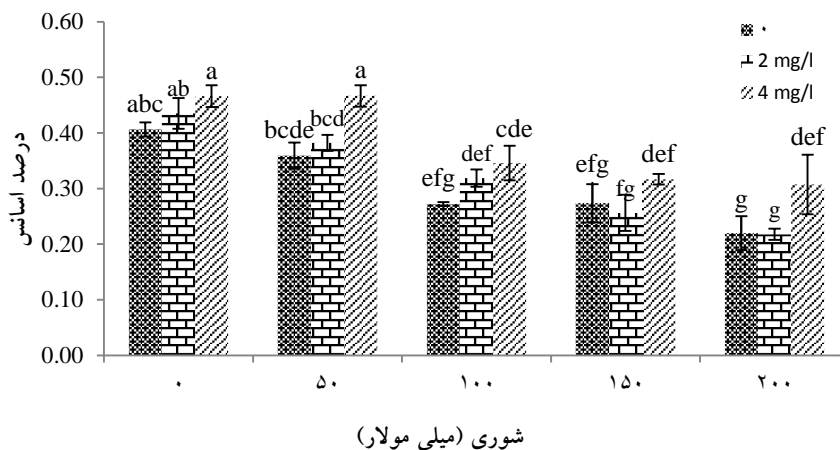
مقادیر نشانگر میانگین \pm خطای استاندارد است -حروف مشابه در آزمون دانکن دارای عدم اختلاف معنی دار است

کاهش در سطوح مختلف شوری ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ مولار نسبت به شاهد به ترتیب ۷/۸، ۲۸/۴۲، ۳۵/۳۲ و ۴۳/۱۲ درصد بود (جدول ۳).

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 میلی مولار کلرید سدیم می باشد. میزان

در همان سطح شوری می‌شود. در تیمار ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، درصد کاهش اسانس برگ در شوری بدون وجود نانوذره نسبت به شاهد ۴۵/۸۱ درصد، درحالی‌که در همان سطح شوری نسبت کاهش در شرایط اعمال ۴ میلی‌گرم در لیتر نانواکسیدروی ۲۴/۳۸ درصد بود (شکل 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



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

(مقادیر نشانگر میانگین \pm خطای استاندارد است -حروف مشابه در آزمون دانکن دارای عدم اختلاف معنی دار است)

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 ایزوپینوکارونیل (۸/۹۷ به ۱۱/۱۲)، کاروتول (۶/۰۴ به ۷/۳۷)، اندوبرونونول (۶/۶۲ به ۸/۱۹)، آلفا-کادینول (۱۵/۳۳ به ۱۴/۸۶)، او-۸-سینئول (۲۱/۸۱ به ۳۱/۲) و بتا-پینن (۶/۲۷ به ۷/۲۷) درصد تغییر یافت. حضور نانواکسیدروی در هنگام تنش بالا در این گیاه باعث افزایش میزان اندوبرونونول، آلفا-کادینول شد. در حالیکه افزایش آن باعث کاهش میزان ایزوپینوکارونیل، آلفا-پینن و او-۸-سینئول شد.

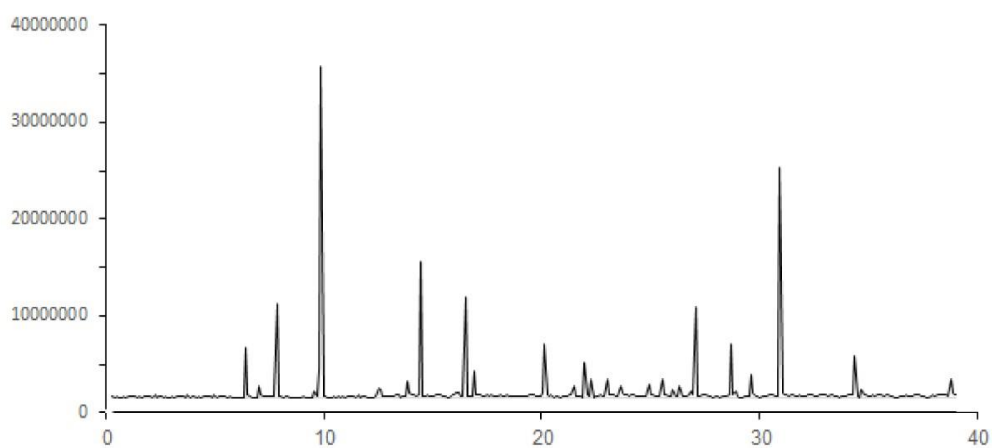
ترکیبات اسانس: نتایج تجزیه اسانس و ترکیبات شناسایی شده در تیمارهای مختلف در جدول ۴ و شکل های ۴، ۵ و ۶ آورده شده است. نتایج نشان داد که کیفیت اسانس گیاه دارویی نوروزک تحت تاثیر تنش شوری و نانواکسیدروی قرار گرفت. بر اساس نتایج آنالیز GC-Mass، ۳۲ نوع ترکیب در اسانس این گیاه وجود داشت. در همه تیمارهای آزمایش اجزای اصلی اسانس شامل، او-۸-سینئول، بتا-پینن، ایزوپینوکارونیل، کاروتول، اندوبرونونول و آلفا-کادینول بود (جدول ۴). همانطور که در جدول ۴ ارائه شده است تعداد ترکیبات با افزایش میزان شوری کاهش یافت به طوریکه در تیمار شاهد ۳۲ ترکیب، ولی در ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۲۹ و ۲۱

جدول ۴: اثر تنش شوری و نانوآکسیدروی بر ترکیبات موجود در اسانس *Salvia leritifolia*

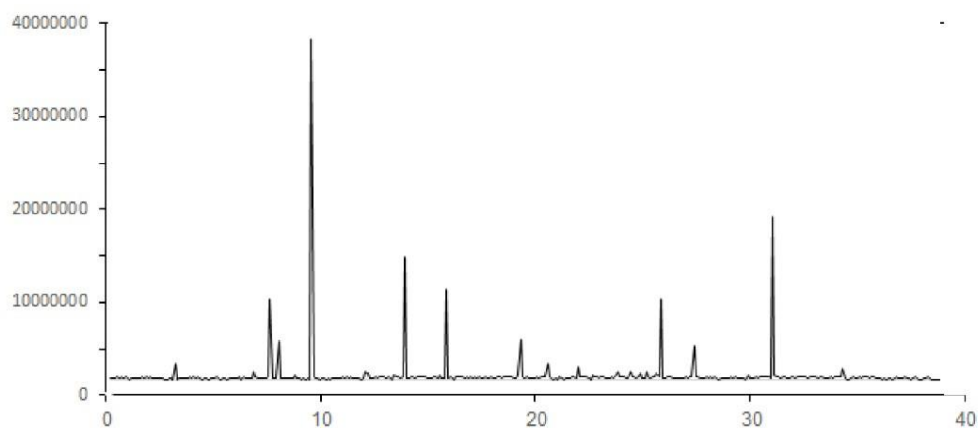
ردیف	شوری (میلی مولار) نانوآکسیدروی (mg/l)	زمان بازداری (RT)	شاهد			۱۰۰ میلی مولار			۲۰۰ میلی مولار		
			صفر	۲	۴	صفر	۲	۴	صفر	۲	۴
۱	α -pinene	۶/۵۵	۳/۳	۷	-	۲/۳۴	۴/۵۱	۰/۰۶	۱/۳۷	۱/۸۶	۰/۶۲
۲	camphene	۷/۰۷	۰/۷۶	۰/۸	۰/۱	-	۲/۱۵	-	۰/۶۲	-	۲/۹۴
۳	β -pinene	۷/۹۵	۶/۲۷	۶/۰۹	۷/۵۵	۷/۲	۱/۱۷	۸/۵۳	۷/۲۷	۶/۲	۶/۸۵
۴	β -myrcene	۸/۲۸	۰/۱۴	۰/۶۵	۰/۱	۰/۹۶	۰/۸۲	۱/۵۹	۳/۴۷	۱/۲۳	۰/۳۹
۵	δ -3-carene	۹/۰۱	۰/۱۲	۰/۶۸	۰/۲	۰/۸	۱/۰۹	۰/۹۵	۰/۳۷	-	۰/۲۱
۶	p-cymene	۹/۶۴	۰/۴۳	۲/۷۶	۱/۲۵	۰/۷۲	۳/۵۶	۳/۸۷	-	۱/۴	۲/۱۴
۷	limonene	۹/۷۹	۱/۸۷	۲/۹۲	۲/۹۸	۱/۱۸	۳/۴۷	۰/۴۹	-	-	۰/۴۶
۸	1,8-cineole	۹/۹۴	۲۱/۸۱	۱۶/۳۹	۲۲/۴	۲۴/۵	۳۲/۹	۳۳/۱۷	۳۱/۲	۳۱/۰۷	۲۶/۶۲
۹	camphenol,	۱۳/۸۶	۱/۱۵	۰/۴۹	۰/۱۱	۰/۳۹	۰/۴۸	۰/۷۱	۰	۱/۲۷	۰/۵۶
۱۰	isopinocarveol	۱۴/۴۶	۸/۹۷	۱۱/۰۴	۷/۳۵	۶/۵	۳/۲۶	۷/۲۲	۱۱/۱۲	۱۱	۸/۷۵
۱۱	pinocarvone	۱۶/۰۳	۰/۴۲	۰/۷۸	۰/۷	۰/۴۲	۰/۱	۰/۵۸	۰/۱۲	۰/۴۱	-
۱۲	endo-Borneol	۱۶/۴۲	۶/۶۲	۷/۳۵	۸/۲	۶/۹۵	۴/۴۱	۷/۷۸	۸/۱۹	۶/۱۴	۹/۲۸
۱۳	myrtenol	۱۶/۸۸	۱/۸	-	۱/۲	۰/۹	-	۰/۶۷	-	-	-
۱۴	thymol	۲۱/۲۴	۳/۶۱	۴/۴۱	۴/۸۹	۳/۲۸	۵/۸۳	۴/۵۸	۳/۵۷	۴/۵۳	۳/۵۶
۱۵	cycloundecene, 1-methyl	۲۲/۵۱	۰/۷۶	-	۰/۳	-	۰/۵۶	-	۱/۴	-	۰/۱
۱۶	α -copaene	۲۲/۸۴	۰/۱۳	۰/۸	۰/۲	۰/۱	-	-	-	-	-
۱۷	isolekene	۲۳/۰۱	۲/۳۶	۰/۷۴	۵/۲۲	۱/۸۲	۰/۶	۱/۷	-	۰/۵۷	۱/۱۵
۱۸	β -patchoulene	۲۳/۳۳	۱/۲۳	۲/۳۸	-	۱/۹۵	۴/۲۴	-	-	-	۰/۲۴
۱۹	E-caryophyllene	۲۴/۰۴	۱/۲۹	۰/۹۸	۱/۴	۱/۸	-	۰/۲۹	۱/۱۴	-	-
۲۰	guaia-3,9-diene	۲۴/۵۷	۰/۷۸	۱/۹۶	۱/۲۲	۲/۲۹	-	-	-	-	-
۲۱	γ -muurolene	۲۵/۹۲	۰/۹۲	-	۰/۲	۲/۹	-	۰/۶۲	۰/۷۵	-	-
۲۲	α -muurolene	۲۶/۴۷	۱/۲۳	۰/۹۵	۰/۷	۰/۶	۱/۶۹	۰/۱۵	۰/۷۵	۱/۳۱	۰/۶۲
۲۳	caryophyllene oxide	۲۷/۳۳	۰/۸۱	۰/۹	۰/۱	۱/۴۵	۲/۳۹	۰/۳۵	۰/۶۵	۰/۳	۲/۱۷
۲۴	globulol	۲۷/۸	۰/۵	۱/۵	۱/۶	۱/۷۸	-	-	۰/۵۶	۰/۵۱	-
۲۵	carotol	۲۷/۹۴	۶/۰۴	۴/۷۶	۵/۰۱	۳/۲۸	۱/۷۱	۲/۸۶	۷/۳۷	۶/۵۳	۴/۲۴
۲۶	junenol	۲۹/۶۵	۳/۵۲	۴/۵۴	۳/۰۵	۳/۹۵	۵/۶۸	۴/۲۱	۳/۱۲	۲/۶۴	۳/۹۷
۲۷	humulane-1,6-dien-3-ol	۲۹/۷۵	۰/۵	-	۲/۹	۲/۲۸	-	-	۰/۲۷	-	۰/۱۵
۲۸	β -acorenol	۳۰/۵۹	۱/۵۶	-	۳/۴	۲/۳۸	-	-	-	-	-
۲۹	α -cadinol	۳۱/۸۸	۱۵/۲۳	۱۶/۱۸	۱۴/۱۷	۱۶/۲۴	۱۴/۳۳	۱۳/۶	۱۴/۸۶	۱۶/۹۱	۱۷/۲۴
۳۰	α -vetivol	۳۵/۲۱	۲/۸۴	۰/۸۹	۱/۷۹	۱/۴۸	۱/۲۴	۱/۶۲	۰/۹۵	۲/۰۲	۰/۶۹
۳۱	isobornyl thiocyanacetate	۳۵/۵۹	۰/۶	۰/۷۵	۰/۲	۰/۹۸	۱/۲	۱/۲۵	-	۰/۴۳	۲/۴۶
۳۲	cis-z- α -bisabolene epoxide	۳۸/۳۳	۱/۲	-	۱/۱	-	-	۰/۲۵	-	-	-

سطح کلرید سدیم تعداد ترکیبات شناسایی شده در غلظت ۰ و ۴ میلی گرم در لیتر نانوآکسیدروی به ترتیب ۲۲ و ۲۴ ترکیب می باشد.

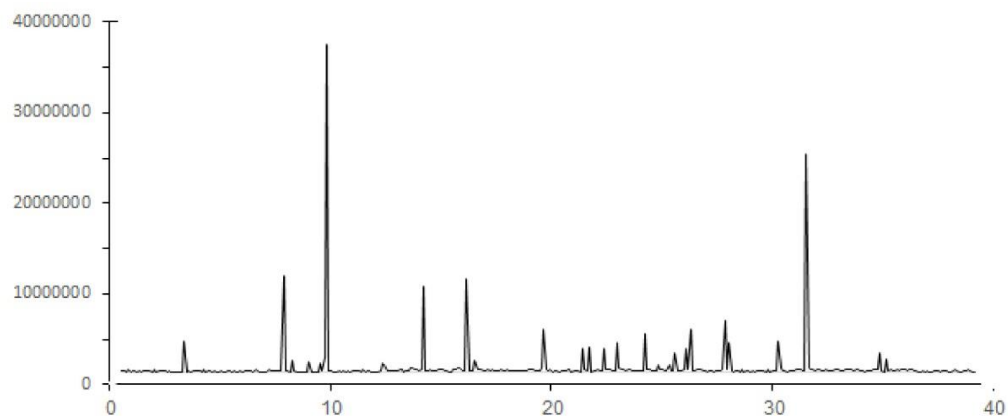
نتایج این تحقیق نشان داد حضور نانوآکسیدروی در شوری ۲۰۰ میلی مولار باعث افزایش تعداد ترکیبات موجود در اسانس شد، به طوری که در این



شکل ۴: کروماتوگرام آنالیز اسانس گیاه نوروزک در تیمار شاهد بدون نانو اکسید روی



شکل ۵: کروماتوگرام آنالیز اسانس گیاه نوروزک در تیمار شوری ۱۰۰ میلی مولار بدون نانو اکسید روی



شکل ۶: کروماتوگرام آنالیز اسانس گیاه نوروزک در تیمار شوری ۲۰۰ میلی مولار بدون نانو اکسید روی

بحث

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که تنش شوری و نانو اکسیدروی بر وزن خشک برگ و درصد اسانس گیاه نوروک در سطح ۵ درصد اثر معنی داری داشت (جدول ۲). با افزایش سطح شوری به ویژه در شرایط تنش ۲۰۰ میلی مولار کلرید سدیم، وزن خشک برگ نسبت به شاهد کاهش معنی داری یافت و کاربرد نانو اکسیدروی 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 وزن تر و خشک گیاه در شرایط تنش شوری گزارش شده است (Askary et al., 2017).

اثر مثبت نانو اکسیدروی بر بهبود شاخص‌های رشد و تحمل به تنش در گیاه پیاز (Laware & Raskar, 2014)، نخود (Yadghari et al., 2014) و نعنای فلفلی (Rostami et al., 2017) نیز اثبات شده است. نجفی وفا و همکاران (Najafi vafa et al., 2015) نشان دادند نانو روی باعث افزایش بر وزن خشک برگ گیاه مرزه شد. آنها بیان نمودند که ریز مغذی‌ها همانند روی در متابولیسم پروتئینها شرکت می‌کنند 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 نعنای فلفلی نیز ارائه شد.

نتایج نشان دادند عملکرد و درصد اسانس گیاه نوروک با افزایش شوری کاهش یافت، در حالی که حضور نانو اکسیدروی در غلظت ۴ 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 (Taariyat 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، نکرزه 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 نوروک دریافتند که درصد اسانس برگ‌های سبز نوروک در تیمارهای تنش خشکی شدید و بدون آبیاری به‌طور معنی داری بیشتر از تیمار آبیاری کامل بود. خراسانی نژاد و همکاران (Khorasaninejad et al., 2016) دریافتند که تنش شوری به‌طور معنی داری 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 نوروک شد که این امر در نهایت به کاهش عملکرد اسانس منجر شد. تأثیر منفی تنش شوری بر وزن خشک برگ بیشتر از میزان تأثیر بر درصد اسانس نوروک بود، به صورتیکه در شرایط تنش ۲۰۰ میلی مولار کلرید سدیم، وزن خشک برگ و درصد اسانس نسبت

به تیمار شاهد به ترتیب ۶۶/۹۲ و ۴۵/۸۱ درصد کاهش یافت (شکل ۳).

اسماعیل‌پور و همکاران (Esmailpour et al., 2020) در گیاه بادرشبو گزارش دادند که افزایش سطوح نانوآکسید روی بر عملکرد اسانس اثر افزایشی داشته است. آنها همچنین گزارش کردند میزان درصد اسانس در گیاه بادرشبو تحت تنش شوری در حضور نانوآکسیدروی افزایش می‌یابد. 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 نانوآکسیدروی بر میزان اسانس در گیاهان مختلف همچون مریم‌گلی 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 ۴، نوع و تعداد اجزاء اسانس گیاه نوروزک تحت تأثیر تنش شوری و نانوآکسیدروی قرار گرفت. تعداد ترکیبات با افزایش میزان شوری کاهش یافت. در همه تیمارهای آزمایش اجزای اصلی اسانس شامل ایزوپینوکارونل، کاروتول، اندوبرونول، آلفا-کادینول، ۱، ۸-سینئول و بتا-پینین بود. احتمالاً تفاوت ترکیبات اسانس این آزمایش با تحقیقات دیگر به دلیل نوع ترکیبات تیماری اعمال شده و فراوانی یونهای سدیم، کلر و نانوآکسیدروی 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 تولیدکننده 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 مریم‌گلی گزارش دادند که برخی از ترکیبات تشکیل دهنده اسانس مانند آلفا پینن، کارن و لینالول در گونه *S. viridis* در مقایسه با گیاهان شاهد افزوده شد. خراسانی نژاد و همکاران (Khorasaninejad et al., 2011) در مطالعه خود بر تأثیر تنش شوری روی نعنای فلغلی بیان داشته‌اند که در سطوح تنش ۵۰ و ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم مقادیر متول و متون 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 تأثیر قرار می‌گیرد 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 می‌باشند، همچنین ترکیباتی همچون میرتال 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، کارن و لینالول شد.

امیری و قاسمی رمضان آباد (Amiri and Ghasemi Ramadanabad, 2018) نشان دادند که تغییرات میزان کارواکرونل، لینالول، تیمول و ۴-ترپنتول 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

مقیم‌پور و همکاران (Moghimipour et al., 2014) با بررسی تأثیر کاربرد برگ‌های نانوکلات روی و سولفات روی در گیاه ریحان مقدس (*Ocimum sanctum*)، دریافتند که افزایش درصد و عملکرد اسانس در گیاهان تیمار شده با نانوکلات بیشتر از سولفات روی بود. روی بر متابولیسم قندها و پروتئین‌ها، ثبات و پایداری غشاء سلولی، تنظیم سنتز هورمون اکسین و تشکیل دانه کرده 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 به دلیل جذب بیشترشان توسط گیاه، اثرگذاری بیشتری نسبت به ذرات معمولی دارند.

نتیجه‌گیری نهایی

در مجموع نتایج این تحقیق نشان داد که محلول پاشی نانوآکسیدروی به ویژه در غلظت ۴ میلی‌گرم در لیتر، می‌تواند اثرات مفیدی در بهبود رشد، عملکرد و درصد اسانس گیاه نوروبک در شرایط تنش شوری داشته باشد.

(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 α -terpinene، β -cymene و β -carvacrol در گیاهان مرزنجوش و رازیانه تحت تاثیر تنش شوری کاهش نشان داد (Timperio et al., 2008).

در این تحقیق مشاهده شد که حضور نانوآکسیدروی بر میزان ترکیبات موجود در اسانس 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 شده‌اند، 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،

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. Esmailpour, 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 *Melissa 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 angustifolia* 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., Nejat zadeh, 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., Delfino, 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. *Ocean 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, Mahmoodzadeh Akharat, H.⁴

¹Assistant Professor, Department of Biology, Payame Noor University, Tehran, Iran.

²Assistant Professor, Khorasan-e-razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran

³Associate Professor, Department of Biology, Gorgan Branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran

⁴Associate 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 β -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