

## بررسی تغییرات مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی اسانس گیاه *Salvia mirzayanii* L. در شرایط خشکی و نانو سریم اکساید

افشار فلاح ایمانی<sup>۱</sup>، مسعود گماریان<sup>۲\*</sup>، منصور قربان پور<sup>۳</sup>، پروین رامک<sup>۴</sup>، سعید چاوشی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی دکتری، گروه باغبانی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران  
<sup>۲</sup>استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران  
<sup>۳</sup>دانشیار، گروه گیاهان دارویی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اراک، اراک، ایران  
<sup>۴</sup>استادیار پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم آباد، ایران

تاریخ دریافت: ۰۰/۱۰/۳۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۸

### چکیده

در این تحقیق تغییرات مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی مریم گلی ایرانی (*Salvia mirzayanii* L.) در شرایط تیمار خشکی و سطح متفاوت نانو سریم اکساید، پژوهشی گلدانی در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با آزمایش اسپلینت پلات در سه تکرار بررسی گردید. فاکتور اصلی شامل تنش خشکی در ۴ سطح ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ (شاهد) درصد ظرفیت زراعی و فاکتور فرعی محلول پاشی با نانو سریم اکساید در پنج سطح عدم مصرف (شاهد)، ۱۲۵، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی لیتر در لیتر بود. اسانس گیری از اندام ها با استفاده از روش تقطیر با آب صورت گرفت و ترکیبات با استفاده از GC/MS جداسازی و شناسایی گردیدند. نتایج نشان داد اثر متقابل شرایط بدون تنش خشکی  $\times$  ۱۰۰۰ میلی لیتر نانو سریم اکساید نسبت به تیمار شاهد بیشترین اثر را بر افزایش ارتفاع بوته (۳۵ درصد)، طول ریشه (۲۲ درصد)، وزن خشک ریشه (۱۴/۹ درصد)، درصد اسانس (۱۹ درصد)، کلروفیل a (۳۲ درصد)، کلروفیل b (۳۱ درصد) و کاتالاز (۱۶ درصد) داشت. همچنین اثر متقابل تنش خشکی در سطح ۲۵ درصد در ۱۲۵ میلی لیتر نانو سریم اکساید بیشترین اثر را بر کاهش وزن خشک بوته (۱۲ درصد)، طول ریشه (۱۳ درصد)، وزن خشک ریشه (۱۹ درصد)، درصد اسانس (۱۰ درصد)، کلروفیل a (۱۴ درصد) داشت. ترکیب دکان (۱۹/۵۳ درصد) در شرایط بدون تنش خشکی، ترکیبات اسپاتولئول (۳۵/۸۶ درصد)، دودکانه (۱۸/۴ درصد)، بوتانیک اسید (۱۹/۸ درصد) و لینالول (۲۵/۰۳ درصد) در شرایط تنش خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و اوکتان (۱۳/۷۶ درصد) بنا بر این غلظت ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر نانو اکسید سریم بیشترین تاثیر را بر بهبود ویژگی های مورفوفیزیولوژیکی مریم گلی گذاشت. اما در شرایط ۵۰ درصد ظرفیت زراعی ترکیبات ثانویه اسپاتولئول، دودکانه، بوتانیک اسید و لینالول بیشترین و در شرایط ۷۵ درصد ظرفیت زراعی ترکیبات ثانویه اوکتان، تریمتیل و هگزیل ایزووالرات بیشترین مقدار را داشتند.

واژه های کلیدی: اسانس، تنش خشکی، مریم گلی ایرانی، مورفولوژی، نانو سریم اکساید.

(Cham et al., 2021). یکی از مهم‌ترین تنش‌ها، تنش خشکی است و به دلایل مختلفی از جمله کم بارشی، شوری، دمای بالا و پایین و شدت زیاد نور و موارد دیگر رخ می‌دهد (Mosavi Sardoo et al., 2018). تنش خشکی می‌تواند در مناطق مختلف بر خصوصیات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گیاهان خودرو اثرات ویژه‌ای داشته باشد، که این موضوع پتانسیل هر منطقه را برای برخی از خصوصیات گیاهان خودرو با سایر مناطق متمایز می‌گرداند (Mohammadi et al., 2021). تغییرات مورفوفیزیولوژیکی از جمله کم شدگی سرعت رشد، تجمع مواد ضدرادیکال و مواد محلول در پاسخ به تنش خشکی در گیاهان گزارش شده است (Si et al., 2019). گزارش شده است که تنش خشکی در تیمارهای متوسط تنش آبی بر گیاه دارویی کنگر فرنگی سبب کاهش چشمگیری در صفات ارتفاع، طول برگ، سطح برگ و وزن آن شده است (Tahmasebi et al., 2020). Nowak و همکاران (2010) با بررسی تاثیر تنش خشکی بر روی خصوصیات مورفولوژیکی گیاه سلوی نشان دادند که افزایش تنش خشکی سبب کاهش ارتفاع بوته، تعداد ساقه جانبی، وزن خشک و وزن تر اندام رویشی، حجم ریشه، وزن تر و خشک ریشه و طول ریشه می‌شود. Parvanak در سال (2019) با بررسی اثر تنش خشکی بر شاخص‌های فیزیولوژیک گونه مریم گلی سهندی گزارش نمود که این گونه به هنگام مواجه شدن با تنش آبی، با افزایش انباشت میزان پرولین و قندهای محلول به تنش آبی مقاومت نشان می‌دهد.

علاوه بر تنش خشکی، محلول‌پاشی نانو سریم اکساید نیز می‌تواند بر خصوصیات گیاهان دارویی تأثیر داشته باشد. نانو ذرات اکسید سریم ( $\text{CeO}_2$ ) شکل اکسید شده عنصر کمیاب سریم هستند از یک سریم احاطه شده توسط شبکه‌های اکسیژن تشکیل

گونه (*Salvia mirzayanii* L.) از پراکندگی فراوانی در سراسر جهان و به طور خاص در منطقه مدیترانه برخوردار است و از جمله رویشگاه‌های طبیعی این گونه، کشور ایران می‌باشد. گیاه مریم گلی ایرانی (*Salvia mirzayanii* L.) یک گیاه علفی دوساله یا چندساله، گلدار و خودرو است که متعلق به جنس *Salvia* و خانواده نعنا (Lamiaceae) می‌باشد. این گیاه بومی ایران بوده و در قسمت‌های مختلف ایران رشد می‌کند و به واسطه اثرات درمانی و مصارف زیاد آن از مدت‌های دور تحت توجه متخصصین طب سنتی و درمانگران محلی قرار گرفته است (Ghasemi et al., 2020). این گیاه برای اثرات درمانی همچون ناراحتی‌های گوارشی، اسهال، استفراغ استفاده می‌شود (Yavari et al., 2020). در کنستاتره برگ مریم گلی ایرانی، ۸۱ ترکیب شیمیایی شناسایی شده است که دلتا-کادینن، لینالول، آلفا-تریپینل استات، آلفا-کادینول، اسپاتونول و ۱-۸، سینتول به عنوان ترکیبات اصلی آن گزارش شده‌اند (Valifard et al., 2014). مریم گلی دارای خواص آنتی‌اکسیدانی، ضد میکروبی و همبندطور ضد سرطانی می‌باشد (Kamatou et al., 2008) و برای عصاره و اسانس تهیه شده از بخش‌های مختلف جنس مریم گلی ایرانی اثر محافظ سیستم عصبی ذکر شده (Moein et al., 2008). گونه *Salvia mirzayanii* یکی از گونه‌های اندمیک و در حال انقراض این جنس می‌باشد که در نواحی جنوب و مرکز ایران شامل استان‌های سیستان و بلوچستان، کرمان، هرمزگان، فارس، بوشهر و خوزستان رشد می‌کند (Valifard et al., 2014).

تنش‌های گوناگون محیطی از مهم‌ترین عواملی هستند که می‌توانند اثرات ویژه‌ای بر خصوصیات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گیاهان دارویی داشته باشند، که از این بین تنش خشکی را می‌توان نام برد

با توجه به اهمیت گیاه مریم‌گلی ایرانی از نظر دارویی و فراهم بودن شرایط کشت این گیاه در کشور از نظر موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی، مطالعه و تحقیق پیرامون فعالیت‌های مورفوفیزیولوژیکی این گیاه تحت تأثیر نانوذرات مهم به نظر می‌رسد که پژوهش‌های اندکی در خصوص اثر نانو سریم اکساید بر روی این گیاه انجام شده است لذا می‌طلبد که انجام تحقیقی در جهت بررسی و ارزیابی تغییرات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی مریم‌گلی ایرانی (*Salvia mirzayanii* L.) در شرایط خشکی و نانو اکسید سریم صورت گیرد.

#### مواد و روش‌ها

**مواد گیاهی و تیمارهای آزمایش:** این تحقیق در سال زراعی ۱۳۹۸ در بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی مرکز تحقیقات اراک اجرا شد. بذور مورد آزمایش از مؤسسه بذر کرج تهیه گردید. بذرها ضد عفونی گردید طی مدت ۵ دقیقه توسط محلول هیپوکلریت سدیم ۵ درصد و سپس سه مرتبه با آب مقطر آبشویی شد. پس از کشت بذور در آزمایشگاه و پتری‌دیش و تولید نشاء، گیاهچه‌ها بعد از یک هفته به گلدان‌های با قطر دهانه ۲۴ و ارتفاع ۲۱ سانتی‌متر منتقل و در شرایط گلخانه با دمای  $25 \pm 2$  درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. محیط کشت شامل ماسه، خاک زراعی و خاکبرگ (به نسبت ۲:۱:۱) بود و مشخصات فیزیکی و شیمیایی آن در آزمایشگاه خاک اندازه‌گیری شد.

شده است (Paryan et al., 2020). این نانو ذره دارای رفتارهای آنتی‌اکسیدانی مانند آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، مهار رادیکال اکسید نیتریک و رادیکال هیدروکسیل و همچنین رفتارهای اکسیدانی دارد که شرایط مختلف از قبیل pH محیط نوع فعالیت این نانو ذره را تعیین می‌کند (Celardo et al., 2011). در واقع این نانو ذرات می‌توانند به عنوان جاروب‌کننده‌های گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) در بسیاری از زمینه‌های بیولوژیک عمل کنند (Celardo et al., 2011; Karakoti et al., 2010). نانو ذرات اکسید سریم در غلظت پایین رشد گیاه را تحریک و در غلظت بالا مهار می‌نماید. غلظت مناسب برای افزایش رشد گیاه بستگی به گونه گیاهی، ویژگی نانو ذرات اکسید سریم و شرایط رشد دارد (Gui et al., 2015). گزارش شده است غلظت‌های پایین نانو ذرات دی اکسید سریم باعث افزایش زیست توده می‌شود که نشان می‌دهد این نانوذره در غلظت‌های ویژه می‌تواند به‌عنوان کود نانو مورد استفاده قرار بگیرد (Salehi et al., 2019). در پژوهشی نانو اکسید سریم اثر بهبود دهنده‌ای بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی مریم‌گلی داشت (Paryan et al., 2020). همچنین در مطالعه‌ای دیگر نانو سریم اکساید منجر به افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در گیاه لوبیا شد (Salehi et al., 2019). Paryan و همکاران (2020) نشان داد نانو اکسید سریم به ویژه در غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر به روش محلول‌پاشی برگ‌گی در دوره زایشی بیش‌ترین تأثیر را بر بهبود ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیکوشیمیایی مریم‌گلی دارد.

جدول ۱: نتایج آزمایش خاک

Clay	Silt%	Sand%	pH	Ec mS/m	O.C%	K (av.) mg/kg	P (av.) mg/kg
39	40	21	7.81	0.62	1.32	221	13

شیمیایی خاک محل‌های اجرای آزمایش را در جدول ۱ آمده است.

**اندازه‌گیری صفات مورفولوژیکی:** صفات رویشی از قبیل وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه (توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم) اندازه‌گیری شد. گیاه بعد از قطع کردن قسمت هوایی از گلدان بیرون آورده شد و ریشه‌ها ابتدا شسته و سپس وزن تر و خشک، طول و حجم آن اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک، ریشه‌های برداشت شده، در شرایط اتاق و در سایه، دما و تهویه مناسب خشک شده و وزن خشک آنها با ترازوی دقیق دیجیتال اندازه‌گیری شد. حجم ریشه از روش غوطه‌ور کردن ریشه در آب مقطر درون استوانه مدرج با حجم یک لیتر اندازه‌گیری شد. به طوری که اختلاف حجم اولیه آب و حجم آب پس از غوطه‌ور ساختن ریشه، تعیین‌کننده حجم ریشه بود (Böhm, 1979).

**اندازه‌گیری رنگی‌های فتوستتزی:** استخراج و سنجش کلروفیل a و کلروفیل b برگ با استفاده از روش (Arnon, 1949) محاسبه شد. بر طبق این روش ۲۰۰ میلی‌گرم برگ تازه از هر تیمار درون هاون چینی توسط ۱۰ میلی‌لیتر متانول ۸۰ درصد ساییده شد. عصاره‌ی حاصل ۱۰ دقیقه در دستگاه سانتریفیوژ با دور ۱۰۰۰۰rpm قرار داده شد. از روابط زیر برای غلظت کلروفیل a، کلروفیل b استفاده شد:

$$a = 25.12 (A663.6) - 2.55$$

$$(A646.6) \times V/1000$$

$$b = 20.31 (A646.6) - 4.91$$

$$(A663.6) \times V/1000$$

در روابط فوق A طول موج جذب اسپکتروفوتومتر است، که در آن A<sub>۶۶۳</sub>، A<sub>۶۴۶</sub> به ترتیب مقدار جذب در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۶ نانومتر می‌باشد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری مقدار رنگی‌های فتوستتزی بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن تر محاسبه و ارائه شد.

آبیاری گلدان‌ها در حد ظرفیت زراعی و به صورت روزانه تا قبل از اعمال تنش بود. از هفته دوم تا هفته ششم پس از کشت، آبیاری بر اساس تیمارهای آبیاری انجام شد. میزان آبیاری بر اساس روش سلول فشاری و تعیین درصد رطوبت وزنی مشخص گردید. بر این اساس، میزان FC برای خاک مورد استفاده به دست آمده و برای ایجاد درصدهای مختلف FC و اعمال تنش خشکی از توزین مداوم گلدان‌ها در هر نوبت آبیاری و محاسبه مقدار آب مورد نیاز تا سطح تیمار مربوطه استفاده شد. این دوره چهار هفته‌ای (از هفته دوم تا هفته ششم پس از کشت) به عنوان دوره خشکی شناخته گردید. در پایان دوره خشکی همه گلدان‌ها به مدت دو هفته آبیاری شد. این دوره دو هفته‌ای (از هفته ششم تا هفته هشتم) به عنوان دوره بازیابی شناخته شد. نانو ذره اکسید سریم از شرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان با برند US Nano خریداری شد. اندازه ذرات ۱۰ تا ۳۰ نانومتر و به صورت پودر شیری رنگ بود. از نظر مورفولوژیکی ذرات کروی و چگالی سطح آن ۰/۸ تا ۱/۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب با درصد خلوص ۹۹/۹۷ درصد است. محلول‌پاشی تیمارهای نانو سریم اکساید از مرحله ۶ برگی شروع و طی ۱۵ روز یکبار، تکرار شد. در طی دوره رشد، مراقبت‌های زراعی لازم صورت گرفت. پس از شروع گلدهی، عملیات برداشت صورت پذیرفت. فاکتور اول تنش خشکی (S) در ۴ سطح شامل: ۲۵، ۵۰، ۷۵ (درصد ظرفیت زراعی) و شرایط بدون تنش خشکی، فاکتور دوم محلول‌پاشی با نانوسریم اکساید (N) در پنج سطح عدم مصرف (شاهد)، ۱۲۵، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌لیتر در لیتر می‌باشد. در هر تکرار ۵ گلدان در نظر گرفته شد بنابراین برای هر گلدان ۹۰ گلدان و به طور کلی ۲۷۰ گلدان تهیه شد. ویژگی‌های فیزیکی و

طول موج ۵۳۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد.

**سنجش آنزیم سوپراکسید دیسموتاز:** فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز بر اساس روش (Beauchamp and Fridovich, 1971) در طول موج ۵۶۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه گیری شد.

#### تعیین ترکیب شیمیایی اسانس‌ها

اسانس‌گیری از نمونه‌ها: حدود ۱۰۰ گرم اندام خشک شده گیاه در مخزن مخصوص دستگاه تقطیر با آب قرار گرفت و توسط جریان آب به مدت سه ساعت اسانس‌گیری شد. بازده اسانس‌ها، مریم‌گلی ۱/۱ درصد (میلی‌لیتر اسانس به ۱۰۰ گرم گیاه خشک) نسبت به وزن گیاه بود. کلیه اسانس‌ها بلافاصله پس از استخراج تا انجام آزمایشات مربوطه در لوله‌های سر بسته ریخته شده و با فویل آلومینیوم پوشیده شدند و در داخل یخچال نگهداری شدند.

**تعیین ترکیب شیمیایی اسانس‌ها:** به منظور جداسازی و شناسایی ترکیبات اسانسی، اسانس هر تیمار به دستگاه گاز کروماتوگراف ساخت شرکت شیمادزو ژاپن با طیف‌سنج (GC/MS) تزریق گردید. دستگاه دارای ستون مویینه به طول ۳۰ متر و قطر داخلی ۲۵۰ میکرومتر و ضخامت لایه داخلی ۰/۲۵ میکرومتر، با برنامه دمایی ۶۰ تا ۲۷۵ و همراه با افزایش تدریجی ۵ درجه در هر دقیقه و نگهداری ستون در ۲۶۵ درجه به مدت ۳۰ دقیقه استفاده شد. گاز حامل هلیوم و دمای تزریق ۲۳۰ درجه سانتی‌گراد بود. پس از تزریق اسانس به دستگاه و مشاهده طیف کروماتوگرام که حضور تعداد زیادی ترکیب را نشان می‌داد، با استفاده از زمان بازداری (Rt)، طیف جرمی، مقایسه با ترکیبات موجود در کتابخانه اطلاعات کامپیوتری، شناسایی ترکیبات اسانس و تعیین درصد کمی در آن‌ها انجام گرفت.

**اندازه‌گیری میزان اسانس:** استخراج اسانس به روش تقطیر با آب و توسط دستگاه Clevenger (مدل هیتز Gerhardt) انجام شد. به این منظور، ۲۰ گرم نمونه از هر تیمار وزن و پس از آسیاب شدن به نسبت ۱ به ۱۰ (به ازای هر گرم ماده خشک ۱۰ میلی‌لیتر آب به بالن اضافه شد) به مدت ۲ ساعت درون دستگاه Clevenger جوشانده شد (Kapoor et al., 2004).

**اندازه‌گیری میزان پرولین:** میزان پرولین در نمونه‌های بافت برگ گیاه در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد در ازت مایع و به روش (Bates et al., 1973) اندازه‌گیری شد.

**سنجش آنزیم کاتالاز:** برای اندازه‌گیری آنزیم کاتالاز ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی، ۶۰۰ میکرولیتر بافر فسفات سدیم (اسیدیته ۷)، ۰/۱۵ میکرولیتر EDTA، ۵۴۹/۸۵ میکرولیتر آب مقطر درون تیوب ریخته و ۳۸۲/۵ میکرولیتر آب اکسیژنه به آن اضافه شد (۳۸۲/۵ میکرولیتر آب اکسیژنه در ۲/۵ میلی‌لیتر آب مقطر ریخته شد تا آب اکسیژنه ۰/۷۵ مولار حاصل شود؛ سپس ۳۰ میکرولیتر در مخلوط واکنش ریخته شد تا آب اکسیژنه ۱۵ میلی‌مولار حاصل شود) و بی‌درنگ میزان جذب آن در طول موج ۲۴۰ نانومتر با دستگاه طیف‌سنج نوری خوانده شد. میزان جذب پس از سپری شدن زمان ۱ دقیقه دوباره یادداشت شد (Beers and Sizer, 1952).

**سنجش آنزیم پراکسیداز:** فعالیت آنزیم پراکسیداز بر اساس روش (Jiang et al., 2018) اندازه‌گیری شد. به این منظور ابتدا ۲ میلی‌لیتر استات ۰/۲ مولار (اسیدیته ۵)، ۰/۲ میلی‌لیتر آب اکسیژنه ۰/۳ درصد، ۰/۱ میلی‌لیتر بنزیدین ۰/۲۰ مولار محلول در متانول ۵۰ درصد در حمام یخ مخلوط شدند. سپس ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره آنزیمی برگ به این مخلوط واکنش اضافه شد و بی‌درنگ میزان جذب آن در

## تجزیه و تحلیل آماری

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SAS (SAS Institute, 2001) استفاده شد. برای مقایسه میانگین صفات از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد.

## نتایج

**ارتفاع بوته:** نتایج نشان‌دهنده معنی‌دار بودن تیمارهای آزمایش بر ارتفاع بوته در سطح آماری یک درصد بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین این صفت در تیمار تنش خشکی نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته (۸۷/۳) سانتی‌متر) در شرایط عدم تنش خشکی و کمترین ارتفاع بوته (۱۷/۴۴ سانتی‌متر) در تیمار تنش خشکی در سطح ۲۵ درصد ظرفیت زراعی مزرعه بود که ۷۸/۳۸ درصد کاهش نشان داد (شکل ۱). در تیمار نانو اکسید سریم کمترین ارتفاع بوته (۴۱/۶۶ سانتی‌متر) در سطح ۱۲۵ میلی‌لیتر در لیتر مشاهده شد. همچنین بیشترین ارتفاع بوته مربوط به محلول‌پاشی با نانو اکسید سریم در سطح ۱۰۰۰ میلی‌لیتر در لیتر و به میزان ۶۴/۱۶ سانتی‌متر بود که ۵۴ درصد نسبت به تیمار نانو اکسید سریم در سطح ۱۲۵ میلی‌لیتر افزایش نشان داد. تیمار اثر متقابل تنش خشکی در سطح ۲۵

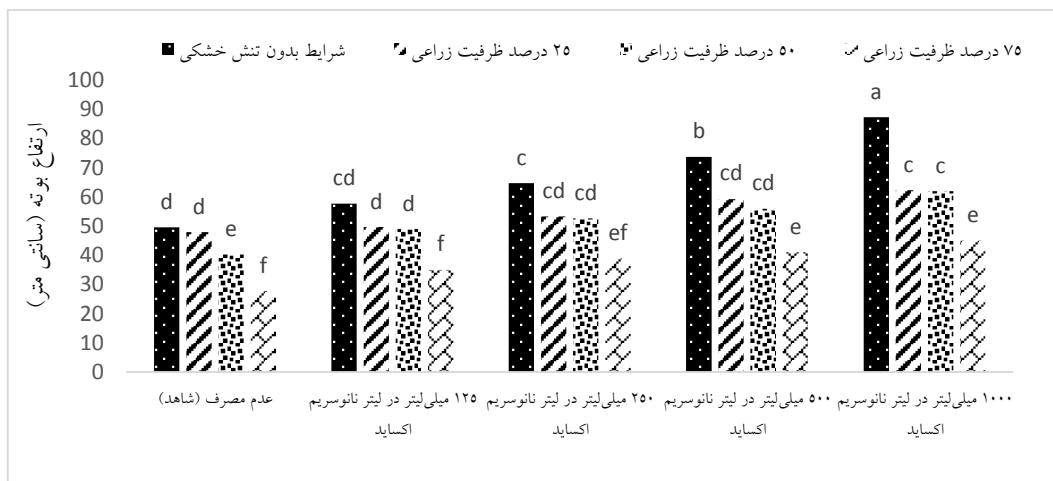
درصد ظرفیت زراعی مزرعه × نانو اکسید سریم در سطح ۱۲۵ میلی‌گرم در لیتر موجب کمترین ارتفاع به میزان ۲۷/۶۶ سانتی‌متر شد. همچنین بیشترین ارتفاع بوته مربوط به تیمار اثر متقابل شرایط عدم تنش خشکی × نانو اکسید سریم در سطح ۱۰۰۰ میلی‌لیتر در لیتر و به میزان ۸۷/۳۳ سانتی‌متر بود.

**وزن خشک بوته:** وزن خشک بوته مریم گلی ایرانی به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر تنش خشکی، محلول‌پاشی با نانو اکسید سریم و و اثر متقابل این دو تیمار قرار گرفت (جدول ۲). نتایج نشان داد، افزایش تنش خشکی می‌تواند منجر به کاهش فتوسنتز گیاه و کاهش وزن خشک بوته شد. کمترین وزن خشک بوته در تیمار اثر تنش خشکی در سطح ۲۵٪ و به میزان ۸/۰۷ گرم بود. همچنین بیشترین وزن خشک بوته مربوط به شرایط عدم وجود تنش خشکی و به میزان ۱۷/۴۴ گرم بود. در تیمار نانو اکسید سریم در سطح ۱۲۵ میلی‌لیتر در لیتر کمترین وزن خشک بوته به میزان ۸/۸۵ گرم مشاهده شد (شکل ۲) در حالی که محلول‌پاشی با نانو اکسید سریم در سطح ۱۰۰۰ میلی‌لیتر در لیتر باعث بیشترین وزن خشک بوته به میزان ۱۶/۸۷ گرم شد.

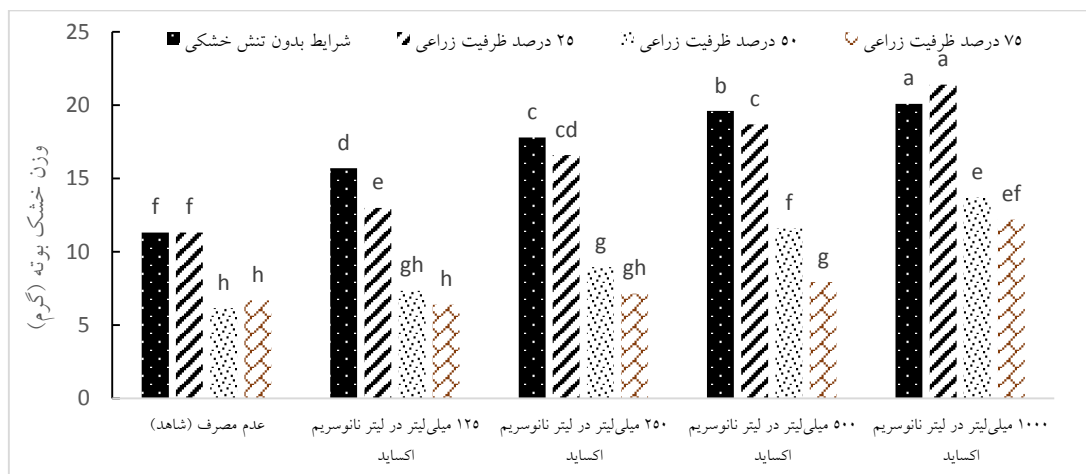
جدول ۲: نتایج تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیکی مورد مطالعه حاصل از آزمایش

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن خشک ریشه (گرم در بوته)	طول ریشه (cm)	وزن خشک بوته	ارتفاع بوته
تکرار	2	92.45**	50.47**	80.37**	91.48**
تنش خشکی	3	29.5	63.4	30.83	87.63
اشتباه اصلی	6	26.41	48.65	23.87	19.54
نانو اکساید سریم	4	31.17*	54.63*	38.53**	26.79**
نانو اکساید سریم × تنش خشکی	12	16.74*	4.4	13.41*	3.37
اشتباه فرعی	32	9.52	11.50	7.18	5.15
ضریب تغییرات (درصد)	17	15.2	15.1	21	29

\* و \*\* به ترتیب معنی‌دار در سطح آماری ۵ و ۱ درصد



شکل ۱: مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و نانو اکسید سریم بر ارتفاع بوته مریم گلی

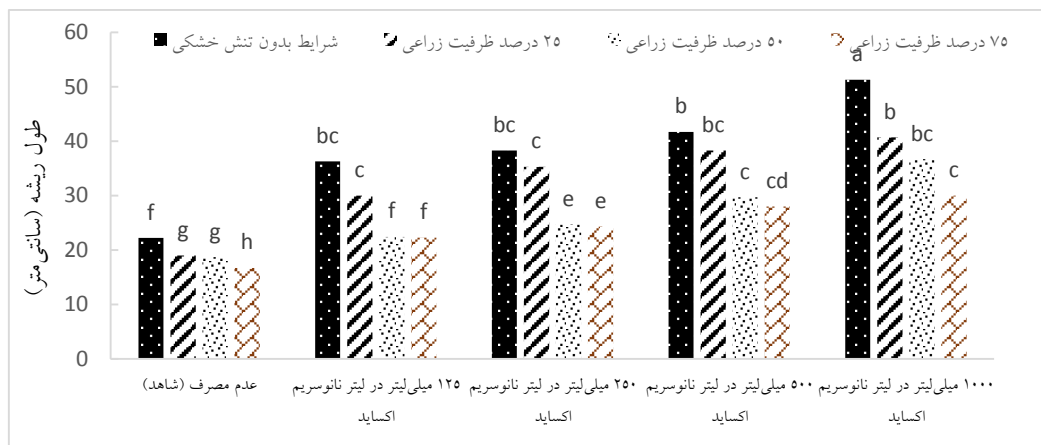


شکل ۲: مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و نانو اکسید سریم بر وزن خشک بوته مریم گلی

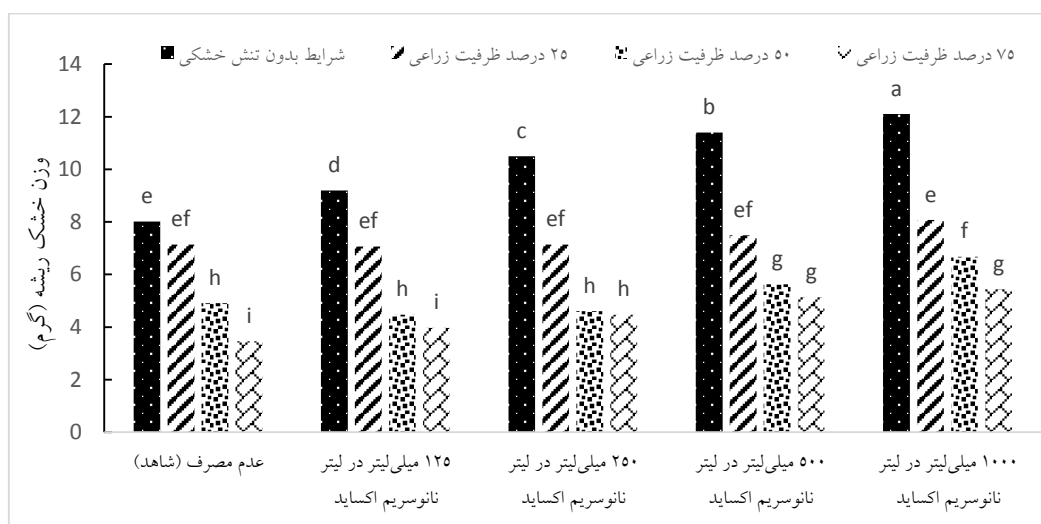
۱۲۵ میلی لیتر در لیتر وزن خشک ریشه را به کمترین مقدار آن (۶/۰۲۴ گرم) کاهش داد در حالی که بیشترین وزن خشک ریشه (۸/۰۷ گرم) در تیمار نانو اکسید سریم در سطح ۱۰۰۰ میلی لیتر در لیتر مشاهده شد. تیمار اثر متقابل شرایط عدم وجود تنش خشکی × نانو اکسید سریم در سطح ۱۲۵ میلی لیتر در لیتر موجب کمترین وزن خشک ریشه (۳/۴۶ گرم) شد. از طرف دیگر، بیشترین وزن خشک ریشه (۱۲/۱۲) مربوط به اثر متقابل تنش خشکی در سطح ۲۵٪ ظرفیت زراعی مزرعه × نانو سریم اکساید در سطح ۱۰۰۰ میلی لیتر در لیتر بود (شکل ۴).

**طول ریشه:** تیمار نانو اکسید سریم در سطح ۱۲۵ میلی لیتر در لیتر باعث کمترین طول ریشه (۱۹/۶۶ سانتی متر) و در سطح ۱۰۰۰ میلی لیتر در لیتر سبب بیشترین طول ریشه (۳۹/۶۶ سانتی متر) شد. اثر متقابل تنش خشکی در سطح ۲۵٪ ظرفیت زراعی مزرعه × نانو اکسید سریم در سطح ۱۲۵ میلی لیتر در لیتر موجب کمترین طول ریشه (۱۶/۶۶ سانتی متر) شد. بیشترین طول ریشه (۵۱/۳۳ سانتی متر) مربوط به تیمار اثر متقابل شرایط عدم وجود تنش خشکی × نانو اکسید سریم در سطح ۱۰۰۰ میلی لیتر در لیتر بود (شکل ۳).

**وزن خشک ریشه:** تیمار نانو اکسید سریم در سطح



شکل ۳: مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و نانو اکسید سربیم بر طول ریشه مریم‌گلی



شکل ۴: مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و نانو اکسید سربیم بر وزن خشک ریشه مریم‌گلی

میانگین  $43/23$  میلی‌گرم در گرم وزن تر بود (شکل ۵).

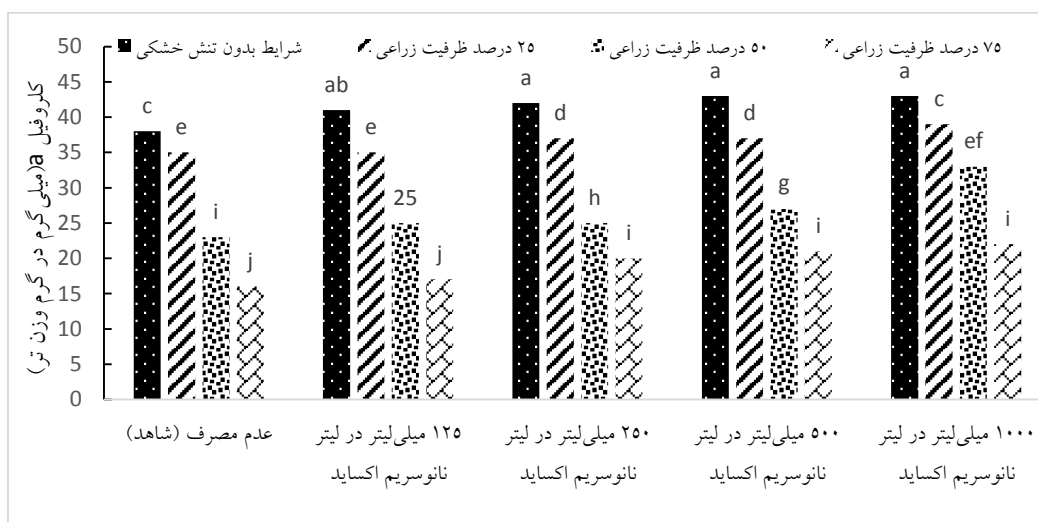
کمترین مقدار کلروفیل b در تیمار عدم وجود تنش خشکی با میانگین  $10/43$  میلی‌گرم در گرم وزن تر بود. همچنین بیشترین مقدار این صفت مربوط به تیمار تنش خشکی در سطح ۲۵٪ ظرفیت زراعی مزرعه با میانگین  $19/33$  میلی‌گرم در گرم وزن تر بود. غلظت  $125$  میلی‌گرم در لیتر نانو اکسید سربیم موجب کمترین مقدار کلروفیل b با میانگین  $15/07$  میلی‌گرم در گرم وزن تر شد در حالی که در غلظت  $1000$  میلی‌گرم در لیتر نانو اکسید سربیم بیشترین مقدار

کلروفیل a و b: در تیمار نانو اکسید سربیم در سطح  $125$  میلی‌گرم در لیتر، کمترین مقدار کلروفیل a ( $28/49$  میلی‌گرم در گرم وزن تر) مشاهده گردید و بیشترین مقدار آن ( $34/35$  میلی‌گرم در گرم وزن تر) در تیمار نانو اکسید سربیم در سطح  $1000$  میلی‌گرم در لیتر بود. در تیمار اثر متقابل تنش خشکی در سطح ۲۵٪ ظرفیت زراعی مزرعه  $\times$  نانو اکسید سربیم در سطح  $125$  میلی‌گرم در لیتر کمترین مقدار کلروفیل a ( $16/21$  میلی‌گرم در گرم وزن تر) و بیشترین مقدار آن در تیمار اثر متقابل عدم وجود تنش خشکی  $\times$  نانو اکسید سربیم در سطح  $1000$  میلی‌گرم در لیتر با

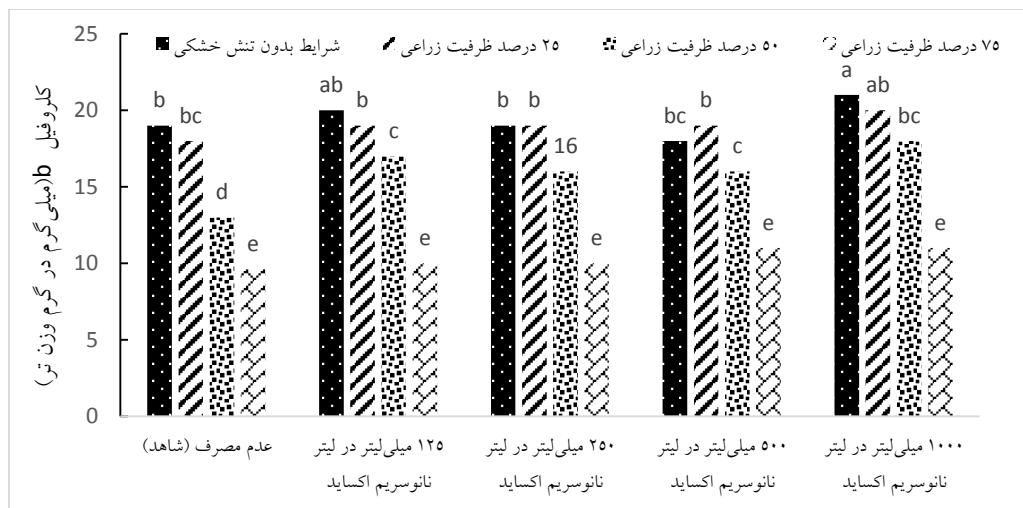


دیده شد و بیشترین مقدار آن مربوط به تیمار اثر متقابل عدم وجود تنش خشکی × نانو اکساید در غلظت ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر با میانگین ۲۰/۵ میلی گرم در گرم وزن تر بود (شکل ۶).

کلروفیل b با میانگین ۱۷/۲۵ میلی گرم در گرم وزن تر مشاهده شد. در تیمار اثر متقابل تنش خشکی در سطح ۲۵٪ ظرفیت زراعی مزرعه × نانو سریم اکساید در غلظت ۱۲۵ میلی گرم در لیتر کمترین مقدار کلروفیل b با میانگین ۹/۵۵ میلی گرم در گرم وزن تر



شکل ۵: مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی × نانو سریم اکساید بر کلروفیل a مریم گلی



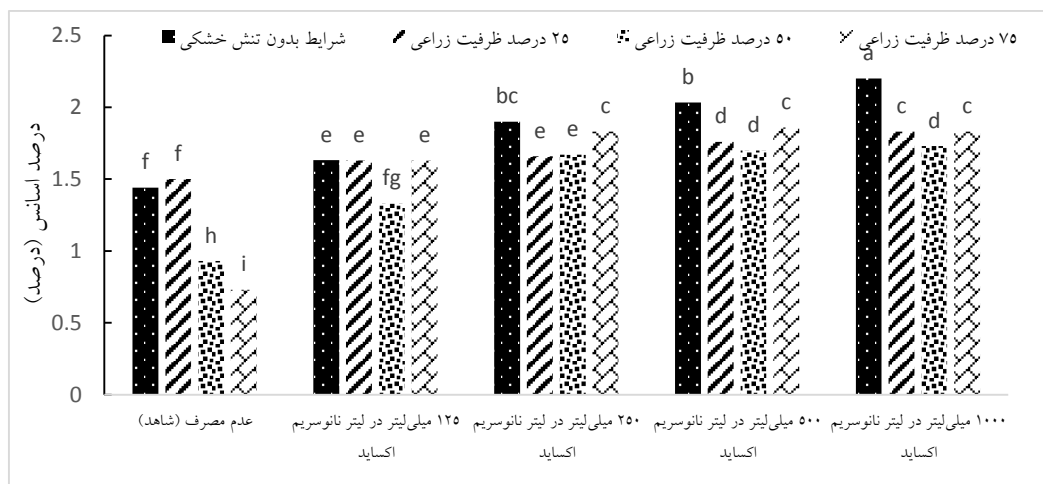
شکل ۶: مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی × نانو سریم اکساید بر کلروفیل b

خشکی و به میزان ۱/۷۹٪ بود. کمترین درصد اسانس در تیمار اثر نانو سریم اکساید در سطح ۱۲۵ میلی لیتر در لیتر و به میزان ۱/۱۴٪ بود، همچنین بیشترین درصد اسانس مربوط به محلول پاشی با نانو سریم اکساید در سطح ۱۰۰۰ میلی لیتر در لیتر و به میزان

درصد اسانس: نتایج (جدول ۳) نشان دهنده معنی دار بودن تیمارها بر درصد اسانس در سطح ۱ درصد بود. به این ترتیب که کمترین درصد اسانس در اثر تنش خشکی در سطح ۲۵٪ و به میزان ۱/۴۷ بود، همچنین بیشترین درصد اسانس مربوط به شرایط بدون تنش

سریم اکساید ۱۲۵ میلی لیتر در لیتر و به میزان ۰/۷۳٪ بود، همچنین بیشترین درصد اسانس مربوط به تیمار شرایط بدون تنش خشکی × نانو سریم اکساید ۱۰۰۰ میلی لیتر در لیتر و به میزان ۰/۲۲٪ بود (شکل ۷).

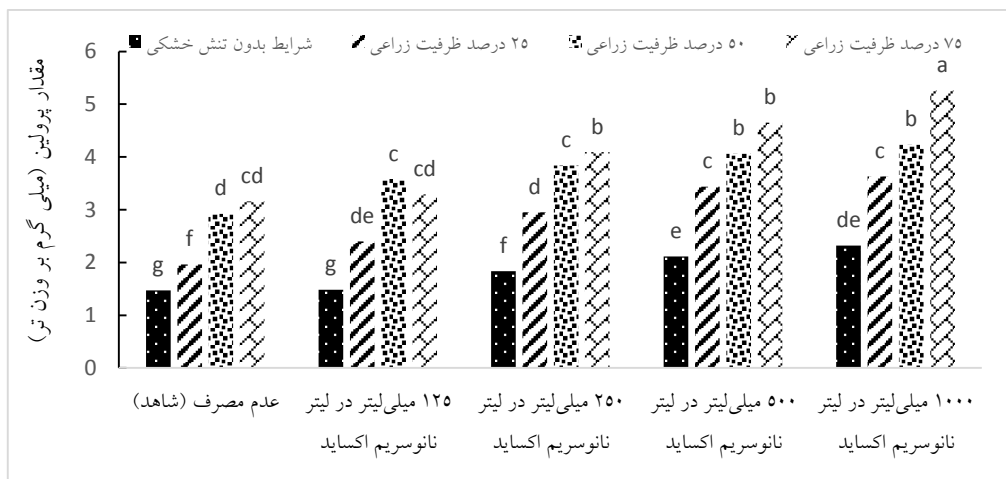
۱/۹۰ بود. تیمار اثر متقابل تنش خشکی × محلول پاشی با نانو سریم اکساید در سطح ۵ درصد بر درصد اسانس معنی دار بود، کمترین درصد اسانس در تیمار اثر متقابل تنش خشکی در سطح ۰/۲۵ × نانو



شکل ۷: مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی × نانو سریم اکساید بر درصد اسانس مریم گلی

سطح ۱۰۰۰ میلی لیتر در لیتر و به میزان ۳/۸۶ میلی گرم بر وزن تر بود. تیمار اثر متقابل تنش خشکی × محلول پاشی با نانو سریم اکساید در سطح ۱ درصد بر پرولین (میلی گرم بر وزن تر) معنی دار بود، کمترین پرولین در تیمار اثر متقابل شرایط بدون تنش خشکی × نانو سریم اکساید ۲۵۰ میلی لیتر در لیتر و به میزان ۱/۴۷ میلی گرم بر وزن تر بود، همچنین بیشترین پرولین مربوط به تیمار اثر متقابل تنش خشکی در سطح ۰/۲۵ × نانو سریم اکساید ۱۰۰۰ میلی لیتر در لیتر و به میزان ۵/۲۶ میلی گرم بر وزن تر بود (شکل ۸).

مقدار پرولین: نتایج (جدول ۳) نشان دهنده معنی دار بودن تیمارها بر مقدار پرولین (میلی گرم بر وزن تر) در سطح ۱ درصد بود. به این ترتیب که کمترین مقدار پرولین در تیمار اثر تنش خشکی در سطح ۰/۲۵٪ و به میزان ۱/۸۰ میلی گرم بر وزن تر بود، همچنین بیشترین مقدار پرولین مربوط به تیمار بدون تنش خشکی و به میزان ۴/۰۹ میلی گرم بر وزن تر بود. کمترین مقدار پرولین در تیمار اثر نانو سریم اکساید در سطح ۱۲۵ میلی لیتر در لیتر و به میزان ۲/۲۹ میلی گرم بر وزن تر بود، همچنین بیشترین پرولین مربوط به محلول پاشی با نانو سریم اکساید در



شکل ۸: مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی × نانو سریم اکساید بر مقدار پروکلین مریم گلی

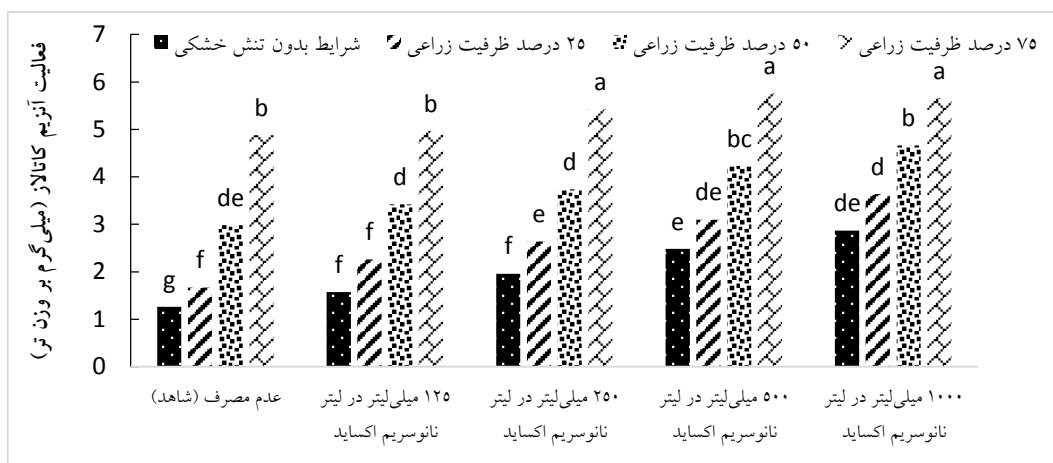
جدول ۳: نتایج تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک مورد مطالعه حاصل از آزمایش

درصد اسانس	کلروفیل a	کلروفیل b	پروکلین	کاتالاز	پراکسیداز	سوپراکسید دیسموتاز	درجه آزادی	منابع تغییرات
15.40	41.60**	47.99**	18.73**	35.41**	42.2**	73.93**	2	تکرار (r)
13.02	15.98	32.54	16.03	20.02	9.6	10.05	3	تنش خشکی
6.03	1.05	18.37	12.07	8.99	1.7	8.45	6	اشتباه اصلی
19.20*	55.50**	14.92**	7.98**	5.45**	31.10**	10.27**	4	نانوسریم اکساید × تنش خشکی
0.75	13.60*	8.92**	1.24	0.63	9.1*	21.141**	12	نانوسریم اکساید
8.49	3.20	4.57	5.72	3.71	8.4	7.32	32	اشتباه فرعی
22.8	27.6	16.8	25.6	18.7	17.3	23.1		ضرب تغییرات (درصد)

\* و \*\* به ترتیب معنی دار در سطح آماری ۵ و ۱ درصد

میزان ۴/۲ میلی گرم بر وزن تر بود. تیمار اثر متقابل تنش خشکی × محلول پاشی با نانو سریم اکساید در سطح ۱ درصد بر فعالیت آنزیم کاتالاز (میلی گرم بر وزن تر) معنادار بود، کمترین فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمار اثر متقابل تنش خشکی در سطح ۲۵ درصد × نانو سریم اکساید ۱۲۵ میلی لیتر در لیتر و به میزان ۱/۲۶ میلی گرم بر وزن تر بود، همچنین بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز مربوط به تیمار اثر متقابل شرایط بدون تنش خشکی × نانو سریم اکساید ۵۰۰ میلی لیتر در لیتر و به میزان ۵/۷۶ میلی گرم بر وزن تر بود (شکل ۹).

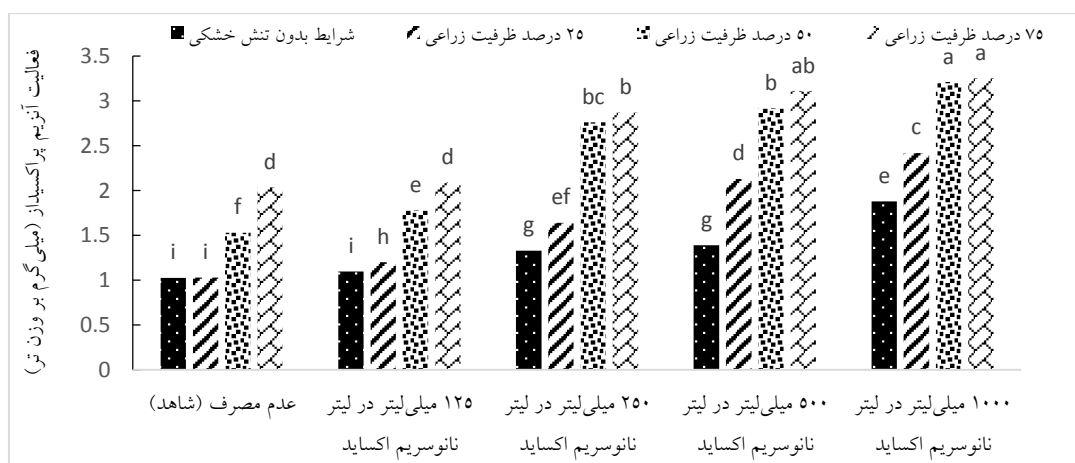
**فعالیت آنزیم کاتالاز:** نتایج (جدول ۳) نشان دهنده معنی دار بودن تیمارها بر فعالیت آنزیم کاتالاز (میلی گرم بر وزن تر) در سطح ۱ درصد بود. کمترین فعالیت آنزیم کاتالاز در اثر تنش خشکی در سطح ۲۵٪ و به میزان ۱/۹۴ میلی گرم بر وزن تر بود، همچنین بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز مربوط به تیمار بدون تنش خشکی و به میزان ۵/۳۴ میلی گرم بر وزن تر بود. کمترین فعالیت آنزیم کاتالاز در اثر نانو سریم اکساید در سطح ۱۲۵ میلی لیتر در لیتر و به میزان ۲/۶۳ میلی گرم بر وزن تر بود، همچنین بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز مربوط به محلول پاشی با نانو سریم اکساید در سطح ۱۰۰۰ میلی لیتر در لیتر و به



شکل ۹: مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی × نانو سیریم اکساید بر فعالیت آنزیم کاتالاز مریم گلی

خشکی و به میزان ۲/۶۷ میلی گرم بر وزن تر بود. کمترین فعالیت آنزیم پراکسیداز در تیمار اثر نانو سیریم اکساید در سطح ۱۲۵ میلی لیتر در لیتر و به میزان ۱/۴۰ میلی گرم بر وزن تر بود، همچنین بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز مربوط به محلول پاشی با نانو سیریم اکساید در سطح ۱۰۰۰ میلی لیتر در لیتر و به میزان ۲/۶۹ میلی گرم بر وزن تر بود (شکل ۱۰).

فعالیت آنزیم پراکسیداز: نتایج (جدول ۳) نشان دهنده معنی دار بودن تیمارها بر فعالیت آنزیم پراکسیداز (میلی گرم بر وزن تر) در سطح ۱ درصد بود. به این ترتیب که کمترین فعالیت آنزیم پراکسیداز در تیمار اثر تنش خشکی در سطح ۲۵٪ و به میزان ۱/۳۱ میلی گرم بر وزن تر بود، همچنین بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز مربوط به تیمار بدون تنش



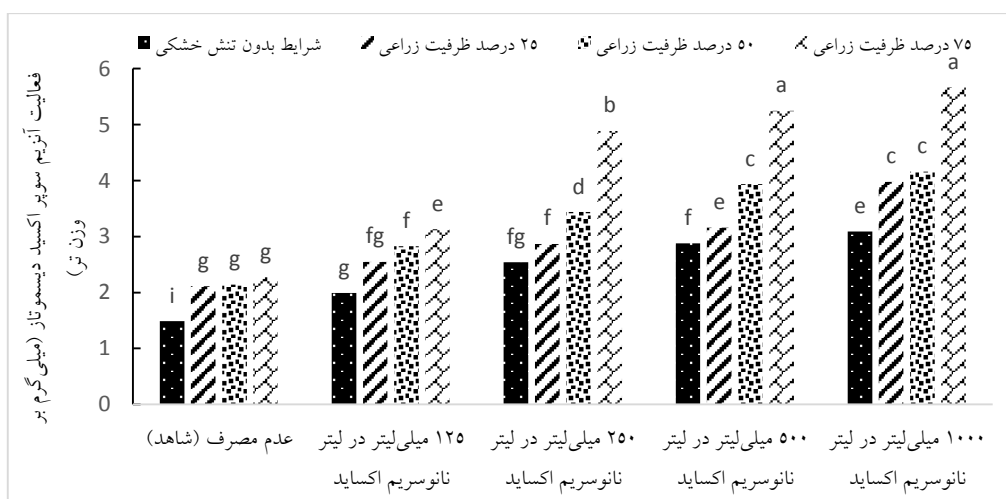
شکل ۱۰: مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی × نانو سیریم اکساید بر فعالیت آنزیم پراکسیداز مریم گلی

سوپر اکسید دیسموتاز در تیمار اثر تنش خشکی در سطح ۵۰٪ و به میزان ۰/۶۰ میلی گرم بر وزن تر بود، همچنین بیشترین فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز مربوط به تیمار بدون تنش خشکی و به میزان ۱/۳۶

فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز: نتایج (جدول ۳) نشان دهنده معنی دار بودن تیمارها بر فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز (میلی گرم بر وزن تر) در سطح ۱ درصد بود. به این ترتیب که کمترین فعالیت آنزیم

میلی گرم بر وزن تر بود. کمترین فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز (میلی گرم بر وزن تر) در تیمار اثر متقابل شرایط بدون تنش خشکی × نانوسریم اکساید ۱۲۵ میلی لیتر در لیتر و به میزان ۱/۴۸ میلی گرم بر وزن تر بود، همچنین بیشترین فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز (میلی گرم بر وزن تر) مربوط به تیمار اثر متقابل تنش خشکی در سطح ۲۵٪ × نانو سریم اکساید ۱۰۰۰ میلی لیتر در لیتر و به میزان ۵/۶۷ میلی گرم بر وزن تر بود (شکل ۱۱).

میلی گرم بر وزن تر بود. کمترین فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز در تیمار اثر نانوسریم اکساید در سطح ۱۲۵ میلی لیتر در لیتر و به میزان ۱/۹۱ میلی گرم بر وزن تر بود، همچنین بیشترین فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز مربوط به تیمار محلول پاشی با نانوسریم اکساید در سطح ۱۰۰۰ میلی لیتر در لیتر و به میزان ۴/۲۲ میلی گرم بر وزن تر بود. تیمار اثر متقابل تنش خشکی × محلول پاشی با نانو سریم اکساید در سطح ۱ درصد بر فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز



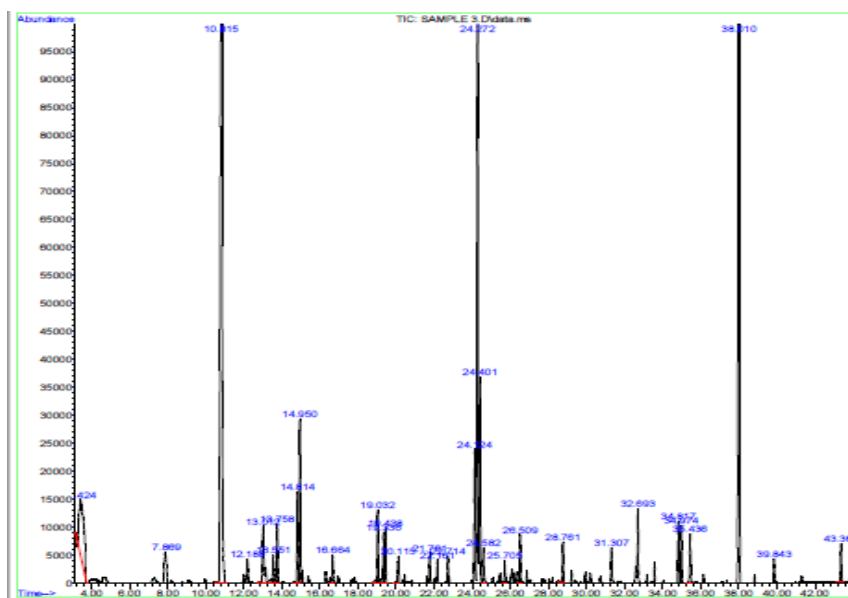
شکل ۱۱: مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی × نانو سریم اکساید بر فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز مریم گلی

بیشترین مقدار مربوط به اسپاتولئول (۳۵/۸۶ درصد)، دودکانه (۱۸/۴ درصد)، بوتانیک اسید (۱۹/۸ درصد) و لینالول (۲۵/۰۳ درصد) در شرایط تنش خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بود (جدول ۴). بیشترین مقدار مربوط به اوکتان (۱۳/۷۶ درصد)، تریمتیل (۲۲/۵ درصد) و هگزیل ایزووالرات (۲۱/۱۸ درصد) در شرایط تنش خشکی ۷۵ درصد ظرفیت زراعی بود.

ترکیبات تشکیل دهنده اسانس: تجزیه و شناسایی اسانس این گیاهان با دستگاه گاز کروماتوگرافی / طیف سنج جرمی نشان داد که ترکیبات تشکیل دهنده روغن فرار مریم گلی بیشترین مقدار مربوط به دکان (۱۹/۵۳ درصد) در شرایط بدون تنش خشکی به همراه ۲۵۰ میلی لیتر در لیتر نانوسریم اکساید بدست آمد (جدول ۴).

جدول ۴: مقایسه میانگین درصد ترکیبات تشکیل دهنده اسانس مریم گلی ایرانی تحت تاثیر تنش خشکی و محلول پاشی با نانوسریم اکساید

تیمارها	دکان	اسپاتولنول	اوکتان	تریمتیل	هگزیل ایزووالرات	دودکانه	بوتانیک اسید	لینالول
شرایط بدون تنش خشکی + عدم مصرف نانوسریم اکساید (شاهد)	16.9	15.76	3.4	15.33	9.73	10.01	11.63	1.66
شرایط بدون تنش خشکی + ۱۲۵ میلی لیتر در لیتر نانوسریم اکساید	5.4	7.8	6.46	5	5.76	12.63	7.56	7.1
شرایط بدون تنش خشکی + ۲۵۰ میلی لیتر در لیتر نانوسریم اکساید	19.53	10.93	1.2	3.43	7.73	1.1	7.23	11.9
شرایط بدون تنش خشکی + ۵۰۰ میلی لیتر در لیتر نانوسریم اکساید	3.5	20.9	3.36	7.16	20.73	3.56	3.6	6.86
شرایط بدون تنش خشکی + ۱۰۰۰ میلی لیتر در لیتر نانوسریم اکساید	4.53	9.6d	17.5	1.7	9.7	7.3	3	10.5
تنش خشکی ۲۵ درصد ظرفیت زراعی + عدم مصرف نانوسریم اکساید	3.8	16.16	2.7	1.23	8.9	3	19	17.53
تنش خشکی ۲۵ درصد ظرفیت زراعی + ۱۲۵ میلی لیتر در لیتر نانوسریم اکساید	9.4	8.2	2.1	1.2	11.1	9.6	2.6	10.6
تنش خشکی ۲۵ درصد + ۲۵۰ میلی لیتر در لیتر نانوسریم اکساید	6.9	5.53	7.16	12.2	4.73	5.13	11	3.83
تنش خشکی ۲۵ درصد ظرفیت زراعی + ۵۰۰ میلی لیتر در لیتر نانوسریم اکساید	17.3	2	0.2	1.5	2.2	1.6	1.7	1.1
تنش خشکی ۲۵ درصد ظرفیت زراعی + ۱۰۰۰ میلی لیتر در لیتر نانوسریم اکساید	6.66	3	7.03	17.03	1.7	1.7	16.8	16.53
تنش خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی + عدم مصرف نانوسریم اکساید	6.36	3.06	6.7	20.03	11.53	16.16	9.26	5.83
تنش خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی + ۱۲۵ میلی لیتر در لیتر نانوسریم اکساید	4.4	10.3	7.43	13.3	11.5	2.6	19.8	16.96
تنش خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی + ۲۵۰ میلی لیتر در لیتر نانوسریم اکساید	9	35.86	9	6.9	6.16	10.2	11.53	4.16
تنش خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی + ۵۰۰ میلی لیتر در لیتر نانوسریم اکساید	2.2	4.66	6.13	5.03	5.43	8.2	6.16	25.03
تنش خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی + ۱۰۰۰ میلی لیتر در لیتر نانوسریم اکساید	1.33	5.43	3.23	1.9	18.6	18.4	17.96	17.8
تنش خشکی ۷۵ درصد ظرفیت زراعی + عدم مصرف نانوسریم اکساید	3.73	5.03	9	22.5	4.43	5.53	3.63	12.16
تنش خشکی ۷۵ درصد ظرفیت زراعی + ۱۲۵ میلی لیتر در لیتر نانوسریم اکساید	0.7	5.86	7.9	11.2	21.1	11.8	2.3	2.83
تنش خشکی ۷۵ درصد ظرفیت زراعی + ۲۵۰ میلی لیتر در لیتر نانوسریم اکساید	13.2	23.2	7.2	4.16	1.36	3.06	5.43	6.9
تنش خشکی ۷۵ درصد ظرفیت زراعی + ۵۰۰ میلی لیتر در لیتر نانوسریم اکساید	12.5	8.76	13.76	6.9	6.86	6.46	6.16	6.06
تنش خشکی ۷۵ درصد ظرفیت زراعی + ۱۰۰۰ میلی لیتر در لیتر نانوسریم اکساید	11.8	5.9	8.8	18.56	4.3	10.3	4.7	1.46
شاخص بازداری	1000	1578	800	1026	1244	1190	1342	1097



شکل ۱۲: نمودار کروماتوگرام اثر متقابل تنش خشکی ۲۵ درصد ظرفیت زراعی + عدم مصرف نانو سریم اکساید بر متابولیت‌های ثانویه مریم‌گلی

## بحث

بوته شد. کمترین وزن خشک بوته در تیمار اثر تنش خشکی در سطح ۲۵٪ و به میزان ۸/۰۷ گرم بود. نتایج نشان داد با بروز پدیده تنش عملکرد گیاه (ماده خشک تولید شده) کاهش یافت (شکل ۲)، در واقع خشکی باعث کاهش آماس و رشد سلولی و در نتیجه کاهش رشد می‌شود. از سوی دیگر، با پیشرفت تنش خشکی همچنان که فتوسنتز برگ کاهش پیدا می‌کند، احتیاجات قندی برای تنظیم اسمزی در گیاهان افزایش و به دنبال آن رشد ریشه (شکل ۳) به طور اجتناب‌ناپذیری کاهش یافت. در مطالعه‌ای گزارش شده است که غلظت ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانو اکسید سریم سبب افزایش چشم‌گیری در زیست‌توده گیاه سویا شده است در حالی که غلظت ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر از این تیمار نانو کاهش رشد را در پی داشته است (López-Moreno et al., 2010a). در تحقیقی دیگر نشان داده شده است که غلظت‌های ۵۰۰ تا ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانو اکسید سریم باعث افزایش زیست‌توده و طول ریشه در گیاه ذرت و خیار شده است (López-Moreno et al.,

گیاه برای افزایش ارتفاع، نیاز به آب زراعی داشته و میزان کاهش آب می‌تواند منجر به کاهش ارتفاع در طول دوره رشد شود که در این آزمایش نتایج آن کاملاً مشهود بود (Alavi Samani et al., 2021). Bazzazi و همکاران (2013) تاثیر تنش خشکی را بر کاهش ارتفاع بوته گیاه شنبلیله گزارش دادند و نشان دادند با افزایش تنش خشکی (۲۵٪ نسبت به شاهد) ارتفاع گیاه کاهش یافت که در این آزمایش هم ۷۸/۳۸ درصد کاهش ارتفاع بوته را داشتیم. همچنین این نتایج با گزارشات Sodaii Zadeh و همکاران (2016) در خصوص تنش خشکی که منجر به کاهش ارتفاع گیاه مرزه می‌شود نیز همخوانی دارد. Babaei و همکاران (2019) نیز در بررسی اثر تنش خشکی بر صفت ارتفاع آویشن نیز به همین نتیجه دست یافتند. نتایج این پژوهش نشان داد، ارتفاع گیاه مریم‌گلی در سطوح مختلف تنش خشکی بستگی به مقدار سطوح نانو اکسید سریم دارد. افزایش تنش خشکی می‌تواند منجر به کاهش فتوسنتز گیاه و کاهش وزن خشک

Mahdavia و همکاران (2019) نشان داد که با افزایش شرایط تنش رطوبت، طول ریشه ریحان کم شد. طی تحقیقی دیگر Rico و همکاران (2015) با بررسی نانو اکسید سریم بر روی گیاه جو گزارش کردند که رشد ریشه در نتیجه کاربرد نانو اکسید سریم افزایش داشت. همچنین مقدار قابل توجهی زیست توده در غلظت‌های بیشتر از ۵۰۰ میلی‌لیتر در لیتر نانو اکسید سریم در خاک تولید می‌شود.

عموماً تشکیل و تجمع اسانس در گیاهان تحت شرایط محیطی خشک‌تر تمایل به افزایش دارد. نتایج حاصل از مقایسه میانگین درصد اسانس (شکل ۷) نشان داد، با اعمال تنش افزایش درصد اسانس مشاهده گردید، زیرا تحت تأثیر تنش خشکی مقدار فنل‌ها و فلاونوئیدها که از اجزای تشکیل‌دهنده اسانس‌های گیاهان دارویی هستند افزایش می‌یابد (Khorasaninejad et al., 2004). از آنجا که در گیاهان دارویی اسانس‌دار مانند مریم گلی، اثر متقابل درصد اسانس و وزن خشک بوته به عنوان دو مؤلفه تشکیل‌دهنده عملکرد اسانس مورد توجه هستند لذا در تنش خشکی شدید به دلیل کاهش شدید عملکرد سرشاخه‌ها، از کاهش درصد اسانس جلوگیری ننمود. نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد، میزان اسانس گیاه با افزایش محلول‌پاشی با نانوسریم اکساید و تنش خشکی ۲۵٪ افزایش نشان داد، که با نتایج مطالعه Safikhani et al., (2007) همخوانی دارد. محتوای کلروفیل یکی از عوامل مهم حفظ ظرفیت فتوسنتزی و تعیین‌کننده سرعت فتوسنتز در گیاهان زنده است (Fattahi Siah Kamri et al., 2020). نتایج Jiang و همکاران (2018) نشان داد تیمار نانو دی اکسید تیتانیوم تشکیل کلروفیل، فعالیت آنزیم روپیسکو و سرعت فتوسنتز را در گیاه افزایش می‌دهد و محلول‌پاشی با نانوپتاسیم موجب افزایش کلروفیل‌های a و b در مقایسه با شاهد شد. در تحقیق حاضر

(2010b). تیمار اثر متقابل تنش خشکی در سطح ۲۵٪ ظرفیت زراعی مزرعه × نانو اکسید سریم در سطح ۱۲۵ میلی‌لیتر در لیتر باعث کمترین مقدار وزن خشک بوته به مقدار ۶/۱۶ گرم شد. بیشترین وزن خشک بوته در تیمار اثر متقابل عدم وجود تنش خشکی × نانو اکسید سریم در سطح ۱۰۰۰ میلی‌لیتر در لیتر به میزان ۲۱/۴۳ گرم بود. در شرایط عدم وجود تنش خشکی کمترین وزن خشک ریشه (۴/۵۰ گرم) و بیشترین وزن خشک ریشه (۹/۸۸ گرم) مربوط به تیمار تنش خشکی در سطح ۲۵٪ ظرفیت زراعی مزرعه بود که در شرایط تنش خشکی در نتیجه افزایش حجم ریشه و یا کاهش سطح فتوسنتزکننده، کاهش تولید کلروفیل، افزایش انرژی مصرفی گیاه جهت بالا بردن غلظت شیره سلولی و تغییر در مسیرهای تنفسی و فعال شدن مسیر پنتوز فسفات کاهش عملکرد گیاه اتفاق می‌افتد (Sreevalli و همکاران، 2000) نیز گزارش کردند که در. گزارش شده است که غلظت کم نانو اکسید سریم در گیاه کنگر فرنگی اثرات مثبتی بر افزایش طول ریشه داشته است (Siadat-Jamian et al., 2019) که با نتایج این پژوهش هم‌راستا بود. نتایج Paryan و همکاران (2020) نیز حاکی از افزایش طول ریشه مریم گلی قرمز در تیمار ۱۰۰۰ میلی‌لیتر بر لیتر نانو اکسید سریم بود. این نتایج نشان می‌دهند که اثر نانو ذرات بر گیاه وابسته به غلظت است. گزارش شده است که تأثیر نانو ذرات به ترکیب، غلظت، اندازه، خواص فیزیکی و شیمیایی نانو ذرات و نیز به گونه‌های گیاهی مورد آزمایش، مرحله رشدی گیاه، روش و مدت زمان قرار گرفتن در معرض آن بستگی دارد (Ma et al., 2015). بیشترین طول ریشه (۳۶ سانتی‌متر) در تیمار اثر تنش خشکی در سطح ۲۵٪ ظرفیت زراعی مشاهده شد. کمترین طول ریشه (۲۴/۲۶ سانتی‌متر) مربوط به شرایط عدم وجود تنش خشکی بود. یافته‌های



سریم بر فعالیت فیتوشیمیایی فتوسیسستم II و محتوای کلروفیل در گیاهان گزارش شده است (Fashui et al., 2002; Fashui et al., 2005; Xiaoqing et al., 2007). پرولین اسید آمینه‌ای است که بخش عمده بسیاری از پروتئین‌های درگیر در تنظیم اسمزی، دیواره سلولی و غشا را تشکیل می‌دهد (Szabados and Savoure, 2010). نتایج نشان‌دهنده این بود که بین میزان پرولین تولیدی گیاه بر اساس نوع تیمار تفاوت معنی‌داری در تمام سطوح وجود دارد. در زمان کمبود آب نگهداری پتانسیل آب برای رشد پیوسته و یکنواخت گیاه ضروریست و این امر از طریق سازوکارهای تنظیم اسمزی ناشی از تجمع مواد محلول سازگار (مانند پرولین، بتائین، گلیسین، اسیدهای آلی و قندها مانند ساکاروز و مانیتول) در سیتوپلاسم امکان‌پذیر می‌باشد (Sofa et al., 2004). با افزایش ظرفیت زراعی، مقدار پرولین برگ‌ها افزایش یافت (شکل ۸). در واقع، تجمع مقدار پرولین با افزایش تنش یک واکنش عمومی است که ممکن است به علت فعال‌سازی آنزیم‌های بیوسنتزی پرولین و در نتیجه ساخت پرولین در بافت گیاهی و جلوگیری از شرکت پرولین در سنتز پروتئین‌ها صورت گیرد (Paryan et al., 2020). گونه مورد مطالعه در تحقیق حاضر به دلیل فوق پرولین خود را افزایش می‌دهد و در نتیجه از طریق تنظیم اسمزی باعث حرکت آب سلول‌های برگ و افزایش فشار تورگر می‌گردد. بنابراین تجمع پرولین تحت شرایط کم آبی را می‌توان به عنوان شاخص حساس برای تعیین وضعیت آماس برگ‌های گونه مورد مطالعه در نظر گرفت. پرولین که به‌عنوان یک اسمولیت سازگار عمل می‌کند، زیرا می‌تواند بدون اینکه مولکول‌های بزرگ سلول را خراب کند، در غلظت‌های زیاد در سلول تجمع یابد (Ghilavizadeh et al., 2019). پرولین دارای نقش محافظتی نیز می‌باشد، بدین صورت که در زمان تنش خشکی شدید از آسیب غشاء و واسرشتگی

کمترین مقدار کلروفیل a (۱۹/۱۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در تیمار تنش خشکی در سطح ۲۵٪ ظرفیت زراعی مزرعه و بیشترین مقدار این صفت (۴۰/۹۴ میلی‌گرم در گرم وزن تر) مربوط به شرایط عدم وجود تنش خشکی بود. کاهش میزان کلروفیل کل، کلروفیل a، کلروفیل b، با افزایش ظرفیت زراعی، به این علت است که با افزایش برخی از مواد تنظیم‌کننده رشد نظیر اتیلن و اسید آسبیزیک در اثر تنش خشکی فعالیت کلروفیل‌از تحریک و با تجزیه کلروفیل، کلروفیل‌از آزاد و در مراحل بعدی با باز شدن حلقه‌های پورفیرینی این محصولات به صورت فعال به واکوئل منتقل می‌شوند. نتایج فعالیت‌های پژوهشی پژوهشگران در این رابطه نشان می‌دهد که با کاهش پتانسیل آب برگ در گندم فعالیت کلروفیل‌از به طور ناگهانی زیاد می‌شود که خود مؤید این مسئله است (Tahmasebi et al., 2020). در این پژوهش حداکثر مقدار کلروفیل‌های a و b مربوط به محلول‌پاشی با نانو اکسیدسریم با غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌دست آمد که با یافته‌های (Rico et al., 2015) و (López-Moreno et al., 2010) که نشان دادند افزایش نانو اکسید سریم منجر به افزایش کلروفیل a و b می‌شود، هم‌راستا است. نتایج Paryan و همکاران (2020) نیز نشان داد که افزایش میزان غلظت نانو اکسید سریم منجر به افزایش سطح کلروفیل a و b نسبت به نمونه شاهد شد. همچنین گزارش شده است کمبود آب غلظت کلروفیل b را بیش از کلروفیل a کاهش می‌دهد. بنابراین منجر به افزایش نسبت کلروفیل a به b می‌گردد (Cham et al., 2021). در آزمایش حاضر نیز با افزایش کمبود آب نسبت کلروفیل a به b افزایش پیدا نمود (شکل ۵ و ۶). افزایش کارایی فتوسنتز در گیاهان با کاربرد نانوذرات گزارش شده است هر چند که دلایل این اثر مفید هنوز ناشناخته است (Paryan et al., 2020). گزارش‌هایی از تاثیر مثبت

نشانه‌هایی از تحمل نسبی به سطوح پایین خشکی است و فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی نظیر کاتالاز، پراکسیداز و سوپر پراکسید دیسموتاز آن در این آزمایش افزایشی بود. Zhang و همکاران (2019) و Vinothkumar و همکاران (2018) در پژوهش خود به بررسی سنتز نانوسریم اکساید بر خصوصیات مورفولوژیکی و اثر بر پراکسیداز پرداختند، نشان دادند که نانوسریم اکساید می‌تواند منجر به افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز شود، با افزایش غلظت نانوسریم اکساید، فعالیت آنزیم پراکسیداز در گیاه بامبو مقدار آن افزایش یافت. Karimi و همکاران (2020) نشان دادند تنش خشکی بر افزایش پراکسیداز در گونه‌های مختلف ریحان اثر معنی‌داری دارد و نتایج مشابه توسط دیگر محققان نیز گزارش شده است (López-Moreno et al., 2010; Szabados et al., 2010; Karimi et al., 2020). پراکسیداز به‌عنوان آنزیم تنش شناخته شده است، در گیاهان عالی آنزیم پراکسیداز در تعدادی از فرایندهای سلولی مانند سازوکار دفاعی، اتصال عرضی مونومرهای گلیکوپروتئین‌های غنی از هیدروکسی پرولین موجود در دیواره سلولی، اتصال عرضی پلی‌ساکاریدهای پکتیکی به وسیله اسیدهای فنولیک در دیواره سلولی و عمل چوبی شدن و چوب پنبه‌ای شدن شرکت می‌کند (López-Moreno et al., 2010). در بررسی‌هایی که بر روی برنج در مرحله نشائی انجام شد، مشخص گردید که افزایش فعالیت پراکسیداز در گیاهان تحت تنش خشکی با واکنش‌های اکساینده بوجود آورنده رادیکال‌های آزاد و پراکسیدهای آلی همبستگی دارد و پراکسیداز نقش مؤثری در پاکسازی پراکسید هیدروژن دارد (Szabados et al., 2010). Amini و همکاران (2014) نشان داد فعالیت آنزیم سوپر پراکسیداز دیسموتاز با افزایش میزان آبیاری بهبود می‌یابد. آنزیم‌های سوپر اکسید دیسموتاز اولین خط دفاعی را

پروتئین‌ها جلوگیری می‌کند و در زمان تغییر پتانسیل‌های اکسیداسیون-احیاء مخزن  $NADP^+$  را بازسازی می‌کند (Ghilavizadeh et al., 2019). به علاوه اینکه پرولین می‌تواند به‌عنوان پذیرنده الکترون عمل کند و در زمان بازدارندگی نوری ناشی از اکسیژن‌های فعال از آسیب سیستم نوری جلوگیری کند (Hieng et al., 2004). طی تحقیقی توسط Rossi و همکاران (2016) نشان دادند افزایش نانوسریم اکساید، سطح پرولین را افزایش می‌دهد. در شرایط تنش خشکی پرولین، در حفظ پتانسیل اسمزی، حذف رادیکال‌های آزاد و ROS، حفاظت ماکرومولکول‌ها از دناتوره شدن، تنظیم pH سلولی نقش دارد. همچنین پرولین به‌عنوان منبع نیتروژن و کربن برای گیاهان تحت تنش شدید عمل می‌کند و تحمل گیاه در برابر تنش را افزایش می‌دهد (Salehi Sardoei, 2019). نتایج این مطالعه با نتایج (Ghorbanali and Niakan, 2006) که به بررسی اثر تنش خشکی بر روی سویا پرداختند و نشان دادند که در ریشه مقدار پرولین تحت شرایط تنش ملایم و تنش شدید افزایش یافت. تجمع پرولین به دلیل تنش خشکی می‌تواند ناشی از تحریک سنتز آن یا جلوگیری از تجزیه آن و یا تجزیه پروتئین‌ها باشد (Gomes et al., 2010). مشخص شده که تجمع پرولین به موازات افزایش فعالیت آنزیم‌های شرکت‌کننده در سنتز پرولین از طریق مسیر گلوتامیت شامل  $\gamma$ -گلوتامین کیناز، گلوتامیل فسفات ردوکتاز و  $\Delta^1$ -پیرولین-5-کربوکسیلات ردوکتاز می‌باشد (Fujita et al., 2003; Giriya et al., 2002). همکاران (2010) نیز گزارش کردند که تجمع پرولین در اثر تنش خشکی در نارگیل فقط می‌تواند نشان‌دهنده اعمال تنش در گیاه باشد. Afshar Mohammadian و همکاران (2016) نشان دادند با افزایش تنش خشکی سطح فعالیت کاتالاز در گیاهان (پونه معطر) بیشتر می‌شود. مریم‌گلی ایرانی دارای

متابولیت‌های ثانویه با HPLC در تیمار نانو اکسید سریم ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر حاصل شد. تفاوت‌های مشاهده در تحقیقات انجام شده در زمینه ترکیبات شیمیایی اسانس‌ها، می‌تواند مربوط به اختلاف رقم، شرایط آب و هوایی، شرایط کشت، شرایط نگهداری و ... می‌باشد.

### نتیجه‌گیری نهایی

با توجه به نتایج این پژوهش مشاهده شد، اثر متقابل تنش خشکی شدید و محلول‌پاشی ۱۰۰۰ میلی‌لیتر در لیتر با نانو سریم می‌تواند قدرت خصوصیات فیزیولوژیک همچون پراکسیداز، سوپر اکسید پراکسیداز، کاتالاز و پرولین را افزایش دهد. ترکیبات تشکیل‌دهنده روغن فرار مریم‌گلی ترکیب دکان (۱۹/۵۳ درصد) در شرایط بدون تنش خشکی، ترکیبات اسپاتونول (۳۵/۸۶ درصد)، دودکانه (۱۸/۴ درصد)، بوتانیک اسید (۱۹/۸ درصد) و لینالول (۲۵/۰۳ درصد) در شرایط تنش خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و اوکتان (۱۳/۷۶ درصد)، تریمتیل (۲۲/۵ درصد) و هگزیل ایزووالرات (۲۱/۱۸ درصد) در شرایط تنش خشکی ۷۵ درصد ظرفیت زراعی بود. بنابراین، با توجه به جدید بودن فناوری نانو و روند رو به رشد تحقیقات گسترده در زمینه استفاده از نانومواد برای افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه گیاهان و به طور کلی دستیابی به محصولات کشاورزی با کیفیت، می‌توان به آینده استفاده از این فناوری در کشاورزی و به‌ویژه در زمینه گیاهان دارویی امیدوار بود.

بر علیه رادیکال‌های فعال اکسیژن در سلول تشکیل می‌دهند و احیای رادیکال سوپر اکسید را به پراکسید هیدروژن و اکسیژن مولکولی کاتالیز می‌کنند (Salehi Sardoei, 2019). پراکسید هیدروژن حاصل در مرحله بعدی بوسیله آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز و پراکسیداز پاکسازی می‌شود (Zeid et al., 2006). در این آزمایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در اثر تنش خشکی افزایش پیدا کرد. چنین نتیجه‌ای بوسیله دیگر محققان نیز گزارش شده است (Tan et al., 2006; Zeid et al., 2006).

در تحقیق حاضر در بین ترکیبات تشکیل‌دهنده روغن فرار مریم‌گلی بیشترین مقدار مربوط به ترکیب دکان (۱۹/۵۳ درصد) در شرایط بدون تنش خشکی، ترکیبات اسپاتونول (۳۵/۸۶ درصد)، دودکانه (۱۸/۴ درصد)، بوتانیک اسید (۱۹/۸ درصد) و لینالول (۲۵/۰۳ درصد) در شرایط تنش خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و اوکتان (۱۳/۷۶ درصد)، تریمتیل (۲۲/۵ درصد) و هگزیل ایزووالرات (۲۱/۱۸ درصد) در شرایط تنش خشکی ۷۵ درصد ظرفیت زراعی بود. Gavahi و همکاران (2016) عمده‌ترین ترکیبات شیمیایی اسانس مریم‌گلی در شرایط بدون تنش به ترتیب بوتانیک اسید و لینالول گزارش کردند. Hedayati و همکاران (2006) نیز ذکر کردند لینالول استات و بوتانیک اسید را ترکیبات عمده اسانس اندام‌های هوایی گیاه مریم‌گلی گزارش کردند. همچنین Sajadi و همکاران (2000) نشان دادند بیشترین ترکیب در اسانس مریم‌گلی، اسپاتونول (۷/۷ درصد) بود. همچنین Paryan و همکاران (2020) طی تحقیقی بر گیاه مریم‌گلی نشان دادند، بیشترین مقدار

### References

1. Afshar Mohammadian, M., Qanati, F., Ahmadiani, S., and Sadrzamani, K. 2016. The effect of drought stress on the activity of antioxidant enzymes and

soluble sugars of aromatic mint (*Mentha pulegium* L.). New findings in life sciences. 3(3): 25-34.  
2. Alavi Samani, S., Ghasemi Pirbalouti, A., Malekpoor, F. 2021. Effect of foliar

- application of chitosan on the quantity and quality of *Hyssopus officinalis* L. subsp. *angustifolius* Bieb. essential oil under different irrigation regimes. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants*. 9(3): 69-81.
3. Amini, Z., and Saadati, P. 2014. Comparison of the effect of dehydration stress on changes in proline content and activity of antioxidant enzymes in three olive cultivars (*Olea europaea* L). *Journal of Plant Research*. 27(2): 156-67.
  4. Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant physiology*. 24(1):1.
  5. Bates, L.S., Waldren, R.P., and Teare, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and soil*. 39(1): 205-7.
  6. Bazzazi, N., Khodambashi, M., and Mohammadi, S. 2013. The effect of drought stress on morphological characteristics and yield components of medicinal plant fenugreek. *Journal of Crop production and Processing*. 3(8):11-23.
  7. Beauchamp, C., and Fridovich, I. 1971. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. *Analytical biochemistry*. 44(1): 276-87.
  8. Beers, R.F., and Sizer, I.W. 1952. A spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase. *J. Biol. chem*. 195(1): 133-40.
  9. Böhm, W. 1976. Root parameters and their measurement. *Methods of studying root systems*: Springer. 125-38 p.
  10. Celardo, I., Pedersen, J.Z., Traversa, E., and Ghibelli, L. 2011. Pharmacological potential of cerium oxide nanoparticles. *Nanoscale*. 3(4): 1411-20.
  11. Cham, R., Abtahi, S.A., Jafarinia, M., Yasrebi, J. 2021. Study of biofertilizers effect on some physiological and biochemical traits of *Dracocephalum kotschy* Boiss. under different soil moisture regimes. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants*. 9(2): 106-122.
  12. Fashui, H., Chao, L., Lei, Z., Xuefeng, W., Kang, W., Weiping, S., Shipeng, L., Ye, T., and Guiwen, Z. 2005. Formation of complexes of rubisco-rubisco activase from La<sup>3+</sup>, Ce<sup>3+</sup> treatment spinach. *Science in China Series B: Chemistry*. 48: 67-74.
  13. Fashui, H., Ling, W., Xiangxuan, M., Zheng, W., and Guiwen, Z. 2002. The effect of cerium (III) on the chlorophyll formation in spinach. *Biol. Trace Elem. Res*. 89: 263-76.
  14. Fattahi Siah Kamri, S., Azad Ghojeh Bigloo, H., Salehi Sardoei, A., Fallah Imani, A., and Babaei, K. 2020. Effect of water deficit stress and salicylic acid on some of growth traits, photosynthetic pigments and yield essential oil of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Iranian Journal of Pant & Biotechnology*. 15(2): 39-51.
  15. Fujita, T., Maggio, A., García-Ríos, M., Stauffacher, C., Bressan, R.A., and Csonka, L.N. 2003. Identification of regions of the tomato  $\gamma$ -glutamyl kinase that are involved in allosteric regulation by proline. *Journal of Biological Chemistry*. 278(16): 14203-10.
  16. Gavahi, M., Qalavand A., Najafi, F., and Soroush Zadeh, A., 2016. Effect of vermicompost, biofertilizers and nitrogen fertilizers on quantitative and qualitative yield of *Salvia officinalis* under different moisture conditions. *Journal of Agricultural Ecology*. 9: 445-457.
  17. Ghasemi, E., Sharafzadeh, S., Amiri, B., Alizadeh, A., and Bazrafshan, F. 2020. Variation in essential oil constituents and antimicrobial activity of the flowering aerial parts of *Salvia mirzayanii* Rech. & Esfand. Ecotypes as a Folkloric Herbal Remedy in Southwestern Iran. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*. 23(1):51-64.
  18. Ghorbanali, M., and Niakan, M. 2006. The effect of drought stress on soluble sugar, total protein, proline, phenolic compound, chlorophyll content and rate reductase activity in Soybean (*Glycine max* L.cv.Gorgan3). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*. 18(56): 537-50.

19. Girija, C., Smith, B.N., and Swamy, P.M. 2002. Interactive effects of sodium chloride and calcium chloride on the accumulation of proline and glycinebetaine in peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Environmental and Experimental Botany*. 47(1): 1-10.
20. Gomes, F.P., Oliva, M.A., Mielke, M.S., Almeida, A.A.F., and Aquino, L.A. 2010. Osmotic adjustment, proline accumulation and cell membrane stability in leaves of *Cocos nucifera* submitted to drought stress. *Scientia Horticulturae*. 126(3): 379-84.
21. Gui, X., Zhang, Z., Liu, S., Ma, Y., Zhang, P., and He, X. 2015. Fate and phytotoxicity of CeO<sub>2</sub> nanoparticles on lettuce cultured in the potting soil environment. *PloS one*. 10(8):e0134261.
22. Hedayati, A., Mirjalili, M. A., and Hadian, J., 2016. Investigating the chemical diversity of essences of different organs of *Sardinia marig*. *Plant Research*. 29: 908-918.
23. Hieng, B., Ugrinović, K., Šuštar-Vozlič, J., and Kidrič, M. 2004. Different classes of proteases are involved in the response to drought of *Phaseolus vulgaris* L. cultivars differing in sensitivity. *Journal of Plant Physiology*. 161(5): 519-30.
24. Jiang, B., Duan, D., Gao, L., Zhou, M., Fan, K., and Tang, Y. 2018. Standardized assays for determining the catalytic activity and kinetics of peroxidase-like nanozymes. *Nature protocols*. 13(7): 1506-20.
25. Kamatou, G.P.P., Makunga, N.P., Ramogola, W.P.N., and Viljoen, A.M. 2008. South african *Salvia* species: a review of biological activities and phytochemistry. *Journal of ethnopharmacology*. 119(3): 664-72.
26. Kapoor, R., Giri, B., and Mukerji, K.G. 2004. Improved growth and essential oil yield and quality in *Foeniculum vulgare* Mill. on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer. *Bioresource Technology*. 93(3):307-11.
27. Karakoti, A., Singh, S., Dowding, J.M., Seal, S., and Self, W.T. 2010. Redox-active radical scavenging nanomaterials. *Chemical Society Reviews*. 39(11): 4422-32.
28. Karimi, S., and Zahedi, B., and Mumivand, H. 2020. Evaluation of the effect of drought stress on growth, essential oil and some physiological traits of four Basil (*Ocimum basilicum* L.) cultivars. *Journal of Plant Production Research*. 27(2): 201-13.
29. López-Moreno, M.L., de la Rosa, G., Hernández-Viezcas, J.A., Castillo-Michel, H., Botez, C.E., Peralta-Videa, J.R., and GardeaTorresdey, J.L. 2010a. Evidence of the differential biotransformation and genotoxicity of ZnO and CeO<sub>2</sub> nanoparticles on soybean (*Glycine max*) plants. *Environ. Sci. Technol*. 44: 7315-20.
30. López-Moreno, M.L., de La Rosar, G., Hernández-Viezcas, J.A., Peralta-Videa, J.R., and Gardea-Torresdey, J.L. 2010b. X-ray absorption spectroscopy (XAS) corroboration of the uptake and storage of CeO<sub>2</sub> nanoparticles and assessment of their differential toxicity in four edible plant species. *J. Agric. Food Chem*. 58: 3689-93.
31. Ma, X., Wang, Q., Rossi, L., and Zhang, W. 2015. Cerium oxide nanoparticles and bulk cerium oxide leading to different physiological and biochemical responses in *Brassica rapa*. *Environmental Science and Technol*. 50: 6793-802.
32. Moein, M.R., Moein, S., and Ahmadizadeh, S. 2008. Radical scavenging and reducing power of *Salvia mirzayanii* subfractions. *Molecules*. 13(11): 2804-13.
33. Mohammadi, H., Pourmohammad, P., and Hazrati, S. 2021. Phytochemical and physiological study of *Satureja sahendica* Bornm. essential oil and extract to water-deficit stress. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants*. 9(1): 1-19.
34. Mosavi Sardoo, F., Fallah Imani, A., and Salehi Sardoei, A. 2018. Effect of drought stress and organic fertilizer on branch yield, essential oil level and morphological and physiological traits of *Dracocephalum moldavica*. *Pant and Ecosystem*. 14(54): 41-55.

35. Nowak, M., Kleinwaechter, M., Manderscheid, R., Weigel, H.J., and Selmar, D. 2010. Drought stress increases the accumulation of monoterpenes in sage (*Salvia officinalis*), an effect that is compensated by elevated carbon dioxide concentration. *Journal of Applied Botany and Food Quality*. 83: 133-6.
36. Parvanak, K. 2019. Investigate the effects of drought stress on some physiological parameters, percentage and yield of essential oil of *Salvia sahendica*. *Environmental Stresses in Crop Sciences* 12(4): 1237-1249.
37. Paryan, S., Ghorbanpour, M., and Hadian, J. 2020. Influence of CeO<sub>2</sub>-Nanoparticles on morpho-physiological traits and tanshinone contents of roots in *Salvia miltiorrhiza* Bunge. upon foliar and soil application methods. *Journal of Medicinal Plants*. 19(75): 168-87.
38. Rico, C.M., Hong, J., Morales, M.I., Zhao, L., Barrios, A.C., and Zhang, J.Y. 2013. Effect of cerium oxide nanoparticles on rice: a study involving the antioxidant defense system and in vivo fluorescence imaging. *Environmental science and technology*. 47(11): 5635-42.
39. Rossi, L., Zhang, W., Lombardini, L., and Ma, X. 2016. The impact of cerium oxide nanoparticles on the salt stress responses of *Brassica napus* L. *Environmental Pollution*. 219: 28-36.
40. Safikhani, F., Heidari Sharifabad, H., Siadat S., Sharifi Ashurabadi, A., Seyednejad, S., and Abbaszadeh, B. 2007. The effect of drought stress on the percentage and yield of essential oil and physiological characteristics of *Dracocephalum moldavica* L. *Research on Iranian Medicinal and Aromatic Plants*. 23(1): 86-99.
41. Sajadi, S.A., Emami, S.A., and Nemati, R. 2000. Review of essential oil of the organs of the spleen. *Journal of Pharmaceutical Sciences*. 3: 51-56.
42. Salehi Sardoei, A. 2019. *Advances in cold stress strategies: physiological and molecular*. Noruzi Press. 264 p.
43. Si, S., Li, L., Wang, Z., Wu, Y., Shan, G., and Xu, B. 2019. Cerium oxide nanoparticles reduce X-ray irradiation-induced damage to the immune cells by upregulation of superoxide dismutase and glutathione peroxidase. *Nanoscience and Nanotechnology Letters*. 11(10): 1464-9.
44. Sodaii Zadeh, H., Shamsaie, M., Tajamoliyan, M., Mirmohammadi maibodi, A.M., and Hakim Zadeh, M. 2016. The effects of water stress on some morphological and physiological characteristics of *Satureja hortensis*. *Journal of plant process and function*. 2016;5(15):1-12.
45. Sofo, A., Dichio, B., Xiloyannis, C., and Masia, A. 2004. Lipoxygenase activity and proline accumulation in leaves and roots of olive trees in response to drought stress. *Physiologia plantarum*. 121(1): 58-65.
46. Sreevalli, Y., Baskaran, K., Chandrashekar, R.S., and Kulkarni, R.N. 2000. Preliminary observations on the effect of irrigation frequency and genotypes on yield and alkaloid concentration in periwinkle. Preliminary observations on the effect of irrigation frequency and genotypes on yield and alkaloid concentration in periwinkle. 22(4): 356-8.
47. Szabados, L., and Savourem, A. 2010. Proline: a multifunctional amino acid. *Trends in plant science*. 15(2): 89-97.
48. Tahmasebi, M., Hamidoghli, Y., Rezaei, M.B., and Hosseini, A.R. 2020. Evaluation and comparison of the most important secondary metabolites of methanolic extract of different artichoke (*Cynara scolymus* L.) organs under drought stress and planting density. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants*. 8(3): 66-80.
49. Tan, Y., Liang, Z., Shao, H., and Du, F. 2006. Effect of water deficits on the activity of anti-oxidative enzymes and osmoregulation among three different genotypes of *Radix astragali* at seeding stage. *Colloids and surfaces B: Biointerfaces*. 49(1): 60-5.
50. Valifard, M., Mohsenzadeh, S., Kholdebarin, B., and Rowshan, V. 2014. Effects of salt stress on volatile compounds, total phenolic content and antioxidant activities of *Salvia mirzayanii*. *South African Journal of Botany*. 93: 92-97.

51. Vinothkumar, G., Lalitha, A.I., and Suresh Babu, K. 2018. Cerium phosphate–cerium oxide heterogeneous composite nanozymes with enhanced peroxidase-like biomimetic activity for glucose and hydrogen peroxide sensing. *Inorganic chemistry*. 58(1): 349-58.
52. Xiaoqing, L., Mingyu, S., Chao, L., Lu, Z., Wenhui, S., and Fashui, H. 2007. Effects of CeCl<sub>3</sub> on energy transfer and oxygen evolution in spinach photosystem II. *J. Rare Earths*. 25: 624-30.
53. Yavari, A., and Shokrpour, M. 2020. A study on the quality and quantity of essential oil from different plant organs of *Salvia mirzayanii* Rech. F. & Esfand. *Iranian Journal of Medical and Aromatic Plants*. 2020;35(6):13.
54. Zeid, I.M., and Shedeed, Z.A. 2006. Response of Alfalfa to putrescine treatment under drought stress. *Biologia Plantarum*. 50(4): 635.
55. Zhang, B, Huyan, Y., Wang, J., Wang, W., Zhang, Q., and Zhang, H. 2019. Synthesis of CeO<sub>2</sub> nanoparticles with different morphologies and their properties as peroxidase mimic. *Journal of the American Ceramic Society*. 102(4): 2218-27.

## Study of morphological and physiological changes of *Salvia mirzayanii* under drought and nano-cerium oxide conditions

Fallah Imani, A.<sup>1</sup>, Gamarian, M.<sup>2\*</sup>, Gurbanpour, M.<sup>3</sup>, Ramek, P.<sup>4</sup>, Chavoshi, S.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PhD student, Department of Horticulture Science, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran

<sup>2</sup>Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran

<sup>3</sup>Associate Professor, Department of Medicinal Plants, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Arak University, Arak, Iran

<sup>4</sup>Assistant Professor, Research Division of Natural Resources, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Centre, AREEO, Khorramabad, Iran

Received: 20-1-2022; Accepted: 17-4-2022

### Abstract

In this split plot study, the morphological and phytochemical changes of Iranian *Salvia* (*Salvia mirzayanii* L.) under drought stress and cerium oxide nanoparticle treatment in a randomized complete block design with three replications were investigated. The main plot included drought stress at 4 levels of 25, 50, 75 and 100 (control) percentage of the field capacity (FC). The sub-plot was foliar spray of Cerium oxide nanoparticle at five levels of non-consumption (control), 125, 250, 500 and 1000 ml/l. Essential oils were extracted from the organs using water distillation method and the compounds were separated and identified using GC/MS. The results showed that the interaction effect of conditions without drought stress × 1000 ml of nanocerium oxide compared to the control treatment had the greatest effect on increasing plant height (35%), root length (22%), root dry weight (14.9%), essential oil (19%), chlorophyll a (32%), chlorophyll b (31%) and catalase (16%). In addition, drought stress at the level of 25% in 125 ml nano cerium oxide decreased plant dry weight (12%), root length (13%), root dry weight (19%), essential oil percentage (10%), and chlorophyll a (14%). Based on the GS/MS results, decane compound (19.53%) in the condition without drought stress, the compounds of spatholeol (35.86%), docane (18.4%), butanic acid (19.8%) and linalool (25.03%) under condition of stress dryness of 50% field capacity and octane (13.76%) were included. Therefore, the concentration of 1000 mg/liter of cerium nanooxide had the greatest effect on improving the morphophysiological characteristics of *Salvia*. However, in the condition of 50% field capacity, the secondary compounds of spatholeol, dodecane, butanic acid and linalool were the highest, but in the condition of 75% of the field capacity, the highest amount belonged to the secondary compounds of octane, trimethyl and hexylisovalerate.

**Keywords:** Drought stress, Essential oil percentage, Nano cerium oxide, Iranian *Salvia*.

---

\*Corresponding author; m-gomarian@iau-arak.ac.ir