

## اثر کاربرد سطوح مختلف آهن از نانوکود کلات آهن و سکوسترین آهن بر رشد و غلظت برخی عناصر غذایی گیاه لوبیا در یک خاک آهکی

لاله جوکار<sup>۱\*</sup>، عبدالمجید رونقی<sup>۱</sup>، نجفعلی کریمیان<sup>۱</sup> و رضا قاسمی فسایی<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۹/۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۷)

### چکیده

به منظور بررسی تأثیر کاربرد سطوح مختلف آهن (از منابع نانوکود کلات آهن و سکوسترین آهن ۱۳۸) بر پارامترهای رشد، غلظت و جذب آهن و برخی عناصر غذایی در گیاه لوبیا چشم بلبلی، آزمایشی گلخانه‌ای در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل چهار سطح آهن (صفر، ۰/۱۳۵، ۰/۲۷۰ و ۰/۴۰۵ میلی گرم آهن در کیلوگرم خاک) از دو منبع نانوکود کلات آهن و سکوسترین آهن ۱۳۸ بود. خاک مورد مطالعه یک خاک لوم با نام علمی (Fine-loamy, carbonatic, thermic, Typic Calcixerepts) بود که میزان آهن قابل استفاده کمی داشت. نتایج نشان داد که با افزایش سطح آهن در هر دو نوع کود کاربردی، وزن خشک اندام هوایی و ریشه، تعداد غلاف در بوته، وزن غلاف و دانه در بوته، وزن دانه در گلدان، غلظت و جذب آهن اندام هوایی و ریشه در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت. برخی پارامترهای رشد بررسی شده در تمامی سطوح آهن کاربردی نانوکود کلات آهن، در مقایسه با سطوح مشابه آهن از منبع سکوسترین آهن ۱۳۸، بیشتر بوده و برخی پارامترها در سطوح مشابه آهن از هر دو نوع کود کاربردی در یک گروه آماری قرار گرفته و لذا اختلاف معنی داری نداشتند. کاربرد آهن از هر دو منبع کودی سبب کاهش غلظت فسفر و منگنز اندام هوایی در مقایسه با تیمار شاهد شد. اثر سطوح مختلف آهن مصرفی بر غلظت روی و مس اندام هوایی معنی دار نبود. در نتیجه، برای اصلاح کمبود آهن گیاه لوبیای کشت شده در خاک‌های آهکی، به غلظت‌های کمتری از نانوکود کلات آهن در مقایسه با سکوسترین آهن ۱۳۸ نیاز است.

واژه‌های کلیدی: پارامترهای رشد، نانوکودها، عناصر غذایی ضروری

### مقدمه

آهن یکی از عناصر غذایی ضروری در تولید محصولات کشاورزی در جهان است و گیاهان برای رشد بهینه و مناسب، نیاز به استفاده پیوسته از آن دارند (۱۸). شواهد زیادی در دست است که کمبود عناصر کم مصرف، از جمله آهن، در خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمه‌خشک، باعث محدود شدن رشد، عملکرد و کیفیت گیاه می‌شود (۱۴). پ-هاش بهینه برای رشد مناسب و دریافت بهینه آهن بین ۵/۵ تا ۶/۵ گزارش شده است. بنابراین، پ-هاش بیشتر از ۷ می‌تواند منجر به کمبود آهن شود (۱۹). سبز زردی (کلروز) آهن به صورت زرد شدن برگ‌های

غلظت آهن در پوسته زمین تقریباً ۵٪ وزنی می‌باشد. در خاک‌هایی با تهویه مناسب که در دامنه پ-هاش فیزیولوژیک جا دارند، غلظت کل آهن محلول کمتر از  $10^{-1}$  مولار می‌باشد، در حالی که حداقل غلظت لازم آهن برای رشد طبیعی گیاهان باید بیشتر از  $10^{-7}$  مولار باشد (۲۰ و ۲۱). ضریب حلالیت  $Fe(OH)_3$ ، به عنوان یکی از شکل‌های مهم آهن در خاک‌ها، در حدود  $3 \times 10^{-39}$  مولار می‌باشد. در پ-هاش حدود ۷، بیشترین ضریب حلالیت آهن بی‌شکل  $3 \times 10^{-18}$  مولار است (۱۱) که این مقدار در مقایسه با نیاز گیاهان کافی نیست.

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Lalehjoekar82@gmail.com

بهترین روش‌های تولید محصولات نانو می‌باشد. این روش ساخت یک روش شیمیایی است و از روش‌های پایین به بالا در تولید محصولات نانو محسوب می‌شود. با فرمول‌بندی آهن در اندازه‌های نانومتر، انحلال‌پذیری و پراکندگی آهن نامحلول در خاک افزایش یافته، متعاقباً جذب و تثبیت آن به‌وسیله خاک کاهش می‌یابد و قابلیت جذب گیاهی آن بیشتر می‌شود. نانوکود کلات آهن دارای بنیان یا کمپلکسی پایدار و قوی است که در بازه  $3 < \text{pH} < 11$ ، یعنی بالاتر از استاندارد ملی ایران ( $\text{pH} = 8/3$ )، ۹٪ آهن محلول در آب را در اختیار گیاهان قرار می‌دهد (۳). به دلیل اثرهای مضر که کودهای شیمیایی مرسوم بر محیط‌زیست، از جمله بر کمیت و کیفیت غذا ایجاد می‌کنند، مدت‌هاست که استفاده از آن‌ها مورد نکوهش قرار گرفته است. با به‌کارگیری نانوکودها به عنوان جایگزین کودهای مرسوم، عناصر غذایی کود به تدریج و به صورت کنترل شده در خاک آزاد می‌شوند. استفاده از نانوکودها منجر به افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی، کاهش سمیت خاک، به حداقل رسیدن آثار منفی ناشی از مصرف بیش از حد کود و کاهش تعداد دفعات کاربرد کود می‌شود (۸).

با توجه به نوظهور بودن فناوری نانو و همچنین به این دلیل که در ایران در خصوص کاربرد کودهای نانو و منجمله نانوکود کلات آهن گزارش چندانی در دست نیست، پژوهش حاضر به مقایسه اثربخشی نانوکود کلات آهن در مقایسه با سکوسترین آهن بر پارامترهای رشدی، غلظت و جذب آهن و برخی عناصر غذایی در گیاه لوبیا چشم بلبلی در شرایط گلخانه و امکان جایگزینی نانوکود کلات آهن با کلات وارداتی در برنامه تغذیه محصولات گلخانه‌ای پرداخته است.

### مواد و روش‌ها

برای انجام این آزمایش، مقدار کافی خاک از افق سطحی (صفر تا ۳۰ سانتی‌متری) سری چیتگر که از نوع Calcic Brown Soil بوده و در سیستم تاکسونومی خاک Typic Calcixercept، *thermic*، *carbonatic*، *Fine-loamy* نامیده می‌شود (۹) و میزان آهن قابل استفاده کمی دارد، جمع‌آوری گردید (جدول ۱). پس

جوان ظاهر می‌شود که ناشی از اختلال در ساخت کلروفیل در کلروپلاست می‌باشد و در شرایط کمبود آهن در گیاه به‌وقوع می‌پیوندد (۲۳).

منابع آلی آهن (مانند کلات آهن) و منابع معدنی (مانند سولفات آهن) برای اصلاح و جبران کمبود آهن به‌کار برده می‌شود (۲۵). ترکیبات کلاتی آهن بهترین راه‌حل برای برطرف کردن سبز زردی آهن در همه خاک‌ها، به‌ویژه خاک‌های آهکی و قلیایی، بوده و می‌توانند کمبود شدید آهن را برطرف نمایند، زیرا قابلیت استفاده آهن در این خاک‌ها کم است (۱).

لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L.)، یک لگوم یکساله‌ی تابستانه، سه‌کربنه ( $C_3$ )، با برگ‌های سه‌برگچه‌ای، از جمله حبوباتی است که در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری، بخصوص در کشورهای آسیایی، آفریقایی و آمریکای جنوبی کشت می‌شود و به عنوان منبع تغذیه‌ای مهمی به شمار می‌آید (۳۲). دانه حبوبات با داشتن ۱۸ تا ۲۳ درصد پروتئین، نقش مهمی در تأمین مواد پروتئینی مورد نیاز جیره غذایی انسان دارد. علاوه بر آن، به علت یک ویژگی که تقریباً خاص گیاهان خانواده بقولات است، یعنی همزیستی ریشه آنها با باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، در حاصلخیزی خاک مؤثرند. هر ساله مقدار زیادی نیتروژن بعد از برداشت این محصولات به خاک افزوده می‌شود. لوبیا مهم‌ترین عضو خانواده حبوبات به شمار می‌آید و به دلیل درصد پروتئین زیاد و سایر ویژگی‌های مطلوب زراعی، بیشترین سطح زیر کشت را به خود اختصاص داده است (۲۶).

فناوری نانو عبارتست از هنر دستکاری مواد در مقیاس اتمی و مولکولی با هدف در دست گرفتن کنترل آن‌ها در سطح مولکولی و اتمی و استفاده از خواص آن‌ها در این سطوح. این فناوری در زمره فناوری‌های جدیدی است که امروزه در حال رشد و توسعه می‌باشد. یکی از مهم‌ترین کاربردهای فناوری نانو در کشاورزی (در بخش آب و خاک)، استفاده از نانوکودها (Nano fertilizers) برای تغذیه گیاهان است (۴). یکی از این نانوکودها، نانوکود کلات آهن خضرا است. روش ساخت این محصول در زیرمجموعه روش *self-assembling* است که از

اثر کاربرد سطوح مختلف آهن از نانوکود کلات آهن و...

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

مقدار	ویژگی
۲۹/۵	شن (%)
۲۵/۸	رس (%)
۴۴/۷	سیلت (%)
لوم	بافت
۷/۴۶	پ-هاش (خمیر اشباع)
۰/۵۸	قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع (دسی‌زیمنس بر متر)
۸/۴۰	ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی مول (+) بر کیلوگرم)
۴۴/۸	کربنات کلسیم معادل (%)
۰/۹	ماده آلی (%)
۲/۱۵	نیتروژن نیتراتی (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)
۹/۶۷	فسفر قابل استخراج با بی‌کربنات سدیم (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)
۳۲۰	پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)
۳/۲۱	آهن قابل استخراج با دی. تی. پی. ا (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)
۵/۰۶	منگنز قابل استخراج با دی. تی. پی. ا (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)
۰/۶۵	مس قابل استخراج با دی. تی. پی. ا (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)
۰/۵۲	روی قابل استخراج با دی. تی. پی. ا (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)

روی، منگنز و مس، به ترتیب به مقدار ۱۵۰ (از منبع اوره)، ۴۰ (از منبع مونوکلسیم فسفات)، ۱۰، ۱۰ و ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، از نمک‌های سولفات روی، منگنز و مس، به تمامی گلدان‌های حاوی سه کیلوگرم خاک اضافه شد. در هر گلدان ۵ عدد بذر لوبیا چشم بلبلی رقم محلی مرودشت کاشته شد و گلدان‌ها تا رسیدن به حد ظرفیت مزرعه با آب مقطر آبیاری شدند. در طول دوره رشد، آبیاری با روش توزین و با آب مقطر انجام گرفت. ده روز پس از کاشت، شمار بوته‌ها به سه عدد نهال یکنواخت تقلیل داده شد. هفده هفته پس از کاشت، غلاف‌ها و اندام هوایی گیاه برداشت گردید. نمونه‌های گیاهی پس از توزین و شستشو، در آون ۶۵ درجه تا ثابت ماندن وزن نمونه‌ها خشک شدند. نمونه‌ها پس از توزین به وسیله آسیاب برقی پودر گردیدند. برای انجام آزمایش شیمیایی، نمونه‌های گیاهی با استفاده از روش تر (۳۴) هضم شدند. غلظت عناصر با استفاده از دستگاه طیف سنج جذب اتمی اندازه‌گیری گردید. داده‌های به‌دست آمده با نرم‌افزار آماری SAS مورد تجزیه و

از خشک کردن خاک و عبور از الک ۲ میلی‌متری، برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن، از جمله بافت به روش هیدرومتری (۱۲)، ماده آلی به روش اکسایش مرطوب (۲۷)، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع با هدایت‌سنج الکتریکی، پ-هاش در گل اشباع به وسیله پ-هاش‌متر، ظرفیت تبادل کاتیونی (۳۳)، کربنات کلسیم معادل (۲۲)، نیتروژن کل به روش میکروکلدال (۱۳) و فسفر قابل استفاده (۲۸)، غلظت عناصر کم‌مصرف کاتیونی با عصاره‌گیر DTPA (۲۱) و پتاسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونیوم (۱۷) تعیین گردید (جدول ۱).  
آزمایش در شرایط گلخانه، در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل چهار سطح آهن (صفر، ۰/۱۳۵، ۰/۲۷۰ و ۰/۴۰۵ میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک) از دو منبع نانوکود کلات آهن و سکوسترین آهن بود. سه کیلوگرم خاک در هر گلدان ریخته شد و قبل از کشت، برای جلوگیری از کمبود احتمالی، با توجه به نتایج آزمون خاک، علاوه بر تیمارهای آهن، عناصر غذایی ضروری شامل نیتروژن، فسفر،

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر کاربرد نانوکود کلات آهن و سکوسترین آهن بر برخی پارامترهای رشد و غلظت عناصر غذایی در اندام هوایی لوبیا

میانگین مربعات				درجه آزادی	منابع تغییرات
وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	تعداد غلاف در بوته	وزن دانه در گلدان		
۸/۱۰***	۱/۰۹***	۳۲/۰۷***	۱۰/۵۰***	۶	تیمار
۰/۳۴	۰/۰۴۹	۲/۴۷	۰/۶۶	۱۴	خطا
۸/۰۸	۷/۳۱	۱۸/۳۵	۱۵/۹۰		ضریب تغییرات (%)

وزن غلاف و دانه در بوته				درجه آزادی	منابع تغییرات
غلظت آهن اندام هوایی	جذب آهن اندام هوایی	غلظت آهن ریشه	وزن غلاف و دانه در بوته		
۱۸۵/۲۴***	۵۵۰.۶۳/۳۵***	۸۲۸۱/۹۶***	۲۶/۷۸***	۶	تیمار
۲/۰۳	۵۹۲/۶۵	۲۷۸/۶۵	۲/۰۲	۱۴	خطا
۲/۹۹	۶/۸۶	۴/۷۲	۲۰/۱۸		ضریب تغییرات (%)

جذب آهن ریشه				درجه آزادی	منابع تغییرات
غلظت فسفر اندام هوایی	غلظت منگنز اندام هوایی	غلظت روی اندام هوایی	جذب آهن ریشه		
۱۵۵۹۲۹/۹۰***	۷۱۷/۸۵***	۶۰/۹۱ <sup>ns</sup>	۳۷۶۹۹۶/۱۵***	۶	تیمار
۱۱۶۵/۹۶	۲۲/۴۰	۸۸/۰۹	۶۹۵۲/۷۰	۱۴	خطا
۱/۲۹	۶/۱۱	۱۶/۰۸	۷/۶۳		ضریب تغییرات (%)

غلظت مس اندام هوایی		درجه آزادی	منابع تغییرات
۲/۰۸ <sup>ns</sup>	۶		
۱/۱۵	۱۴	خطا	
۱۴/۰۱		ضریب تغییرات (%)	

\*\*\* و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح ۰/۱ درصد و بدون اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن

آهن ۱۳۸) بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاه در سطح ۰/۱٪ معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها در جدول ۳ نشان می‌دهد که با افزایش سطح آهن در هر دو منبع کود کلاتی آهن، وزن خشک اندام هوایی و ریشه افزایش یافته است. هر چند در سطوح مشابه آهن از هر دو منبع کود کاربردی، وزن خشک اندام هوایی و ریشه در یک گروه آماری قرار داشتند و لذا تفاوت معنی‌داری نشان ندادند.

بیشترین وزن خشک اندام هوایی (میانگین ۹/۴۴ گرم در گلدان) در تیمار ۰/۴۰۵ میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک از منبع

تحلیل قرار گرفتند و آزمون معنی‌دار بودن مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح ۰/۵٪ انجام شد. جداول با نرم‌افزار 2010 word رسم گردیدند.

## نتایج و بحث

### عملکرد اندام هوایی و ریشه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان می‌دهد که کاربرد هر دو نوع کود کلاتی آهن (نانوکود کلات آهن و سکوسترین

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر کاربرد نانوکود کلات آهن و سکوسترین آهن بر برخی پارامترهای رشد و غلظت عناصر غذایی در اندام هوایی و ریشه لوبیا

وزن دانه در گلدان (گرم در گلدان)	وزن غلاف و دانه در بوته (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم در گلدان)	وزن خشک اندام هوایی (گرم در گلدان)	تیمار	
				منابع آهن	سطوح آهن (میلی گرم در کیلوگرم خاک)
۲/۷۹c	۲/۵۶e	۱/۸۹ d	۵/۰۴e+	شاهد	۰
۵/۱۱b	۶/۰۱cd	۲/۹۸ bc	۶/۴۰cd	نانوکود کلات آهن	۰/۱۳۵
۳/۳۹c	۴/۱۳de	۲/۷۴ c	۵/۶۷de	سکوسترین آهن	۰/۲۷۰
۴/۹۹b	۸/۴۵a-c	۳/۳۵ ab	۷/۷۶b	نانوکود کلات آهن	۰/۲۷۰
۳/۹۸bc	۷/۷۲bc	۲/۹۹ bc	۷/۲۳bc	سکوسترین آهن	۰/۲۷۰
۷/۸۳a	۱۰/۹۳a	۳/۷۵ a	۹/۴۴a	نانوکود کلات آهن	۰/۴۰۵
۷/۵۰a	۹/۵۶ab	۳/۴۶ a	۹/۰۰a	سکوسترین آهن	۰/۴۰۵

جذب آهن اندام هوایی (میکرو گرم در گلدان)	غلظت آهن ریشه (میلی گرم در کیلوگرم ماده خشک)	غلظت آهن اندام هوایی (میلی گرم در کیلوگرم ماده خشک)	تعداد غلاف در بوته (عدد)	تیمار	
۱۸۴/۶۲ g	۲۷۳/۶۷ c	۳۶/۶۳e	۳/۳۳d	شاهد	۰
۲۸۶/۷۸ e	۳۳۶/۹۹ b	۴۴/۸۳c	۷/۳۳bc	نانوکود کلات آهن	۰/۱۳۵
۲۳۲/۲۶ f	۳۲۵/۵۷ b	۴۱/۰۰d	۵/۶۶cd	سکوسترین آهن	۰/۲۷۰
۳۸۸/۹۴c	۳۴۷/۳۰b	۵۰/۰۸b	۱۰ab	نانوکود کلات آهن	۰/۲۷۰
۳۳۶/۳۱ d	۳۴۶/۵۷ b	۴۶/۵۳c	۱۰ab	سکوسترین آهن	۰/۲۷۰
۵۴۹/۱۸ a	۴۲۵/۱۴ a	۵۸/۲۳a	۱۲/۶۶a	نانوکود کلات آهن	۰/۴۰۵
۵۰۶/۹۵b	۴۱۶/۱۲a	۵۶/۴۶a	۱۱a	سکوسترین آهن	۰/۴۰۵

جذب آهن ریشه (میکرو گرم در گلدان)	غلظت فسفر اندام هوایی (میلی گرم در کیلوگرم ماده خشک)	غلظت منگنز اندام هوایی (میلی گرم در کیلوگرم ماده خشک)	تیمار	
۵۱۴/۷۰ f	۲۹۰۳ a	۱۰۵/۵۰ a	شاهد	۰
۱۰۰۴/۵۰ de	۲۸۴۰ b	۱۰۰/۰۰ a	نانوکود کلات آهن	۰/۱۳۵
۸۹۳/۱۰ e	۲۸۰۵ b	۹۹/۲۰ a	سکوسترین آهن	۰/۲۷۰
۱۱۶۳/۰۰ c	۲۶۱۸ c	۸۷/۶۶ b	نانوکود کلات آهن	۰/۲۷۰
۱۰۳۷/۷۰ cd	۲۶۰۴ c	۸۷/۱۰ b	سکوسترین آهن	۰/۲۷۰
۱۵۹۴/۳۰ a	۲۴۵۳ d	۶۱/۹۷ c	نانوکود کلات آهن	۰/۴۰۵
۱۴۴۰/۰۰ b	۲۲۶۸ e	۶۱/۳۰c	سکوسترین آهن	۰/۴۰۵

+ : اعدادی که در یک حرف مشترک هستند از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

نانوکود کلات آهن مشاهده گردید که تفاوت معنی‌داری با همین سطح آهن از منبع سکوسترین آهن نشان نداد. کمترین وزن خشک اندام هوایی (میانگین  $5/04$  گرم در گلدان) در تیمار شاهد مشاهده گردید؛ اگرچه این تیمار با سطح  $0/135$  میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک از منبع سکوسترین آهن، تفاوت معنی‌داری نداشت. بیشترین عملکرد ریشه (میانگین  $3/75$  گرم در گلدان) نیز در سطح  $0/405$  میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک از منبع نانوکود کلات آهن مشاهده گردید که با همین سطح آهن از منبع سکوسترین آهن تفاوت معنی‌داری نشان نداد. کمترین عملکرد ریشه (میانگین  $1/89$  گرم در گلدان) نیز در تیمار شاهد مشاهده گردید. کمبود آهن منجر به کاهش وزن خشک اندام هوایی و ریشه می‌گردد ( $5$  و  $6$ ). محمودی و همکاران ( $24$ ) نشان دادند که در شرایط کمبود آهن، وزن خشک ریشه چند وارته نخود کاهش پیدا کرد. پیوندی و همکاران ( $1$ ) در مقایسه اثر نانوکود کلات آهن و کلات آهن بر پارامترهای رشد و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان گیاه دریافتند که بیشترین میانگین پارامترهای رشد از جمله وزن تر ساقه، وزن تر برگ، وزن تر ریشه، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه و طول ریشه در بیشترین غلظت سکوسترین آهن ( $7/5$  کیلوگرم در هکتار) مشاهده گردید که تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد داشت. روستا و محسنیان ( $31$ ) در بررسی اثر منابع مختلف آهن ( $FeSO_4$ ،  $Fe-EDDHA$ ،  $Fe-EDTA$ ) بر کمیت و کیفیت فلفل قرمز دریافتند گیاهانی که با  $FeSO_4$  تیمار شده بودند، در مقایسه با گیاهانی که با منابع دیگر آهن تیمار شده بودند، بیشترین تعداد و وزن خشک میوه را تولید کردند. چاکرال‌حسینی و همکاران ( $2$ ) نشان دادند که مصرف آهن در سطح  $2/5$  میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک به صورت سکوسترین آهن، سبب افزایش معنی‌دار وزن ماده خشک گیاه سویا گردید.

#### عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول  $2$ ) نشان داد که تأثیر نانوکود کلات آهن و سکوسترین آهن بر تعداد غلاف در بوته،

وزن غلاف و دانه در بوته و وزن دانه در گلدان در سطح  $0/1$  معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که با افزایش سطح آهن در هر دو نوع کود کاربردی، پارامترهای ذکر شده در مقایسه با شاهد افزایش پیدا کرده است؛ هر چند در کلیه سطوح مشابه آهن در هر دو نوع کود کاربردی از نظر وزن غلاف و دانه در بوته و تعداد غلاف در بوته تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. همچنین، در سطوح  $0/27$  و  $0/405$  میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک نیز تفاوت معنی‌داری بین نانوکود کلات آهن و سکوسترین آهن  $138$  از نظر اثر بر وزن دانه در گلدان وجود نداشت (جدول  $3$ ). بیشترین تعداد غلاف در بوته (میانگین  $12/66$  عدد) در سطح  $0/405$  میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک از منبع نانوکود کلات آهن مشاهده گردید که با همین سطح آهن از منبع سکوسترین آهن و سطح  $0/27$  میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک از هر دو منبع کود کاربردی تفاوت معنی‌داری نداشت. بیشترین وزن غلاف و دانه در بوته نیز در سطح  $0/405$  میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک از منبع نانوکود کلات آهن مشاهده گردید که این تیمار با همین سطح آهن از منبع سکوسترین آهن و سطح  $0/27$  میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک از منبع نانوکود کلات آهن تفاوت معنی‌داری نشان نداد. بیشترین وزن دانه در گلدان (میانگین  $7/83$  گرم در گلدان) در سطح  $0/405$  میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک از منبع نانوکود کلات آهن مشاهده گردید که با تیمار همین سطح آهن از منبع سکوسترین آهن تفاوت معنی‌داری نشان نداد. کمترین تعداد غلاف در بوته (میانگین  $3/33$  عدد) در تیمار شاهد مشاهده شد که با سطح  $0/135$  میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک از منبع سکوسترین آهن تفاوت معنی‌داری نشان نداد. کمترین وزن غلاف و دانه (میانگین  $2/56$  گرم) نیز در تیمار شاهد مشاهده گردید که این تیمار با سطح  $0/135$  میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک از منبع سکوسترین آهن در یک گروه آماری قرار داشتند. کمترین وزن دانه در گلدان (میانگین  $2/79$  گرم در گلدان) در تیمار شاهد مشاهده گردید که این تیمار با سطوح  $0/135$  و  $0/27$  میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک از منبع سکوسترین آهن

آهن در کیلوگرم خاک از منبع نانوکود کلات آهن مشاهده شد. در ریشه، بیشترین غلظت آهن (میانگین ۴۲۵/۱۴ میلی گرم آهن در کیلوگرم ماده خشک لوبیا) در سطح ۰/۴۰۵ میلی گرم آهن در کیلوگرم خاک از منبع نانوکود کلات آهن مشاهده گردید که این تیمار تفاوت معنی داری با همین سطح آهن از منبع سکوسترین آهن نداشت. بیشترین میزان جذب آهن توسط ریشه (میانگین ۱۵۹۴/۳۰ میکرو گرم آهن در گلدان) در سطح ۰/۴۰۵ میلی گرم آهن در کیلوگرم خاک از منبع نانوکود کلات آهن مشاهده گردید. قاسمی فسایی و همکاران (۱۵) گزارش کردند که کاربرد خاکی FeEDDHA سبب افزایش غلظت و جذب آهن در ۱۲ ژنوتیپ سویای مورد مطالعه شد. عبدالمطلب و همکاران (۱۰) بیان کردند که استفاده از کلات آهن سبب افزایش میانگین غلظت آهن در ریشه سویا نسبت به شاهد گردیده است. پاکرو و کاشی راد (۲۹) بیان کردند که با افزایش آهن به صورت FeEDDHA غلظت و جذب آهن در گیاه آفتابگردان افزایش معنی داری در مقایسه با شاهد پیدا کرد.

با توجه به نتایج به دست آمده، نانوکود کلات آهن به دلیل حلالیت و فراهمی ذرات بیشتر در خاک در مقایسه با سکوسترین آهن، دارای قابلیت بیشتری برای جذب توسط لوبیا بوده که در نتیجه موجب افزایش غلظت آهن گیاه شد. این امر به دلیل خصوصیات مواد نانو، از جمله سطح ویژه زیاد، حلالیت زیاد و سبک و کوچک بودن آن‌ها می‌باشد.

#### غلظت فسفر و منگنز اندام هوایی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر تیمارهای آزمایش بر غلظت فسفر و منگنز اندام هوایی لوبیا در سطح ۰/۱٪ معنی دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش سطح آهن در هر دو نوع کود کاربردی، غلظت فسفر و منگنز اندام هوایی، به دلیل رابطه ضدیت آهن و منگنز و نقش آهن در کمبود احتمالی فسفر و منگنز، در مقایسه با شاهد کاهش پیدا کرده است (جدول ۳). بیشترین غلظت فسفر اندام هوایی (میانگین ۲۹۰۳ میلی گرم فسفر در کیلوگرم ماده خشک لوبیا) در

تفاوت معنی داری نشان نداد. یکی از دلایل کم بودن کارایی مصرف کود سکوسترین آهن در مقایسه با نانوکود کلات آهن، عدم تعادل میان زمان و سرعت آزاد سازی عنصر آهن با نیاز غذایی گیاه می‌باشد. به دلیل آنکه با به کارگیری نانوکود کلات آهن، زمان و سرعت رهاسازی آهن با نیاز غذایی گیاه منطبق و هماهنگ می‌شود، لذا گیاه قادر به جذب بیشترین مقدار آهن بوده و در نتیجه عملکرد محصول نیز افزایش می‌یابد.

در تحقیقات میرزاپور و خوشگفتارمنش (۷) نشان داده شد که مصرف خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سکوسترین آهن، وزن هزار دانه و عملکرد دانه آفتابگردان را افزایش داد. در پژوهش دیگری مصرف ۶/۷ کیلوگرم FeEDDHA در هکتار، سبب افزایش معنی دار تعداد دانه و عملکرد دانه سویا شد (۳۵).

#### غلظت و جذب آهن اندام هوایی و ریشه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر نانوکود کلات آهن و سکوسترین آهن بر غلظت و جذب آهن اندام هوایی و ریشه لوبیا در سطح ۰/۱٪ معنی دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها در جدول ۳ نشان داد که افزایش سطح آهن از هر دو منبع کود کاربردی، غلظت و جذب آهن اندام هوایی و ریشه لوبیا را در مقایسه با شاهد افزایش داده است؛ هر چند در تمامی سطوح مشابه از هر دو منبع کود کاربردی، غلظت آهن ریشه در یک گروه آماری قرار گرفتند. در ضمن، غلظت آهن ریشه در سطوح ۰/۱۳۵ و ۰/۲۷ میلی گرم آهن در کیلوگرم خاک از هر دو منبع کود کاربردی نیز در یک گروه آماری قرار داشتند. بیشترین غلظت آهن اندام هوایی (میانگین ۵۸/۲۳ میلی گرم آهن در کیلوگرم ماده خشک لوبیا) در سطح ۰/۴۰۵ میلی گرم آهن در کیلوگرم خاک از منبع نانوکود کلات آهن مشاهده گردید که با تیمار همین سطح آهن از منبع سکوسترین آهن تفاوت معنی داری نداشت. کمترین غلظت آهن اندام هوایی (میانگین ۳۶/۶۳ میلی گرم آهن در کیلوگرم ماده خشک لوبیا) در تیمار شاهد مشاهده گردید. بیشترین جذب آهن اندام هوایی (میانگین ۵۴۹/۱۸ میکروگرم آهن در گلدان) در سطح ۰/۴۰۵ میلی گرم

### نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که کاربرد کود آهن از هر دو منبع نانوکود کلات آهن و سکوسترین آهن ۱۳۸، پارامترهای رشدی مورد بررسی گیاه لوبیا چشم بلبلی از جمله وزن خشک اندام هوایی و ریشه، تعداد غلاف در بوته، وزن دانه و غلاف در بوته و وزن دانه در گلدان را به طور معنی‌داری در مقایسه با عدم مصرف آهن، افزایش داد. همچنین، غلظت و جذب آهن اندام هوایی و ریشه با افزایش سطح آهن از هر دو منبع کود کاربردی در مقایسه با تیمار شاهد افزایش پیدا کرد. با توجه به اینکه وزن خشک اندام هوایی و ریشه، تعداد غلاف در بوته، وزن دانه و غلاف در بوته، وزن دانه در گلدان، غلظت و جذب آهن در اندام هوایی و ریشه لوبیا در هر سه سطح آهن از منبع نانوکود کلات آهن در مقایسه با سطوح مشابه آهن از منبع سکوسترین آهن بیشتر بوده و یا با سطوح مشابه آهن کاربردی از منبع سکوسترین آهن تفاوت معنی‌داری نشان ندادند، در نتیجه برای اصلاح کمبود آهن گیاه لوبیای کشت شده در خاک‌های آهکی به غلظت‌های کمتری از نانوکود کلات آهن در مقایسه با سکوسترین آهن ۱۳۸ نیاز است. همچنین، با توجه به رابطه ضدیتی آهن و منگنز و کاهش احتمالی فسفر و منگنز در نتیجه کاربرد آهن در گیاه، بایستی در توصیه‌های کودی آهن، کاهش احتمالی این عناصر مد نظر قرار گیرد. قبل از هر توصیه کودی بایستی نتایج حاصل از این پژوهش در شرایط مزرعه نیز بررسی شود.

### سپاسگزاری

بدین وسیله از مسئولین محترم دانشگاه شیراز برای تأمین وسایل و امکانات لازم برای انجام این پژوهش صمیمانه قدردانی می‌گردد و همچنین از همکاری صمیمانه مهندس خلیل منصوری فر در تهیه این مقاله تقدیر و تشکر می‌گردد.

تیمار شاهد و کمترین غلظت فسفر (میانگین ۲۲۶۸ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم ماده خشک لوبیا) در سطح ۰/۴۰۵ میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک از منبع سکوسترین آهن مشاهده گردید. بیشترین غلظت منگنز (میانگین ۱۰۵/۵ میلی‌گرم منگنز در کیلوگرم ماده خشک لوبیا) در تیمار شاهد مشاهده گردید که با تیمار سطح ۰/۱۳۵ میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین غلظت منگنز (میانگین ۶۱/۳ میلی‌گرم منگنز در کیلوگرم ماده خشک لوبیا) در سطح ۰/۴۰۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک سکوسترین آهن مشاهده گردید که با تیمار همین سطح آهن از منبع نانوکود کلات آهن تفاوت معنی‌داری نداشت. رونقی و قاسمی فسایی (۳۰) گزارش کردند که با کاربرد FeEDDHA، غلظت منگنز اندام هوایی ژنوتیپ‌های سویا کاهش معنی‌داری در مقایسه با شاهد داشت و همچنین عملکرد ژنوتیپ‌های سویا به طور معنی‌داری افزایش نیافت که می‌تواند به دلیل رقابت آهن با منگنز باشد. قاسمی فسایی و همکاران (۱۶) نشان دادند که کاربرد خاکی یا محلول‌پاشی آهن، وزن خشک شاخساره نخود و همچنین غلظت منگنز شاخساره را کاهش داد که به سبب رابطه آنتاگونیستی آهن بر جذب و انتقال منگنز از ریشه به شاخساره است. رونقی و قاسمی فسایی (۳۰) بیان کردند که استفاده بیش از حد نیاز از کودهای کلات آهن منجر به جذب مقدار زیادی آهن در گیاهان می‌شود. این امر باعث به هم خوردن تعادل تغذیه‌ای و بروز کمبود منگنز، مس و روی در گیاهان می‌گردد.

### غلظت روی و مس اندام هوایی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان می‌دهد که تأثیر کاربرد هر دو نوع کود کاربردی بر غلظت روی و مس اندام هوایی لوبیا معنی‌دار نبود.

### منابع مورد استفاده

۱. پیوندی، م.، ه. پرنده و م. میرزا. ۱۳۹۰. مقایسه تأثیر نانوکود کلات آهن بر پارامترهای رشد و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان



- ریحان. مجله تازه‌های بیوتکنولوژی سلولی - ملکولی (۴): ۸۹-۹۹.
۲. چاکرالاحسینی، م. ر.، ع. رونقی، م. مفتون و ن. کریمیان. ۱۳۸۱. پاسخ سویا به کاربرد آهن و فسفر در یک خاک آهکی. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۶(۴): ۹۱-۱۰۱.
۳. رزازی، ع. م.، م. ر. لبافی، ز. مهرابی، م. ح. نظران و ح. خلیج. ۱۳۸۹. تأثیر نانوکود کلات آهن بر عملکرد زعفران. یازدهمین کنگره زراعت و اصلاح نباتات، ۲-۴ مردادماه، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.
۴. رضایی، ر.، س. م. حسینی، ح. شعبانعلی قمی و ل. صفا. ۱۳۸۸. شناسایی و تحلیل موانع فناوری نانو در بخش کشاورزی ایران از دیدگاه محققان. فصلنامه علمی پژوهشی سیاست علم و فناوری ۲(۱): ۱۷-۲۶.
۵. طباطبایی، س. س.، ع. رزازی، ا. ح. خوشگفتارمنش، ن. خدائیان، ز. مهرابی، ش. فتحیان، ا. عسکری، ف. رمضان زاده و ح. عرب زادگان. ۱۳۹۰. تأثیر کمبود آهن بر غلظت، جذب و انتقال نسبی آهن، روی و منگنز در برخی محصولات زراعی با آهن‌کارایی مختلف در شرایط آب‌کشت. آب و خاک (علوم و صنایع غذایی) ۲۵(۴): ۷۲۸-۷۳۵.
۶. عشقی زاده، ح. ر.، ا. ح. خوشگفتارمنش، ع. اشرفی، ا. ح. معلم، ن. پورسخی، ن. پورقاسمیان، م. گرجی و ا. میلادی. ۱۳۸۷. آهن-کارایی تعدادی از محصولات زراعی در محیط کشت محلول. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱۲(۴۶): ۸۵-۹۷.
۷. میرزاپور، م. ه. و ا. ح. خوشگفتارمنش. ۱۳۸۷. تأثیر کوددهی آهن بر رشد، عملکرد و مقدار روغن دانه آفتابگردان در یک خاک آهکی شور-سدیمی. مجله پژوهش‌های کشاورزی ۴(۸): ۶۱-۷۴.
۸. نادری، م. و ع. دانش شهرکی. ۱۳۹۰. کاربرد فناوری نانو در بهینه‌سازی فرمولاسیون کودهای شیمیایی. ماهنامه فناوری نانو ۱۶۵(۴): ۲۰-۲۲.

9. Abtahi, A. 1980. Soil genesis as affected by topography and time in highly calcareous parent materials under semiarid conditions in Iran. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44(2): 329-336.
10. Abdel-Mottaleb, M.A., M.M. El-Fouly, H.M. Kriem and O.A. Nofal. 1991. Response of soybean to micronutrient foliar fertilization of different formulations under different soil conditions. II. Micronutrient content in leaves. *Egypt. J. Physiol. Sci.* 15: 141-147.
11. Bailar, J.C., J.T. Moeller, J. Kleinberg, C.O. Guss, M.E. Castellion and C. Metz. 1984. *Chemistry*. 2<sup>nd</sup> Edition, Academic Press, Orlando, FL.
12. Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. *Agron. J.* 54: 464-465.
13. Bremner, J.M. 1996. Total nitrogen. PP. 1085-1122. *In: Sparks et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 3, SSSA, ASA, Madison, WI.*
14. Eisa, S.A.L., M.B. Taha and M.A.M. Abdalla. 2011. Amendment of soil fertility and augmentation of the quantity and quality of soybean crop by using phosphorus and micronutrients. *Int. J. Acad. Res.* 3: 800-808.
15. Ghasemi-Fasaei, R., A. Ronaghi, M. Maftoun, N. Karimian and P.N. Soltanpour. 2003. Influence of FeEDDHA on iron-manganese interaction in soybean genotypes in a calcareous soil. *J. Plant Nutr.* 26: 1815-1823.
16. Ghasemi-Fasaei, R., A. Ronaghi, M. Maftoun, N. Karimian and P.N. Soltanpour. 2005. Iron-manganese interaction in chickpea as affected by foliar and soil application of iron in a calcareous soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 36: 1717-1725.
17. Knudsen, D., G.A. Peterson and P.F. Pratt. 1982. Lithium, sodium and potassium. PP. 225-246. *In: Page, A.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 2, Monograph No. 9, ASA, Madison, WI.*
18. Kobraee, S., N. NoorMohamadi, H. Heidari Sharifabad, F. Darvish Kajori and B. Delkhosh. 2011. Influence of micronutrient fertilizers on soybean nutrient composition. *Indian J. Sci. Technol.* 4: 763-769.
19. Korcak, R.F. 1987. Iron deficiency chlorosis. *Hort. Rev.* 9: 133-186.
20. Lindasy, W.L. and A.P. Schwab. 1982. The chemistry of iron in soil and its availability to plants. *J. Plant Nutr.* 5: 821-840.
21. Lindasy, W.I. and W.A. Norvell. 1978. Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 421-428.
22. Loppert, R.H. and D.L. Suarez. 1996. Carbonate and gypsum. PP. 437-474. *In: Sparks et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 3, SSSA, ASA Madison, WI.*

23. Lucena, J.J. 2003. Fe chelates for remediation of Fe chlorosis in strategy I plants. *J. Plant Nutr.* 26: 1969-1984.
24. Mahmoudi, H., R. Ksouri, M. Gharsalli, and M. Lachaal. 2005. Differences in responses to iron deficiency between two legumes: Lentil (*Lens culinaris*) and chickpea (*Cicer arietinum*). *J. Plant Physiol.* 162: 1237-1245.
25. Martens, D.G. and D.T. Westerman. 1991. Fertilizer application for correcting micronutrient deficiency. PP. 549-592. *In: Mortvedt, J.J., F.R. Cox, L.M. Shuman and R.M. Welch (Eds.), Micronutrients in Agriculture, SSSA, Madison, WI.*
26. Moosavi, A. A. and A. Ronaghi. 2011. Influence of foliar and soil application of iron and manganese on soybean dry matter yield and iron-manganese relationship in a calcareous soil. *Aust. J. Crop Sci.* 5: 1550-1556.
27. Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. PP. 961-1010. *In: Sparks et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 3, SSSA, Madison, WI.*
28. Olsen, S.R., C.V. Cole, F.S. Watanabe and L.A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. USDA Cir. 939, US Government Printing Office, Washington, DC.
29. Pakroo, N. and A. Kashirad. 1981. The effect of salinity and iron application on growth and mineral uptake of sunflower. *J. Plant Nutr.* 4: 45-56.
30. Ronaghi, A. and R. Ghasemi-Fasaei. 2008. Field evaluations of yield, iron-manganese relationship, and chlorophyll meter readings in soybean genotypes as affected by iron-ethylenediamine di-o-hydroxyphenylacetic acid in a calcareous soil. *J. Plant Nutr.* 31: 81-89.
31. Roosta, H.R. and Y. Mohsenian. 2012. Effect of foliar spray of different Fe sources on pepper (*Capsicum annum* L.) plants in aquaponic system. *J. Sci. Hort.* 146: 182-191.
32. Singh, B.B., D.R. Mohan Raj, K.E. Dashiell and L.E.N. Jackai. 1997. Advances in Cowpea Research. Copublication of IITA and JIRCAS, Ibadan, Nigeria.
33. Summer, M.E., and W.P.P. Miller. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. PP. 1201-1229. *In: Sparks et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 3, SSSA, Madison, WI.*
34. Waling, I., W. Van Vark, V.J.G. Houba and J.J. Van der Lee. 1989. Soil and Plant Analysis, a Series of Syllabi. Part 7, Plant Analysis Procedures, Wageningen Agricultural University, The Netherlands.
35. Wiersma, J.V. 2005. High rate of FeEDDHA and seed iron concentration suggest partial solutions to iron deficiency in soybean. *Agron. J.* 97: 924-934.