فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱٤، شماره ٦٥، فروردین و اردیبهشت‌ماه ۱٤۰٤ صفحه: ۲٤۱-۲٥۳
https://doi.org/10.22034/14.65.241

مقاله پژوهشی

# تأثیر نانوذرات اکسید روی و دی‌اکسید تیتانیوم بر برخی پارامترهای رشدی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی انگور رقم سلطانی سفید تحت سمیت کادمیوم

صالح شهابی‌وند[۱]، حسین شعبانی[۱]، غلامرضا گوهری[۲]، احمد آقایی[۱*]
[۱]گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه مراغه، ایران
[۲]گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، ایران
(تاریخ دریافت: ۱٤۰۲/۱۲/۱۲، تاریخ پذیرش نهایی: ۱٤۰۳/۰٤/۰٤)

## چکیده
کادمیوم از جمله فلزات سنگین سمی است که به عنوان خطر بالقوه برای انسان و دیگر جانداران به شمار می‌آید و نیازمند توجه بیشتر جهت جلوگیری از ورود این فلز به زنجیره غذایی است. در سال‌های اخیر همراه با توسعه فناوری نانو، از این فناوری در جهت پیش‌برد اهداف زیست محیطی استفاده شده است. به منظور مطالعه اثرات نانوذرات اکسید روی و دی‌اکسید تیتانیوم بر نهال‌های انگور رقم سلطانی سفید تحت تنش کادمیوم، آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. فاکتور اول کاربرد کادمیوم در سه سطح (صفر، ٥۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و فاکتور دوم شامل محلول‌پاشی نانوذرات اکسید روی و دی‌اکسید تیتانیوم در سه سطح (صفر، ٥۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بود. نتایج حاصل نشان داد که تنش کادمیوم باعث کاهش در شاخص‌های رشدی و رنگیزه‌های فتوسنتزی و افزایش در میزان پراکسید هیدروژن، مالون دی‌آلدهید و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (سوپراکسید دیسموتاز و گایاکول پراکسیداز) شد. محلول‌پاشی نانوذرات اکسید روی و دی‌اکسید تیتانیوم سبب بهبود پارامترهای رشدی، رنگیزه‌های فتوسنتزی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و از طرف دیگر کاهش مالون دی‌آلدهید و پراکسید هیدروژن تحت تنش کادمیوم در نهال‌های انگور شد. براساس نتایج این پژوهش به نظر می‌رسد محلول‌پاشی نانوذرات اکسید روی و دی‌اکسید تیتانیوم (به‌خصوص در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) می‌تواند سبب افزایش پارامترهای رشدی، رنگیزه‌های فتوسنتزی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نهال‌های انگور سلطانی سفید تحت سمیت کادمیوم شده و باعث افزایش تحمل گیاه به اثرات مضر این فلز سمی شود.

واژه‌های کلیدی: انگور سلطانی، تحمل، کادمیوم، نانوذره، تیتانیوم، روی

## مقدمه
گیاه انگور (*Vitis vinifera* L.) از خانواده انگورسانان (Vitaceae) است که شامل ۱٤ جنس و حدود ۹۰۰ گونه است (Soejima and Wen, 2006). جنس ویتیس (Vitis) از خانواده ویتاسه شامل حدود ۷۰ گونه است که در مناطق معتدل نیم‌کره شمالی یافت می‌شوند. انگور یکی از محصولات مهم باغی است که در حال حاضر کشت آن در سراسر جهان گسترش یافته و میوه‌های انگور به‌صورت تازه‌خوری و فرآوری شده (نوشیدنی، مربا، آب میوه، ژله، عصاره دانه انگور، کشمش، سرکه و روغن هسته انگور) مصرف می‌شود. ایران دارای مقام

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: aghaee2001@yahoo.com

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18 ]
[ DOI: DOI: 10.22034/14.65.241 ]

نهم در تولید انگور و مقام چهارم در تولید کشمش در سطح جهانی است (FAO, 2016). ایران با بیش از ۳۰۰ هزار هکتار سطح زیرکشت انگور و با تولید بیش از ۳ میلیون تن انگور یکی از کشورهای مطرح تولیدکننده انگور می‌باشد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۶). رقم سلطانی (Sultana) یک نوع انگور سفید (سبز کم رنگ) بیضی شکل است که برای تازه‌خوری و شیره استفاده می‌شود کشمش این نوع انگور کوچک و شیرین است و رنگ طلایی دارد. رنگ و طعم مناسب، اتصال محکم حبه به خوشه، دیر خشک‌شدن دم خوشه و حبه، تراکم مناسب خوشه، یکنواختی رسیدن حبه‌ها، مقاومت در برابر بیماری‌ها، مقاومت در حمل‌ونقل و قابلیت انبارداری و نگهداری به دلیل ضخامت پوست انگور سلطانی از جمله ویژگی‌هایی است که باعث شده طرفداران زیادی در دنیا داشته باشد (دولتی بانه، ۱۳۹۵).

انسان در اثر فعالیت‌های روزمره خود مقادیر قابل توجهی از آلاینده‌های مختلف را به آب، خاک و هوا وارد می‌کند. از بین آلاینده‌های موجود، تجمع عناصر سنگین به یک مشکل زیست‌محیطی جهانی تبدیل شده است به‌طوری‌که دوام بلندمدت زیست‌شناختی و باقی ماندن در خاک، سبب انباشته شدن این فلزات در خاک و زنجیره غذایی انسان می‌گردد. در بین عناصر سنگین، کادمیوم یک عنصر غیرضروری برای گیاه است که هیچ نقش بیولوژیکی ندارد و حتی در غلظت‌های کم (بیشتر از ۵ تا ۱۰ میکروگرم بر میلی‌گرم وزن خشک برگ) نیز برای اکثر گیاهان سمی است (White and Brown, 2010). از منابع عمده کادمیوم می‌توان فاضلاب کارخانه‌های صنعتی و شهری، مصرف بی‌رویه حشره‌کش‌ها و کودهای شیمیایی به ویژه انواع فسفاته را نام برد (Zulfiqar *et al*., 2022). سمیت کادمیوم از نظر ریخت‌شناسی، فیزیولوژیکی و بیولوژیکی گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. کادمیوم منجر به اختلالات فیزیولوژیکی در گیاه، به ویژه تولید بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن، به علت افزایش تنش اکسیداتیو می‌شود (Moradi *et al*., 2019).

نانوذرات علاوه بر تأثیر بر رشد و نمو گیاهان، نقش مهمی در حفاظت از گیاهان در برابر تنش‌های غیرزیستی مختلف دارند. این ذرات فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را شبیه‌سازی می‌کنند و از این‌رو در سمیت‌زدایی در طی تنش اکسیداتیو نقش دارند (Shah *et al*., 2019). اندازه کوچک و مساحت سطح بزرگ نانوذرات، دسترسی به فلزات سمی برای اتصال و در نتیجه کاهش در دسترس‌بودن و سمیت فلزات را فراهم می‌کند (Worms *et al*., 2012). نشان داده شده است که نانوذرات از سیستم فتوسنتزی در مقابل تنش‌های غیرزنده محافظت می‌کنند و با سرکوب تنش اکسیداتیو، فتوسنتز را بهبود می‌بخشند. با این‌حال پاسخ گیاهان به تیمارهای نانوذرات با توجه به‌گونه گیاهی و نانوذره مورد استفاده، متفاوت است (Siddiqui *et al*., 2014). در مطالعات قبلی تأثیر مثبت نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم (به عنوان عنصر غیرضروری ولی مفید در مقادیر کم برای گیاه) و اکسید روی بر ویژگی‌های رشدی، میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاهان تحت تنش‌های غیرزیستی گزارش شده است (Emamverdian *et al*., 2021; Singh and Lee, 2016; Venkatachalam *et al*., 2017).

با توجه به اینکه منطقه آذربایجان یکی از قطب‌های اصلی تولید انگور در کشور محسوب می‌شود و نیز مشکلات زیست‌محیطی ناشی افزایش غلظت فلزات سنگین در آب آبیاری و خاک‌های زراعی، در این پژوهش اثرات محلول‌پاشی نانوذرات روی و تیتانیوم بر میزان شاخص‌های رشدی، رنگیزه‌های فتوسنتزی، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و مارکرهای اکسیداتیو انگور رقم سلطانی سفید تحت تنش کادمیوم مورد بررسی قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌منظور بررسی کاربرد نانوذرات اکسید روی و دی‌اکسید تیتانیوم در کاهش سمیت فلز سنگین کادمیوم (Cd) در گیاه انگور رقم سلطانی سفید به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در گلخانه تحقیقاتی گروه علوم و مهندسی باغبانی دانشکده کشاورزی مراغه با سه تکرار انجام شد. قلمه‌های ریشه‌دار سه ساله رقم سلطانی سفید از مرکز

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18 ]

[ DOI: DOI: 10.22034/14.65.241 ]

تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی واقع در شهرستان اشنویه تهیه شد. تیمارهای آزمایشی شامل کاربرد فلز سمی کادمیوم (به صورت نمک کلرید کادمیوم) در سطوح صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک و کاربرد نانوذرات اکسید روی و دی‌اکسید تیتانیوم در سه سطح (برای هر کدام از نانوذرات روی و تیتانیوم شامل صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) بودند. نحوه تهیه نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم (با اندازه ۳۰-۲۰ نانومتر) و نانوذرات اکسید روی (با اندازه ۱۰۰-۸۰ نانومتر) در مطالعات قبلی ما توضیح داده شده است (ثریا و همکاران، ۱۳۹۹؛ Gohari *et al.*, 2020). گیاهان بعد از انتقال به گلخانه در گلدان‌های هفت لیتری به‌صورت کشت خاکی در بستر خاک و کوکوپیت کاشته شد. خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک به صورت: شن ۷۵٪، سیلت ۱۵٪، رس ۱۰٪، ماده آلی ۱/۲۸٪، کادمیوم ۱/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم، نیتروژن کل ۰/۱۳٪، فسفر ۳۱/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم، پتاسیم ۲۹۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم، pH ۷/۲ و EC ۱/۹ dS/m بود. گیاهان تا زمان ظهور ۱۰ برگ حقیقی با محلول یک چهارم هوگلند تغذیه شد. پس از مرحله ۱۰ برگی گیاهچه‌ها، به‌منظور اعمال تنش فلز سنگین کادمیم، غلظت‌های مورد نظر کادمیم به آب آبیاری (در سه مرحله) اضافه شد. گیاهان شاهد فقط با آب آبیاری (بدون استفاده از کادمیوم)، گروه دیگر با غلظت ۵۰ میلی‌گرم و بقیه با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم آبیاری شدند. ۲۰ روز بعد از اعمال تنش و به‌منظور بررسی اثرات نانوذرات، گیاهان چهار مرتبه و با فاصله زمانی چهار روز با غلظت‌های صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از نانوذره اکسید روی و دی‌اکسید تیتانیوم محلول‌پاشی شدند. به‌منظور افزایش سطح تماس و جذب، مقدار پنج قطره محلول توین ۲۰ به تمام محلول‌ها اضافه شد و تمام گیاهان با آب معمولی و محلول توین ۲۰ محلول‌پاشی شدند. نمونه‌برداری از گیاهان دو ماه پس از اعمال تیمار با نانوذرات اکسید روی و دی‌اکسید تیتانیوم (در مرحله رشد رویشی)، به‌منظور اندازه‌گیری میزان شاخص‌های رشدی، رنگیزه‌های فتوسنتزی، مالون دی‌آلدهید، پراکسید هیدروژن و میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شامل گایاکول پراکسیداز (GPX) و سوپراکسید دیسموتاز (SOD) انجام گرفت. سپس نمونه‌های برگی برداشت‌شده در داخل تانک ازت قرار داده شد. بعد نمونه‌های فریز شده تا زمان اندازه‌گیری شاخص‌ها در فریزر (۸۰- درجه سانتی‌گراد) نگهداری شدند. برای اندازه‌گیری وزن خشک ریشه و برگ گیاهان، نمونه‌ها را در داخل آون در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده سپس وزن خشک نمونه‌ها با ترازوی ۰/۰۰۱ اندازه‌گیری شد.

**سنجش رنگیزه‌های فتوسنتزی:** از نمونه برگ به مقدار ۰/۲ گرم وزن کرده و در هاون چینی با استفاده از نیتروژن مایع پودر گردید. سپس ۲۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد به نمونه اضافه شده و بعد از هضم در دستگاه سانتریفیوژ با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد، سپس عصاره به‌دست آمده به داخل میکروتیوب ریخته شد. میزان جذب نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل *a* و ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل *b* خوانده شد. در نهایت با استفاده از فرمول‌های آرنون میزان رنگیزه‌ها بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه به‌دست آمد (Arnon, 1967).

**تهیه عصاره آنزیمی:** جهت تهیه عصاره آنزیمی برای تعیین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان ابتدا حدود ۰/۵ گرم از هر نمونه گیاهی در هاون و به کمک نیتروژن مایع به‌خوبی پودر گردید. پودر حاصله به تیوب‌های ۲ میلی‌لیتری منتقل و به آن ۱/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم اضافه شد. در ادامه نمونه‌ها به مدت ۳۵ دقیقه با ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شدند. پس از سانتریفیوژ نمودن نمونه‌ها، مایع رویی آن‌ها به تیوب‌های جدید منتقل و بلافاصله به یخچال ۸۰- درجه سانتی‌گراد منتقل شده و از آن برای اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم‌های گایاکول پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز استفاده گردید.

**اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD):** اندازه‌گیری آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) طبق روش Giannopolitis و همکاران (۱۹۹۷) انجام شد. مخلوط

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18 ]

[ DOI: DOI: 10.22034/14.65.241 ]

واکنش شامل ۰/۲ میلی‌لیتر بافر فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار، ۰/۲ میلی‌لیتر متیونین ۰/۲ مولار، ۰/۱ میلی‌لیتر EDTA ۳ میلی‌مولار و ۱ میلی‌لیتر آب‌مقطر و ۰/۱ میلی‌لیتر سدیم کربنات ($Na_2C0_3$) ۱/۵ مولار و در آخر ۰/۱ میلی‌لیتر ریبوفلاوین می‌باشد. درون هر لوله ۵۰ میکرولیتر نمونه آنزیمی اضافه شد. لوله‌های آزمایش به مدت ١٦ دقیقه در فاصله ۳۰ سانتی‌متری در منبع نور قرار گرفته بعد به مدت ۱۵ دقیقه در تاریکی کامل نگهداری شد تغییرات جذب نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ٥٦٠ نانومتر خوانده شد. یک واحد آنزیمی بر اساس حجم عصاره آنزیمی مرتبط با ۵۰ درصد ممانعت از انجام واکنش بیان می‌شود.

**اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز:** کمپلکس واکنش حاوی ۱ میلی‌لیتر بافر فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار، ۲۵۰ میکرولیتر EDTA ۰/۱ میلی‌مولار، ۱ میلی‌لیتر گایاکول ۵ میلی‌مولار، ۱ میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن ۱۵ میلی‌مولار و ۵۰ میکرولیتر از محلول آنزیمی استخراج شده بود. تغییرات جذب نمونه‌ها در طول‌موج ٤٧٠ نانومتر در مدت یک دقیقه ثبت و میزان فعالیت آنزیم با استفاده از ضریب خاموشی ٢٦/٦ $mmol^{-1}$ $cm^{-1}$ محاسبه شد (Chance and Maehly, 1955).

**اندازه‌گیری میزان پراکسید هیدروژن ($H_2O_2$):** برای اندازه‌گیری میزان پراکسید هیدروژن ۰/۲ گرم نمونه برگی در ۲ میلی‌لیتر از محلول ۰/۱ درصد تری‌کلرو استیک اسید (وزنی-حجمی) همگن شده و در دور ۱۲۰۰۰ به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفوژ قرار داده شد. سپس کمپلکس واکنش با ترکیب ۰/۵ میلی‌لیتر سوپرناتانت، ۰/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات ۱۰ میلی‌مولار با pH برابر ۷ و یک میلی‌لیتر پتاسیم یدید یک مولار به‌دست آمد. میزان جذب نمونه‌ها با استفاده از اسپکتروفتومتری در طول‌موج ۳۹۰ نانومتر اندازه‌گیری گردید. در نهایت میزان $H_2O_2$ با استفاده از ضریب خاموشی ۲۸ $mmol^{-1}$ $cm^{-1}$ محاسبه و به صورت میکرومول بر گرم وزن تر بیان گردید (Sergiev *et al.*, 1997).

**سنجش میزان مالون دی‌آلدهید:** ۰/۲ گرم از نمونه برگی با ۲ میلی‌لیتر از محلول ۰/۱ درصد تری‌کلرو استیک اسید همگن و به‌مدت ۱۰ دقیقه در دور ۱۵۰۰۰ سانترفیوژ گردید. ۲ میلی-لیتر از سوپرناتانت نمونه با ٤ میلی‌لیتر از محلول ۲۰٪ تری‌کلرو استیک اسید محتوی ۰/۵ درصد اسید تیوباربیتوریک مخلوط شد. کمپلکس حاصل به‌مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری و سپس به حمام آب سرد منتقل گردید. نمونه‌ها مجدداً به مدت ۱۰ دقیقه در دور ۱۰۰۰۰ سانتریفیوژ شدند. جذب نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر طول‌موج ۵۳۲ و ٦٠٠ نانومتر اندازه‌گیری و ثبت گردید. میزان پراکسیدشدن لیپیدها با استفاده از اختلاف بین طول‌موج‌های جذبی و ضریب خاموشی ۱۵۵ $mmol^{-1}$ $cm^{-1}$ به‌دست آمد (Health and Packer, 1968).

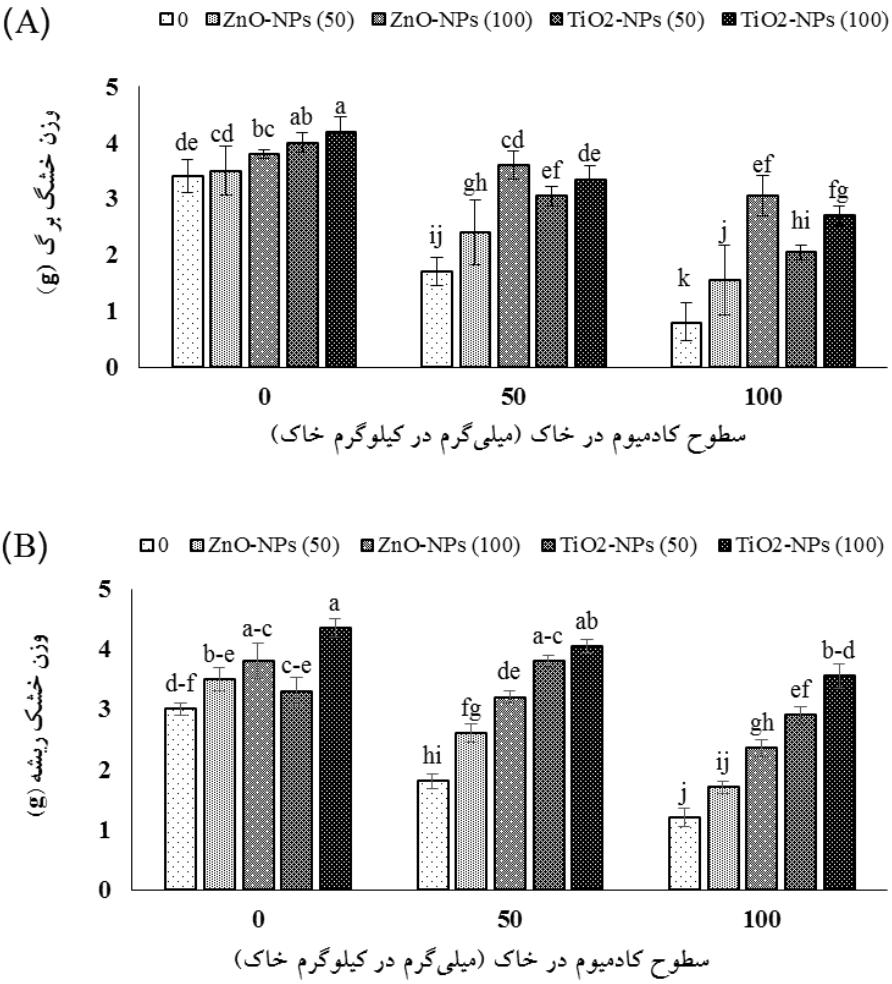
این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد که در آن اثر نانوذرات اکسید روی و دی‌اکسید تیتانیوم (سه سطح) و تنش کادمیوم (سه سطح) مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C ver 2.1 انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد آنالیز و نمودارها با نرم‌افزار Excel 2016 رسم شدند.

## نتایج و بحث

**وزن خشک برگ و ریشه:** نتایج نشان داد که افزایش غلظت کادمیوم در خاک باعث کاهش وزن خشک برگ و ریشه شد بطوریکه کم‌ترین میزان وزن خشک برگ (۰/۸ گرم) و ریشه (۱/۲ گرم) در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم بدون تیمار نانوذره بدست آمد (شکل B و A-۱). کادمیوم یک عنصر غیرضروری در گیاه است که هیچ نقش بیولوژیکی ندارد و حتی در غلظت‌های کم نیز برای گیاهان سمی است. نشان داده شده است که سمیت کادمیوم با ایجاد علائم مورفولوژیکی متعدد مانند کلروز، نکروز و پیچش برگ گیاه، کندکردن جوانه‌زنی و رشد و همچنین کاهش زیست‌توده، عملکرد گیاه را کاهش می‌دهد (Abbas *et al.*, 2017). از طرف دیگر کاربرد نانوذرات روی و تیتانیوم در همه سطوح کادمیوم در خاک، اثر

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18 ]

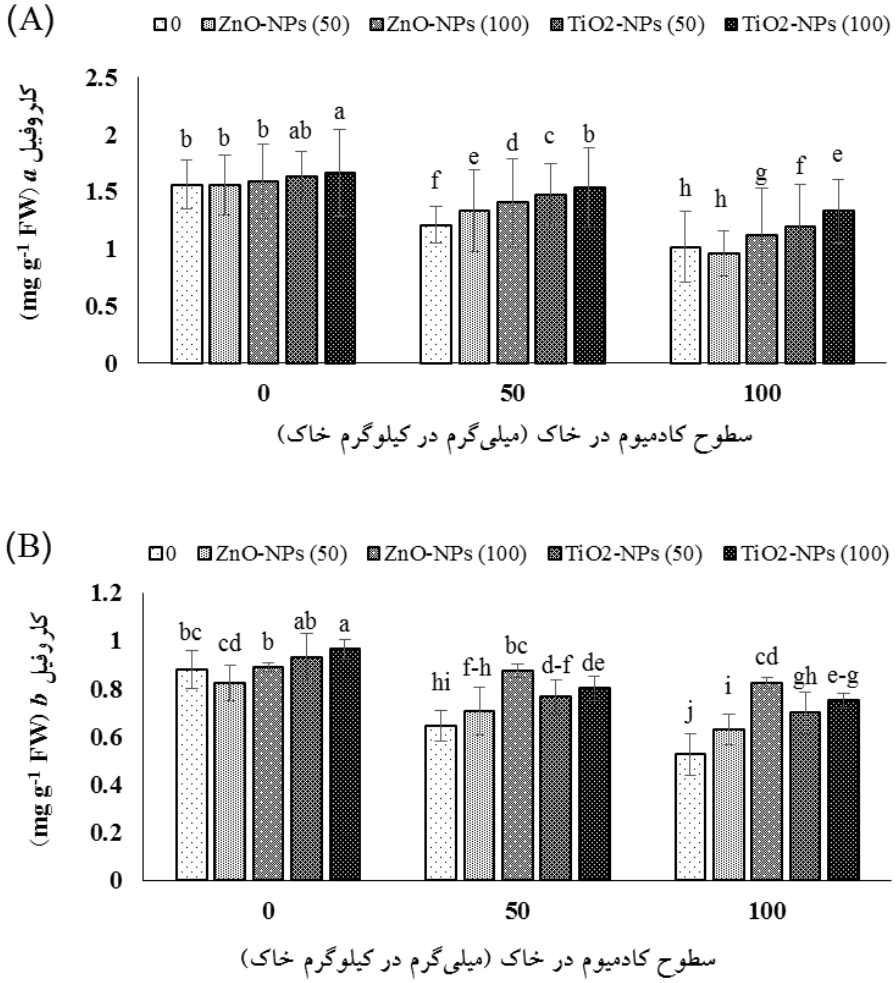
[ DOI: DOI: 10.22034/14.65.241 ]




**شکل ۱- اثر سطوح مختلف نانوذرات اکسید روی و دی‌اکسید تیتانیوم بر وزن خشک برگ (A) و ریشه (B) انگور سلطانی تحت سطوح مختلف کادمیوم در خاک. حروف غیر مشابه در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) است.**

مثبت افزایشی بر شاخص‌های رشدی داشت بطوریکه بیش‌ترین میزان وزن خشک برگ (۴/۲ گرم) و ریشه (۴/۳۵ گرم) در تیمار نانوذره تیتانیوم در سطح ۱۰۰ میلی‌گرم و بدون اعمال تنش مشاهده شد (شکل B و A-۱). نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم رشد و زیست‌توده گیاهان سویا تحت تنش کادمیوم را افزایش دادند (Singh and Lee, 2016). قرار گرفتن در معرض محلول‌پاشی نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم رشد ذرت را بهبود بخشید، اما پاسخ آن به دوزهای اعمال‌شده بستگی دارد (Lian *et al.*, 2020). گزارش شده که دی‌اکسید تیتانیوم می‌تواند میزان جذب ریزمغذی‌ها و عناصر پرمصرف را افزایش دهد که این امر می‌تواند عامل اصلی در رشد گیاه و افزایش زیست‌توده باشد (Bajguz *et al.*, 2010). همچنین اثر نانوذرات روی (۱۰۰ میلی‌گرم) در بهبود شاخص وزن خشک برگ در سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم اندکی بیشتر از نانوذره تیتانیوم بود (شکل A-۱). برخی از مطالعات گزارش کرده‌اند که اکسید روی رشد گیاه را تحت تنش فلزات سنگین افزایش می‌دهد (Rasool *et al.*, 2018). با توجه به تحقیق Venkatachalam و همکاران (۲۰۱۷)، مولکول‌های پوشش داده‌شده نانوذرات اکسید روی، رشد نهال‌های سوبابل (*Leucaena leucocephala*) تحت تنش کادمیوم و سرب را نسبت به شاهد افزایش دادند. روی در مقیاس نانو باعث افزایش وزن خشک برگ، ساقه و ریشه گیاه رامی (*Boehmeria nivea*) تحت تنش

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18 ]
[ DOI: DOI: 10.22034/14.65.241 ]




**شکل ۲- اثر سطوح مختلف نانوذرات اکسید روی و دی‌اکسید تیتانیوم بر میزان کلروفیل a (A) و کلروفیل b (B) انگور سلطانی تحت سطوح مختلف کادمیوم در خاک. حروف غیر مشابه در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) است.**

کادمیوم شد (Gong *et al.*, 2017).

**غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی:** تنش کادمیم باعث کاهش معنی‌دار در میزان کلروفیل‌های *a* و *b* در برگ گیاهان انگور شد (شکل B و A–۲). کم‌ترین میزان کلروفیل *a* (۰/۹۹۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کلروفیل *b* (۰/۵۲۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم بدون اعمال تیمار نانوذره حاصل شد (شکل ۲). کاهش میزان کلروفیل در گیاهان تحت تنش کادمیوم در مطالعات قبلی مشخص شده است و این امر که کاهش فتوسنتز می‌تواند ناشی از کاهش (یا مهار) بیوسنتز و نیز تخریب کلروفیل در گیاهان تحت سمیت کادمیوم باشد، گزارش شده است (Shahabivand *et al.*, 2012). نتایج شکل ۲ نشان داد که کاربرد نانوذرات روی و تیتانیوم تا حد زیادی از کاهش غلظت کلروفیل *a* و *b* در سطوح مختلف کادمیوم جلوگیری کرد. بیش‌ترین میزان کلروفیل *a* (۱/٦٦٥ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کلروفیل *b* (۰/۹٦٥ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار نانوذره تیتانیوم در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بدون اعمال تنش کادمیوم مشاهده گردید (شکل B و A–۲). اثر مثبت دی‌اکسید تیتانیوم بر میزان فتوسنتز و محتوای کلروفیل در برنج در معرض همزمان با دی‌اکسید تیتانیوم–کادمیوم (Ji *et al.*, 2017) و سویا در معرض نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم تحت تنش کادمیوم (Singh and Lee, 2016) گزارش شده است. دی‌اکسید تیتانیوم تخریب کلروفیل را

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18 ]
[ DOI: DOI: 10.22034/14.65.241 ]

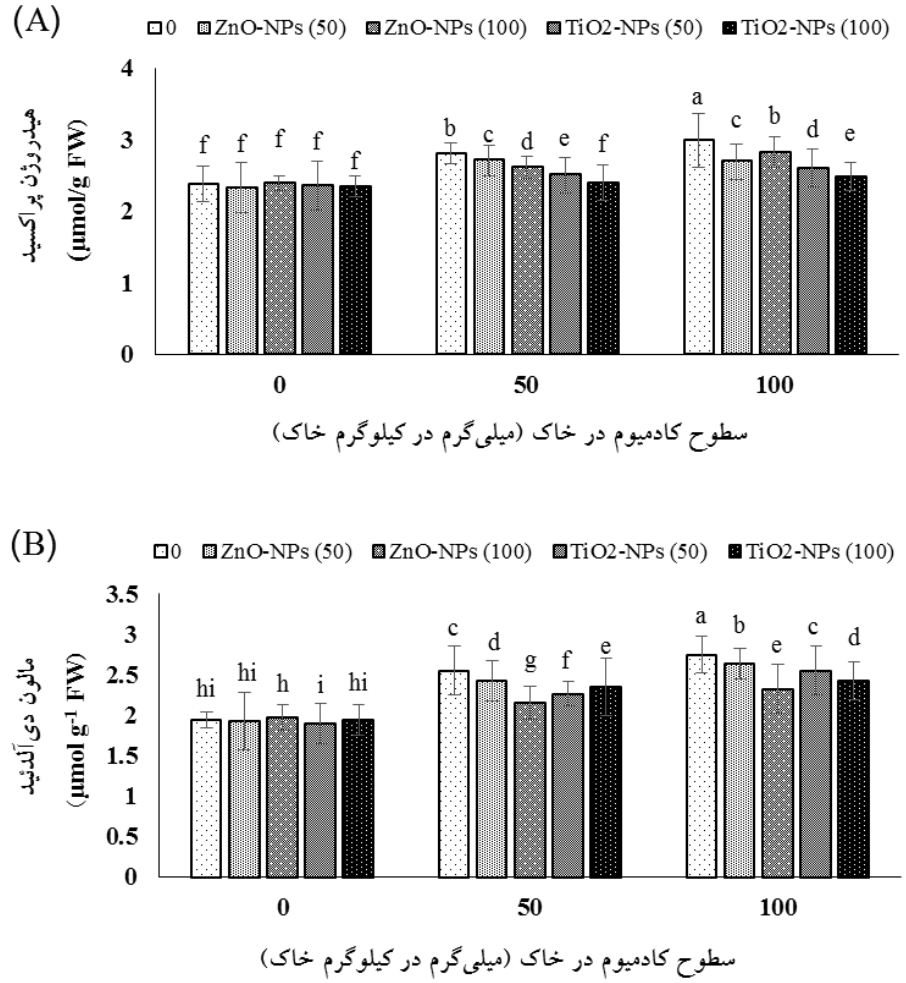
کاهش می‌دهد و بیوسنتز آن را تحریک می‌کند و می‌تواند فتوسنتز را با تثبیت کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها تقویت کند (Mohammadi *et al*., 2014). در این مطالعه، تأثیر نانوذره روی (در سطح ۱۰۰ میلی‌گرم) بر میزان کلروفیل *b* در گیاهان انگور سلطانی بیشتر از اثر نانوذره تیتانیوم تحت تنش ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم بود (شکل B–۲). مولکول‌های نانوذرات اکسید روی رنگدانه‌های فتوسنتزی را در نهال‌های سوبابل (*Leucaena leucocephala*) نسبت به شاهد افزایش دادند (Venkatachalam *et al*., 2017). محلول‌پاشی برگی نانوذرات روی باعث افزایش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی و فعالیت PSII در گیاه *Cucumis sativus* شد و حداکثر این پارامترها در سطح ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذره روی مشاهده شد (Ghani *et al*., 2022). محمودسلطانی و همکاران (۱۳۹۹) گزارش کردند که فلز روی با دخالت در تنظیم غلظت‌های سیتوپلاسمی آهن و منیزیم، در بیوسنتز کلروفیل و کاروتنوئیدها نقش مهمی را ایفا می‌کند.

**غلظت پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدهید و میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان:** نتایج شکل B و A–۳ نشان داد که افزایش غلظت کادمیوم در خاک (با کاربرد نانوذره و بدون نانوذره) باعث افزایش میزان پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدهید در انگور سلطانی شد بطوریکه بیشترین مقدار هر دو پارامتر در گیاهان با سطح کادمیوم ۱۰۰ میلی‌گرم و فاقد تیمار نانوذره ثبت شد. تنش اکسیداتیو در گیاهان را می‌توان با اندازه‌گیری محتوای $H_2O_2$ (به عنوان یکی از گونه‌های فعال اکسیژن) و مالون دی‌آلدهید (بیانگر سطح پراکسیداسیون اسیدهای چرب غشای سلول) در بافت‌های گیاهی ارزیابی کرد. به عبارتی افزایش مقادیر این شاخص‌ها بیانگر افزایش سطح تنش ناشی از سمیت فلز سنگین کادمیوم در گیاه انگور رقم سلطانی است. سمیت اصلی کادمیوم برای نهال‌های انگور تولید گونه‌های آزاد اکسیژن است که می‌تواند منجر به از بین رفتن یکپارچگی غشا و همچنین آسیب به پروتئین‌ها، لیپیدها و سایر مولکول‌های حیاتی شود (Rizwan *et al*., 2016). در کنار این یافته‌ها، نتایج مربوط به شکل B و A–٤ نشان داد که با افزایش سطح کادمیوم در خاک میزان فعالیت آنزیم‌های گایاکول پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز نیز افزایش معنی‌دار حاصل کرد. آنزیم سوپراکسید دیسموتاز باعث تبدیل رادیکال سمی سوپراکسید به پراکسید هیدروژن شده و آنزیم گایاکول پراکسیداز، پراکسید هیدروژن را به آب و اکسیژن تجزیه می‌کند. مشخص شده که آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نظیر سوپراکسید دیسموتاز (SOD) و گایاکول پراکسیداز (GPX) با مهار و تنظیم سطح گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) به گیاهان در معرض تنش کمک می‌کنند (Mushtaq *et al*., 2020). مطالعات نشان داده‌اند که افزایش فعالیت GPX و SOD در گیاهان نشان‌دهنده افزایش تحمل در برابر سمیت تنش غیرزیستی است (Zhang *et al*., 2017) و آسیب اکسیداتیو ناشی از افزایش سطح پراکسید هیدروژن و رادیکال سوپراکسید (که این رادیکال‌ها می‌توانند منجر به افزایش سطح مالون دی‌آلدهید شوند) را کاهش می‌دهد (Jahan *et al*. 2018). در این تحقیق، افزایش محتوای پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدهید در گیاهان انگور سلطانی با وجود افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نشان‌دهنده این موضوع است که افزایش سطح این آنزیم‌ها کافی برای غلبه بر میزان بالای این دو شاخص تنش اکسیداتیو (یعنی پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدهید) نبوده است.

از طرفی تیمار نانوذرات روی و تیتانیوم باعث کاهش معنی‌دار در غلظت پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدهید در سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم در خاک شد، هر چند که نانوذرات اثر معنی‌داری بر این دو پارامتر در سطح صفر کادمیوم نداشتند (شکل B و A–۳). در کنار این یافته‌ها، نتایج مربوط به شکل B و A–٤ نشان داد که کاربرد برگی نانوذرات روی و تیتانیوم در خاک فاقد تیمار کادمیوم اثر معنی‌داری بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نداشت ولی در تیمار ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم بالارفتن فعالیت آنزیم‌های گایاکول پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز به طور معنی‌دار در مقایسه با گیاهان فاقد نانوذرات شد. نانوذرات اکسید روی به شدت باعث افزایش رشد، پارامترهای فیزیولوژیکی و فعالیت آنزیم‌های

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18 ]

[ DOI: DOI: 10.22034/14.65.241 ]

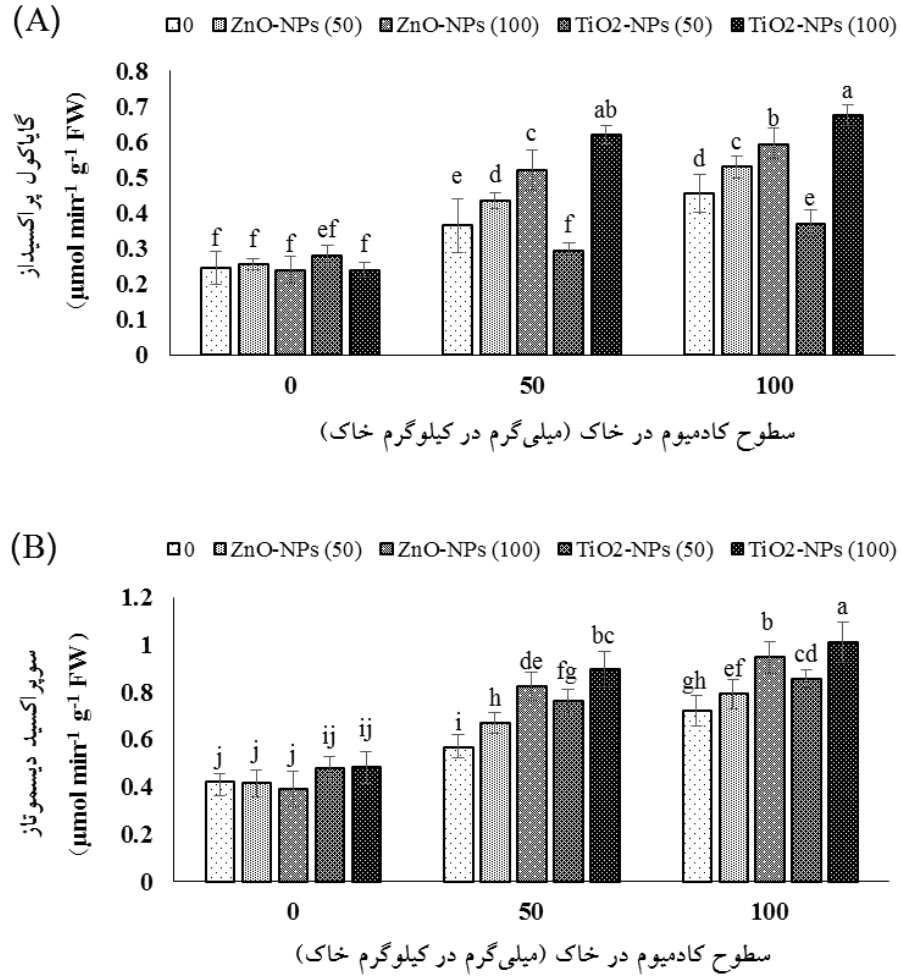



**شکل ۳- اثر سطوح مختلف نانوذرات اکسید روی و دی‌اکسید تیتانیوم بر میزان پراکسید هیدروژن (A) و مالون دی‌آلدهید (B) انگور سلطانی تحت سطوح مختلف کادمیوم در خاک. حروف غیر مشابه در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) است.**

آنتی‌اکسیدان پنبه (*Gossypium hirsutum*) شد و در عین‌حال محتوای MDA را در گیاهان کاهش داد (Priyanka and Venkatachalam, 2016). عنصر روی به کاهش تنش اکسیداتیو ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن کمک می‌کند و منجر به افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند GPX و SOD می‌شود (Praveen *et al.*, 2018). تأثیر نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بر افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی و رشد گیاه در چندین مطالعه گزارش شده است (Emamverdian *et al.*, 2021; Singh *et al.*, 2012). این افزایش را می‌توان به نقش القایی نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم در افزایش سیگنال‌دهی مرتبط با فعال‌شدن فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نسبت داد (Emamverdian *et al.*, 2021).

به نظر می‌رسد نانوذرات با تحریک بیان ژن‌های مسئول SOD و GPX در گیاهانی که در معرض تنش فلزات سنگین قرار دارند، نقش اصلی را در فعال‌سازی ژن‌های مسئول آنتی‌اکسیدانی ایفا می‌کنند (Kohli *et al.*, 2018). گزارش شده است که نانوذرات باعث تحریک ایجاد موانع آپوپلاستی شده و غلظت فلز سنگین را در سیستم ریشه کاهش می‌دهند. علاوه بر این، نانوذرات می‌توانند بر دینامیک تنظیمی ژن‌های ناقل فلز در سلول‌های گیاهی تأثیر بگذارند، در نتیجه کمپلکس‌های پایدار را با فلز سنگین رهگیری کرده و تشکیل می‌دهند و بدین ترتیب جابه‌جایی آن‌ها را در گیاه مختل می‌کنند

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18 ]
[ DOI: DOI: 10.22034/14.65.241 ]




**شکل ٤- اثر سطوح مختلف نانوذرات اکسید روی و دی‌اکسید تیتانیوم بر میزان فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز (A) و سوپراکسید دیسموتاز (B) انگور سلطانی تحت سطوح مختلف کادمیوم در خاک. حروف غیرمشابه در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) است.**

(Manzoor *et al.*, 2023). با توجه به نتایج این تحقیق و گزارشاتی که از تحقیقات قبلی انجام گرفته می‌توان گفت که نانوذرات تیتانیوم و روی احتمالاً با تأثیر بر بیان ژن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (از طریق مکانیسم‌هایی که نیاز به تحقیقات بیشتر دارد) و نیز افزایش فعالیت این آنزیم‌ها و در پی آن کم شدن تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن (مانند پراکسید هیدروژن) و کاهش تولید مالون دی‌آلدهید، باعث افزایش تولید زیست‌توده در گیاه انگور سلطانی تحت سمیت کادمیوم در خاک شده است.

## نتیجه‌گیری

نتایج بدست آمده از این پژوهش نشان داد تنش کادمیوم موجب کاهش صفات رشدی شامل وزن خشک برگ و ریشه و رنگیزه‌های فتوسنتزی شده و در مقابل باعث افزایش میزان شاخص‌های تنش یعنی پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدهید و نیز فعالیت آنزیم‌های GPX و SOD در انگور سلطانی سفید شد. در این پژوهش کاربرد نانوذرات اکسید روی و دی‌اکسید تیتانیوم سبب بهبود پارامترهای رشدی، رنگیزه‌های فتوسنتزی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شده و از طریق کاهش میزان پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدهید اثرات ناشی از تنش کادمیوم را تعدیل کرد. می‌توان نتیجه گرفت که محلول‌پاشی نانوذرات اکسید روی و دی‌اکسید تیتانیوم در غلظت‌های اعمال

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18 ]
[ DOI: DOI: 10.22034/14.65.241 ]

شده تا حدودی باعث افزایش مقاومت به تنش کادمیوم در گیاه انگور رقم سلطانی سفید می‌شود.

## منابع


احمدی، کریم، عبادزاده، حمیدرضا، عبدشاه، هلدا، حاتمی، فرشاد، و حسین‌پور، ربابه (۱۳۹٦). آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۹٦: محصولات باغبانی. مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات وزارت جهاد کشاورزی.

ثریا، احسان، گوهری، غلامرضا، مطلبی‌آذر، علیرضا، و علیزاده، سعیده، (۱۳۹۹). تأثیر نانواکسید روی بر مراحل ضدعفونی، استقرار و پرآوری درون شیشه‌ای گیاه بادرنجبویه. *فیزیولوژی محیطی گیاهی*، ٦۰، ٦۰-٤۸.

دولتی بانه، حامد (۱۳۹٥). انگور (مدیریت جامع کشت، پرورش، تولید و فراوری). انتشارات دانشگاه کردستان، سنندج.

محمودسلطانی، شهرام، الهقلی‌پور، مهرزاد، شکوری کتیگری، مریم، پیکان، مریم، شعبانزاده، حمید، عطار، افشین، طبالوندی علی، و کشتکار، فاطمه، (۱۳۹۹). بررسی تأثیر کاربرد همزمان مصرف خاکی و محلولپاشی کود سولفات روی بر عملکرد، مقدار پروتئین دانه و محتوای روی در اندام‌های گیاه برنج در مراحل مختلف رشد. *نشریه پژوهش‌های خاک*، ۳٤(۳)، ۳۲۸-۳۰۹. dor:20.1001.1.22287124.1399.34.3.2.9

Abbas, T., Rizwan, M., Ali, S., Zia-ur-Rehman, M., Qayyum, M. F., Abbas, F., ... & Ok, Y. S. (2017). Effect of biochar on cadmium bioavailability and uptake in wheat (*Triticum aestivum* L.) grown in a soil with aged contamination. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *140*, 37-47. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.02.028

Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, *23*, 112-121.

Bajguz, A. (2010). An enhancing effect of exogenous brassinolide on the growth and antioxidant activity in *Chlorella vulgaris* cultures under heavy metals stress. *Environmental and Experimental Botany*, *68*(2), 175-179. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.11.003

Chance, A, & Maehly, A. C. (1955). Assay of catalases and peroxidase. *Methods in Enzymology*, *2*, 764-775. doi:10.1002/9780470110171.ch14

Emamverdian, A., Ding, Y., Mokhberdoran, F., Ahmad, Z., & Xie, Y. (2021). The investigation of $TiO_2$ NPs effect as a wastewater treatment to mitigate Cd negative impact on bamboo growth. *Sustainability*, *13*(6), 1-17. https://doi.org/10.3390/su13063200

FAO, (2016). Food and Agricultural Organization and International Organization of Vine and Wine (FAO-OIV), 2016. FAO-OIV Focus, Table and Dried Grapes. Available online at: http://www.fao.org/3/a-i7042e.pdf

Ghani, M. I., Saleem, S., Rather, S. A., Rehmani, M. S., Alamri, S., Rajput, V. D., Liu, M. (2022). Foliar application of zinc oxide nanoparticles: An effective strategy to mitigate drought stress in cucumber seedling by modulating antioxidant defense system and osmolytes accumulation. *Chemosphere*, *289*, 133202. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133202

Giannopolitis, C. N, & Ries, S. K. (1977). Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiology*, *59*(2), 309-14. doi: 10.1104/pp.59.2.309

Gohari, G., Mohammadi, A., Akbari, A., Panahirad, S., Dadpour, M. R., Fotopoulos, V., & Kimura, S. (2020). Titanium dioxide nanoparticles ($TiO_2$ NPs) promote growth and ameliorate salinity stress effects on essential oil profile and biochemical attributes of *Dracocephalum moldavica*. *Scientific Reports*, *10*(1), 912. https://doi.org/10.1038/s41598-020-57794-1

Gong, X., Huang, D., Liu, Y., Zeng, G., Wang, R., Wan, J., ... & Xue, W. (2017). Stabilized nanoscale zerovalent iron mediated cadmium accumulation and oxidative damage of *Boehmeria nivea* (L.) Gaudich cultivated in cadmium contaminated sediments. *Environmental Science and Technology*, *51*(19), 11308-11316. https://doi.org/10.1021/acs.est.7b03164

Heath, R. L, & Packer, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, *125*, 189-198. doi: 10.1016/0003-9861(68)90654-1

Jahan, S., Alias, Y. B., Bakar, A. F. B. A., & Yusoff, I. B. (2018). Toxicity evaluation of ZnO and $TiO_2$ nanomaterials in hydroponic red bean (*Vigna angularis*) plant: Physiology, biochemistry and kinetic transport. *Journal of Environmental Sciences*, *72*, 140-152. https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.12.022

Ji, Y., Zhou, Y., Ma, C., Feng, Y., Hao, Y., Rui, Y., ... & Cao, W. (2017). Jointed toxicity of $TiO_2$ NPs and Cd to rice seedlings: NPs alleviated Cd toxicity and Cd promoted NPs uptake. *Plant Physiology and Biochemistry*, *110*, 82-93. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.05.010


[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18 ]

[ DOI: DOI: 10.22034/14.65.241 ]

Kohli, S. K., Handa, N., Sharma, A., Gautam, V., Arora, S., Bhardwaj, R., ... & Ahmad, P. (2018). Combined effect of 24-epibrassinolide and salicylic acid mitigates lead (Pb) toxicity by modulating various metabolites in *Brassica juncea* L. seedlings. *Protoplasma*, *255*(1), 11-24. https://doi.org/10.1007/s00709-017-1124-x

Lian, J., Zhao, L., Wu, J., Xiong, H., Bao, Y., Zeb, A., ... & Liu, W. (2020). Foliar spray of $TiO_2$ nanoparticles prevails over root application in reducing Cd accumulation and mitigating Cd-induced phytotoxicity in maize (*Zea mays* L.). *Chemosphere*, *239*, 124794. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124794

Manzoor, A. M., Xu, Y., Lv, Z., et al. (2023). Nanotechnology-based approaches for promoting horticulture crop growth, antioxidant response and abiotic stresses tolerance. *Plant Stress 11*, 100337. https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100337

Mohammadi, R., Maali-Amiri, R., & Mantri, N. L. (2014). Effect of $TiO_2$ nanoparticles on oxidative damage and antioxidant defense systems in chickpea seedlings during cold stress. *Russian Journal of Plant Physiology*, *61*(6), 768-775. https://doi.org/10.1134/S1021443714050124

Moradi, R., Pourghasemian, N., & Naghizadeh, M. (2019). Effect of beeswax waste biochar on growth, physiology and cadmium uptake in saffron. *Journal of Cleaner Production*, *229*, 1251-1261. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.047

Mushtaq, T., Shah, A. A., Akram, W., & Yasin, N. A. (2020). Synergistic ameliorative effect of iron oxide nanoparticles and *Bacillus subtilis* S4 against arsenic toxicity in *Cucurbita moschata*: Polyamines, antioxidants, and physiochemical studies. *International Journal of Phytoremediation*, *22*(13), 1408-1419. https://doi.org/10.1080/15226514.2020.1781052

Praveen, A., Khan, E., Ngiimei, D. S., Perwez, M., Sardar, M., & Gupta, M. (2018). Iron oxide nanoparticles as nano-adsorbents: A possible way to reduce arsenic phytotoxicity in Indian mustard plant (*Brassica juncea* L.). *Journal of Plant Growth Regulation*, *37*(2), 612-624. https://doi.org/10.1007/s00344-017-9760-0

Priyanka, N, & Venkatachalam, P. (2016). Biofabricated zinc oxide nanoparticles coated with phycomolecules as novel micronutrient catalysts for stimulating plant growth of cotton. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, *7*(4), 5018. doi: 10.1088/2043-6262/7/4/045018

Rasool, S., Urwat, U., Nazir, M., Zargar, S. M., & Zargar, M. Y. (2018). Cross talk between phytohormone signaling pathways under abiotic stress conditions and their metabolic engineering for conferring abiotic stress tolerance. *Abiotic Stress-Mediated Sensing and Signaling in Plants: An Omics Perspective*, 329-350. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7479-0_12

Rizwan, M., Ali, S., Abbas, T., Zia-ur-Rehman, M., Hannan, F., Keller, C., ... & Ok, Y. S. (2016). Cadmium minimization in wheat: A critical review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *130*, 43-53. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.04.001

Sergiev, I., Alexieva, V., & Karanov, E. (1997). Effect of spermine, atrazine and combination between them on some endogenous protective systems and stress markers in plants. *Comptes Rendus de L'Academie Bulgare des Sciences 51*, 121-124. doi: 10.1046/j.1365-3040.2001.007

Shah, J., Dave, S., Vyas, A., et al. (2019). Nanomaterials-based next generation synthetic enzymes: Current challenges and future opportunities in biological applications. *Nanotechnology in Modern Animal Biotechnology: Concepts and Applications*, 37-58. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818823-1.00004-1

Shahabivand, S., Maivan, H. Z., Goltapeh, E. M., Sharifi, M., & Aliloo, A. A. (2012). The effects of root endophyte and arbuscular mycorrhizal fungi on growth and cadmium accumulation in wheat under cadmium toxicity. *Plant Physiology and Biochemistry*, *60*, 53-58. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.07.018

Siddiqui, M. H., Al-Whaibi, M. H., Faisal, M., & Al Sahli, A. A. (2014). Nano-silicon dioxide mitigates the adverse effects of salt stress on *Cucurbita pepo* L. *Environmental Toxicology and Chemistry*, *33*(11), 2429-37. https://doi.org/10.1002/etc.2697

Singh, D., Kumar, S., Singh, S. C., Lal, B., & Singh, N. B. (2012). Applications of liquid-assisted pulsed laser ablation synthesized $TiO_2$ nanoparticles on germination, growth and biochemical parameters of *Brassica oleracea* var. Capitata. *Science of Advanced Materials*, *4*(3-4), 522-531. https://doi.org/10.1166/sam.2012.1313

Singh, J, & Lee, B. K. (2016). Influence of nano-$TiO_2$ particles on the bioaccumulation of Cd in soybean plants (*Glycine max*): A possible mechanism for the removal of Cd from the contaminated soil. *Journal of Environmental Management*, *170*, 88-96. doi: 10.1016/j.jenvman.2016.01.015

Soejima, A, & Wen, J. (2006). Phylogenetic analysis of the grape family (Vitaceae) based on three chloroplast markers. *American Journal of Botany*, *93*(2), 278-287. doi: 10.3732/ajb.93.2.278

Venkatachalam, P., Jayaraj, M., Manikandan, R., Geetha, N., Rene, E. R., Sharma, N. C., & Sahi, S. V. (2017). Zinc oxide nanoparticles (ZnONPs) alleviate heavy metal-induced toxicity in *Leucaena leucocephala* seedlings: A physiochemical analysis. *Plant Physiology and Biochemistry*, *110*, 59-69. doi: 10.1016/j.plaphy.2016.08.022

White, P. J, & Brown, P. H. (2010). Plant nutrition for sustainable development and global health. *Annals of botany*, *105*, 1073-1080. doi: 10.1093/aob/mcq085

Worms, I. A., Boltzman, J., Garcia, M., & Slaveykova, V. I. (2012). Cell-wall-dependent effect of carboxyl-CdSe/ZnS

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18 ]

[ DOI: DOI: 10.22034/14.65.241 ]

quantum dots on lead and copper availability to green microalgae. *Environmental Pollution*, *167*, 27-33. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.03.030

Zhang, P., Ma, Y., Liu, S., Wang, G., Zhang, J., He, X., ... & Zhang, Z. (2017). Phytotoxicity, uptake and transformation of nano-$CeO_2$ in sand cultured romaine lettuce. *Environmental Pollution*, *220*, 1400-1408. doi: 10.1016/j.envpol.2016.10.094

Zulfiqar, U., Jiang, W., Xiukang, W., et al. (2022). Cadmium phytotoxicity, tolerance, and advanced remediation approaches in agricultural soils; A comprehensive review. *Frontiers in Plant Science*, *13*, 773815. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.773815

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18 ]

[ DOI: DOI: 10.22034/14.65.241 ]

# Effect of zinc oxide- and titanium dioxide-nanoparticles on some growth parameters and antioxidant enzymes of grape cv. Sultana under cadmium toxicity

**Saleh Shahabivand [1], Hossein Shaebani[1], Gholemreza Gohari[2], Ahmad Aghaee [1*]**

**[1]Department of Biology, Faculty of Basic Sciences, University of Maragheh, Maragheh, Iran**
**[2] Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran**
**(Received: 2024/03/02, Accepted: 2024/06/24)**

**Abstract**

Among the toxic heavy metals is cadmium, which is considered as a potential risk for humans and other organisms and requires more attention to prevent this metals to entering the food chain. In recent years, along with the development of nanotechnology, it has been used to advance environmental goals. In order to study the effect of zinc oxide- and titanium dioxide-nanoparticles on white grape (cv. Sultana) seedlings under Cd stress, a factorial experiment was conducted based a completely randomized design with three replicates. The first factor was cadmium stress at three levels (0, 50 and 100 mg/kg soil) and the second factor was the spraying of the nanoparticles of zinc oxide and titanium dioxide at 3 levels (0, 50 and 100 mg $L^{-1}$). The results showed that cadmium stress significantly reduced the growth parameters and photosynthesis pigments, and increased $H_2O_2$ and malondialdehyde (MDA) contents and antioxidant enzymes activity of guaiacol peroxidase (GPX) and super oxide dismutase (SOD). Foliar application of zinc oxide- and titanium dioxide-nanoparticles improved morphological characteristics, photosynthetic pigments and enzymatic antioxidants but reduced MDA and $H_2O_2$ contents under cadmium stress. Based on the results of this research, it seems that foliar spraying the nanoparticles of zinc oxide and titanium dioxide (especially at the concentration of 100 mg $L^{-1}$), can improves the growth, photosynthetic pigments and antioxidant enzymes activity under cadmium stress, and increases plant tolerance to harmful effect of this toxic metal in grape cv. Sultana.

**Keywords:** Cadmium, Grape cv. Soltani, Nanoparticle, Zinc, Titanium, Tolerance

Corresponding author, Email: aghaee2001@yahoo.com

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18 ]

[ DOI: DOI: 10.22034/14.65.241 ]