یافته‌های نوین در علوم زیستی
جلد ۷، شماره ۲، صفحات ۲۱۹ الی ۲۲۷ (۱۳۹۹)
انتشارات دانشگاه خوارزمی

Nova Biologica Reperta 7(2): 219-227 (2020)
Print ISSN: 2423-6330/Online ISSN: 2476-7115
https://nbr.khu.ac.ir; Kharazmi University Press; DOI: 10.29252/nbr.7.2. 219

اثر نانو اکسید آهن بر رشد، فیزیولوژی و کالزایی فلفل در شیشه

علیرضا ایرانبخش و سیدعلیرضا قادری

گروه زیست شناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
مسئول مکاتبات: علیرضا ایرانبخش، iranbakhsh@iau.ac.ir

چکیده. این پژوهش به‌منظور بررسی تاثیر نانواکسید آهن (Fe_2O_3) بر رشد، فیزیولوژی و کالزایی گیاه فلفل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در شرایط درون‌شیشه‌ای انجام شد. دانه‌رست‌ها در محیط کشت MS حاوی غلظت‌های ۰، ۱، ۱۰ و ۲۰ mgl^{-1} نانواکسید آهن کشت شدند. همچنین، اثر غلظت‌های مختلف نانوآهن برروی تشکیل کالوس در ۲ شرایط مختلف هورمونی شامل $0.5\ mgl^{-1}$ BAP $+0.5\ mgl^{-1}$ 2,4D و $0.5\ mgl^{-1}$ BAP $+1\ mgl^{-1}$ Kin بررسی شد. نتایج نشان داد به‌کارگیری نانوآهن موجب افزایش معنی‌دار بیومس در اندام‌های ریشه، ساقه و برگ گیاه شد. به‌علاوه، نانوآهن موجب افزایش غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل *a*، کلروفیل *b* و کارتنوئیدها) شد. تاثیر نانو اکسید آهن بر کالزایی بسته به نوع هورمون‌های به کارگرفته شده متفاوت بود. غلظت‌های مختلف نانو اکسیدآهن برروی کالزایی تحت تیمار هورمونی 2,4-D و BAP، اثر تحریکی داشت. درحالی‌که، حضور نانو آهن در محیط کشت حاوی هورمون‌های 2,4-D و کاینتین، اثر معنی‌داری روی القای کالوس نداشت. نتایج این تحقیق دلالت بر این مسئله دارد که بکارگیری نانواکسید آهن در غلظت‌های مناسب می‌تواند موجب افزایش راندمان تولید گیاهان به ویژه در شرایط درون شیشه شود.

واژه‌های کلیدی. رشد، کالوس، محیط کشت، نانوتکنولوژی، نانوذره

The effect of nano-iron oxide on growth, physiology, and callogenesis in pepper in vitro

Alireza Iranbakhsh & Seyed Alireza Ghaderi
Department of Biology, Science and Research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
Corresponding author: Alireza Iranbakhsh, iranbakhsh@iau.ac.ir

Abstract. The aim of this research was to study the effect of iron oxide nanoparticles (FeO NPs) on the growth, differentiation, anatomy, and physiology of pepper (*Capsicum annuum* L.) on the basis of a completely randomized design *in vitro* condition. Seedlings were cultured in MS medium containing four concentrations of FeO NPs (0, 1, 10, and 20 mgl^{-1}). Also, the effect of the different concentrations of FeO NPs on callus formation under two various hormone conditions ($0.5mgl^{-1}$ 2,4D $+0.5\ mgl^{-1}$ BAP or $0.5\ mgl^{-1}$ BAP $+1\ mgl^{-1}$ Kin) were assessed. The results showed that the application of FeO NPs significantly increased biomass accumulation in both roots and shoots. Moreover, FeO NPs enhanced the concentrations of photosynthesis pigments (chllrophyll *a*, chlorophyll *b*, and carotenoids). The presence of FeO NPs in culture medium affected callus formation in a hormone-dependent manner. Different concentration of FeO NPs induced the callus formation under 2, 4-D and BAP treatments. However, it did not significantly increase callus formation under the kinitin and 2,4-D. The findings of this research indicated that the application of FeO NPs at optimized doses may improve plant production, especially *in vitro* condition.

Keywords. callus, culture medium, growth, nanoparticle, nanotechnology

Received 19.06.2018/ Revised 28.07.2019/ Accepted 16.09.2019/ Published 01.07.2020

دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۲۹/ اصلاح: ۱۳۹۸/۰۵/۰۷/ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۲۵/ انتشار: ۱۳۹۹/۰۴/۱۱

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1399.7.2.9.3]
[DOI: 10.52547/nbr.7.2.219]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1399.7.2.9.3]
[DOI: 10.52547/nbr.7.2.219]

مقدمه

فلفل با نام علمی *Capsicum annuum* L. متعلق به تیره بادنجانیان (Solanaceae)، جزو گیاهانی است که اهمیت اقتصادی و غذایی بسیار زیادی دارد. این گیاه بومی نواحی حاره‌ای آمریکا بوده و اهلی شده است. فلفل علاوه بر اهمیت غذایی، خواص آنتی‌اکسیدانی نیز دارد (Ghasemnezhad et al., 2011). روش‌های سنتی و رایج تکثیر گیاه فلفل دارای معایبی نظیر کوتاه‌بودن عمر گیاهچه، پایین‌بودن سرعت جوانه‌زنی و خطر آلودگی گیاهچه‌ها به انواع پاتوژن‌ها مانند قارچ‌ها، باکتری‌ها، ویروس‌ها و نماتدها است. افزایش دما نیز سبب محدودیت در تولید می‌شود. این درحالی است که به‌کارگیری روش‌های تکثیر جدید و رایج از طریق بیوتکنولوژی، موجب افزایش کمی و ارتقا کیفی محصول می‌شود (Hussain et al.,1999).

کشت بافت، روشی مناسب برای ازدیاد گیاهان در شرایط آزمایشگاهی است که امروزه کاربردهای فراوانش در زمینه‌های مختلف تکثیر گیاهان ازطریق کشت درون‌شیشه‌ای بافت یا سلول‌های خاص و اصلاح نباتات گزارش شده است. مهمترین مورد قابل‌توجه در کشت‌های درون‌شیشه‌ای، عاری بودن محیط کشت و ریزنمونه از آلودگی‌های باکتریایی و قارچی است که با سترون سازی کامل مواد و وسایل آزمایشگاهی و استفاده از ترکیبات آنتی باکتریایی و قارچ کش، کنترل می‌شود. بنابراین استفاده از ترکیبی که بتواند ضمن پیشگیری موثر از بروز آلودگی در محیط، اثرات بازدارنده‌ای نیز در رشد ریزنمونه‌ها نداشته باشد، می‌تواند بسیار مفید واقع شود (Phillips & Garda, 2019).

نانوتکنولوژی به‌عنوان یک فناوری جدید در دهه‌های اخیر موردتوجه قرار گرفته است که با تولید محصولات متنوع در بخش‌های شیمی، انرژی و محیط زیست کاربردهای فراوانی دارد. نانو ذرات، ذراتی به ابعاد ۱ تا ۱۰۰ نانومتر هستند. روش‌های نوین و کاربردی کشت سلول و بافت در به‌نژادی و ازدیاد گیاهان این فرصت را فراهم می‌کند که بتوان از گیاهان بهره‌برداری بیش‌تری کرد و به مقدار بیش‌تری از ترکیبات ثانویه ارزشمند دست یافت. این مجموعه عوامل همراه با فناوری نانو، می‌تواند به افزایش و توسعه تولید منجر شود (Asgari-Targhi et al., 2018). کاربرد نانو ذرات در محیط درون شیشه‌ای می‌تواند به‌عنوان یک روش برای افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه مفید مورداستفاده قرار گیرد. همچنین استفاده از این نانو ذرات در محیط درون‌شیشه‌ای به عنوان روشی کاربردی در به‌نژادی گیاهان توصیه می‌گردد (Rizwan et al., 2017). آهن، عنصری ضروری برای فرایندهای متابولیک گیاه، سنتز DNA، فتوسنتز، و تنفس است. این عنصر نقشی کلیدی در واکنش‌های سوخت و سازی دارد (Barberon et al., 2011). آهن در بیوسنتز کلروفیل به صورت مستقیم شرکت دارد و برای سنتز پروتوپورفرین، پیش ماده سنتز کلروفیل، ضروری است. حدوداً ۶۰ درصد محتوای آهن برگ، در کلروپلاست است که درنتیجه کمبود مقدار آهن منجر به کلروز می‌شود (Blakrishnan, 2011). نکته قابل‌تأمل این است که کلروز برگ ناشی از کمبود آهن یک نابسامانی تغذیه‌ای گسترده در گیاهان است که می‌تواند نتایج خطیری برای محصولات کشاورزی داشته باشد (Lombardi et al., 2003). تحقیقات نشان داد بکارگیری غلظت‌های مختلف نانوذرات اکسید آهن اثرات مثبت بر زنده‌مانی و اندازه کالوس دارد (Sharafi et al., 2013). در گیاه گل راعی، کاربرد نانوآهن با غلظت mgl^{-1} ۷۵ بیش‌ترین تاثیر را بر فرایند کالزایی و زنده‌مانی کالوس داشت. به هر حال، غلظت mgl^{-1} ۱۰۰ نانوآهن دارای کم‌ترین تاثیر بر فرایند کالزایی و زنده‌مانی کالوس بود (Sharafi et al., 2013). در گیاه اسفناج نیز میزان بیومس و طول ساقه و ریشه با افزایش میزان نانو اکسید آهن به طور قابل توجهی افزایش یافت (Jeyasubramanian et al., 2016). در مطالعه دیگری، تیمار گیاهچه‌های بادام زمینی با نانواکسیدآهن موجب افزایش بیومس، طول ریشه و ارتفاع گیاه شد (Rui et al., 2016). بنابراین تحقیق در این زمینه می‌تواند دیدگاه‌های جدیدی را در استفاده از نانوذرات آهن به عنوان کود در کشاورزی پایدار ایجاد کند.

هدف از مطالعه حاضر پر نمودن خلاهای تحقیقاتی در زمینه مذکور از طریق بررسی اثر غلظت‌های مختلف نانو ذره اکسید آهن بر فرایند کالزایی، رشد و فیزیولوژی گیاه فلفل در شرایط درون شیشه‌ای بود.

مواد و روش‌ها

تهیه استوک نانو اکسیدآهن

میزان ۰/۱گرم نانو اکسیدآهن در ۱۰۰ میلی لیتر آب دیونیزه به مدت ۲۰ دقیقه به طور کامل مخلوط شد. سپس استوک با استفاده از همگن ساز به مدت ۳۰ دقیقه همگن سازی شد و جهت ساخت غلظت‌های مختلف نانو اکسیدآهن، استفاده شد (Dhoke et al., 2013).

شرایط کشت و اعمال تیمارها

بذرها به مدت ۳۰ ثانیه در الکل ۷۰ درصد و ۱۵ دقیقه در آب ژاول ۵ درصد ضدعفونی و سپس به مدت ۱۵ دقیقه با آب مقطر شستشو داده شدند. از محیط کشت MS در این مطالعه استفاده شد (Murashige & Skoog, 1962). بذرهای ضدعفونی شده در محیط کشت بدون هورمون حاوی غلظت‌های مختلف نانو

اکسید آهن (۰، ۱، ۱۰، ۲۰ میلی گرم در لیتر) تحت شرایط استریل کشت شدند. دانه‌رست‌های ۵۰ روزه برای انجام آنالیزهای مربوط برداشت شدند. شاخص‌های مختلف ریخت شناسی مانند طول اندام‌های هوایی، طول ریشه اصلی و تعداد ریشه‌های فرعی اندازه گیری شدند. سطح برگی برحسب cm^2 با استفاده از نرم افزار Digimizer به دست آمد. برای بدست آوردن وزن خشک، گیاهان در آون با دمای ۷۲ درجه به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند و سپس وزن شدند.

سنجش کلروفیل

رنگیزه‌های فتوسنتزی با استفاده از حلال استون ۸۰ درصد استخراج شدند. میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی به روش اسپکتروفتومتری تعیین شد (Arnon, 1949). جذب نمونه‌ها در طول موج‌های ۶۴۵، ۶۶۳ و ۴۴۵ ثبت شد.

آزمایش کالزایی

به منظور بررسی اثر به کارگیری غلظت‌های مختلف نانواکسید آهن بر کالزایی، از دانه‌رست‌های استریل ۳۰ روزه برای تهیه جداکشت استفاده شد. در این بخش، کالزایی در دو شرایط مختلف هورمونی شامل $0.5\ mgl^{-1}$ BAP+$0.5\ mgl^{-1}$ 2,4D و $0.5\ mgl^{-1}$ BAP+$1\ mgl^{-1}$ Kin بررسی شد. جداکشت‌های برگی در دو محیط حاوی تنظیم‌کننده‌های رشد فوق و غلظت-های مختلف نانواکسیدآهن (۰، ۱، ۱۰، ۲۰ میلی گرم در لیتر) کشت شدند. بعد از ۴۰ روز کالوس‌ها مورد ارزیابی قرار گرفتند (Asgari- Targhi, et al., 2018).

آنالیز آماری

طرح آزمایش، کاملا تصادفی با ۳ تکرار بود. اطلاعات بدست آمده به صورت آنالیز فاکتوریل توسط نرم افزار SPSS مورد آنالیز آماری قرار گرفتند. از آزمون دانکن برای مقایسه میانگین‌ها استفاده شد.

نتایج

رشد و ریخت شناسی

به‌کارگیری غلظت‌های مختلف نانواکسید آهن موجب تغییر در نرخ رشد و مورفولوژی گیاه شد (شکل ۱). بررسی اثر به‌کارگیری غلظت-های مختلف نانو اکسید آهن بر بیومس نشان داد که هر سه غلظت بکارگرفته شده موجب افزایش معنی‌دار ($p\leq0.05$) وزن تر ریشه، وزن خشک کل برگ‌ها و وزن خشک ساقه شد (شکل ۲). همچنین، به-کارگیری غلظت‌های مختلف نانو اکسید آهن موجب افزایش معنی‌دار ($p\leq0.05$) طول ساقه، ارتفاع کل گیاه و طول ریشه شد (شکل ۲).

رنگیزه‌های فتوسنتزی

نتایج نشان داد که تیمار ۱ میلی‌گرم بر لیتر باعث افزایش معنی‌دار کلروفیل a در بین غلظت‌های مختلف نانو اکسید آهن نسبت به تیمار شاهد شد اما دو گروه دیگر تیمارهای نانواکسید آهن تفاوت معنی داری با شاهد نداشتند (شکل۳). تیمار ۱ میلی گرم برلیتر نانو اکسید آهن و تیمار ۲۰ میلی‌گرم برلیتر نانو اکسید آهن بیش‌ترین اثر را به روی افزایش کلروفیل b گیاه نشان داد. غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نانواکسیدآهن موجب تفاوت معنی داری در غلظت کلروفیل b نسبت به تیمار شاهد نشد (شکل۳). نمونه‌های تیمار شده با غلظت ۲۰ نیز به مقدار معنی‌داری بالاتر از شاهد بود. تیمار ۱ میلی‌گرم برلیتر نانو اکسید آهن باعث افزایش معنی‌دار سطح کارتنوئید در گیاه نسبت به تیمار شاهد شد. غلظت‌های ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم برلیتر نانواکسیدآهن تفاوت معنی‌داری را به نسبت شاهد نشان ندادند (شکل ۳).

القا کالوس

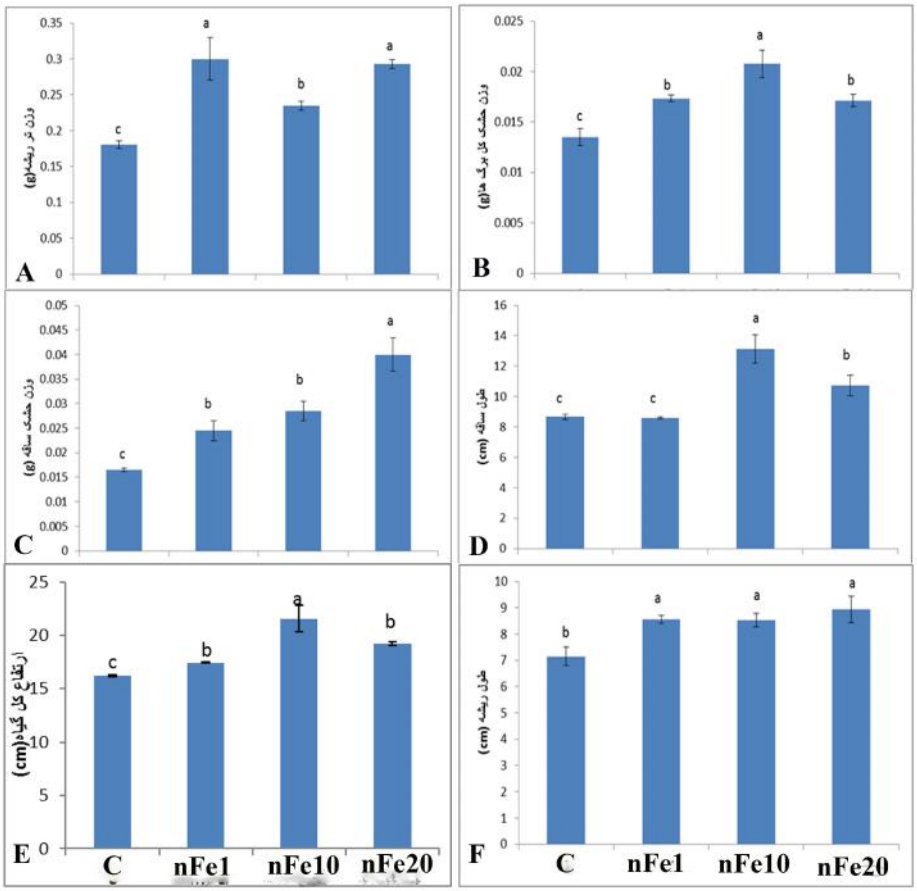
درغلظت‌های $0.5\ mgl^{-1}$ BAP + $0.5\ mgl^{-1}$ 2,4-D به‌همراه غلظت‌های مختلف نانواکسید آهن، غلظت $10\ mgl^{-1}$ نانواکسید آهن رشد کالوس را نسبت به تیمار شاهد و سایر تیمارها به نحو چشمگیری افزایش داد (شکل ۴). در تیمارهای $1\ mgl^{-1}$ + $0.5\ mgl^{-1}$ Kintin 2,4-D به همراه غلظت‌های مختلف نانواکسید آهن، تیمار $20\ mgl^{-1}$ نانواکسید آهن و همچنین تیمار شاهد هیچ رشدی مشاهده نشد و تیمارهای ۱ و $10\ mgl^{-1}$ بعد از ۵ هفته رشد کردند (شکل ۵). در تیمارهای هورمونی $1\ mgl^{-1}$ کاینتین + $0.5\ mgl^{-1}$ 2,4-D، بعد از گذشت ۵ هفته از تاریخ کشت تیمارهای شاهد و $20\ mgl^{-1}$ نانواکسید آهن هیچ رشدی نکردند؛ اما تیمار $1\ mgl^{-1}$ نسبت به تیمار $10\ mgl^{-1}$ باعث افزایش وزن تر کالوس شد، اما تفاوت معنی‌داری بین آن‌ها مشاهده نشد. به‌علاوه، تیمارهای شاهد و $20\ mgl^{-1}$ هیچ رشدی نکردند (شکل ۶). درارتباط با وزن خشک کالوس، تیمار $1\ mgl^{-1}$ نانواکسیدآهن نسبت به $10\ mgl^{-1}$ باعث افزایش وزن خشک کالوس شد اما تفاوت معنی‌داری بین آن‌ها مشاهده نشد (شکل ۶). در مورد محیط کالوس، تیمارهای شاهد و $20\ mgl^{-1}$ هیچ رشدی را نشان ندادند و تیمار $1\ mgl^{-1}$ باعث افزایش سطح محیط کالوس نسبت به تیمار $10\ mgl^{-1}$ شد. درخصوص قطر کالوس، تیمارهای شاهد و $20\ mgl^{-1}$ هیچ افزایش قطری را نشان ندادند اما تیمار $1\ mgl^{-1}$ نسبت به تیمار $10\ mgl^{-1}$ باعث افزایش قطر کالوس شد (شکل ۶). در تیمارهای هورمونی $0.5\ mgl^{-1}$ 2,4-D + $0.5\ mgl^{-1}$ BAP، در غلظت‌های مختلف نانواکسید آهن قطر کالوس نسبت به گروه شاهد افزایش معنی‌داری را نشان داد. اما تفاوت معنی‌داری میان تیمارهای آهن مشاهده نشد (شکل۷). همچنین غلظت‌های مختلف نانواکسید آهن باعث افزایش وزن تر و خشک کالوس نسبت به گروه شاهد شد، اما تفاوت معنی‌داری میان تیمارها مشاهده نشد (شکل ۷).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1399.7.2.9.3]
[DOI: 10.52547/nbr.7.2.219]



شکل ۱- اثر غلظت‌های مختلف نانواکسید آهن بر رشد و مورفولوژی گیاه، **A**. شاهد. **B.** تیمار mgl^{-1} ۱ نانواکسیدآهن. **C.** تیمار mgl^{-1} ۱۰ نانو اکسیدآهن. **D.** تیمار mgl^{-1} ۲۰ نانواکسیدآهن.

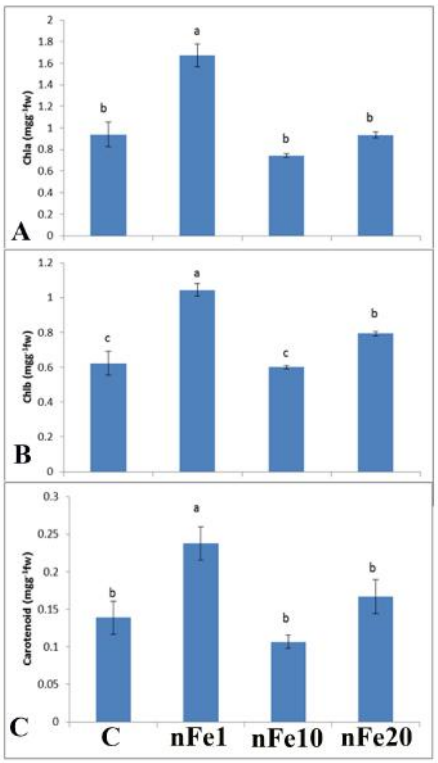
Fig. 1. The effect of the different concentrations of FeO NP on plant morpholgy and growth; **A**. Control. **B.** FeO NPs of 1 mgl^{-1}. **C.** FeO NPs of 10 mgl^{-1}. **D.** FeO NPs of 20 mgl^{-1}.



شکل ۲- اثر غلظت‌های مختلف نانو اکسید آهن بر صفات رشدی مختلف. **A.** وزن تر ریشه. **B.** وزن خشک کل برگ. **C.** وزن خشک ساقه. **D.** طول ساقه. **E.** ارتفاع کل گیاه. **F.** طول ریشه. گروه های تیماری: **C.** شاهد. **nFe1.** نانواکسیدآهن ۱ میلی‌گرم بر لیتر. **nFe10.** نانواکسیدآهن ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر. **nFe20.** نانواکسیدآهن ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر.

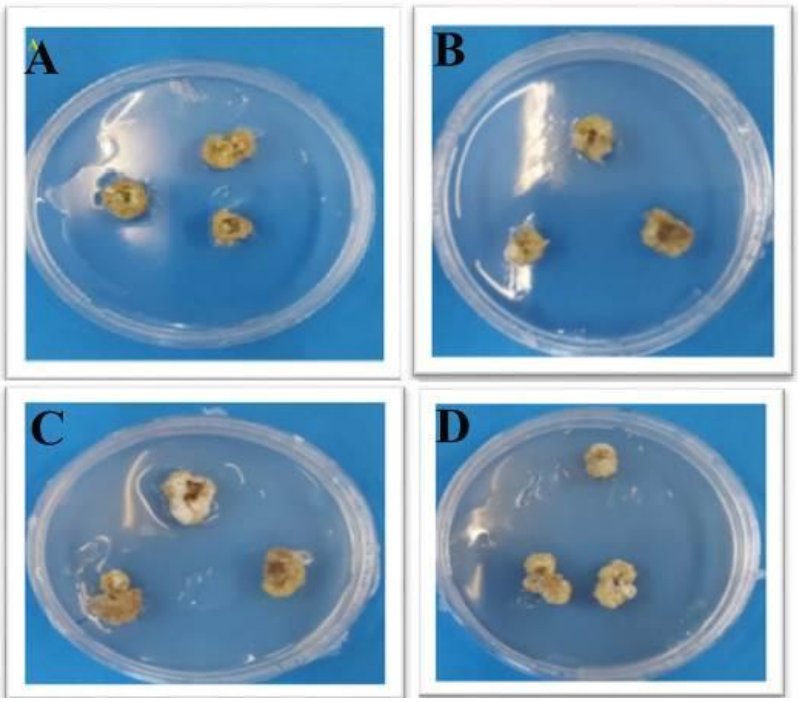
Fig. 2. The effects of the different doses of FeO NPs on the various growth-related traits. **A**. root fresh mass. **B**. dry mass of total leaves. **C.** stem dry mass. **D**. stem length. **E.** plant total height. **F.** root length. Treatment groups: **C.** Control. **nFe1.** FeO NPs of 1 mgl^{-1}. **nFe10**. FeO NPs of 10 mgl^{-1}**. nFe20**. FeO NPs of 20 mgl^{-1}.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1399.7.2.9.3]
[DOI: 10.52547/nbr.7.2.219]



شکل۳- اثرغلظت‌های مختلف نانواکسیدآهن بر روی میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی. **A.** کلروفیل a. **B.** کلروفیلb. **C.** کاروتنوئید. گروه های تیماری: **C.** شاهد. **nFe1**. نانواکسیدآهن ۱ میلی‌گرم بر لیتر. **nFe10**. نانواکسیدآهن ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر. **nFe20**. نانواکسیدآهن ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر.

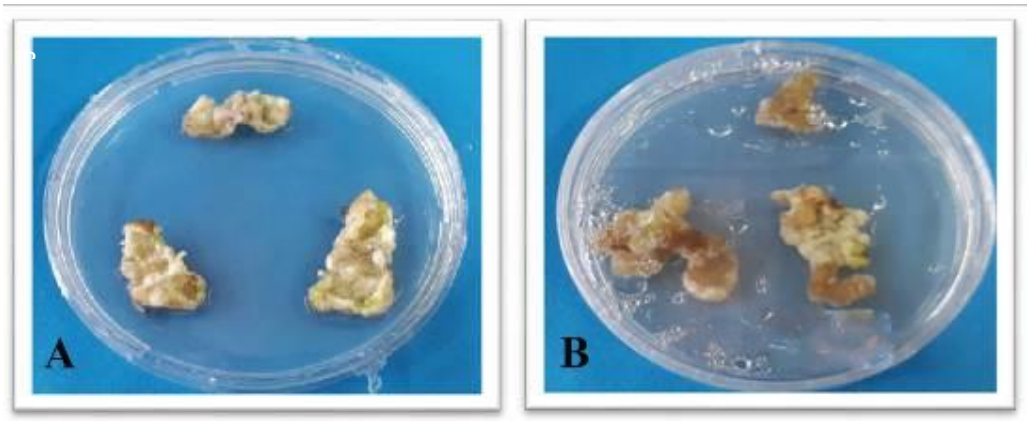
Fig. 3. The effects of the different doses of FeO NPs on photosynthetic pigments. **A.** Chla. **B**. Chlb. **C.** carotenoids. Treatment groups: **C.** Control. **nFe1.** FeO NPs of 1 mgl^{-1}. **nFe10**. FeO NPs of 10 mgl^{-1}**. nFe20**. FeO NPs of 20 mgl^{-1}.



شکل۴- اثر غلظت‌های مختلف نانواکسید آهن بر کالزایی درغلظت mgl^{-1} ۰/۵ 2,4-D + mgl^{-1} ۰/۵ BAP . **A.** شاهد. **B.** نانواکسید آهن ۱میلی‌گرم برلیتر. **C.** نانواکسید آهن ۱۰ میلی‌گرم برلیتر. **D.** نانواکسید آهن ۲۰ میلی‌گرم برلیتر.

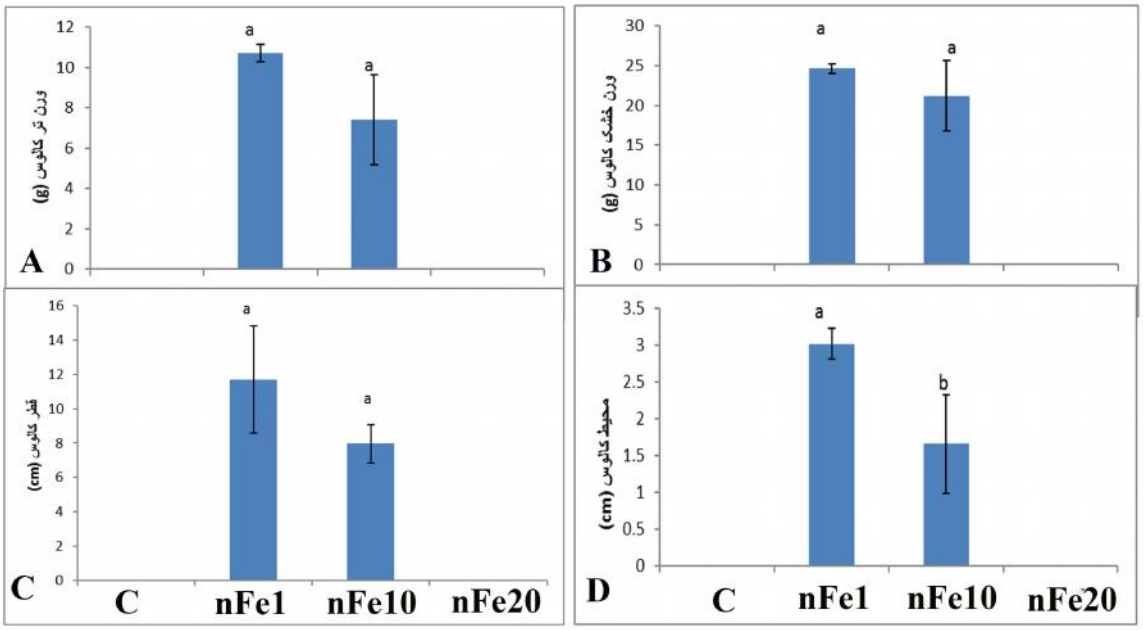
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1399.7.2.9.3]
[DOI: 10.52547/nbr.7.2.219]

Fig. 4. The effect of the different concentrations of FeO NPs on callogenesis under 0.5 mgl^{-1} BAP+0.5 mgl^{-1} 2,4D. **A.** Control. **B.** FeO NP of 1 mgl^{-1}. **C.** FeO NP of 10 mgl^{-1}. **D.** FeO NP of 20 mgl^{-1}.



شکل ۵- اثر غلظت‌های مختلف نانواکسید آهن بر کالزایی تحت ۰/۵ mgl^{-1} 2,4-D + ۱ mgl^{-1} Kintin . **A.** نانواکسید آهن ۱میلی‌گرم برلیتر. **B.** نانواکسید آهن ۱۰ میلی‌گرم برلیتر.

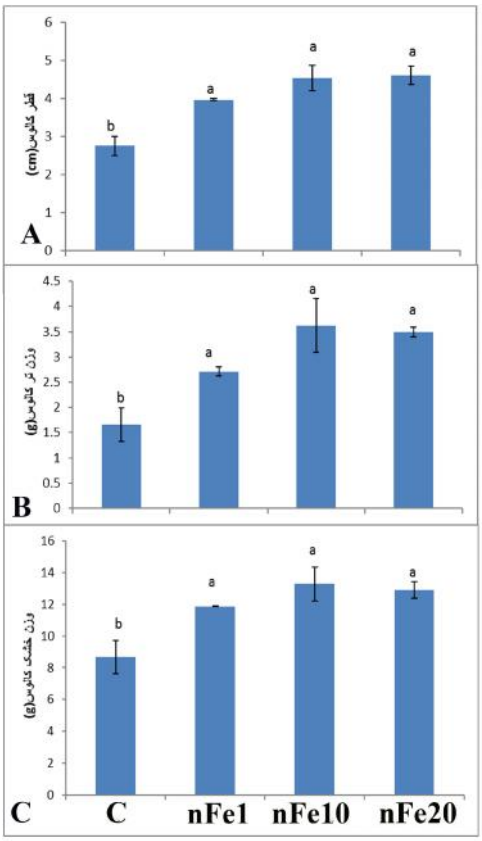
Fig. 5. The effects of the different concentrations of FeO NPs on callogenesis under 0.5 mgl^{-1} BAP+1 mgl^{-1} Kin. **A.** FeO NP of 1 mgl^{-1}. **B.** FeO NP of 10 mgl^{-1}.



شکل۶- اثر غلظت‌های مختلف نانواکسیدآهن بر صفات مختلف تحت تیمارهای هورمونی ۱ mgl^{-1} کاینتین + ۰/۵ mgl^{-1} 2,4-D **A.** وزن تر کالوس. **B.** وزن خشک کالوس. **C.** قطر کالوس. **D.** محیط کالوس. گروه های تیماری: **C.** شاهد. **nFe1.** نانواکسیدآهن ۱ میلی‌گرم بر لیتر. **nFe10.** نانواکسیدآهن ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر. **nFe20.** نانواکسیدآهن ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر.

Fig. 6. The effects of different concentrations of FeO NPs on various traits under 0.5 mgl^{-1} BAP+1 mgl^{-1} Kin. **A.** callus fresh mass. **B.** Callus dry mass. **C.** callus diameter. **D.** callus area. Treatment groups: **C.** Control. **nFe1.** FeO NPs of 1 mgl^{-1}. **nFe10**. FeO NPs of 10 mgl^{-1}**. nFe20**. FeO NPs of 20 mgl^{-1}.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1399.7.2.9.3]
[DOI: 10.52547/nbr.7.2.219]



شکل۷- اثر غلظت‌های مختلف نانواکسیدآهن بر صفات مختلف تحت تیمارهای هورمونی mgl^{-1} ۰/۵ 2,4-D + mgl^{-1} ۰/۵ BAP. **A**. قطر کالوس. **B.** وزن تر کالوس. **C.** وزن خشک کالوس. گروه های تیماری: **C.** شاهد. **nFe1**. نانواکسیدآهن ۱ میلی‌گرم بر لیتر. **nFe10**. نانواکسیدآهن ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر. **nFe20**. نانواکسیدآهن ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر.

Fig. 7. The effects of the different concentrations of FeO NPs on various traits under 0.5mgl^{-1} 2,4D+0.5 mgl^{-1} BAP. **A.** callus diameter. **B.** fresh mass. **C.** callus dry mass. Treatment groups: **C.** Control. **nFe1.** FeO NPs of 1 mgl^{-1}. **nFe10.** FeO NPs of 10 mgl^{-1}. **nFe20.** FeO NPs of 20 mgl^{-1}.

بحث

به کارگیری غلظت‌های مختلف نانواکسید آهن در محیط کشت MS موجب تغییر در نرخ رشد و فیزیولوژی گیاه شد. بررسی اثر بکارگیری غلظت‌های مختلف نانو اکسید آهن بر بیومس نشان داد که هر سه غلظت بکارگرفته شده موجب افزایش رشد و بیومس در اندام هوایی و ریشه شده است. بکارگیری نانواکسیدآهن موجب افزایش ارتفاع گیاه، وزن تر و خشک ریشه، ساقه و برگ شد. این اولین گزارش بر پایه دانش ما درباره اثرات بکارگیری نانوآهن در شرایط درون شیشه‌ای است. نتایج این تحقیق نشان داد که بکارگیری نانواکسید آهن در محیط کشت بر نرخ رشد دانه رست‌ها موثر است. همچنین رنگیزه‌های فتوسنتزی نیز تاحدی تحت تاثیر نانو اکسید آهن قرار گرفتند. در گیاهان، آهن در فتوسنتز، تنفس، بیوسنتز فیتوهورمون‌ها و کلروفیل‌ها و انتقال الکترون در واکنش‌های احیا شرکت می‌کند (Sánchez-Alcalá et al., 2014). همسو با نتایج این تحقیق، به کارگیری نانو اکسید آهن باعث افزایش گونه‌های اکسیژن فعال می‌شود که این ترکیبات مولکول‌های پیام رسان هستند و طول ریشه، رشد و نمو گیاه را تحریک می‌کنند (Rui et al., 2016). آزمایش دیگر نشان داد نانواکسیدآهن بر رشد گیاه آرابیدوپسیس تالینا در کشت گلدانی تاثیر بازدارندگی دارد که با نتایج این تحقیق مغایرت دارد (Bombin et al., 2015). گزارش شده است که غلظت‌های مختلف نانواکسید آهن موجب افزایش معنی‌دار غلظت کلروفیل a می شود و کود نانواکسید آهن نیز در افزایش میزان کلروفیل b موثرتر از کلات آهن عمل می‌نماید (Peyvandi et al., 2011). کلات آهن، موجب کاهش و نانوکود کلات آهن موجب افزایش میزان کلروفیل‌های a و b می‌شود (Peyvandi et al., 2011). نتایج تحقیق ما نیز نشان داد که به کارگیری نانواکسیدآهن باعث افزایش غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل‌های a و b) و کارتنوئید می‌شود. آهن جزء گروه کاتالیزوری بسیاری از

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1399.7.2.9.3]
[DOI: 10.52547/nbr.7.2.219]

آنزیم‌های اکسیداسیون و احیا است و برای سنتز کلروفیل ضروری است (Taiz & Zeiger, 2006). تحقیقات کمی در زمینه بکارگیری نانوذرات در محیط کشت در شرایط درون شیشه‌ای وجود دارد و نیاز به انجام تحقیقات بیش‌تر است تا مکانیسم‌های مربوط شناسایی شود.

نتایج نشان داد که تیمارهای هورمونی ۰/۵ میکرومولار ۴،۲-دیکلوفنوکسی استیک اسید (2,4-D) و ۰/۵ میکرومولار BAP به همراه غلظت‌های مختلف نانواکسیدآهن اثر مثبتی بر زنده‌مانی کالوس دارد. اما تیمارهای هورمونی ۰/۵ میکرومولار ۴،۲-دیکلوفنوکسی استیک اسید و ۰/۱ میکرومولار کینتین به همراه غلظت‌های مختلف نانواکسیدآهن اثری مثبت بر زنده‌مانی کالوس نشان نداد. محققینی گزارش نموده‌اند که به‌کارگیری نانواکسید آهن در غلظت‌های مختلف دارای اثر مثبت روی زنده‌مانی و اندازه کالوس است وکاربرد نانواکسید آهن با غلظت mgl^{-1} ۷۵ بیش‌ترین تاثیر را بر فرایند کالزایی و زنده‌مانی کالوس دارد (Sharafi *et al.*, 2013). به هر حال، غلظت mgl^{-1} ۱۰۰ نانواکسید آهن دارای کم‌ترین تاثیر بر فرایند کالزایی و زنده‌مانی کالوس در گل راعی بود. اما نتایج این تحقیق نشان داد که تیمار هورمونی ۰/۵ میکرومولار D ۲،۴ و ۰/۵ میکرومولار BAP به همراه غلظت‌های mgl^{-1} ۱،۱۰و۲۰ نانواکسیدآهن اثری مثبت بر کالزایی و زنده‌مانی کالوس دارد. با بررسی اثر هورمون‌های مختلف در باززایی گیاه فلفل، بهترین ترکیب هورمونی برای باززائی غیرمستقیم مشخص شد، بنابراین با بهینه‌سازی تولید کالوس از ریزنمونه‌های فلفل، می توان از آن در جهت برنامه‌هایی مانند انتقال ژن و کشت پروتوپلاست استفاده کرد. استفاده از تکنیک‌های مختلف کشت بافت جهت تکثیر فلفل می‌تواند گامی مهم در جهت تولید گیاهانی با کیفیت بالا و عاری ازعوامل بیماری‌زا باشد. باتوجه به مسائل زیست محیطی و رشد سریع نانوتکنولوژی، بدیهی است که شناخت اثر نانوذرات بر گیاهان به عنوان بخش مهمی از زنجیره غذایی اهمیت فراوان دارد. لذا نتایج این تحقیق می‌تواند برای ارتقا دانش در زمینه نانوتکنولوژی اثربخش باشد.

سپاسگزاری

این تحقیق تحت حمایت دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران انجام شده است. مولفین از کارشناسان محترم مجتمع آزمایشگاهی رازی سپاسگزارند.

REFERENCES

Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiol. 24: 1-15.

Asgari-Targhi, G., Iranbakhsh, A. & Ardebili, Z.O. 2018. Potential benefits and phytotoxicity of bulk and nano-chitosan on the growth, morphogenesis, physiology, and micropropagation of *Capsicum annuum*. Plant Physiol. Biochem. 127: 393-402.

Barberon, M., Zelazny, E., Robert, S., Conéjéro, G., Curie, C., Friml, J. & Vert, G. 2011. Monoubiquitin-dependent endocytosis of the iron-regulated transporter 1 (IRT1) transporter controls iron uptake in plants. Proc. Natl. Acad. Sci. 108: 450-E458.

Balakrishnan, K., 2000. Peroxidase activity as an indicator of the iron deficiency in banana. Indian J. Plant Physiol. 5: 389-391.

Bombin, S., LeFebvre, M., Sherwood, J., Xu, Y., Bao, Y. & Ramonell, K. 2015. Developmental and reproductive effects of iron oxide nanoparticles in *Arabidopsis thaliana.* Int. J. Mol. Sci. 16: 24174-24193.

Dhoke, S.K., Mahajan, P., Kamble, R. & Khanna, A. 2013. Effect of nanoparticles suspension on the growth of mung (*Vigna radiata*) seedlings by foliar spray method. Nanotechnol. Dev. 3:1-23.

Ghasemnezhad, M., Sherafati, M. & Payvast, GA. 2011. Variation in phenolic compounds, ascorbic acid and antioxidant activity of five coloured bell pepper (*Capsicum annum*) fruits at two different harvest times. J. Func. Food 1: 44-9.

Hussain, S., Jain, A. & Kothari, S.L. 1999. Phenylacetic acid improves bud elongation and in vitro plant regeneration efficiency in *Capsicum annuum* L. Plant Cell Rep. 19: 64-68.

Jeyasubramanian, K., Thoppey, U.U.G., Hikku, G.S., Selvakumar, N., Subramania, A. & Krishnamoorthy, K. 2016. Enhancement in growth rate and productivity of spinach grown in hydroponics with iron oxide nanoparticles. Rsc. Adv. 6: 15451-15459.

Lombardi, L., Sebastiani, L. & Vitagliano, C. 2003. Physiological, biochemical, and molecular effects of in vitro induced iron deficiency in peach rootstock Mr. S 2/5. J. Plant Nutr. 26: 2149-2163.

Murashige, T. & Skoog, F. 1962. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. Physiol. Plant 15: 473-497.

Peyvandi, M., Parande, H. & Mirza, M. 2011. Comparison of nano Chelate Fe with Chelate Fe; effect on growth parameters and antioxidant enzymes activity of *Basilicum Ocimum*. New Cell Mol. Biotech. 1: 89-99.

Rizwan, M., Ali, S., Qayyum, M.F., Ok, Y.S., Adrees, M., Ibrahim, M., Zia-ur-Rehman, M., Farid, M. & Abbas, F. 2017. Effect of metal and metal oxide nanoparticles on growth and physiology of globally important food crops: a critical review. J. Hazard. Mat. 322: 2-16.

Rui, M., Ma, C., Hao, Y., Guo, J., Rui, Y., Tang, X., Zhao, Q., Fan, X., Zhang, Z., Hou, T. & Zhu, S. 2016. Iron oxide nanoparticles as a potential iron fertilizer for peanut (*Arachis hypogaea*). Front. Plant Sci. 7: 815.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1399.7.2.9.3]
[DOI: 10.52547/nbr.7.2.219]

Phillips, G.C. & Garda, M. 2019. Plant tissue culture media and practices : an overview. In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant 55: 242-257.

Sánchez-Alcalá, I., del Campillo, M. D., Barrón, V. & Torrent, J. 2014. Evaluation of preflooding effects on iron extractability and phytoavailability in highly calcareous soil in containers. Plant Nutr. Soil Sci. 177: 150-158.

Sharafi, A., Hasanloo, T., Khayam, S., Fotokian, M. & Davoodi, D. 2013. Effects of applications of zinc oxide and iron. Oxide nanoparticles on callogenesis in *Hypericum perforatum*. Agric. Nat. Resources Engin. Sys. 43: 26-30.

Taiz, L. & Zeiger, E. 2006. Plant Physiology. Sinauer Associates, Los Angeles, pp: 68-87.

*****

How to cite this article:

Iranbakhsh, A. & Gaderi, S.A. 2020. The effect of nano-iron oxide on growth, physiology, and callogenesis in pepper in vitro. Nova Biologica Reperta 7: 220-227. (In Persian)

ایرانبخش، ع. و قادری، س.ع. ۱۳۹۹. اثر نانو اکسید آهن بر رشد، فیزیولوژی و کالزایی فلفل در شیشه. یافته‌های نوین در علوم زیستی ۷: ۲۲۷-۲۲۰.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.24236330.1399.7.2.9.3]

[DOI: 10.52547/nbr.7.2.219]