فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۴، شماره ۶۹، آذر و دی‌ماه ۱۴۰۴ صفحه: ۳۲۳-۳۳۸
https://doi.org/10.22034/14.69.323

مقاله پژوهشی

سنتز نانوکمپوزیت اسید سینامیک و بررسی اثرات آن بر ترکیبات اسمولیتی ریشه و شاخص‌های فیتوشیمیایی گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) تحت تنش شوری

زهرا سپهری جوان و سید مهدی رضوی*
گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۶، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۴/۰۲/۱۳)

چکیده

مطالعه حاضر به منظور سنتز نانوکمپوزیت اسید سینامیک و درک بهتر رفتار آن در کنترل شوری در گیاهان نعناع فلفلی انجام شد. بدین منظور سه عامل، تنش شوری با غلظت‌های مختلف سدیم کلراید شامل صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر، اسید سینامیک با غلظت ۵۰ میکرومولار و نانوکمپوزیت اسید سینامیک بر پایه کربوکسی متیل سلولز با غلظت ۵۰ میکرومولار در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که با بیشترشدن سطح شوری، محتوای ترکیبات سازگارکننده محلول (۳۰/۵۵ ٪ پرولین و ۳۶/۲ ٪ گلایسین‌بتائین) و شاخص‌های فیتوشیمیایی (۶/۵۱ تا ۱۰۸/۳ ٪) افزایش نشان دادند. در حالی‌که کاربرد اسید سینامیک و اسید سینامیک نانوکمپوزیته این صفات حیاتی را به‌طور قابل توجهی افزایش داد. ۷ تا ۲۷/۰۱ ٪ افزایش در ترکیبات سازگارکننده محلول و ۲۷/۹ تا ۱۷۴/۳ ٪ افزایش در شاخص‌های فیتوشیمیایی به‌وجود آمد. نانوکمپوزیت، به عنوان یک محرک زیستی، به‌طور قابل توجهی تحمل نعناع فلفلی را در شرایط شوری افزایش داد. در واقع اسید سینامیک و اسید سینامیک نانوکمپوزیته به عنوان یک تنظیم‌کننده رشد گیاه در شرایط شور عمل کردند. نتایج نشان داد که نانوکمپوزیت در بهبود شاخص‌های بیوشیمیایی و فیتوشیمیایی بسیار مؤثرتر از اسید سینامیک است. دلیل آن می‌تواند انحلال‌پذیری بالا، جذب و انتقال بهتر و سریع‌تر نانوکمپوزیت نسبت به خود ماده باشد. این ماده و نانوکمپوزیت حاوی آن یک مسیر نوآورانه را در تحقیقات نشان دادند که می‌تواند با موفقیت عملکرد گیاهان را برای مقابله با شوری بهبود بخشد.

واژه‌های کلیدی: تنش، کربوکسی متیل سلولز، گیاهان دارویی، نانوکمپوزیت‌ها

مقدمه

گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperita*) از خانواده نعناعیان (Lamiaceae) مهمترین گیاه تجاری این تیره بوده خواص دارویی فراوانی دارد (Hudz *et al.*, 2023). این گیاه از جمله گیاهان معطر دارویی است که در صنایع مختلف کاربرد وسیعی دارد. در صنایع غذایی به عنوان طعم‌دهنده و چاشنی در غذاهای مختلف، نوشیدنی‌ها، لبنیات، آدامس‌ها و شکلات‌های مختلف کاربرد دارد (Hassid *et al.*, 2024). در صنعت داروسازی به صورت دمنوش یا دارو برای درمان اختلالات و بیماری‌های مختلف از جمله نفخ معده و روده، اختلالات دستگاه گوارش، بیماری‌های کبدی، عفونت‌های مجاری ادراری، سنگ کلیه، اسهال خونی، برونشیت، سرطان‌ها، فشار خون بالا، زردی، تب، سردرد، دردهای قاعدگی، اسپاسم، سرماخوردگی و حالت تهوع کاربرد دارد (Juric *et al.*, 2021;

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: razavi694@gmail.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.323]

Mahendran and Rahman, 2020; Nemati *et al.*, 2021). در صنایع آرایشی و بهداشتی به‌دلیل بوی تند و اثر خنک‌کنندگی اسانس آن، در تهیه خمیر دندان، دهان شویه، سرم‌های جوان‌ساز پوست، کرم‌های لایه بردار و مرطوب‌کننده کاربرد دارد (Hudz *et al.*, 2023). بوی تند آن به ترکیباتی که در اسانس اندام‌های هوایی گیاه موجود هستند مربوط می‌شود اسانس نعناع فلفلی حاوی چندین ترکیب فعال زیستی شامل منتول، منتون، منتوفوران، کاریوفیلن و متیل استات است که ترکیبات اولیه را تشکیل می‌دهند، همچنین درصد کمتری از کاروتن‌ها، فلاونوئیدها (اریوسیترین، هسپریدین و کامپفرول)، تانن‌ها و پلی‌فنل‌ها هم دیده می‌شود (Akbarpour *et al.*, 2022). نعناع فلفلی به دلیل داشتن ریشه‌های سطحی، نیاز به آبیاری بیشتری با فواصل کوتاه دارد و بسیار حساس به شوری است بنابراین کاشت آن در زمین‌های شور با توجه به شرایط اقلیمی که در چندین دهه اخیر به‌وجود آمده و شوری روز به روز در حال افزایش است با مشکل مواجه می‌باشد (Nemati *et al.*, 2021).

تنش شوری، منجر به کاهش عملکرد گیاهان زراعی و در نتیجه کاهش بهره‌وری محصول در مناطقی می‌شود که تحت تنش هستند، بنابراین تنش شوری تهدیدی جهانی برای کشاورزی محسوب می‌شود (El Sabagh *et al.*, 2020). تنش شوری از مخرب‌ترین تنش‌ها است زیرا به دنبال این تنش علاوه بر تنش اکسیداتیو و اسمزی، تنش یونی نیز ایجاد می‌شود. این تنش از جمله تنش‌هایی است که به شدت رشد و عملکرد محصولات زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (El Sabagh *et al.*, 2021). در تنش شوری، به دلیل انباشت نمک زیاد، میزان فشار اسمزی محلول خاک از فشار اسمزی موجود در سلول‌های گیاهی بالاتر می‌رود در نتیجه قدرت و توانایی گیاهان برای جذب آب و مواد معدنی از جمله Ca^{2+} و K^{+} محدود می‌شود. این اثرات اولیه تنش شوری باعث بروز اثرات ثانویه‌ای نیز در گیاهان تحت تنش می‌شود از جمله این اثرات اختلال در عملکرد غشای سلولی، اختلال در جذب، کاهش متابولیسم سیتوسولی و کاهش انبساط سلولی است (Jing *et al.*, 2024). از طرفی نمک باعث افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و در نتیجه تنش اکسیداتیو می‌شود و پراکسیداسیون لیپیدی در غشاهای تیلاکوئید رخ می‌دهد که باعث آسیب شدید به غشاء می‌شود (Aliakbarpour *et al.*, 2020). این آسیب اکسیداتیو ناشی از تنش شوری با افزایش ROS به دنبال کاهش سرعت فتوسنتز رخ می‌دهد. این عوامل بر عملکرد گیاه از جمله متابولیسم گیاه تأثیر می‌گذارد و به ساختار گیاه آسیب می‌رسانند و در نهایت منجر به مرگ گیاه می‌شوند (Massange-Sanchez *et al.*, 2021).

اسید سینامیک یک ترکیب آلی، یک اسید فنولیکی و یک فنیل پروپانوئید پایه که با دآمیناسیون و تجزیه فنیل آلانین در گیاهان در پاسخ به شرایط تنش‌زا تولید شده و فعالیت آنتی‌اکسیدانی دارد. اولین مولکول مسیر فنیل‌پروپانوئیدی است و منبع مشتقات اسید هیدروکسی سینامیک مانند کافئیک، کوماریک، سیناپیک و فرولیک است. اسید سینامیک در آب نامحلول است. این ماده در تحمل شوری در گیاهان نقش چشمگیری دارد (Sepehry Javan *et al.*, 2024).

فناوری نانو، فناوری ساخت و تولید ابزار و موادی در اندازه نانومتر است. این فناوری می‌تواند راه‌حلی برای افزایش ارزش محصولات کشاورزی و مشکلات زیست‌محیطی ارائه دهد، چرا که نانومواد به خاطر اندازه کوچک (۱–۱۰۰ نانومتر) ویژگی‌های منحصر به فردی را نشان می‌دهند (Haris *et al.*, 2023). استفاده از نانومواد با خواص فیزیکوشیمیایی منحصر به‌فرد و اثرات سودمند، تکنیک جدیدی است که می‌تواند رشد و بهره‌وری گیاه را تحت طیف وسیعی از شرایط محیطی افزایش دهد. نانومواد محصولات مقرون به صرفه و سازگار با محیط‌زیست هستند که می‌توانند جایگزین مواد معمولی در کشاورزی شوند (Ghassemi-Golezani *et al.*, 2023). نانوذرات، کارایی کاتالیزورهای شیمیایی را بطور چشمگیری بهبود می‌بخشند. نانوکاتالیزورها کارایی واکنش‌های شیمیایی را افزایش می‌دهند و از تولید مواد زائد در واکنش‌ها جلوگیری می‌نمایند. امروزه در نقل و انتقال دارو برای رسیدن به عوامل بیماری‌زا از نانوذرات استفاده می‌شود. نانوذرات در تولید

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.323]

کمپوزیت‌ها، موجب پیوند مستحکم‌تری بین ماده زمینه و ذرات شده و استحکام کمپوزیت‌ها را افزایش می‌دهند (Nie *et al.*, 2021).

کربوکسی متیل سلولز (CMC)، یکی از مشتقات مهم سلولز است که از واکنش بین سلولز با هیدروکسید سدیم و اسید کلرواستیک به وجود می‌آید. CMC به دلیل کیفیت قابل توجه آن از نظر تجدیدپذیری، زیست‌تخریب‌پذیری و غیرسمی بودن آن، یکی از متداول‌ترین مشتقات سلولز است که در صنایع پزشکی، کشاورزی و محیط‌زیست کاربرد دارد. CMC در آب حلالیت بسیار بالایی دارد (Pinto *et al.*, 2022). از خواص عمده این ماده که آن را برای استفاده در تحقیقات زیست‌شناختی حائز اهمیت می‌سازد: حلالیت بالای آن، سرعت جابجایی بالای آن، ویسکوزیته در محلول، زیست تخریب-پذیری، قابلیت تجدیدپذیری، پایداری در برابر اکسایش، گرما و عوامل محیطی دیگر است (Seddiqi *et al.*, 2021; Pinto *et al.*, 2022). از CMC معمولاً به عنوان یک تثبیت‌کننده و ناقل در سنتز نانوکمپوزیت‌ها استفاده شده است زیرا مقرون به صرفه است و از نظر زیست‌محیطی ایمن و قابل قبول است (Salem *et al.*, 2022).

این مطالعه با هدف بررسی این موضوع که چگونه اسید سینامیک و اسید سینامیک نانوکمپوزیته می‌توانند به گیاه نعناع فلفلی در سازگاری با تنش شوری کمک کنند، با هدف گسترده‌تر استفاده از این یافته‌ها برای بهبود تحمل به نمک در سایر گونه‌های گیاهی در کشاورزی و صنعت انجام گرفت. بر اساس دانش ما، این اولین گزارشی است که اثر اسید سینامیک و نانوکمپوزیت حاوی آن بر تحمل به شوری گیاه نعناع فلفلی با بررسی شاخص‌های فیتوشیمیایی و بررسی تغییرات ترکیبات اسمولیتی در ریشه را تعیین می‌کند. با توجه به اهمیت گیاه نعناع فلفلی در صنایع دارویی و کشاورزی، استفاده گسترده غذایی از آن و حساسیت بالای گیاه به شوری، بر آن شدیم تا راه‌حلی برای مقابله با تنش شوری گیاهان پیدا کنیم. به‌طور خاص از یک نانوکمپوزیت اسید سینامیک مبتنی بر CMC استفاده کردیم و از توانایی CMC برای رساندن سریع مواد به سلول‌های هدف استفاده کردیم. با توجه به نوآوری پژوهش، با استفاده از این نانوکمپوزیت، در آینده می‌توان کودهایی تهیه کرد که هم تولیدشان آسان و کم هزینه باشد و هم عملکرد گیاهان در خاک‌های شور و رشد آنها را بهبود بخشد، از طرفی سلامت مصرف‌کنندگان را به خطر نیندازد.

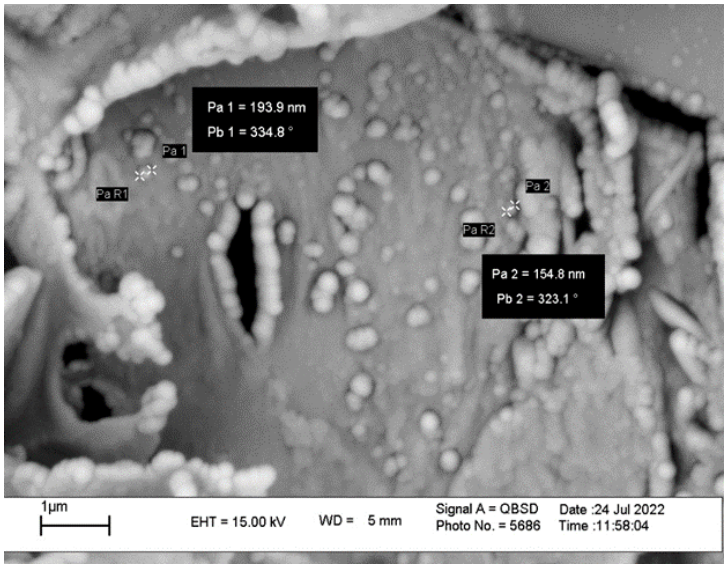
مواد و روش‌ها

سنتز و مشخصه یابی نانوکمپوزیت اسید سینامیک: ابتدا محلول CMC با غلظت ۰/۴ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر تهیه شد. سپس محلول حاصل اولتراسیون شد. این عمل جهت کاهش ویسکوزیته و شکست پلیمر انجام گرفت. از طرفی محلول استوک اسید سینامیک با غلظت ۲ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر تهیه شد. سپس محلول اسید سینامیک تهیه‌شده قطره قطره به CMC در حال استرینگ در دمای ۶۵°C اضافه شد. محلول حاصل از این مرحله با شدت ۲۰ KHz به مدت ۳۰ دقیقه سونیکاسیون شد. سپس سانتریفیوژ با دور ۸۰۰۰ به مدت ۱۰ دقیقه انجام گرفت. محلول رویی حاصل از سانتریفیوژ (سوپرناتانت) در پتری‌دیش ریخته شد تا در دمای آزمایشگاه خشک شود. بعد از خشک‌شدن، ماده با کاردک جمع‌آوری شده در داخل میکروتیوپ برای انجام مشخصه‌یابی DLS، SEM و TGA ارسال شد تا مشخصات نانوکمپوزیت سنتزشده بررسی شود (Sepehry Javan *et al.*, 2024). بررسی نتایج نشان‌دهنده سنتز نانوکمپوزیت اسید سینامیک بر پایه کربوکسی متیل سلولز بود. برای اطمینان از تشکیل نانوکمپوزیت حاصل از پیوستن دو ماده اسید سینامیک و کربوکسی متیل سلولز، قدم اول تعیین اندازه نانوذرات به وسیله آنالیز DLS (پراکندگی دینامیکی نور) بود. نتایج حاصل از این آنالیز نشان داد که میانگین اندازه اجزای نانوکمپوزیت ۱۲/۷ نانومتر بود و بیشترین تعداد اجزا با اندازه ۱۱ نانومتر را شامل شد.

نتایج تجزیه و تحلیل SEM (میکروسکوپ الکترونی روبشی) (مدل JEM-1011; JEOL Ltd، ژاپن) نشان داد که نانوذرات کروی شکل بودند و توزیع گسترده داشتند (شکل ۱).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.323]



شکل ۱- آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی

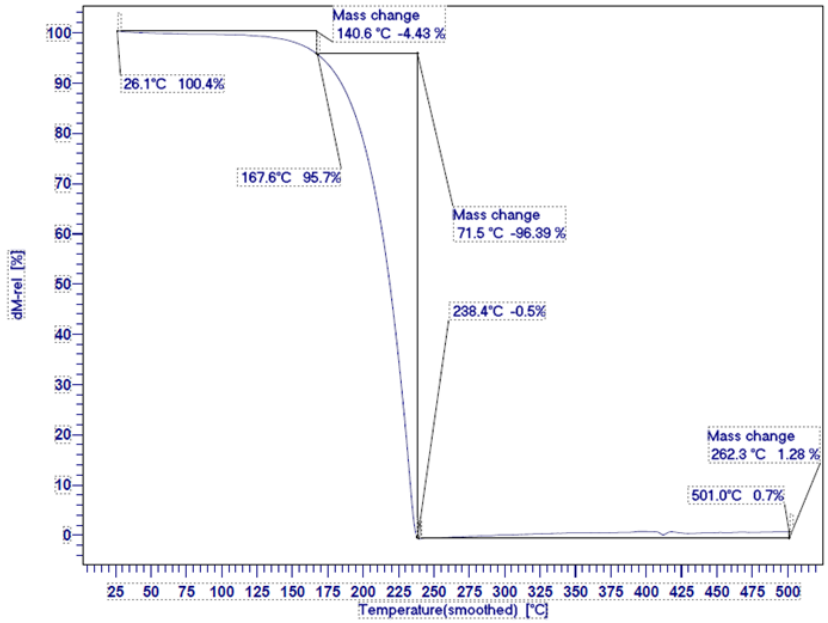
آنالیز TGA (آنالیز وزن سنجی حرارتی) (مدل NETZSCH DSC 204F1، آلمان) اطلاعاتی در مورد پوشش‌های نانوذرات و خلوص برخی از نانوذرات ارائه می‌دهد. نمودار به دست آمده از آنالیز TGA، درصد کاهش وزن در نانو در دمای ۱۴۰/۶ ºC مقدار ۴/۴۳ ٪، در ۷۱/ºC۵ مقدار ۹۶/۳۹ ٪ و در ۲۶۲/۳ºC مقدار ۱/۲۸ ٪ کاهش را نشان داد. درصد کاهش وزن در نانوکمپوزیت بیشتر از اسید سینامیک و کمتر از CMC شد در واقع الگوی کاهش در نانو دقیقاً مابین اسید سینامیک و CMC به‌دست آمد. این نتایج نشان داد که اسید سینامیک با CMC ترکیب‌شده و یک نانوکمپوزیت را تشکیل داده است (شکل ۲).

کشت نعناع فلفلی: پس از تهیه ریزوم‌های نعناع فلفلی، این گیاهان در گلدان‌هایی به قطر ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۳ سانتی‌متر با مقادیر مساوی خاک (۴ کیلوگرم) در گلخانه‌ای با نور کافی و تهویه مناسب با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد که دمای بهینه برای رشد نعناع فلفلی محسوب می‌شود کشت شدند و در ۳۰ روز اول یک روز در میان آبیاری (با ۲۵۰ میلی‌لیتر آب بنابر ظرفیت زراعی که به دست آمد) شدند. دمای روزانه گلخانه در محدوده بهینه رشد نعناع (۲۵ºC) بود. در مرحله شش برگی، گیاهچه‌ها به گلدان‌های پلاستیکی پر از خاک به قطر ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۴۳ سانتی‌متر با مقادیر مساوی خاک با بافت رسی‌لومی (۴/۵ کیلوگرم) منتقل (جدول ۱) که هفته ای یک بار با محلول هوگلند آبیاری شدند. پس از ۲۰ روز، یعنی در مرحله ۱۲-۱۴ برگی، تیمار گیاهان آغاز شد. تیمارهای آزمایشی شامل چهار سطح شوری صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار نمک (NaCl)، نانوکمپوزیت اسید سینامیک در غلظت ۵۰ میکرومولار، اسید سینامیک در غلظت ۵۰ میکرومولار و شاهد بودند. چهار هفته پس از اعمال تیمار، گلدان‌ها برای انجام سنجش‌ها به آزمایشگاه منتقل شدند (شکل ۳).

سنجش املاح سازگارکننده محلول (ترکیبات اسمولیتی)، سنجش پرولین ریشه: ۰/۳ گرم از ریشه‌های گیاه نعناع فلفلی با ۶ میلی‌لیتر اسید سولفوسالسیلیک ۳ ٪ به‌وسیله نیتروژن مایع در حمام یخ ساییده شد سپس در سانتریفیوژ یخچال‌دار (مدل Z216 MK، Hermle آلمان) سانتریفیوژ شد. مقدار ۱ میلی‌لیتر از فاز رویی با ۱ میلی‌لیتر اسید استیک و ۱ میلی‌لیتر نین‌هیدرین مخلوط شد و مخلوط حاصل پس از حرارت‌دهی در بن‌ماری مجدد در حمام یخ با ۲ میلی‌لیتر تولوئن مخلوط شد. از مخلوط حاصل پس از انجام ورتکس فاز رویی جدا شده و در طول-موج ۵۲۰ نانومتر میزان جذب آن با دستگاه اسپکتروفتومتر (دستگاه PG، مدل $T80^+$، آمریکا) ثبت شد (Forlani and Funck, 2020).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.323]



شکل ۲- آنالیز وزن سنجی حرارتی

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده برای کشت گیاه نعناع فلفلی

نمونه	pH	هدایت الکتریکی (dsm^{-1})	ازت کل	کربن آلی	آهک	فسفر	پتاسیم تبادلی	بیکربنات	کلر	سدیم	کلسیم	منیزیم
			(٪)			($mg.kg^{-1}$)				($meq\ l^{-1}$)		
مقدار	۷/۴۹	۰/۷۰۴	۰/۵۲	۶/۱۶	۵/۸۲	۱۲/۳۴	۲۳۵/۴	۱۰	۱۲	۹۸۵	۱۱۲	۴۸

بافت خاک: رسی لومی، شن وماسه: ۳۱/۵۸، سیلت: ۴۰، رس: ۲۸/۴۱



شکل ۳- نمونه‌هایی از گلدان‌های آماده برای انتقال به آزمایشگاه جهت انجام سنجش‌ها

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.323]

سنجش گلایسین بتائین ریشه: مقدار ۲۵۰ میلی‌گرم از ریشه گیاهی به وسیله نیتروژن مایع در هاون چینی سابیده شد و با ۲۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر هموژنیزه شد. به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ºC انکوبه شد و سپس نمونه‌ها فیلتر و با ۰/۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۲ نرمال مخلوط شدند. مقدار ۰/۲۵ میلی‌لیتر از محلول به‌دست آمده به لوله آزمایش منتقل شد و به مدت یک ساعت در حمام یخ قرار گرفت. مقدار ۰/۱ میلی‌لیتر معرف واگنر ($KI-I_2$) به محلول اضافه شد. ترکیب حاصل ورتکس گردید و به مدت ۳۰ دقیقه در سانتریفیوژ یخچال‌دار با دور ۱۰۰۰۰ در دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس نمونه‌های به‌دست آمده به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴ºC (داخل یخچال) انکوبه شدند. کریستال‌های حاصل در ۴ میلی‌لیتر ۱و۲ دی‌کلرواتان حل شدند. به مدت ۲۴ ساعت توسط شیکر در دمای اتاق هم‌زده شدند. جذب محلول حاصل در طول‌موج ۳۶۰ نانومتر اندازه‌گیری شد و با منحنی استاندارد گلایسین بتائین مقایسه گردید (Bates *et al*., 1973).

سنجش‌های فیتوشیمیایی، سنجش کل آنتوسیانین: مقدار ۰/۱ گرم از نمونه تازه گیاهی در هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی به صورت کامل ساییده شده و عصاره‌گیری انجام شد و عصاره به‌دست آمده به‌مدت ۲۴ ساعت در تاریکی در دمای ۲۵ ºC قرار داده شد. سپس سانتریفیوژ عصاره حاصل با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ۱۰ دقیقه انجام گرفت. در طول‌موج ۵۵۰ نانومتر جذب محلول رویی حاصل ثبت شد. غلظت کل آنتوسیانین، با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد؛

$$A = \varepsilon bc$$

که در این فرمول؛ A: میزان جذب نمونه، ε: ضریب خاموشی آنتوسیانین (۳۳۰۰۰ سانتی‌متر بر مول)، b: عرض کووت و c: غلظت آنتوسیانین نمونه است (Dabravolski and Isayenkov, 2023).

سنجش کل تانن: مقدار ۱ میلی‌لیتر از عصاره متانولی گیاه که در سنجش آنتوسیانین استخراج شد و با ۱۰۰ میلی‌گرم پلی‌وینیل پیرولیدین(PVP) مخلوط گردید و در دمای ۴ ºC به‌مدت ۱۵ دقیقه قرار داده شد. سپس سانتریفیوژ مخلوط حاصل با دور ۳۰۰۰ در دقیقه به‌مدت ۱۵ دقیقه انجام گرفت. میزان جذب محلول رویی در طول‌موج ۷۶۰ نانومتر ثبت شد. PVP باعث رسوب تانن شد و جذبی که از محلول رویی گرفته شد در واقع جذب کل فنل بدون تانن بود. برای اندازه‌گیری کل تانن میزان جذب فنل بدون تانن از میزان جذب کل فنل کم شد (Campobenedetto *et al*., 2021).

سنجش کل فلاونوئید: با روش رنگ‌سنجی آلومینیوم کلراید، میزان کل فلاونوئید سنجش شد. در ابتدا مقدار ۰/۲ گرم از نمونه تازه گیاهی در ۱۰ میلی‌لیتر متانول عصاره‌گیری شد و به ۵۰۰ میکرولیتر از عصاره حاصل، ۴/۵ میلی‌لیتر آب مقطر افزوده شد. مقدار ۳۰۰ میکرولیتر سدیم نیتریت ۵ ٪ به محلول حاصل اضافه و پس از پنج دقیقه، ۵۰۰ میکرولیتر آلومینیوم کلراید ۱۰ ٪ اضافه شد. در آخرین مرحله ۲ میلی‌لیتر آب‌مقطر و ۲ میلی‌لیتر سدیم هیدروکسید ۱ مولار افزوده شد و جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۵۱۰ نانومتر ثبت گردید. غلظت کل فلاونوئید با منحنی استاندارد کاتچین محاسبه شد (Kiani *et al*., 2021).

سنجش کل فنل: مقدار ۰/۱ گرم از بافت تازه گیاهی با ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۹۶ ٪ عصاره‌گیری گردید و عصاره به‌دست آمده به‌مدت ۲۴ ساعت در تاریکی قرار داده شد. به محلول به‌دست آمده مقدار ۵۰۰ میکرولیتر فولین ۵۰٪، ۱ میلی‌لیتر اتانول ۹۶ ٪ و ۱ میلی‌لیتر کربنات سدیم ۵ ٪ افزوده شد. جذب نمونه‌ها بعد از ۶۰ دقیقه قرارگرفتن در تاریکی، در طول‌موج ۷۲۵ نانومتر خوانده شد. از منحنی استاندارد گالیک اسید برای محاسبه غلظت کل فنل استفاده شد (Kiani *et al*., 2021).

این پژوهش با استفاده از آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح تصادفی با سه تکرار انجام شد. نتایج توسط نرم‌افزار آماری SPSS 21 محاسبه شد. میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند متغیره دانکن با سطح معنی‌داری ۰/۰۵ > P مقایسه شد.

نتایج و بحث

بررسی تأثیر نانوکمپوزیت بر املاح سازگارکننده محلول در ریشه گیاه نعناع فلفلی تحت تنش شوری، سنجش پرولین آزاد: در پژوهش حاضر میزان پرولین آزاد ریشه‌های گیاه نعناع

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.323]

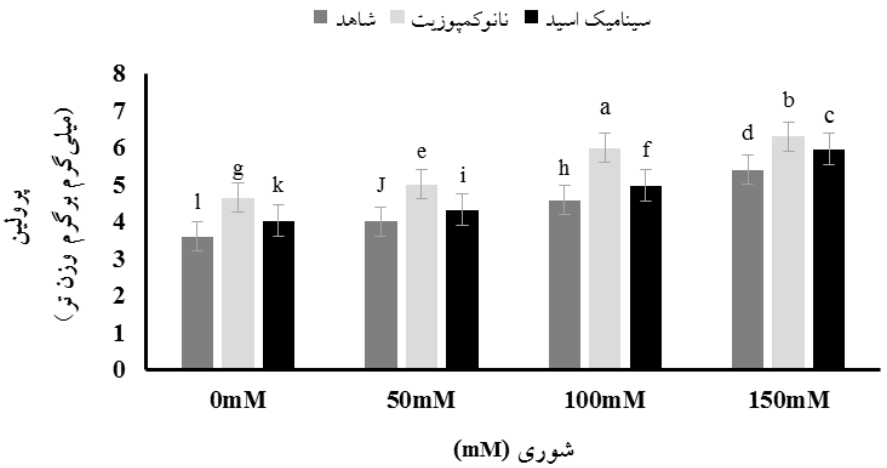
فلفلی تحت تیمارهای مختلف شوری، اسید سینامیک و نانوکمپوزیت اسید سینامیک بررسی شد. مقایسه میانگین داده‌ها معنی‌داربودن تغییرات پرولین آزاد بین تیمارهای مذکور را نشان داد. تیمار شوری به‌طور معنی‌داری باعث افزایش پرولین نسبت به گروه شاهد شد، به‌طوریکه در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار به ترتیب ۱۱/۵۴، ۲۱/۰۱ و ۳۰/۵۵ ٪ افزایش برای پرولین مشاهده شد. بیشترین افزایش مربوط به شوری ۱۵۰ میلی‌مولار بود. با اعمال تیمار اسید سینامیک و اسید سینامیک نانوکمپوزیته، پرولین افزایش بیشتری یافت. بیشترین اثر تعدیل‌کنندگی بر غلظت پرولین آزاد تحت تنش شوری، مربوط به تیمار نانو در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار (۲۷/۰۱ ٪) شد. تیمار نانوکمپوزیت اسید سینامیک در شوری ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار به ترتیب ۱۸/۸۵، ۲۷/۰۱ و ۱۴/۰۶ ٪ افزایش نشان داد. تیمار اسید سینامیک در شوری ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار به ترتیب ۸/۷۱، ۶/۹۵ و ۱۰/۳۴ ٪ افزایش نشان داد (شکل ۴). میزان پرولین آزاد در برگ‌های گیاه نعناع فلفلی تحت تیمارهای مختلف شوری، اسید سینامیک و نانوکمپوزیت اسید سینامیک توسط Sepehry Javan و همکاران (۲۰۲۴) مورد سنجش قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده برای میزان پرولین ریشه‌های نعناع فلفلی همسو با نتایج به‌دست آمده با میزان پرولین برگ‌های گیاه نعناع فلفلی تحت تیمارهای مختلف شوری، اسید سینامیک و اسید سینامیک نانوکمپوزیته بود (Sepehry Javan *et al.*, 2024). پرولین ترکیب سازگارکننده محلول بوده و در گیاهانی که تحت تنش شوری هستند میزان این ماده افزایش می‌یابد تا تحمل به شوری را در گیاهان افزایش دهد و گیاهان را به شرایط شور سازگار کند. نانوذرات با تغییر سطوح اسیدهای آمینه مثل پرولین و گلایسین بتائین، تحمل گیاه را به تنش شوری افزایش می‌دهند و درنتیجه شوک اسمزی حاصل از تنش NaCl ناشی از سمیت یونی Na^+ و Cl^- را به حداقل می‌رسانند (Dilnawaz *et al.*, 2023; Raza *et al.*, 2023).

گلایسین بتائین: میزان گلایسین بتائین در برگ‌های گیاه نعناع فلفلی تحت تیمارهای مختلف شوری، اسید سینامیک و نانوکمپوزیت اسید سینامیک توسط Sepehry Javan و همکاران (۲۰۲۴) مورد سنجش قرار گرفت. در پژوهش حاضر میزان گلایسین بتائین ریشه‌های گیاه نعناع فلفلی تحت تیمارهای مذکور بررسی شد. مقایسه میانگین داده‌ها، معنی‌دار بودن تغییرات گلایسین بتائین بین تیمارهای مختلف شوری، نانوکمپوزیت اسید سینامیک و اسید سینامیک را نشان داد. تیمار شوری به‌طور معنی‌داری باعث افزایش گلایسین بتائین نسبت به گروه شاهد شد، به‌طوریکه در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار به ترتیب ۱۷/۸، ۲۹/۲ و ۳۶/۲ ٪ افزایش برای گلایسین بتائین مشاهده شد. بیشترین افزایش مربوط به شوری ۱۵۰ میلی‌مولار بود. با اعمال تیمار اسید سینامیک و اسید سینامیک نانوکمپوزیته، گلایسین بتائین در شوری ۵۰ میلی‌مولار افزایش یافت اما در شوری ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار کاهش یافت. تیمار نانوکمپوزیت در شوری ۵۰ میلی‌مولار ۷ ٪ افزایش و در شوری ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار به ترتیب ۲۲/۱۸ و ۱۹/۱۵ ٪ کاهش نشان داد. تیمار اسید سینامیک در شوری ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار به ترتیب ۶/۳۶، ۲۰/۲۵ و ۱۴ ٪ کاهش نشان داد (شکل ۵).

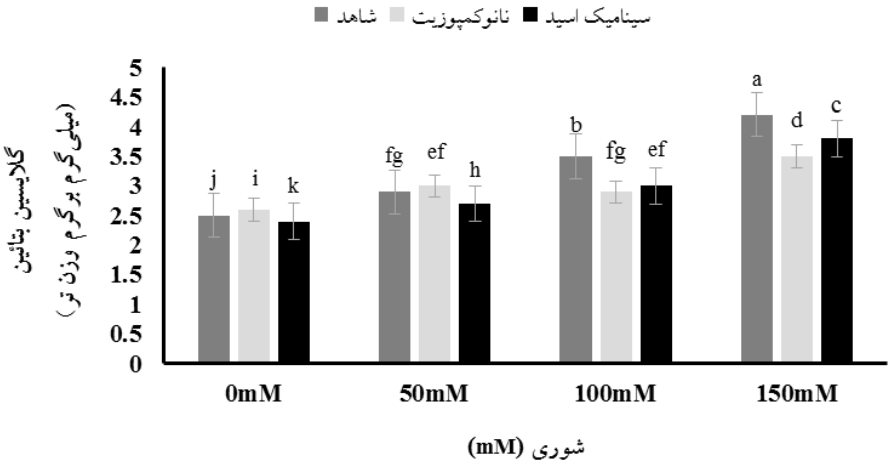
تجمع املاح سازگارکننده محلول یا مواد اسمولیتی مانند گلایسین بتائین و پرولین یکی از حیاتی‌ترین راهبردهای گیاهان برای مقابله با تنش شوری است. در واقع گیاهان در شرایط شور این املاح را برای تنظیم پتانسیل اسمزی درون سلول‌ها سنتز می‌کنند. همچنین مشخص شده که میزان این املاح با افزایش غلظت شوری به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد، که نشان می‌دهد این ترکیبات با عمل به عنوان اسمولیت با تنش‌های غیرزیستی مختلف مبارزه می‌کنند (Dilnawaz *et al.*, 2023). بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که نانوذرات با تغییر سطوح املاح مانند اسیدهای آمینه پرولین و گلیسین بتائین، تحمل گیاه را به تنش شوری افزایش می‌دهند و در نتیجه شوک اسمزی حاصل از تنش NaCl ناشی از سمیت یونی Na^+ و Cl^- را به حداقل می‌رسانند (Dilnawaz *et al.*, 2023; Raza *et al.*, 2023). در تحقیقات انجام‌شده بر روی گیاه *Brassica napus*، گزارش شده است که تیمار این

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.323]



شکل ۴- تغییرات پرولین آزاد در ریشه گیاه نعناع فلفلی تحت تیمارهای مختلف نانوکمپوزیت اسید سینامیک، اسید سینامیک و غلظت‌های مختلف شوری. ستون‌ها بیانگر میانگین سه تکرار، بارهای عمودی بیانگر انحراف معیار و حروف متفاوت تفاوت معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ > P را نشان می‌دهد.

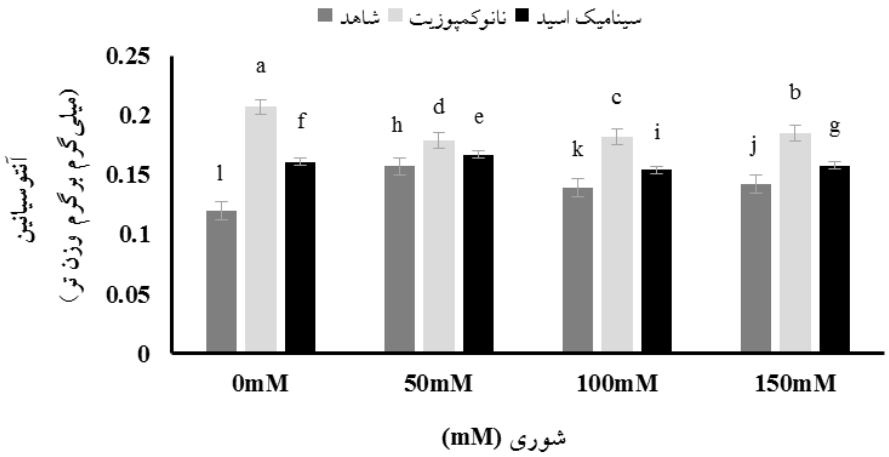


شکل ۵- تغییرات گلایسین بتائین در ریشه گیاه نعناع فلفلی تحت تیمارهای مختلف نانوکمپوزیت اسید سینامیک، اسید سینامیک و غلظت‌های مختلف شوری. ستون‌ها بیانگر میانگین سه تکرار، بارهای عمودی بیانگر انحراف معیار و حروف متفاوت تفاوت معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ > P را نشان می‌دهد.

گیاه با نانوذرات روی تحت تنش شوری، اثرات مضر نمک را از طریق بیوسنتز اسمولیت و تنظیم یون کاهش می‌دهد (Farouk and Al-Amri, 2019). در مطالعه دیگری که روی *Medicago sativa* که یک گیاه حساس به نمک است، انجام شد، محلول‌پاشی نانوذرات پتاسیم با افزایش محتوای پرولین تحمل نمک را بهبود بخشید (El-Sharkawy *et al*., 2017). در تحقیق دیگری، پیش‌تیمار بذر گندم با نانوذرات پلی‌هیدروکسی فولرن باعث بهبود محتوای اسیدآمینه و کاهش تنش شوری در گیاهچه گندم شد (Shafiq *et al*., 2019). نتایج، افزایش پرولین و گلایسن بتائین را در پاسخ به تیمار با اسید سینامیک و اسید سینامیک نانوکمپوزیته نشان داد که با یافته‌های سایر محققین مطابقت دارد.

بررسی ترکیبات فیتوشیمیایی در گیاه نعناع فلفلی تحت تنش شوری، کل آنتوسیانین: مقایسه میانگین داده‌ها، معنی‌دار

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.323]



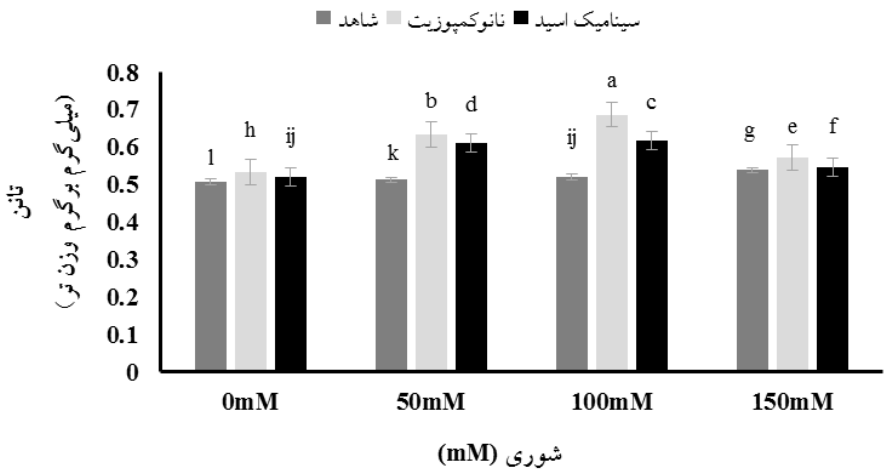
شکل ۶- تغییرات میزان کل آنتوسیانین در گیاه نعناع فلفلی تحت تیمارهای مختلف نانوکمپوزیت اسید سینامیک، اسید سینامیک و غلظت‌های مختلف شوری. ستون‌ها بیانگر میانگین سه تکرار، بارهای عمودی بیانگر انحراف معیار و حروف متفاوت تفاوت معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ > P را نشان می‌دهد.

بودن تغییرات کل آنتوسیانین بین تیمارهای مختلف شوری، نانوکمپوزیت اسید سینامیک و اسید سینامیک را نشان داد. تیمار شوری به‌طور معنی‌داری باعث افزایش کل آنتوسیانین نسبت به گروه شاهد شد، به‌طوریکه در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار به ترتیب ۳۰/۸، ۱۵/۸ و ۱۸/۳۳ ٪ افزایش برای آنتوسیانین‌ها مشاهده شد. بیشترین افزایش مربوط به شوری ۵۰ میلی‌مولار بود. با اعمال تیمار اسید سینامیک و نانوکمپوزیت، کل آنتوسیانین افزایش بیشتری یافت. بیشترین افزایش آنتوسیانین، مربوط به تیمار نانو کمپوزیت در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار (۳۰/۹ ٪) بود. تیمار نانوکمپوزیت اسید سینامیک در شوری ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار به ترتیب ۱۴، ۳۰/۹ و ۳۰/۳٪ افزایش نشان داد. تیمار اسید سینامیک در شوری ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار به ترتیب ۷/۶۴، ۱۰/۸ و ۱۱/۳٪ افزایش نشان داد (شکل ۶).

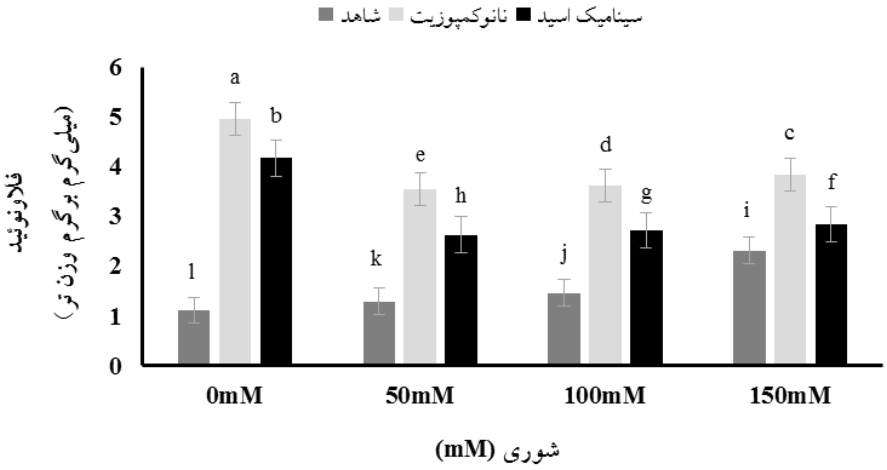
کل تانن: مقایسه میانگین داده‌ها، معنی‌دار بودن تغییرات کل تانن بین تیمارهای مختلف شوری، نانوکمپوزیت اسید سینامیک و اسید سینامیک را نشان داد. تیمار شوری به‌طور معنی‌داری باعث افزایش تانن نسبت به گروه شاهد شد، به‌طوریکه در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار به ترتیب ۱/۱۸، ۲/۷۶ و ۶/۵۱٪ افزایش برای تانن‌ها مشاهده شد. بیشترین افزایش مربوط به شوری ۱۵۰ میلی‌مولار بود. با اعمال تیمار اسید سینامیک و نانوکمپوزیت حاوی آن، کل تانن افزایش بیشتری یافت. بیشترین افزایش تانن، مربوط به تیمار نانو در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار (۳۱/۸۶ ٪) بود. تیمار نانو در شوری ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار به ترتیب ۲۱/۸۱، ۳۱/۸۶ و ۶/۱۱ ٪ افزایش نشان داد. تیمار اسید سینامیک در شوری ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار به ترتیب ۱۹/۳، ۱۸/۸۱ و ۱/۸۵٪ افزایش نشان داد (شکل ۷).

کل فلاونوئید: مقایسه میانگین داده‌ها، معنی‌دار بودن تغییرات کل فلاونوئید بین تیمارهای مختلف شوری، نانوکمپوزیت اسید سینامیک و اسید سینامیک را نشان داد. تیمار شوری به‌طور معنی‌داری باعث افزایش فلاونوئید نسبت به گروه شاهد شد، به‌طوریکه در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار به ترتیب ۱۶/۲۱، ۳۱/۵ و ۱۰۸/۳ ٪ افزایش برای فلاونوئیدها مشاهده شد. بیشترین افزایش مربوط به شوری ۱۵۰ میلی‌مولار بود. با اعمال تیمار اسید سینامیک و نانوی آن، فلاونوئید افزایش بیشتری یافت. بیشترین افزایش کل فلاونوئید، مربوط به تیمار نانو در شوری ۵۰ میلی‌مولار (۱۷۴/۳ ٪) بود. تیمار نانوکمپوزیت در شوری ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار به ترتیب ۱۷۴/۳، ۱۴۷/۷ و ۶۶/۴۴ ٪ افزایش نشان

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.323]



شکل ۷- تغییرات میزان کل تانن در گیاه نعناع فلفلی تحت تیمارهای مختلف نانوکمپوزیت اسید سینامیک، اسید سینامیک و غلظت‌های مختلف شوری. ستون‌ها بیانگر میانگین سه تکرار، بارهای عمودی بیانگر انحراف معیار و حروف متفاوت تفاوت معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ > P را نشان می‌دهد.

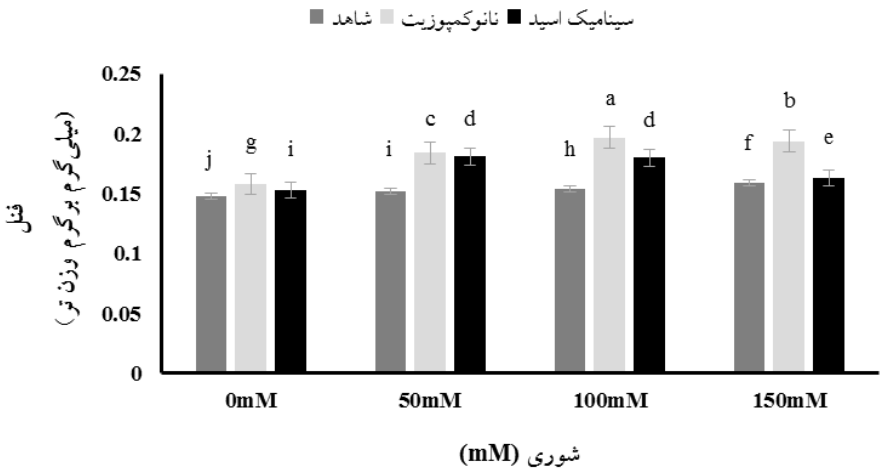


شکل ۸- تغییرات میزان کل فلاونوئید در گیاه نعناع فلفلی تحت تیمارهای مختلف نانوکمپوزیت اسید سینامیک، اسید سینامیک و غلظت‌های مختلف شوری. ستون‌ها بیانگر میانگین سه تکرار، بارهای عمودی بیانگر انحراف معیار و حروف متفاوت تفاوت معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ > P را نشان می‌دهد.

داد. تیمار اسید سینامیک در شوری ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار به ترتیب ۱۰۳/۷، ۸۶/۳ و ۲۲/۹۷٪ افزایش نشان داد (شکل ۸).

کل فنل: مقایسه میانگین داده‌ها، معنی‌دار بودن تغییرات کل فنل بین تیمارهای مختلف شوری، نانوکمپوزیت اسید سینامیک و اسید سینامیک را نشان داد. تیمار شوری به‌طور معنی‌داری باعث افزایش فنل کل نسبت به گروه شاهد شد، به‌طوریکه در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار به ترتیب ۲/۷، ۴/۱ و ۷/۴۳ ٪ افزایش برای فنل‌ها مشاهده شد. بیشترین افزایش مربوط به شوری ۱۵۰ میلی‌مولار بود. با اعمال تیمار اسید سینامیک و نانوکمپوزیت، فنل افزایش بیشتری یافت. بیشترین افزایش فنل، مربوط به تیمار نانو در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار (۲۷/۹٪) بود. تیمار نانوکمپوزیت حاوی اسید سینامیک در شوری ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار به ترتیب ۲۱/۱، ۲۷/۹ و ۲۲٪ افزایش نشان داد. تیمار اسید سینامیک در شوری ۵۰، ۱۰۰

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.323]



شکل ۹- تغییرات میزان کل فنل در گیاه نعناع فلفلی تحت تیمارهای مختلف نانوکمپوزیت اسید سینامیک، اسید سینامیک و غلظت‌های مختلف شوری. ستون‌ها بیانگر میانگین سه تکرار، بارهای عمودی بیانگر انحراف معیار و حروف متفاوت تفاوت معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ > P را نشان می‌دهد.

و ۱۵۰ میلی‌مولار به ترتیب ۱۹/۱، ۱۶/۸۸ و ۲/۵۲ ٪ افزایش نشان داد (شکل ۹).

ترکیبات فنلی گسترده‌ترین متابولیت‌های ثانویه در قلمرو گیاهی هستند و نقش‌های متعددی در سیگنال‌دهی، انتقال اکسین، دفاع گیاه، مهار رادیکال‌های آزاد اکسیژن و کاهش یا مهار اکسیداسیون لیپید ایفا می‌کنند. در بین انواع آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی، فنل‌ها و فلاونوئیدها با تجمع در بافت‌های مختلف گیاهان به طور قابل توجهی به عنوان جاذب کننده رادیکال‌های آزاد برای تحمل تنش شوری عمل می‌کنند (Das *et al.*, 2019).

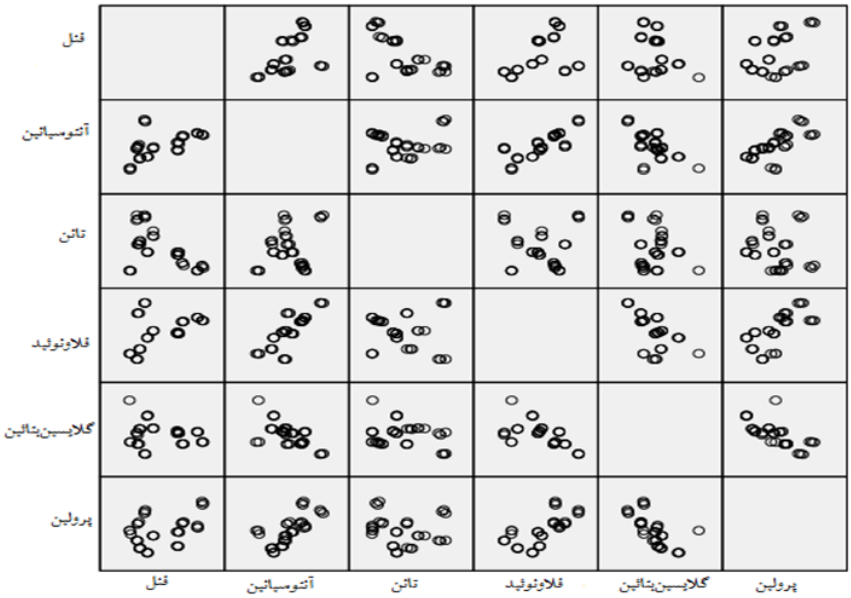
در واقع پلی‌فنل‌ها و فلاونوئیدها آنتی‌اکسیدان‌هایی با وزن مولکولی کم می‌باشند که می‌توانند به‌طور مؤثر رادیکال‌های آزاد مضر را از بین ببرند. در پژوهشی که توسط محققیان و احسان‌پور گزارش شد در گیاه تنباکو شوری باعث افزایش کل فنل، آنتوسیانین و فلاونوئید نسبت به نمونه شاهد شد که با تیمار اسید سینامیک نیز افزایش چشمگیری مشاهده شد (Mohagheghian and Ehsan Pour, 2021). در نتایج ما نیز تنش شوری باعث افزایش محتوای کل فنل، آنتوسیانین و فلاونوئید در برگ شد، در حالی‌که بیشترین مقدار در تیمار با نانوکمپوزیت مشاهده شد. به نظر می‌رسد که با تیمار اسید سینامیک (ماده اولیه مسیر فنیل پروپانوئیدی و پیش‌ساز ترکیبات فنلی) اسید سینامیک وارد مسیر فنیل پروپانوئیدی شده و میزان ترکیبات فنلی را افزایش می‌دهد (Mohagheghian and Ehsan Pour, 2021). در نتیجه، نانوکمپوزیت اسید سینامیک احتمالاً با افزایش محتوای این متابولیت‌های ثانویه، اثرات شوری را بر گیاهان نعناع‌فلفلی کاهش داده‌اند. ریزساختارهای روی سطوح برگ شامل منافذ کوتیکولی و روزنه است. بررسی نفوذ دو گروه از ذرات معلق در آب با اندازه‌های مختلف به برگ‌های *Vicia faba* نشان داد که ذرات با اندازه نانو به راحتی می‌توانند از طریق نفوذ منافذ روزنه‌ای وارد برگ‌ها شوند. هنگامی که نانوذرات در سلول‌های گیاهی جذب می‌شوند، پلاسمودسماتاها به این مواد اجازه انتقال سلول به سلول را در داخل گیاه می‌دهند (Talebi, 2024). پلاسمودسماتا کانال‌های نانومقیاسی (۵۰ تا ۶۰ نانومتر) هستند که از دیواره‌های سلولی گیاه عبور می‌کنند و امکان تماس و انتقال سلول به سلول را فراهم می‌کنند. در نتیجه اندازه کوچک نانوذرات، کودهای نانومقیاس ممکن است بتوانند به انواع سطوح گیاهی و سیستم‌های حمل‌ونقل دسترسی داشته باشند و در نتیجه در تحویل مواد مغذی نقش مؤثرتری داشته باشند (Hu and Xianyu, 2021). علاوه‌براین،

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.323]

جدول ۲- جدول ضریب همبستگی و سطح معناداری عوامل مختلف بررسی‌شده در تحقیق.

		فنل	آنتوسیانین	تانن	فلاونوئید	گلایسین‌بتائین	پرولین
فنل	ضریب همبستگی	۱	۰/۵۲۷	۰/۹۰۲	۰/۴۳۱	۰/۱۴۳	۰/۴۰۴
	سطح معناداری		۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۹	۰/۰۰۵	۰/۰۱۴
آنتوسیانین	ضریب همبستگی	۰/۵۲۷	۱	۰/۴۲۹	۰/۸۱۲	-۰/۶۴۵	۰/۷۰۵
	سطح معناداری	۰/۰۰۱		۰/۰۰۹	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
تانن	ضریب همبستگی	۰/۹۰۲	۰/۴۲۹	۱	۰/۳۵۹	-۰/۲۰۴	۰/۴۳۸
	سطح معناداری	۰/۰۰۰	۰/۰۰۹		۰/۰۳۲	۰/۰۳۱	۰/۰۰۸
فلاونوئید	ضریب همبستگی	۰/۴۳۱	۰/۸۱۲	۰/۳۵۹	۱	-۰/۵۷۸	۰/۶۷۶
	سطح معناداری	۰/۰۰۹	۰/۰۰۰	۰/۰۳۲		۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
گلایسین‌بتائین	ضریب همبستگی	-۰/۱۴۳	-۰/۶۴۵	-۰/۲۰۴	-۰/۵۷۸	۱	-۰/۶۹۴
	سطح معناداری	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰	۰/۰۳۲	۰/۰۰۰		۰/۰۰۰
پرولین	ضریب همبستگی	۰/۴۰۴	۰/۷۰۵	۰/۴۳۸	۰/۶۷۶	-۰/۶۹۲	۱
	سطح معناداری	۰/۰۱۴	۰/۰۰۰	۰/۰۰۸	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	

همبستگی در سطح ۰/۰۵ و کمتر از آن (۰/۰۵ ≥) معنادار است.



شکل ۱۰- نمودار مربوط به رگرسیون پارامترهای سنجش‌شده

از آنجایی که نانوکمپوزیت‌ها حلالیت، واکنش‌پذیری و فراهم زیستی بهتری نسبت به همتایان مولکولی خود دارند، می‌توان بیان کرد که در مقایسه با اسید سینامیک، اسید سینامیک نانوکمپوزیته بهتر و سریع‌تر توسط گیاه نعناع‌فلفلی جذب شده، با تعدیل اثرات منفی نمک، تحمل این گیاه دارویی را به تنش شوری افزایش داده است (Ranjbar *et al*., 2023; Haeri Moghaddam *et al*., 2023). سازگاری با شرایط تنش‌زا یک امر ظریف و پیچیده است مکانیسمی که شامل تعداد زیادی متابولیت، ژن و مکانیسم‌های تنظیمی است. گیاهان سیگنال‌های تنش را با استفاده از اجزای مختلف از جمله کینازها،

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.323]

هورمون‌ها، ناقل‌های یون، فاکتورهای رونویسی و Ca^{2+} شناسایی و انتقال می‌دهند (Bao *et al.*, 2024). مولکول‌های حسگر می‌توانند باعث تغییرات ساختاری در پروتئین‌ها و سایر ترکیبات مهم، تغییر در سیالیت غشاها، جداسازی رشته‌های اسید نوکلئیک و غیره شوند. چنین تغییراتی می‌تواند بر روند رونویسی تأثیر بگذارد و منجر به کنترل ژن‌های سازگار با تنش شود (Llanes *et al.*, 2020). استفاده از نانوذرات برای تحویل ژن برای انتقال سریع سیگنال‌ها و ایجاد واکنش‌های مربوط به تحمل تنش، بینش‌های مهمی را در مورد مطالعات آینده در این زمینه، براساس حداقل اطلاعات ارائه‌شده را فراهم می‌کند. جدول مربوط به ضرایب همبستگی (جدول ۲) و رگرسیون بین عوامل مختلف مورد استفاده در این تحقیق در زیر آورده شده است (شکل ۱۰).

نتیجه‌گیری

در بررسی شاخص‌های بیوشیمیایی و فیتوشیمیایی نعناع‌فلفلی شوری تأثیر منفی بر روی این شاخص‌ها گذاشت اما تیمار اسید سینامیک و اسید سینامیک نانوکمپوزیته این شاخص‌ها را بهبود بخشید طبق نتایج بدست آمده در واقع نانوکمپوزیت تحمل گیاهان به تنش شوری را افزایش داد چرا که میزان اسمولیت‌هایی که شاخص تنش شوری بودند در تیمار با نانو افزایش نشان دادند. در سنجش‌های تکمیلی به وسیله GC-MS که برروی اسانس گیاهان نعناع فلفلی تحت تیمارهای مذکور انجام گرفت مقدار اسانس و کیفیت آن در نمونه‌های تیمار شده با نانوکمپوزیت افزایش نشان داد. به‌طوری‌که برخی از متابولیت‌ها مثل منتول و کاریوفیلن افزایش چندین برابری در مقایسه با شاهد نشان دادند. در جواب به نتیجه کاربردی این پژوهش بایستی گفت که یک روش سریع و ساده سنتز کودهای نانوکمپوزیتی از منابع طبیعی است که می‌تواند جایگزین کودهای مضر شیمیایی شود. در این میان، تأثیر نانوکمپوزیت اسید سینامیک بیشتر از خود اسید سینامیک بود. دلیل آن ممکن است انحلال‌پذیری بالا، جذب و انتقال بهتر و سریع‌تر نانوکمپوزیت نسبت به اسید سینامیک باشد. به طور خلاصه، این مطالعه گزارشی بود از یک روش سریع و ساده سنتز نانوکمپوزیت از منابع طبیعی که به راحتی در دسترس هستند. بنابراین، این ماده و نانوکمپوزیت حاوی آن یک مسیر نوآورانه را در تحقیقات نشان دادند که می‌تواند با موفقیت عملکرد گیاه نعناع فلفلی را برای مقابله با شوری بهبود بخشد.

منابع

Akbarpour, V., Motaharinezhad, M., & Bahmanyar, M. (2022). Investigation of morpho-physiological properties of peppermint (*Mentha piperita* L.) affected by carbon sources of ethanol and methanol. *Journal of Horticultural Science*, *36*(1), 29-41. https://doi.org/10.22067/jhs.2022.61778.0

Aliakbarpour, F., Vaziri, A., & Mohseni, M. (2020). Green synthesis of Au-Ag nanoparticles using *Mentha piperita* and effects of Au-Ag alloy nanoparticles on the growth of *Mentha piperita* under salinity stress. *Journal of Plant Process and Function*, *9*, 47-58. https://civilica.com/doc/1367522

Bao, Y., Chen, J., Zhang, Y., Fernie, A. R., Zhang, J., Huang, B., Zhu, F., & Cao, F. (2024). Emerging role of jasmonic acid in woody plant development. *Advanced Agrochem*, *3*(1), 26-38. https://doi.org/10.1016/j.aac.2023.11.002

Bates, L., Waldren, R. A., & Teare, I. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, *39*, 205-207. https://doi.org/10.1007/bf00018060

Campobenedetto, C., Mannino, G., Beekwilder, J., Contartese, V., Karlova, R., & Bertea, C. M. (2021). The application of a biostimulant based on tannins affects root architecture and improves tolerance to salinity in tomato plants. *Scientific Reports*, *11*(1), 354. https://doi.org/10.1038/s41598-020-79770-5

Dabravolski, S. A, & Isayenkov, S. V. (2023). The role of anthocyanins in plant tolerance to drought and salt stresses. *Plants*, *12*(13), 2558. https://doi.org/10.3390/plants12132558

Das, A. B., Goud, V. V., & Das, C. (2019). Phenolic compounds as functional ingredients in beverages. In Value-added ingredients and enrichments of beverages. *Elsevier*, 285-323. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816687-1.00009-6

Dilnawaz, F., Misra, A. N., & Apostolova, E. (2023). Involvement of nanoparticles in mitigating plant's abiotic stress. *Plant Stress*, *10*, 100280. https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100280

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.323]

El-Sharkawy, M., Elbashbeshe, T., Mahmoud, E., & Missaoui, A. M. (2017). Response of Alfalfa under salt stress to the application of potassium sulfate nanoparticles. *American Journal of Plant Sciences*, *08*(08), 1751-1773. https://doi.org/10.4236/ajps.2017.88120

El Sabagh, A., Hossain, A., Barutçular, C., Iqbal, M. A., Islam, M. S., Fahad, S., & Erman, M. (2020). Consequences of salinity stress on the quality of crops and its mitigation strategies for sustainable crop production: An outlook of arid and semi-arid regions. *Environment, Climate, Plant and Vegetation Growth*, 503-533. https://doi.org/10.1007/978-3-030-49732-3_20

El Sabagh, A., Islam, M. S., Skalicky, M., Ali Raza, M., Singh, K., Anwar Hossain, M., & Ratnasekera, D. (2021). Salinity stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) in the changing climate: Adaptation and management strategies. *Frontiers in Agronomy*, *3*, 661932. https://doi.org/10.3389/fagro.2021.661932

Farouk, S, & Al-Amri, S. M. (2019). Exogenous zinc forms counteract NaCl-induced damage by regulating the antioxidant system, osmotic adjustment substances, and ions in canola (*Brassica napus* L. cv. Pactol) plants. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *19*, 887-899. https://doi.org/10.1007/s42729-019-00087-y

Forlani, G, & Funck, D. (2020). A specific and sensitive enzymatic assay for the quantitation of L-proline. *Frontiers in Plant Science*, *11*, 582026. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.582026

Ghassemi-Golezani, K., Rahimzadeh, S., & Farhangi-Abriz, S. (2023). Nanomaterials and nanocomposites exposures to plants: An overview. Nanomaterials and Nanocomposites Exposures to Plants: *Response, Interaction, Phytotoxicity and Defense Mechanisms*, 19-41. https://doi.org/10.1007/978-981-99-2419-6_2.

Haeri Moghaddam, N., Hashamdar, S., Hamblin, M. R., & Ramezani, F. (2023). Effects of electrospun nanofibers on motor function recovery after spinal cord injury: A systematic review and metaanalysis. *World Neurosurg*, *181*, 96-106. https://doi.org/10.1016/j.wneu.2023.10.065

Haris, M., Hussain, T., Mohamed, H. I., Khan, A., Ansari, M. S., Tauseef, A., & Akhtar, N. (2023). Nanotechnology–A new frontier of nano-farming in agricultural and food production and its development. *Science of The Total Environment*, *857*, 159639. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159639

Hassid, A., Salla, M., Krayem, M., Khaled, S., Hassan, H., & El Khatib, S. (2024). A review on the versatile applications of plant-based essential oils in food flavoring, culinary uses and health benefits. *Discover Food*, *5*, (130). https://doi.org/10.20944/preprints202406.2073.v1

Hu, J, & Xianyu, Y. (2021). When nano meets plants: A review on the interplay between nanoparticles and plants. *Nano Today*, *38*, 101143. https://doi.org/10.1016/j.nantod.2021.101143

Hudz, N., Kobylinska, L., Pokajewicz, K., Horcinova Sedlackova, V., Fedin, R., Voloshyn, M., Myskiv, I., Brindza, J., Wieczorek, P. P., & Lipok, J. (2023). *Mentha piperita*: Essential oil and extracts, their biological activities, and perspectives on the development of new medicinal and cosmetic products. *Molecules*, *28*, 7444. https://doi.org/10.3390/molecules28217444

Jing, T., Li, J., He, Y., Shankar, A., Saxena, A., Tiwari, A., & Eissa, M. A. (2024). Role of calcium nutrition in plant physiology: Advances in research and insights into acidic soil conditions-A comprehensive review. *Plant Physiology and Biochemistry*, 108602. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.108602

Juric, T., Micic, N., Potkonjak, A., Milanov, D., Dodic, J., Trivunovic, Z., & Popovic, B. M. (2021). The evaluation of phenolic content, in vitro antioxidant and antibacterial activity of *Mentha piperita* extracts obtained by natural deep eutectic solvents. *Food Chemistry*, *362*, 130226. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130226

Kiani, R., Arzani, A., & Mirmohammady Maibody, S. (2021). Polyphenols, flavonoids, and antioxidant activity involved in salt tolerance in wheat, *Aegilops cylindrica* and their amphidiploids. *Frontiers in Plant Science*, *12*, 646221. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.646221

Llanes, A., Palchetti, M. V., Vilo, C., & Ibanez, C. (2021). Molecular control to salt tolerance mechanisms of woody plants: recent achievements and perspectives. *Annals of Forest Science*, *78*, 1-19. https://doi.org/10.1007/s13595-021-01107-7

Mahendran, G, & Rahman, L. U. (2020). Ethnomedicinal, phytochemical and pharmacological updates on Peppermint (*Mentha× piperita* L.)—A review. *Phytotherapy Research*, *34*, 2088-2139. https://doi.org/10.1002/ptr.6664

Massange-Sanchez, J. A., Sanchez-Hernandez, C. V., Hernandez-Herrera, R. M., & Palmeros-Suarez, P. A. (2021). The biochemical mechanisms of salt tolerance in plants. *Plant Stress Physiology-Perspectives in Agriculture*. https://doi.org/10.5772/intechopen.101048

Mohagheghian, E, & EhsanPour, A. (2021). Effect of cinnamic acid on the activity of phenylalanine ammonialyase (PAL) and tyrosine ammonialyase (TAL) enzymes and some physiological characteristics of tobacco plant (*Nicotiana rustica* L.) under salinity stress in vitro calture. *Sillul va Baft*, *12*, 88-102. https://doi.org/10.52547/jct.12.2.88

Nemati Lafmejani, Z., Jafari, A. A., Moradi, P., & Moghadam, A. L. (2021). Application of chelate and nano-chelate zinc micronutrient onmorpho-physiological traits and essential oil compounds of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Journal of Medicinal Plants and By-Product*, *10*(Special), 21-28. https://doi.org/10.22092/JMPB.2020.125992.1109

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.323]

Nie, K., Wang, X., Deng, K., Hu, X., & Wu, K. (2021). Magnesium matrix composite reinforced by nanoparticles–a review. *Journal of Magnesium and Alloys*, *9*(1), 57-77. https://doi.org/10.1016/j.jma.2020.08.018

Pinto, E., Aggrey, W. N., Boakye, P., Amenuvor, G., Sokama-Neuyam, Y. A., Fokuo, M. K., & Erzuah, M. S. (2022). Cellulose processing from biomass and its derivatization into carboxymethylcellulose: A review. *Scientific African*, *15*, e01078. https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e01078

Ranjbar, M., Khakdan, F., Ghorbani, A., Zargar, M., & Chen, M. (2023). The variations in gene expression of GAPDH in *Ocimum basilicum* cultivars under drought-induced stress conditions. *Environmental Science and Pollution Research*, *30*, 119187-119203. https://doi.org/10.1007/s11356-023-30549-x

Raza, A., Charagh, S., Salehi, H., Abbas, S., Saeed, F., Poinern, G. E., Siddique, K. H., & Varshney, R. K. (2023). Nano-enabled stress-smart agriculture: Can nanotechnology deliver drought and salinity-smart crops? *Journal of Sustainable Agriculture and Environment*, *2*, 189-214. https://doi.org/10.1002/sae2.12061

Salem, S. S., Hashem, A. H., Sallam, A. A. M., Doghish, A. S., Al-Askar, A. A., Arishi, A. A., & Shehabeldine, A. M. (2022). Synthesis of silver nanocomposite based on carboxymethyl cellulose: Antibacterial, antifungal and anticancer activities. *Polymers*, *14*(16), 3352. https://doi.org/10.3390/polym14163352

Seddiqi, H., Oliaei, E., Honarkar, H., Jin, J., Geonzon, L. C., Bacabac, R. G., & Klein-Nulend, J. (2021). Cellulose and its derivatives: Towards biomedical applications. *Cellulose*, *28*(4), 1893-1931. https://doi.org/10.1007/s10570-020-03674-w

Sepehry Javan, Z., Razavi, S. M., Khalofah, A., & Ghorbani, A. (2024). The ameliorating effects of cinnamic acid-based nanocomposite against salt stress in peppermint. *Environmental Science and Pollution Research*, *31*(32), 45055-45073. https://doi.org/10.1007/s11356-024-34158-0

Shafiq, F., Iqbal, M. Ali, M., & Ashraf, M. A. (2019). Seed pre-treatment with polyhydroxy fullerene nanoparticles confer salt tolerance in wheat through upregulation of H_2O_2 neutralizing enzymes and phosphorus uptake. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *19*, 734-742. https://doi.org/10.1007/s42729-019-00073-4

Talebi, S. M. (2024). Uptake of nanomaterials by plants and translocation within plants. In Microbiome and Nano-Cross-Talk. *Elsevier*, 19-41. https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18822-0.00002-5

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.323]

Synthesis of cinnamic acid nanocomposite and investigation of its effects on root osmolality compounds and phytochemical parameters of peppermint (*Mentha piperita* L.) plant under salt stress

Zahra Sepehry Javan, Seyed Mehdi Razavi*

Department of Biology, Faculty of Science, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
(Received: 2025/01/05, Accepted: 2025/05/03)

Abstract

The present study was conducted to synthesize a cinnamic acid nanocomposite and better understand its behavior in salinity control in peppermint plants. For this purpose, three factors, salinity stress with different concentrations of sodium chloride, including 0, 50, 100, and 150 mg/liter; cinnamic acid with a concentration of 50 µM; and cinnamic acid nanocomposite based on carboxymethyl cellulose with a concentration of 50 µM were considered. The results showed that with increasing salinity levels, the content of soluble compounds (30.55% proline and 36.2% glycine betaine) and phytochemical parameters (6.51 to 108.3%) increased. The application of cinnamic acid and its nanocomposite increased these vital parameters significantly. There was a 7 to 27.01% increase in soluble compounds and a 27.9 to 174.3% increase in phytochemical parameters. As a biostimulant, the nanocomposite significantly increased peppermint tolerance under salinity conditions. Cinnamic acid and nanocomposite containing it acted as a plant growth regulator in saline conditions. The results showed that nanocomposite is more effective than cinnamic acid in improving biochemical and phytochemical parameters. The reason for this is the high solubility, better and faster absorption and transfer of nanocomposite compared to the material itself. This material and the nanocomposite containing it showed an innovative path in research that can successfully improve the performance of plants to cope with salinity.

Keywords: Stress, Carboxymethyl cellulose, Medicinal plants, Nanocomposites

Corresponding author, Email: razavi694@gmail.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.323]