

# اثر نانو ذره و بالک اکسید روی بر الگوی تمایز بافتی در گیاه بادرنجبویه (*Melissa officinalis*)

سمیه خیری\*<sup>۱</sup> ID و عالمه باباجانی<sup>۲</sup>

۱- استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران  
۲- گروه زیست‌شناسی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

\*نویسنده مسئول: سمیه خیری، دکتری تخصصی، [kheiri@rifr-ac.ir](mailto:kheiri@rifr-ac.ir)

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۷/۲ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۹/۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱۱/۷

## چکیده

**پیشینه و هدف:** این تحقیق به منظور شناخت پاسخ های آناتومیک گیاه بادرنجبویه به نانو اکسید روی (nZnO) انجام شد.

**روش بررسی:** این تحقیق nZnO در غلظت های ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم در لیتر انجام شد.  
**نتایج:** نتایج حاصل از بررسی های میکروسکوپی نشان داد که گروه nZnO300 بیشترین قطر استوانه مرکزی و بیشترین قطر زایلیم و قطر فلوئم را در ریشه نسبت به شاهد داشتند. بررسی برش عرضی ساقه نشان داد که بیشترین قطر ساقه در گروه nZnO100 مشاهده شد. بیشترین ضخامت کلانشیم و قطر استوانه مرکزی و قطر فلوئم و زایلیم نیز در nZnO100 ثبت شد. از مقایسه برش های عرضی برگ های تیمارها ملاحظه شد که ضخامت اپیدرم بالایی، ضخامت اپیدرم پایینی، قطر زایلیم، ضخامت پارانشیم نرده ای و اسفنجی در گروه nZnO100 نسبت به شاهد افزایش معنی دار داشت. مقایسه برش های عرضی دمبرگ مشخص کرد که ضخامت اپیدرم بالایی و پایینی و قطر فلوئم و زایلیم مرکزی و ضخامت فلوئم و زایلیم جانبی در تمامی گروه های تیماری نسبت به شاهد کاهش معنی دار داشته است.

**نتیجه گیری:** نتایج این تحقیق شواهد آناتومیک را ارائه نمود که بیانگر تغییرات اساسی در سرنوشت تمایز سلول‌ها و تشکیل بافت‌ها دارد. تحقیقات آینده برای برقراری ارتباط بین شواهد فیزیولوژیک، مولکولی و آناتومیک برای شناخت دقیق تاثیر محصولات نانو بر کل زندگی گیاهان به ویژه گیاهان زراعی و دارویی ضرورت دارد.

**واژه‌های کلیدی:** نانو مواد، زینک اکسید، بادرنجبویه، آناتومی، بافت

## مقدمه

رشد، فیزیولوژی و بهره‌وری گیاه تأکید می‌کنند. در میان ترکیبات مختلف نانو اکسید فلز، نانو اکسید روی (nZnO) بیشترین استفاده را برای فعالیت های تجاری مختلف دارد (Tripathi et al. 2017). علاوه بر این، مشاهدات محدود و متناقضی در مورد اثربخشی nZnO بر رشد و متابولیسم گیاه وجود دارد. دهه اخیر شاهد پیشرفت های چشمگیری در زمینه علوم و فناوری نانو بوده است که راه را برای برآورده کردن انتظارات در زمینه های مختلف مانند کشاورزی، زیست

علم و فناوری نانو فرصت بزرگی را برای تولید نانومحصولات منحصر به فرد جدید به منظور ارتقا راندمان تولید در صنایع مختلف از جمله تولید گیاهان در کشاورزی نوین فراهم کرده است. با در نظر گرفتن ترکیبات نانو مشتق شده از اکسیدهای فلزی، چندین سری از شواهد مطالعاتی دلالت بر مزایا و سمیت گیاهی نانوذرات فلز و اکسید فلز در

نمونه‌ها مورد برش عرضی به روش برشگیری دستی قرار گرفتند. در مراحل بعدی، نمونه‌ها آماده سازی و رنگ آمیزی برش‌ها انجام شد. به طور خلاصه، نمونه‌ها در شیشه ساعت محتوی آب ژاول یا هیپوکلریت سدیم (وایتکس) قرار داده شد (۲۰-۱۰ دقیقه). آب ژاول را خالی نموده و مقاطع را با آب مقطر شستشو داده شد. به شیشه ساعت محتوی مقاطع، اسید استیک ۵-۳٪ ریخته و به مدت ۱ تا ۵ دقیقه بماند و سپس با آب مقطر شستشو انجام شد. در مرحله بعد رنگ آمیزی انجام شد ابتدا نمونه‌ها در رنگ کارمن به مدت ۱۰ تا ۱۵ دقیقه قرار داده و سپس شستشو انجام شد. در مرحله بعد از رنگ متیلن بلو به مدت ۳۰ ثانیه استفاده شد و شستشو انجام شد (شستشو تا جایی ادامه یافت که رنگ از مقاطع بیرون نیاید). برش‌ها زیر میکروسکوپ نوری مشاهده شد و تصویر آنها تهیه شد. با استفاده از لام میکرومتر اسکل‌گذاری و با استفاده از نرم افزار میکرومیترمنت بررسی‌ها انجام شد.

**آنالیز آماری:** اطلاعات حاصله با استفاده از نرم افزار آماری SPSS مورد آنالیز آماری قرار گرفت.

## نتایج

**اثر نانو ذره و بالک اکسید روی بر ساختار ریشه:** در برش عرضی ریشه گیاه شاهد به ترتیب از خارج به داخل اپیدرم (محل تولید تارهای کشنده در ریشه تشکل از یک لایه سلول‌هایی با دیواره نازک، فشرده و بدون فضای بین سلولی)، پارانشیم پوست (متشکل از سلول‌های کروی و بیضی شکل با دیواره نازک و همگن که فضای بین سلولی در بین سلول‌های آن مشاهده می‌شود) آندودرم (درونی‌ترین لایه پوست، مشخص کننده مرز بین پوست و استوانه آوندی، متشکل از ردیفی از سلول‌های مشخص، فشرده و به شکل مکعب مستطیل)، دایره محیطیه (خارجی‌ترین لایه استوانه آوندی متشکل از یک لایه سلول پارانشیمی و تخصص نیافته که دارای تمایز یافتگی اندک می‌باشد، گزیلم (چوب)، فلوئم و مغز مشاهده می‌شود.

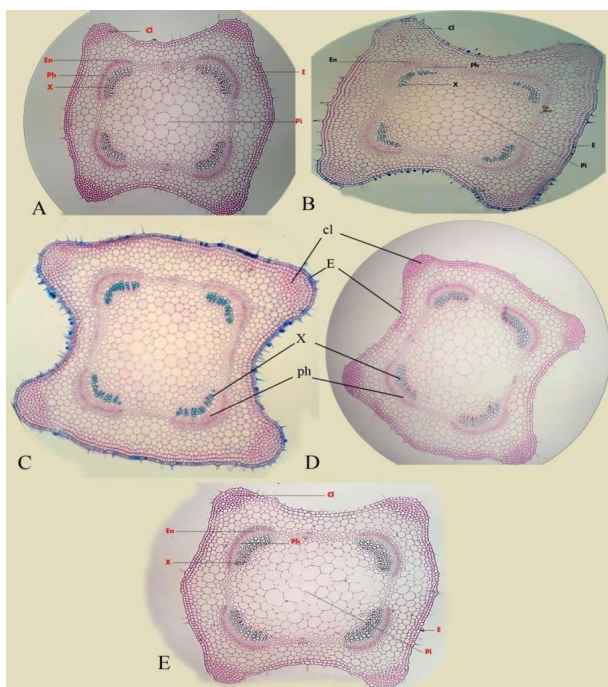
نتایج حاصل از بررسی تغییرات میکروسکوپی نشان داد که در تیمار غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم نانو اکسید روی و فلز اکسید روی بالک بیشترین قطر استوانه مرکزی و بیشترین قطر زایلیم و قطر فلوئم را نسبت به شاهد داشتند تعداد لایه‌های زایلیم و فلوئم در همه تیمارهای نانو اکسید و بالک روی و نسبت به شاهد به طور معنی دار افزایش پیدا کرده است. تاثیر فلز اکسید روی بالک ۳۰۰ میلی‌گرم نسبت به نانوذره بسیار قابل توجه بود و افزایش چشمگیری در قطر

شناسی، غذا و دارو هموار می‌کند. در میان انواع مختلف مواد با مقیاس نانو، نانوذرات اکسید روی (ZnONPs) یکی از پرکاربردترین مواد نانو در صنایع مختلف از جمله کشاورزی است. مطالعات متعددی در رابطه با خطرات و مزایای بالقوه مرتبط با استفاده از ZnONP در کشاورزی انجام شده است. استفاده از ZnONPs به عنوان یک استراتژی کارآمد برای برآورده کردن انتظارات کشاورزان با افزایش متابولیسم کربن و نیتروژن (Sun et al., 2020)، تنظیم سیستم آنتی اکسیدانی (Faizan et al., 2021)، افزایش تجمع زیستی روی (Hussain et al., 2018) پیشنهاد شده است. بر اساس گزارشات علمی، ZnONP تحمل گیاه را در برابر شرایط تنش‌زا مانند آرسنیک (Wu et al., 2020; Yan et al., 2021)، کادمیوم (Hussain et al., 2021) و خشکی (al., 2018; Adrees et al., 2020) بهبود داده است. علاوه بر این، نانوکامپوزیت ZnO کپسوله شده با کیتوزان به عنوان یک محرک بسیار قوی برای برآوردن الزامات در زمینه کشت سلول، بافت و اندام گیاهی معرفی شده است (Asgari et al., 2021). از سوی دیگر، سمیت سلولی و سمیت ژنتیکی ZnONPs در *Hordeum vulgare* (Plaksenkova et al., 2020)، برنج (Sheteiwiy et al. 2017)، و داتورا استرامونیوم (Vafae et al., 2022) گزارش شده است. ZnONPs باعث افزایش تنظیم در miR156 و کاهش در miR159 در نهال‌های *Hordeum vulgare* در مراحل اولیه رشد شدند (Plaksenkova et al., 2020). با این حال، این مطالعات بیشتر مربوط به فیزیولوژی گیاه محدود شده است. در حالی که مشخص نیست که آیا استفاده از ZnONPs روی آناتومی گیاه تاثیر می‌گذارد؟ با توجه به خلا تحقیقات آناتومیک در این زمینه، در این تحقیق به مقایسه الگوی تمایز بافتی در گیاه بادرنجبویه بدنبال اعمال تیمار نانوزینک اکسید پرداخته شد.

**مواد:** محصول nZnO با اندازه ۱۰-۳۰ نانومتر از شرکت US Research Nanomaterials, Inc. 3302 Twig Leaf Lane Houston, TX 77084, USA تهیه شد. دانه رسته‌های ۴۰ روزه که درون گلدان‌های یک کیلوگرمی در بستر ورمی کولیت و پرلیت (بدون خاک) کشت شده بودند مورد تیمار اکسید روی در دو فرم بالک و نانو قرار گرفتند. برای اعمال تیمارها، نمونه‌ها با محلول غذایی هوگلند حاوی بالک و نانو اکسید روی در غلظت‌های ۰، ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر با فاصله سه روز و آب برای بقیه روزها در طی ۶ هفته در ۵ گروه تیماری آبیاری شدند.

**تهیه مقاطع از بافت‌های گیاه و مطالعات میکروسکوپی:** نمونه‌ها در فیکساتور حاوی الکل-گلیسرین (۳۰:۷۰) تثبیت شد.

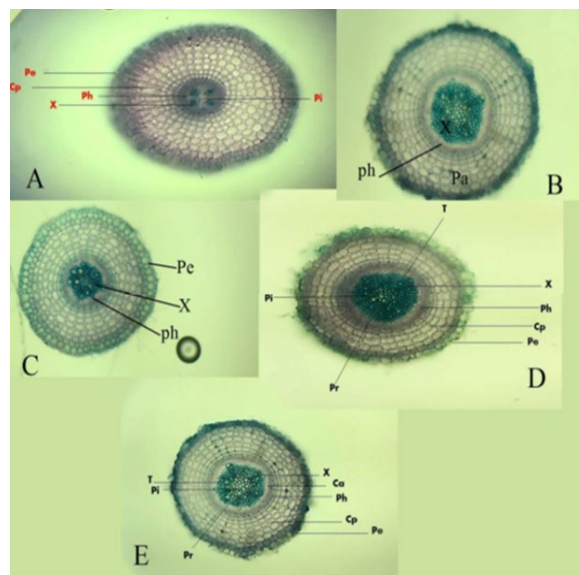
است. در بقیه تیمارها به غیر از نانوذره اکسید روی ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار داشتند. ضخامت کلانشیم و قطر استوانه مرکزی و قطر فلوئم و زایلیم نیز در نانوذره و بالک و اکسید روی ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نسبت به سایر تیمارها نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار داشته است. در برداشت دوم و برش عرضی ساقه افزایش معنی‌دار قطر ساقه، ضخامت ساقه ضخامت کلانشیم، قطر استوانه مرکزی در همه تیمارهای نانوذره اکسید روی و بالک ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده شد (شکل ۲).



**شکل ۲- برش عرضی ساقه گیاه بادرنجبویه تحت تیمارهای مختلف نانو ذره و بالک روی، E- اپیدرم، Ph- آوند آبکش، X- آوند چوب، Pe- پریدرم، مغزی، Pi- پارانشیم مغزی، Cl- سلول‌های کلانشیم، En آندودرم؛ A: شاهد، B: نانو اکسید روی ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، C: بالک اکسید روی ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، D: نانو اکسید روی ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، E: بالک اکسید روی ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر (بزرگنمایی ۱۰).**

**اثر نانوذره و بالک اکسید روی بر ساختار برگ:** در برش عرضی پهنک برگ سه نوع بافت اصلی مشاهده می‌شود: الف) بافت اپیدرم که معمولاً از سلول‌های اپیدرم و سلول‌های روزنه‌ای تشکیل شده است. اپیدرم خود می‌باشد بافت اپیدرم به شکل یک لایه سلول‌های به (U.e) و زیرین (L.e) شامل دو بخش اپیدرم زیرین هم فشرده است که سطح خارجی آن کوتین است. ب) بافت مزوفیل: بلافاصله زیر اپیدرم لایه‌های بافت پارانشیم ندره‌ای و اسفنجی مشاهده می‌شود. ج) رگبرگ‌ها یا دسته‌های آوندی: بخشی دیگر در پهنک هستند که شامل رگبرگ‌های اصلی و فرعی می‌باشند در ناحیه

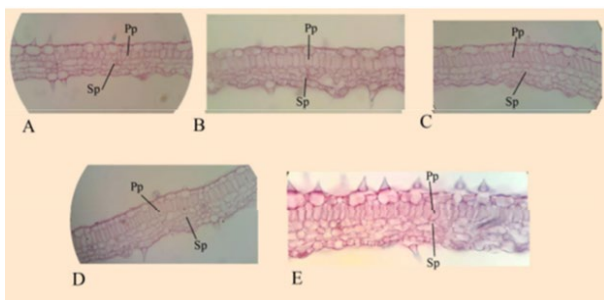
ریشه و قطر استوانه مرکزی، قطر فلوئم و قطر زایلیم داشته است. به لحاظ عرض کورتکس تفاوت معنی‌داری بین شاهد و نانوذره اکسید روی ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر دیده نشد. در برداشت دوم که ۲ ماه پس از آخرین تیمار بود قطر استوانه مرکزی و قطر آوندها نسبت به شاهد در تیمار نانواکسید روی ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر افزایش معنی‌دار داشت (شکل ۱).



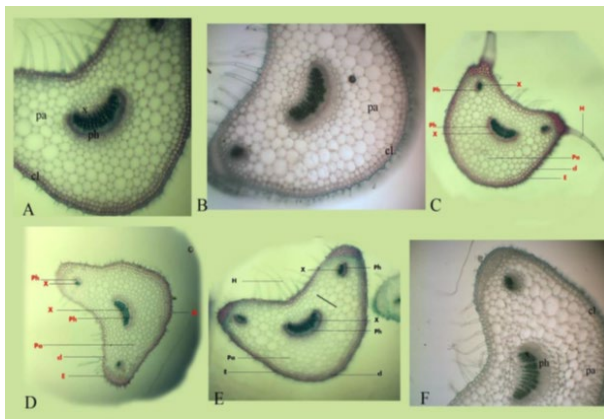
**شکل ۱- برش عرضی ریشه گیاه بادرنجبویه تحت تیمارهای مختلف نانو ذره و بالک روی، E- اپیدرم، Ph- آوند آبکش، X- آوند چوب، Pe- پریدرم، کورتکس پارانشیم، Pr- اشعه مغزی، T- تراکتید، Pi- پارانشیم مغزی، A: شاهد، B: نانو اکسید روی ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، C: بالک اکسید روی ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، D: نانو اکسید روی ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، E: بالک اکسید روی ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر (بزرگنمایی ۱۰).**

**اثر نانوذره و بالک اکسید روی بر ساختار ساقه:** در برش عرضی ساقه گیاه مشاهده‌های میکروسکوپی نشان داد که لایه کوتیکول روی اپیدرم دیده می‌شود لایه بعدی لایه اپیدرم که به عنوان خارجی‌ترین لایه روی پوست دیده می‌شود در زیر آن بافت پارانشیم مشاهده می‌شود که بین اپیدرم و استوانه مرکزی قرار دارد و از چند ردیف سلول‌های کروی شکل تشکیل شده است. استوانه مرکزی شامل دسته‌های آبکش به سمت خارج و چوب به سمت داخل است. در قسمت میانی مغز ساقه قرار دارد که از سلول‌های پارانشیم کروی درشت با دیواره نازک تشکیل شده است. نتایج برش عرضی ساقه نشان داد که بیشترین قطر ساقه در غلظت نانو ذره اکسید روی ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و بالک اکسید روی ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بود که میزان افزایش نانوذره بیشتر از بالک بود. همچنین ضخامت ساقه در تیمار نانوذره اکسید روی ۱۰۰ میلی‌گرم بیشترین مقدار را داشته

پایینی و قطر فلوئم و زایلیم مرکزی و ضخامت فلوئم و زایلیم جانبی نسبت به شاهد کاهش معنی‌دار داشته است. اما در برداشت دوم ضخامت اپیدرم بالایی در تیمارهای نانو اکسید روی ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر و بالک ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار داشته است. ضخامت اپیدرم پایینی در تیمار بالک اکسید روی ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر افزایش داشته است. قطر فلوئم مرکزی و زایلیم مرکزی در تیمارهای بالک اکسید روی ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر نسبت به نانو اکسید روی ۱۰۰ و ۳۰۰ افزایش بیشترین نسبت به شاهد داشتند. تعداد لایه های زایلیم در تیمار نانو اکسید روی ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار داشته است (شکل ۵).

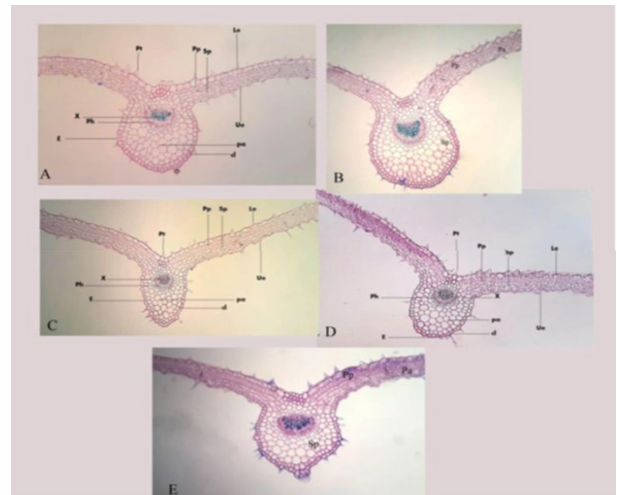


**شکل ۴-** برش عرضی برگ گیاه بادرنجبویه تحت تیمارهای مختلف نانو ذره و بالک روی؛ E-اپیدرم، Ph-آوند آبکش، X-آوند چوب، Ue-اپیدرم بالایی، Le-اپیدرم پایینی، Sp-پارانشیم اسفنجی، Pp-پارانشیم نرده‌ای، Pt-کرک. A: شاهد، B: نانو اکسید روی ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر، C: بالک اکسید روی ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر، D: نانو اکسید روی ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر، E: بالک اکسید روی ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر (بزرگنمایی ۱۰).



**شکل ۵-** برش عرضی دمبرگ گیاه بادرنجبویه تحت تیمارهای مختلف نانو ذره و بالک روی؛ E-اپیدرم، Ph-آوند آبکش، X-آوند چوب، Cl-سلولهای کلانشیم، Pa-پارانشیم، Ue-اپیدرم بالایی، Le-اپیدرم پایینی؛ Sp-پارانشیم اسفنجی، Pp-پارانشیم نرده‌ای، Pt-کرک. A: شاهد، B: نانو اکسید روی ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر، C: بالک اکسید روی ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر، D: نانو اکسید روی ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر، E: بالک اکسید روی ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر (بزرگنمایی ۱۰).

رگبرگ دسته جات آوندی شامل آوندهای چوبی و آوندهای آبکش دیده می‌شود که توسط سلول‌های پارانشیم احاطه شده‌اند. دسته‌های آبکش به سمت خارج و دسته‌های چوب به سمت داخل قرار گرفته‌اند. در رگبرگ های کوچک تعداد آوندها کم‌تر است. از مقایسه برش‌های عرضی برگ های تیمارها ملاحظه شد که ضخامت اپیدرم بالایی، ضخامت اپیدرم پایینی، قطر زایلیم، ضخامت پارانشیم نرده‌ای و اسفنجی در تیمار نانو ذره اکسید روی ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار پیدا کرده است. که در مقایسه با نانو ذره بالک اکسید روی ۱۰۰ میلی گرم نسبت به شاهد کاهش معنی‌دار داشته است. طول کرک و قطر فلوئم در همه تیمارها نسبت به شاهد کاهش معنی‌دار داشته است. در برداشت دوم تیمارها قطر زایلیم در همه تیمارها نسبت به شاهد افزایش پیدا کرده که در تیمار نانو ذره اکسید روی ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر نسبت به سایر تیمارها بیشترین حالت را داشته و به طور معنی‌دار افزایش پیدا کرده است (شکل ۳ و ۴).



**شکل ۳-** برش عرضی برگ گیاه بادرنجبویه تحت تیمارهای مختلف نانو ذره و بالک روی، E-اپیدرم، Ph-آوند آبکش، X-آوند چوب، Ue-اپیدرم بالایی، Le-اپیدرم پایینی، Sp-پارانشیم اسفنجی، Pp-پارانشیم نرده‌ای، Pt-کرک؛ A: شاهد، B: نانو اکسید روی ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر، C: بالک اکسید روی ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر، D: نانو اکسید روی ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر، E: بالک اکسید روی ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر (بزرگنمایی ۱۰).

**اثر نانو ذره و بالک اکسید روی بر ساختار دمبرگ:** در ساختار تشریحی دمبرگ از خارج به داخل ابتدا اپیدرم مشاهده می‌شود روی سطح اپیدرم تعداد زیادی کرک‌های چندسلولی وجود دارند. در زیر اپیدرم چند ردیف سلول‌های کلانشیمی، بافت پارانشیم پوست با چند ردیف سلول و دسته‌های آوندی چوب و آبکش دیده می‌شوند. از مقایسه برش‌های عرضی دمبرگ مشاهده شد که در همه تیمارها نسبت به شاهد در صفات موردنظر شامل ضخامت اپیدرم بالایی و

- Asgari-Targhi, G., Iranbakhsh, A., Ardebili, Z.O. and Tooski, A.H., 2021. Synthesis and characterization of chitosan encapsulated zinc oxide (ZnO) nanocomposite and its biological assessment in pepper (*Capsicum annuum*) as an elicitor for in vitro tissue culture applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 189, pp.170-182.
- Babajani, A., Iranbakhsh, A., Ardebili, Z., O., Eslami, B. 2019<sup>a</sup>. Differential growth, nutrition, physiology, and gene expression in *Melissa officinalis* mediated by zinc oxide and elemental selenium nanoparticles.
- Babajani, A., Iranbakhsh, A., Ardebili, Z., O., Eslami, B. 2019<sup>b</sup>. Seed priming with non-thermal plasma modified plant reactions to selenium or zinc oxide nanoparticles, cold plasma as a novel emerging tool for plant science. *Plasma Chem Plasma Process* 391, 21-34.
- Faizan, M., Bhat, J.A., Chen, C., Alyemeni, M.N., Wijaya, L., Ahmad, P. and Yu, F., 2021. Zinc oxide nanoparticles (ZnO-NPs) induce salt tolerance by improving the antioxidant system and photosynthetic machinery in tomato. *Plant Physiology and Biochemistry*, 161, pp.122-130.
- Hussain A, Ali S, Rizwan M, Rehman MZ, Javed MR, Imran M et al. Zinc oxide nanoparticles alter the wheat physiological response and reduce the cadmium uptake by plants. *Environ Pollut*. 2018; 242: 1518-1526.
- Mirakhorli T, Ardebili ZO, Ladan-Moghadam A, Danaee E (2021) Bulk and nanoparticles of zinc oxide exerted their beneficial effects by conferring modifications in transcription factors, histone deacetylase, carbon and nitrogen assimilation, antioxidant biomarkers, and secondary metabolism in soybean. *PLoS ONE* 16(9): e0256905.
- Plaksenkova, I., Kokina, I., Petrova, A., Jermaļonoka, M., Gerbreder, V. and Krasovska, M., 2020. The Impact of Zinc Oxide Nanoparticles on Cytotoxicity, Genotoxicity, and miRNA Expression in Barley (*Hordeum vulgare* L.) Seedlings. *The Scientific World Journal*.
- Rajaei Behbahani S, Iranbakhsh A, Ebadi M, Majd A, Ardebili ZO (2020) Red elemental selenium nanoparticles mediated substantial variations in growth, tissue differentiation, metabolism, gene transcription, epigenetic cytosine DNA methylation, and callogenesis in bittermelon (*Momordica charantia*); an *in vitro* experiment. *PLoS ONE* 15(7): e0235556.
- Semida, W.M., Abdelkhalik, A., Mohamed, G., El-Mageed, A., Taia, A., El-Mageed, A., Shima, A., Rady, M.M. and Ali, E.F., 2021. Foliar application of zinc oxide nanoparticles

## بحث

اعمال تیمارهای بالک و نانو اکسید روی منجر به تغییر در آناتومی و تمایز بافتی در ریشه، ساقه، برگ و دمبرگ شد. نتایج تایید کرد که الگوی تمایز بافت هادی (آوندهای چوب و آبکش)، تحت تاثیر تیمارهای بالک و نانو اکسید روی تغییر یافت. این پاسخ‌ها به عنوان مکانیزم‌های اساسی در تنظیم رشد و نمو گیاه عمل می‌کنند. گزارشاتی وجود دارد که حاکی از القا تغییرات مورفولوژیک و آناتومیک بدنبال قرارگیری در معرض نانومواد مختلف از جمله سیلیس (Moghanloo et al., 2019) در گیاه *Astragalus fridae* و سلنیوم در گیاه خیار تلخ (Rajaei et al., 2020)، گیاه فلفل (*Sotoodehnia*) (et al., 2020) و گوجه فرنگی (نیسانیان و همکاران ۱۴۰۰) داشت. اخیراً، شواهد آناتومیکی ارایه شده است که تغییر در تمایز بافتی در ساقه گیاه سویا را بدنبال تیمار نانوزینک اکسید روی تایید می‌کند (Mirakhorli et al., 2021). شواهد تکوینی در خصوص پاسخ گیاهان به نانوذرات بسیار محدود است و به تحقیقات بیشتری برای شناخت پاسخ‌های سلولی به نانوذرات مختلف از جمله اکسید روی ضرورت دارد.

## نتیجه‌گیری

به عنوان نتیجه‌گیری می‌توان بیان داشت که نتایج این تحقیق شواهد آناتومیک را ارایه نمود که بیانگر تغییرات اساسی در سرنوشت تمایز سلول‌ها و تشکیل بافت‌ها دارد. تحقیقات آینده برای برقراری ارتباط بین شواهد فیزیولوژیک، مولکولی و آناتومیک برای شناخت دقیق تاثیر محصولات نانو بر کل زندگی گیاهان به ویژه گیاهان زراعی و دارویی ضرورت دارد.

## تقدیر و تشکر

نویسندگان مراتب تقدیر و تشکر خود را از همه کسانی که در ویرایش این مقاله کمک‌های موثری نموده‌اند، ابراز می‌دارند.

## مراجع

- Adrees, M., Khan, Z.S., Hafeez, M., Rizwan, M., Hussain, K., Asrar, M., Alyemeni, M.N., Wijaya, L. and Ali, S., 2021. Foliar exposure of zinc oxide nanoparticles improved the growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) and decreased cadmium concentration in grains under simultaneous Cd and water deficient stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 208, p.111627.

- implication of the ascorbate-glutathione cycle. *Frontiers in plant science*, 8, p.1.
- Vafaee Moghadam A, Iranbakhsh A, Saadatmand S, Ebadi M, Ardebili ZO. New Insights into the Transcriptional, Epigenetic, and Physiological Responses to Zinc Oxide Nanoparticles in *Datura stramonium*; Potential Species for Phytoremediation. *J Plant Growth Regul.* 2021; <https://doi.org/10.1007/s00344-021-10305-6>.
- Wu, F., Fang, Q., Yan, S., Pan, L., Tang, X. and Ye, W., 2020. Effects of zinc oxide nanoparticles on arsenic stress in rice (*Oryza sativa* L.): germination, early growth, and arsenic uptake. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(21), pp.26974-26981.
- Yan, S., Wu, F., Zhou, S., Yang, J., Tang, X. and Ye, W., 2021. Zinc oxide nanoparticles alleviate the arsenic toxicity and decrease the accumulation of arsenic in rice (*Oryza sativa* L.). *BMC plant biology*, 21(1), pp.1-11.
- promotes drought stress tolerance in eggplant (*Solanum melongena* L.). *Plants*, 10(2), p.421.
- Sheteiwiy, M.S., Dong, Q., An, J., Song, W., Guan, Y., He, F., Huang, Y., Hu, J. 2017. Regulation of ZnO nanoparticles-induced physiological and molecular changes by seed priming with humic acid in *Oryza sativa* seedlings. *Plant Growth Regul* 83(1), 27-41
- Sotoodehnia-Korani, S., Iranbakhsh, A., Ebadi, M., Majd, A. and Ardebili, Z.O., 2020. Selenium nanoparticles induced variations in growth, morphology, anatomy, biochemistry, gene expression, and epigenetic DNA methylation in *Capsicum annum*; an in vitro study. *Environmental Pollution*, 265, p.114727.
- Sun L, Wang Y, Wang R, Wang R, Zhang P, Ju Q, Xu J. Physiological, transcriptomic, and metabolomic analyses reveal zinc oxide nanoparticles modulate plant growth in tomato. *Environ Sci Nano.* 2020; 7(11): 3587-3604.
- Tripathi, D.K., Mishra, R.K., Singh, S., Singh, S., Singh, V.P., Singh, P.K., Chauhan, D.K., Prasad, S.M., Dubey, N.K. and Pandey, A.C., 2017. Nitric oxide ameliorates zinc oxide nanoparticles phytotoxicity in wheat seedlings:

Research Article

## Effects of bulk and nanoparticles of zinc oxide on the tissue differentiation in *Melissa officinalis*

Somayyeh Kheiri<sup>1\*</sup> and Alameh Babajani<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Assistant professor, Research institute of forests and Rangelands, agricultural research, education and extension organization (AREEO), Tehran, Iran

<sup>2</sup> Department of Biology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

\*Correspondence to Somayeh Kheiri, Ph.D., [kheiri@rifr-ac.ir](mailto:kheiri@rifr-ac.ir)

Received 24<sup>th</sup> September 2021    Revised 23<sup>th</sup> November 2021    Accepted 27<sup>th</sup> January 2022

### Abstract

**Background and aim:** This study was performed to identify the anatomical responses of lemon balm to zinc oxide nanoparticles (nZnO).

**Methods:** This experimental laboratory study was done at the concentrations of 100 and 300 mg/L of nZnO.

**Results:** The microscopic observation showed that the nZnO300 had the largest diameter of the central cylinder and the diameter of xylem and phloem in the root compared to the control. The study of stem cross-section revealed that the highest stem diameter was observed in response to the nZnO100 group. The maximum thickness of collenchyma and the highest diameter of the central cylinder and the diameter of phloem and xylem were also recorded in the nZnO100 group. Comparing the leaf cross-sections indicated that the thickness of the upper and lower epidermis, the diameter of the xylem, and the thickness of the spongy parenchyma in the nZnO100 group were significantly increased relative to the control. A comparison of petiole cross-sections showed that the thickness of the upper and lower epidermis and the diameter of the central/lateral phloem and xylem in all nZnO-treated seedlings were significantly reduced compared to the control.

**Conclusion:** This study provided anatomical evidence that indicates fundamental changes in the fate of cell differentiation and tissue formation in response to nZnO. Future research is needed to link physiological, molecular, and anatomical evidence to accurately understand the impact of nanoproducts on the entire life of plants, especially crops and medicines.

**Keywords:** Nanomaterials; Zinc oxide; Lemon balm; Anatomy; Tissue