بررسی امکان افزایش کیفیت سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) با محلول‌پاشی نانواکسید آهن

علی برقی[1*] و عبدالقیوم قلی‌پوری[2]

۱) دانشجوی دکتری گروه اکولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۲) دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

*نویسنده مسئول: a_barghi@uma.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۵/۲۶ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۸/۲۹

چکیده

قلیایی بودن خاک یکی از مشکلات اساسی در برخی خاک‌های ایران است که موجب کاهش حلالیت و کاهش جذب عناصر غذایی ضروری از جمله عنصر آهن برای گیاه می‌شود. کمبود آهن در گیاه موجب کاهش فتوسنتز و کاهش تولید می‌شود. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل، در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی و در ۳ تکرار انجام شد. فاکتور اول شامل کود نانواکسید آهن در شش سطح ۰، ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ گرم در لیتر و اکسید آهن معمولی به میزان ۲ گرم در لیتر و فاکتور دوم شامل سه مرحله محلول‌پاشی (زمان رشد رویشی، شروع غده‌بندی و پرشدن غده) می‌باشد. نتایج نشان داد که کاربرد نانواکسید آهن به میزان ۲ گرم در لیتر نسبت به تیمار شاهد بدون آهن مقدار لیزین غده را به میزان ۵۵ درصد، مقدار متیونین غده را ۴۵ درصد، مقدار کلسیم غده را ۱۸ درصد و عملکرد غده را ۷ درصد افزایش داد، در حالی‌که مقدار فسفر غده با کاربرد ۲ گرم در لیتر نانواکسید آهن به میزان ۳۴ درصد کاهش یافت. محلول‌پاشی نانو اکسید آهن در زمان پر شدن غده و شروع غده‌بندی نیز نسبت به زمان رشد رویشی مقادیر متیونین، پتاسیم و عملکرد غده را به‌طور معنی‌دار افزایش دادند و بالاترین درصد متیونین غده با ۰/۳۴ درصد، بیشترین مقدار پتاسیم غده با ۲/۲ صدم درصد و بیشترین عملکرد غده با ۴۰ تن در هکتار در اثر محلول‌پاشی در زمان پرشدن غده حاصل گردید. درصد پروتئین، نشاسته و آهن غده با افزایش غلظت محلول‌پاشی نانواکسید آهن تا غلظت‌های ۱/۵ و ۲ گرم در لیتر، افزایش یافت و در تمام سطوح نانواکسیدآهن، محلول‌پاشی کود نیز در زمان پرشدن غده مقدار پروتئین، نشاسته و آهن غده را افزایش داد. با توجه به نتایج چون در اکثر صفات مورد مطالعه بین غلظت‌های ۱، ۱/۵ و ۲ گرم در لیتر نانواکسید آهن تفاوت معنی‌دار مشاهده نمی‌شود، بنابراین محلول‌پاشی نانواکسید آهن با غلظت ۱ گرم در لیتر در مرحله پرشدن غده که به لحاظ اقتصادی نیز به‌صرفه‌تر است توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: اسید آمینه، پروتئین غده، عملکرد و نشاسته.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.45.4.4]

مقدمه

سیب‌زمینی گیاهی یک‌ساله با نام علمی *Solanum tuberosum* L. از تیره *Solanaceae* مهم‌ترین گیاه از گروه سبزیجات است که چهارمین رتبه را پس از گندم، ذرت و برنج از نظر اهمیت غذایی برای انسان دارد و در میان گیاهان غده‌ای و ریشه‌ای نیز رتبه اول را از این نظر داراست. سیب‌زمینی منبع مهم نشاسته (کربوهیدرات) و هم‌چنین مقداری مواد معدنی مانند پتاسیم و کلسیم است (Mitiku *et al*., 2019). برخلاف فراوانی آهن در خاک، این عنصر به‌دلیل محدودیت جذب توسط گیاه یکی از عوامل محدود کننده رشد شناخته می‌شود. گزارش شده است که محتوی آهن در گیاه در بیوسنتز کلروفیل و توسعه کلروپلاست و دیگر ساختارهای فتوسنتزی دخالت دارد (Jeong and Guerinot, 2009). صحت این نظریه با این واقعیت محکم‌تر می‌شود که آهن یک جزء ضروری در پروتئین و آنزیم‌های دخیل در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی (فتوسنتز، تنفس، انتقال الکترون و ...) می‌باشد و همچنین عملکرد گیاه را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Graziano and Lamattina, 2007). حدود بحرانی آهن در خاک بین ۲/۵ تا ۴/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بوده و موجودی آن در گیاه به جذب، انتقال و بازیافت آن بستگی دارد (Chen *et al*., 2015). از مهم‌ترین استراتژی‌های موجود در منابع برای جذب آهن در گیاهان، می‌توان به اسیدی شدن ریزوسفر، احیای Fe^{3+} به Fe^{2+} و انتقال آهن احیا شده به گیاه اشاره کرد. کم‌ترین حلالیت ترکیب‌های آهن در خاک با اسیدیته ۷/۴ تا ۸/۵ پدید می‌آید. گزارش شده است که کاربرد نانواکسید آهن به‌صورت محلول‌پاشی باعث افزایش معنی‌دار عملکرد و درصد پروتئین دانه آفتابگردان شده است (Alturkci and Helal, 2004). ذرات کودی می‌توانند با غشاهایی در مقیاس نانو پوشیده شوند که رهاسازی آهسته و مداوم عناصر غذایی را تسهیل می‌کنند. پوشاندن و سیمانی کردن با ذرات نانو و کوچک‌تر از نانو، باعث ایجاد قابلیت تنظیم رهاسازی عناصر غذایی از کپسول کودی می‌شود (Liu *et al*., 2006). در آزمایشی مشاهده شد که بیشترین عملکرد سیب‌زمینی و بالاترین درصد مواد معدنی با کاربرد ترکیبی از محلول‌های $Feso_4$ و $Mnso_4$ ۲ درصد در سیب‌زمینی قبل از کاشت حاصل شد (Ahmed *et al*., 2000). در آزمایش دیگری با کاربرد نانواکسید آهن در مقایسه با اکسید آهن معمولی در گندم مقدار جذب و غلظت آهن افزایش معنی‌دار داشت (فتحی امیرخیز و همکاران، ۱۳۹۰). محققان طی آزمایشی بر روی کلزا مشاهده کردند که استفاده از تیمار آهن و روی، به‌صورت محلول‌پاشی و یا تیمار خاکی موجب افزایش وزن هزار دانه، افزایش نسبت وزن دانه به وزن خورجین، عملکرد دانه، عملکرد روغن، مقدار روغن و مقدار پروتئین دانه گردید (Bybordy and Mamedov, 2010). طی بررسی که روی کارآیی نانواکسید و اکسید آهن معمولی روی غلظت آهن در گیاه گندم انجام شد، مشخص شد که کاربرد نانواکسید آهن نسبت به اکسید آهن معمولی در افزایش غلظت آهن در گیاه به طور معنی‌دار اثر برتری داشت که احتمالا به علت ویژگی‌های ذرات نانو بوده است (Mazaherinia *et al*., 2010). طی

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.45.4.4]

آزمایشاتی مشاهده شد که افزایش مصرف کود آهن باعث کاهش مقدار جذب منگنز گیاه و افزایش جذب روی و مس در گیاه گندم گردید. علاوه بر این مقدار جذب گیاهی هر سه عنصر با مصرف اکسید آهن در اندازه نانو نسبت به اکسید آهن معمولی کم‌تر بود. هم‌چنین مقدار جذب و غلظت آهن درگندم با کاربرد نانواکسید آهن در مقایسه با اکسید آهن معمولی افزایش معنی‌دار داشت. متناسب با افزایش هر دو نوع اکسیدهای آهن، مقدار جذب و غلظت آهن گیاه نیز افزایش داشت (فتحی امیرخیز و همکاران، ۱۳۹۰؛ Mazaherinia *et al.*, 2011). محلول‌پاشی کودهای نانواکسید و کلات آهن در سورگوم علوفه‌ای نیز اثر معنی‌دار بر ارتفاع بوته، طول خوشه، تعداد برگ و درصد پروتئین داشت (Matlabi *et al.*, 2010). با توجه به کاربرد بیش از اندازه کودهای شیمیایی و قلیایی شدن سطح وسیعی از خاک‌زراعی و مشکل جذب عناصر ریزمغذی نظیر آهن، هدف از این آزمایش بررسی امکان افزایش کیفیت و کمیت تغذیه‌ای غده سیب‌زمینی به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین مواد غذایی انسان‌ها با کاربرد حداقل مقدار کود نانواکسید آهن در بهترین زمان طی دوره رشد گیاه می-باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی در سال زراعی ۱۳۹۶ به‌صورت فاکتوریل، در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار انجام شد. در این آزمایش از سیب‌زمینی رقم آگریا استفاده گردید که غده‌های بذری آن از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی اردبیل تهیه شد. فاکتور اول شامل کود نانواکسیدآهن در سطوح ۰، ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ گرم در لیتر و اکسید آهن معمولی در سطح ۲ گرم در لیتر و فاکتور دوم شامل مراحل محلول‌پاشی (زمان رشد رویشی، شروع غده‌بندی و پرشدن غده) می‌باشد. در هر کرت ۵ ردیف کشت گردید که طول هر ردیف ۴ متر بود. فاصله بین ردیف‌ها ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف ۲۵ سانتی‌متر لحاظ شد. وجین علف‌های هرز در دو مرحله به‌صورت دستی و آبیاری مزرعه بر اساس نیاز گیاه طی پنج مرحله در طول دوره رشد به‌صورت نشتی انجام گردید. در مرحله برداشت، نمونه‌برداری از کرت‌ها پس از حذف نیم متر حاشیه‌ها انجام گرفت. نانواکسید آهن ساخت US-NANO کشور آمریکا می‌باشد (شکل ۱) که ویژگی‌های آن در جدول ۱ ارائه شده است. قبل از کشت ارزیابی آهن قابل جذب خاک با عصاره‌گیری خاک به‌روش DTPE انجام شد (Lindsay and Norvell, 1978) (جدول ۲).

جدول ۱: مشخصات نانوذرات اکسید آهن

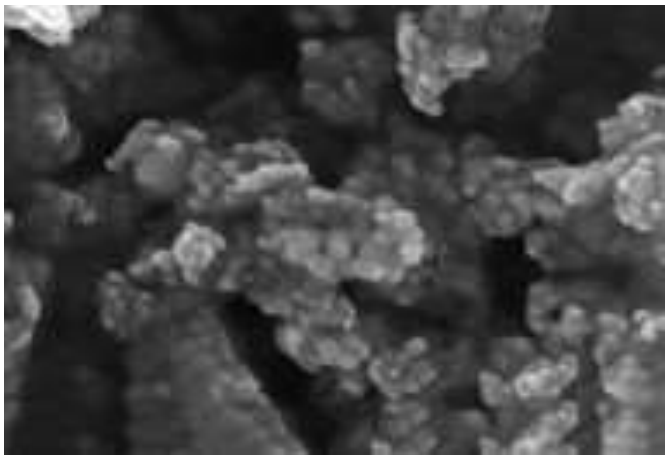
فرمول نانواکسید آهن	شکل ظاهری	رنگ	نقطه ذوب	اندازه	چگالی حجمی	درصد خلوص
Fe_3O_4	جامد کروی	قهوه‌ای تیره	۱۵۳۸ درجه سانتی‌گراد	۳۰-۱۰ نانومتر	۰/۸۵ گرم بر متر مکعب	۹۹ درصد

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

[DOR: 20.1001.1.20084403.1399.12.45.4.4]

جدول ۲: برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک مزرعه مورد بررسی

پارامترهای فیزیکی و شیمیایی	مقدار
هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	۰/۳۴۱
اسیدیته خاک	۸/۷۳
پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۱۸۱
فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۱۲/۵
آهن قابل جذب خاک (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۲/۲
رس (درصد)	۲۹
سیلت (درصد)	۴۳
شن (درصد)	۲۸
نوع بافت خاک	لومی
درصد کربن آلی	۰/۸۷



شکل ۱: شکل ظاهری نانواکسید آهن

اندازه‌گیری کلسیم و پتاسیم جذب شده با دستگاه فلیم‌فتومتر انجام شد (William, 2000). مقدار فسفر و آهن جذب شده نیز با دستگاه اسپکتوفتومتر اندازه‌گیری گردید (Jones, 2001). درصد اسیدآمینه‌های لیزین و متیونین غده با دستگاه اسپکتوفتومتر به ترتیب در طول موج‌های ۵۷۰ و ۵۱۰ نانومتر و درصد نشاسته غده پس از جداسازی به‌صورت درصد وزنی اندازه‌گیری شد (یقبانی و محمدزاده، ۱۳۸۴). درصد پروتئین غده‌ها نیز با دستگاه اسپکتوفتومتر در طول موج ۵۹۵ نانومتر اندازه‌گیری گردید (Bradford, 1976). برای تعیین عملکرد در هکتار، با در نظر گرفتن نیم متر حاشیه در هر کرت، از سه ردیف وسط برداشت غده‌ها انجام شد و غده‌ها توزین گردیدند. در نهایت نتایج به هکتار تعمیم داده شدند. برای اندازه‌گیری درصد ماده خشک نیز نمونه‌های تصادفی از غده‌ها انتخاب و به صورت خلال خرد شدند. ۲۰۰ گرم از

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.45.4.4]

خلال‌ها توزین و به مدت ۳ روز در آون با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و پس از این مدت وزن نمونه‌های خشک اندازه‌گیری شد. درصد ماده خشک غده‌ها از رابطه ۱ به‌دست آمد (AOAC, 2005):

رابطه ۱: $$\text{درصد ماده خشک غده} = \left(\frac{\text{وزن نمونه خشک}}{200}\right) \times 100$$

برای رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل و جهت تجزیه داده‌ها از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ استفاده گردید و مقایسه میانگین با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

درصد لیزین پروتئین غده

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش غلظت‌های مختلف کود نانواکسید آهن و مراحل محلول‌پاشی آن و همچنین اثر اصلی مراحل محلول‌پاشی بر میزان اسیدآمینه لیزین غده سیب‌زمینی معنی‌دار نبود، درحالی‌که اثر اصلی غلظت‌های مختلف نانواکسید آهن بر مقدار این اسیدآمینه در غده سیب‌زمینی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر غلظت نانواکسید آهن بر میزان لیزین غده سیب‌زمینی نشان داد که حداکثر میزان لیزین غده (۲/۶ درصد) در تیمار غلظت ۲ گرم در لیتر نانواکسید آهن مشاهده شد که با سایر غلظت‌های نانواکسید آهن و اکسید آهن معمولی در گروه مشترک بوده و تیمار شاهد بدون مصرف کود آهن کم‌ترین میزان لیزین غده (۱/۱۶ درصد) را به خود اختصاص داد (جدول ۴). برخی پژوهشگران افزایش میزان اسید آمینه لیزین را تحت تاثیر افزایش سطوح کود نیتروژن و عناصر ریزمغذی از جمله آهن مشاهده کردند (عقیقی شاهوردی کندی و همکاران، ۱۳۹۰). همچنین افزایش قابل توجه درصد اسید آمینه لیزین سیب‌زمینی در اثر کاربرد نانوکودهای زیستی حاوی آهن، مشاهده گردید (حمزه‌پور و همکاراان، ۱۳۹۴). این افزایش در میزان اسیدآمینه لیزین می‌تواند به‌دنبال تامین عناصر ریزمغذی به میزان کافی و در نتیجه افزایش کارآیی استفاده از عناصر پرمصرف، نسبت داده شود (Monsef Afshar *et al*., 2012).

درصد متیونین پروتئین غده

برهم‌کنش غلظت‌های مختلف کود نانواکسید آهن و مراحل مختلف محلول‌پاشی بر میزان متیونین غده سیب‌زمینی غیر معنی‌دار بود، درحالی‌که اثر اصلی هر دو عامل بر این صفت در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر غلظت نانواکسید آهن بر میزان متیونین غده سیب‌زمینی نشان داد که حداکثر میزان متیونین غده (۰/۳۷ درصد) در تیمار غلظت ۲ گرم در لیتر نانواکسید آهن مشاهده شد که با غلظت‌های ۱/۵ و ۱ گرم در لیتر آن در

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.45.4.4]

گروه مشترک قرار داشت (جدول ۴). کم‌ترین درصد متیونین غده (۰/۲ درصد) در تیمار شاهد بدون مصرف کود آهن حاصل شد. مقایسه میانگین اثر مراحل محلول‌پاشی بر روی این صفت نشان داد که بیش‌ترین میزان متیونین غده (۰/۳۴۶ درصد) با محلول‌پاشی در زمان پر شدن غده به‌دست آمد که با تیمار محلول‌پاشی در زمان شروع غده‌بندی در گروه برتر و مشترک بوده و تیمار محلول‌پاشی در زمان گل‌دهی کم‌ترین درصد متیونین غده (۰/۲۴ درصد) را به خود اختصاص داد (جدول ۵). با کاربرد عناصر ریزمغذی مثل آهن، کارآیی گیاهان در استفاده از منابع نیتروژن افزایش یافته و منجر به افزایش ساخت اسیدآمینه‌هایی از جمله لیزین، متیونین و تریپتوفان می‌گردد (Monsef Afshar *et al.*, 2012). گزارش شده است که کاربرد کود نیتروژن و عناصر ریزمغذی منجر به افزایش معنی‌دار اسید آمینه متیونین در سیب‌زمینی گردید (عقیقی شاهوردی کندی و همکاران، ۱۳۹۰). کاربرد نانوکود زیستی حاوی آهن همچنین موجب افزایش درصد اسید آمینه متیونین در سیب‌زمینی شد (حمزه‌پور و همکاران، ۱۳۹۴).

جدول ۳: تجزیه واریانس اثر غلظت‌های مختلف نانواکسید آهن و مراحل مختلف محلول‌پاشی بر درصد پروتئین، اسیدآمینه‌های لیزین و متیونین و همچنین نشاسته غده سیب‌زمینی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		درصد لیزین	متیونین غده	درصد پروتئین	درصد نشاسته غده	عملکرد غده
تکرار	۲	۱/۵۱	۰/۰۶۱	۰/۰۳۹	۵/۶۲	۴۷/۴۹
غلظت آهن	۵	۲/۲۵۹*	۰/۰۳۷**	۲/۷۰۴**	۱۴/۴۶**	۱۱۳/۲۱۵**
مراحل محلول‌پاشی	۲	۰/۷۲۶^{ns}	۰/۰۵۳**	۴/۰۶۶**	۳۶/۹۶**	۲۳۳/۶۰۲**
غلظت آهن× مراحل محلول‌پاشی	۱۰	۰/۰۸۶^{ns}	۰/۰۰۵۸^{ns}	۰/۷۱۴**	۴/۲۹*	۲۹/۴۷^{ns}
خطای آزمایشی	۳۴	۰/۸۴۶	۰/۰۰۶۲	۰/۰۲۵	۱/۹۲	۱۳/۱۷
ضریب تغییرات	-	۱۵/۶۱	۱۶/۴۲	۳/۶۰۳	۹/۱	۹/۲۶

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول ۴: مقایسات میانگین اثر اصلی غلظت نانواکسید آهن بر برخی صفات کیفی و عملکرد سیب‌زمینی

تیمار	درصد لیزین پروتئین غده	درصد متیونین پروتئین غده	مقدار فسفر غده (صدم درصد)	مقدار کلسیم غده (صدم درصد)	عملکرد غده (تن در هکتار)
اکسیدآهن معمولی ۲ گرم در لیتر	۲ ^{ab}	۰/۲۶ ^{bc}	۴۵ ^{bc}	۰/۱ ^{b}	۳۸/۴ ^{b}
نانواکسیدآهن ۰ گرم در لیتر	۱/۱۶ ^{b}	۰/۲ ^{c}	۶۳ ^{a}	۰/۰۹ ^{c}	۳۷ ^{c}
نانواکسیدآهن ۰/۵گرم در لیتر	۱/۸ ^{ab}	۰/۲۷ ^{b}	۶۰ ^{ab}	۰/۱۱ ^{a}	۳۸ ^{bc}
نانواکسیدآهن ۱ گرم در لیتر	۲/۱۶ ^{a}	۰/۳۱ ^{ab}	۴۹/۴ ^{abc}	۰/۱۱ ^{a}	۳۸/۹ ^{ab}
نانواکسیدآهن ۱/۵ گرم در لیتر	۲/۳ ^{a}	۰/۳۵ ^{a}	۴۸/۳ ^{abc}	۰/۱۱ ^{a}	۳۹/۸ ^{a}
نانواکسیدآهن ۲ گرم در لیتر	۲/۶ ^{a}	۰/۳۷ ^{a}	۴۱/۶ ^{c}	۰/۱۱ ^{a}	۴۰/۱ ^{a}

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال $P\leq0.05$ می‌باشد.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.45.4.4]

جدول ۵: مقایسات میانگین اثر اصلی مراحل محلول‌پاشی بر برخی صفات کیفی و عملکرد سیب‌زمینی

تیمار	درصد متیونین پروتئین غده	مقدار پتاسیم غده (صدم درصد)	عملکرد غده (تن در هکتار)
محلول‌پاشی در زمان رشد رویشی	۰/۲۳ [b]	۱/۵ [b]	۳۸ [c]
محلول‌پاشی در زمان شروع غده‌بندی	۰/۳ [a]	۲ [a]	۳۹/۱ [b]
محلول‌پاشی در زمان پر شدن غده	۰/۳۴ [a]	۲/۲ [a]	۴۰ [a]

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال $P\leq0.05$ می‌باشد.

درصد پروتئین غده

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از معنی‌دار شدن اثر غلظت‌های مختلف کود نانواکسید آهن، مراحل مختلف محلول‌پاشی و برهم‌کنش این دو عامل بر درصد پروتئین غده سیب‌زمینی در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد (جدول ۳). مقایسه میانگین برهم‌کنش غلظت نانواکسید آهن و مراحل مختلف محلول‌پاشی بر درصد پروتئین غده سیب-زمینی نشان می‌دهد که ترکیبات تیماری غلظت‌های ۱/۵ و ۲ گرم در لیتر نانواکسید آهن با محلول‌پاشی در زمان پر شدن غده بیشترین درصد پروتئین غده (۵/۷ درصد) را به‌طور مشترک به خود اختصاص دادند که با ترکیب تیماری غلظت ۲ گرم در لیتر نانواکسید آهن با محلول‌پاشی در زمان شروع غده‌بندی در گروه مشترک بوده و کم‌ترین درصد پروتئین غده (۳/۶ درصد) نیز در تیمار شاهد بدون مصرف کود آهن حاصل گردید (شکل ۲). از آنجایی که نیتروژن یکی از عناصر مهم و ضروری شرکت‌کننده در ساختار پروتئین‌ها می‌باشد و کاربرد نانواکسیدآهن از طریق حفظ سبزینگی برگ موجب افزایش طول دوره فتوسنتزی می‌شود که این امر منجر به آسیمیله شدن بهتر نیتروژن و افزایش کمی و کیفی پروتئین گردیده است. گیاهان دارای مقادیر بالاتر عناصر ریزمغذی کارآیی بالاتری در استفاده از نیتروژن خاک دارند، بنابراین سنتز پروتئین در آن‌ها افزایش می‌یابد. از سوی دیگر عناصر ریزمغذی مثل آهن و روی در ساختمان پروتئین‌ها و هم‌چنین متابولیسم نیتروژن شرکت دارند، بنابراین ممکن است موجب افزایش مقدار پروتئین گردند (Monsef Afshar *et al*., 2012). محققان افزایش درصد پروتئین دانه کنجد در اثر تیمار نانوکلات آهن را گزارش کردند (ایوبی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۷). هم-چنین گزارش شده است که محلول‌پاشی برگی نانوذرات آهن بر درصد پروتئین دانه لوبیا چشم بلبلی و سویا معنی‌دار بود (بیگی و همکاران، ۱۳۸۹؛ Monsef Afshar *et al*., 2012).

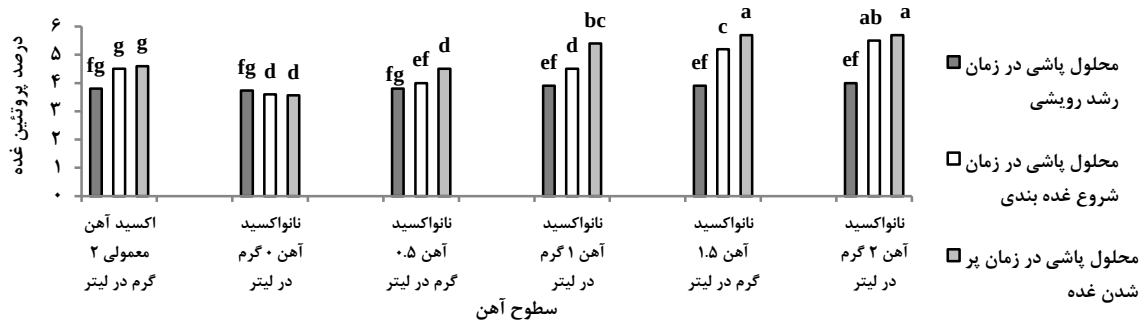
میزان نشاسته غده

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهم‌کنش غلظت‌های مختلف کود نانواکسید آهن و مراحل مختلف محلول‌پاشی در سطح احتمال ۵ درصد بر میزان نشاسته غده سیب‌زمینی معنی‌دار شدند (جدول ۳). نتایج حاصل از مقایسه میانگین برهم‌کنش غلظت نانواکسید آهن و مراحل مختلف محلول‌پاشی بر میزان نشاسته غده نشان داد که

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.45.4.4]

بیشترین نشاسته غده (۱۹ درصد) در ترکیب تیماری غلظت ۲ گرم در لیتر نانواکسید آهن با محلول‌پاشی در مرحله پر-شدن غده حاصل شد که با محلول‌پاشی غلظت‌های ۱/۵ و ۱ گرم در لیتر نانواکسید آهن در همین مرحله، در گروه برتر و مشترک قرار داشت و نیز کم‌ترین درصد نشاسته غده (۱۳ درصد) به تیمار شاهد بدون مصرف کود آهن مربوط می‌شود (شکل ۳). گزارش شده است که استفاده از عناصر ریزمغذی منجربه افزایش معنی‌دار نشاسته سیب‌زمینی گردید (عقیقی شاهوردی کندی و همکاران، ۱۳۹۰). افزایش مقدار کربوهیدرات‌هایی نظیر نشاسته در اثر کاربرد نانواکسید آهن می‌تواند به‌علت افزایش میزان کلروفیل و در نتیجه افزایش فتوسنتز در گیاه باشد (عباسی و همکاران، ۱۳۹۸).



شکل ۲: درصد پروتئین غده سیب‌زمینی در برهم‌کنش غلظت‌های مختلف و مراحل محلول‌پاشی کود نانواکسید آهن

شکل ۳: درصد نشاسته غده سیب‌زمینی در برهم‌کنش غلظت‌های مختلف و مراحل محلول‌پاشی کود نانواکسید آهن

آهن غده

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش غلظت‌های مختلف کود نانواکسید آهن و مراحل مختلف محلول‌پاشی بر میزان آهن جذب شده غده سیب‌زمینی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردید (جدول ۶). مقایسه

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]
[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.45.4.4]

میانگین برهم‌کنش غلظت نانواکسید آهن و مراحل مختلف محلول‌پاشی بر میزان آهن جذب شده غده سیب‌زمینی نشان داد که ترکیب تیماری غلظت ۲ گرم در لیتر نانواکسید آهن با محلول‌پاشی در زمان پرشدن غده بیشترین غلظت آهن جذب شده غده (۷۵ میکروگرم بر گرم) را به خود اختصاص داد که با سایر غلظت‌های نانواکسید آهن با محلول‌پاشی در زمان پرشدن غده در گروه مشترک قرار داشت و تیمار شاهد بدون مصرف کود آهن کم‌ترین میزان آهن جذب شده غده (۴۲ میکروگرم بر گرم) را نشان داد (شکل ۴). بر اساس این نتایج مشاهده می‌شود که ذرات نانواکسید آهن به‌دلیل ریز بودن تحرک بهتری نسبت به آهن معمولی داشته است.گروهی از پژوهشگران افزایش غلظت آهن دانه گندم را در اثر محلول‌پاشی و کاربرد خاکی آهن گزارش نمودند (بوربوری و طهرانی،۱۳۹۰). هم‌چنین در بررسی اثر زمان محلول‌پاشی نانوکود آلی کلات آهن بر ویژگی‌های کمی و کیفی گندم دیم گزارش شده است که تیمار دو بار محلول‌پاشی باعث افزایش ۵۰ و ۲۰ درصدی مقدار کلسیم و آهن نسبت به شاهد گردید. تیمار یک بار محلول‌پاشی سبب کاهش ۳۰ درصدی روی شد (کشاورز و همکاران، ۱۳۹۰). بر اساس گزارشات، کاربرد نانوکودهای کلات آهن در گیاهان اسفناج اثرهای مثبتی بر تجمع آهن داشت (Vattani *et al*., 2012). نتایج آزمایش دیگری نشان داد که بیشترین غلظت آهن در گل سوسن به میزان ۷۳۰ppm در محلول‌پاشی برگی $Feso_4$ به‌دست آمد و پس از آن محلول‌پاشی نانوکود آهن با ۴۷۵/۵ ppm رتبه بعدی را در غلظت آهن به خود اختصاص داد (Mohamadipoor *et al*., 2013). بر اساس گزارشات، محلول‌پاشی گیاه گندم با کود آهن نیز موجب افزایش معنی‌دار مقدار آهن دانه گندم گردید (Zeidan *et al*., 2010).

فسفر غده

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر غلظت‌های مختلف کود نانواکسید آهن بر میزان فسفر جذب شده غده در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار به‌دست آمد (جدول ۶). اثر مراحل محلول‌پاشی و برهم‌کنش این عوامل بر روی این صفت معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین اثر غلظت نانواکسید آهن بر میزان فسفر جذب شده غده نشان می‌دهد که حداکثر میزان فسفر جذب شده غده (۶۳ صدم درصد) در تیمار شاهد بدون مصرف کود آهن به‌دست آمد که با غلظت‌های ۰/۵، ۱ و ۱/۵ گرم در لیتر نانواکسید آهن در گروه مشترک قرار داشت (جدول ۴). کم‌ترین غلظت فسفر جذب شده غده (۴۱ صدم درصد) نیز در غلظت ۲ گرم در لیتر نانواکسید آهن مشاهده گردید. با توجه به خاصیت آنتاگونیستی آهن و فسفر، کاربرد آهن منجر به کاهش فسفر غده گردیده است. در آزمایش دیگری نیز محققان کاهش مقدار آهن گیاه را در اثر کاربرد فسفر گزارش دادند (غلامی و همکاران، ۱۳۸۹). درحالی‌که محققان دیگری گزارش کردند که اثر محلول‌پاشی برگی نانوذرات آهن بر میزان فسفر برگ لوبیا چشم بلبلی غیر معنی‌دار بود (Monsef Afshar *et al*., 2012).

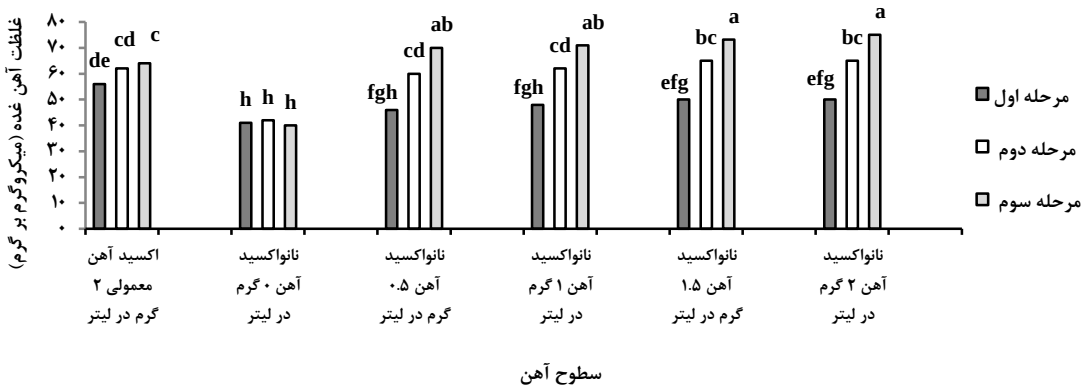
[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.45.4.4]

جدول ۶: تجزیه واریانس اثر غلظت‌های مختلف نانواکسید آهن و مراحل مختلف محلول‌پاشی بر عملکرد و غلظت عناصر غده سیب‌زمینی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		آهن غده	فسفر غده	پتاسیم غده	کلسیم غده	درصد ماده خشک غده
تکرار	۲	۴۲/۶۶	۳۱۲/۹۶	۱/۲۸۳	۱/۲۱۹	۱۷/۵۷۴
غلظت آهن	۵	۵۲۵/۱۸ **	۶۵۷/۴*	۰/۷۰۳ ns	۹۲/۸۹**	۳/۸۰۷ ns
مراحل محلول‌پاشی	۲	۱۲۳۹/۰۵**	۴۵۷/۴ ns	۲/۴۹۵*	۰/۷۳ ns	۱/۱۲۹ ns
غلظت آهن× مراحل محلول‌پاشی	۱۰	۸۲/۹۴**	۷۴/۰۷ ns	۰/۲۸۷ ns	۰/۵۹ ns	۱/۰۶۲ ns
خطای آزمایشی	۳۴	۱۹/۳۷	۲۴۶/۷۸	۰/۵۵۶	۱۱/۰۶۱	۵/۲۶
ضریب تغییرات	-	۷/۶۹	۳۰/۶۲	۱۸/۹۰۵	۷/۴۶۹	۱۱/۴۴

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.



شکل ۴: غلظت آهن غده سیب‌زمینی در برهم‌کنش غلظت‌های مختلف و مراحل محلول‌پاشی کود نانواکسید آهن

پتاسیم غده

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر مراحل محلول‌پاشی کود نانواکسید آهن بر غلظت پتاسیم جذب شده غده سیب‌زمینی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۶). اثر غلظت نانواکسید آهن و برهم‌کنش این دو عامل بر صفت مذکور غیرمعنی‌دار بود. مقایسه میانگین اثر مراحل محلول‌پاشی نانواکسید آهن بر غلظت پتاسیم جذب شده غده سیب‌زمینی نشان داد که حداکثر غلظت پتاسیم جذب شده (۲/۲ صدم درصد) با محلول‌پاشی در زمان پرشدن غده حاصل شد که با تیمار محلول‌پاشی در زمان شروع غده‌بندی در گروه برتر و مشترک قرار داشت (جدول ۵). تیمار محلول-پاشی در زمان گل‌دهی با ۱/۵ صدم درصد کم‌ترین غلظت پتاسیم جذب شده غده را به خود اختصاص داد. پژوهشگران در آزمایش مشابهی گزارش کردند که اثر محلول‌پاشی برگی نانوذرات آهن بر میزان پتاسیم برگ لوبیا چشم بلبلی معنی‌دار

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]
[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.45.4.4]

بوده است (Monsef Afshar *etal.*, 2012). هم‌چنین گزارش شده است که کاربرد نانوکودهای کلات آهن در گیاهان اسفناج اثرهای مثبتی بر تجمع پتاسیم داشتند (Vattani *et al*., 2012). مطالعات دیگری نشان داد که محلول‌پاشی برگی $Feso_4$ با افزایش مقدار کلروفیل برگ و به‌دنبال آن افزایش انرژی در گیاه موجب افزایش غلظت پتاسیم در گل سوسن گردید (Mohamadipoor *et al*., 2013).

کلسیم غده

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر غلظت کود نانواکسید آهن بر غلظت کلسیم جذب شده غده سیب-زمینی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردید. اثر مراحل محلول‌پاشی نانواکسید آهن و برهم‌کنش این دو عامل بر صفت مذکور غیرمعنی‌دار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین اثر غلظت نانواکسید آهن بر غلظت کلسیم جذب شده غده سیب‌زمینی نشان می‌دهد که حداکثر غلظت کلسیم جذب شده غده (۰/۱۱ صدم درصد) به‌طور مشترک در هر چهار غلظت تیمار با نانواکسید آهن حاصل شد که با تیمارهای شاهد اختلاف معنی‌دار داشتند (جدول ۴). کم‌ترین غلظت کلسیم جذب شده غده (۰/۰۹ صدم درصد) در تیمار شاهد بدون مصرف کود آهن مشاهده گردید. کمبود آهن با کاهش موجودی انرژی و کاهش جذب فعال آنیون‌ها در سلول‌های ریشه موجب کاهش جذب کاتیون‌هایی مثل پتاسیم و کلسیم می‌شود (Mahmoudi *et al*., 2005).

درصد ماده خشک غده

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر غلظت‌های مختلف کود نانواکسید آهن، مراحل مختلف محلول‌پاشی و برهم‌کنش این دو عامل بر درصد ماده خشک غده سیب‌زمینی غیرمعنی‌دار به‌دست آمد (جدول ۶). به‌نظر می‌رسد با توجه به افزایش معنی‌دار عملکرد غده سیب‌زمینی تحت تاثیر کاربرد نانوکود آهن و محلول‌پاشی در مرحله پرشدن غده، این افزایش از طریق بهبود صفات وابسته به عملکرد نظیر تعداد غده در بوته جبران شده و تاثیری بر درصد ماده خشک غده نداشت که نتایج حاصل توسط پژوهشگران دیگری نیز تایید شده است (Mitiku *et al*., 2019).

عملکرد غده سیب‌زمینی در هکتار

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر غلظت‌های مختلف کود نانواکسید آهن و مراحل مختلف محلول‌پاشی بر عملکرد غده سیب‌زمینی در هکتار در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). برهم‌کنش این دو عامل بر صفت مذکور غیرمعنی‌دار بود. مقایسه میانگین اثر غلظت نانواکسید آهن بر عملکرد در هکتار نشان داد که حداکثر عملکرد غده در هکتار به میزان ۴۰/۱ تن در غلظت ۲ گرم در لیتر نانواکسید آهن حاصل شد (که معادل برداشت ۳/۰۰۷ کیلوگرم آهن در هکتار بود) که با غلظت‌های ۱/۵ و ۱ گرم در لیتر نانواکسید آهن در گروه برتر و مشترک قرار داشت (جدول ۴).

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.45.4.4]

حداقل عملکرد غده در هکتار (۳۷ تن در هکتار) در تیمار شاهد بدون مصرف کود آهن مشاهده گردید. مقایسه میانگین اثر مراحل محلول‌پاشی بر عملکرد غده در هکتار نشان داد که بیشترین عملکرد در هکتار به میزان ۴۰ تن در هکتار با محلول-پاشی نانواکسید آهن در زمان پرشدن غده حاصل شد که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار داشته و کم‌ترین عملکرد غده (۳۸ تن در هکتار) با محلول‌پاشی در زمان گل‌دهی حاصل شد (جدول ۵). به‌دلیل اینکه خاک محل آزمایش اسیدیته بالایی داشت و در این شرایط کمبود عناصر ضروری گیاه مانند آهن وجود دارد، از نتایج به‌دست آمده می‌توان چنین استنباط نمود که گیاهان تیمار شده با نانواکسید آهن با رفع این کمبود و بهبود سیستم فتوسنتزی و افزایش سبزینگی برگ منجر به افزایش عملکرد شده است. پژوهشگران افزایش عملکرد دانه گندم را در اثر تیمار با نانوکود آهن گزارش نمودند (عباسی و همکاران، ۱۳۹۸). هم‌چنین در آزمایش دیگری افزایش عملکرد دانه گندم را در اثر تیمار با نانوکلات آهن به افزایش شاخص سطح برگ که نتیجه افزایش فتوسنتز جاری می‌باشد نسبت دادند و افزودند که فراهمی عناصر غذایی از طریق اثر بر فرآیندهای رشد گیاهی می‌تواند موجب افزایش عملکرد گردد (Baghai and Maleki Farahani, 2014).

نتیجه‌گیری

محلول‌پاشی بوته‌های سیب‌زمینی در مراحل رشدی تعیین شده در این آزمایش می‌تواند میزان آهن غده سیب‌زمینی را تا ۷۵ میکروگرم بر کیلوگرم غده افزایش داده و اثرهای سوء ناشی از کمبود آهن در خاک را برطرف سازد. هم‌چنین درصد اسیدهای آمینه لیزین و متیونین که جزء اسید آمینه‌های ضروری بدن می‌باشند، پروتئین غده و عناصر معدنی مهم نظیر پتاسیم و کلسیم را افزایش می‌دهد. علاوه بر این عملکرد غده سیب‌زمینی در اثر کاربرد ۲ گرم در لیتر نانواکسید آهن نسبت به تیمار بدون کود به‌میزان ۸ درصد و با محلول‌پاشی در مرحله پر شدن غده نسبت به مرحله رشد رویشی به میزان ۵ درصد افزایش یافت. بنابراین طبق نتایج این تحقیق توصیه می‌شود در خاک‌های دارای مشکل جذب آهن، محلول‌پاشی آهن ترجیحا به‌صورت نانواکسید آهن به میزان ۱ گرم در لیتر، به‌دلیل عدم تفاوت معنی‌دار آن با سطح ۲ گرم در لیتر در بیشتر صفات مورد مطالعه، طی مراحل رشدی گیاه به‌ویژه در طول دوره پرشدن غده جهت دست‌یابی به کیفیت و عملکرد ایده‌آل سیب‌زمینی و صرفه‌جویی در هزینه‌ها انجام گیرد.

منابع

ایوبی، ن.، لایی، ق.، امینی دهقی، م.، سینکی، ج.م. و رضوان، ش. ۱۳۹۷. اثر محلول‌پاشی نانوکلات آهن و اسید فولیک بر عملکرد دانه و برخی صفات فیزیولوژیک ارقام کنجد در شرایط تنش خشکی. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱۰ (۴۰): ۵۵-۷۴.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.45.4.4]

بوربوری، م.ر. و طهرانی، م.م. ۱۳۹۰. بررسی اثرات کاربرد عناصر آهن و منگنز بر خصوصیات کمی و کیفی گندم پیشتاز. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۳ (۹): ۶۳-۷۷.

بیگی، ا.ح.، نصری، م.، اویسی، م. و طریق الاسلامی، م. ۱۳۸۹. بررسی اثر تنش خشکی و محلول پاشی کود آهن در مرحله گلدهی بر میزان عملکرددانه، پروتئین و روغن دانه در گیاه سویا، همایش ملی دستاوردهای نوین در تولید گیاهان با منشاء روغنی، بجنورد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بجنورد، ۶ صفحه.

حمزه‌پور، غ.ر.، توبه، ا.، جمال‌پور، س. و آل ابراهیم، م.ت. ۱۳۹۴. بررسی افزایش کیفیت تغذیه ای غده سیب زمینی (اسید امینه لیزین) با کاربرد نانو کود زیستی (بیوزر) در مقایسه با مصرف کودهای شیمیایی نیتروژن و فسفر. اولین همایش ملی تخصصی علوم کشاورزی و محیط زیست ایران، اردبیل، مرکز پژوهشی زمین کاو. ۵ صفحه.

عباسی، ن.ا.، چراغی، ج. و حاجی‌نیا، س. ۱۳۹۸. تاثیر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی آهن و روی به‌صورت نانو و شیمیایی بر صفات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه دو رقم گندم نان. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱۱ (۴۳): ۸۵-۱۰۴.

عقیقی شاهوردی کندی، م.، توبه، ا.، قلیپوری، ع.، حسن‌پناه، د. و سفالیان، ا. ۱۳۹۰. بررسی میزان پروتئین ارقام سیب‌زمینی با تاکید بر اسید آمینه لایسین تحت تاثیر سطوح مختلف کودی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.

غلامی، ع.، جعفرنژادی، ع.ر.، صیاد، غ.ع. و دوامی، ا.م. ۱۳۸۹. توابع انتقالی و پهنه‌بندی عنصر آهن در بذر گندم و خاک برخی مزارع جنوبی استان خوزستان. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۲ (۳): ۵۶-۷۹.

فتحی امیرخیز، ک.، امینی دهقی، م.، مدرس ثانوی، س.م.ع. و حشمتی، س. ۱۳۹۰. اثر کاربرد خاکی و برگی عنصر آهن (Fe) بر برخی خصوصیات بیوشیمیایی گلرنگ (Carthamus tinctorius L.)، تحت دو رژیم رطوبتی. نشریه علوم گیاهان زراعی، ۴۲ (۳): ۵۱۸-۵۰۹.

کشاورز، ن.، بقایی، ن. و غفاری، م. ۱۳۹۰. بررسی اثر محلول پاشی نانو کود آلی کلاته آهن بر خصوصیات کمی و کیفی گندم دیم. همایش ملی دستاوردهای نوین در زراعت، شهرقدس، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس، ۶ صفحه.

یقبانی، م. و محمدزاده، ج. ۱۳۸۴. بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی نشاسته ارقام غالب سیب زمینی منطقه گلستان. فصلنامه علوم و صنایع غذایی ایران، ۲ (۴): ۷۹-۷۱.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.45.4.4]

Ahmed, H.U., Ali, M.S. and Dey, T.K. 2000. Tuber crop disease management. Poster presented in the International Conference on Integrated Plant Disease Management for Sustainable Agriculture. Indian Phytopathological Society, New Delhi, India.3:1281 p.

Alturkci, A. and Helal, M. 2004. Mobilization to Pb, Zn, Cu and Cd in polluted soil. International Pakistan Journal of Biological Sciences. 7: 0972-0980.

AOAC. 2005. Official methods of analysis, 18 ed. Washington, DC, Association of Official Analytic Chemists.

Baghai, N. and Maleki Farahani, S. 2014. Comparison of Nano and micro Chelated iron fertilizers on quantitative yield and assimilates allocation of saffron (*Crocus sativus* L.). Journal of Saffron Research. 1 (2): 156-169.

Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry. 72: 248-254.

Bybordy, A. and Mamedov, G. 2010. Evaluation of application methods for efficiency of zinc and iron for canola (*brassiaca napus*). Notulae Scientia Biologicae. 2 (1): 94-103.

Chen, J., Wu, F. H., Shang, Y. T., Wang, W. H., Hu, W. J., Simon, M., Liu, X., Shangguan, Z. P. and Zheng, H. L. 2015. Hydrogen sulphide improves adaptation of Zea mays seedlings to iron deficiency. Journal of Experimental Botany. 66 (21): 5-22.

Graziano, M. and Lamattina, L. 2007. Nitric oxide accumulation is required for molecular and physiological responses to iron deficiency in tomato roots. The Plant Journal. 52 (5): 949–960.

Jeong, J. and Guerinot, M. L. 2009. Homing in on iron homeostasis in plants. Trends in Plant Science. 14 (5): 280–285.

Jones, J. B. 2001. Laboratory guide for conduction soil tests and plant analysis. CRC press LLC, U.S.

Lindsay, W. L. and Norvell, W. A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Science Society of American Journal. 42: 421-428.

Liu, X., Feng, Z., Zhang, S., Zhang, J., Xiao, Q. and Wang, Y. 2006. Preparation and testing of cementing nano-subnano composites of slower controlled release of fertilizers. Scientia Agricultura Sinica. 39: 1598-1604.

Mahmoudi, A., Labidi, S., Ksouri, N., Gharaslli, M. and Abdelly, R. 2005. Differential tolerance to iron deficiency of chickpea varieties and Fe resupply effects. Comptes Rendus Biologies. 330: 237-246.

Matlabi, M., Kazemian, R. and Sheikhy, S. 2010. Effect of iron nano oxide spraying on sorghum yield.Sarhad Journal of Agriculture. 11 (8): 123-129.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.45.4.4]

Mazaherinia, M., Astaraei, A. R., Fotovat, A. and Monshi, A. 2010. Effect of Nano iron oxide particles and on Fe, Mn, Zn, Cu concentrations in wheat plant. World Applied Science Journal. 7 (1): 156-162.

Mazaherinia, S., Astaraei, A. R., Monshi, A. and Fotovat, A. 2011. A comparison of uptake and concentration of iron (Fe) in wheat (*Triticum Aestivum* L.) plant using ordinary and nano iron oxides.Applied Field Crops Research. 24 (92): 103-111.

Mitiku, M., Tolasa, M. and Bekele, M. 2019. Effects of blended NPS fertilizer and composted cattle manure rates on potato (*Solanum tuberosum* L.) production: A review. International Journal of Agriculture and Agribusiness. 5 (2): 118-129.

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

Monsef Afsar, R., Hadi, H. and Pirzad, A. 2012. Effect of spraying nano-iron on characteristics qualitative and quantitative of cowpea, under drought stress end of season. International Research Journal of Applied and Basic Sciences. 3 (8): 1709-1717.

Vattani, H., Keshavarz, N. and Baghaei, N. 2012. Effect of sprayed Soluble different levels of iron chelate Nano fertilizer on nutrient uptake efficiency in two varieties of spinach (Varamin88 and Virofly). International Research Journal of Applied and Basic Sciences. 3 (S): 2651-2656.

William, H. 2000. Official methods of analysis of AOAC international. 17th ed. USA: AOAC International: Pages 36-37.

Zeidan, M. S., Mohamed, M. F. and Hamouda, H. A. 2010.Effect of Foliar Fertilization of Fe, Mn and Zn on Wheat Yield and Quality in Low Sandy Soils Fertility. World Journal of Agricultural Sciences. 6 (6): 696-699.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.45.4.4]

Investigating the Possibility of Increasing the Quality of Potatoes (*Solanum tuberosum* L.) by Iron Nano Oxide Foliar Application

A. Barghi[1*] and A. Gholipoori[2]

1) Ph.D. Student of Department of Agroecology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
2) Associate Professor of Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

[*]**Corresponding author: a_barghi@uma.ac.ir**

Received date: 2019.08.17 **Accepted date: 2019.11.20**

Abstract

Alkalinity of the soil is one of the main problems in some soils of Iran, which reduces the solubility and reduces the absorption of essential nutrients, including the iron element for the plant. Iron deficiency in plants reduces photosynthesis and reduces production. The present experiment, as a factorial, was conducted in the form of a statistical design of complete randomized blocks and in 3 replications. The first factor including six levels of iron nano oxide fertilizer 0, 0.5, 1, 1.5 and 2 gram per liter and ordinary iron oxide in the amount of 2 gram per liter and the second factor including three stages of foliar application (vegetative growth period, beginning of tubing and tuber filling). The results showed that the application of iron nano oxide at the rate of 2 gram per liter compared to control treatment increased the amount of lysine in the tuber by 55 percent, the amount of methionine in the tuber by 45 percent, the amount of calcium in the tuber by 18 percent and the tuber yield by 7 percent. While the amount of phosphorus in the tuber was reduced by 34 percent with the application of 2 gram per liter of iron nano oxide. Foliar application of iron nano oxide significantly increased the amounts of methionine, potassium, and tuber yield at the time of tuber filling and beginning of tubing compared to the time of vegetative growth and the highest tuber methionine percentage with 0.34 percent, the most potassium content of tuber with 2.2 percent and the most tuber yield with 40 tons per hectare was acquired due to foliar application during tuber filling period. The percentage of protein, starch, and iron in the tuber increased with increasing the concentration of foliar application of iron nano oxide to concentrations of 1.5 and 2 gram per liter and in all levels of iron nano oxide, foliar application of fertilizer also increased the amounts of protein, starch and iron during the tuber filing. According to the results, since there was no significant difference among the iron nano oxide by concentrations of 1, 1.5 and 2 grams per liter in all studied traits, therefore, foliar application of iron nano oxide at a concentration of 1 gram per liter at the stage of tuber filling, which is more economical, is recommended.

Keywords: Amino acid, Tuber protein, Yield and Starch.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.45.4.4]