Long term effects of soil contamination with nanoplastics on physiology of tomato plant (*Solanum lycopersicum*)

Masoumeh Nazari[1], Alireza Iranbakhsh[1*], Mostafa Ebadi[2], Zahra Oraghi Ardebili[3]

1.Institute of Converging sciences and Technologies, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2.Department of Biology, Da.C., Islamic Azad University, Damghan, Iran.
3.Department of Biology, Ga.C., Islamic Azad University, Garmsar, Iran.
Tehran, Iran.

Abstract

Aim and Background: Nowadays, the accumulation of nanoplastics in water and soil ecosystems has accompanied by critical environmental challenges, thereby threatening health of all living organisms, including plants and humans. Considering limited researches exploring the effects of nanoplastic contaminants on plants, this study was conducted to understand the physiological responses of tomato plants to nanopolyethylene.

Materials and Methods: Tomato seeds were planted in pots containing a culture medium containing cocopeat and perlite contaminated with different concentrations of polyethylene nanoplastics (diameter ranging from 20 to 40 nm), including 0 (control), 0.1 and 1 g nanoplastic per kg soil. Changes in some physiological indices, such as stem and root fresh weights, relative leaf water content, ion leakage rate, substomatal carbon dioxide concentration (Porometere device), and superoxide dismutase enzyme activity (spectrophotometry method) were evaluated.

Findings: Pot experiment confirmed the negative effects of soil contamination with nanoplastics. The decrease in stem fresh weight and root fresh weight indicated the toxic effects of nanoplastics on tomato growth. Soil pollution with nanoplastics significantly increased the stem diameter. With increasing nanoplastic concentration, the relative water content of leaves decreased significantly. Besides, the concentration of sub-stomatal carbon dioxide also decreased significantly in response to the nanoplastic pollutants. The exposure of tomato seedlings to the nanoplastic contaminant, the ion leakage index was linearly and significantly increased. Soil contamination with nanoplastics also caused significant induction of superoxide dismutase (SOD) enzyme activity.

Conclusion: The findings warn about the dangerous aspects of nanoplastics for agricultural ecosystems and food security. It is necessary to conduct further researches, thereby investigating the environmental effects of nanoplastics on plant life cycle, ecosystem, and food security.

Keywords: Tomato (*Solanum Licopersicum)*, Soil pollution; stress; superoxide dismutase; nano-pollutant; nanoparticles.

Corresponding author:
Institute of Converging sciences and Technologies, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.
Email: iranbakhsh@iau.ac.ir

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-01-31]

اثرات بلند مدت آلودگی خاک با نانوپلاستیک بر فیزیولوژی گیاه گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum*)

معصومه نظری[۱]، علیرضا ایرانبخش*[۱]، مصطفی عبادی[۲]، زهرا اوراقی اردبیلی[۳]

۱. دانشکده علوم و فناوری‌های همگرا، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲. گروه زیست شناسی، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، ایران
۳. گروه زیست شناسی ، واحد گرمسار، دانشگاه آزاد اسلامی، گرمسار، ایران

چکیده

سابقه و هدف: امروزه تجمع نانوپلاستیک‌ها در اکوسیستم‌های مختلف آبی و خاکی، چالش‌های زیست‌محیطی حیاتی زیادی را بدنبال داشته است که برای سلامتی همه انواع موجودات زنده از جمله گیاهان و انسان‌ها مضر است. نظر به وجود تحقیقات ناکافی درمورد اثرات آلاینده های نانوپلاستیک بر گیاهان، این تحقیق به منظور شناخت پاسخ های فیزیولوژیک گیاه گوجه فرنگی به نانوپلی اتیلن اجرا شد.

مواد و روش‌ها: بذور گوجه فرنگی در گلدان های حاوی محیط کشت حاوی کوکوپیت و پرلیت آلوده شده به غلظت‌های مختلف نانو پلاستیک پلی اتیلنی (قطر ۴۰-۲۰ نانومتر) شامل صفر (کنترل)، ۰/۱ و ۱ گرم نانوپلاستیک در هر کیلوگرم خاک کاشته شدند. تغییرات در برخی شاخص های فیزیولوژیک مثل وزن تر ساقه و ریشه، محتوای آبی نسبی برگ، نرخ نشت یونی، غلظت دی اکسید کربن زیر روزنه ای و فعالیت آنزیم سوپراکسید دیس موتاز (به روش اسپکتروفتومتری) مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: آزمایشات گلدانی اثرات منفی آلودگی خاک با نانوپلاستیک را تایید کرد. کاهش معنی‌دار مشاهده شده در وزن تر ساقه و وزن تر ریشه بیانگر اثرات سمی نانوپلاستیک بر رشد گیاه گوجه فرنگی بود. آلودگی خاک با نانوپلاستیک موجب افزایش معنی‌دار قطر ساقه نسبت به گروه شاهد شد. با افزایش غلظت نانوپلاستیک، محتوای آبی نسبی برگ به مقدار معنی‌داری کاهش یافت. علاوه براین، غلظت دی اکسید کربن زیر روزنه ای نیز تحت تاثیر آلودگی خاک با نانوپلاستیک کاهش معنی‌داری یافت. با افزایش غلظت نانوپلاستیک، شاخص نشت یونی به طور خطی و معنی‌داری افزایش یافت. آلودگی خاک با نانوپلاستیک همچنین موجب القا شدید معنی‌دار فعالیت آنزیم سوپراکسید دیس موتاز همراه بود اما تفاوت بین گیاهان تیمارشده با نانوپلاستیک معنی دار نبود.

نتیجه‌گیری: یافته‌های این تحقیق در مورد جنبه‌های خطرناک نانوپلاستیک‌ها برای اکوسیستم‌های کشاورزی و امنیت غذایی هشدار می‌دهد. اجرا پروژه‌های تحقیقاتی بیشتر برای بررسی اثرات زیست‌محیطی نانوپلاستیک‌ها بر چرخه زندگی گیاهان، ثبات اکوسیستم و امنیت غذایی ضروری است.

واژگان کلیدی:گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum*)، آلودگی خاک، تنش، سوپراکسید دیس موتاز، نانوآلاینده، نانوذرات.

۱- مقدمه

تجمع میکرو و نانوپلاستیک‌ها در اکوسیستم‌های آب و خاک، چالش‌های زیست‌محیطی حیاتی را تحمیل کرده است که سلامت همه موجودات زنده از جمله گیاهان و انسان‌ها را تهدید می‌کند (۱). استراتژی استفاده از پساب‌ها در اکوسیستم‌های کشاورزی خطرات اکوتوکسیولوژیکی مرتبط با

نویسنده مسئول:
دانشکده علوم و فناوری‌های همگرا، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
پست الکترونیکی:
iranbakhsh@iau.ac.ir
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۴

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-01-31]

حضور این آلاینده‌های تجدیدناپذیر مانند پلی پروپیلن و مواد پلاستیکی پلی اتیلن را افزایش داده است (۲). با وجود احتمال ورود مواد مبتنی بر نانوپلاستیک به اکوسیستم‌های کشاورزی، مطالعات علمی کمی سمیت گیاهی این آلاینده‌های نوظهور را بررسی کرده‌اند. براساس شواهد علمی موجود، جذب و جابجایی میکرو/نانوپلاستیک ها در چندین گونه گیاهی مانند خیار (۳)، ذرت (۴، ۵)، گندم (۶) و کاهو (۱) گزارش شده است. برچسب‌گذاری فلورسانس و تصویربرداری میکروسکوپ الکترونی این فرضیه را تأیید کرد که نانوپلاستیک‌ها می‌توانند از طریق نوک ریشه، نواحی تمایز نیافته و منطقه شروع ریشه‌های جانبی وارد بافت‌های ریشه شوند و از طریق کشش ناشی از تعرق از طریق سیستم آوندی به اندام‌های هوایی، به ویژه برگ‌ها منتقل شوند (۷). علاوه بر این، مشخص شده است که محل اتصال ریشه اصلی-جانبی از طریق مسیر آپوپلاستیک، مکانیزمی است که در ورود نانوپاستیک ها به سیستم آوندی نقش دارد و در نتیجه این ترکیبات می توانند از ریشه به اندام هوایی منتقل می شود (۸). Li و همکاران (۳) شواهدی را ارائه کردند که جذب، جابجایی و تجمع نانوپلاستیک‌ها را در ریشه‌ها، ساقه‌ها، گل‌ها و میوه‌های خیار نشان داد. علاوه بر این، دسترسی زیستی نانوپلاستیک ها (NPs) به عواملی مانند خواص نانومواد، ویژگی های خاک، میکروبیوم خاک و نوع گونه های گیاهی بستگی دارد (۴، ۹، ۱۰). Adamczyk و همکاران (۱۰) مطالعه ای را ارائه کردند که در آن پاسخ چندین گونه تک لپه (جو و گندم) و دو لپه ای (گوجه فرنگی و هویج) به نانوذرات پلی استیرن مقایسه شد. مطالعه آنها گوجه فرنگی را به عنوان یک گیاه حساس به نانوپلاستیک معرفی کرد. علاوه بر این، اثرات فیتوتوکسیک میکرو/نانوپلاستیک ها با تنش اکسیداتیو (۱۱)، کاهش شاخص های رشد (۴، ۶)، اختلالات متابولیک (۱، ۱۲) و تغییرات در میکروبیوم خاک (۱۳) همراه است. با این حال، دانش فعلی در مورد پاسخ های مورفولوژیکی، تشریحی، فیزیولوژیکی و مولکولی گیاهان به نانوپلاستیک ناشناخته باقی مانده است. به همین دلیل، روشن شدن اثرات بالقوه این آلاینده های خطرناک بر رشد، متابولیسم، پروتئوم، رونوشت و ژنوم گونه های مختلف گیاهی اخیراً توجه بیشتری را به خود جلب کرده است (۱۲). این تحقیق به منظور بررسی برخی پاسخ های فیزیولوژیک مثل شاخص های رشدی، محتوای آبی نسبی برگ، نشت یونی، غلظت دی اکسید کربن زیر روزنه ای و فعالیت آنزیم سوپراکسید دیس موتاز گیاه گوجه فرنگی به آلاینده های نانوپلاستیک پلی اتیلنی انجام شد.

۲- مواد و روش‌ها

در این مطالعه، محصول نانوپلی اتیلن با قطر ذرات از ۲۰ تا ۴۰ نانومتر از کارخانه پلی‌کوپی (شهر همدان) تهیه شد. این تحقیق در قالب طرح کاملا تصادفی با ۳ گروه تیماری و ۳ تکرار مستقل بیولوژیکی در دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران در سال ۱۴۰۲-۱۴۰۳ انجام شد. در این آزمایش، خاک در غلظت های نهایی صفر (کنترل)، ۰/۱ و ۱ گرم نانوپلاستیک در هر کیلوگرم خاک آلوده شد. بذور گوجه فرنگی در گلدان های حاوی محیط کشت حاوی کوکوپیت و پرلیت (۳:۱) آلوده شده به غلظت‌های مختلف نانو پلاستیک شامل صفر (کنترل)، ۰/۱ و ۱ گرم نانوپلاستیک در هر کیلوگرم خاک کاشته شدند. دانه رست‌ها در سه گروه تیمار شامل شاهد، NP0.1 (0.1 گرم نانو پلاستیک در هر کیلوگرم خاک) و NP1 (۱ گرم نانوپلاستیک به ازای هر کیلوگرم خاک) گروه بندی شدند (۱۱).

۲-۱-استخراج آنزیم و تعیین فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز SOD

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به روش اسپکتروفتومتری و براساس قابلیت بازدارندگی آن از احیای فتوشیمیایی نیترو بلو تترازولیوم (NBT)[1] در طول موج ۵۶۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. بافر استخراج مورد استفاده در این آزمایش مخلوط ۵۰ میلی مولار فسفات سدیم (pH ۷/۸)، ۱ میلی مولار EDTA و ۲ درصد (وزن به حجم) پلی وینیل پلی پیرولیدون (PVPP)[2] بود. جهت استخراج آنزیم، بافت برگ با کاربرد ۱ میلی لیتر بافر استخراج در هاون ساییده شد. مخلوط صاف شد و عصاره حاصل به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۴ °C و با سرعت ۱۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. محلول شفاف بالائی که عصاره آنزیم تلقی می‌شود، به آرامی جدا

1. nitrobluetetrazolium (NBT)

2. polyvinylpolypyrrolidone (PVPP)

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-01-31]

شد. همچنین، محلول واکنش شامل ۵۰ میلی مولار بافر فسفات سدیم (pH= ۷/۸)، ۱ میلی مول NBT، ۲۰ میلی مول متیونین، ۰/۱ مول EDTA و ۰/۲ میلی مول ریبوفلاوین بود که برای تهیه هر ۱۰۰ میلی لیتر از آن، مقدار ۱/۷۹ گرم فسفات سدیم آبدار ($Na_2HPO_4.12H_2O$) در ۸۰ میلی لیتر آب مقطر حل شد و پس از افزودن ۰/۰۸۸ گرم نیتروبلوتترازولیوم یا NBT، ۰/۷۴۵ گرم متیونین، ۰/۳۷۲ گرم EDTA و ۰/۰۰۷۵ گرم ریبوفلاوین به حجم نهایی رسانده شد. برای تعیین میزان فعالیت آنزیم SOD، مقدار ۳ میلی لیتر محلول واکنش، ۱۰۰ میکرولیتر بافر استخراج و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیم باهم مخلوط شد و مورد استفاده قرار گرفت. با قرار دادن لوله ها زیر نور لامپ فلورسانس ۱۵ وات در فاصله ۳۰ سانتیمتری و به مدت ۱۰ دقیقه واکنش آنزیمی آغاز شد. پس از ۱۰ دقیقه، لوله ها با فویل آلومینیومی پوشانده و لامپ ها خاموش شد. به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر Varian (مدل CARY-100)، اعداد جذب نمونه ها در طول موج ۵۶۰ نانومتر ثبت شد. فعالیت آنزیم (بر حسب واحد در میلی گرم برگ) محاسبه شد.

۲-۲- محتوای نسبی آب (RWC) برگ

برای اندازه گیری محتوای نسبی آب (RWC) برگ، قطعاتی از برگ (از قسمت میانی پهنک و بدون رگبرگ اصلی) انتخاب و وزن تر آن ها تعیین شد. به منظور تعیین وزن برگ در حالت تورژسانس، قطعات برگ به مدت ۲۴ ساعت در شدت نور کم و دمای ۴ درجه سلسیوس در داخل آب مقطر قرار گرفته تا سلولهای داخل برگ آب جذب نموده و به حالت تورژسانس درآیند. سپس، قطعات آماس یافته با احتیاط کامل دوباره وزن شوند. به دنبال آن، برگها در دمای ۷۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت خشک شده و وزن خشک آنها نیز اندازه گیری شد و RWC (بر حسب درصد) از رابطه زیر محاسبه شد(۱۴).

$$RWC\ \% = \frac{Wf - Wd}{Wt - Wd} * 100$$

Wf؛ وزن تر برگ؛ Wd: وزن خشک برگ؛ Wt: وزن برگ در حالت تورژسانس

۲-۳-اندازه گیری غلظت CO2 زیرروزنه ای

به منظور ارزیابی غلظت CO_2 زیرروزنه ای از دستگاه پرومتر AP4 (Porometere, Delta, England) استفاده شد.

۲-۴-اندازه گیری نشت یونی(EL)

جهت اندازه گیری پایداری غشای سلولی ۵ قطعه برگ به طول یک سانتیمتر مربع از برگ هر تیمار در زمان رسیدن به سطح تنش مورد نظر بریده شده و بلافاصله به آزمایشگاه جهت اندازه گیری منتقل شوند. آنها را داخل فاکون های ۵۰ میلی لیتری قرار داده و سپس مقدار ۱۵ میلی لیتر آب مقطر دو بار تقطیر شده به آن اضافه می گردد. سپس فالکون ها را به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق روی شیکر قرار داده و بعد از این مدت با استفاده از دستگاه هدایت سنج الکتریکی، هدایت الکتریکی (EC1) آنها اندازه گیری شد. سپس فالکون های حاوی نمونه ها به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس و فشار یک اتمسفر اتوکلاو شدند. سپس بعد از سرد شدن فالکون های حاوی نمونه ها تا دمای اتاق مجددا هدایت الکتریکی (EC2) آنها اندازه گیری و میزان نشت یونی از طریق رابطه زیر محاسبه شد.

$$EL\% = [EC1 / EC2] * 100$$

EL٪ = درصد نشت الکترولیت؛ EC1= هدایت الکتریکی اولیه ؛ EC2= هدایت الکتریکی ثانویه

۲-۵- ارزیابی آماری

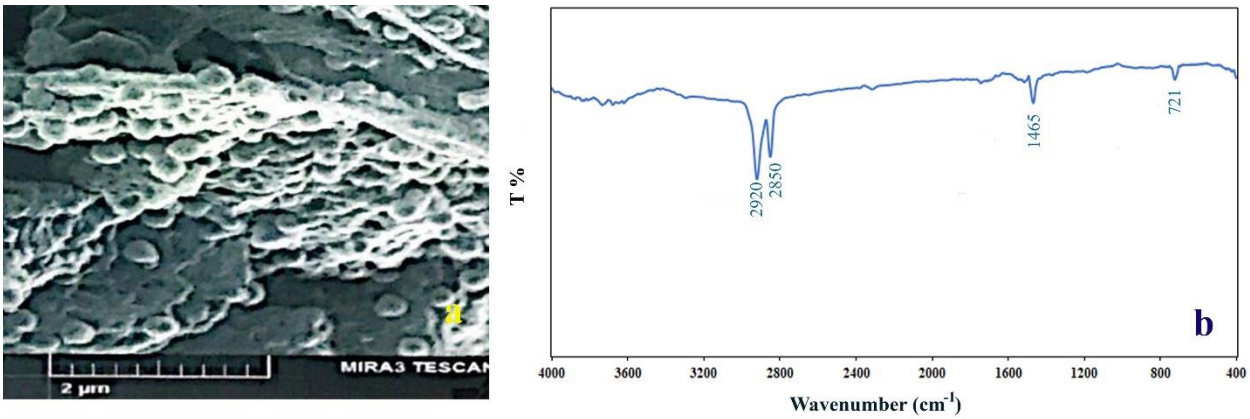
برای انجام تحلیل واریانس (ANOVA) بر روی تمامی داده های به دست آمده از نرم افزار GraphPad prism 9 استفاده شد. تمام مقادیر میانگین سه تکرار بیولوژیکی مستقل با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد مورد مقایسه آماری قرار گرفت. رابطه همبستگی بین صفات مورد مطالعه در قالب هیت مپ نیز با استفاده از نرم افزار گرفپد ترسیم شد.

۳- نتایج

ویژگی های نانوپلی اتیلن مصرفی در این تحقیق در شکل ۱ نشان داده شده است. تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی و طیف مادون قرمز به ترتیب در شکل های a۱ و b۱ ارائه شده است. عکس میکروسکوپ الکترونی مورفولوژی نانوذرات

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-01-31]

پلی اتیلن را نشان می دهد. همچنین، در طیف مادون قرمز، باند واقع در طول موج ۲۸۵۰ سانتی متر به ارتعاش کششی متقارن C-H اشاره دارد، در حالی که قله حدود ۲۹۲۰ مربوط به ارتعاش کششی نامتقارن C-H است. علاوه بر این، باندهای مشاهده شده در طول موج های ۱۴۶۵ و ۷۲۱ سانتی متر مربوط به ارتعاش CH2 است.



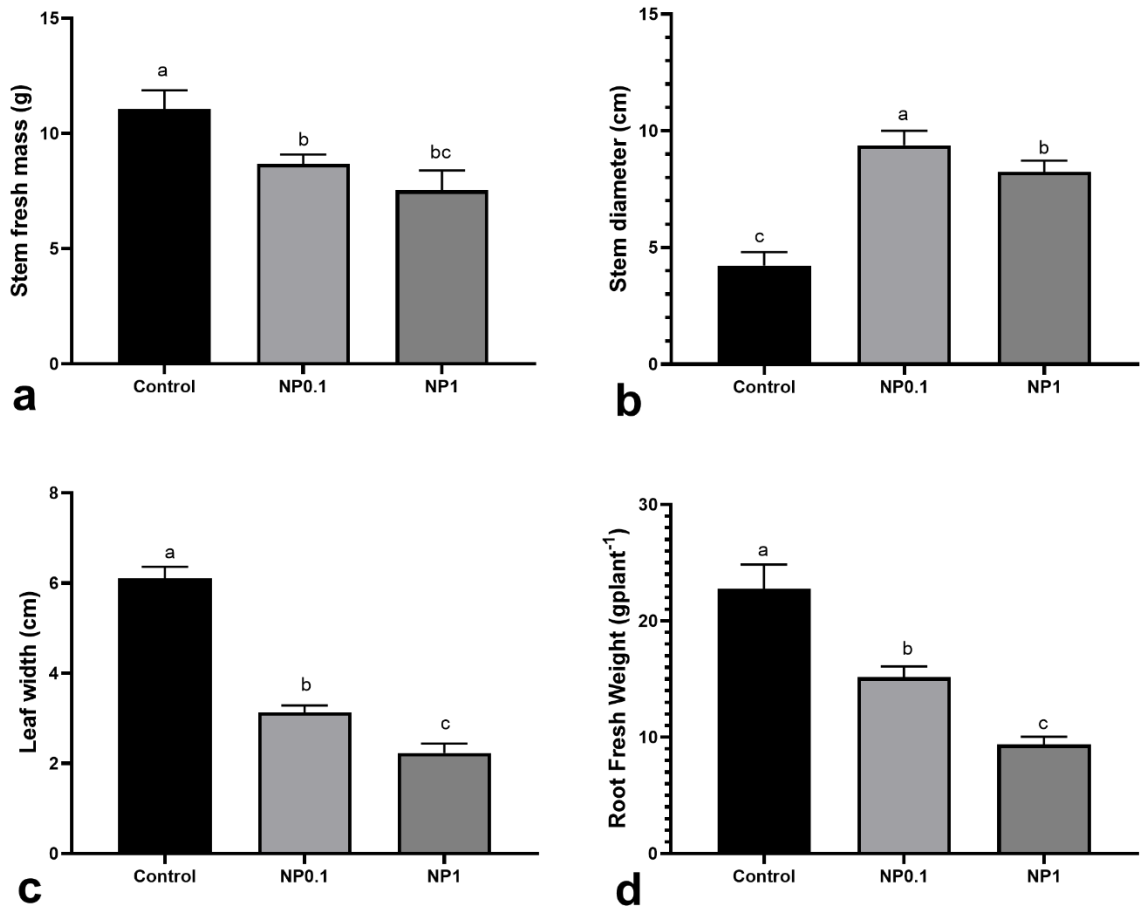
شکل ۱- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (a) و طیف مادون قرمز(b) پلی اتیلن نانوپلاستیک

Figure 1 - Scanning electron microscope image (a) and infrared spectrum (b) of polyethylene nanoplastic

علاه برآزمایشات در شرایط پتریدیش، آزمایشات گلدانی اثرات منفی آلودگی خاک با نانوپلاستیک را تایید کرد (شکل a۲). کاهش قابل ملاحظه وزن تر ساقه در گروه تیماری NP1 ثبت شد. آلودگی خاک با نانوپلاستیک موجب افزایش قطر ساقه شد (شکل b۲) که می تواند درنتیجه افزایش هورمون اتیلن رخ داده باشد. تیمار NP1 کاهش شدید عرض برگ را بدنبال داشت (شکل c۲). در روندی مشابه اندام هوایی، سمیت نانوپلاستیک وزن تر ریشه را کاهش داد (شکل d۲). کاهش در وزن تر ساقه، و عرض برگ و وزن تر ریشه بیانگر اثرات محدود کننده نانوپلاستیک بر رشد گیاه گوجه فرنگی بود. با افزایش غلظت نانوپلاستیک، محتوای آبی نسبی برگ به مقدار معنی داری کاهش یافت (شکل a۳). علاوه براین، غلظت دی اکسید کربن زیر روزنه ای نیز تحت تاثیر آلودگی خاک با نانوپلاستیک کاهش معنی‌داری یافت (شکل b۳). با افزایش غلظت نانوپلاستیک، نشت یونی به طور خطی معنی‌داری افزایش یافت (شکل c۳). آلودگی خاک با نانوپلاستیک موجب القا شدید معنی‌دار فعالیت آنزیم سوپراکسید دیس موتاز همراه بود اما تفاوت دو گروه تیماری NP0.1 وNP1 معنی‌دار نبود (شکل c۳).

بین صفت نشت یونی و صفات وزن تر ساقه، عرض برگی، محتوای آب نسبی و وزن تر ریشه همبستگی قوی منفی وجود داشت در حالیکه نشت یونی با صفات فعالیت آنزیم SOD و قطر ساقه همبستگی مثبت داشت (شکل ۴). صفات وزن تر ساقه و وزن تر ریشه با غلظت CO_2 همبستگی قوی مثبت معنی‌دار داشت. غلظت CO_2 همبستگی قوی منفی با نشت یونی نشان داد (شکل ۴).

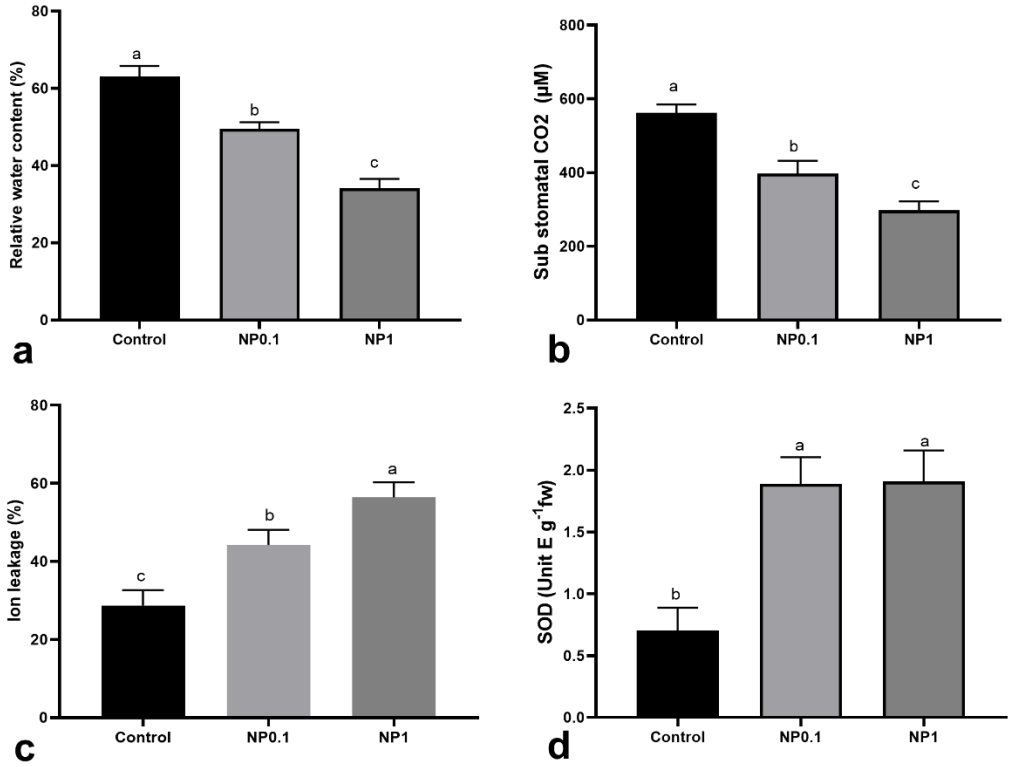
[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-01-31]



شکل ۲- اثر آلودگی خاک با نانوپلاستیک بر صفات رشدی مختلف شامل وزن تر ساقه (a)، قطر ساقه (b)، عرض برگ (c) و وزن تر ریشه (d)

Figure 2- The effect of soil contamination with nanoplastics on the different growth characteristics, including stem fresh wight (a), stem diameter (b), leaf width (c), and root fresh weight (d)

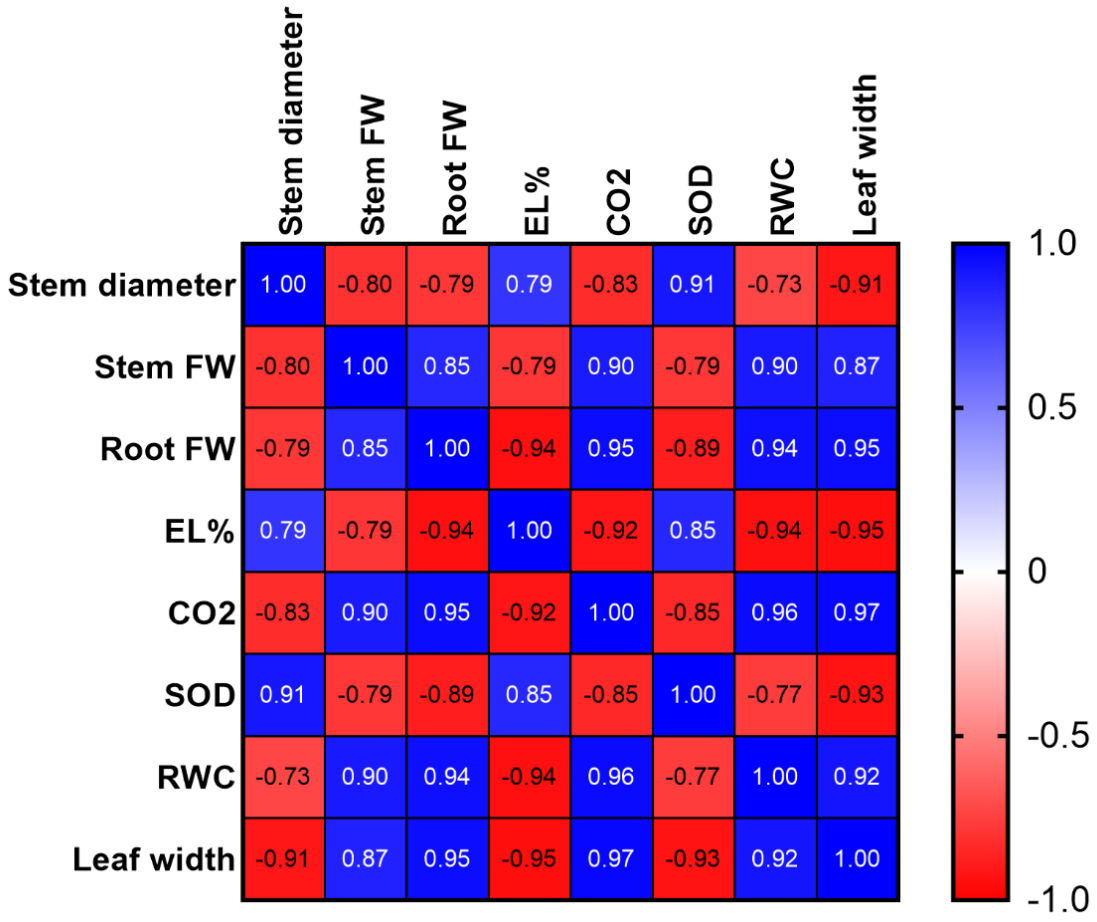
[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-01-31]



شکل۳- تغییرات در برخی صفات فیزیولوژیک شامل محتوای آبی نسبی (a)، غلظت دی اکسید کربن زیر روزنه ای (b)، نشت یونی (c) و فعالیت آنزیم سوپراکسید دیس موتاز (d) بدنبال آلودگی خاک با غلظت های مختلف نانوپلاستیک

Figure 3- Changes in some physiological traits, including relative water content (a), sub stomatal carbon dioxide concentration (b), ion leakage (c) and superoxide dismutase enzyme activity (d) following soil contamination with different concentrations of nanoplastics

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-01-31]



شکل ۴- ماتریکس همبستگی که در آن روابط بین متغیرهای وابسته مورد مطالعه در این تحقیق نشان داده شده است؛ رنگ های آبی و قرمز به ترتیب دلالت بر همبستگی مثبت و منفی دارد. شدت رنگ بیانگر شدت همبستگی است.

Figure 4- Correlation matrix in which the relationships between the explored dependent variables are shown; Blue and red colors indicate positive and negative correlation, respectively. The color intensity indicates the intensity of the correlation.

۴- بحث

براساس نتایج این تحقیق، آلودگی خاک با نانوپلاستیک در دراز مدت اثرات منفی زیادی برجنبه های مختلف زندگی گیاه داشت. آلودگی خاک با نانوپلاستیک موجب افزایش قطر ساقه شد که می تواند درنتیجه افزایش هورمون اتیلن رخ داده باشد. کاهش مشهود شاخص های رشدی در اثر نانوپلاستیک می تواند با واسطه افزایش در هورمون‌های بازدارنده رشد مانند اسید ابسیزیک (۱۵)، اسید سالیسیلیک و اکسین (۱۶) باشد. نتایج ما با یافته های Yang و همکاران، (۱۷) در کلم چینی، Sun و همکاران، (۴) در ذرت، Qiu و همکاران، (۱۶) در سویا، و Lian و همکاران (۹) در کاهو مطابقت دارد. برخلاف این گونه های حساس، گیاه *Lemna minor* به عنوان گونه‌ای مقاوم در برابر نانوپلاستیک معرفی شده است (۱۵). به نظر می‌رسد که قدرت تجمع در واکوئل و داشتن دیواره ضخیم مکانیسم های مقاومت برای کاهش خطرات نانوپلاستیک باشد. تحقیقات بعدی برای اثبات این فرضیه ضروری است. نتایج این تحقیق دلالت بر کاهش محتوای آبی و تبادلات گازی روزنه ای بدنبال تیمارهای نانوپلاستیک داشت که این شاخص های مهم به صورت غیرمستقیم منعکس کننده کاهش احتمالی متابولیسم به ویژه فتوسنتز دارد. به علاوه، نشت یونی بالاتر و فعالیت آنزیم سوپراکسید دیس موتاز بیشتر در گروه های تیمارشده با نانوپلاستیک اشاره به کاهش ثبات غشا و بروز تنش اکسیداتیو و فعالسازی سیستم آنتی اکسیدانی دارد. مکانیسم‌های مختلفی معرفی شده اند که از طریق آن ها، آلاینده های نانوپلاستیکی می توانند القا سمیت

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-01-31]

در گیاهان ایجاد کنند. گزارش شده است که نانوپلاستیک موجب بروز تنش اکسیداتیو (۱۵) و اختلال در یکپارچگی غشاء (۱۸) می شود. همچنین وقوع آسیب های ژنتیکی (۱۶، ۱۹)، آسیب به اندامک‌های سلولی (۲۰)، افزایش آپوپتوز (۲۱) نیز گزارش شده است. مطالعات تحقیقاتی وجود دارند که بیانگر تأثیر نامطلوب نانوپلاستیک بر فعالیت و عملکرد مریستم (۲۲) و مهار تکثیر سلولی (۱۹) است. بعلاوه، اختلال متابولیک (۱۱، ۲۳)، اختلال در تغذیه گیاه (۱۶)، تأثیر بر آناتومی ریشه (۱۹)، اختلالات سیتوژنتیک (۲۲) و عملکرد ضعیف فتوسنتز (۱۵) نیز گزارش شده است.

۵- نتیجه گیری

این تحقیق نشان داد که چگونه حضور آلاینده نانوپلاستیکی در خاک موجب القا تغییرات در رشد و فیزیولوژی گیاه گوجه فرنگی شد. این یافته‌ها در مورد جنبه‌های خطرناک نانوپلاستیک‌ها برای اکوسیستم‌های کشاورزی و امنیت غذایی هشدار می‌دهد. نتایج این تحقیق همچنین بر ضرورت اجرا پروژه‌های تحقیقاتی بیشتر تاکید دارد. انجام این تحقیقات برای شناخت اثرات زیست‌محیطی نانوپلاستیک‌ها بر چرخه زندگی گیاهان، ثبات اکوسیستم و امنیت غذایی ضروری است. یافته‌های این تحقیق همچنین بر ضرورت نظارت مستمر مسئولان مربوط و مدیریت آلودگی‌های میکرو و نانوپلاستیک‌ها به ویژه در اکوسیستم‌های کشاورزی تاکید می‌کند.

۶- ملاحظات اخلاقی

در این پژوهش، کاربردی ندارد.

۷- تشکر و قدردانی

بدینوسیله از مهندس اسماعیل قادری برای تهیه نانوپلی اتیلن و تمام افرادی که در انجام این پژوهش ما را یاری کردند، صمیمانه قدردانی می کنم.

۸- تعارض منافع

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچگونه تعارض منافع مالی، شخصی یا حرفه ای که بتوانند بر نتایج یا تفسیر داده های این پژوهش تأثیر گذار باشد، وجود ندارد.

۹- سهم نویسندگان

تمامی نویسندگان در طراحی پژوهش، جمع آوری داده ها، تحلیل و نگارش مقاله مشارکت داشته‌اند. نویسنده مسئول(علیرضا ایرانبخش) هماهنگی ارسال مقاله و ارتباط با مجله را برعهده داشته است. تمامی نویسندگان متن نهایی مقاله را مطالعه و تأئید نموده اند و مسئولیت علمی آن را می‌پذیرند.

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-01-31]

منابع

1.Li Y, Lin X, Xu G, Yan Q, Yu Y. Toxic effects and mechanisms of engineered nanoparticles and nanoplastics on lettuce (Lactuca sativa L.). Science of the Total Environment. 2024; 908:168421.

2.Aransiola SA, Ikhumetse AA, Babaniyi BR, Abioye OP, Oyedele OJ, Falade NO. Phytoaccumulation of micro-and nanoplastics: root uptake. InMicro and nanoplastics in soil: threats to plant-based food 2023 Mar 7 (pp. 165-188). Cham: Springer International Publishing.

3.Li Z, Li Q, Li R, Zhou J, Wang G. The distribution and impact of polystyrene nanoplastics on cucumber plants. Environmental Science and Pollution Research. 2021; 28:16042-53.

4.Sun H, Lei C, Xu J, Li R. Foliar uptake and leaf-to-root translocation of nanoplastics with different coating charge in maize plants. Journal of Hazardous Materials. 2021; 416:125854.

5.Sun H, Lei C, Yuan Y, Xu J, Han M. Nanoplastic impacts on the foliar uptake, metabolism and phytotoxicity of phthalate esters in corn (Zea mays L.) plants. Chemosphere. 2022; 304:135309.

6.Lian J, Wu J, Xiong H, Zeb A, Yang T, Su X, Su L, Liu W. Impact of polystyrene nanoplastics (PSNPs) on seed germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of hazardous materials. 2020; 385:121620.

7.Li L, Luo Y, Li R, Zhou Q, Peijnenburg WJ, Yin N, Yang J, Tu C, Zhang Y. Effective uptake of submicrometre plastics by crop plants via a crack-entry mode. Nature sustainability. 2020; 3(11):929-37.

8.Yang C, Yin L, Guo Y, Han T, Wang Y, Liu G, Maqbool F, Xu L, Zhao J. Insight into the absorption and migration of polystyrene nanoplastics in Eichhornia crassipes and related photosynthetic responses. Science of The Total Environment. 2023; 892:164518.

9.Lian J, Liu W, Meng L, Wu J, Chao L, Zeb A, Sun Y. Foliar-applied polystyrene nanoplastics (PSNPs) reduce the growth and nutritional quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.). Environmental pollution. 2021; 280:116978.

10.Adamczyk S, Chojak-Koźniewska J, Oleszczuk S, Michalski K, Velmala S, Zantis LJ, Bosker T, Zimny J, Adamczyk B, Sowa S. Polystyrene nanoparticles induce concerted response of plant defense mechanisms in plant cells. Scientific Reports. 2023;13(1): 22423.

11.Zhang Y, Yang X, Luo ZX, Lai JL, Li C, Luo XG. Effects of polystyrene nanoplastics (PSNPs) on the physiology and molecular metabolism of corn (Zea mays L.) seedlings. Science of the Total Environment. 2022; 806:150895.

12.Guo S, Zhang X, Sun H. Transcriptomic mechanism for foliar applied nano-ZnO alleviating phytotoxicity of nanoplastics in corn (*Zea mays* L.) plants. Science of The Total Environment. 2023; 905:166818.

13.Maddela NR, Ramakrishnan B, Kadiyala T, Venkateswarlu K, Megharaj M. Do microplastics and nanoplastics pose risks to biota in agricultural ecosystems?. Soil Systems. 2023; 7(1):19.

14.Kirnak H, Kaya C, Tas I, Higgs D. The influence of water deficit on vegetative growth, physiology, fruit yield and quality in eggplants. Bulg. J. Plant Physiol. 2001; 27(3):34-46.

15.Arikan B, Alp FN, Ozfidan-Konakci C, Yildiztugay E, Turan M, Cavusoglu H. The impacts of nanoplastic toxicity on the accumulation, hormonal regulation and tolerance mechanisms in a potential hyperaccumulator-Lemna minor L. Journal of Hazardous Materials. 2022; 440:129692.

16.Qiu G, Han Z, Wang Q, Wang T, Sun Z, Yu Y, Han X, Yu H. Toxicity effects of nanoplastics on soybean (Glycine max L.): Mechanisms and transcriptomic analysis. Chemosphere. 2023; 313:137571.

17.Yang Y, Wu Q, Wang D. Dysregulation of G protein-coupled receptors in the intestine by nanoplastic exposure in Caenorhabditis elegans. Environmental Science: Nano. 2021; 8(4):1019-28.

18.Ozfidan-Konakci C, Yildiztugay E, Arikan B, Alp-Turgut FN, Turan M, Cavusoglu H, Sakalak H. Responses of individual and combined polystyrene and polymethyl methacrylate nanoplastics on hormonal content,

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-01-31]

fluorescence/photochemistry of chlorophylls and ROS scavenging capacity in Lemna minor under arsenic-induced oxidative stress. Free Radical Biology and Medicine. 2023; 196:93-107.

19.Giorgetti L, Spanò C, Muccifora S, Bottega S, Barbieri F, Bellani L, Castiglione MR. Exploring the interaction between polystyrene nanoplastics and Allium cepa during germination: Internalization in root cells, induction of toxicity and oxidative stress. Plant Physiology and Biochemistry. 2020; 149:170-7.

20.Wang J, Zhu J, Zheng Q, Wang D, Wang H, He Y, Wang J, Zhan X. In vitro wheat protoplast cytotoxicity of polystyrene nanoplastics. Science of The Total Environment. 2023; 882:163560.

21. Spanò C, Giorgetti L, Bottega S, Muccifora S, Ruffini Castiglione M. Titanium dioxide nanoparticles enhance the detrimental effect of polystyrene nanoplastics on cell and plant physiology of *Vicia lens* (L.) Coss. & Germ. seedlings. Frontiers in Plant Science. 2024; 15:1391751.

22.Spanò C, Muccifora S, Castiglione MR, Bellani L, Bottega S, Giorgetti L. Polystyrene nanoplastics affect seed germination, cell biology and physiology of rice seedlings in-short term treatments: Evidence of their internalization and translocation. Plant Physiology and Biochemistry. 2022; 172:158-66.

23.Haldar S, Yhome N, Muralidaran Y, Rajagopal S, Mishra P. Nanoplastics toxicity specific to liver in inducing metabolic dysfunction—A comprehensive review. Genes. 2023; 14(3):590

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-01-31]