فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۲، شماره ۵۷، آذر و دی‌ماه ۱۴۰۲ صفحه: ۱۰۳-۴۱۵
https://doi.org/10.22034/12.57.403

مقاله پژوهشی

# تأثیر نانوذره اکسید آهن بر برخی از ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی چمن اسپورت

شهرام بخشی[۱]، مهیار گرامی*[۱]، فضل شیردل شهیری[۲]، داوود اکبری نودهی[۲] و سیده محدثه محمدی[۳]

[۱] مؤسسه آموزش عالی غیرانتفاعی سنا، ساری، ایران

[۲] دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائم‌شهر، قائم‌شهر، ایران

[۳] دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۲۰، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۰۴/۲۰)

## چکیده

چمن اسپورت مخلوط متناسبی از واریته‌های ممتاز و مقاوم چمن می‌باشد که در بسیاری از کشورهای جهان برای چمن‌کاری در پارک‌ها و زمین‌های ورزشی به‌طورگسترده مورد استقبال قرار گرفته است. با توجه به نقش نانو تکنولوژی در تولید گیاهان، بررسی تأثیر نانو ذرات بر فرایندهای رشدی چمن بسیار حائز اهمیت است. در این پژوهش اثر نانو ذره اکسید آهن بر برخی از ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی گیاه چمن اسپورت مورد بررسی قرار گرفت. عنصر آهن به‌دلیل قرارگیری در زنجیره انتقال الکترون و نقش آن در فتوسنتز دارای اهمیت فراوان است. این پژوهش به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط کاملاً کنترل شده اجرا شد. محلول‌پاشی نانو ذره اکسید آهن در سه مرحله با غلظت‌های (صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ پی‌پی‌ام) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر محلول‌پاشی نانو ذره اکسید آهن بر برخی از ویژگی‌های مورفولوژیک مانند طول ریشه، وزن خشک بوته و تراکم بوته در واحد سطح، معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین اثر غلظت‌های مختلف نانو ذره اکسید آهن بر وزن خشک بوته گیاه چمن اسپورت حاکی از آن بود که غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام این نانوذره بیشترین میزان وزن خشک بوته با ۰/۰۸۰ گرم را به‌خود اختصاص داد. همچنین اثر محلول‌پاشی این نانو ذره بر تمامی صفات فیزیولوژیکی (کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کارتنوئید، آنتوسیانین، آنزیم آنتی‌اکسیدانی کاتالاز، گایاکول پراکسیداز و درصد مهار رادیکال‌های آزاد) در سطح یک درصد معنی‌دار گردید. بطور کلی به کارگیری غلظت‌های مختلف نانوذره آهن بر مقادیر رنگریزه‌های فتوسنتزی و مقادیر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی اثر مطلوبی داشت که می‌تواند به‌عنوان محرکی مناسب جهت افزایش رشد صفات مورفولوژیک و افزایش کیفیت صفات فیزیولوژیک در چمن اسپورت پیشنهاد گردد.

کلمات کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، چمن اسپورت، کلروفیل، نانو ذره اکسید آهن

## مقدمه

چمن گیاهی تک‌لپه، از خانواده گندمیان محسوب می‌شود. این گیاه انتشار جهانی داشته و تحت شرایط آب و هوایی گوناگون از استوا تا نواحی قطبی می‌روید. این گیاه در زمینه زیبایی در فضای سبز و به عنوان پوشش مناسبی برای زمین‌های ورزشی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Hekmatti, 2011).

نانو فناوری در قرن حاضر، به‌عنوان یک رشته در حال پیشرفت تأثیر بسزایی بر زندگی مردم داشته و سبب بهبود

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

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-14 ]

کیفیت زندگی از طریق برنامه‌های کاربردی در زمینه‌های مختلف از جمله پزشکی، تولیدات خوراکی و کشاورزی شده است (Shang *et al*., 2019). یکی از مهمترین کاربردهای فناوری نانو در کشاورزی، استفاده از نانو ذرات جهت تغذیه گیاهان و جذب مواد مغذی توسط گیاهان و افزایش سرعت فتوسنتز است (Salem and Elsheery, 2020; DeRosa *et al*., 2010). با استفاده از نانوذرات، عناصر غذایی به‌آرامی و با سرعتی مناسب در تمام فصل رشد گیاه آزاد می‌شوند و به‌دلیل کاهش آبشویی عناصر، گیاهان قادر به جذب بیشتر عناصر خواهند بود و آلودگی‌های زیست محیطی کاهش می‌یابد (Mastronardi *et al*., 2015; Liu and Lal, 2015).

آهن یک عنصر کم‌مصرف مغذی و ضروری برای رشد گیاهان است که در متابولیسم گیاهان نقش مهمی را ایفا می‌کند (Hochmuth, 2011; Wang and Cai, 2010). نانوذرات آهن، از جمله نانو ذراتی است که در کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد و پژوهش‌های زیادی در این زمینه انجام شده است. اثرات مثبت و منفی نانو ذرات بر رشد و متابولیسم گیاهان گزارش شده است که نوع پاسخ گیاه به ترکیب، غلظت، سایز و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نانوذرات و همچنین گونه گیاهی بستگی دارد (Siddiqui *et al*., 2015). نانوذرات آهن در سطح مولکولی با سلول‌های زنده برهمکنش می‌دهند و سبب بهبود جذب مواد غذایی برای گیاه می‌شوند (Ahmad *et al*., 2021). با توجه به اینکه نانوذرات اکسید آهن کوچکتر از مولکول‌های معمولی اکسید آهن هستند، کمپلکس‌های بیشتری ایجاد می‌کنند و سطح آهن بالاتری را برای گیاه فراهم می‌کنند که باعث افزایش رشد سلول می‌شوند (Rizwan *et al*., 2019). نانوذرات اکسید آهن به دلیل حضور آهن در زنجیره انتقال الکترون دارای اهمیت است. به گونه‌ای که این عنصر در فعال‌سازی حاملین الکترون در هر دو فتوسیستم مؤثر است. در اثر کمبود آن، فتوسنتز شدیداً کاهش می‌یابد. همچنین در اثر کمبود آهن و کاهش احیاء نیتریت، نیترات در گیاه تجمع می‌یابد (Reynolds, 2002). نانو ذرات آهن به عنوان کاتالیزور باعث تسریع فرایند اکسیداسیون گردیده و آلاینده‌های آلی موجود در محیط مانند تری‌کلرواتان، تتراکلرید کربن، دی‌اکسین‌ها را به ترکیبات کربنی ساده‌تر با سمیت کمتر تبدیل می‌نماید (Blakrishman, 2000).

تأثیر ترکیب نانوذره آهن و روی بر عملکرد و اجزای عملکرد در گندم مثبت گزارش شده است (Hayyawi *et al*., 2019). همچنین افزایش عملکرد در برنج با استفاده از ریزمغذی آهن و روی مشاهده شده است (Sudhagar *et al*., 2019). علاوه بر این استفاده از کودهای آهن باعث افزایش طول ریشه گیاه فلفل شد (ایرانبخش و قادری، ۱۳۹۹). ریاحی‌نیا و دانایی‌پور (۱۴۰۱) نشان دادند استفاده از نانوذره آهن باعث افزایش وزن خشک در گیاه سالیکورنیا می‌شود. نتایج مطالعات Roosta و Mohsenian (۲۰۱۲) بر گیاه فلفل نشان داد، استفاده از نانوذره آهن باعث افزایش معنی‌دار میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئیدها) گردید. اثنی‌عشری و انتشاری (۱۳۹۵) اظهار داشتند استفاده از نانوذره آهن باعث افزایش میزان فعالیت‌های آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و پراکسیداز در گیاه بادرنجبویه می‌شود. نتایج مشابهی نیز در ذرت توسط Gomaa و همکاران (۲۰۲۰) گزارش شده است. یکی از جنبه‌های مهم استفاده از فناوری‌های نانوذرات در افزایش رشد و کیفیت در عرصه چمن‌کاری به‌منظور افزایش مقاومت در برابر تنش‌های محیطی می‌باشد (Thorani Natar, 2005). با توجه به اهمیت موضوع، در این پژوهش تأثیر نانو ذره اکسید آهن بر برخی از ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی چمن اسپورت مورد بررسی قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش به منظور مطالعه اثرات نانو ذره اکسید آهن بر برخی از ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی چمن اسپورت در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۷ و در مؤسسه آموزش عالی سنا اجرا شد. بذور چمن اسپورت از شرکت پاکان بذر خریداری شد. بذرها در ۱۲ عدد سینی نشا به طول ۵۳ سانتی‌متر و عرض ۲۰ سانتی‌متر در بستر کشت

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-14 ]

حاوی پرلیت و پیت‌ماس قرار گرفتند. شرایط دوره نوری اتاق کشت به صورت ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی، با دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی ۷۵ بود. نانوذره اکسید آهن در غلظت‌های مختلف (صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ پی‌پی‌ام) طی سه مرحله محلول‌پاشی شدند. تأمین نیاز تغذیه‌ای با محلول غذایی هوگلند صورت گرفت. صفات مطالعه شده در این پژوهش شامل: صفات موفولوژیک (طول ریشه، وزن خشک بوته و تراکم بوته در واحد سطح) و برخی از ویژگی‌های بیوشیمیایی (کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوییدها، آنتوسیانین، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز، گایاکول پراکسیداز و درصد مهاررادیکال‌های آزاد) بود. تجزیه آماری توسط نرم‌افزار SPSS version ۱۶ و مقایسه میانگین داده‌ها از طریق آزمون دانکن در سطح یک درصد انجام شد.

**اندازه‌گیری رنگدانه‌های فتوسنتزی، اندازه‌گیری میزان کلروفیل و کاروتنوئید:** اندازه‌گیری میزان کلروفیل با استفاده از روش Arnon (۱۹۴۹) انجام شد. بدین ترتیب که ۰/۵ گرم از هر نمونه برگ در ۵ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ هموژن گردید و بعد از انجام سانتریفیوژ با دور ۱۳۰۰۰ در دقیقه و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه مایع رویی برداشته و حجم آن به ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس میزان جذب نور با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Shimadzu uv 180) و در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر تعیین گردید و غلظت کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید برحسب گرم بافت/ میلی‌گرم از طریق روابط زیر بدست آمد:

کلروفیل a ={12.7(A663) - 2.69(A645)}×V/W×1000

کلروفیل b = {22.9($A_{645}$) – 4.68($A_{663}$)} × V/W×1000

کلروفیل کل = {20.2($A_{645}$) + 8.02($A_{663}$)} × V/W×1000

کارتنوئید = {(1000×$A_{480}$) –1.82 chl a –85.02 chl b/198)} × V/W×1000

در روابط بالا V حجم نهایی نمونه استخراج شده و W وزن تر نمونه و A جذب نوری عصاره است.

**اندازه‌گیری آنتوسیانین کل:** برای اندازه‌گیری میزان آنتوسیانین کل، مقدار ۰/۰۲ گرم از بافت خشک گیاهی با ۴ میلی‌لیتر محلول اسید کلریدریک ۱٪ متانول در یک هاون چینی ساییده شد. محلول حاصل به مدت ۲۴ ساعت در یخچال نگهداری شد. سپس، محلول به مدت ۱۰ دقیقه و در ۱۳۰۰۰ دور سانتریفوژ گردید. فاز رویی را برداشته و جذب محلول‌ها در طول موج ۵۳۰ و ۶۵۷ نانومتر نسبت به شاهد اندازه‌گیری شد. از محلول اسید کلریدریک ۱ درصد متانول به عنوان شاهد استفاده گردید. میزان آنتوسیانین برای هر عصاره با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید (Mita *et al.*, 1997).

$A = A_{530} - (0/25 \times A_{657})$

A: جذب محلول (اعداد اندیس نشانگر طول موج‌هایی است که جذب در آنها اندازه‌گیری شده است).

**استخراج عصاره جهت اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌ها:** جهت استخراج عصاره آنزیمی، ۰/۵گرم بافت تازه چمن به کمک نیتروژن مایع در هاون چینی آسیاب شده و پس از آن به بافت آسیاب شده، یک میلی‌لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار (اسیدیته هفت) حاوی EDTA ۰/۵ مولار و پلی‌وینیل پلی پیرولیدون (PVPP) دو درصد اضافه گردید. محلول حاصل در دمای چهار درجه سلسیوس به مدت ۲۰ دقیقه در rpm ۱۴۰۰۰ سانتریفیوژ شد. سپس محلول، برای سنجش فعالیت آنزیم‌های CAT و GPX مورد استفاده قرار گرفت.

**اندازه‌گیری فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی کاتالاز:** اندازه-گیری فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی کاتالاز با روش Luck (۱۹۷۴) انجام شد.۲۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی با ۹۸۰ میکرولیتر از بافر فسفات حاوی آب‌اکسیژنه ۲ میلی‌مولار مخلوط شدند و تغییرات جذب آن‌ها در طول موج ۲۴۰ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر خوانده شد. فعالیت آنزیم با استفاده از قانون بیر–لامبرت و ضریب خاموشی (۴۰ $\mu M^{-1}cm^{-1}$) محاسبه شد. فعالیت آنزیمی بر حسب میکرومول بر گرم بافت تازه در دقیقه محاسبه شد.

**اندازه‌گیری فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی گایاکول پراکسیداز:** اندازه‌گیری فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی گایاکول پراکسیداز با روش Chance و Maehly (۱۹۵۵) انجام شد. ۴۹۰ میکرولیتر آب‌اکسیژنه ۲۲۵ میلی‌مولار و ۴۹۰ میکرولیتر محلول گایاکول ۴۵ میلی‌مولار در دمای پایین (ظرف حاوی یخ) با هم

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-14 ]

مخلوط گردید و به آن ۲۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی اضافه شد. تغییرات جذب در طول موج ۴۷۰ نانومتر توسط کووت کوارتز با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. در محلول بلانک به جای عصاره آنزیمی، بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار استفاده شد. فعالیت آنزیم با استفاده از قانون بیر- لامبرت و ضریب خاموشی محصول کاتالیز گایاکول پراکسیداز (۲۶/۶ $\mu M^{-1}cm^{-1}$) محاسبه شد. فعالیت آنزیمی بر حسب میکرومول بر گرم بافت تازه در دقیقه محاسبه شد.

**اندازه‌گیری فعالیت درصد مهار رادیکال‌های آزاد DPPH**: غلظت‌های مختلف عصاره، با ۲ میلی‌لیتر محلول متانولی ۰/۰۰۴ درصد DPPH مخلوط گردید. محلول کنترل شامل ۲ میلی‌لیتر DPPH و ۲ میلی‌لیتر متانول بود. محلول‌ها به‌مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی و در دمای اتاق انکوبه شدند. جذب نمونه‌ها در ۵۱۷ نانومتر در مقابل شاهد متانول خوانده شد. درصد مهار رادیکال آزاد (%I) هر عصاره به کمک فرمول محاسبه شد (Miliauskas *et al.*, 2004).

$$\%I = (A_{control} - A_{sample}) / A_{control} \times 100$$

## نتایج

صفات **مورفولوژیک**: نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی نانو ذره اکسید آهن بر برخی از صفات مورفولوژیک (طول ریشه، وزن خشک بوته و تراکم بوته در سطح) در گیاه چمن اسپورت معنی‌دار بود (جدول ۱).

نتایج مقایسه میانگین اثر نانو ذره اکسید آهن بر طول ریشه گیاه چمن اسپورت نشان داد که با افزایش غلظت نانو ذره اکسید آهن روند افزایشی در این پارامتر مشاهده گردید که نسبت به نمونه شاهد روند معنی‌داری را نشان دادند به گونه‌ای که بیشترین مقدار با ۴/۹۶ سانتی‌متر مربوط به غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام نانو ذره اکسید آهن و کمترین مقدار آن با ۳/۸ سانتی‌متر اختصاص به نمونه شاهد داشت (شکل ۱a). نتایج مقایسه میانگین اثر غلظت‌های مختلف نانو ذره اکسید آهن بر وزن خشک بوته گیاه چمن اسپورت حاکی از آن بود که غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام این نانو ذره بیشترین میزان وزن خشک بوته با ۰/۰۸۰ گرم را به خود اختصاص داد (شکل ۱b). طبق نتایج مقایسه میانگین اثر غلظت‌های مختلف نانو ذره اکسید آهن بر تراکم بوته گیاه چمن اسپورت معنی‌دار بود. غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ پی‌پی‌ام نسبت به نمونه شاهد روند افزایشی را نشان داد به گونه‌ای که در غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام نانو ذره اکسید آهن مقدار تراکم بوته در سطح ۱۲۰ بوته بود که نسبت به نمونه شاهد ۸۷ درصد افزایش داشت (شکل ۱c).

**رنگدانه‌های فتوسنتزی**: نتایج آنالیز جدول تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی نانو ذره اکسید آهن بر رنگریزه‌های فتوسنتزی در گیاه چمن اسپورت بیانگر آن بود که نانو ذره اکسید آهن بر رنگریزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید) در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

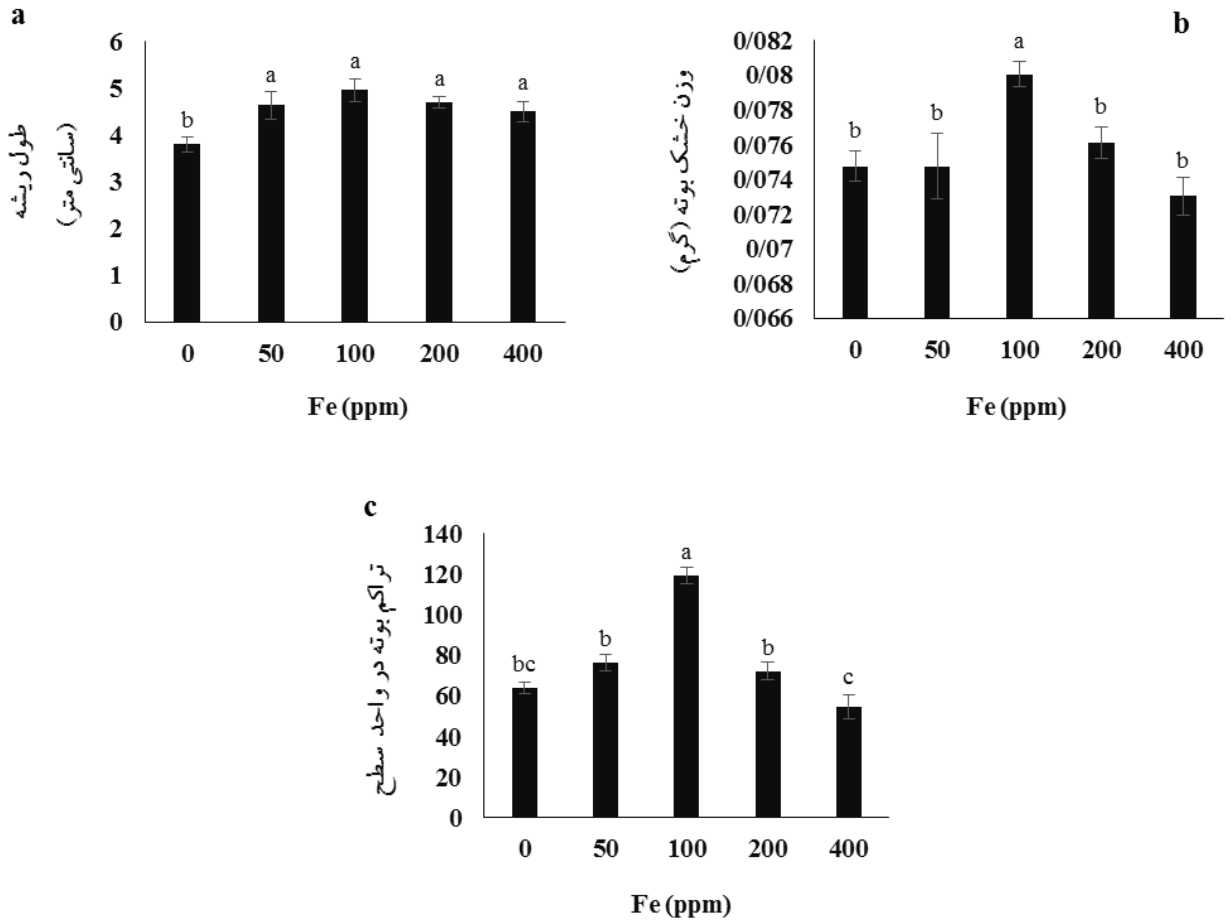
مقایسه میانگین کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل حاکی از آن بود که بکارگیری سطوح مختلف نانو ذره اکسید آهن توانست نسبت به نمونه شاهد روند افزایشی معنی‌داری را نشان دهد. نتایج جدول مقایسه میانگین نشان می‌دهد تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ پی‌پی‌ام نانو ذره اکسید آهن توانستند بیشترین میزان کلروفیل a (۰/۴۰ و ۰/۳۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و b (۰/۱۸۷ و ۰/۱۷۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) را به خود اختصاص دهند. همچنین کمترین میزان کلروفیل a (۰/۳۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و b (۰/۱۲۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مربوط به تیمار شاهد بوده است (جدول ۳). با توجه به نتایج جدول مقایسه میانگین (جدول ۳) بیشترین مقدار کلروفیل کل به ترتیب در گیاهان تیمار شده با ۱۰۰ و ۲۰۰ پی‌پی‌ام نانوذره اکسید آهن (۰/۵۸۷، ۰/۵۷۴ میلی‌گرم بر گرم بافت تر) بوده است و کمترین مقدار کلروفیل کل مربوط به تیمار شاهد (۰/۴۵۸ میلی‌گرم بر گرم بافت تر) بود. مقایسه میانگین صفت کارتنوئید نشان داد که محلول‌پاشی نانو ذره اکسید آهن توانست باعث افزایش معنی‌دار این صفت شود. به گونه‌ای که بیشترین مقدار آن مربوط به غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام نانوذره اکسید آهن با مقدار ۰/۰۶۰ (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) نسبت به نمونه شاهد با کمترین مقدار ۰/۰۳۶ (صفر میلی‌گرم بر گرم وزن تر) بود (جدول ۳).

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-14 ]

**جدول ۱- تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی نانوذره اکسید آهن بر صفات مورفولوژیک در گیاه چمن اسپورت**

| تیمار | درجه آزادی | طول ریشه (سانتی‌متر) | وزن خشک (گرم) | تراکم بوته در واحد سطح |
|---|---|---|---|---|
| Fe (ppm) | ۴ | ۰/۵۶۹* | ۰/۰۰۰* | ۰/۰۰۲** |
| خطا | ۱۰ | ۰/۱۴۲ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۱* |

**، * معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد




**شکل ۱- اثر غلظت‌های مختلف نانو ذره اکسید آهن بر طول ریشه (a)، وزن خشک بوته (b) و تراکم بوته در واحد سطح (c) در گیاه چمن اسپورت**

**جدول ۲- تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی نانو ذره اکسید آهن بر رنگدانه‌های فتوسنتزی در گیاه چمن اسپورت**

| تیمار | درجه آزادی | کلروفیل a | کلروفیل b | کلروفیل کل | کاروتنوئیدها |
|---|---|---|---|---|---|
| | | (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) | | | |
| Fe (ppm) | ۴ | ۰/۰۰۳** | ۰/۰۰۲** | ۰/۰۱۰** | ۰/۰۰۰۳** |
| خطا (Error) | ۱۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۰ |

** اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-14 ]

**جدول ۳- مقایسه میانگین اثر غلظت‌های مختلف نانوذره اکسید آهن بر رنگدانه‌های فتوسنتزی در گیاه چمن اسپورت**

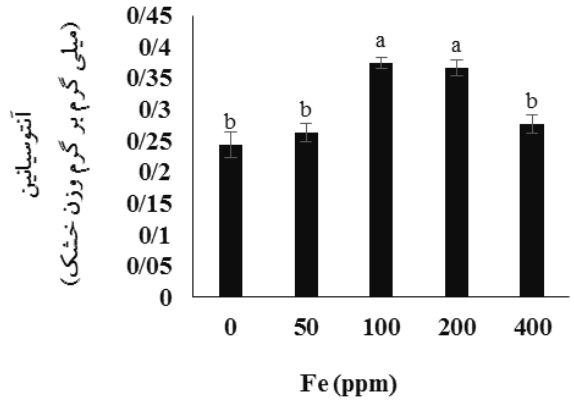
| نانو ذره اکسید آهن (پی‌پی‌ام) | کلروفیل a | کلروفیل b | کلروفیل کل | کاروتنوئیدها |
|---|---|---|---|---|
| | (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) | | | |
| ۰ | ۰/۳۲ $^{c}$ | ۰/۱۲۹$^{b}$ | ۰/۴۵۸$^{d}$ | ۰/۰۳۶$^{c}$ |
| ۵۰ | ۰/۳۷$^{ab}$ | ۰/۱۵۱$^{ab}$ | ۰/۵۲۸$^{bc}$ | ۰/۰۴۵$^{bc}$ |
| ۱۰۰ | ۰/۴$^{a}$ | ۰/۱۸۷$^{a}$ | ۰/۵۸۷$^{a}$ | ۰/۰۶۰$^{a}$ |
| ۲۰۰ | ۰/۳۹$^{a}$ | ۰/۱۷۷$^{a}$ | ۰/۵۷۴$^{ab}$ | ۰/۰۵۰$^{a}$ |
| ۴۰۰ | ۰/۳۵$^{bc}$ | ۰/۱۲۶$^{b}$ | ۰/۴۷۸$^{cd}$ | ۰/۰۳۸$^{c}$ |

**ستون‌های دارای حروف مشابه، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ می‌باشند.**

**جدول ۴- تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی نانوذره آهن بر محتوای آنتوسیانین در گیاه چمن اسپورت**

| تیمار | درجه آزادی | آنتوسیانین (میکرومول بر گرم وزن تر) |
|---|---|---|
| Fe (ppm) | ۴ | ۰/۰۱۱$^{**}$ |
| خطا (Error) | ۱۰ | ۰/۰۰۱ |

**** اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد**




**شکل ۲- اثر غلظت‌های مختلف نانوذره اکسید آهن بر مقدار آنتوسیانین در گیاه چمن اسپورت**

**محتوای آنتوسیانین:** با توجه به نتایج آنالیز تجزیه واریانس (جدول ۴) اثر محلول‌پاشی نانو ذره آهن بر محتوای آنتوسیانین در گیاه چمن اسپورت در سطح یک درصد معنی‌دار بود. مطابق با نتایج (شکل ۲)، تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ پی‌پی‌ام نانو ذره آهن توانستند بیشترین میزان آنتوسیانین (۰/۳۷۴ و ۰/۳۶۶ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) را به خود اختصاص دهند. همچنین کمترین میزان آنتوسیانین (۰/۲۴۳ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) مربوط به تیمار شاهد بوده است (شکل ۲).

**آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و درصد مهار رادیکال‌های آزاد:** آنالیز جدول تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی نانو ذره اکسید آهن بر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و درصد مهار رادیکال‌های آزاد در گیاه چمن اسپورت در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵).

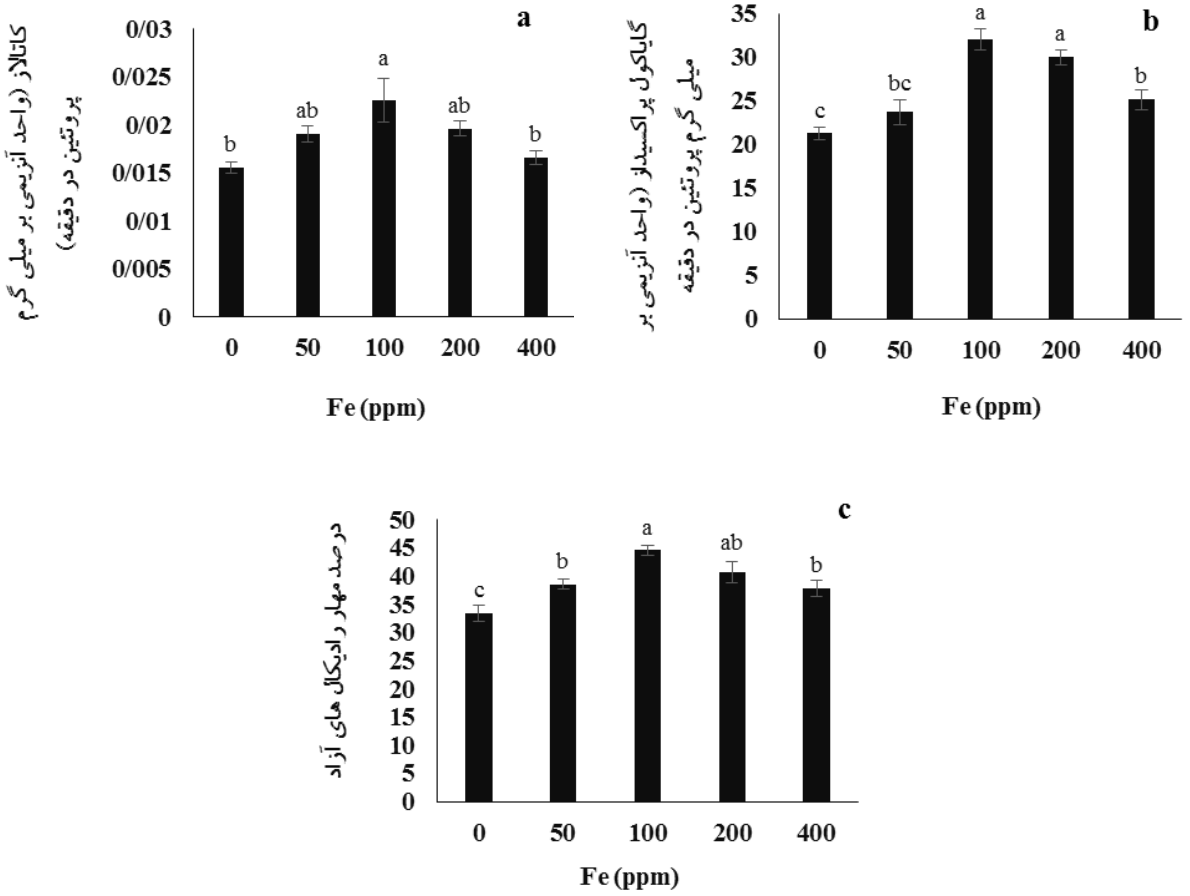
نتایج اثر محلول‌پاشی نانو ذره اکسید آهن بر آنزیم‌های

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-14 ]

**جدول ۵- تجزیه واریانس اثر نانو ذره اکسید آهن بر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و درصد مهار رادیکال‌های آزاد در گیاه چمن اسپورت**

| تیمار | درجه آزادی | کاتالاز | گایاکول پراکسیداز | درصد مهار رادیکال‌های آزاد |
|---|---|---|---|---|
| | | (واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) | | |
| Fe (ppm) | ۴ | ۰/۰۰۰۰۲** | ۶۰/۳۸۶** | ۵۰/۴۵۸** |
| خطا | ۱۰ | ۰/۰۰۰ | ۳/۷۴۶ | ۵/۴۵۷ |

**** اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد**




**شکل ۳- اثر غلظت‌های مختلف نانو ذره اکسید آهن برمیزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز (a)، گایاکول پراکسیداز (b) و درصد مهار رادیکال آزاد (c) در گیاه چمن اسپورت**

آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و پراکسیداز نشان داد که کلیه سطوح به‌کاررفته این نانو ذره در گیاه چمن اسپورت روند افزایشی داشت به گونه‌ای که بیشترین مقدار آنزیم کاتالاز مربوط به غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام با مقدار ۰/۰۲۲ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه (شکل ۳a) و بیشترین مقدار آنزیم گایاکول پرکسیداز مربوط به غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام با ۳۲/۸ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه ثبت شد. همچنین کمترین میزان آنزیم کاتالاز (۰/۰۱۵۵ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) و آنزیم گایاکول پرکسیداز (۲۱/۲۶ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) مربوط به تیمار شاهد بوده است (شکل ۳b). با توجه به نتایج شکل ۳c تأثیر سطوح مختلف نانو ذره اکسید آهن بر درصد مهار رادیکال آزاد نشان‌دهنده این است که بیشترین درصد مهار رادیکال آزاد مربوط به تیمار ۱۰۰ و ۲۰۰ پی‌پی‌ام به ترتیب با ۴۴/۵ و ۴۰/۸ درصد نسبت به

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-14 ]

کمترین تیمار که نمونه شاهد با ۳۳/۴ درصد، بوده است.

**بحث**

آهن از عناصر ضروری کم‌مصرف است که در فرایندهای رشد، فتوسنتز، تنفس و تثبیت نیتروژن در گیاهان نقش اساسی دارد. علاوه بر این در بخش کاتالیزوری بسیاری از آنزیم‌های اکسیداسیون و احیا قرار گرفته و برای سنتز کلروفیل و DNA مورد نیاز است (Roosta *et al*., 2015). ترکیبات نانوذره اکسید آهن به‌علت کوچک بودن و حلالیت بالا به‌سرعت توسط گیاهان جذب می‌شوند و کمبود مواد غذایی گیاهان را بر طرف می‌کنند. بنابراین با کاربرد این مواد شرایط بهینه برای رشد گیاه ایجاد می‌شود و از ایجاد هر گونه تنش در گیاه جلوگیری می‌شود (Mohamadipoor *et al*., 2013).

با توجه به نتایج این پژوهش در میان سطوح مختلف نانو ذره اکسید آهن به‌کاررفته، غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام نانو ذره تأثیر بیشتری بر طول ریشه داشت. مطابق با نتیجه این آزمایش، ریاحی‌نیا و دانایی‌پور (۱۴۰۱) بیان کردند استفاده از نانوذره اکسید آهن باعث افزایش طول ریشه در گیاه سالیکورنیا شد. علاوه بر این نتایج مطالعات محب‌الدینی و فتحی (۱۴۰۰) روی گیاه خرفه (*Portulaca oleracea* L.) نشان داد، استفاده از نانو ذره اکسید آهن باعث افزایش طول ریشه شد. طبق نتایج این پژوهش نانو ذره اکسید آهن باعث افزایش معنی‌دار صفت وزن خشک بوته گردید. مطابق با نتیجه این آزمایش، فتاحی سیاه‌کمری و همکاران (۱۳۹۹) در گیاه ریحان، ایرانبخش و قادری (۱۳۹۹) در گیاه فلفل و هاشمی و همکاران (۱۳۹۷) در گیاه چای ترش نشان دادند استفاده از نانوذره اکسید آهن باعث افزایش وزن خشک در گیاهان می‌شود. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از این محرک باعث افزایش معنی‌دار تراکم بوته در واحد سطح شد. در میان سطوح مختلف نانوذره اکسید آهن به کار رفته در این پژوهش، غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام نانو ذره توانست بیشترین مقدار رنگریزه‌های فتوسنتزی را نسبت به دیگر سطوح نشان دهد. Zhu و همکاران (۲۰۰۸) با مطالعه تأثیر نانوذره اکسید آهن بر بافت‌های گیاه کدو متوجه جذب و انتقال و تجمع این نانوذره در بافت‌های گیاه کدو شدند. نتایج تحقیق انجام شده نیز نشان‌دهنده تأثیر نانوذره اکسید آهن بر رشد اولیه گیاهان می‌باشد. همچنین تأثیر این نانو ذره در مراحل مختلف رشد گیاهان متفاوت است و رشد گونه‌های مختلف در حضور این نانوذره یکسان نیست. از فواید محلول‌پاشی، جذب مستقیم مواد غذایی توسط بافت‌های گیاهی با مصرف کم انرژی برای انتقال در درون گیاه و عدم وابستگی به فاکتورهای محیطی مانند رطوبت خاک است (Swiader, 2000). Li و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که نانو ذره اکسید آهن می‌تواند در جذب و انتقال مواد در گیاهان نقش مؤثری داشته باشد. نانوذرات آهن به عنوان منبع آهن از سنتز کلروفیل پشتیبانی می‌کنند (Al-Amri *et al*., 2020). این ترکیب منجر به افزایش سرعت فتوسنتز (افزایش سرعت جذب $CO_2$ و افزایش غلظت $CO_2$ داخل سلولی)، افزایش باز شدن روزنه و افزایش جذب فسفر می‌گردد که به طور مستقیم در افزایش رشد گیاهان تأثیرگذار هستند (Yoon *et al*., 2019; Wang *et al*., 2019).

نانوذره اکسید آهن در پارامترهای مهم فیزیولوژی مانند فتوسنتز، تعرق، بیوسنتز هورمون‌های گیاهی، تولید کلروفیل و در بهبود بخشیدن واکنش زنجیر انتقال الکترون در گیاهان نقش مهمی دارد (Rui *et al*., 2015). مطابق با نتایج این آزمایش، نتایج مطالعات ایرانبخش و قادری (۱۳۹۹) روی گیاه فلفل و محمدی و همکاران (۱۳۹۵) در گیاه نعناع نشان دادند، استفاده از نانو ذره اکسید آهن باعث افزایش معنی‌دار میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئیدها) شد. همچنین (۲۰۱۲) اظهار داشتند که محلول‌پاشی نانوذره اکسید آهن موجب افزایش عملکرد، محتوای کلروفیل و کاروتنوئید در گندم شد. داوودی و همکاران (۲۰۲۰) گزارش نمودند که میزان آنتوسیانین در اثر تیمار نانوذره اکسید آهن در گیاه سیاهدانه افزایش یافت که همسو با نتایج این پژوهش است. نتایج آزمایش محمدی و همکاران (۱۳۹۵) نشان داد استفاده از نانوذره اکسید آهن باعث افزایش میزان آنتوسیانین در گیاه نعناع گردید. به دلیل افزایش مقدار رنگدانه‌های

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-14 ]

غیرآنزیمی با کاربرد آهن از تخریب کلروفیل‌ها جلوگیری شده و به طور غیرمستقیم مقدار آنتوسانین افزایش می‌یابد (Yousefzadeh *et al*., 2016). افزایش میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی را می‌توان به افزایش مقدار نانو ذرات اکسید آهن نسبت داد. از آنجایی که عنصر آهن نقش اساسی در متابولیسم کلروفیل‌ها دارد، حضور این عنصر در بافت‌های برگی می‌تواند در تشکیل رنگدانه‌های فتوسنتزی مهم باشد (Al-Amri *et al*., 2020). این ترکیب می‌توانند جذب نور را افزایش داده، انتقال و تبدیل انرژی نورانی را تسریع کنند و باعث بهبود زنجیره انتقال الکترون و فعالیت فتوفسفوریلاسیون در گیاهان شوند، در نتیجه میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی و سرعت فتوسنتز در گیاهان افزایش می‌یابد (Lei *et al*., 2007).

مطابق با نتایج بررسی، نانوذره اکسید آهن باعث افزایش معنی‌دار مقادیر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و گایاکول پراکسیداز و درصد مهار رادیکال آزاد گردید. تحقیقات نشان داد که اضافه نمودن نانوذره $Fe_2O_3$ به خاک منجر به افزایش بیوماس و مقدار کلروفیل می‌شود. به گونه‌ای که اثر برهمکنشی این ترکیب باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و مقاومت گیاه به تنش‌های غیرزیستی گردید. نانوذره اکسید آهن به صورت القاگر منجر به افزایش رشد و گسترش گیاهان نیز می‌شود (Rui *et al*., 2015). نتایج مطالعات هاشمی و همکاران (۱۳۹۷) نشان داد استفاده از این ترکیب باعث افزایش میزان فعالیت‌های آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و گایاکول پراکسیداز در گیاه چای ترش شد. در پژوهشی بر گیاه دارویی زیره سبز مشاهده شد که محلول‌پاشی آهن و روی باعث افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، گایاکول پراکسیداز، پلی‌فنل اکسیداز و آسکوربات پراکسیداز شد، که با نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر مطابقت داشت (Amirinejad *et al*., 2015). سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی آنزیمی شامل: آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، گایاکول پراکسیداز و گلوتاتیون ردوکتاز و آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی مانند گلوتاتیون، آسکوربات، تیول‌ها و فنول‌ها می‌باشد (Rico *et al*., 2015; Singh and Lee, 2016). کاتالاز و گایاکول پراکسیداز در خاموش کردن رادیکال‌های ROS نقش دارد در حالیکه سوپراکسید دیسموتاز تغییر آنیون سوپراکسید را به پراکسید هیدروژن کاتالیز می‌کند (Rico *et al*., 2015). استفاده از نانوذرات اکسید آهن ممکن است به دلیل تولید ROS باعث سمیت نوری شود، با این حال، ROS تولید شده ممکن است به عنوان مولکول‌های سیگنالی برای فعال کردن مکانیسم دفاعی آنتی‌اکسیدانی گیاه برای سم‌زدایی رادیکال‌های آزاد عمل کنند (Yin *et al*., 2012).

## نتیجه‌گیری

استفاده از نانو ذرات مانند نانوذره اکسید آهن یکی از روش‌های مدیریتی جهت دستیابی به عملکرد بالا در تولید گیاهان است. در مطالعه حاضر شاخص‌های رشدی و برخی صفات فیزیولوژیک گیاه چمن اسپورت تحت تأثیر غلظت‌های مختلف نانوذره اکسید آهن بررسی شدند. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که غلظت‌های مختلف نانو ذره اکسید آهن باعث افزایش مقادیر صفات مورفولوژیک (طول ریشه، وزن خشک و تراکم بوته در واحد سطح) و برخی صفات فیزیولوژیک (رنگدانه‌های فتوسنتزی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و گایاکول پراکسیداز) گردید. براساس نتایج این پژوهش، غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام نانوذره اکسید آهن، تأثیر معنی‌داری در افزایش مقادیر صفات مورد مطالعه داشت و این ترکیب را می‌توان به عنوان محرک مناسب جهت افزایش رشد در گیاه چمن اسپورت پیشنهاد نمود.

## منابع

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-14 ]

اثنی عشری، الهه، و انتشاری، شکوفه (۱۳۹۵). مقایسه اثرات کلرید آهن، کلات آهن و نانو آهن برمکانیسم‌های آنزیمی و غیرآنزیمی آنتی‌اکسیدانی گیاه بادرنجبویه تحت تیمار آلومینیوم. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۷(۲۳)، ۲۰۴–۱۹۳. http://jispp.iut.ac.ir/article-1-428-fa.html

ایرانبخش، علیرضا، و قادری، علیرضا (۱۳۹۹). اثر نانو اکسید آهن بر رشد، فیزیولوژی و کالزایی فلفل در شیشه. *یافته‌های نوین در علوم زیستی*، ۷(۲)، ۲۲۷–۲۱۹. http://nbr.khu.ac.ir/article-1-3276-fa.html

ریاحی نیا، شهرام، و دانایی‌پور، زهرا (۱۴۰۱). بررسی تأثیر تیمار نانو کود آهن و کلات آهن در دو مرحله زیستی گیاه سالیکورنیا تحت تنش شوری. *مجله پژوهش‌های گیاهی (علمی)*، ۳۵(۱)، ۱۸۸–۱۷۴. https://www.orcid.org/https://orcid.org/0000-0001-5724-6464

فتاحی سیاه کمری، سعید، آروئی، حسین، عزیزی ارانی، مجید، و صالحی ساردویی، علی (۱۳۹۹). اثر کودهای نانو کلات (آهن و روی) و کود نیتروژن (زیستی و شیمیایی) بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و عملکرد اسانس دو توده محلی گیاه دارویی *Ocimum basillicum* L. *فصلنامه اکوفیتوشیمی گیاهان دارویی*، ۸(۱). https://ecophytochemical.gorgan.iau.ir/article_673692.html

محب‌الدینی، مهدی، و فتحی، رقیه (۱۴۰۰). تأثیر نانو ذرات اکسید آهن بر القای ریشه‌های مویین و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه خرفه (*Portulaca oleracea* L.). *مجله بیوتکنولوژی کشاورزی*، ۱۳(۳)، ۹۰–۶۹. https://www.orcid.org/0000-0003-4655-7069

محمدی، مراد، مجنون حسینی، ناصر، و دشتکی، محمد (۱۳۹۵). تأثیر نانواکسید آهن و سولفات روی بر میزان کلروفیل، آنتوسیانین، فلاونوئید و عناصر معدنی برگ نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) در شرایط آب و هوایی کرج. *تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۳۲(۵)، ۷۸۳–۷۷۰. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2016.107994

هاشمی، عصمت، مهدی‌نژاد، نفیسه، فاخری، براتعلی، و محمدپور، رقیه (۱۳۹۷). اثر کودهای زیستی بیومیک و نانو (آهن، روی، منگنز) بر عملکرد اقتصادی، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و غلظت برخی عناصر چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) تحت تنش خشکی. *فیزیولوژی محیطی گیاهی*، ۱۳(۵۱)، ۱۲۰–۱۰۸. https://journals.iau.ir/article_626914.html

Ahmad, A., Yasin, N. A., Khan, W. U., Akram, W., Wang, R., Shah, A. A., Akbar, M., Ali, A., & Wu, T. (2021). Silicon assisted ameliorative effects of iron nanoparticles against cadmium stress: Attaining new equilibrium among physiochemical parameters, antioxidative machinery, and osmoregulators of *Phaseolus lunatus*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 874-886. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.06.016

Al-Amri, N., Tombuloglu, H., Slimani, Y., Akhtar, S., Barghouthi, M., Almessiere, M., Alshammari, T., Baykal, A, Sabit, H., Ercan, I., & Ozcelik, S. (2020). Size effect of iron (III) oxide nanomaterials on the growth, and their uptake and translocation in common wheat (*Triticum aestivum* L.). *Ecotoxicology* and *Environmental Safety*, *194*, 110377. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110377

Amirinejad, M., Akbari, Gh., Baghizadeh, A., allahdadi, I., Shahbazi, M., & Naimi, M. (2015). Effects of drought stress and foliar application of zinc and iron on some biochemical parameters of *cumin*. *Agricultural Crop Management*, *17*(4), 855-866. https://jci.ut.ac.ir/article_55136_73

Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplast polyphenol oxide in betavulgaris. *Plant Physiology*, *24*, 1-5. https://doi.org/10.1104%2Fpp.24.1.1.

Blakrishman, K. (2000). Peroxidase activity as an indicator of the iron deficiency banana Indian. *Indian Journal of Plant Physiology*, *5*, 389-391.

Chance, B. & Maehly, A. (1955). Assay of catalases and peroxidases. *Methods in Enzymology*, *2*(136), 764-775. https://doi.org/10.1016/S0076-6879(55)02300-8

DeRosa, M. C., Monreal, C., Schnitzer, M., Walsh, R., & Sultan, Y. (2010). Nanotechnology in fertilizers. *Nature Nanotechnology*, *5*, 91. http://dx.doi.org/10.1038/nnano.2010.2

Galavi, M., Ramroudi, M., & Tavassoli, A. (2012). Effect of micronutrients foliar application on yield and seed oil content of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *African Journal of Agricultural Research*, *7*(3), 482-486. http://dx.doi.org/10.5897/AJAR11.1323

Gomaa, M. A., Kandil, E. E., Amera, M., & Ibrahim, M. (2020). Response of maize to organic fertilization and some nano-micronutrients. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences*, *11*(1), 13-20. https://doi.org/10.21608/eajbsh.2020.81409

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-14 ]

Hayyawi, W., Al-juthery, A., Abdulkareem, H., Fadhil, K., Radhi, F., Hussein, M., & Khaeim, M. (2019). The response of wheat to foliar application of nano micro nutrients. *Plant Archives, 19*, 827-831. http://www.plantarchives.org/SPL%20ISSUE%20SUPP%202,2019/148__827-831_.pdf

Hekmati, J. (2011). The Seasonal Flowers. Publication of Agriculture Iran, Tehran.

Hochmuth, G. (2011). Iron (Fe) nutrition in plants. U. S. Department of Agriculture, UF/IFAS Extension Service, University of Florida, IFAS Document, SL353. https://doi.org/10.32473/edis-ss555-2011

Lei, Z., Mingyu, S., Chao, L., Liang, C., Hao, H., Xiao, W., Xiaoqing, L., Fan, Y., Fengqing, G., & Fashui, H. (2007). Effects of nanoanatase $TiO_2$ on photosynthesis of spinach chloroplasts under different light illumination. *Biological Trace Element Research, 119*, 68-76. https://doi.org/10.1007/s12011-007-0047-3

Li, J., Chang, P. R., Huang, J., Wang, Y., Yuan, H., & Ren, H. (2013). Physiological effects of magnetic iron oxide nanoparticles towards watermelon. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 13*, 5561-5567. https://doi.org/10.1166/jnn.2013.7533

Liu, R. & Lal, R. (2015). Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. *Science of the Total Environment, 514*, 131-139. https://doi.org/ 10.1016/j.scitotenv.2015.01.104

Luck, H. (1974). Methods in Enzymatic Analysis. Academic Press, New york. http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-395630-9.50158-4

Mastronardi, E., Tsae, P., Zhang, X., Monreal, C., & De Rosa, M. C. (2015). Strategic role of nanotechnology in fertilizers: Potential and limitations. In: Nanotechnologies in Food and Agriculture. (eds. Rai, M., Ribeiro, C., Mattoso, L. and Duran, N.) Pp. 25-67. Springer International Publishing, Switzerland. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-14024-7_2

Miliauskas, G., Venskutonis, P. R., & Vanbeek, T. A. (2004). Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extracts. *Food Chemistry, 85*, 231-237. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.05.007

Mita, S., Murano, N., Akaike, M., & Nakamura, K. (1997). Mutants of *Arabidopsis thaliana* with pleiotropic effects on the expression of the gene for beta-amylase and on the accumulation of anthocyanin that are inducible by sugars. *Plant Journal, 11*, 841-851. https://doi.org/10.1046/j.1365-313x.1997.11040841.x

Mohamadipoor, R., Sedaghathoor, S., & Mahboub-Khomami, A. (2013). Effect of application of iron fertilizer in two methods foliar and soil application on growth characteristics of *Spathyphyllum illusion*. *European Journal of Experimental Biology, 3*(1), 232-240.

Reynolds, G. H. (2002). Forward to the future nanotechnology and regulatory policy. *Pacific Research Institute*, 20.

Rico, C., Peralta-Videa, J., & Gardea-Torresdey, J. (2015). Chemistry, biochemistry of nanoparticles, and their role in antioxidant defense system in plants. *Nanotechnology and Plant Sciences*, 1-17. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-14502-0_1

Rizwan, M., Ali, S., Ali, B., Adrees, M., Arshad, M., Hussain, A., ur Rehman, M. Z., & Waris, A. A. (2019). Zinc and iron oxide nanoparticles improved the plant growth and reduced the oxidative stress and cadmium concentration in wheat. *Chemosphere, 214*, 269-277. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.09.120

Roosta, H. R., Jalali, M., & Vakili Shahrbabaki, M. A. (2015). Effect of nano-chelate, Fe-Eddha and $FeSo_4$ on vegetative growth, physiological parameters and some nutrient elements concentration of four varieties of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in NFT system. *Journal of Plant Nutrition, 38*(14) , 2176-2184. http://dx.doi.org/10.1080/01904167.2015.1043378

Roosta, H. R. & Mohsenian, M. (2012). Effects of foliar spray of different Fe sources on pepper (*Capsicum annum* L.) plants in aquaponic system. *Scientia Horticulturae, 146*, 182-191. http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2012.08.018

Rui, Y., Zhang, P., Zhang, Y., Ma, Y., He, X., & Gui, X. (2015). Transformation of ceria nanoparticles in cucumber plants is influenced by phosphate. *Environmental Pollution, 198*, 8-14. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.12.017

Salem, T. & Elsheery, N. (2020). Nanomaterials: Scope, applications, and challenges in agriculture and soil reclamation. *Sustainable Agriculture Reviews*, 41. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-33996-8_1

Shang, Y., Hasan, M., Ahammed, G. J., Li, M., Yin, H., & Zhou, J. (2019). Applications of nanotechnology in plant growth and crop protection: A review. *Molecules, 24*, 2558. https://doi.org/10.3390/molecules24142558

Siddiqui, M. H., Al-Whaibi, M. H., Firoz, M., & Al-Khaishany, M. Y. (2015). Role of Nanoparticles in Plants. Nanotechnology and Plant Sciences. Springer International Publishing . http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-14502-0_2

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

Sudhagar, G. B., Immanuel, R., Ramesh, S., Baradhan, G., & Sureshkumar, S. M. (2019). Effect of zinc and iron fertilizartion on growth and development of rice. *Plant Archives, 19*, 1877-1880. https://www.researchgate.net/publication/337400030

Swiader, J. M. (2000). Micronutrient fertilizer recommendation for vegetable Crop. *Horticulture Facts*, 21-35.

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-14 ]

Thorani Natar, M. (2005). Grass and its Use in Sports and General Sport. New Organization of Nuclear Engineering and Natural Resources of Iran, Tehran.

Wang, X. & Cai, Q. S. (2010). Steel alag as an iron fertilizer for com growth and soil. *Journal of Plant Physiology, 132,* 421-427.

Wang, Y., Wang, S., Xu, M., Xiao, L., Dai, Z., & Li, J. (2019). The impacts of γ-$Fe_2O_3$ and $Fe_3O_4$ nanoparticles on the physiology and fruit quality of muskmelon (*Cucumis melo*) plants. *Environmental Pollution, 249*, 1011-1018. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.119

Yin, L., Colman, B. P., McGill, B. M., Wright, J. P., & Bernhardt, E. S. (2012). Effects of silver nanoparticle exposure on germination and early growth of eleven wetland plants. *PLoS One*, *7*, e47674. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0047674

Yoon, H., Kang, Y. G., Chang, Y. S., & Kim, J. H. (2019). Effects of zerovalent iron nanoparticles on photosynthesis and biochemical adaptation of soil-grown *Arabidopsis thaliana*. *Nanomaterials, 9*, 1543. DOI:10.3390/nano9111543

Yousefzadeh, S., Naghd abadi, H., & Sabbaghnia, N. (2016). The effect of iron nanocolate spray on the physiological and chemical properties of lemongrass. *Journal of Medicinal Plants, 15*(4), 152-160.

Zhu, H., Han, J., Xiao, J. Q., & Jin, Y. (2008). Uptake, translocation and accumulation of manufactured iron oxide nanoparticles by pumpkin plants. *Journal of Environmental Monitoring, 10*, 713-717. https://doi.org/10.1039/b805998e

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-14 ]

# Effect of iron oxide nanoparticle on some morpho-physiological characteristics of sport grass

**Shahram Bakhshi[1], Mahyar Gerami[1*], Fazl Shirdel Shahiri[2], Davood Akbari Nodehi[2], Seyedeh Mohadeseh Mohammadi[3]**

**[1] Department of Plant Physiology, Sana Institute of Higher Education, Sari, Iran**
**[2]Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran**
**[3] Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran**
**(Received: 2023/06/10, Accepted: 2023/07/11)**

**Abstract**

Sports grass is a suitable mixture of premium and resistant varieties of grass that has been widely accepted in many countries of the world for lawn work in parks and sports fields. Considering the role of nanotechnology in the production of plants, it is very important to investigate the effect of nanoparticles on the growth processes of grass. In this research, the effect of iron oxide nanoparticles on some morpho-physiological characteristics of sport grass was investigated. The iron element is very important due to its placement in the electron transport chain and its role in photosynthesis. This research was carried out in a completely randomized design with three replications in fully controlled conditions. Foliar spraying of iron oxide nanoparticles was investigated in three stages with different concentrations (zero, 50, 100, 200, and 400 ppm). The results of variance analysis showed that the effect of iron oxide nanoparticle foliar application on some morphological characteristics such as root length, plant dry weight, and plant density per unit area was significant. The results of the comparison of the average effect of different concentrations of iron oxide nanoparticles on the dry weight of sport grass plants indicated that the concentration of 100 ppm of this nanoparticle accounted for the highest amount of dry weight of the plant with 0.080 grams, also the effect of foliar spraying of this nanoparticle. All physiological traits (chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, carotenoid, anthocyanin, catalase antioxidant enzyme, guaiacol peroxidase antioxidant enzyme, and free radical inhibition percentage) were significant at the 1% level. Based on the results of this research, the application of different concentrations of iron nanoparticles had a favorable effect on the amounts of photosynthetic pigments and antioxidant enzymes, which can be suggested as a suitable elicitor to increase the growth of morphological parameters and increase the quality of physiological parameters in sport grass.

**Keywords:** Antioxidant enzymes, Chlorophyll, Iron oxide nanoparticles, Sports grass

Corresponding author, Email: Mahyar.gerami@yahoo.com

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-14 ]