بررسی تغییرات صفات فیزیولوژیک و عملکرد دانه گیاه کاملینا (*Camelina sativa* L.) تحت تأثیر محلول‌پاشی محرک‌های مختلف رشدی

وحید نیک اندیش[۱]، حمیدرضا قربانی[۲*]، پرستو مجیدیان[۳] و مهیار گرامی[۴]

۱) گروه باغبانی (گیاهان دارویی)، موسسه آموزش عالی سنا ساری، ایران.
۲ و ۳) بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران.
۴) بخش زیست‌شناسی، موسسه آموزش عالی سنا ساری، ایران.

نویسنده مسئول[*]: h.ghorbani@areeo.ac.ir

تاریخ دریافت:۱۴۰۲/۰۲/۰۹ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۲۵**

چکیده

این آزمایش با هدف بررسی اثر محلول‌پاشی نانو اکسید تیتانیوم و اسید سالیسیلیک بر بهبود عملکرد گیاه کاملینا در مزارع تحقیقاتی ایستگاه تحقیقات کشاورزی بایع‌کلا واقع در شهرستان نکا در سال زراعی ۰۱-۱۴۰۰ به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. اعمال تیمارهای آزمایشی شامل چهار سطح اسید سالیسیلیک (غلظت‌های صفر، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار) و چهار سطح نانواکسید تیتانیوم (غلظت‌های صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ ppm) به صورت محلول‌پاشی در مرحله رویشی گیاه بود. مقایسه میانگین اثر ساده تیمارها نشان داد با افزایش سطوح نانوذره اکسید تیتانیوم و اسید سالیسیلیک، مقادیر عملکرد دانه و وزن خشک بوته افزایش یافته و در غلظت ۳۰۰ پی‌پی‌ام نانو اکسید تیتانیوم و ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک، بیشترین مقدار عملکرد به ترتیب ۰/۲۴کیلوگرم در هکتار و ۰/۲۶ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. عملکرد و وزن خشک گیاه به ترتیب به میزان ۴۶ درصد و ۳۷ درصد افزایش را در سطح ۳۰۰ پی پی ام نانو اکسید تیتانیوم نشان داد. به علاوه، غلظت ۱/۵ میلی مولار اسید سالیسیلیک به ترتیب منجر به افزایش ۶۶ درصد و ۷۲ درصد در عملکرد و وزن خشک بوته شد. بیش‌ترین میزان کلروفیل a، b و کل (۰/۴۴۷، ۲/۱۷۳، ۲/۶۲۰ میلی‌گرم بر گرم بافت تر)، بیش‌ترین مقدار فلاونوئید (۲۲/۲۲ میلی‌گرم بر گرم بافت تر)، بیش‌ترین میزان آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز (۲/۳۳ و ۴/۱۲ واحد جذب در میکروگرم پروتئین در دقیقه) و قند محلول (۱۶۲/۰۴ میلی‌گرم بر گرم بافت تر) مربوط به ترکیب تیماری ۳۰۰ پی‌پی‌ام نانوذره اکسید تیتانیوم و ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بود. بر اساس نتایج به‌دست آمده اثر دو محرک مورد مطالعه سبب افزایش محتوای صفات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه گیاه کاملینا گردید.

واژه‌های کلیدی: اسیدسالیسیلیک، کاملینا و نانوذرات.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]

مقدمه

کاملینا با نام علمی (*Camelina stiva Crantz* L.) از خانواده براسیکاسه بوده و منبع غنی از روغن (۲۸ تا ۴۰ درصد) به ویژه اسیدهای چرب امگا می باشد. گیاه کاملینا به دلیل دارا بودن ترکیب آلفا توکوفرول و ویتامین E بالا، ماندگاری روغن بالایی داشته و به دلیل پایین بودن اسیدهای چرب اشباع می‌تواند بعنوان روغن خوراکی با کیفیت بالا مصرف شود (Ghamkhar *et al*., 2019). اخیرا، در برخی از مناطق استان مازندران کشت کاملینا توسعه یافته است، از آنجاییکه گیاهی کم توقع از نظر استفاده از نهاده های شیمیایی (تغذیه و سموم دفع آفات) می‌باشد و در رقابت با گیاه کلزا در مناطقی که حاصلخیزی خاک کمتری داشته و سرمای زمستانه بیشتری را سپری می‌کنند، پیشنهاد می‌گردد (مطیعی، ۱۴۰۲). محرک‌ها، ترکیبات فیزیکی یا شیمیایی با منشا زیستی و غیرزیستی هستند که با القای پاسخ‌هایی در گیاه، سبب سنتز و تجمع متابولیت‌های ثانویه مشابه و جدید در سلول‌ها می‌شوند. محرک‌ها سبب ارسال مجموعه‌ای از پیام‌های شیمیایی به گیاه شده و گیاه در پاسخ به پیام‌های محرک، سیستم دفاعی را فعال و در نتیجه بیان ژن‌های دفاعی، متابولیت‌های ثانویه تجمع می‌یابند. استفاده از محرک‌ها یکی از مهمترین روش‌ها برای افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه است (بصیری‌راد و همکاران، ۱۴۰۳). اسید سالیسیلیک از ترکیبات فنولی و یکی از هورمون‌های گیاهی است که در همه اندام‌های گیاهی وجود دارد و هنگامی که سلول، اندام‌ها یا کل گیاه با تنش‌های زیستی و غیرزیستی مواجه می‌شوند، غلظت این هورمون افزایش می‌یابد (Kawano and Bouteau, 2013). بنابراین می‌توان اسیدسالیسیلیک را به عنوان مولکول پیام رسان داخلی در نظر گرفت که در پاسخ‌های اختصاصی به تنش‌های زیستی و غیرزیستی نقش دارد (Khan *et al*., 2014). اسیدسالیسیلیک بر فتوسنتز و رشد گیاه تحت شرایط تنش، اثر مثبت دارد. یکی از مشتقات اسید سالیسیلیک، استیل اسید سالیسیلیک می‌باشد که پس از جذب سریعاً به اسید سالیسیلیک تبدیل می‌شود و نقش کلیدی در خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد، تنظیم رشد گیاهان، نمو و برهمکنش با دیگر ارگانیسم‌ها و در پاسخ به تنش‌های محیطی را ایفا می‌کند.

علاوه بر این نقش آن در جوانه‌زنی بذر، عملکرد میوه، گلیکولیز، گلدهی، جذب یون و انتقال آن، هدایت روزنه‌ای و تعرق آشکار است. همچنین با عمل کلات کردن فلزات مقدار مالون‌دی‌آلدئید را در گیاهان تحت تنش کاهش می‌دهد و باعث بالا رفتن توان سیستم آنتی‌اکسیدانی بافت گیاهی از طریق فعال کردن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز می‌شود و در نهایت میزان مالون‌دی‌آلدهید را در گیاهان تحت تنش کاهش می‌دهد. اسید سالیسیلیک در گیاهانی که تحت تنش‌های محیطی قرار دارند نقش حفاظتی دارد و در بسیاری از گزارشات به نقش اسید سالیسیلیک در تعدادی از پاسخ‌های دفاعی به تنش‌های محیطی مانند دماهای پایین، گرما، شوری، فلزات سنگین و بیماری‌های گیاهی

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]

اشاره شده است (Urban *et al*., 2022; Song *et al*., 2023; Wu *et al*., 2023; Hassan *et al*., 2022; Tasgin *et al*., 2003). نانوتکنولوژی، فناوری دستکاری دقیق و کنترل شده ساختار اتمی یا مولکولی مواد، در مقیاس نانو به منظور تهیه ریزذراتی با خصوصیات نوظهور و کاربردهای خاص می‌باشد (Khan *et al*., 2022). نانوذرات، ذراتی هستند که حداقل یک بعد از آن‌ها کمتر از ۱۰۰ نانومتر باشد. فناوری نانو با کمک ابزارهای جدید، توانایی دگرگون سازی صنایع غذایی و کشاورزی را دارد و می‌تواند از این ابزارها برای تشخیص رفتارهای مولکولی بیماری‌ها، کشف سریع بیماری و افزایش توانایی گیاهان برای جذب مواد غذایی استفاده کند. در بین نانوذرات، نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم کاربرد بیشتری در صنعت دارد. برخی از ویژگی‌های این ماده که موجب برتری آن نسبت به سایر ذرات شده است، شامل مقاومت شیمیایی بالا، غیرسمی بودن آن، طول عمر بالای این ماده، در دسترس بودن و هزینه کم آن است (Sungkaworn *et al*., 2007). استفاده از نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم می‌تواند باعث تحریک تقسیم سلولی، افزایش اندازه سلول و همچنین تحریک کالوس زایی در شرایط تاریکی شده و ممکن است اثرات مشابهی با هورمون‌های گیاهی (سایتوکینین و جیبرلین) داشته باشند و همچنین جذب نور را افزایش، انتقال و تبدیل انرژی نورانی را تسریع، از زوال کلروپلاست‌ها ممانعت و طول دوره فتوسنتزی کلروپلاست‌ها را افزایش دهد (Hong *et al*., 2005). تیتانیوم به عنوان یک محرک منجر به افزایش رشد در گیاهان می‌گردد ولی مقدار جذب آن در گیاهان مختلف متفاوت است. این امر می‌تواند منجر به افزایش مقدار کلروفیل و فتوسنتز در گیاهان گردد. این عنصر با جذب بیشتر نور و افزایش فعالیت آنزیم رابیسکو سبب افزایش تبدیل مواد غیرآلی به مواد آلی و همچنین افزایش وزن تر و خشک گیاه می‌شود (Nair *et al*., 2010). مطالعات نشان داد که کاربرد تیتانیوم در محلول غذایی جهت تغذیه گیاهان، از طریق کاهش اثرات سمی عناصر دیگر باعث افزایش رشد می‌شود. نتایج تحقیق قبلی نشان داد که SiO_2 و TiO_2 فعالیت آنزیم نیترات رداکتاز را در سویا و محلول‌پاشی TiO_2 عملکرد دانه سویا را افزایش داد. در بررسی دیگر، محققین اثرات نانو اکسید تیتانیوم در غلظت‌های ۰/۲۵ درصد تا چهار درصد را بر جوانه‌زنی و رشد بذور اسفناج مشاهده کردند، بدین صورت که در غلظت ۰/۲۵ درصد نانو اکسید تیتانیوم در طی مراحل مختلف رشد، وزن خشک گیاه، سنتز کلروفیل، فعالیت روبیسکو، نرخ فتوسنتزی و متابولیسم نیتروژن افزایش می‌یابد (Zheng *et al*., 2005). نانوذرات در تحریک رشد رویشی و تسهیل در جذب عناصر میکرو به ریشه گیاهان نقش دارند، بدین ترتیب منجر به افزایش رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌شوند. بیان شده است که تیتانیوم می‌تواند جذب برخی عناصر نظیر نیتروژن، فسفر، کلسیم، منیزیم، آهن، منگنز و روی را تحریک نماید. با توجه به اهمیت محرک‌ها و نقش آنها در بهره‌وری گیاهان، این پژوهش به بررسی اثرات محلول‌پاشی نانو اکسید تیتانیوم و اسید سالیسیلیک در مرحله رویشی بر برخی صفات فیزیولوژیکی و عملکردی گیاه کاملینا پرداخت.

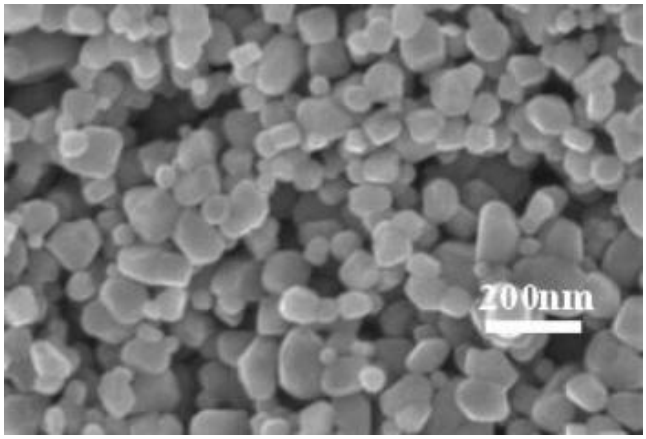
[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]

مواد وروش ها

این تحقیق در فصل زراعی سال ۰۱-۱۴۰۰ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی بابع کلا (مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران) واقع در شهرستان نکا به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل سطوح مختلف اسید سالیسیلیک (صفر، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار) از شرکت سیگما آلدریچ و سطوح مختلف نانوذره اکسید تیتانیوم (صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ پی پی ام) بود. تیمار نانو اکسید تیتانیوم یکبار قبل از گلدهی به‌صورت محلول‌پاشی در غلظت‌های مورد نظر اعمال شد. نانو ذرات اکسید تیتانیوم فاز آناتاز به صورت سوسپانسیون و با ذراتی با ۹۹ درصد خلوص از شرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان تهیه و جهت محلول‌پاشی آن از آب مقطر استفاده شد. آماده سازی زمین و عملیات کاشت طبق معمول منطقه اعم از شخم، دیسک زدن، کوددهی و .. انجام گردید. قبل از اجرای طرح، طبق توصیه بخش تحقیقات آب و خاک مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، کود شیمیایی نیتروژن به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبـع اوره، کود فسفره P_2O_5 به مقدار ۷۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپرفسفات‌تریپل و کود پتاس به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سولفات پتاسیم به عنوان کود پایه، به‌صورت یکسان در مزرعه تحقیقاتی ایستگاه توزیع شد. زمین به روش جوی و پشته آماده گردید و کاشت بر روی پشته با فاصله ۳۰-۲۵ سانتی‌متر انجام شد. بذر رقم سهیل کاملینا از بانک بذر مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران تهیه شد و در کرت های آزمایشی به مساحت ۶ متر مربع به صورت دستی و با تراکم چهار کیلوگرم در هکتار کاشته شد. اعمال تیمارهای مورد مطالعه در مرحله رویشی (قبل از فاز گلدهی گیاه) به‌صورت محلول پاشی صورت پذیرفت. نمونه‌ها دو هفته پس از اعمال تیمار، برداشت و سپس جهت انجام سنجش‌های فیزیولوژیکی شامل محتوای کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کارتنوئید، محتوای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز، پراکسیداز، قند محلول، سنجش فلاونوئید به آزمایشگاه منتقل گردید. اندازه‌گیری میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی در برگ تازه گیاه کاملینا از طریق روش Arnon (۱۹۴۹) انجام شد. پس از تهیه نمونه‌ها، جذب محلول با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Uv/Vis S-2150 شرکت UNICO) در طول موج‌های ۶۴۵، ۶۶۳ و ۴۸۰ نانومتر اندازه‌گیری و برای شاهد نیز از استون ۸۰ درصد استفاده گردید. مقدار کلروفیل‌ها و کاروتنوئید بر حسب میلی‌گرم بر گرم محاسبه و اندازه‌گیری شد (Lichtenthaler, 1987). برای سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز از روش (Luck, 1974) و سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز از روشTang و Newton (۲۰۰۵) استفاده شد. اندازه‌گیری قند محلول به وسیله آنترون بر طبق روش McCready و همکاران (۱۹۵۰) انجام پذیرفت. مقدار فلاونوئید کل با روش کالری‌متری آلومینیوم کلراید اندازه‌گیری شد (Du *et al*., 2009). در زمان رسیدگی

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]

به منظور محاسبه عملکرد دانه و زیست توده، بعد از حذف اثر حاشیه‌ای، برداشت در سطح یک متر مربع صورت گرفت و عملکرد نهایی دانه و زیست توده محاسبه گردید.



شکل ۱: تصویر و اندازه نانو ذرات به روش SEM. خلوص نانو اکسید تیتانیوم: ۹۸ درصد

پس از بررسی و اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، تجزیه واریانس داده‌های حاصل با استفاده از نرم افزار SAS (نسخه ۹/۱) و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده نانو ذره اکسید تیتانیوم و اثر ساده اسید سالیسیلیک بر تمامی صفات مورد مطالعه در گیاه کاملینا در مرحله رویشی در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). همچنین بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر متقابل اسید سالیسیلیک و نانو ذره اکسید تیتانیوم بر مقادیر رنگریزه‌های کلروفیلی گیاه کاملینا و نیز صفات میزان فلاونوئید، قند محلول، کاتالاز و پراکسیداز در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). عنصر تیتانیوم یکی از عناصر مفید برای گیاهان است و می‌تواند جذب برخی از عناصر نظیر نیتروژن، فسفر، کلسیم، منیزیم، آهن، منگنز و روی را منجر گردد (Laware and Raskar, 2014). استفاده از نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم به دلیل ویژگی‌های خاص بیولوژیک مورد توجه متخصصان فیزیولوژی گیاهی قرار گرفته است (Tumburu *et al*., 2015). محققین بسیاری تاثیر این نانوذره را بر رشد و توسعه گیاهان مورد بررسی قرار داده اند. برخی از آنها این نانوذره را به عنوان یک عنصر مفید و سودمند در افزایش و تحریک رشد و افزایش محصول‌دهی در گیاهان معرفی نموده اند (Gastiglione *et al*., 2012).

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]

جدول ۱: تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی نانواکسید تیتانیوم و اسید سالیسیلیک در مرحله رویشی بر صفات گیاه کاملینا

منبع	درجه آزادی	میانگین مربعات									
		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید	فلاونوئید	قند محلول	کاتالاز	پراکسیداز	عملکرد	وزن خشک بوته
تکرار	۲	۰/۰۰۰۳^{ns}	۰/۰۰۹^{ns}	۰/۰۱۳^{ns}	۰/۰۰۰۰۵^{ns}	۱/۱۴۱^{ns}	۱۲۰/۷۶*	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۱۹^{ns}	۱۳۸۱/۷۷۲^{ns}	۵۱۸۲/۸۴^{ns}
نانواکسید تیتانیوم	۳	۰/۰۳۴*	۴/۰۱*	۴/۷۶*	۰/۰۰۳*	۱۰/۹۳*	۲۹۰/۸۲*	۱/۷۳*	۳/۰۰*	۱۴۲۸/۴۶*	۱۳۷۸/۹۸*
اسید سالیسیلیک	۳	۰/۰۱۴*	۰/۴۱*	۰/۵۶*	۰/۰۰۱*	۳/۳۸*	۱/۰۵۳*	۰/۵۷*	۱/۵۲*	۲۴۹۸/۹۳*	۳۷۰۲۷۰/۶۸*
اسید سالیسیلیک * نانو اکسید تیتانیوم	۹	۰/۰۰۱۶*	۰/۰۲۷*	۰/۰۴۰*	۰/۰۰۰۲^{ns}	۳/۴۱۹*	۵۹/۲۹*	۰/۰۴۱*	۰/۰۷۴۳*	۶۲۲/۲۲۱^{ns}	۲۳۷۳۹/۱۴^{ns}
خطا	۳۰	۰/۰۰۰۴	/۰۱۰۴	۰/۰۱۱	۰/۰۰۰۱	۱/۴۲	۲۱/۶۳	/۰۱۴	۰/۰۲۶	۷۶۶/۱۲	۱۳۶۶۶/۹۰
ضریب تغییرات	-	۱۶/۷۴	۱/۰۹	۱/۴۶	۱۵/۱۶	۱۷/۵۰	۱۳/۵۱	۱/۹۳	۱/۱۴	۱۴/۰۲	۱۵/۹۸

* و ** به ترتیب نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد و ns نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار است.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]

رنگریزه‌های فتوسنتزی

مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای نانو اکسید تیتانیوم و اسید سالیسیلیک بر رنگریزه‌های فتوسنتزی گیاه کاملینا در مرحله رویشی نشان داد که با افزایش سطوح تیمار اسید سالیسیلیک در سطوح نانو اکسید تیتانیوم و نیز با افزایش مقادیر هر دو تیمار مورد استفاده در این پژوهش، میزان رنگریزه‌های کاملینا افزایش یافت (جدول ۲). در سطوح ۲۰۰ و ۳۰۰ پی پی ام نانو ذره اکسید تیتانیوم، بیشترین مقادیر رنگریزه‌ها مشاهده شد که به طور کلی اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشته و با افزایش سطوح اسید سالیسیلیک مقادیر کلروفیل a، b و کلروفیل کل نسبت به نمونه شاهد روند افزایشی داشت. ترکیب تیماری غلظت ۳۰۰ پی پی ام نانوذره تیتانیوم و ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بیشترین مقدار کلروفیل را به خود اختصاص داد که اختلاف معنی‌داری با ترکیب تیماری ۳۰۰ پی‌پی‌ام نانوذره تیتانیوم و ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک (۰/۳۹۰) و ۲۰۰ نانوذره اکسید تیتانیوم و ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک (۰/۳۵۰) داشت (جدول ۲). در پژوهشی مشابه نانوذرات دی اکسید تیتانیوم جذب موادی مانند نیتروژن و منیزیم را که از اجزاء اصلی ملکول کلروفیل می‌باشد در گیاه اسفناج افزایش داده و میزان تولید کلروفیل را بالا می‌برد. با افزایش میزان کلروفیل، میزان فتوسنتز افزایش یافته و در نهایت منجر به افزایش رشد ریشه و جذب بیشتر عناصر معدنی می‌گردد که به موجب آن وزن تر و خشک گیاه نیز افزایش داد که این تحقیقات با یافته‌های پژوهش حاضر مطابقت دارد (Zheng *et al*., 2007). محققین دریافتند که میزان کلروفیل، فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز و میزان فتوسنتز در شرایط استفاده از اسید سالیسیلیک افزایش می یابد (Canakci and Dursun, 2012). نتایج تحقیقی مشابه نشان داد که استفاده از اسید سالیسیلیک منجر به افزایش تثبیت CO_2 می‌شود که احتمالاً به علت تاثیر اسید سالیسیلیک در فرایندهای مختلف فتوسنتزی شامل افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی و کاروتنوئیدها، افزایش کارآیی فتوسیستم‌ها و فعالیت بیشتر آنزیم رابیسکو و در نهایت افزایش تولید ATP و NADPH برای تثبیت کربن و تولید بیشتر آسیمیلات باشد. در پژوهشی دیگر، با بررسی غلظت‌های مختلف نانو اکسید تیتانیوم بر گیاه اسفناج مشاهده گردید که در غلظت ۰/۲۵ درصد نانو اکسید تیتانیوم وزن خشک گیاه، سنتز کلروفیل، فعالیت آنزیم روبیسکو، نرخ فتوسنتزی و متابولیسم نیتروژن افزایش می‌یابد (Zheng *et al*., 2005). نانو دی اکسید تیتانیوم باعث بهبود جذب نور و فعالیت آنزیم روبیسکو، بهبود جذب نیترات و تسریع فرایند تبدیل مواد غیر آلی به مواد آلی می‌گردد (Mingyu *et al*., 2007; Yang *et al*., 2009; Nair *et al*., 2010). تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که استفاده از اسید سالیسیلیک منجر به افزیش تثبیت CO_2 می‌شود که احتمالاً به علت تأثیر اسید سالیسیلیک در فرآیندهای مختلف فتوسنتز شامل افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی و کاروتنوئیدها، افزایش کارایی PS II، غلظت و فعالیت بیشتر آنزیم روبیسکو و در نهایت تأمین بیشتر ATP و NADPH برای تثبیت کربن و تولید بیشتر آسیمیلات

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]

باشد. نتایج این آزمایش با گزارشات قبلی مبنی بر محلول‌پاشی گیاه کلزا با ۱۰ میکرومول اسید سالیسیلیک که موجب افزایش عملکرد شد، همخوانی داشت (Fariduddin *et al*., 2003). به گزارش این محققان بیشتر بودن فعالیت کربنیک آنهیدراز (CA) و به طبع آن فتوسنتز خالص برگ منجر به افزایش وزن خشک گیاه شد. CA آنزیمی است که تبدیل CO_2 به HCO_3 و بالعکس را کاتالیز می‌کند، یعنی این آنزیم در دیواره سلولی باعث ترکیب CO_2 با آب و تشکیل اسید کربنیک می‌شود و در محل کربوکسیلاسیون باعث تجزیه اسید کربونیک و آزاد شدن CO_2 می‌شود.

فلاونوئید

مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای نانو ذره اکسید تیتانیوم و اسید سالیسیلیک بر مقدار فلاونوئید گیاه کاملینا حاکی از آن بود که در سطوح ۱۰۰ و ۲۰۰ و ۳۰۰ پی‌پی‌ام نانو ذره تیتانیوم، با افزایش غلظت‌های اسید سالیسیلیک، روند افزایشی در مقدار فلاونوئید مشاهده شد. ترکیب تیماری غلظت ۳۰۰ پی‌پی‌ام نانو ذره تیتانیوم و ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک، غلظت ۲۰۰ پی پی ام نانو ذره تیتانیوم و ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و غلظت ۳۰۰ پی پی ام نانوذره تیتانیوم و ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک به ترتیب ۸۸ درصد، ۶۶ درصد و ۶۳ درصد افزایش مقدار فلاونوئید را نشان داد (جدول ۲). بسیاری از مطالعات نشان می‌دهند که افزودن اسید سالیسیلیک و متیل جاسمونات خارجی با اتصال به گیرنده‌های غشا سبب تولید اکسیژن‌های فعال، پروتئین کینازها، اسید سالیسلیک و متیل جاسمونات می‌شود (Raman and Ravi, 2011). با تأثیر مستقیم این تغییرات بر رونویسی ژن‌ها و آنزیم‌های دخیل در ساخت متابولیت‌های ثانویه سبب افزایش تولید این ترکیبات می‌شوند. در واقع متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک با تأثیر بر آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز سبب فعال‌سازی مسیر فنیل پروپانوئیدی و افزایش تولید ترکیبات فنلی می‌شوند (Wang *et al*., 2009). ترکیبات فنولی مانند اسید سالیسیلیک به علت ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی قوی، رادیکال‌های آزاد را به دام می‌اندازد و گیاهان این ترکیبات را در پاسخ به برخی ترکیبات پیام‌رسان دارای نقش دفاعی مهم آزاد می‌کنند. به‌نظر می‌رسد اسید سالیسیلیک از طریق افزایش محتوای فلاونوئید باعث پاک‌سازی گونه‌های فعال اکسیژن شده و از تنش‌های اکسیداتیو جلوگیری می‌کند که در نهایت افزایش مقاومت در گیاه را به دنبال دارد. این افزایش می‌تواند به‌دلیل تولید ROS توسط سالیسیلیک اسید با توجه به نقش آن در پیام‌رسانی در گیاه باشد. در تحقیقی، گزارش کردند که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک باعث افزایش میزان فلانوئیدهای کل در بابونه آلمانی شده است. در گیاه همیشه‌بهار کاربرد غلظت‌های ۰/۲۵، ۰/۵ و یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید موجب افزایش فلاونوئیدهای کل شد (Pacheco *et al*., 2013).

قند محلول

مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای نانو ذره اکسید تیتانیوم و اسید سالیسیلیک بر مقدار قند محلول گیاه کاملینا

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]

نشان داد که در سطوح بالای غلظت نانوذره و اسید سالیسیلیک مقدار این صفت نسبت به سایر تیمارها بیشترین مقدار را نشان داد (جدول ۲). ترکیب تیماری غلظت ۳۰۰ پی‌پی‌ام نانوذره تیتانیوم و ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک (۵۹ درصد)، ترکیبات تیماری غلظت ۲۰۰ پی پی ام نانوذره تیتانیوم و ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و غلظت ۲۰۰ پی پی ام نانوذره تیتانیوم و ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک (۵۱ درصد) افزایش نسبت به نمونه شاهد را نشان دادند (جدول ۲). کاربرد محرک‌ها به میزان محدود و در غلظت‌های پایین، بیوسنتز ترکیبات خاصی در سیستم سلولی زنده را تحریک یا بهبود داده و ممکن است ژن جدید را فعال کنند که می‌تواند آنزیم‌ها و در نهایت مسیرهای بیوسنتزی مختلفی را راه‌اندازی نموده و باعث تشکیل متابولیت‌های ثانویه شود (Zhang *et al*., 2004). اسید سالیسیلیک تقریباً بر اکثر واکنش‌های متابولیسمی گیاه تأثیر می‌گذارد و موجب تغییراتی در آنها می‌شود. به طوری که، میزان تحمل و سازگاری گیاهان را در مقابل عوامل محیطی افزایش می‌دهد (Metwally *et al*., 2003). اسید سالیسیلیک باعث تأخیر در کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی می گردد، بنابراین به علت تعدیل در کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی و احتمالاً با حفظ ساختار و فعالیت روبیسکو باعث افزایش مقدار قندها می‌شود. همچنین به نظر می‌رسد که تیمار اسید سالیسیلیک، سیستم آنزیمی هیدرولیز کننده پلی‌ساکاریدها را مهار کرده یا به عبارت دیگر، سرعت تبدیل قندهای نامحلول به قندهای محلول را کاهش می‌دهد. رنجبر و همکاران (۱۳۹۰) گزارش نمودند که با وجود سرب در محیط رشد گیاه کلزا، کاربرد اسید سالیسیلیک سبب افزایش قندهای محلول و نامحلول شده که نشان‌دهنده نقش این ترکیب در افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش است.

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (کاتالاز و پراکسیداز)

مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای نانو ذره اکسید تیتانیوم و اسید سالیسیلیک بر مقادیر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (کاتالاز و پراکسیداز) گیاه کاملینا نشان داد که در سطوح بالای نانو ذره اکسید تیتانیوم (سطح ۲۰۰ و ۳۰۰ پی پی ام نانوذره) با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک مقادیر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی روند افزایشی داشت به گونه‌ای که در ترکیب تیماری غلظت ۳۰۰ پی پی ام نانوذره اکسید تیتانیوم و ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک مقدار آنزیم کاتالاز ۲/۳۳ واحد جذب در میکروگرم پروتئین در دقیقه و آنزیم پراکسیداز با ۴/۱۲ واحد آنزیمی بر میکروگرم پروتئین در دقیقه نسبت به نمونه شاهد، ۱۷۵/۴ و ۱۲۳/۹ درصد، بیشترین روند افزایشی را نشان داده و اختلاف معنی‌داری با دیگر ترکیبات تیماری داشتند (جدول ۲). در آزمایشی مشابه کاربرد استفاده از اسید سالیسیلیک سبب افزایش مقدار آنزیم کاتالاز در گیاه جو می‌شود (Habibi, 2012). در پژوهشی دیگر مشخص گردید که فعالیت آنزیم کاتالاز تحت تاثیر کاربرد اسید سالیسیلیک در مرحله جوانه‌زنی و گیاهچه‌ای گونه‌های اسپرس افزایش نشان یافت (Dallali *et al*., 2012). محققین بیان داشتند که

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]

محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک از طریق افزایش میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز و کاهش نشت یونی و مقدار مالون دی آلدهید باعث افزایش مقاومت گیاه گل سازویی (*Scrophularia striata*) در برابر تنش خشکی شد (بازی‌ذلان و همکاران، ۱۴۰۰). تیمار محلول پاشی اسید سالیسیلیک سبب افزایش ۷/۴۶ درصد پراکسیداز نسبت به شرایط عدم محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در گندم شد (چهار لنگ بدیل و همکاران، ۱۴۰۲). اسید سالیسیلیک با بهبود فعالیت‌های سیستم آنتی-اکسیدانی گیاهان و سنتز پروتئین‌های جدید سبب بهبود فتوسنتز می‌شود (Avancini *et al*., 2003). در مطالعه ای مشاهده گردید که نانو اکسید تیتانیوم فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نظیر سوپر اکسید دیسموتاز و کاتالاز را بهبود می بخشد و از این طریق سبب کاهش تجمع گونه‌های فعال اکسیژنی و مالون‌دی‌آلدئید می‌شود. عنوان شده است که فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز و عملکرد گیاه سویا با محلول‌پاشی دی اکسید تیتانیوم و دی اکسید سیلیس افزایش یافت (Liu *et al*., 2020).

جدول ۲: مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای نانو اکسید تیتانیوم و اسید سالیسیلیک در مرحله رویشی گیاه کاملینا

نانواکسیدتیتانیوم (پی پی ام)	اسید سالیسیلیک (میلی‌مولار)	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	کلروفیل کل(میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	فلاونوئید (میلی-گرم بر گرم وزن تر)	قند محلول (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	کاتالاز (جذب در میکروگرم پروتئین در دقیقه)	پراکسیداز (جذب در میکروگرم پروتئین در دقیقه)
صفر	۰	۰/۲۲۱^{j}	۰/۳۴۵^{i}	۰/۵۶۶^{j}	۱۱/۷۹۱^{i}	۱۰۱/۳۰۹^{h}	۰/۸۴۶^{hi}	۱/۸۴۸^{g}
	۰/۵	۰/۲۲۸^{ij}	۰/۴۷۱^{hi}	۰/۶۹۹^{ij}	۱۲/۰۰۹^{hi}	۱۱۳/۷۹۶^{g}	۰/۷۸۷^{i}	۲/۰۳۴^{fg}
	۱	۰/۳۰۳^{de}	۰/۵۴۸^{h}	۰/۸۵۱^{h}	۱۳/۹۳۸^{fgh}	۱۱۴/۷۱۲^{g}	۰/۹۷۲^{ghi}	۲/۲۰۲^{f}
	۱/۵	۰/۲۸۸^{efg}	۰/۷۴۸^{g}	۱/۰۳۶^{g}	۱۵/۸۱۳^{def}	۱۳۱/۹۹۲^{ef}	۰/۴۰۴^{cde}	۲/۵۶۳^{e}
۱۰۰	۰	۰/۲۳۰^{hij}	۰/۵۵۵^{h}	۰/۷۸۵^{i}	۱۲/۵۵۲^{ghi}	۱۱۱/۱۷۳^{g}	۱/۰۵۶^{fg}	۲/۰۸۵^{fg}
	۰/۵	۰/۲۵۷^{ghi}	۰/۷۶۴^{g}	۱/۰۲۲^{gh}	۱۲/۱۷۲^{ghi}	۱۱۸/۷۷۲^{g}	۰/۹۹۷^{gh}	۲/۱۰۱^{fg}
	۱	۰/۲۹۱^{ef}	۰/۸۵۵^{g}	۱/۱۴۶^{g}	۱۵/۰۵۱^{ef}	۱۲۷/۸۰۹^{f}	۱/۰۲۲^{gh}	۲/۱۱۶^{fg}
	۱/۵	۰/۲۶۳^{fgh}	۰/۸۵۹^{g}	۱/۱۲۲^{g}	۱۳/۹۳۸^{fgh}	۱۳۶/۵۶۲^{de}	۱/۲۴۲^{ef}	۲/۶۴۷^{e}
۲۰۰	۰	۰/۲۹۹^{de}	۱/۳۳۶^{ef}	۱/۶۳۵^{ef}	۱۴/۱۵۵^{fg}	۱۳۴/۱۰۷^{def}	۱/۳۱۰^{de}	۲/۵۸۶^{e}
	۰/۵	۰/۳۰۰^{de}	۱/۲۶۹^{f}	۱/۵۷۰^{f}	۱۶/۹۵۴^{cde}	۱۳۱/۵۴۸^{ef}	۱/۳۶۰^{de}	۲/۵۴۲^{e}
	۱	۰/۳۲۸^{cd}	۱/۴۷۰^{de}	۱/۷۹۹^{de}	۱۸/۹۶۴^{b}	۱۵۳/۰۲۱^{b}	۱/۴۵۹^{bcd}	۲/۹۳۱^{d}
	۱/۵	۰/۳۵۰^{c}	۱/۶۷۶^{bc}	۲/۰۲۶^{bc}	۱۹/۶۴۴^{b}	۱۵۳/۳۰۵^{b}	۱/۶۶۰^{b}	۳/۲۲۱^{bc}
۳۰۰	۰	۰/۳۲۰^{cde}	۱/۵۲۹^{cd}	۱/۸۴۹^{cd}	۱۸/۷۹۱^{bc}	۱۴۱/۴۶۹^{cd}	۱/۵۷۳^{bc}	۲/۹۲۴^{d}
	۰/۵	۰/۳۲۵^{cd}	۱/۶۰۷^{bcd}	۱/۹۳۲^{cd}	۱۷/۵۴۱^{bcd}	۱۴۱/۰۸۶^{cd}	۱/۶۷۱^{b}	۲/۹۵۳^{cd}
	۱	۰/۳۹۰^{b}	۱/۷۶۷^{b}	۲/۱۵۷^{b}	۱۹/۲۸۵^{b}	۱۴۸/۱۷۸^{bc}	۱/۷۴۱^{b}	۳/۳۰۷^{b}
	۱/۵	۰/۴۴۷^{a}	۲/۱۷۳^{a}	۲/۶۲۰^{a}	۲۲/۲۲۱^{a}	۱۶۲/۰۴۹^{a}	۲/۳۳۸^{a}	۴/۱۲۶^{a}

حروف مشترک در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]

عملکرد دانه و وزن خشک

مقایسه میانگین اثر ساده نشان داد با افزایش سطوح نانوذره تیتانیوم مقادیر صفات عملکرد دانه و وزن خشک بوته افزایش یافته و در غلظت ۳۰۰ پی پی ام نانوذره، بیشترین مقدار عملکرد را به خود اختصاص داد. در غلظت‌های ۲۰۰ و ۳۰۰ پی پی ام نانوذره تیتانیوم، وزن خشک بوته به ترتیب ۸۰۲/۶ و ۸۳۸/۶ گرم بود که نسبت به نمونه شاهد ۳۱/۴ و ۳۷/۳ درصد افزایش داشت (جدول ۳). بیان شده است که تیتانیوم یکی از عناصر سودمند جهت گیاهان است و می‌تواند جذب برخی عناصر نظیر نیتروژن، فسفر، کلسیم، منیزیم، آهن، منگنز و روی را تحریک نماید (Lyu *et al*., 2017). این امر به برخی عوامل بیولوژیک و خاک مثل گونه و رقم گیاه، pH، رطوبت و وضعیت عناصر غذایی در خاک بستگی دارد. در مطالعه ای، اثر نانوذره تیتانیوم بر رشد گیاه اسفناج ارزیابی شد و نتایج حاکی از افزایش رشد، وزن تر و وزن خشک اسفناج‌های تیمار شده با نانوذره تیتانیوم بود (Yang *et al*., 2009). نانوذره تیتانیوم تثبیت نیتروژن را در برگ‌ها افزایش داده و بدین‌ترتیب نانو ذره تیتانیوم سبب افزایش رشد، وزن تر و وزن خشک گیاه می‌گردد. مقایسه میانگین اثر ساده اسید سالیسیلیک بر عملکرد گیاه کاملینا نشان داد که با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک مقدار عملکرد روند افزایشی داشته و در غلظت ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید، عملکرد گیاه ۶۶/۲ درصد نسبت به نمونه شاهد افزایش یافت. مقایسه میانگین اثر ساده در صفت وزن خشک بوته نشان داد که بیشترین مقدار وزن خشک بوته در غلظت ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک با ۹۷۹/۸۸ گرم بوده که نسبت به نمونه شاهد (۵۶۷/۵ گرم) افزایش نشان داد (جدول ۳). افزایش تعداد شاخه در بوته، وزن تر و خشک گیاه، عملکرد میوه، درصد اسانس، میزان کلروفیل a و b، میزان کربوهیدرات‌ها و میزان مواد فنولیک گیاه رازیانه تحت تأثیر کاربرد تنظیم‌کننده رشد اسید سالیسیلیک به اثبات رسیده است (El-Tarawy *et al*., 2012). با توجه به آثار سالیسیلیک اسید پیش‌بینی می‌شود افزایش وزن تر و خشک گیاه به‌دلیل بیشتر شدن تعداد ریشه‌ها، شاخه‌های جانبی و برگ‌های ایجادشده یا افزایش طول ساقه و ریشه در گیاهان تیمارشده با اسید سالیسیلیک باشد. بیان شده است اسید سالیسیلیک ممکن است از طریق گسترش و توسعه سیستم ریشه گیاه باعث جذب بیشتر آب و مواد غذایی شده و با افزایش در فتوسنتز برگ سبب افزایش عملکرد شود (یوسفی راد و صفا، ۱۴۰۰). گزارش‌هایی مبنی بر افزایش مقدار وزن تر و خشک گیاه در تنش در غلظت‌های بهینه سالیسیلیک اسید وجود دارند که نتایج پژوهش حاضر را تأیید می‌کنند (Hayat *et al*., 2005; Hussein *et al*., 2007). فتوسنتز فرآیندی فیزیولوژیک است که تأثیر به‌سزایی در رشد و عملکرد گیاهان زراعی دارد. از طرفی تنظیم‌کننده‌های رشد از طریق بهبود کارایی فرآیند فیزیولوژیکی مانند فتوسنتز و همچنین افزایش انتقال آسیمیلات‌ها از منبع به مخزن منجر به افزایش وزن خشک گیاه می‌شود (کشاورز و مدرس‌ثانوی، ۱۳۹۳). احتمال می‌رود که یکی از مکانیسم‌های احتمالی تاثیر بهبوددهندگی اسید سالیسیلیک در رشد

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]

گیاهان از طریق اثر برروی افزایش روند تولید ترکیبات کاروتنوئیدی در گیاهان باشد. کاروتنوئیدها نقش محافظتی در مجموعهٔ فتوسنتزی و آثار مهاری بر پراکسیداسیون لیپیدها دارند و تنش اکسیداتیو را در گیاه کاهش می‌دهند (Koyro, 2006). گزارش‌ها نشان داده‌اند اسید سالیسیلیک مقدار کاروتنوئید را در گیاه گندم افزایش می‌دهد (Moharekar *et al.*, 2003).

جدول ۳: مقایسه میانگین اثرات ساده محلول‌پاشی نانواکسید تیتانیوم و اسید سالیسیلیک در مرحله رویشی بر صفات گیاه کاملینا

تیمارها	کاروتنوئید (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	عملکرد (گرم)	وزن خشک بوته (گرم)
نانواکسیدتیتانیوم			
۰	۰/۱۱۳۸^{b}	۱۶۴/۵۰^{c}	۶۱۰/۷۷^{b}
۱۰۰	۰/۱۱۷۱^{b}	۱۷۶/۴۲^{c}	۶۷۳/۵۳^{b}
۲۰۰	۰/۱۴۳۱^{a}	۲۰۷/۰۰^{b}	۸۰۲/۶۱^{a}
۳۰۰	۰/۱۴۶۴^{a}	۲۴۱/۶۴^{a}	۸۳۸/۶۳^{a}
اسیدسالیسیلیک			
۰	۰/۱۱۶۷^{b}	۱۵۸/۴۷^{c}	۵۶۷/۵۹^{c}
۰/۵	۰/۱۲۲۶^{b}	۱۸۲/۵۳^{b}	۷۰۳/۱۷^{b}
۱	۰/۱۳۷۰^{a}	۱۸۵/۱۳^{b}	۶۷۴/۹۰^{b}
۱/۵	۰/۱۴۴۱^{a}	۲۶۳/۴۲^{a}	۹۷۹/۸۸^{a}

حروف مشترک در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از نانو ذره تیتانیوم و اسید سالیسیلیک توانست منجر به بهبودی رشد و افزایش محتوای کلروفیلی، کارتنوئید و متابولیت‌های ثانویه گیاه کاملینا شد. همچنین به کارگیری این دو محرک بر افزایش مقادیر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی موثر بود، به گونه‌ای که در سطوح ۲۰۰ و ۳۰۰ پی پی ام نانوذره تیتانیوم، مقادیر آنزیم‌های آنتی-اکسیدانی کاتالاز و پراکسیداز روند افزایشی معنی‌داری نسبت به نمونه شاهد داشت. این تحقیق حاکی از آن بود که با افزایش سطوح نانو ذره تیتانیوم و اسید سالیسیلیک بیشترین مقادیر وزن خشک بوته و عملکرد دانه ثبت گردید. مقایسه میانگین اثرات متقابل نانو ذره تیتانیوم و اسید سالیسیلیک بر صفات مختلف گیاه کاملینا نشان داد که در سطوح مختلف نانوذره تیتانیوم، با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک، مقادیر صفات مختلف گیاه روند افزایشی داشت. میزان کلروفیل a، b و کل به ترتیب ۱۰۲ درصد، ۵۲۹ درصد و ۳۶۲ درصد، مقدار فلاونوئید (۸۸ درصد)، میزان آنزیم‌های آنتی اکسیدانی کاتالاز و پراکسیداز (به ترتیب ۱۷۶ درصد و ۱۲۳ درصد) و قند محلول (۵۹/۹ درصد) افزایش را نسبت به نمونه شاهد با ترکیب تیماری غلظت ۳۰۰ پی پی ام نانوذره تیتانیوم و ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک نشان داد. این ترکیب تیماری به همراه ترکیب تیماری ۲۰۰ پی پی ام نانوذره تیتانیوم و ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و ترکیب تیماری ۳۰۰ پی پی ام نانوذره تیتانیوم و ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بهترین نتایج را نشان داده و کاربرد این ترکیبات می‌تواند سبب بهبود صفات فیزیولوژیک و افزایش عملکرد ۴۶ درصد نسبت به شاهد در کاملینا گردد.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]

منابع

بازی‌ذلان، ر.، فاضلی، آ.، زارعی، ب. و عرفانی مقدم، ج. ۱۴۰۰. تأثیر سالیسیلیک اسید بر فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز و محتوای فنل و فلاونوئید کل گل سازویی (*Scrophularia striata* L.) در شرایط تنش کم‌آبی. زیست شناسی گیاهی ایران. ۱۳ (۴): ۶۸-۵۷.

بصیری راد، ف.، سید شریفی، ر.، پاینده، خ. و محمدی کله سرلو، س. ۱۴۰۳. تأثیر میکوریزا و نانو ذرات آهن و سیلی کون بر برخی صفات فیزیولوژ یک ی و بی وشیمیایی چاودار در شرایط قطع آبیاری. نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱۶ (۶۱): ۲۵-۵.

چهار لنگ بدیل، ف.، عزیزی، خ.، عیسوند، ح.، حیدر نصرالهی، ع. و اسماعیلی، ا. ۱۴۰۲. اثر تغذیه کودی و اسید سالیسیلیک بر عملکرد و برخی صفات بیوشیمیایی گندم تحت تنش خشکی. تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک. ۵(۱): ۲۵۳-۲۷۰.

رنجبر، م.، لاری یزدی، ح. و برومند جزی، ش. ۱۳۹۰. تأثیر سالیسیلیک اسید بر رنگیزه‌های فتوسنتزی، محتوای قند و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاه کلزا تحت تنش سرب. زیست شناسی گیاهی. ۳(۹): ۵۲-۳۹.

زارعی، ش.، حسیبی، پ.، کهریزی، د. و صفی‌الدین اردبیلی، م. ۱۴۰۰. اثر نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دانه روغنی کاملینا (*Camelina sativa*) در تاریخ‌های مختلف کاشت. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۹(۴): ۳۲۵-۳۱۱.

کشاورز، ح. و مدرس ثانوی، ع.م. ۱۳۹۳. اثر سالیسیلیک‌اسید بر کلروفیل، برخی خصوصیات رشدی و عملکرد دو رقم کلزا. نشریه تولید گیاهان زراعی. ۷(۴): ۱۷۸-۱۶۱.

مطیعی، م.م. ۱۴۰۲. اثر کم آبیاری، کودهای زیستی و گوگرد بر برخی ویژگی های مورفولوژیکی، عملکرد دانه و درصد روغن کاملینا (*Camelina sativa* L.). نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱۵ (۵۹): ۱۴۱-۱۲۵.

یوسفی راد، م. و صفا، ه. ۱۴۰۰. تأثیر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و سلنیوم بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم دیم. تحقیقات غلات. ۱۱(۱): ۴۱-۳۱.

Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplast polyphenol oxide in betavulgaris. Plant Physiology, 24: 1-15.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]

Avancini, G., Abreu, I. N., Saldana, M. D., Mohamed, R. S. and Mazzafera, P. 2003. Induction of pilocarpine formation in jaborandi leaves by salicylic acid and methyljasmonate. Phytochemistry, 63(2): 171-175.

Canakci, S. and Dursun, B. 2012. The effect of pre-application of salicylic acid on some physiological and biochemical characteristics of tomato seedling (*Lycopersicon esculentum* L) growing in cadmium containing media. African Journal of Biotechnology, 11(13): 3173-3178.

Castiglione, M. R., Giorgetti, L., Geri, C. and Cremonini, R. 2011. The effects of nano-TiO2 on seed germination, development and mitosis of root tip cells of *Vicia narbonensis* L. and *Zea mays* L. Journal of Nanoparticle Research, 13(6): 2443-2449.

Chen, Z., Iyer, S., Caplan, A., Klessig, D. F. and Fan, B. 1997. Differential accumulation of salicylic acid and salicylic acid-sensitive catalase in different rice tissues. Plant Physiology, 114(1): 193-201.

Dallali, H., Maalej, E. M., Boughanmi, N. G. and Haouala, R. 2012. Salicylic acid priming in *hedysarum carnosum* and *hedysarum coronarium* reinforces nacl tolerance at germination and the seedling growth stage. Australian Journal of Crop Science, 6(3): 407-414.

Du, G., li, M., Ma, F. and Liang, D. 2009. Antioxidant capacity and the relationship with polyphenol and vitamin C in Actinidia fruits. Food Chemistry, 113: 557-562.

El-Tarawy, M., El-Mahrouk, E. M., Ahmed, S. K. and Shala, A.Y.E. 2012. Response of fennel plants to chemical fertilization and ascorbic and salicylic acids treatments. Journal of Agricultural Research. Kafr El-Shaikh University, 38(3): 401-409.

Fariduddin, Q., Hayat, S. and Ahmad, A. 2003. Salicylic acid influences net photosynthetic rate, carboxylation efficiency, nitrate reductase activity, and seed yield in *Brassica juncea*. Photosynthetica, 41: 281-284.

Castiglione, M. R., Giorgetti, L., Bellani, L., Muccifora, S., Bottega, S. and Spanò, C. 2016. Root responses to different types of TiO2 nanoparticles and bulk counterpart in plant model system *Vicia faba* L. Environmental and experimental botany, 130: 11-21.

Ghamkhar, K., Croser, J., Aryamanesh, N., Campbell, M., Konkova, N. and Francis, C. 2019. Camelina (*Camelina sativa L.* Crantz) as an alternative oilseed: molecular and ecogeographic analysis. Genome, 53(7): 558-567.

Habibi, G. 2012. Exogenous salicylic acid alleviates oxidative damage of barley plants under drought stress. Acta Biologica Szegediensis, 56(1): 57-63.

Hassan, M. U., Aamer, M., Chattha, M. U., Afzal, A., Batool, M., Ahmed, H. A. I., ... and Shahzad, B. 2022. Salicylic Acid-Mediated Physiological and Molecular Mechanisms in Plants Under Heat Stress. Managing Plant Stress Using Salicylic Acid: Physiological and Molecular Aspects, 163-182.

Hayat, S., Fariduddin, Q., Ali, B. and Ahmad, A. 2005. Effect of salicylic acid on growth and enzyme activities of wheat seedlings. Acta Agronomica Hungarica, 53: 433-437.

Hong, F.S., Zhou, J. and Liu, C. 2005. Effect of Nano-TiO_2 on photochemical reaction of chloroplasts of spinach. Biological Trace Element Research, 105: 269-280.

Hussein, M., Balbaa, L. and Gaballah, M. 2007. Salicylic acid and salinity effects on growth of maize plants. Research journal of agriculture and biological sciences, 3: 321-328.

Kawano, T. and Bouteau, F. 2013. Crosstalk between intracellular and extracellular salicylic acid signaling events leading to long-distance spread of signals. Plant cell reports, 32(7): 1125-1138.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]

Khan, M.I.R., Asgher, M. and Khan, N.A. 2014. Alleviation of salt-induced photosynthesis and growth inhibition by salicylic acid involves glycinebetaine and ethylene in mungbean (*Vigna radiata* L.). Plant Physiology and Biochemistry, 80: 67-74.

Khan, F., Shariq, M., Asif, M., Siddiqui, M. A., Malan, P., and Ahmad, F. 2022. Green nanotechnology: plant-mediated nanoparticle synthesis and application. Nanomaterials, 12(4): 673.

Koyro, H.W. 2006. Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and solute composition of the potential cash crop halophyte *Plantago coronopus* L. Environmental and Experimental Botany, 56: 136-146.

Krishna, S., Surinder, K., Thind S.K., and Gurpreet, K. 2004. Interactive effects of phenolics and light intensity on vegetative parameters and yield in soybean (*Glycine max* L. Merrill). Journal of Ecology and Environment, 22: 390-394.

Laware, S.L. and Raskar, Sh. 2014. Effect of titanium dioxide nanoparticles on hydrolytic and antioxidant enzymes during seed germination in onion. International Journal of Current Microbiology and Applied Science, 3(7): 749-760.

Lichtenthaler, H. 1987. Cholorophyllas and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. Methods in Enzymology, 148: 350-382.

Liu, W., Worms, I., and Slaveykova, V. I. 2020. Interaction of silver nanoparticles with antioxidant enzymes. Environmental Science: Nano, 7(5): 1507-1517.

Luck, H. 1974. Methods in Enzymatic Analysis (Ed. Bergmeyer, H, U). Academic Press, New York.

Lyu, S., Wei, X., Chen, J., Wang, C., Wang, X., and Pan, D. 2017. Titanium as a beneficial element for crop production. Frontiers in plant science, 8: 597.

McCready, R. M., Guggolz, J., Silviera, V. and Owens, H. S. 1950. Determination of starch and amylose in vegetables. Analytical Chemistry, 22(9): 1156-1158.

Metwally, A., Finkemeier, I., Georgi, M. and Dietz, K. J. 2003. Salicylic acid alleviated the cadmium toxicity in barley seedling. Plant Physiology and Biochemistry, 132: 272-281.

Mingyu, S., Hong, F., Liu, C., Wu, X., Liu, X. and Chen, L. 2007. Effects of nano-anatase TiO_2 on absorption, distribution of light and photo reduction activities of chloroplast membrane of spinach. Biological Trace Element Research, 118: 120-130.

Moharekar, S., Lokhande, S., Hara, T., Tanaka, R. and Chavan, P. D. 2003. Effect of salicylic acid on chlorophyll and carotenoid contents of wheat and moong seedlings. Photosynthetica, 41: 315-317.

Nagasubramaniam, A., Pathmanabhan, G. and Mallika, V. 2007. Studies on improving production potential of baby corn with foliar spray of plant growth regulators. Annual Review of Plant Physiology, 21: 154- 157.

Nair, R., Varghese, S. H., Nair, B. G., Maekawa, T., Yoshida, Y. and Sakthi Kumar, D. 2010. Nano particulate material delivery to plants. Plant Science, 179: 154–163.

Pacheco, A. C., Cabral, C. S., Silva Fermino, E. S. and Aleman, C. C. 2013. Salicylic acid-induced changes to growth, flowering and flavonoids production in marigold plants. Journal of Medicinal Plants Research, 7(42): 3158-3163.

Raman, V. and Ravi, S. 2011. Effect of Salicylic acid and methyl jasmonate on antioxidant systems of *heamatococcus pluvialis*. Acta Physiologiae Plantarum, 33: 1043-49.

Song, W., Shao, H., Zheng, A., Zhao, L., and Xu, Y. 2023. Advances in roles of salicylic acid in plant tolerance responses to biotic and abiotic stresses. Plants, 12(19): 3475.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]

Sungkaworn, T., Triampo, W., Nalakarn, P., Triampo, D., Tang, I. M. and Lenbury, Y. 2007. The effects of TiO_2 nanoparticles on tumor cell colonies: fractal dimension and morphological properties. International Journal of Biomedical Science, 2(1): 67-74.

Tang, W. and Newton, J. R. 2005. Polyamines reduced salt induced oxidative damage by increasing the activities of antioxidant enzymes and decreasing lipid peroxidation in Virginia pine. Journal of Plant Growth Regulation, 46: 31-43.

Tasgin, E., Atici, O. and Nalbantoglu, B. 2003. Effects of salicylic acid and cold on freezing tolerance in winter wheat leaves. Journal of Plant Growth Regulation, 41(3): 231-236.

Tumburu, L., Andersen, C. P., Rygiewicz, P. T. and Reichman, J. R. 2015. Phenotypic and genomic responses to titanium dioxide and cerium oxide nanoparticles in *Arabidopsis thaliana* germinants. Environmental Toxicology and Chemistry, 34(1): 70-83.

Urban, L., Lauri, F., Ben Hdech, D., and Aarrouf, J. 2022. Prospects for increasing the efficacy of plant resistance inducers stimulating salicylic acid. Agronomy, 12(12): 3151.

Wang K, Jin, P., Cao, S., Shang, H., Yang, Z. and Zheng, Y. 2009. Methyl jasmonate reduces decay and enhances antioxidant capacity in chines bay berries. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 57: 5809-50.

Wu, H., Fan, S., Gong, H., and Guo, J. 2023. Roles of salicylic acid in selenium-enhanced salt tolerance in tomato plants. Plant and Soil, 484(1): 569-588.

Yang, F., Hong, W., You, C., Liu, F., Gao, C. and Yang, P. 2009. Influenced of nano-anatas TiO_2 on the nitrogen metabolism of growing spinach. Biological Trace Element Research, 110(2): 179-190.

Zhang, C., Yan, Q., Cheuk, W. K. and Wu, J. 2004. Enhancement of tanshinone production in *Salvia miltiorrhiza* hairy root culture by Ag^+ elicitation and nutrient feeding. Planta Medica, 70(2): 147-151.

Zheng, L., Hong, F., Lu, S. and Liu, C. 2005. Effect of nano-TiO_2 on strength of naturally aged seeds and growth of spinach. Biological Trace Element Research, 104(1): 83-91.

Zheng, L., Su, M. Y., Liu, C., Chen, L., Huang, H., Wu, X., Liu, X. Q., Yang, F., Gao, F. Q. and Hong, F. S. 2007. Effects of nano-anatase TiO_2 on chloroplast photochemistry reaction of spinach under different light illumination. Biological Trace Element Research, 119(1): 68–76.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]

Investigating changes in physiologic and seed yield traits of Camelina plant (*Camelina sativa* L.) under foliar spraying of different growth elicitors

V. Nikandish[1], H. Ghorbani [2*], P. Majidian[3] and M. Gerami[4]

1) Department of Horticultural Science (Medicinal plants), Sana Institute of Higher Education Sari, Iran.
2 & 3) Crop and Horticultural Science Research Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, Iran.
4) Biology Department, Sana Institute of Higher Education Sari, Iran.

[*]**Corresponding author: H.ghorbani@areeo.ac.ir**

Received date: 2023.04.29 **Accepted date: 2023.08.16**

Abstract

This research was conducted as factorial layout in a randomized complete block design with three replications in the research fields of Baye-Kala Agricultural Research Station (BARS) at Neka city in 2021-2022. The treatments included four levels of salicylic acid (1, 0.5, 1, and 1.5 mM) and four levels of titanium oxide nanoparticle (0, 100, 200, and 300 ppm) which used as foliar at vegetative growth. The mean comparison of the simple effect of treatments showed that the grain yield and plant dry weight were increased by increasing the concentration of titanium nanoparticles and salicylic acid. At 300 ppm titanium nanoparticles and 1.5 mM salicylic acid, the highest grain yield and plant dry weight were 0.24 kg/ha and 0.26 kg/ha. The grain yield and plant dry weight were increased 46% and 37%, respectively using 300 ppm titanium nanoparticle. In addition, the enhancement of 66% and 72% of grain yield and plant dry weight, respectively were obtained by application of 1.5 mM salicylic acid. The highest amount of chlorophyll a, b and total (0.447, 2.173, 2.620 mg/g of fresh tissue), flavonoid (22.22 mg/g of fresh tissue), catalase and peroxidase (2.33 and 4.12 absorption units per microgram of protein per minute and soluble sugar (162.04 mg/g of fresh tissue was related to the treatment of 300 ppm titanium nanoparticles and 1.5 mM salicylic acid. Based on the obtained result, the effect of two elicitors used caused increase in physiologic traits and grain yield of camelina.

Key words: Salicylic asid, Camelina and Nano-particles.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]