University of Tehran Press

**Journal of Crops Improvement**

**Online ISSN: 2345-6957**

**Homepage: https://jci.ut.ac.ir/**

# Effect of foliar application of Magnesium sulfate and Manganese sulfate on yield and some quantitative traits of Agria cultivar Potato

**Morteza Barmaki[1]✉ | Damoon Rajabzadeh[2] | Khadijeh Aghaeifard[3]**

1. Corresponding Author, Department of Plant Prodution and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: m_barmaki@uma.ac.ir
2. Department of Plant Prodution and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: d.rajabzadeh@student.uma.ac.ir
3. Department of Plant Prodution and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: kh.aghaei@uma.ac.ir

**Article Info**

**Article type:**
Research Article

**Article history:**
Received 25 May 2021
Received in revised form
26 August 2023
Accepted 27 August 2023
Published online
20 September 2023

**Keywords:**
*Economical yield*
*Fertilizer level*
*Nutritional elements*
*Plant height*
*Stem diameter*

**ABSTRACT**

**Objective:** The present research was conducted in order to investigate the effect of different levels of Magnesium sulfate and Manganese sulfate on yield and some quantitative traits of Potato in Agria cultivar.

**Methods:** The experiment was conducted as a factorial in the form of a randomized complete block design with three replications during 2018- 2019 growing season in Nir city. The first factor included foliar application of Manganese sulfate at two levels: control and 5 per thousand, and the second factor involved foliar application of Magnesium sulfate at five levels: (control, 1.5, 3, 4.5, and 6 per thousand), used in the stages of early tuberculosis and 50% tuberculosis.

**Results:** The results of analysis of variance showed that with the exception of the number of stems and the number of uneconomical tubers, the effect of Manganese sulfate on the number of usable tubers at the level of five percent and in the other studied traits was significant at 1% level. The effect of Magnesium sulfate had a significant effect on plant height at 5% level and on other studied traits at 1% level. However, the interaction of experimental treatments was not significant. The highest tuber yield of 44.9 $t.ha^{-1}$ belonged to foliar application with a concentration of 5 per thousand manganese sulfate. The highest effect of Magnesium sulfate foliar application on the number of usable tubers was 34.4%, compared to the control. On average, foliar application of Magnesium sulfate increased tuber yield by 12.3%, compared to the control treatment.

**Conclusion:** Considering that in most of the studied traits, foliar application of 5 per thousand Manganese sulfate and 4.5 per thousand Magnesium sulfate showed better results than other treatments, these fertilizer levels can be recommended for this cultivar in this area.

**Cite this article:** Barmaki, M., Rajabzadeh, D., & Aghaeifard, Kh. (2023). Effect of foliar application of Magnesium sulfate and Manganese sulfate on yield and some quantitative traits of Agria cultivar Potato. *Journal of Crops Improvement*, 25 (3), 651-667. DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2023.324438.2558

© The Authors.
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2023.324438.2558

انتشارات دانشگاه تهران

به زراعی کشاورزی

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

شاپا الکترونیکی: ۶۹۵۷-۲۳۴۵

# تأثیر محلول‌پاشی سولفات‌منیزیم و سولفات‌منگنز بر عملکرد و برخی صفات کمی سیب‌زمینی رقم آگریا

**مرتضی برمکی[۱]✉ | دامون رجب‌زاده[۲] | خدیجه آقائی‌فرد[۳]**

۱. نویسنده مسئول، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: m_barmaki@uma.ac.ir

۲. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: d.rajabzadeh@student.uma.ac.ir

۳. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: kh.aghaei@uma.ac.ir

**اطلاعات مقاله**

**نوع مقاله:**
مقالهٔ پژوهشی

**تاریخ دریافت:** ۱۴۰۰/۰۳/۰۴
**تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۲/۰۶/۰۴
**تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۲/۰۶/۰۵
**تاریخ انتشار:** ۱۴۰۲/۰۶/۲۹

**کلیدواژه‌ها:**
*ارتفاع بوته*
*سطح کودی*
*عملکرد اقتصادی*
*عناصر غذایی*
*قطر ساقه*

**چکیده**

**هدف:** پژوهش حاضر به‌منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف سولفات‌منیزیم و سولفات‌منگنز بر عملکرد و برخی صفات کمی سیب‌زمینی رقم آگریا انجام شد.

**روش پژوهش:** آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در شهرستان نیر اجرا شد. فاکتور اول شامل محلول‌پاشی سولفات‌منگنز در دو سطح شاهد و پنج در هزار و فاکتور دوم شامل محلول‌پاشی سولفات‌منیزیم در پنج سطح (شاهد، یک و نیم، سه، چهار و نیم و شش در هزار) در مراحل شروع غده‌دهی و ۵۰ درصد غده‌دهی بودند.

**یافته‌ها:** نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سولفات‌منگنز بر صفت تعداد غده قابل‌استفاده در سطح پنج درصد و در بقیه صفات موردمطالعه به‌جز صفات تعداد ساقه و تعداد غده غیر اقتصادی در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اثر سولفات‌منیزیم بر ارتفاع بوته در سطح پنج درصد و در بقیه صفات موردبررسی در سطح یک درصد تأثیر معنی‌دار داشت. اما، اثر متقابل تیمارهای آزمایش غیر معنی‌دار بود. بیش‌ترین عملکرد غده به‌میزان ۴۴/۹ تن در هکتار با محلول‌پاشی با غلظت پنج در هزار سولفات‌منگنز به‌دست آمد. بیش‌ترین تأثیر محلول‌پاشی سولفات‌منیزیم بر تعداد غده قابل استفاده به‌میزان ۳۴/۴ درصد نسبت به تیمار شاهد بود. به‌طور میانگین، محلول‌پاشی سولفات‌منیزیم باعث افزایش ۱۲/۳ درصد عملکرد غده نسبت به تیمار شاهد گردید.

**نتیجه‌گیری:** با توجه به این‌که در اکثر صفات موردبررسی در این پژوهش، محلول‌پاشی پنج در هزار سولفات‌منگنز و چهار و نیم در هزار سولفات‌منیزیم نسبت به سایر تیمارها نتایج بهتری را نشان داد، می‌توان این سطوح کودی را در این منطقه برای این رقم توصیه نمود.

**استناد:** برمکی، مرتضی؛ رجب‌زاده، دامون؛ و آقائی‌فرد، خدیجه (۱۴۰۲). تأثیر محلول‌پاشی سولفات‌منیزیم و سولفات‌منگنز بر عملکرد و برخی صفات کمی سیب‌زمینی رقم آگریا. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۵ (۳)، ۶۵۱-۶۶۷. DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2023.324438.2558

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

CC BY NC

## ۱. مقدمه

سیب‌زمینی (*Solanum tuberasum* L.) گیاهی یک‌ساله و از گیاهان غده‌ای است که نقش مهمی در تغذیه مردم جهان داشته و از عملکرد قابل‌توجهی در واحد سطح برخوردار می‌باشد (خواجه‌پور، ۱۳۹۱). غده سیب‌زمینی منبع خوبی از انرژی، عناصر معدنی، پروتئین، چربی و ویتامین‌هاست که حاوی ۷۰–۸۰ درصد آب، ۲۰/۶ درصد کربوهیدرات، ۲/۱ درصد پروتئین، ۰/۳ درصد چربی، ۱/۱ درصد فیبر خام و ۰/۹ درصد خاکستر می‌باشد (Banjare *et al*., 2014) و به‌طور چشم‌گیری از آن در تهیه محصولات صنعتی استفاده می‌شود (Jagatee *et al*., 2015).

از جمله عوامل مؤثر در بهره‌وری محصولات کشاورزی، استفاده از کودهای شیمیایی است (Seleiman *et al*., 2021). به‌طوری‌که، کاربرد عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف به‌عنوان ابزاری مهم برای حصول حداکثر عملکرد در واحد سطح موردتوجه قرار گرفته است. عناصر غذایی علاوه بر بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی محصولات کشاورزی، در سلامتی انسان و دام تأثیر به‌سزایی دارند. این عناصر ضمن شرکت در ساختار بعضی از اندامک‌ها، در بسیاری از واکنش‌های بیوشیمیایی گیاه دخالت دارند (Shukla *et al*., 2018).

پژوهش‌ها نشان داده است که محلول‌پاشی برگی عناصر غذایی، یکی از روش‌های سریع جهت پاسخ گیاهان به افزودن کود است که منجر به صرفه‌جویی در مصرف کود نیز می‌گردد (جوکار و رونقی، ۱۳۹۴). علاوه بر آن‌ها، با به حداقل‌رساندن آلودگی‌های زیست‌محیطی و آب‌های زیرزمینی، در راستای نیل به کشاورزی پایدار، نقش به‌سزایی دارد (Janmohammadi *et al*., 2018).

با توجه به آهکی‌بودن بیش‌تر خاک‌های ایران و پایین‌بودن قابلیت جذب عناصر کم‌مصرف و پرمصرف در این خاک‌ها، کمبود عناصر غذایی از جمله منیزیم و منگنز، می‌تواند یکی از عوامل محدودکننده رشد و نمو و تولید عملکرد سیب‌زمینی باشد، به‌همین دلیل، هدف از این پژوهش بررسی تأثیر محلول‌پاشی سطوح مختلف منیزیم و منگنز بر برخی صفات کمی و عملکرد سیب‌زمینی رقم آگریا بود.

## ۲. پیشینهٔ پژوهش

عنصر منیزیم یک فعال‌کننده آلوستریک[1] در بیش از ۳۰۰ آنزیم می‌باشد (Senbayram *et al*., 2015; Herman *et al*., 2017) و هرچند به مقدار کم در گیاه مصرف می‌شود، اما کمبود آن ممکن است به‌طور بارز دوره رشد گیاه را مختل نماید (بصیرت و مطلبی‌فرد، ۱۳۹۵). در پژوهشی روی سیب‌زمینی نشان داده شد که اثر متقابل محلول‌پاشی کلسیم و منیزیم بر عملکرد غده، کیفیت و جذب عناصر غذایی آن در شاخه‌ها و غده‌ها تأثیر معنی‌دار داشت (El-Hadidi *et al*., 2017). محلول‌پاشی منیزیم باعث افزایش عملکرد غده در بوته، عملکرد کل غده در هکتار و وزن خشک اندام‌های هوایی تا سطح محلول-پاشی ۰/۲ درصد منیزیم شد، اما اثر معنی‌دار روی تعداد غده‌ها در بوته و میانگین وزن غده‌ها نداشت. در اثر محلول‌پاشی ۰/۲ درصد منیزیم، وزن خشک اندام‌های هوایی ۷/۵ درصد و عملکرد غده‌ها ۱۰/۹ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. پژوهش‌گران بیان کردند که این نتایج با افزایش صفات رشد رویشی مرتبط است که ممکن است به نقش مهم منیزیم در گیاه نسبت داده شود. به‌طوری‌که، محلول‌پاشی منیزیم باعث افزایش کلروفیل برگ، سطح برگ و تعداد برگ در گیاه شده و در نتیجه بر روی رشد کل گیاه و عملکرد آن به‌عنوان عملکرد غده تأثیر گذاشته است (El-Hadidi *et al*., 2017). افزایش عملکرد غده سیب‌زمینی با کاربرد کود منیزیم نسبت به گیاهان شاهد گزارش شده است (Wang

1. Allosteric

*et al*., 2020). پژوهش‌گران روی سیب‌زمینی به این نتیجه رسیدند که در اثر کمبود منیزیم، عملکرد غده در تیمارهای مختلف نسبت به گیاهان شاهد کاهش یافت (Koch *et al*., 2019). در بررسی تأثیر روش‌های محلول‌پاشی منیزیم و کلسیم بر بهره‌وری و کیفیت محصول سیب‌زمینی در کشت زمستانه بیان شد که در اثر محلول‌پاشی سولفات‌منیزیم، وزن خشک اندام‌های هوایی و عملکرد سیب‌زمینی در اولین و دومین سال آزمایش نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت که دلیل آن را به نقش مهم منیزیم در افزایش فعالیت متابولیسم گیاه نسبت دادند که بر عملکرد غده و افزایش کیفیت غده تأثیر گذاشته است (El-Metwaly & Mansour, 2019). در آزمایشی دیگر، در بررسی تأثیر محلول‌پاشی عناصر غذایی بر رشد، عملکرد و کیفیت سیب‌زمینی نشان دادند که محلول‌پاشی سولفات‌منیزیم با غلظت‌های ۰/۳ و ۰/۵ درصد سبب افزایش عملکرد غده نسبت به تیمار شاهد شد (Shanwaz *et al*., 2020). هم‌چنین، پژوهش‌گران گزارش کردند که محلول-پاشی بوته‌های گوجه‌فرنگی با منیزیم، سبب افزایش ارتفاع بوته، تعداد شاخه در گیاه، تعداد گل، تعداد میوه در بوته، وزن میوه و عملکرد میوه‌ها در مقایسه با تیمار شاهد شد (Ilyas *et al*., 2014).

عنصر منگنز نیز، نقش‌های مهمی در گیاهان ایفا می‌کند. منگنز در بخشی از فرایندهای مرتبط با فتوسنتز، بیوسنتز ویتامین ث و نقل و انتقالات ترکیبات نیتروژن‌دار دخالت داشته و در جذب فسفر و آهن از خاک نیز اثرگذار است (Baranowska *et al*., 2017). از این‌رو، می‌توان اظهار داشت که دلیل اصلی توجه بیش‌تر به اهمیت عناصر کم‌مصرف در گیاهان، تخلیه بیش از حد این عناصر و عدم افزودن آن‌ها به خاک و به‌دنبال آن پیدایش کمبود و بروز مشکلات تغذیه‌ای است (Shukla *et al*., 2018). نتایج بررسی تأثیر سطوح مختلف منگنز بر عملکرد غده نشان داد که بالاترین عملکرد غده در سطح ۱۰ میلی‌گرم منگنز در کیلوگرم خاک به‌دست آمد که باعث افزایش عملکرد غده نسبت به تیمار شاهد شد (عروجی و گلچین، ۱۳۹۱). مطالعه محلول‌پاشی روی و منگنز و تأثیر آن‌ها بر عملکرد و ویژگی‌های کیفی سیب‌زمینی نشان داد که محلول‌پاشی منگنز تأثیر معنی‌دار بر صفات ارتفاع بوته، وزن غده و عملکرد سیب‌زمینی داشت (Kaur *et al*., 2018). هم‌چنین، نتایج به‌دست‌آمده از پژوهشی نشان داد که مقدار منگنز در غده‌های ارقام سیب‌زمینی در طیفی از ۱۱/۴ الی ۳۱/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک، بسته به غلظت به‌کاررفته از کود و سال آزمایش، به‌طور معنی‌دار تغییر نیافت، هرچند با کاربرد غلظت‌های بالاتر از کود، از میزان این عنصر در غده‌ها کاسته شد (Baranowska *et al*., 2017).

به‌طورکلی اراضی زراعی با مقدار کم‌تر از ۲۰ قسمت در میلیون با کمبود منگنز و خاک‌های با مقدار کم‌تر از ۵۰ قسمت در میلیون به منزله پایین‌بودن این عنصر می‌باشد. در خصوص میزان منیزیم، حد مطلوب آن بین ۰/۲۴ تا ۰/۵۰ درصد می‌باشد و مقادیر کم‌تر از آن به منزله پایین‌بودن و کمبود این عنصر در خاک می‌باشد (مطلبی‌فرد، ۱۳۹۷).

## ۳. روش‌شناسی پژوهش

به‌منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف سولفات‌منیزیم و سولفات‌منگنز بر عملکرد و برخی صفات کمی رقم آگریا، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، در مزرعه‌ای واقع در ۱۷ کیلومتری (عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۶ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۸ دقیقه و ارتفاع ۱۴۴۰ متر از سطح دریا) اردبیل در روستای رضاقلی قشلاقی از توابع شهرستان نیر، در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد. منطقه یادشده دارای اقلیم کشاورزی نیمه‌خشک ملایم با میانگین بارندگی سالانه ۳۶۸ میلی‌متر، میانگین حداقل دمای سالانه ۴ درجه سانتی‌گراد، میانگین دمای حداکثر ۱۶/۳ درجه سانتی‌گراد و میانگین دمای متوسط ۱۰/۲ درجه سانتی‌گراد است. وضعیت آب‌وهوایی منطقه در جدول (۱) آمده است. جدول (۲) نتایج آزمون خاک را نشان می‌دهد.

تیمارهای موردمطالعه در این آزمایش شامل دو فاکتور کود سولفات‌منگنز در دو سطح شاهد و پنج در هزار و کود

سولفات‌منیزیم در پنج سطح شاهد، یک‌ونیم، سه، چهار و نیم و شش در هزار بودند که به‌صورت محلول‌پاشی مورداستفاده قرار گرفتند. رقم سیب‌زمینی مورداستفاده در این آزمایش، آگریا بود که از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل تهیه شد. برای اجرای آزمایش ابتدا عملیات تهیه بستر بذر در زمین موردنظر بعد از برداشت گندم در سال قبل، با انجام شخم با گاوآهن شروع و با انجام پنجه‌غازی در فروردین‌ماه و تسطیح با دیسک در همان زمان برای کشت بهاره ادامه یافت. به‌منظور ایجاد جوی و پشته از دستگاه شیارساز (فارور) استفاده شد. فاصله بین ردیف ۷۵ سانتی‌متر و بین بوته ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. تعداد ردیف در هر کرت ۵ ردیف و طول هر ردیف ۵ متر بود. کاشت در ۱۸ فروردین‌ماه ۱۳۹۸ به‌صورت دستی انجام شد. آبیاری مزرعه بلافاصله بعد از کاشت انجام شد. تیمارهای موردنظر براساس طرح آزمایش و به‌صورت تصادفی در کرت‌های موردنظر اعمال شدند. محلول‌پاشی با عناصر موردنظر طبق مقیاس BBCH (Hack *et al*., 2001) در دو نوبت به‌ترتیب در BBCH کد ۴۰ (مرحله شروع غده‌دهی) و BBCH کد ۴۵ (مرحله ۵۰ درصد غده‌دهی) در تاریخ‌های ۱۷ و ۲۹ خردادماه ۱۳۹۸ انجام شد. مقیاس BBCH مقیاسی است که اغلب برای شناسایی مراحل رشد فنولوژیکی سیب‌زمینی از کاشت تا برداشت استفاده می‌شود و دوره‌های رشد اصلی مانند پوشش گیاهی و رشد زایشی را از سایر دوره‌ها متمایز می‌کند (Ahmadi *et al*., 2014). میزان محلول‌پاشی به‌نحوی بود که بوته‌های سیب‌زمینی به‌طور کامل آغشته به محلول شدند. آبیاری مزرعه مطابق عرف منطقه صورت گرفت و به‌منظور مبارزه با آفات و علف‌های هرز احتمالی، از روش‌های تلفیقی (وجین به‌همراه آفت‌کش یا علف‌کش پاراکوات بعد از کاشت و قبل از سبزشدن بوته‌ها) استفاده شد. در طول فصل رشد مراقبت‌های لازم برای گیاه مانند وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد.

**جدول ۱.** اطلاعات هواشناسی شهرستان نیر از فروردین‌ماه تا پایان شهریورماه سال ۱۳۹۸

| | ماه | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| عوامل | فروردین | اردیبهشت | خرداد | تیر | مرداد | شهریور |
| حداقل مطلق دمای هوا (درجه سانتی‌گراد) | −۵/۶ | −۷/۸ | ۴/۴ | ۴/۲ | ۷/۶ | ۳/۵ |
| حداکثر مطلق دمای هوا (درجه سانتی‌گراد) | ۲۰/۱ | ۲۶/۲ | ۳۱/۴ | ۳۶/۷ | ۳۶/۲ | ۳۳/۹ |
| متوسط حداقل دمای هوا (درجه سانتی‌گراد) | ۱/۳ | ۴/۱ | ۸/۷ | ۱۰/۸ | ۱۱/۵ | ۹/۸ |
| متوسط حداکثر دمای هوا (درجه سانتی‌گراد) | ۱۱/۲ | ۱۸/۰ | ۲۵/۲ | ۲۶/۹ | ۲۷/۳ | ۲۲/۱ |
| متوسط کل دمای هوا (درجه سانتی‌گراد) | ۶/۲ | ۱۱/۰ | ۱۷/۰ | ۱۸/۸ | ۱۹/۴ | ۱۶/۰ |
| بارندگی (میلی‌متر) | ۷۵/۹ | ۳۸/۰ | ۲۱/۸ | ۱/۲ | ۰/۳ | ۳۰/۷ |
| متوسط رطوبت نسبی (درصد) | ۶۷/۹ | ۵۸/۳ | ۵۴/۱ | ۵۶/۰ | ۵۴/۲ | ۶۵/۹ |
| متوسط تبخیر (میلی‌متر در روز) | ۴/۲ | ۵/۲ | ۶/۸ | ۷/۷ | ۷/۳ | ۴/۹ |
| متوسط ساعت آفتابی (ساعت/ روز) | ۵/۳ | ۸/۵ | ۱۰/۱ | ۱۱/۱ | ۱۰/۲ | ۶/۸ |

**جدول ۲.** ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

| بافت خاک | رس (درصد) | سیلت (درصد) | شن (درصد) | EC (دسی‌زیمنس بر متر) | اسیدیته | درصد اشباع (درصد) | نیتروژن کل (درصد) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| لومی | ۲۲ | ۴۰ | ۳۸ | ۱/۳ | ۷/۶ | ۴۵ | ۰/۱ |
| کربن آلی (درصد) | فسفر (پی‌پی‌ام) | پتاسیم (پی‌پی‌ام) | روی (پی‌پی‌ام) | آهن (پی‌پی‌ام) | مس (پی‌پی‌ام) | منگنز (پی‌پی‌ام) | منیزیم (پی‌پی‌ام) |
| ۱/۲ | ۳۵/۸ | ۴۸۳ | ۶/۷ | ۶/۱ | ۳/۱ | ۱۳/۳ | ۵/۲ |

در نهایت در زمان گل‌دهی ۵۰ درصد از بوته‌های هر کرت، ارتفاع تعداد ۱۰ بوته از محل سطح بستر کاشت تا انتهای بلندترین ساقه اصلی هر بوته، به‌وسیله خط‌کش مدرّج برحسب سانتی‌متر اندازه‌گیری و یادداشت گردید و میانگین آن‌ها

به‌عنوان ارتفاع بوته برای هر تیمار، در نظر گرفته شد. در پایان فصل زراعی، برداشت نهایی مزرعه در تاریخ ۲۶ شهریورماه ۱۳۹۸ صورت گرفت. برای اندازه‌گیری صفات تعداد ساقه اصلی در بوته، قطر ساقه اصلی، تعداد غده در بوته، تعداد غده قابل‌استفاده (با قطر بیش‌تر از ۳۰ میلی‌متر)، تعداد غده غیر اقتصادی (با قطر کم‌تر از ۳۰ میلی‌متر) و وزن متوسط غده، تعداد ۱۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب و میانگین آن‌ها برای این صفات یادداشت شد. برای اندازه‌گیری قطر ساقه و غده از کولیس استفاده شد. برای تعیین میزان عملکرد بوته‌ها نیز، از سه ردیف میانی با حذف یک ردیف کناری از هر طرف و همین‌طور حذف نیم‌متر حاشیه از ابتدا و انتهای هر ردیف کاشت، عملکرد بوته‌ها در مساحت برداشت‌شده ثبت و پس از برآورد نسبت محصول برداشت‌شده به سطح زیر کشت، عملکرد هر تیمار برحسب کیلوگرم در هکتار برآورد گردید. نرمال‌سازی داده‌های به‌دست‌آمده با استفاده از آزمون‌های Smirno-Kalmogoro و Shapiro Wilk انجام شد. برای تجزیه داده‌ها از نرم‌افزارهای آماری SPSS (نسخه ۲۵) و SAS (نسخه ۹/۱) استفاده شد. میانگین‌ها نیز با استفاده از روش آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD)[1] در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

## ۴. یافته‌های پژوهش

### ۴. ۱. ارتفاع بوته

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی محلول‌پاشی سولفات‌منگنز و سولفات‌منیزیم بر صفت ارتفاع بوته به‌ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود، اما اثرات متقابل فاکتورهای آزمایش بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۳). محلول‌پاشی سولفات‌منگنز باعث افزایش ارتفاع بوته به مقدار ۴/۳ درصد نسبت به تیمار شاهد شد. به‌طوری‌که، بالاترین ارتفاع بوته (۸۷/۸ سانتی‌متر) در محلول‌پاشی پنج در هزار سولفات‌منگنز مشاهده شد. کم‌ترین میزان ارتفاع نیز با ۸۴/۲ سانتی‌متر متعلق به تیمار شاهد بود (جدول ۴).

در اثر محلول‌پاشی سولفات‌منیزیم بیش‌ترین ارتفاع بوته به‌میزان ۸۹/۴ سانتی‌متر از سطح کودی چهار و نیم در هزار محلول‌پاشی سولفات‌منیزیم به‌دست آمد، اگرچه به لحاظ آماری اختلاف معنی‌دار با سطوح کودی سه و شش در هزار محلول‌پاشی سولفات‌منیزیم نداشت. کم‌ترین مقدار این صفت به‌میزان ۸۱/۹ سانتی‌متر از تیمار شاهد (بدون محلول‌پاشی سولفات‌منیزیم) به‌دست آمد. نتایج نشان داد بیش‌ترین اختلاف از نظر ارتفاع بوته، بین محلول‌پاشی چهار و نیم در هزار سولفات‌منیزیم و تیمار شاهد به‌میزان ۹/۱ درصد بود (جدول ۴).

### ۴. ۲. قطر ساقه اصلی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر محلول‌پاشی سولفات‌منگنز و سولفات‌منیزیم بر صفت قطر ساقه اصلی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند، اما اثر متقابل فاکتورهای آزمایش بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۳). در اثر محلول‌پاشی سولفات‌منگنز کم‌ترین قطر ساقه اصلی به‌میزان ۱۲/۴ میلی‌متر در تیمار شاهد به‌دست آمد، در حالی‌که بالاترین قطر ساقه اصلی به‌میزان ۱۳/۵ میلی‌متر مربوط به محلول‌پاشی پنج در هزار این کود بود. به‌طوری‌که، کاربرد پنج در هزار سولفات‌منگنز در مقایسه با شاهد موجب افزایش ۸/۷ درصد قطر ساقه اصلی در بوته‌های سیب‌زمینی شد (جدول ۴).

محلول‌پاشی با غلظت‌های چهار و نیم و شش در هزار سولفات‌منیزیم، اختلاف معنی‌دار با محلول‌پاشی با غلظت سه در هزار این کود نداشت و بالاترین قطر ساقه اصلی به‌ترتیب به‌میزان ۱۳/۷، ۱۳/۷ و ۱۳/۳ میلی‌متر بود. هم‌چنین، محلول‌پاشی یک و نیم در هزار سولفات‌منیزیم تفاوت معنی‌دار با شاهد نداشت و کم‌ترین قطر ساقه اصلی (به‌ترتیب ۱۲/۲

1. Least Significant Difference

و ۱۱/۷ میلی‌متر) در این شرایط به‌دست آمد. نتایج نشان داد که محلول‌پاشی چهار و نیم و شش در هزار سولفات‌منیزیم سبب افزایش قطر ساقه اصلی به‌میزان ۱۷/۵ درصد نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۴).

## ۴. ۳. تعداد ساقه اصلی در بوته

طبق نتایج به‌دست‌آمده در جدول (۳) محلول‌پاشی سولفات‌منیزیم بر تعداد ساقه اصلی در بوته اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشت، اما اثر سولفات‌منگنز و اثرات متقابل سولفات‌منگنز و سولفات‌منیزیم بر روی این صفت معنی‌دار نبود.

**جدول ۳.** نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف محلول‌پاشی سولفات‌منگنز و سولفات‌منیزیم بر صفات کمی موردمطالعه سیب‌زمینی رقم آگریا

| منابع تغییر | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ارتفاع بوته | قطر ساقه اصلی | تعداد ساقه اصلی در بوته | تعداد غده در بوته | تعداد غده قابل استفاده | تعداد غده غیر اقتصادی | وزن متوسط غده | عملکرد غده |
| تکرار | ۲ | ۶۹/۴۷* | ۴/۸۵* | ۰/۲۸* | ۱/۲۸** | ۴/۶۸** | ۱/۰۰** | ۲۴۱/۸۰* | ۱۰/۷۱ ns |
| سولفات‌منگنز | ۱ | ۹۷/۹۲** | ۸/۸۶** | ۰/۰۱ns | ۲/۰۳** | ۱/۰۱* | ۰/۲۱ ns | ۷۷۸/۲۶** | ۳۱۰/۴۱** |
| سولفات‌منیزیم | ۴ | ۴۷/۶۷* | ۵/۲۱** | ۰/۴۰** | ۱/۵۶** | ۳/۱۳** | ۰/۵۶** | ۳۷۶/۸۱** | ۳۹/۲۶** |
| سولفات‌منگنز× سولفات‌منیزیم | ۴ | ۴/۸۷ns | ۰/۸۶ns | ۰/۰۲ns | ۰/۱۲ ns | ۰/۱۸ ns | ۰/۱۲ ns | ۴/۸۹ ns | ۰/۱۸ ns |
| اشتباه آزمایش | ۱۸ | ۱۰/۸۲ | ۰/۷۳ | ۰/۰۵ | ۰/۱۴ | ۰/۱۷ | ۰/۱۰ | ۵۶/۲۲ | ۳/۳۲ |
| ضریب تغییرات (درصد) | | ۳/۸۲ | ۶/۶۳ | ۸/۱۴ | ۴/۰۱ | ۵/۹۹ | ۱۲/۸۱ | ۶/۶۱ | ۴/۳۷ |

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

**جدول ۴.** مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف محلول‌پاشی سولفات‌منگنز و سولفات‌منیزیم بر صفات کمی موردمطالعه سیب‌زمینی رقم آگریا

| تیمارها | سطوح | ارتفاع بوته (سانتی‌متر) | قطر ساقه اصلی (میلی‌متر) | تعداد غده در بوته | تعداد غده قابل استفاده | وزن متوسط غده (گرم) | عملکرد غده (تن در هکتار) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| سولفات‌منگنز | شاهد | ۸۴/۲۱ b | ۱۲/۴۴ b | ۹/۱۲ b | ۶/۷۱ b | ۱۰۸/۳۰ b | ۳۸/۴۳ b |
| | ۵ در هزار | ۸۷/۸۸ a | ۱۳/۵۲ a | ۹/۶۵ a | ۷/۰۷ a | ۱۱۸/۴۸ a | ۴۴/۸۷ a |
| سولفات‌منیزیم | شاهد | ۸۱/۹۴ c | ۱۱/۶۹ b | ۸/۷۲ d | ۵/۷۵ c | ۱۰۳/۶۲ c | ۳۷/۹۳ b |
| | ۱/۵ در هزار | ۸۴/۷۶ bc | ۱۲/۲۴ b | ۹/۰۳ cd | ۶/۸۳ b | ۱۰۷/۴۶ bc | ۴۰/۰۴ b |
| | ۳ در هزار | ۸۷/۳۶ ab | ۱۳/۳۲ a | ۹/۳۵ bc | ۷/۰۸ b | ۱۲۲/۸۸ a | ۴۳/۲۰ a |
| | ۴/۵ در هزار | ۸۹/۳۸ a | ۱۳/۷۱ a | ۱۰/۰۳ a | ۷/۷۳ a | ۱۱۴/۳۷ ab | ۴۳/۵۳ a |
| | ۶ در هزار | ۸۶/۷۹ ab | ۱۳/۷۴ a | ۹/۶۷ ab | ۷/۰۷ b | ۱۱۸/۶۸ a | ۴۳/۵۶ a |

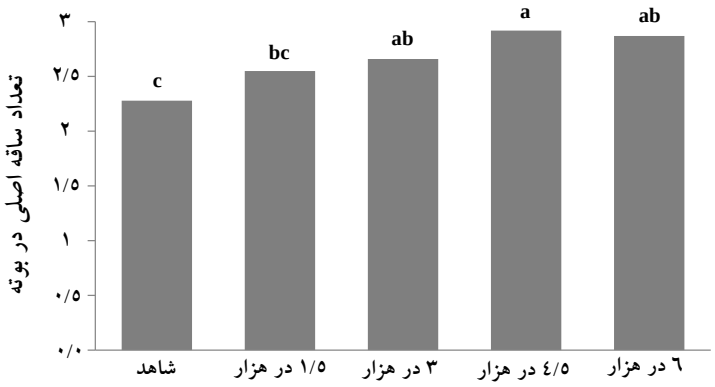
حروف غیر مشابه بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون LSD است.

بیش‌ترین تعداد ساقه اصلی در بوته از محلول‌پاشی چهار و نیم و شش در هزار سولفات‌منیزیم به‌میزان ۲/۹ ساقه به‌دست آمد، اگرچه از نظر آماری اختلاف آن‌ها با تیمار کودی سه در هزار این کود معنی‌دار نبود. کم‌ترین میزان این صفت (۲/۳ ساقه اصلی در بوته) در تیمار شاهد مشاهده شد که از نظر آماری با سایر تیمارهای کودی اختلاف معنی‌دار داشت. محلول‌پاشی چهار و نیم و شش در هزار سولفات‌منیزیم سبب افزایش این صفت به‌ترتیب به‌میزان ۲۸/۱ و ۲۵/۹ درصد نسبت به تیمار شاهد شد (شکل ۱).

## ۴. ۴. تعداد غده در هر بوته

نتایج جدول تجزیه واریانس آماری نشان داد که اثرات ساده سولفات‌منیزیم و سولفات‌منگنز بر روی صفت تعداد غده در هر بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار اما اثرات متقابل آن‌ها بر روی صفت مربوط غیر معنی‌دار بود (جدول ۳).

بیش‌ترین مقدار تعداد غده در بوته (۹/۷ غده در بوته) در اثر محلول‌پاشی پنج در هزار سولفات‌منگنز به‌دست آمد و کم‌ترین مقدار آن (۹/۱ غده در بوته) مربوط به تیمار شاهد بود. کاربرد پنج در هزار سولفات‌منگنز به‌صورت محلول‌پاشی، ۵/۸ درصد بر تعداد غده در هر بوته افزود (جدول ۴).




**شکل ۱.** اثر سطوح محلول‌پاشی سولفات‌منیزیم بر تعداد ساقه اصلی در سیب‌زمینی رقم آگریا

در اثر محلول‌پاشی سولفات‌منیزیم، بیش‌ترین تعداد غده در بوته (۱۰ غده در بوته) در تیمار کودی چهار و نیم در هزار سولفات‌منیزیم به‌دست آمد، اگرچه از نظر آماری اختلاف معنی‌دار با سطح کودی شش در هزار سولفات‌منیزیم نداشت. کم‌ترین تعداد غده در هر بوته (۸/۷ غده در بوته) نیز در تیمار شاهد مشاهده شد. کاربرد تیمار کودی چهار و نیم در هزار سولفات‌منیزیم سبب افزایش ۱۵ درصد این صفت نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۴).

### ۴. ۵. تعداد غده قابل‌استفاده

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی فاکتورهای آزمایش بر صفت تعداد غده قابل‌استفاده در هر بوته معنی‌دار بودند. به‌نحوی‌که، محلول‌پاشی سولفات‌منگنز و سولفات‌منیزیم به‌ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد روی این صفت اختلاف معنی‌دار نشان دادند. هرچند از نظر آماری، اثرات متقابل این دو فاکتور در صفت تعداد غده قابل استفاده در هر بوته معنی‌دار نشد (جدول ۳). بیش‌ترین صفت تعداد غده قابل‌استفاده به‌میزان ۷/۱ غده، در سطح کودی پنج در هزار سولفات‌منگنز به‌دست آمد. کم‌ترین میزان این صفت نیز، به‌میزان ۶/۷ غده، در شرایط بدون محلول‌پاشی سولفات‌منگنز حاصل شد. بررسی‌ها نشان داد که محلول‌پاشی پنج در هزار سولفات‌منگنز سبب افزایش ۵/۴ درصدی تعداد غده‌های قابل‌استفاده سیب‌زمینی رقم آگریا نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۴).

محلول‌پاشی سطوح مختلف سولفات‌منیزیم اثر معنی‌دار روی صفت تعداد غده قابل‌استفاده در هر بوته داشت. ببیش‌ترین مقدار این صفت در سطح کودی چهار و نیم در هزار سولفات‌منیزیم به‌میزان ۷/۷ غده در بوته به‌دست آمد که با سایر تیمارهای کودی اختلاف معنی‌دار داشت. هم‌چنین، سایر سطوح کودی سولفات‌منیزیم (یک و نیم، سه و شش در هزار) بدون تفاوت آماری معنی‌دار و البته با اختلاف معنی‌دار نسبت به تیمار شاهد، بعد از تیمار کودی برتر، در یک گروه قرار گرفتند. کم‌ترین تعداد غده قابل‌استفاده به‌میزان ۵/۸ غده نیز، در شرایط بدون محلول‌پاشی سولفات‌منیزیم به‌دست آمد. محلول‌پاشی سولفات‌منیزیم در سطح کودی چهار و نیم در هزار سبب افزایش ۳۴/۴ درصد تعداد غده قابل‌استفاده در هر بوته نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۴).

### ۴. ۶. تعداد غده غیر اقتصادی

اثر اصلی محلول‌پاشی سولفات‌منگنز تأثیر معنی‌دار بر تعداد غده غیر اقتصادی (با قطر کم‌تر از ۳۰ میلی‌متر) در هر بوته نداشت، اما کاربرد سولفات‌منیزیم در سطح احتمال یک درصد روی این صفت اثر معنی‌دار داشت. هم‌چنین، اثر متقابل این دو فاکتور آزمایش روی تعداد غده غیر اقتصادی معنی‌دار نبود (جدول ۳).

در این مطالعه، تیمار شاهد بیش‌ترین تعداد غده غیر اقتصادی به‌میزان سه غده، در اثر محلول‌پاشی سولفات‌منیزیم را داشت که با سطح کودی شش در هزار سولفات‌منیزیم در یک گروه مشترک قرار داشتند. سایر سطوح کودی سولفات‌منیزیم (یک و نیم، سه و چهار و نیم در هزار) نیز بدون اختلاف معنی‌دار با هم کم‌ترین تعداد این صفت را در هر بوته دارا بودند. محلول‌پاشی سولفات‌منیزیم در سطح کودی سه در هزار، که تعداد غده غیر اقتصادی در هر بوته را داشت، سبب کاهش ۳۱/۱ درصد این صفت نسبت به تیمار شاهد شد (شکل ۲).

### ۴. ۷. وزن متوسط غده

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از اثر معنی‌دار فاکتورهای آزمایش بر وزن متوسط غده‌های سیب‌زمینی رقم آگریا بود. اثر اصلی محلول‌پاشی سولفات‌منگنز و سولفات‌منیزیم، هر دو در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند اما، اثر متقابل فاکتورهای آزمایش بر وزن متوسط غده‌ها غیرمعنی‌دار بود (جدول ۳). در اثر محلول‌پاشی پنج در هزار سولفات‌منگنز، بیش‌ترین میزان وزن متوسط غده‌ها (۱۱۸/۵ گرم) به‌دست آمد. کم‌ترین میزان وزن متوسط غده‌ها (۱۰۸/۳ گرم) نیز مربوط به تیمار شاهد بود. میانگین وزن غده سیب‌زمینی رقم آگریا با کاربرد پنج در هزار سولفات‌منگنز به میزان ۹/۴ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت که می‌تواند ناشی از افزایش تعداد غده‌های قابل‌استفاده باشد (جدول ۴).

بیش‌ترین وزن متوسط غده‌ها در سیب‌زمینی رقم آگریا در شرایط محلول‌پاشی سه و شش در هزار سولفات‌منیزیم به‌ترتیب به‌میزان ۱۲۲/۹ و ۱۱۸/۷ گرم به‌دست آمد که به لحاظ آماری اختلاف معنی‌دار با سطح محلول‌پاشی چهار و نیم در هزار سولفات‌منیزیم نداشتند و در یک گروه مشترک بودند. تیمار شاهد نیز با وزن متوسط غده ۱۰۳/۶ گرم کم‌ترین مقدار این صفت را دارا بود و با سطح کودی یک و نیم در هزار سولفات‌منیزیم در یک گروه مشترک قرار داشت. بررسی داده‌ها نشان داد که با افزایش سطوح مصرفی سولفات‌منیزیم وزن متوسط غده‌ها افزایش یافت، هرچند در سطوح بالاتر (چهار و نیم و شش در هزار) محلول‌پاشی سولفات‌منیزیم، از میزان این صفت تا حدودی کاسته شد. به‌طوری‌که، بیش‌ترین اختلاف مشاهده شده متعلق به تیمار شاهد و محلول‌پاشی سه در هزار سولفات‌منیزیم بود که سبب افزایش ۱۸/۶ درصد وزن متوسط غده‌ها نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۴).

**شکل ۲.** اثر سطوح محلول‌پاشی سولفات‌منیزیم بر تعداد غده غیر اقتصادی در سیب‌زمینی رقم آگریا

### ۴. ۸. عملکرد غده

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، اگرچه اثر متقابل فاکتورهای آزمایش تأثیر معنی‌دار روی صفت عملکرد غده نداشت، اما اثر اصلی فاکتورهای آزمایش روی این صفت معنی‌دار بود. به‌طوری‌که، محلول‌پاشی سولفات‌منگنز و سولفات‌منیزیم، هر دو در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌دار روی عملکرد غده داشتند (جدول ۳). در اثر محلول‌پاشی سولفات‌منگنز کم‌ترین عملکرد غده متعلق به تیمار شاهد به میزان ۳۸/۴ تن در هکتار بود، در حالی‌که با محلول‌پاشی پنج در هزار این کود، میزان این صفت به‌طور معنی‌دار افزایش یافت و بیش‌ترین مقدار آن یعنی ۴۴/۹ تن در هکتار حاصل شد، به‌گونه‌ای که محلول‌پاشی پنج در هزار سولفات‌منگنز سبب افزایش ۱۶/۸ درصد میزان عملکرد غده نسبت به تیمار شاهد گردید (جدول ۴).

در این پژوهش نیز، در اثر محلول‌پاشی سولفات‌منیزیم بیش‌ترین عملکرد غده در سطوح کودی سه، چهار و نیم و شش در هزار سولفات‌منیزیم به‌ترتیب به‌میزان ۴۳/۲، ۴۳/۵ و ۴۳/۶ تن در هکتار به‌دست آمد که در یک گروه برتر قرار داشتند و به لحاظ افزایش عملکرد غده تفاوت معنی‌دار نسبت به یکدیگر نشان ندادند. کم‌ترین میزان این صفت مربوط به تیمار شاهد و سطح کودی یک و نیم در هزار سولفات‌منیزیم به‌ترتیب به‌میزان ۳۷/۹ و ۴۰ تن در هکتار بود که در یک گروه مشترک بودند. هرچند سطح کودی یک و نیم در هزار سولفات‌منیزیم با تیمار شاهد تفاوت معنی‌دار نداشت، کاربرد سولفات‌منیزیم اثرات مثبت و افزایشی در میزان عملکرد غده سیب‌زمینی نسبت به عدم محلول‌پاشی آن داشت. در حالت کلی افزایش عملکرد غده با کاربرد یک و نیم، سه، چهار و نیم و شش در هزار سولفات‌منیزیم نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب برابر ۵/۶، ۱۳/۹، ۱۴/۸ و ۱۴/۸ درصد بود (جدول ۴).

## ۵. بحث

افزایش ارتفاع گیاه ممکن است به‌دلیل نقش عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف در روند فیزیولوژیک، تقسیم سلولی و بزرگ‌شدن آن باشد که به‌طور غیرمستقیم بر تشکیل بافت و در نتیجه رشد رویشی گیاه تأثیر می‌گذارد (Jasim, 2013). در این راستا، پژوهش‌گران در بررسی خود روی سیب‌زمینی نشان دادند که محلول‌پاشی هم‌زمان روی و منگنز سبب افزایش ارتفاع بوته شد (Al-Fadlly *et al*., 2020). هم‌چنین، در آزمایشی روی سیب‌زمینی گزارش کردند که محلول‌پاشی منگنز ارتفاع بوته را افزایش داد (Kaur *et al*., 2018; Singh *et al*., 2018). اما Miyu *et al*. (2019) در آزمایش خود روی سیب‌زمینی بیان کردند که محلول‌پاشی روی، بر، منگنز و ترکیب آن‌ها بر ارتفاع بوته اثر معنی‌دار نداشتند.

پژوهش‌گران گزارش کردند که کمبود منیزیم به‌واسطه نقش‌های متعدد آن در فتوسنتز و تنظیم آنزیم‌های دخیل در رشد و تقسیم سلولی می‌تواند منجر به نقصان رشد طبیعی در گیاه شود (Senbayram *et al*., 2015). پژوهش‌گران در بررسی خود روی سیب‌زمینی گزارش کردند که در اثر محلول‌پاشی منیزیم ارتفاع بوته در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت (Saaseea & Al-Aamry, 2018; Ramesh *et al*., 2019; Shanwaz *et al*., 2020). در پژوهشی دیگر، اثر محلول‌پاشی نانو ذرات آهن و منیزیم بر صفت ارتفاع بوته سیب‌زمینی معنی‌دار بود (خدادادی کروکی و همکاران، ۱۳۹۹). افزایش ارتفاع بوته گوجه‌فرنگی در اثر محلول‌پاشی هم‌زمان کلسیم و منیزیم نسبت به تیمار شاهد گزارش شده است (Ilyas *et al*., 2014). هم‌چنین، در یک بررسی، کاربرد نانوکود منیزیم در کنجد باعث افزایش میانگین ارتفاع بوته شد (خردادی ورامین و همکاران، ۱۴۰۰). در بررسی اثر محلول‌پاشی برخی از عناصر پرمصرف و کم‌مصرف در مراحل مختلف رشدی بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت هیبرید ۴۰۷ نشان داده شد که محلول‌پاشی پنج در هزار منیزیم سبب افزایش ارتفاع بوته در مقایسه با تیمار شاهد گردید (Omid Haghi *et al*., 2015). در این پژوهش نیز

محلول‌پاشی سولفات‌منیزیم سبب افزایش ارتفاع سیب‌زمینی شد. در آزمایشی دیگر، محلول‌پاشی سطوح منیزیم روی سیب‌زمینی اثر معنی‌دار بر وزن تر بوته، تعداد برگ در گیاه و کلروفیل a، b و محتوای کل داشت، اما بر ارتفاع بوته، سطح برگ و وزن خشک گیاه پس از ۹۰ روز پس از کاشت اثر معنی‌دار نداشت (El-Hadidi *et al*., 2017). در پژوهشی دیگر، پژوهش‌گران گزارش کردند که بوته‌های سیب‌زمینی کاهش معنی‌داری در مقدار میان‌گره‌ها و هم‌چنین در ارتفاع گیاه نشان ندادند (Koch *et al*., 2019).

پژوهش‌گران در آزمایش خود روی سیب‌زمینی گزارش کردند که اثر اصلی محلول‌پاشی نانوذرات آهن و منیزیم بر صفت قطر ساقه سیب‌زمینی معنی‌دار بود و بیش‌ترین قطر ساقه در تیمار محلول‌پاشی یک درصد نانو ذرات آهن+ یک درصد نانوذرات منیزیم به‌دست آمد که سبب افزایش این صفت در مقایسه با تیمار شاهد شد (خدادادی کروکی و همکاران، ۱۳۹۹). تیمار شاهد نیز، کم‌ترین قطر ساقه را داشت و با تیمار محلول‌پاشی یک درصد نانوذرات منیزیم در یک گروه آماری مشترک بودند. نتایج به‌دست‌آمده از یک بررسی روی کنجد نشان داد که بیش‌ترین قطر ساقه در اثر کاربرد نانو کود منیزیم تحت شرایط آبیاری نرمال در رقم دشتستان۲ به‌دست آمد که سبب افزایش این صفت در مقایسه با تیمار شاهد شد (خردادی ورامین و همکاران، ۱۴۰۰).

پژوهش‌گران در بررسی خود روی سیب‌زمینی نشان دادند که میانگین تعداد ساقه گیاه در نتیجه محلول‌پاشی هم‌زمان روی و منگنز (۶۰ میلی‌گرم در لیتر روی+ ۳۰ میلی‌گرم در لیتر منگنز) نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌دار داشت. به‌طوری‌که، در مقایسه با سایر تیمارهای کودی (شاهد، محلول‌پاشی ۶۰ میلی‌گرم در لیتر روی، محلول‌پاشی ۳۰ میلی‌گرم در لیتر منگنز) بیش‌ترین تعداد ساقه در گیاه را به خود اختصاص داد (Al- Fadlly *et al*., 2020). در حالی‌که، Jasim (2013) در بررسی اثر محلول‌پاشی کودها بر رشد و عملکرد هفت رقم سیب‌زمینی نشان داد که محلول‌پاشی کودها اثر معنی‌دار بر تعداد ساقه در گیاه نداشت. در پژوهشی دیگر اعلام کردند که اثر محلول‌پاشی منگنز بر ارتفاع بوته، تعداد روز تا سبزشدن ۵۰ درصد غده‌ها، تعداد شاخه‌ها در هر بوته و طول برگ‌های سیب‌زمینی معنی‌دار نبود ( Miyu *et al*., 2019) که با یافته‌های این پژوهش مطابقت دارد.

افزایش تعداد ساقه‌های اصلی در سیب‌زمینی به منزله افزایش تعداد استولن و تعداد غده‌های تشکیل‌یافته در بوته‌ها می‌باشد که از اجزای اصلی عملکرد غده بوده و نقش مهمی در افزایش عملکرد غده دارد. پژوهش‌ها نشان دادند که در اثر محلول‌پاشی منیزیم تعداد ساقه در گیاه سیب‌زمینی نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (خدادادی کروکی و همکاران، ۱۳۹۹؛ Ramesh *et al*., 2019; Shanwaz *et al*., 2020). از طرفی، محلول‌پاشی هم‌زمان کلسیم و منیزیم در گیاه گوجه-فرنگی سبب افزایش تعداد ساقه نسبت به تیمار شاهد شد (Ilyas *et al*., 2014).

پژوهش‌گران در بررسی خود روی سیب‌زمینی به این نتیجه رسیدند که محلول‌پاشی منگنز، به‌طور قابل‌توجهی تعداد غده‌ها در گیاه را افزایش داد (Singh *et al*., 2018). در پژوهشی دیگر، در اثر محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف (روی، منگنز، آهن و مس) تعداد غده به‌دست‌آمده در هر بوته در شرایط استفاده از غلظت کامل عناصر کم‌مصرف در مقایسه با زمانی که نصف غلظت عناصر کم‌مصرف استفاده شد، افزایش یافت اما تفاوتی با تیمار شاهد نداشت. هم‌چنین، در این پژوهش حداکثر تعداد غده در بوته در شرایط محلول‌پاشی با غلظت کامل در طول گل‌دهی بوته‌ها، به‌میزان ۱۰/۷ عدد بود که در مقایسه با محلول‌پاشی با نصف غلظت عناصر کم‌مصرف در ۲۰ روز پس از گل‌دهی، به‌میزان ۷/۳ عدد به‌دست آمد (AL-Jobori & AL-Hadithy, 2014).

پژوهش‌گران در آزمایش خود روی سیب‌زمینی نشان دادند که در اثر محلول‌پاشی با منیزیم تعداد غده در هر بوته نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (Ramesh *et al*., 2019; Shanwaz *et al*., 2020) که با نتایج این پژوهش مطابقت

دارد. اما، نتایج پژوهشی نشان داد که محلول‌پاشی منیزیم اثر غیر معنی‌دار بر تعداد غده در بوته و میانگین وزن غده‌های سیب‌زمینی داشت (El-Hadidi *et al*., 2017). هم‌چنین، در یک آزمایش، اثر محلول‌پاشی نانوذرات آهن و منیزیم بر صفت تعداد غده در سیب‌زمینی غیرمعنی‌دار بود (خدادادی کروکی و همکاران، ۱۳۹۹).

نتایج این پژوهش با یافته‌های جم و همکاران (۱۳۹۴) مبنی بر وجود اختلاف معنی‌دار در اندازه بوته‌ها در اثر کاربرد عناصر کم‌مصرف مطابقت دارد. ایشان بیان کردند که در اثر محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف (آهن و روی)، تعداد غده‌های ریز (با قطر کم‌تر از ۳۵ میلی‌متر)، غده‌های متوسط (با قطر بین ۳۵ تا ۵۵ میلی‌متر) و غده‌های بزرگ (با قطر بیش‌تر از ۵۵ میلی‌متر) نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (جم و همکاران، ۱۳۹۴). از نتایج مشخص می‌شود که عناصر کم‌مصرف توانستند تعداد غده‌های بزرگ را افزایش دهند که در نهایت منجر به افزایش عملکرد شدند (Miyu *et al*., 2019).

در این راستا، پژوهش‌گران در آزمایش خود روی سیب‌زمینی نشان دادند که در اثر محلول‌پاشی با منیزیم تعداد غده‌های متوسط (با قطر بین ۳۵–۵۵ میلی‌متر) و غده‌های بزرگ (با قطر بیش‌تر از ۵۵ میلی‌متر) در گیاه نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (Ramesh *et al*., 2019). در آزمایشی دیگر، پژوهش‌گران بیان کردند که محلول‌پاشی بوته‌های سیب‌زمینی با سولفات‌منیزیم ۰/۳ و ۰/۵ درصد سبب افزایش حجم غده‌های سیب‌زمینی نسبت به تیمار شاهد شد (Shanwaz *et al*., 2020).

در پژوهشی روی سیب‌زمینی اعلام کردند که تیمارهای مختلف کودی، اثر معنی‌دار بر تمام اندازه غده‌ها داشتند (Miyu *et al*., 2019). در اثر محلول‌پاشی با منیزیم تعداد و وزن غده‌های کوچک (با قطر کم‌تر از ۳۵ میلی‌متر) در گیاه سیب‌زمینی نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (Ramesh *et al*., 2019). هم‌چنین، در بررسی تأثیر محلول‌پاشی عناصر غذایی بر رشد، عملکرد و کیفیت سیب‌زمینی، محلول‌پاشی بوته‌های سیب‌زمینی با سولفات‌منیزیم سبب افزایش محیط غده‌های سیب‌زمینی نسبت به تیمار شاهد شد (Shanwaz *et al*., 2020).

در تأیید این یافته‌ها، پژوهش‌گران در پژوهش خود روی سیب‌زمینی گزارش کردند که اثر زمان محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف (آهن، منگنز، مس و روی) بر وزن متوسط غده‌ها معنی‌دار بود و عناصر کم‌مصرف در طول گل‌دهی میانگین وزن غده‌ها را افزایش دادند (AL-Jobori & AL-Hadithy, 2014). در پژوهش‌های دیگر نیز، در اثر محلول‌پاشی منگنز وزن متوسط غده‌های سیب‌زمینی در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت (Kaur *et al*., 2018; Singh, *et al*., 2018; Miyu *et al*., 2019). هم‌چنین، کاربرد هم‌زمان روی و منگنز باعث افزایش تمامی پارامترهای گیاهی موردمطالعه در رابطه با اجزای عملکرد شد. به‌طوری‌که، کاربرد هم‌زمان روی و منگنز میانگین وزن غده سیب‌زمینی، عملکرد غده در بوته و عملکرد کل غده را نسبت به شاهد افزایش داد (Al- Fadhly, 2016).

نظر به این‌که وزن غده از اجزای اصلی عملکرد غده سیب‌زمینی محسوب می‌شود، لذا بهبود این صفت می‌تواند در افزایش عملکرد غده بسیار مؤثر باشد (عروجی و گلچین، ۱۳۹۱). در تأیید این یافته‌ها، پژوهش‌گران بیان کردند که محلول‌پاشی بوته‌های سیب‌زمینی با منیزیم سبب افزایش وزن متوسط غده‌های سیب‌زمینی نسبت به تیمار شاهد شد (Saaseea & Al-Aamry, 2018; Ramesh *et al*., 2019; Shanwaz *et al*., 2020). اما در پژوهشی دیگر، پژوهش‌گران به این نتیجه رسیدند که اثر محلول‌پاشی نانوذرات آهن و منیزیم بر صفت وزن متوسط غده سیب‌زمینی غیر معنی‌دار بود (خدادادی کروکی و همکاران، ۱۳۹۹).

در پژوهشی روی سیب‌زمینی، پژوهش‌گران افزایش خطی صفات عملکرد و اجزای عملکرد را با افزایش غلظت عناصر روی و منگنز گزارش کردند (Singh *et al*., 2018). در آزمایشی دیگر، با افزایش سطوح منگنز، قابلیت جذب خاک تا حد معینی و عملکرد سیب‌زمینی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (عروجی و گلچین، ۱۳۹۱). نظر به این‌که وزن غده از

اجزای اصلی عملکرد غده محسوب می‌شود، لذا بهبود این صفت می‌تواند در افزایش عملکرد غده بسیار مؤثر باشد. با توجه به اثرگذاری عنصر منگنز در بخشی از فرایندهای مرتبط با فتوسنتز، بیوسنتز ویتامین ث و نقل و انتقال ترکیبات نیتروژن و جذب فسفر و آهن از خاک (Baranowska *et al*., 2017) و از طرفی نقش اصلی در سنتز پروتئین، فعالیت آنزیم، واکنش‌های اکسیداسیون و احیا و متابولیسم کربوهیدرات‌ها (Leszczynski, 2012)، بهبود عملکرد و اجزای عملکرد غده سیب‌زمینی با کاربرد این عنصر به‌صورت محلول‌پاشی دور از انتظار نخواهد بود. هم‌چنین، در بررسی محلول‌پاشی روی و منگنز و تأثیر آن‌ها بر عملکرد و ویژگی‌های کیفی سیب‌زمینی، در اثر محلول‌پاشی منگنز عملکرد غده نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (Kaur *et al*., 2018).

نتایج به‌دست‌آمده از ارزیابی محلول‌پاشی نانو کلات آهن، روی و منگنز نشان داد که این عناصر با تعدیل تنش خشکی، عملکرد دانه را افزایش می‌دهند، که این افزایش در شرایط تنش خشکی محسوس‌تر بود و در زمانی که به‌صورت ترکیبی مصرف شدند عملکرد دانه بیش‌تر از حالت منفرد افزایش یافت. هم‌چنین، بیش‌ترین عملکرد دانه از ترکیب تیماری آبیاری در تمام مراحل رشد و محلول‌پاشی روی+ منگنز به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها داشت (وقار و همکاران، ۱۴۰۰). در پژوهشی دیگر، عملکرد غده سیب‌زمینی با محلول‌پاشی روی+ منگنز به‌طور معنی‌دار افزایش یافت (Al-Fadhly, 2016). هم‌چنین، پژوهش‌گران نشان دادند که در اثر محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف (آهن، منگنز، مس و روی) عملکرد غده سیب‌زمینی در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت. آن‌ها بیان کردند که محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف در زمان گل‌دهی باعث افزایش عملکرد غده شد (AL-Jobori & AL-Hadithy, 2014).

نتایج پژوهش‌های Jasim (2013) نشان داد که کوددهی برگی نقش بالقوه‌ای در تولید سیب‌زمینی دارد. منیزیم باعث بهبود عملکرد محصول در مزرعه می‌شود (Senbayram *et al*., 2015; Wang *et al*., 2020). اما میزان این عنصر در خاک به‌وسیله برداشت محصول زراعی و هم‌چنین از طریق آبشویی از خاک کاهش می‌یابد (Gransee & Fuhrs, 2013) در نتیجه، گیاه به افزایش کود منیزیم پاسخ مثبت نشان می‌دهد (El-Hadidi, *et al*., 2017; Wang *et al*., 2020). یافته-های پژوهش‌گران نشان داد که محلول‌پاشی با منیزیم عملکرد غده سیب‌زمینی را نسبت به تیمار شاهد افزایش داد (Ramesh *et al*., 2019). هم‌چنین، در اثر محلول‌پاشی هم‌زمان کلسیم و منیزیم عملکرد غده در اولین و دومین سال آزمایش نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (El- Metwaly & Mansour, 2019). در پژوهشی دیگر، اثر محلول‌پاشی نانوذرات آهن و منیزیم بر صفت عملکرد غده سیب‌زمینی معنی‌دار بود و بیش‌ترین عملکرد غده و هم‌چنین عملکرد غده قابل فروش در تیمار محلول‌پاشی دو درصد نانو ذرات آهن+ دو درصد نانو ذرات منیزیم به‌دست آمد (خدادادی کروکی و همکاران، ۱۳۹۹).

نتایج بررسی پژوهش‌گران، افزایش ۹/۴ درصدی در عملکرد غده گیاه سیب‌زمینی را با کاربرد کود منیزیم نسبت به گیاهان شاهد نشان داد (Wang *et al*., 2020). هم‌چنین، پژوهش‌گران در بررسی خود روی کنجد به این نتیجه رسیدند که براساس مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه، بیش‌ترین عملکرد دانه در اثر کاربرد نانوکود منیزیم تحت شرایط آبیاری نرمال در رقم دشتستان۲ با میانگین ۱۱۸۸/۲ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (خردادی ورامین و همکاران، ۱۴۰۰). در آزمایشی دیگر، در اثر محلول‌پاشی منیزیم در ذرت هیبرید ۴۰۷ عملکرد گیاهان در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت (Omid Haghi *et al*., 2015). در کل، می‌توان نتیجه گرفت که افزایش بهره‌وری گیاهان سیب‌زمینی در نتیجه محلول پاشی کودها، ممکن است به‌دلیل افزایش وزن و تعداد غده در گیاه باشد که به‌نوبه خود باعث افزایش عملکرد کل غده‌ها می‌شود (Jasim, 2013) که با یافته‌های این پژوهش مطابقت دارد.

## ۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در شرایط محلول‌پاشی پنج در هزار سولفات‌منگنز، بیش‌ترین مقدار صفات ارتفاع بوته، تعداد ساقه در بوته، قطر ساقه اصلی، تعداد غده در بوته، تعداد غده قابل‌استفاده، تعداد غده غیر اقتصادی، وزن متوسط غده و عملکرد غده به‌دست آمد، به‌طوری‌که این سطح کودی، سبب افزایش ۱۶/۸ درصد عملکرد غده شد. با افزایش مقدار مصرفی سولفات‌منیزیم تا سطح کودی چهار و نیم در هزار، اگرچه وزن متوسط غده‌ها نسبت به سطح کودی سه در هزار، مقدار کمی کاهش نشان داد، اما بر میزان همه صفات موردآزمایش به‌جز تعداد غده غیر اقتصادی افزوده شد. بیش‌ترین تأثیر محلول‌پاشی سولفات‌منیزیم بر تعداد غده قابل استفاده بود که در سطح کودی چهار و نیم در هزار، سبب افزایش ۳۴/۴ درصد تعداد این غده شد. با افزایش مقدار مصرفی سولفات‌منیزیم به سطح کودی شش در هزار، از مقدار صفات موردمطالعه کاسته شد. هرچند در صفات قطر ساقه اصلی، وزن متوسط غده‌ها و عملکرد غده سبب افزایش جزیی مقدار این صفات شد، اما با سطح کودی چهار و نیم در هزار سولفات‌منیزیم تفاوت معنی‌دار نداشت. در مجموع، به‌طور میانگین محلول‌پاشی سولفات‌منیزیم باعث افزایش ۱۲/۳ درصد عملکرد غده نسبت به تیمار شاهد شد. می‌توان نتیجه گرفت که افزایش بهره‌وری گیاهان سیب‌زمینی در نتیجه محلول‌پاشی کودها، ممکن است به‌دلیل افزایش وزن و تعداد غده در گیاه باشد که به‌نوبه خود باعث افزایش عملکرد کل غده‌ها شده است. در مجموع، با توجه به این‌که در اکثر صفات موردبررسی در این پژوهش، محلول‌پاشی پنج در هزار سولفات‌منگنز و چهار و نیم در هزار سولفات‌منیزیم نسبت به سایر تیمارها نتایج بهتری را نشان داد، می‌توان این سطوح کودی را در این منطقه برای این رقم توصیه نمود.

## ۷. تشکر و قدردانی

از دانشگاه محقق اردبیلی به‌خاطر حمایت مالی این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

## ۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

## ۹. منابع

بصیرت، مجید و مطلبی‌فرد، رحیم (۱۳۹۵). *راهنمای تغذیه گیاهی در سیب زمینی به‌منظور کاهش باقیمانده نیترات در محصول*. تهران: انتشارات مؤسسه تحقیقات خاک و آب.

جم، الهام؛ عبادی، علی و پرمون، قاسم (۱۳۹۴). نقش عناصر ریزمغذی آهن و روی در عملکرد و اجزای عملکرد سیب‌زمینی. *نشریه علمی- پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی*. ۹ (۲)، ۱۷۷-۱۹۰.

جوکار، لاله و رونقی، عبدالمجید (۱۳۹۴). اثر محلول‌پاشی سطوح و منابع مختلف آهن بر رشد و غلظت برخی عناصر غذایی در گیاه سورگوم. *نشریه علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای*. ۶ (۲۲)، ۱۶۳-۱۷۴.

خدادادی کروکی، امیر؛ یاورزاده، محمدرضا؛ اکبریان، محمد مهدی و عسکری، علی‌اکبر (۱۳۹۹). بررسی اثر نانوذرات آهن و منیزیم و تاریخ کاشت بر عملکرد و میان نیترات غده سیب‌زمینی. *دو فصلنامه علوم به‌زراعی گیاهی*. ۱۰ (۲)، ۴۱-۵۴.

خردادی ورامین، جابر؛ فنودی، فرزاد؛ مسعود سینکی، جعفر؛ رضوان، شهرام و دماوندی، علی (۱۴۰۰). بررسی واکنش صفات عملکردی و محتوی روغن ارقام کنجد (*Sesamum indicum* L.) به کاربرد نانوکود منیزیم و پلیمر زیستی کیتوزان در شرایط تنش کم‌آبی. *مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی*. ۱۴ (۲)، ۳۵۹-۳۷۳.

خواجه‌پور، محمدرضا (۱۳۹۱). *گیاهان صنعتی*. اصفهان: انتشارات جهاد دانشگاهی (دانشگاه صنعتی اصفهان).

عروجی، هاجر و گلچین، احمد (۱۳۹۱). تأثیر روی، منگنز، مس بر عملکرد غده و غلظت فسفر و آهن در برگ و غده سیب‌زمینی. *مجله علوم آب و خاک*. ۱۶ (۶۱)، ۲۲۱-۲۳۰.

مطلبی‌فرد، رحیم (۱۳۹۷). *مدیریت تغذیه سیب‌زمینی*. کرج: انتشارات سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، معاونت ترویج، نشر آموزش کشاورزی.

وقار، محمد سعید؛ سیف‌زاده، سعید؛ ذاکرین، حمیدرضا؛ کبرایی، سهیل و ولدآبادی، سید علیرضا (۱۴۰۰). اثر محلول‌پاشی نانوکلات آهن، روی و منگنز بر برخی خصوصیات کمی و کیفی سویا (*Glyine max* L.) تحت تنش کم‌آبی. *مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی*. ۱۴ (۳)، ۷۰۳-۷۱۸.

## References

Ahmadi, S. H., Agharezaee, M., Kamgar-Haghighi, A. A., & Sepaskhah, A. R. (2014). Effects of dynamic and static deficit and partial root zone drying irrigation strategies on yield, tuber sizes distribution, and water productivity of two field grown potato cultivars. *Agricultural Water Management, 134*, 126-136.

AL- Fadhly, J. T. M. (2016). Response of potato (*Solanum tuberosum*) to foliar application of zinc and manganese which fertilized by organic fertilizer. *Journal of Agriculture and Veterinary, 9*(4), 87- 91.

AL- Fadlly, J. T. M., Khudhair, M. F., Wheib, K. A., & Abd, W. M. (2020). Response of some vegetative growth characteristics of organically fertilized potatoes to zinc and manganese foliar application. *Plant Archives, 20*(1), 1263- 1266.

AL- Jobori, K. M. M., & AL-Hadithy, S. A. (2014). Response of potato (*Solanum tuberosum*) to foliar application of iron, manganese, copper and zinc. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 7*(7), 358- 363.

Banjare, S., Sharma, G., & Verma, S. K. (2014). Potato crop growth and yield response to different levels of nitrogen under Chhattisgarh plains agro-climatic zone. *Indian Journal of Science and Technology, 7*(10), 1504- 1508.

Baranowska, A., Zarzecka, K., Gugała, M., & Mystkowska, I. (2017). Contents of zinc, copper and manganese in potato tubers depending on the ways of application of the soil fertilizer Ugmax. *Journal of Ecological Engineering*, *18*(1), 99-106.

Basirat, M., & Motallebifard, R. (2016). *Guide to plant nutrition in potatoes in order to reduce nitrate residues in the crop*. Tehran: Soil and Water Research Institute.

El- Metwaly, H. M. B., & Mansour, F. Y. O. (2019). Effect of addition methods of magnesium and calcium foliar application on productivity and quality of potato crop in winter plantation. *Fayoum Journal of Agricultural Research and Development, 3*(1), 148- 158.

El-Hadidi, E. M., El-Dissoky, R. A. & AbdElhafez, A. A. H. (2017). Foliar calcium and magnesium application effect on potato crop grown in clay loam soils. *Journal of soil sciences and Agricultural Engineering*, *8*(1), 1-8.

Gransee, A., & Fuhrs, H. (2013). Magnesium mobility in soils as a challenge for soil and plant analysis, magnesium fertilization and root uptake under adverse growth conditions. *Plant and Soil, 368*, 5-21.

Grzebise, W. (2011). Magnesium-food and human health. *Journal of elementology, 16*, 299-323.

Grzebise, W. (2013). Crop response to magnesium fertilization as affected by nitrogen supply. *Plant and Soil, 368*, 23-39.

Hack, H., Gall, H., Klemke, T. H., Klose, R., Meier, U., Stauss, R., & Witzenberger, A. (2001). *The BBCH* scale for phonological *growth stages of potato* (*Solanum tuberosum* L.). In *Growth Stages of mono and dicotyledonous plants, BBCH Monograph*. edited by Meier, U. Roma: Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry.

Herman, D. J., Knowles, L. O., & Knowles, N. R. (2017). Heat stress affects carbohydrate metabolism during cold-induced sweetening of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Planta, 245*, 563-582.

Ilyas, M., Ayub, G., Hussain, Z., Ahmad, M., Bibi, B., Rashid, A., & Luqman, A. (2014). Response of tomato to different levels of calcium and magnesium concentration. *World Applied Sciences Journal, 31*(9), 1560-1564.

Jagatee, S., Behera, S., Dash, P. K., Sahoo, S., & Mohanty, R. C. (2015). Bioprospecting starchy feedstocks for bioethanol production: A future perspective. *Journal of Microbiology Research and Reviews, 3*(3), 24-42.

Jam, E., Ebadie, A., & Parmoon, G. (2015). The role of iron and zinc on tuber yield and yield components of potato. *Journal of crop ecophysiology, 9*(2), 177-190. (In Persian).

Janmohammadi, M., Abdoli, H., Sabaghnia, N., Esmailpour, M., & Aghaei, A. (2018). The effect of iron, zinc and organic fertilizer on yield of chickpea (*Cicer artietinum* L.) in mediterranean climate. *Acta Universitatis Agricultural Silviculturae Mendelianae Brunensis, 66*(1), 49-60.

Jasim, A. H. (2013). Effect of foliar fertilizer on growth and yield of seven potato cultivars (*Solanum Tuberosom* L.). *Scientific papers. Series B, Horticulture, 57*, 77-80.

Jokar, L., & Ronaghi, A. (2015). Effect of foliar application of different Fe levels and sources on growth and concentration of some nutrients in sorghum. *Journal of Greenhouse Culture Science and Technology, 6*(22), 163-174. (In Persian).

Kaur, M., Singh, S., Dishri, M., Singh, G., & Singh, S. K. (2018). Foliar application of zinc and manganese and their effect on yield and quality characters of potato (*Solanum tuberosum* L.) cv. Kufri pukhraj. *Plant Archives, 18*(2), 1628-1630.

Khajehpour, M. R. (2012). *Industrial plants*. Isfahan University Jihad Publishing Center. (In Persian).

Khodadadi Karkoki, A., Yavarzadeh, M. R., Akbariyan, M. M., & Askari, A. A. (2020). Effect of iron and magnesium nanoparticles and planting date on yield and nitrate content in potato tubers. *Bi-Quarterly Journal of Plant Production science, 10*(2), 41-54. (In Persian).

Khordadi Varamin, J., Fanoodi, F., Masuod Sinaki, J., Rezvan, Sh. & Damavandi. A. (2021). Investigating response of yield traits and oil content of sesame variety (*Sesamum indicum* L.) to nano-magnesium fertilizer and biopolymer chitosan under limited water stress. *Environmental stresses in crop sciences, 14*(2), 359-373. (In Persian).

Koch, M., Busse, M., Naumann, M., Jakli, B., Smit, I., Cakmak, I., Hermans, C., & Pawelzik, E. (2019). Differential effects of varied potassium and magnesium nutrition on production and partitioning of photoassimilates in potato plants. *Physiologia Plantarum, 166*, 921-935.

Matlabi Fard, R. (2019). *Potato nutrition management*. Agricultural Research, Education and Extension organization. Karaj: Deputy for extension, Publication of agricultural education. (In Persian).

Miyu, M., Sarma, P., Warade, S. D., Hazarika, B. N., Debnath, P., Ramjan, M. D., & Ansari, M. T. (2019). Effect of foliar application of micronutrients on potato (*Solanum tuberosum* L.) *cv. "*Kufri Joyti" for growth, yield & quality attributes. *International Journal of Chemical Studies, 7*(3), 4813- 4817.

Omid Haghi, A., Khalilvand Behrouzyar, E., & Eivazi, A. R. (2015, December). The effect of foliar application of some macronutrient and micronutrient elements in different growth stages on yield and yield components of 407 hybrid corn. *International conference on modern research in agricultural science and environment*, Kualalumpur, Malaysia.

Oroji, H., & Golchin, A. (2012). The Effects of zinc, manganese and copper on potato yield and leaf and tuber concentrations of phosphorus and iron. *Journal of water and soil science, 16*(61), 221-230. (In Persian).

Ramesh, E., Jana, J. C., Chatterjee, R., & Banik, G. C. (2019). Effect of foliar application of secondary and micronutrients on growth and yield of potato. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 8*(2), 656-660.

Saaseea, K. G., & Al-Aamry, N. J. K. (2018). Effect of foliar application with calcium, magnesium and fertilizing with humic acid on growth, yield and storage ability of potato tubers. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences, 49*(5), 897-905.

Seleiman, M. F., Almutairi, K. F., Alotaibi, M., Shami, A., Alhammad, B. A., & Battaglia, M. L. (2021). Nano-fertilization as an emerging fertilization technique: Why can modern agriculture benefit from its use? *Plants, 10*(2), 1-27.

Senbayram, M., Bol, R., Dixon, L., Fisher, A., Stevens, C., Quinton, J., & Fangueiro, D. (2015). Potential use of rare earth oxides as tracers of organic matter in grassland. *Journal of plant nutrition and soil science, 178*, 288-296.

Shanwaz, A., Devaraju, Srinivasa, V., Ganapathi, M., & Shubha, A. S. (2020). Influence of foliar application of nutrients on growth, yield and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.) under hill zone of Karnataka. *International Journal of Chemical Studies, 8*(2), 2040-2042.

Shukla, A. K., Behera, S. K., Pakhre, A., & Chaudhari, S. K. (2018). Micronutrients in soils, plants, animals and humans. *Indian Journal of Fertilisers, 14*(3), 30-54.

Singh, M., Kumar, A., Tripathi, S. K., Kumar, S., & Singh, A. K. (2018). Effect of foliar application of zinc and manganese on growth parameters and yield of potato (*Solanum tuberosum* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 7*(7), 1390-1394.

Vaghar, M. S., Sayfzadeh, S., Zakerin, H. R., Kobraee, S., & Valadabadi, S. A. R. (2021). Effect of foliar application of iron, zinc and manganese nano-chelate on some quantitative and qualitative characteristics of soybean (*Glycine max* L.) under water deficit stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences, 14*(3), 703-718. (In Persian).

Wang, Z., Hassan, M., Nadeem, F., Wu, L., Zhang, F., & Li, X. (2020). Magnesium fertilization improves crop yield in most production systems: A Meta-Analysis. *Frontiers in Plant Science, 1*(10), 1727-1736.