

Effects of Modified *EDDHA* iron synthesized Complexes on Agronomic Traits and Yield of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Calcareous Soils

Asghar Mohammadi¹, Mohammad Reza Dadpour², Roghiyeh Farzi-Aminabad^{3*} 

Received: September 3, 2023

Accepted: February 12, 2025

1- Ph.D. Student in production and post-harvest physiology of horticultural plants, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

2- Dept. of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

3- PhD Student in Crop Physiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

*Corresponding Author: Email: roghiyehfarzi374@gmail.com

Abstract

Background and Objectives: Beans is one of the most important legumes, which has a major contribution to the human diet. It also has a great ability to bio-fix soil nitrogen, and its branches and leaves are also used as animal feed. It has a high protein content and contains essential amino acids, iron, and excellent quality and taste. Iron is one of the essential and micro-elements that plays an important role in soil fertility processes, carbon dioxide stabilization, and increasing product quality, and it is the most important micro-element whose deficiency has a direct impact on the human diet. To solve the problem of iron absorption in calcareous soils, iron complexes using modified *EDDHA* organic chelators can be used. Therefore, this study was conducted to investigate the role of modified *EDDHA* iron synthesis complexes in improving the growth and yield of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in calcareous soils.

Materials & Methods: This experiment was conducted as a factorial based on a randomized complete block design with three replications in the research greenhouse of the Department of Horticultural Science and Engineering, University of Tabriz. Treatments included three levels of calcareous soil (S1, S2, and S3 with 5, 10, and 15% lime, respectively) and five levels of iron (F0, F1, F2, F3, and F4 as a control, *EDDHA* with acyl chlorides of aliphatic acids; two *EDDHA* with three amido phenols; *EDDHA* with aminophenol; and *EDDHA* with oleic acid epoxide, respectively). Iron complexes with modified *EDDHA* organic chelating agents were synthesized and used for iron micronutrient feeding to plants.

Results: The highest activity of (Fv/Fo) was observed with the synthesis of modified irons with 10% soil lime, the highest soil EC with 15% soil lime in the *EDDHA* treatment with acyl chlorides of aliphatic acids 2, and the highest soil pH with 10% lime and no use of modified *EDDHA*. *EDDHA* caused a decrease in soil pH at different percentages of lime. *EDDHA* combined with oleic acid epoxide (F4) produced the highest fresh and dry weight of bean roots. The synthesis of various modified irons in soil with 5% lime increased grain yield.

Conclusion: The study found that a 10% calcareous soil had the highest effectiveness when plants were treated with *EDDHA* (F4) combined with oleic acid epoxide, which enhanced iron absorption and improved photosynthesis. This modification led to a 10% increase in bean grain yield.

Keywords: Nano iron, *EDDHA*, Bean, Calcareous Soils, Soil pH



This is an open-access article under the CC BY NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/>)

Copyright@ 2025 Roghiyeh Farzi-Aminabad Email: roghiyehfarzi374@gmail.com

<https://doi.org/10.22034/saps.2025.63300.3274>



ارزیابی تاثیر کمپلکس‌های سنتزی آهن EDDHA اصلاح شده بر صفات زراعی و عملکرد لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) در خاک‌های آهکی

اصغر محمدی^۱، محمدرضا دادپور^۲، رقیه فرضی امین آباد^{۳*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۱۲	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۴
--------------------------	-------------------------

۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی تولید و پس از برداشت گیاهان باغی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۲- گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۳- دانشجوی دکتری تخصصی فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

* مسئول مکاتبه: Email: roghiyehfarzi374@gmail.com

چکیده

مقدمه و اهداف: لوبیا یکی از مهمترین حبوبات می‌باشد که سهم عمده‌ای در رژیم غذایی انسان دارد. همچنین، توانایی زیادی در تثبیت زیستی نیتروژن خاک داشته و شاخه و برگ آن نیز به عنوان غذای دام مورد استفاده قرار می‌گیرد. درصد پروتئین بالایی دارد و حاوی اسیدهای آمینه ضروری است. آهن یکی از عناصر ضروری و کم مصرف است که نقش مهمی را در فرایندهای حاصلخیزی خاک، تثبیت دی‌اکسیدکربن و افزایش کیفیت محصولات دارد و مهمترین عنصر کم مصرفی است که کمبود آن تاثیر مستقیم در رژیم غذایی انسان دارد. برای رفع مشکل جذب آهن در خاک‌های آهکی از کمپلکس آهن با استفاده از کیلاته کننده آلی EDDHA اصلاح شده می‌توان استفاده کرد. بنابراین، این پژوهش جهت بررسی نقش کمپلکس‌های سنتز آهن EDDHA اصلاح شده در بهبود رشد و عملکرد لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) در خاک‌های آهکی انجام گردید.

مواد و روش‌ها: آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی گروه علوم و مهندسی باغبانی دانشگاه تبریز با سه سطح خاک آهکی (S1، S2 و S3 به ترتیب ۵، ۱۰، ۱۵ درصد) و پنج سطح بنیان‌های آلی آهن (F0، F1، F2، F3 و F4 به ترتیب شاهد، EDDHA با آسیل کلریدهای اسیدهای آلیفاتیک ۲، EDDHA با آمیدوفنول‌های ۳، EDDHA با آمینوفنول و EDDHA با اپوکسید اولئیک اسید) اجرا شد.

یافته‌ها: بیشترین مقدار فعالیت کمپلکس تجزیه کننده آب بعنوان دهنده الکترون سیستم نوری II (Fv/Fo) با سنتز آهن‌های اصلاح شده ۱۰ درصد آهک خاک، بیشترین EC خاک با ۱۵ درصد آهک خاک در تیمار EDDHA با آسیل کلریدهای اسیدهای آلیفاتیک ۲ و بیشترین میزان pH خاک با آهک ۱۰ درصد و عدم استفاده EDDHA اصلاح شده مشاهده شد. EDDHA موجب کاهش pH خاک در درصد‌های مختلف آهک شد. EDDHA اصلاح شده با اپوکسید اولئیک اسید (F4) بیشترین وزن تر و خشک ریشه لوبیا را باعث شد. سنتز انواع آهن‌های اصلاح شده در خاک با ۵ درصد آهک موجب افزایش محصول دانه شد.

نتیجه‌گیری: بیشترین اثربخشی در خاک آهکی ۱۰ درصدی و در تیمارهای F4 مشاهده شد. گیاهان تیمار شده با EDDHA (F4) اپوکسید اولئیک اسید، به دلیل حضور گروه اسیدی اضافی در ساختار EDDHA، نتایج بهتری نشان دادند. در حالت کلی استفاده از EDDHA اصلاح شده در خاک‌های آهکی موجب افزایش جذب آهن و بهبود محصول دانه لوبیا گردید. همچنین، عملکرد دانه لوبیا در این شرایط بهبود ۱۰ درصدی را نشان داد.

واژه های کلیدی: سنتز آهن‌های اصلاح شده، EDDHA، لوبیا، خاک‌های آهکی، pH خاک

مقدمه

یکی از مهمترین حبوبات لوبیا می‌باشد که سهم عمده‌ای در رژیم غذایی انسان دارد. همچنین، توانایی زیادی در تثبیت زیستی نیتروژن خاک داشته و شاخه و برگ آن نیز به عنوان غذای دام مورد استفاده قرار می‌گیرد (کریمیان و همکاران ۲۰۲۰). تولید و مصرف لوبیا در مقیاس جهانی اهمیت فراوانی دارد زیرا، درصد پروتئین بالایی دارد و بخشی از رژیم غذایی هزاران نفر است. لوبیا اسیدهای آمینه ضروری، آهن و کیفیت و طعم عالی دارد که اشتها را بهبود می‌بخشد. همچنین، در ۱۰۰ گرم آن ۳۴۰ کالری وجود دارد. بنابراین، در سبد غذایی اکثریت قریب به اتفاق جمعیتی که منابع اقتصادی کمتری دارند، دارای اهمیت حیاتی است (ویسست ۲۰۰۰). فراوان‌ترین نوع کانی آهن‌دار در زمین به فرم اکسید آهن (Fe_2O_3) یا هماتیت است که به شدت نامحلول می‌باشد. در pH های پایین، به دلیل زیادی H^+ حلالیت آهن در خاک زیاد می‌شود ولی در خاک‌های آهکی با pH های بالای ۸/۷، کربنات‌ها و سولفات‌های آهن تشکیل می‌شوند و حلالیت آهن کم می‌شود. آهن یکی از عناصر ضروری و کم مصرف است که نقش مهمی را در فرایندهای حاصلخیزی خاک، تثبیت دی‌اکسیدکربن و افزایش کیفیت محصولات دارد. همچنین مهمترین عنصر کم مصرف است که کمبود آن تأثیر مستقیم در رژیم غذایی انسان دارد (مورجیا و همکاران ۲۰۱۲). Fe^{2+} شکل فعال آهن است و به عنوان کلات Fe^{2+} نیز جذب می‌شود (گارنیکا و همکاران ۲۰۱۸). آهن در سنتز کلروفیل شرکت می‌کند و به عنوان کاتالیز در تعدادی از واکنش‌های متابولیکی نیز شرکت می‌کند (کیم و گورینوت ۲۰۰۷). به طوری که اگر آهن به مقدار کافی در اختیار گیاه قرار نگیرد، گیاه با کمبود آهن مواجه شده و دچار زردبرگی می‌شود (کابالرو و همکاران ۲۰۰۷). در این حالت چرخه فتوسنتز با اختلال مواجه شده و با کاهش جدی رشد و بازدهی روبه‌رو خواهد شد. روش‌های درمانی گوناگونی برای زردبرگی انجام شده است، که بیشتر شامل افزایش نمک-های آهن به خاک یا محلول‌پاشی می‌باشد. امروزه، کلاته

کردن آهن با عامل‌های کلاته کننده آلی، بهترین و اقتصادی‌ترین روش محلول نگه داشتن عنصر آهن در محیط‌های قلیایی می‌باشد. بنابراین، با توجه به pH بالای خاک‌های ایران، استفاده از کلات‌های آلی آهن در کشاورزی امری ضروری بوده و به عبارتی تنها منبع تأمین کننده آهن مورد نیاز گیاهان به حساب می‌آید (روجاس و همکاران ۲۰۰۸). اثبات شده است که افزایش آهن کلاته شده بازده خیلی از فراورده‌ها را افزایش می‌دهد (کابالرو و همکاران ۲۰۰۷). گلسر و همکاران (۲۰۱۹) گزارش داد که منابع مختلف آهن و دزهای کاربرد به طور قابل توجهی بر خصوصیات رشد در گیاهچه‌های سویا تأثیر گذاشت. آن‌ها دریافتند که بیشترین رشد ساقه در کاربرد ۱۵ ppm نانواهن در مقایسه با تیمارهای $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ و $Fe-EDDHA$ تعیین شد و کاربرد نانواهن بر رشد گیاهچه مؤثرتر بود. بنابراین، این پژوهش جهت بررسی نقش کمپلکس‌های سنتزی آهن EDDHA اصلاح شده در بهبود رشد و عملکرد لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) در خاک‌های آهکی انجام گردید.

مواد و روش‌ها

شرح آزمایش

به منظور بررسی تأثیر انواع کودهای مختلف آهن بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و فتوسنتزی گیاه لوبیا در شرایط خاک آهکی، آزمایش گلدانی در قالب فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز با عرض جغرافیایی 38° و 27° دقیقه عرض شمالی و 46° و 27° دقیقه طول شمالی و با ارتفاع ۱۵۷۶ متر از سطح دریا انجام شد. سطوح آهک خاک (S_1 ، S_2 و S_3 به ترتیب ۵، ۱۰، ۱۵ درصد آهک) و انواع کمپلکس‌های سنتز آهن‌های اصلاح شده (F_0 ، F_1 ، F_2 ، F_3 و F_4 به ترتیب کنترل، EDDHA اصلاح شده با آسیل کلریدهای اسیدهای آلفاتیک EDDHA، ۲، EDDHA اصلاح شده با آمیدوفنول‌های ۳، EDDHA اصلاح شده با آمینوفنول و EDDHA اصلاح شده با

اپوکسید اولئیک اسید) به ازای ۰/۵ کیلو گرم خاک به مقدار ۵ میلی گرم از هر نوع آهن برای همه‌ی تیمارها اعمال گردید. مقدار آهن اولیه موجود در خاک با توجه به آزمایش خاک انجام شده، ۶/۲ میلی گرم در کیلوگرم خاک بود. گلخانه مورد استفاده در این آزمایش دارای پوشش پلی اتیلنی سفید و مجهز به سیستم سرمایش فن و پد و گرمایش از نوع جت هیتر بوده و در طول آزمایش دما ۱۵-۳۰ درجه سانتی گراد، نور ۵۰۰ میکرومول بر متر مربع در ثانیه و رطوبت نسبی در حدود ۴۰ تا ۵۰ درصد بود. برای عملیات کاشت خاک‌ها را وزن کرده و در گلدان‌هایی که داخل آن با نایلون پلاستیکی پوشانده شده

بود ریخته شد. سپس بذرها را در داخل گلدان (۶×۶) از جنس پلاستیک با قطر دهانه ۲۵ سانتی متر کاشته و حدود ۱۰ روز بعد از سبز شدن بوته‌ها در (مرحله چهار برگه) تنک کرده و به تراکم پنج بوته رسانده شد. دو هفته بعد از سبز شدن بذرها اعمال تیمار (پای بوته) تا زمان گلدهی کامل گیاهان به مدت سه مرحله (دو هفته یکبار) انجام گردید. سایر عملیات کشاورزی از قبیل دفع آفات، بیماری‌ها و نیز آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه اعمال گردید. برای آگاهی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک آزمون خاک انجام گردید (جدول ۱).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

pH	هدایت الکتریکی (dS/m)	کربن آلی (%)	کربنات کلسیم (%)	نیتروژن کل (%)	عناصر قابل جذب (mg/kg)	اجزای معدنی خاک (%)	بافت خاک
۸/۱	۱/۲	۰/۹۱	۸/۸۸	۰/۷۰	فسفر ۱۸/۳ پتاسیم ۳۲۸ آهن ۶/۲	رس ۱۵ سیلت ۳۱ شن ۵۴	لومی شنی

سنتز آهن‌های اصلاح شده

سنتز آسیل کلریدهای اسیدهای آلیفاتیک ۲

۷ میلی لیتر از تیونیل کلرید (SOCl_2) را در یک بالن ریخته و در حمام یخ قرار داده شد و ۱۸/۹ میلی لیتر از اسیدهای خطی ۱ شامل (استیک اسید، پروپیونیک اسید، کاپریلیک اسید و اولئیک اسید) قطره قطره در مدت ۳۵ دقیقه به آن افزوده شد. سپس بالن محتوی واکنش در دمای 40°C و به مدت ۲ ساعت قرار گرفت. در پایان واکنش SOCl_2 مازاد تحت خلاء تقطیر و حذف می شود و آسیل کلریدهای ۲ سنتز شده به صورت ماده‌های مایع و یا روغنی به دست آمدند (مقدم و همکاران، ۲۰۱۲).

سنتز آمیدوفنول‌های ۳

۴-آمیدوفنول (۳ گرم، ۰/۰۲۸ مول) را در ۱۰۰ میلی-لیتر THF حل شد سپس آسیل کلرید ۲ (۰/۰۱۴ مول) در دمای اتاق قطره قطره به آن افزوده شد. مخلوط واکنش در دمای اتاق به مدت ۱۸ ساعت به آرامی هم زده شد. محلول از رسوب جدا شده و به آن ۱۵۰ میلی لیتر اتیل استات افزوده شد و سه مرتبه با محلول اشباع NH_4Cl

شسته شد. محلول دارای فراورده با Na_2SO_4 خشک شده و حلال با تبخیر کننده چرخان خلأ تبخیر شد (مقدم و همکاران، ۲۰۱۲).

سنتز اپوکسی ۴ از اولئیک اسید و باز کردن حلقه اپوکسی با ۴-آمیدوفنول

ابتدا اولئیک اسید، فرمیک اسید و هیدروژن پراکسید با نسبت‌های مولی ۲۰:۲:۱ تولوئن در دمای اتاق با هم مخلوط شده و سپس دمای واکنش را تا ۸۰ درجه سانتی گراد گرم کرده و به مدت ۲ ساعت هم زده شد. لایه آلی جدا شده و با آب گرم ۳ مرتبه شسته شده و با کمک Na_2SO_4 خشک شد و حلال با تبخیر کننده چرخان خلا تقطیر شد (مقدم و همکاران، ۲۰۱۲).

سنتز EDDHA های اصلاح شده ۶ با استفاده از آمیدوفنول ۳ و ۵

در یک بالن ۲۵ میلی لیتری، به ترتیب ۱۰ میلی لیتر متانول، ۲ میلی مول گلی اگزالیک اسید ۵۰ درصد (۲۲۰ میکرولیتر) و یک میلی مول اتیلن دی آمین (۶۷ میکرولیتر)

قرار گرفته و پس از این مدت با استفاده از دستگاه فلورومتر و بازتاب نور سفید، حداکثر کارایی فتوشیمیایی سیستم نوری ثبت گردید (جنتی و همکاران، ۱۹۸۹).

عملکرد دانه

در مرحله رسیدگی کامل ۵ بوته از هر گلدان کف بر شده و به آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه دانه‌ها از غلاف‌ها جدا شدند و وزن دانه‌ها با استفاده از ترازو توزین شدند. سپس با توجه به سطح گلدان‌ها و محصول دانه تولید شده، محصول دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید.

محاسبات آماری

داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم افزار MSTATC تجزیه و تحلیل گردید. مقایسه میانگین با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. از نرم افزار Excel 2016 برای ترسیم شکل‌ها و نمودارها استفاده شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج مندرج در جدول ۲ نسبت شدت فلورسانس متغیر به شدت فلورسانس پایه (F_v/F_o)، EC و pH خاک تحت تأثیر اثر متقابل خاک آهکی و نوع آهن قرار گرفتند. تیمارهای آزمایش بر حداکثر کارایی کوانتومی سیستم نوری II تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۲).

نسبت شدت فلورسانس متغیر به شدت

فلورسانس پایه (F_v/F_o)

کاربرد EDDHA اصلاح شده در خاک با درصد‌های مختلف آهک موجب افزایش میانگین نسبت شدت فلورسانس متغیر به شدت فلورسانس پایه گردید. بالاترین نسبت شدت فلورسانس متغیر به شدت فلورسانس پایه (F_v/F_o) با کاربرد EDDHA اصلاح شده با آمینوفنول (F3) در خاک با ۱۰ درصد آهک (S2)

افزوده شد و ۱۰ دقیقه هم زده شد تا رسوب شیری رنگی به دست آید. سپس ۲ میلی مول آمیدوفنول و ۱ میلی لیتر سود ۴ مولار (۴ میلی مول) به مخلوط واکنش افزوده شد. مخلوط واکنش در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲ ساعت همزده شد. پس از پایان واکنش، حلال واکنش توسط تبخیر کننده چرخان تحت خلأ تبخیر شد و رسوب نارنجی رنگی به دست آمد. برای خالص سازی فراورده مورد نظر از مواد اولیه، رسوب به دست آمده ۵ بار با ۱۵ میلی لیتر اتیل استات شستشو داده شد. فراورده در دسیکاتور خشک شد و در ظرف بسته در یخچال نگهداری شد (مقدم و همکاران، ۲۰۱۲).

اندازه‌گیری‌ها

اندازه‌گیری زیست توده گیاهی

در مرحله رسیدگی بوته‌ها کف بر شده و به آزمایشگاه منتقل گردیدند. ابتدا وزن تر آن‌ها با استفاده از ترازوی ۰/۰۲ توزین گردیدند. وزن تر و خشک ساقه و ریشه بر اساس تک بوته اندازه گرفته شد. در آخر زیست توده با توجه به سطح گلدان‌ها، زیست توده بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید. سپس برای اندازه‌گیری وزن خشک نمونه‌ها داخل آونی با ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند و بعد از این مدت توزین گردیدند.

pH و EC خاک

اندازه‌گیری pH و EC در مراحل نهایی برداشت انجام شد. برای سنجش pH و EC خاک به ترتیب از دستگاه pH سنج و EC سنج (Gondo PL-700PC) استفاده شد.

سنجش فلورسانس کلروفیل

برای اندازه‌گیری میزان فلورسانس برگ در مرحله پر شدن نیام از دستگاه فلورسانس‌سنج (OS-30 OPTISCIENCES, USA) بهره‌گیری شد. برای این منظور، با استفاده از گیره‌های مخصوص برگ‌های یک بوته در هر گلدان به مدت ۳۰ دقیقه در معرض تاریکی

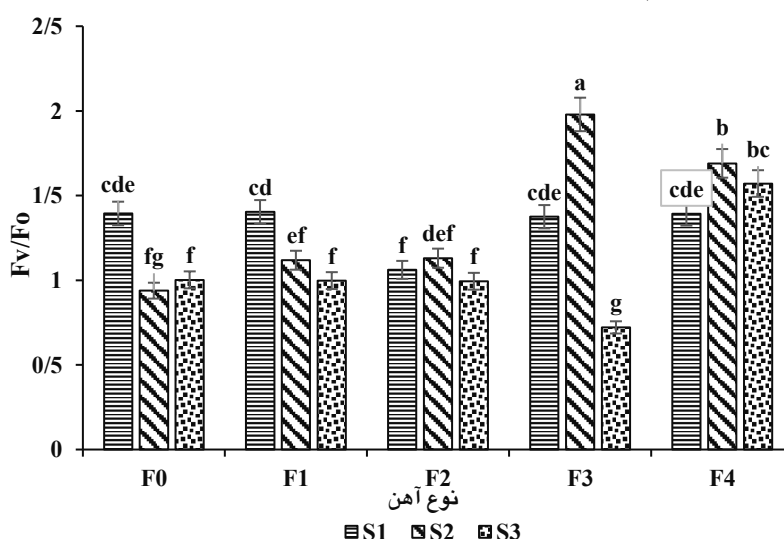
جدول ۲: تجزیه واریانس کمپلکس‌های سنتز آهن‌های اصلاح شده *EDDHA* و خاک آهکی بر فلورسانس کلروفیل لوبیا، EC و pH خاک

میانگین مربعات					
منابع تغییر	درجه آزادی	Fv/Fm	Fv/Fo	EC خاک	pH خاک
تکرار	۲	۰/۰۰۱	۰/۰۲۶	۰/۰۱۱	۰/۰۰۹
نوع خاک	۲	۰/۰۱۸ ^{ns}	۰/۴۳۱	۳۹/۸۸۵	۰/۰۸۷
نوع آهن	۴	۰/۰۱۴ ^{ns}	۰/۳۶۷	۰/۶۷۶	۰/۱۱۱
خاک × آهن	۸	۰/۰۱۲ ^{ns}	۰/۲۸۷*	۰/۴۱۳**	۰/۰۶۵**
خطا	۲۸	۰/۰۰۶	۰/۱۱۳	۰/۰۱۰	۰/۰۰۷
ضریب تغییرات (%)	–	۱۳/۹۰	۲۶/۸۷	۳/۹۵	۱/۱۰

*, **, و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و غیر معنی‌دار است.

ثبت گردید (شکل ۱). فلورسانس متغیر (Fv) زمانی افزایش می‌یابد که اولین پذیرنده الکترون (QA)، در حالت احیا باشد و این باعث افزایش مقدار فلورسانس کلروفیل می‌شود. اما زمانی که QA در حالت اکسیداسیون است، مقدار فلورسانس کلروفیل کم می‌شود و در این حالت میزان Fv کاهش می‌یابد (علی دیب و همکاران، ۱۹۹۴). فلورسانس متغیر (Fv) که از اختلاف فلورسانس حداکثر (Fm) با فلورسانس حداقل (F0) به دست می‌آید، وضعیت جریان الکترون از بخش سیستم نوری به QA را نشان می‌دهد (ایکسیا و همکاران، ۲۰۰۴). نانوذرات وارد

کلروپلاست شده و جذب سیستم نوری II می‌شوند و باعث افزایش محتوای کمپلکس برداشت‌کننده نور (LHC) (II) و تغییر چیدمان آن در غشای تیلاکوئیدی می‌شوند. این تغییرات موجب افزایش انتقال نور از کلروفیل b به کلروفیل a شده و بدین ترتیب جذب نور و انتقال آن در غشا افزایش می‌یابد. علاوه بر این، نانوذرات باعث تسریع تبدیل انرژی نورانی به انرژی الکترونی و افزایش نقل و انتقال الکترون‌ها در زنجیره انتقال الکترون، فتولیز آب و تکمیل چرخه اکسیژن می‌شوند.



شکل ۱: میانگین نسبت شدت فلورسانس متغیر به شدت فلورسانس پایه (Fv/Fo) در سطوح مختلف آهک خاک و کاربرد نانوآهن اصلاح شده

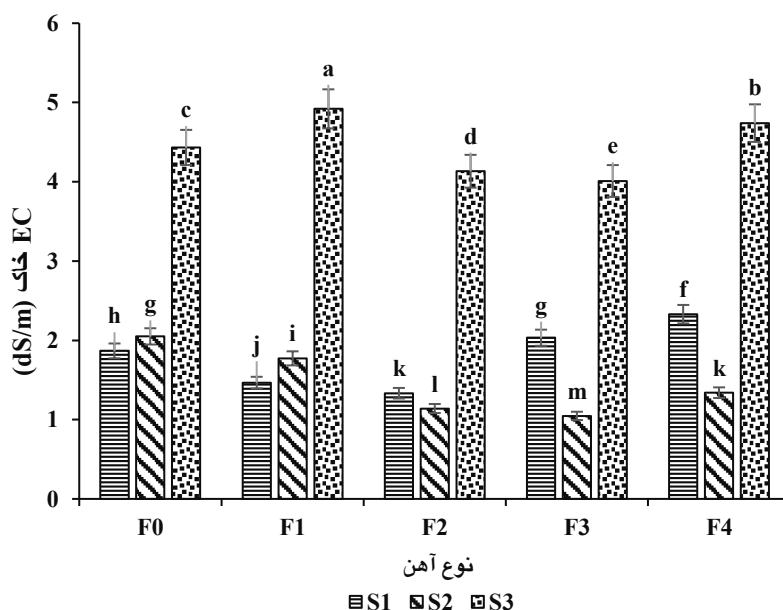
S1: ۵ درصد آهک، S2: ۱۰ درصد آهک، S3: ۱۵ درصد آهک

F0: کنترل، F1: *EDDHA* اصلاح شده با آسیدهای آلیفاتیک ۲، F2: *EDDHA* اصلاح شده با آمیدوفنول‌های ۳، F3: *EDDHA* اصلاح شده با آمینوفنول، F4: *EDDHA* اصلاح شده با اپوکسید اولئیک اسید

EC خاک

بالاترین مقدار EC خاک در خاک با ۱۵ درصد آهک (S3) و کاربرد EDDHA اصلاح شده با آسید کلریدهای اسیدهای آلیفاتیک ۲ (F1) حاصل شد (شکل ۲). کمترین مقدار EC در خاک با ۱۰ درصد آهک (S2) و استفاده از EDDHA اصلاح شده با آمینوفنول (F3) به دست آمد (شکل ۲). افزایش EC در خاک‌های با درصد بالای آهک

نشان دهنده آزاد سازی آهن برای استفاده هر چه بیشتر گیاه از آن و بهبود عملکرد گیاه می‌باشد. تیمار برتر در این مورد EDDHA اصلاح شده با آسید کلریدهای اسیدهای آلیفاتیک ۲ (F1) بود. گزارش شده است که استفاده از مخلوط Fe-EDTA و Fe-EDDHA می‌تواند به حفظ آهن در محلول‌های غذایی کمک کند و در نتیجه EC افزایش یابد (لوسنا و همکاران، ۱۹۹۱).



شکل ۲: میانگین EC خاک در سطوح مختلف آهک خاک و کاربرد نانو آهن اصلاح شده
S1: ۵ درصد آهک، S2: ۱۰ درصد آهک، S3: ۱۵ درصد آهک

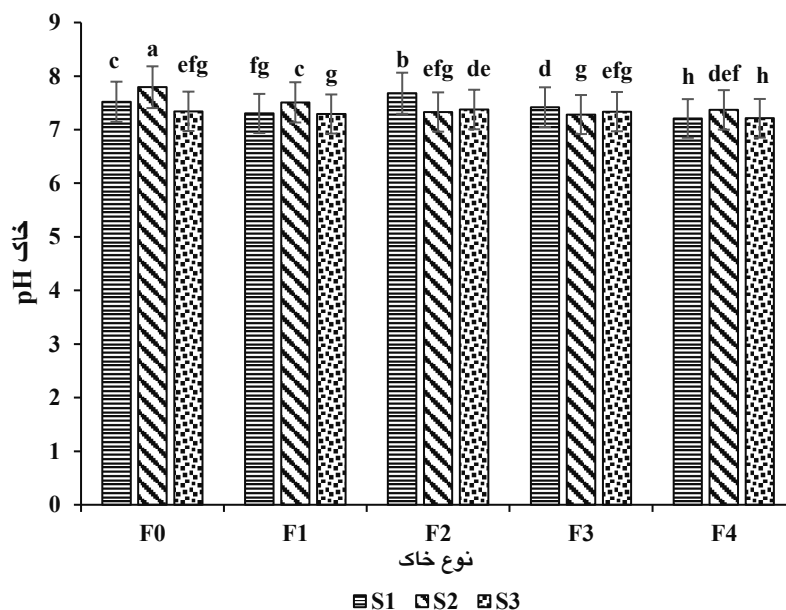
F0: کنترل، F1: EDDHA اصلاح شده با آسید کلریدهای آلیفاتیک ۲، F2: EDDHA اصلاح شده با آمیدوفنول‌های ۳، F3: EDDHA اصلاح شده با آمینوفنول، F4: EDDHA اصلاح شده با اپوکسید اولئیک اسید

pH خاک

pH خاک با کاربرد ۱۰ درصد آهک (S2) و عدم استفاده از EDDHA اصلاح شده بالاترین مقدار را داشت و کاربرد EDDHA های اصلاح شده (F4) موجب کاهش pH خاک با درصدهای مختلف آهک شد (شکل ۳). کاهش pH با کاربرد EDDHA های اصلاح شده موجب مطلوب شدن محیط رشد لوبیا و افزایش استفاده از آهن آزاد شده گردید. یون بی کربنات در خاک‌های آهکی از حرکت آهن انباشته شده از ریشه به برگ‌ها جلوگیری می‌کند که مستقیماً با بافر کردن pH خاک بر دسترسی آن تأثیر می‌گذارد (الکینز و فیچتر، ۲۰۱۶). عوامل مهم کاهش

اثر بخشی آهن مانند: pH بالا، واکنش‌های کاهش اکسیداسیون، غنای فسفات و کربنات در محیط، کمبود اکسیژن در ناحیه ریشه، رابطه متضاد به دلیل غلظت بالای منگنز، روی یا مس می‌باشد (چهورا و همکاران، ۲۰۰۷).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های آزمایش نشان دادند که وزن تر و خشک ساقه تحت تأثیر اثر متقابل نوع خاک و نوع آهن قرار گرفتند. نوع خاک بر وزن تر و خشک ریشه، زیست توده و عملکرد دانه اثر معنی‌داری داشت. همچنین، وزن تر ریشه و عملکرد دانه تحت تأثیر نوع آهن نیز قرار گرفتند (جدول ۳).



شکل ۳: میانگین pH خاک در سطوح مختلف آهک خاک و کاربرد نانو آهن اصلاح شده

S1: ۵ درصد آهک، S2: ۱۰ درصد آهک، S3: ۱۵ درصد آهک

F0: کنترل، F1: *EDDHA* اصلاح شده با آسید کلریدهای اسیدهای آلیفاتیک ۲، F2: *EDDHA* اصلاح شده با آمیدوفنولهای ۳، F3:

EDDHA اصلاح شده با آمینوفنول، F4: *EDDHA* اصلاح شده با اپوکسید اولئیک اسید

جدول ۳: تجزیه واریانس کمپلکس‌های سنتز آهن‌های اصلاح شده *EDDHA* و خاک آهکی بر وزن خشک اندام هوایی، ریشه و

عملکرد دانه لوبیا

میانگین مربعات						
منابع تغییر	وزن تر ساقه در بوته	وزن خشک ساقه در بوته	وزن تر ریشه در بوته	وزن خشک ریشه در بوته	زیست توده	عملکرد دانه
تکرار	۰/۳۹۳	۰/۰۲۵	۲/۳۰۵	۰/۴۵۱	۷۷۱/۴۳	۳۵۵/۰۷
نوع خاک	۱۰/۳۲۳	۰/۶۲۱	۲۶/۱۰۲**	۳/۲۴۳**	۳۱۷۴۸/۹۱**	۵۰۱۱/۱**
نوع آهن	۲/۱۹۹	۰/۱۳۵	۱۰/۰۵۱*	۰/۷۴۹	۲۷۳/۸۴	۴۴/۴۳**
خاک × آهن	۹/۷۶۰**	۰/۴۰۹**	۱/۸۵۶ ^{ns}	۰/۷۰۳ ^{ns}	۴۳/۸۴ ^{ns}	۹/۹۳ ^{ns}
خطا	۰/۹۵۰	۰/۰۵۹	۳/۵۵۰	۰/۵۵۵	۵۶۵/۶۵	۸/۱۹
ضریب تغییرات (%)	۲۳/۸۸	۳۲/۲۳	۳۱/۲۳	۳۷/۶۳	۴/۰۷	۰/۸۴

*, ** و ^{ns}: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و غیر معنی‌دار

وزن تر و خشک ساقه در بوته

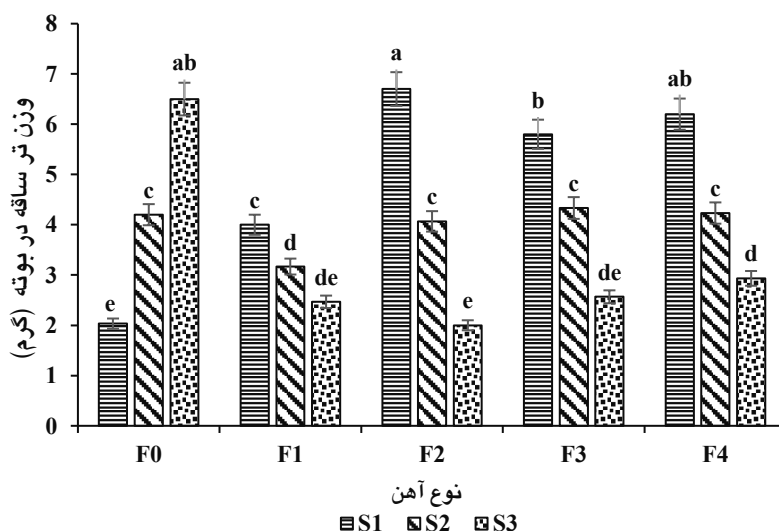
اثر متقابل سنتز آهن‌های اصلاح شده و خاک آهکی

وزن تر (شکل ۴) و خشک ساقه در بوته (شکل ۵) را تحت تأثیر قرار داد. بیشترین وزن تر ساقه از خاک ۵ درصد آهک (S1) و *EDDHA* اصلاح شده با آمیدوفنولهای ۳ (F2) حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با *EDDHA* اصلاح شده با اپوکسید اولئیک اسید (F4) نداشت (شکل ۴).

بیشترین وزن خشک ساقه از تیمار ۵ درصد آهک خاک (S1) و *EDDHA* اصلاح شده با آمینوفنول (F3) و *EDDHA* اصلاح شده با اپوکسید اولئیک اسید (F4) به دست آمد که با تیمار *EDDHA* اصلاح شده با آمیدوفنولهای ۳ (F2) از نظر آماری تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۵). به دلیل مشارکت *Fe-EDDHA* در تأمین آهن و نقشی که آهن در بیوسنتز کلروفیل و

رویشی و وزن بخش هوایی این گیاه نسبت به تیمار شاهد گردید که در این میان تیمار نانو کود آهن تأثیر بهتری داشت (پیوندی و همکاران، ۲۰۱۲).

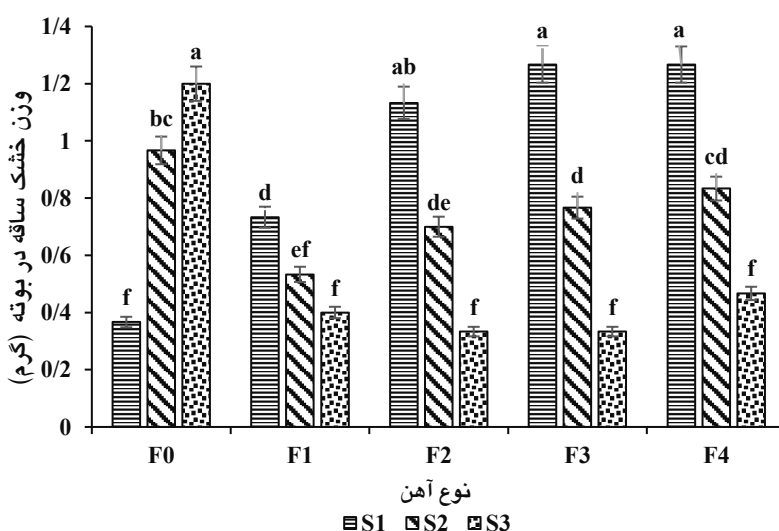
کاروتنوئیدها دارد، می‌تواند رشد گیاه را حمایت کرده و موجب افزایش وزن بوته و زیست توده تولید شده گردد (لی و همکاران، ۲۰۲۱). همچنین کاربرد کلات آهن بر پارامترهای رویشی گیاه ریحان، موجب افزایش رشد



شکل ۴: میانگین وزن تر ساقه در بوته در سطوح مختلف آهن خاک و کاربرد نانو آهن اصلاح شده

S1: ۵ درصد آهن، S2: ۱۰ درصد آهن، S3: ۱۵ درصد آهن

F0: کنترل، F1: EDDHA اصلاح شده با آسید کلریدهای اسیدهای آلیفاتیک ۲، F2: EDDHA اصلاح شده با آمیدوفنول‌های ۳، F3: EDDHA اصلاح شده با آمینوفنول، F4: EDDHA اصلاح شده با اپوکسید اولئیک اسید



شکل ۵: میانگین وزن خشک ساقه در بوته در سطوح مختلف آهن خاک و کاربرد نانو آهن اصلاح شده

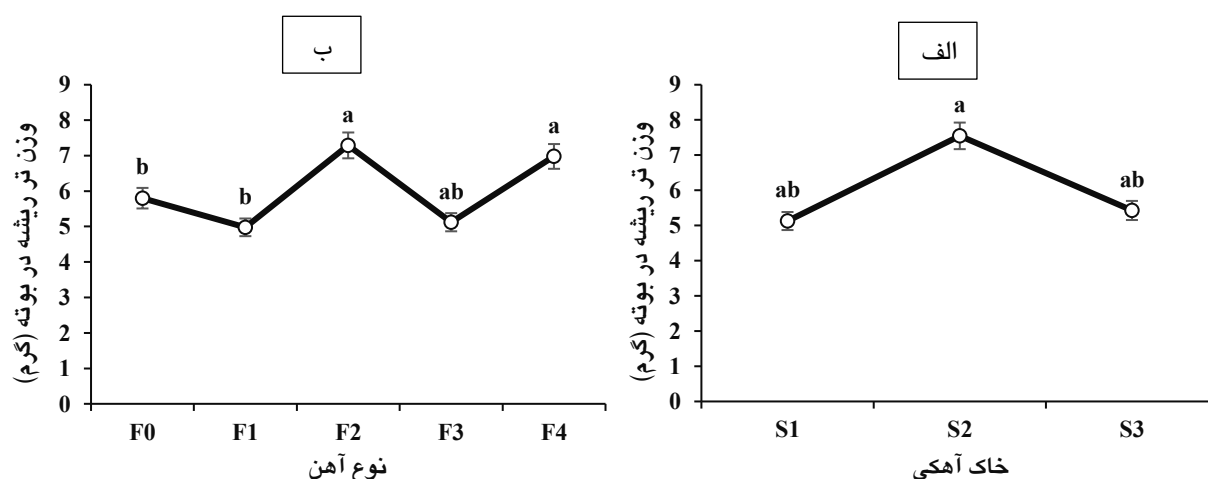
S1: ۵ درصد آهن، S2: ۱۰ درصد آهن، S3: ۱۵ درصد آهن

F0: کنترل، F1: EDDHA اصلاح شده با آسید کلریدهای اسیدهای آلیفاتیک ۲، F2: EDDHA اصلاح شده با آمیدوفنول‌های ۳، F3: EDDHA اصلاح شده با آمینوفنول، F4: EDDHA اصلاح شده با اپوکسید اولئیک اسید

وزن تر و خشک ریشه در بوته

ریحان گزارش کردند که نانو کلات آهن برخی پارامترهای رشدی مانند وزن تر و خشک ریشه و اندام-های هوایی، طول ریشه، میزان کلروفیل و پروتئین‌های برگ را تغییر داد. تحقیقات نشان داده است که در فعالیت برخی آنزیم‌ها نظیر کاتالاز، پراکسیداز و سیتوکروم اکسیداز آهن به‌عنوان کوفاکتور عمل می‌کند (بزرگی، ۲۰۱۲). در تحقیقی دیگر گزارش شد که گیاهان تیمار شده با کمپلکس‌های اصلاح کننده آهن، دارای ارتفاع بلندتر، طول و تعداد ریشه بیشتر و وزن تر و خشک ریشه بیشتری نسبت به گیاهان شاهد بودند (نگان و همکاران، ۲۰۲۰).

بیشترین وزن تر ریشه در بوته در خاک با ۱۰ درصد آهک (S2) است که از نظر آماری تفاوت معنی-داری با ۵ و ۱۵ درصد وجود نداشت (شکل ۶ الف). *EDDHA* اصلاح شده با آمیدوفنول‌های ۳ (F2) باعث ایجاد بالاترین وزن تر ریشه گردید و از نظر آماری با *EDDHA* اصلاح شده با آمینوفنول (F3) و اصلاح شده با اپوکسید اولئیک اسید (F4) تفاوت معنی-داری نداشت (شکل ۶ ب). وزن خشک ریشه تحت تأثیر درصد آهک خاک قرار گرفت. بالاترین مقدار وزن خشک ریشه در ۱۰ درصد آهک (S2) ثبت شد که تفاوت معنی داری با ۵ (S1) و ۱۵ درصد (S3) آهک نداشت (شکل ۷). برای بیان تأثیر نانو کلات آهن بر پارامترهای رشد



شکل ۶: میانگین وزن تر ریشه در بوته در سطوح مختلف آهک خاک (الف) و کاربرد نانو آهن اصلاح شده (ب)

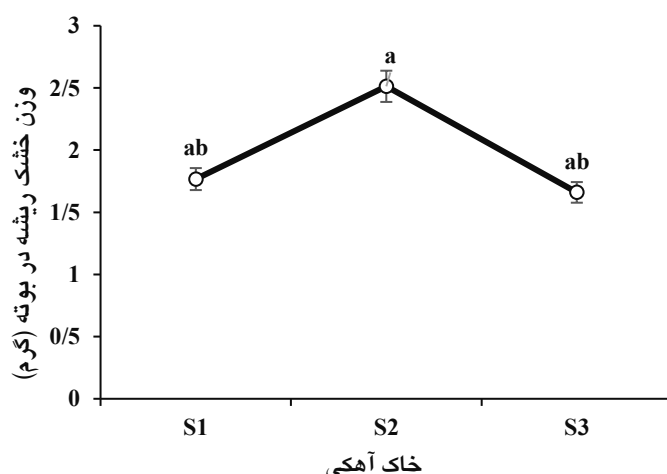
S1: ۵ درصد آهک، S2: ۱۰ درصد آهک، S3: ۱۵ درصد آهک

F0: کنترل، F1: *EDDHA* اصلاح شده با آسپیل کلریدهای اسیدیهای آلیفاتیک ۲، F2: *EDDHA* اصلاح شده با آمیدوفنول‌های ۳، F3: *EDDHA* اصلاح شده با آمینوفنول، F4: *EDDHA* اصلاح شده با اپوکسید اولئیک اسید

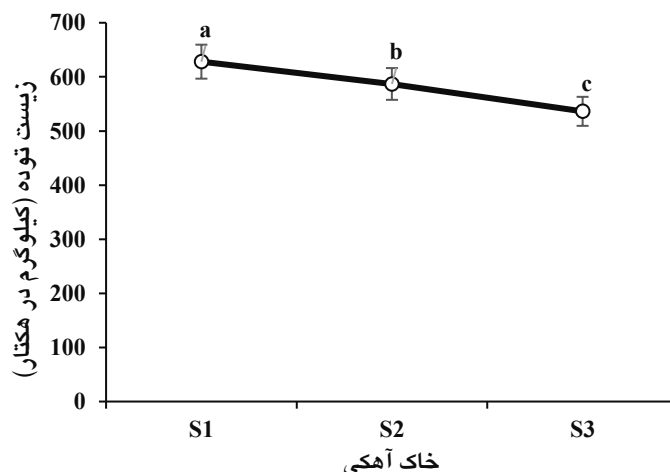
زیست توده

مقایسه با گیاهان معمولی دارای زیست توده خیلی کمتری هستند (عبادیا و همکاران، ۱۹۹۸). گزارش شده است که مقادیر بالای آهک در خاک موجب کاهش در تولید ماده خشک در اندام‌های انگور می‌گردد که این امر به لحاظ کاهش در مقدار کلروفیل در شرایط کمبود آهن می‌باشد (باورسکو و پونی، ۲۰۰۳).

زیست توده لوبیا با افزایش آهک خاک به صورت خطی کاهش یافت و بیشترین زیست توده در خاک با آهک ۵ درصد ثبت گردید (شکل ۸). زیست توده لوبیا تابعی از وزن تر (شکل ۴) و خشک ساقه (شکل ۵) و وزن تر (شکل ۶) و خشک ریشه (شکل ۷) است. گیاهانی که علایم زردبرگی (کلروز) در آن‌ها مشاهده می‌شود در



شکل ۷: میانگین وزن خشک ریشه در بوته در سطوح مختلف آهک خاک و کاربرد نانوآهن اصلاح شده
S1: ۵ درصد آهک، S2: ۱۰ درصد آهک، S3: ۱۵ درصد آهک



شکل ۸: میانگین زیست توده لوبیا (محاسبه شده بر اساس تناسب سطح گلدان به سطح هکتار) در سطوح مختلف آهک خاک و کاربرد نانوآهن اصلاح شده
S1: ۵ درصد آهک، S2: ۱۰ درصد آهک، S3: ۱۵ درصد آهک

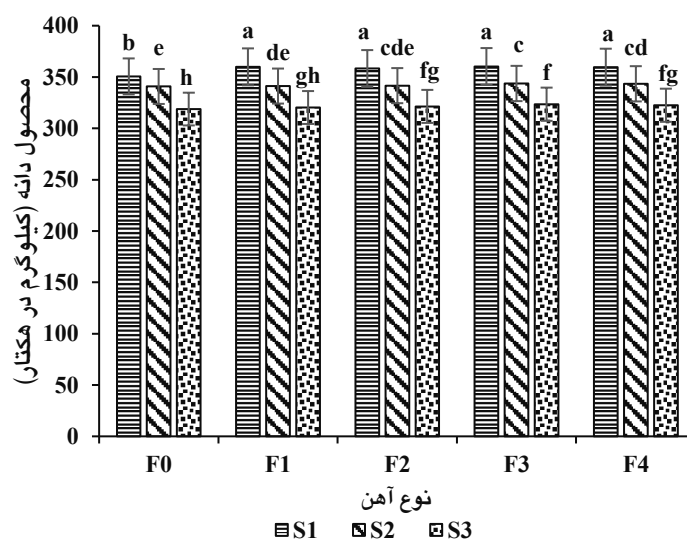
محصول دانه

محصول دانه لوبیا تحت تأثیر سنتز آهن‌های اصلاح شده قرار گرفت و کاربرد آن در تمامی سطوح آهک موجب بهبود محصول دانه گردید. بیشترین مقدار محصول دانه در خاک با ۵ درصد آهک (S1) و کاربرد انواع سنتز آهن‌های اصلاح شده ثبت شد و بین آهن‌ها از نظر آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید (شکل ۹). از نظر آماری در سطح ۱۰ (S2) و ۱۵ درصد آهک (S3) بین شاهد، EDDHA اصلاح شده با آسیل کلریدهای اسیدهای آلیفاتیک ۲ (F1) و EDDHA اصلاح شده با

آمیدوفنول‌ها (F2) تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۹). محصول دانه برآیندی از فلورسانس کلروفیل (شکل ۱)، EC خاک (شکل ۲)، pH خاک (شکل ۳)، وزن تر (شکل ۴) و وزن خشک ساقه (شکل ۵)، وزن تر (شکل ۶) و خشک ریشه (شکل ۷) و زیست توده (شکل ۸) تولیدی توسط لوبیا است. بسیاری از مطالعات به اهمیت کودهای کلات آهن به عنوان نهاده‌های مؤثر بر تغذیه گیاه و بهره‌وری محصول پرداختند (زولاگا و همکاران، ۲۰۲۳). حضور آهن با ایجاد رشد رویشی مناسب با افزایش تعداد و سطح برگ مشارکت کننده در فتوسنتز، باعث

افزایش رشد گیاه می‌شود. اگر چه آهن در ساختمان کلروفیل‌ها شرکت ندارد ولی کمبود آن سبب کاهش میزان کلروفیل و سرانجام سبب بروز نشانه‌های کمبود می‌شود (پینتو و همکاران، ۲۰۰۴). همچنین یکی از مهمترین عنصرهایی است که در متابولیسم نیتروژن و در نتیجه سطح برگ گیاه نقش دارد و در نتیجه کمبود

آهن باعث کاهش سطح برگ و عملکرد دانه می‌شود (مقدم و همکاران، ۲۰۱۲). آزمایش‌های متعددی در مورد کاربرد کودهای نانو کلات آهن در بادام زمینی (پراسد و همکاران، ۲۰۱۲) و نخود (پندی و همکاران، ۲۰۱۰) گزارش شده است و در همه موارد ذکر شده افزایش جذب، رشد و عملکرد وجود دارد.



شکل ۹: میانگین محصول دانه لوبیا (محاسبه شده بر اساس تناسب سطح گلدان به سطح هکتار) در سطوح مختلف آهک خاک و کاربرد نانو آهن اصلاح شده

S1: ۵ درصد آهک، S2: ۱۰ درصد آهک، S3: ۱۵ درصد آهک

F0: کنترل، F1: *EDDHA* اصلاح شده با آسید کلریدهای اسیدهای آلیفاتیک ۲، F2: *EDDHA* اصلاح شده با آمیدوفنول‌های ۳، F3: *EDDHA* اصلاح شده با آمینوفنول، F4: *EDDHA* اصلاح شده با اپوکسید اولئیک اسید

نتیجه‌گیری کلی

سنتز آهن‌های اصلاح شده باعث بهبود خصوصیات رشدی مانند وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه، زیست توده تولیدی، فتوسنتز و لوبیا در درصد‌های مختلف آهک خاک گردید. نتایج نشان داد که در خاک‌های آهکی با غلظت‌های مختلف، بیشترین اثربخشی در شاخص‌های اندازه‌گیری شده در خاک آهکی ۱۰ درصدی مشاهده شد و در تیمارهای مختلف آهنی، بیشترین اثرات در تیمارهای F4 مشاهده شد. با توجه به اینکه بسیاری از کشاورزان ایران، به‌ویژه در منطقه آذربایجان، با مشکل خاک‌های آهکی مواجه هستند، نتایج این پژوهش می‌تواند به کاهش اثرات کلروز ناشی از آهک که به دلیل عدم جذب آهن در خاک‌های

آهکی رخ می‌دهد، کمک کند. به‌طور کلی، در بین انواع کودهای آهن استفاده شده در این آزمایش، گیاهانی که با تیمار (F4) *EDDHA* اصلاح شده با اپوکسید اولئیک اسید تغذیه شده بودند، نتایج بهتری نسبت به سایر تیمارها نشان دادند که می‌تواند به حضور گروه اسیدی اضافی در ساختار *EDDHA* نسبت داده شود که به کمپلکس شدن بهتر آهن کمک می‌کند.

سپاسگزاری

بدین وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه تبریز جهت حمایت مالی از این طرح پژوهشی و همکاران دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز جهت مساعدت در پیشبرد اهداف این پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع مورد استفاده

- Abadia J, Eugenio A, Tsipouridis C, Bruggemann W, Neguerole J and Marangoni B. 1998. Novel approaches for the control of iron chlorosis in fruit tree crops, Final Report, 144 p.
- Ali Dib T, Monneveux PH, Acevedo J and Nachil M. 1994. Evaluation of proline analysis and chlorophyll fluorescence quenching measurements as drought tolerance indicator in durum wheat (*Triticum turgidum* L.). *Euphytica*, 79: 65-73.
- Bavaresco L and Poni S. 2003. Effect of calcareous soil on photosynthesis rate, mineral nutrition, and source-sink ratio of table grape. *Journal of Plant Nutrition*, 5: 747-753. <https://doi.org/10.1081/PLN-120024269>
- Bozorgi HR. 2012. Study effects of nitrogen fertilizer management under nano iron chelate foliar spraying on yield and yield components of eggplant (*Solanum melongena* L.). *ARPJ Journal of Agricultural and Biological Science*, 7(4): 233-237.
- Caballero R, Ordovás J, Pajuelo P, Carmona E and Delgado A. 2007. Iron Chlorosis in Gerber as Related to Properties of Various Types of Compost Used as Growing Media. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 38: 2357-2369. <https://doi.org/10.1080/00103620701588494>
- Chohura P, Kołota E and Komosa A. 2007. The effect of different source of iron on nutritional value of greenhouse tomato fruit grown in peat substrate. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 67(1): 55-61. DOI: 10.2478/v10032-007-0030-8
- Elkins R and Fichtner E. 2016. Causes and Control of Lime-induced Fe Deficiency in California Fruit and Nut Crops. University of California Agriculture and Natural Resources Publication, 21637.
- Garnica M, Bacaicoa E, Mora V, San Francisco S, Baigorri R, Zamarreño AM and Garcia-Mina JM. 2018. Shoot iron status and auxin are involved in iron deficiency-induced Phyto siderophores release in wheat. *BMC Plant Biology*, 18(1):105. <https://doi.org/10.1186/s12870-018-1324-3>
- Genty B, Briantais JM and Baker NR. 1989. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*, 99: 87-92. [https://doi.org/10.1016/S0304-4165\(89\)80016-9](https://doi.org/10.1016/S0304-4165(89)80016-9)
- Gülser F, Yavuz Hİ, Gökkaya TH and Sedef M. 2019. Effects of iron sources and doses on plant growth criteria in soybean seedlings. *Eurasian Journal of Soil Science*, 8(4): 298-303. <https://doi.org/10.18393/ejss.582231>
- Karimian M, Mir B, Bidranameni F and Keshtehgar A. 2020. Effects of Manure and Different Intercropping Patterns on Quantitative and Qualitative Yield of Roselle (*Hibiscus Sabdariffa*) and Cowpea (*Phasaeolus vulgaris*). *Crop Science Research in Arid Regions*, 2(1): 113-125 (In Persian). <https://doi.org/10.22034/csrar.2020.119091>
- Kim SA and Gueriot ML. 2007. Mining Iron: Iron Uptake and Transport in Plants. *FEBS Letters*, 581: 2273-2280. <https://doi.org/10.1016/j.febslet.2007.04.043>
- Li J, Cao X, Jia X, Liu L, Cao H, Qin W and Li M. 2021. Iron deficiency leads to chlorosis through impacting chlorophyll synthesis and nitrogen metabolism in *Areca catechu* L. *Frontiers in Plant Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.710093>
- Lucena J, De Aberasturi MJ and Gárate A. 1991. Stability of chelates in nutrient solutions for drip irrigation. *Iron Nutrition and Interactions in Plants*. Netherlands Springer, 63-67. https://doi.org/10.1007/978-94-011-3294-7_7
- Moghadam A, Vattani H, Baghaei N and Keshavarz N. 2012. Effect of Different Levels of Fertilizer Nano Iron Chelates on Growth and Yield Characteristics of Two Varieties of Spinach (*Spinacia oleracea* L.): Varamin 88 and Viroflay. *Research Journal of Applied Sciences. Engineering and Technology*, 4(22): 4813-4818.

- Murgia I, Arosio P, Tarantino D and Soave C. 2012. Biofortification for combating 'hidden hunger' for iron. Trends In Plant Science, 17: 47-55.
- Ngan HTM, Tung HT, Le BV and Nhut DT. 2020. Evaluation of root growth, antioxidant enzyme activity and mineral absorbability of carnation (*Dianthus caryophyllus* "Express golem" cultured in two culture systems supplemented with iron nanoparticles. Scientia Horticulturae, 272(15): 109612. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109612>
- Pandey AC, Sanjay S and Yadav R. 2010. Application of ZnO nanoparticles in influencing the growth rate of *Cicer arietinum*. Journal of Experimental nanoscience, 5(6): 488-497. <https://doi.org/10.1080/17458081003649648>
- Peyvandi M, Parande H and Mirza M. 2011. Comparison of Nano Fe Chelate with Fe Chelate Effect on Growth Parameters and Antioxidant Enzymes Activity of *Ocimum basilicum*. New Cell Mol Biotechnology, 1(4): 1-12. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.22285458.1390.1.4.3.7>
- Pinto A, Mota Ad, De Varennes A and Pinto F. 2004. Influence of Organic Matter on the Uptake of Cadmium, Zinc, Copper and Iron by Sorghum Plants. Science of the Total Environment, 326: 239-247. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.01.004>
- Prasad TN, Sudhakar P, Sreenivasulu Y, Latha P, Munaswamy V, Raya Reddy K, Sreeprasad TS, Sajanalal PR and Pradeep T. 2012. Effect of nano scales zink oxide on the germination, growth and yield of peanut. Journal Plant Nutrition, 35(1): 905-927.
- Rojas CL, Romera FJ, Alcantara E, Perez-Vicente R, Sariego C, García-Alonso JI and Marti G. 2008. Efficacy of Fe (o, o-EDDHA) and Fe (o, p-EDDHA) isomers in supplying Fe to strategy I plants differs in nutrient solution and calcareous soil. Journal of agricultural and food chemistry, 56(22): 10774-10778. <https://doi.org/10.1021/jf8022589>
- Voysest O. 2000. Breeding of beans (*Phaseolus Vulgaris* L.) Legacy of Latin American Varieties 1930- (1999). Cali, Valle, Colombia: International Center for Tropical Agriculture.
- Xia A, Li Y and Zou D. 2004. Effects of salinity stress on PSII in *Ulva lactuca* as probed by chlorophyll fluorescence measurements. Aquatic Botany, 8: 129-137. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquabot.2004.07.006>.
- Zuluaga MYA, Cardarelli M, Rouphael Y, Cesco S, Pii Y and Colla G. 2023. Iron nutrition in agriculture: From synthetic chelates to bio-chelates. Scientia Horticulturae, 312: 111833. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.111833>.