Journal of Agroecology
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

CC BY

Research Article
Vol. 15, No. 2, Summer 2023, p. 359-379

Evaluation of the Effect of Application of Superabsorbent and Mycorrhiza Inoculation on Nutrient Uptake, Water Use Efficiency, and Yield of Potato (*Solanum tuberosum*) Plant in Deficit Irrigation Conditions

Khosro Parvizi[1]*, Alireza Yazdanpanah[2] and Behrouz Moradi-Ashour[1]

Received: 14-07-2021
Revised: 23-10-2021
Accepted: 25-10-2021
Available Online: 25-10-2021

How to cite this article:
Parvizi, K., Yazdanpanah, A., & Moradi-Ashour, B. (2023). Evaluation of the effect of application of superabsorbent and mycorrhiza inoculation on nutrient uptake, water use efficiency, and yield of potato plant in deficit irrigation conditions. *Journal of Agroecology*, *15*(2), 359-379.
DOI: 10.22067/agry.2021.71426.1057

Introduction

Hamedan province, characterized by an average annual rainfall of less than 340 mm, faces significant limitations in potato production(*Solanum tuberosum*)primarily due to the scarcity of irrigation water and drought stress during critical growth stages. In order to address these challenges, the utilization of aqueous superabsorbent materials and the inoculation of mycorrhizal fungi have emerged as highly suitable approaches. These methods aim to optimize the utilization of water and soil resources (Khadem et al., 2011). Previous studies have indicated that the inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi in various plant species, apart from potatoes, can reduce the impact of drought stress and enhance nutrient uptake (Bolannazar et al., 2007; Subramanian et al., 2008). However, limited research has been conducted on the effects of superabsorbents and mycorrhizae, particularly under moisture stress conditions and deficit irrigation in potato crops. Consequently, this experiment investigates the effects of applying these methods under stress conditions.

Materials and Methods

The experiment was arranged in strip factorial based on a randomized complete block design with three replications. Three irrigation levels containing optimal irrigation (100, 75 and 50% of water requirement based on evapotranspiration from Pan Class A) in horizontal plots and factor 2 using Trawat200A superabsorbent (0 and 80 kg.ha-1) and four mycorrhiza and superabsorbent levels including no application of these materials (control), superabsorbent, mycorrhiza as a bio-fertilizer and their combination were considered as subplots. The Agria potato cultivar was selected. Superabsorbent material was applied adjacent to the tubers at planting time. Mycorrhizal inoculum containing the active propagules (CFU $120.g^{-1}$) was inoculated to the tubers. The concentration of nutrients in the shoot and the tubers was determined by using Kjeldahl apparatus for Nitrogen (Waling et al., 1989), spectrophotometer for phosphorus (Jones, 2001), flame photometry for Potassium and atomic absorption spectroscopy for Iron, Zinc, and Manganese (Ryan et al., 2001). the produced tubers were divided, weighed, and counted based on their size in three groups (small, medium, and large). Water use efficiency was determined as the amount of dry matter produced per cubic meter of water consumption in different treatments.

1- Associate Professor and Assistant Professor, Department of Horticulture Crops Research, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan, Iran, respectively.
2- Faculty Member, Department of Soil and Water Research, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan, Iran.
(*- Corresponding author's Email: k.parvizi@areeo.ir)

Results and Discussion

The results of combined analysis of variance showed that the main effects of irrigation rate, application of mycorrhiza and superabsorbent on tuber yield and percentage of dry matter, and nutrient uptake in stem, leaf, and tuber were significant. A comparison of means showed that with the application of low irrigation and increasing the intensity of water deficiency (reducing the amount of irrigation water), total yield decreased. However, this decrease was significantly slighter in inoculation conditions with mycorrhiza and the use of the superabsorbent polymer. Mycorrhiza and superabsorbent increased the absorption of nutrients, especially under severe water deficiency. In this study, there was a significant difference in the uptake of phosphorus and other low-consumption and high-consumption nutrients at normal irrigation levels and stress in mycorrhizal plants so that their uptake increased in proportion to the increase in stress intensity and in mycorrhizal inoculation conditions. It seems that by creating stress conditions, the ability and efficiency of mycorrhiza in nutrient uptake is increased, and thus ,the conditions of lack of moisture with the coexistence mechanism in the relationship of the plant more effectively helps the survival and durability of the plant. Mycorrhizal fungi can increase phosphorus uptake from the soil by increasing the relative water content and ultimately play an effective role in increasing plant growth (Krishna et al., 2005). In this study, it was found that using superabsorbent in potatoes helps to increase the absorption of nutrients. The reason for this can be increasing the storage capacity of water and nutrients for a long time in the soil, reducing nutrient leaching, and rapid and optimal root growth with better nutrient storage and aeration of the soil.

Conclusion

In this study, it was found that the application of superabsorbent and mycorrhiza in potato helps increase nutrient uptake and tuber yield. The positive effects of the combined application of mycorrhiza and superabsorbent on nutrient uptake and yield were more evident, especially in conditions of severe water deficiency.

Acknowledgments

We are grateful for the efforts of Dr. Bakhtiari and Mr. Abdolreza Mordai in coordinating and equipping irrigation equipment and land preparation.

Keywords*:* Potato crop, Superabsorbent materials, Symbiotic fungi, water deficiency

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

مقاله پژوهشی

جلد ۱۵، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲، ص ۳۷۹-۳۵۹

بررسی اثر کاربرد سوپرجاذب رطوبتی و تلقیح با قارچ میکوریزا بر جذب عناصر غذایی، کارآیی مصرف آب و عملکرد گیاه سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*) در شرایط کم‌آبیاری

خسرو پرویزی[1*]، علیرضا یزدان‌پناه[2] و بهروز مرادی عاشور[1]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۲۳
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۸/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۰۳

چکیده:

به‌منظور بررسی اثر سوپرجاذب رطوبتی و تلقیح میکوریزایی بر میزان مصرف آب، جذب عناصر غذایی، عملکرد کمّی و کیفی سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*) آزمایشی به‌صورت طرح استریپ- پلات فاکتوریل (طرح نواری) با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی طی سال‌های ۹۸-۱۳۹۷ در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی همدان به اجرا درآمد. در این تحقیق، مقدار آب آبیاری در سه سطح (۱۰۰ ، ۷۵ و۵۰ درصد نیاز آبی بر اساس تبخیر و تعرق) در کرت‌های افقی و فاکتور استفاده از سوپر جاذب Trawat200A با دو سطح (۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار) و میکوریزادر دو سطح (تلقیح و عدم تلقیح با میکوریزا گونه *Glomus etunicatum*) در کرت‌های عمودی قرار گرفتند. در طول فصل رشد، درصد کلونیزاسیون ریشه، غلظت عناصر غذایی در اندام‌های مختلف اندازه‌گیری شد. در مرحله برداشت عملکرد هر کرت توزین، ماده خشک غده اندازه‌گیری و کارآیی مصرف آب تعیین گردید. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثرات اصلی میزان آبیاری، استفاده از میکوریزا و سوپرجاذب در عملکرد غده و درصد ماده خشک آن، میزان جذب عناصر غذایی در ساقه، برگ و در غده معنی‌دار شد. در مقایسه اثر سال‌های آزمایش صرفاً در کارآیی مصرف آب تفاوت معنی‌دار ($p\leq0.05$) مشاهده شد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با اعمال کم‌آبیاری (کاهش میزان آب آبیاری) عملکرد کل ۸/۹۶ تن در هکتار کاهش پیدا کرد، امّا این کاهش در شرایط تلقیح توأم با میکوریزا و با کاربرد پلیمر سوپر جاذب به‌طور معنی‌داری (فقط ۴/۹۲ تن در هکتار) کمتر بود. در شرایط کم‌آبیاری متوسط و شدید استفاده از میکوریزا و سوپر جاذب عملکرد کل را در مقایسه با عدم استفاده از آن‌ها به‌ترتیب حدود ۹/۵ و ۱۰/۱۵ درصد افزایش داد. همچنین میزان جذب عناصر غذایی (پرمصرف و کم مصرف) در غده و نیز در شاخ و برگ متناسب با کاهش میزان آب آبیاری کاهش پیدا کرد. میکوریزا و سوپرجاذب در افزایش قدرت جذب عناصر غذایی به‌ویژه در شرایط کم‌آبیاری مؤثرتر عمل کردند. در مجموع، تلقیح با میکوریزا و به‌کارگیری سوپرجاذب در سیب‌زمینی اثرات مثبت و مؤثری در جذب مواد غذایی و همچنین عملکرد کل در شرایط کم‌آبیاری و به‌ویژه با اعمال کم‌آبیاری شدید داشت.

واژه‌های کلیدی: رژیم‌های آبیاری، قارچ همزیست، محصول سیب‌زمینی، مواد جاذب رطوبت

مقدمه

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*) از مهم‌ترین محصولات زراعی استان همدان می‌باشد. اگرچه در این استان میزان بارندگی کم (متوسط بارندگی سالیانه ۳۱۳ میلی‌متر) و توزیع و پراکنش زمانی آن

۱- دانشیار پژوهشی و استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات علوم زراعی- باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران.
۲- مربی پژوهشی، بخش تحقیقات علوم خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران.

(*- نویسنده مسئول: Email: k.parvizi@areeo.ir)

DOI: 10.22067/agry.2021.71426.1057

نامناسب است، ولی قابلیت‌هـای بـالایی در کشـت و تولیـد محصـول سیب‌زمینی در استان وجود دارد. سیب‌زمینـی محصـولی حساسـی بـه تنش خشکی به‌ویژه در مرحله غده‌زایـی مـی‌باشـد. مـدیریت صـحیح آبیاری در مزرعه نقش مهمی در افزایش کارآیی مصرف آب داشـته و همچنین با جلوگیری از کاهش عملکرد از میزان آلودگی بـه بیمـاری کاسته و کیفیت غده‌های تولیدی نیز ارتقا می‌یابد (Gaurav et al., 2010). در این راستا، بایستی روش‌هایی اتخـاذ شـود کـه عـلاوه‌بـر دستیابی به بهره‌وری مطلوب از منابع آبی موجود، پایداری تولیـد ایـن محصول نیز حفظ گردد. استفاده از سوپرجاذب‌های رطوبتی و تلقیح با قارچ میکوریزا از ابزارهای مناسب مدیریت آب می‌باشد که با افـزایش در جذب آب و عناصر غذایی قدرت رقابتی محصول را افـزایش داده و می‌توانند با ایجاد رشد مطلوب‌تر و اجتناب از برخورد با تنش در مراحل بحرانی رشد، منجر به افزایش کمّی و کیفی محصول بشوند. همچنین به‌کارگیری سوپرجاذب و تلقیح میکوریزایی می‌توانند با افزایش قدرت رشد، توان رقابتی محصول را نیز افـزایش داده و در کنتـرل جمعیـت آفات و نیز جلوگیری از بروز بیماری‌های مهم در سیب‌زمینی نیز تأثیر بسزایی دارد (Rosendahl, 1985; Zhu & Yao, 2004) لـذا مـی‌توانند در جهت نیل به کشاورزی پایـدار و کـاهش مصـرف سـموم در تولید محصول سالم در سیب‌زمینی به‌عنوان یک راهکار مطلوب باشند (Khadem et al., 2011). سوپرجاذب‌ها از نظر سـاختمانی شـبکه‌ای از مواد پلیمری هیدروکربن و آبدوست می‌باشند. ضریب جـذب آب در این مواد بسیار بالا بوده و بیش از ۵۰۰ برابـر جـرم حجمـی خـود آب جذب می‌کنند. تخلیه آب در این مواد تدریجی بـوده و در اثـر خشـک شدن خاک به‌تدریج صورت می‌گیرد. بنابراین، محیط خاک و ریشه به مدت نسبتاً طولانی در حد ظرفیت زراعـی بـاقی‌مانـده آب لازم را در اختیار گیـاه قـرار مـی‌دهـد (Monning, 2005). جهـان و همکـاران (Jahan et al 2013) بـا بررسـی اثـر مـواد سـوپرجاذب رطـوبتی در کاهش اثر تنش خشکی در ذرت (*Zea mays*) با دو دور آبیاری هفت و ۱۴ روزه، نتیجه گرفتند که ارتفاع بوته، درصد ماده خشک و عملکرد به‌صورت معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای سوپرجاذب قرار گرفت و بـا مصرف هر دو سطح ۴۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار سـوپرجاذب، صـفات رشد به طریقی معنی‌دار در دور آبیاری ۱۴ روزه افزایش پیدا کرد. مائو و همکاران (Mao et al., 2011) نتیجه گرفتند که در ذرت تعداد دانه در بوته با کاربرد حداقل مصرف سوپرجاذب تحت تأثیر واقع نشد، امّـا در سطوح متوسط و بـالاتر مصـرف سـوپرجاذب، بـه‌ترتیـب ۳۱ و ۴۵ درصد تعداد دانه در بوته افزایش پیدا کرد. در پژوهشی دیگـر (Jalili et al., 2011) با اندازه‌گیری قطر یقه و تاج پوشش در نهال‌های گـل رز با مصرف ماده سوپر جاذب Trawat 20 در سـه سـطح صـفر، ۴۰، ۹۰ و ۱۴۰ گرم در هر ۰۹/ مترمکعب خاک محـدوده اطـراف نهـال و چاله کاشت و با اعمال چهار سطح آبیـاری در دوره‌هـای ۶، ۱۰، ۱۴ و ۱۸ روزه، مشخص شد که دور آبیاری ۱۰ روزه و بـا مصـرف ۴۰ گـرم سوپرجاذب، نسبت به سایر مقادیر سوپرجاذب و سطوح آبیاری وضعیت مطلوب‌تری ایجاد کرد. بانج شفیعی و رهبـر (Banedj Schafiee & Rahbar, 2019) با مقایسه تأثیر پلیمر نوازورب A (تولیـد پژوهشـگاه پلیمر ایران) در گیاه *Panicum antidotale* Roze در سه نوع خاک سبک، متوسط و سنگین و با سـه دور آبیـاری ۴، ۸ و ۱۲ روزه نتیجـه گرفتند که کاربرد ماده سوپرجاذب سبب تسریع معنی‌دار رویش بـذرها به‌ترتیب به‌مدت هفت و نه روز در دوره‌هـای آبیـاری ۸ و ۱۲ روزه در دو خاک با بافت متوسط و سبک شده است. ضمن اینکه در خاک‌های سبک تعداد خوشه‌هـای ظـاهر شـده روی هـر بوتـه را ۸۵/۵ درصـد افزایش داد. رشیدی و همکاران (Rashidi et al., 2014) به بررسی تأثیر ماده سـوپرجاذب Trawat A بـه همـراه سـطوح مختلـف کـود شیمیایی و آلی (کود مرغی، کمپوست، ورمی‌کمپوست و کود دامی) بر عملکرد و شاخص‌های رشـد سـیب‌زمینـی پرداختنـد. نتـایج آزمـایش مشخص کرد که اثر سوپر جاذب در تعداد ساقه در بوته و عملکرد کل معنی‌دار شد، امّا در تعداد غده در مترمربع معنی‌دار نشد. همچنـین اثـر متقابل کود آلی و ماده سوپرجاذب در صفات ارتفاع بوته، تعـداد سـاقه در بوته و عملکرد کل تفاوت معنی‌دار نشان داد.

قارچ‌های میکوریزابا افزایش در جذب آب و عناصر غذایی از یـک سو و تغییر در مواد شیمیایی بافت‌های گیاهی، رقابت با عوامل بیماریزا برای محل استقرار در ریشه، تغییر ساختار ریشه و کاستن از اثر تنش‌های محیطی، به رشد و نمو گیاه زراعی کمک مـی‌کننـد. قـارچ‌هـای میکوریز به‌وسیله افزایش هدایت هیـدرولیکی آب در خـاک، افـزایش نسبت تعرق و سرعت انتقال آب از ریشه به آوندهای چـوبی، کـاهش مقاومت روزنه‌ای به‌وسیله تغییر در تعادل هورمون‌های گیاه، روابط آبی گیاه را افزایش می‌دهند (Elvan, 2001). گزارش شـده اسـت کـه در شرایط تنش آبی خفیف هدایت روزنه‌ای، سرعت تعرق، سرعت انتقال آب از ریشه و پتانسیل آب برگ در گیاهان رزماری تلقیح شده با قارچ میکوریزا *Glomus deserticola* بالاتر بوده اسـت کـه نشـان‌دهنـده سـرعت نقـل و انتقـال بیشـتر آب در گیاهـان میکـوریزایی اسـت

(Sanchez-Blanco et al., 2004). باقری و همکاران (Bagheri et al., 2013) در آزمایشی تأثیر ماده سوپرجاذب در ترکیب با تلقیح بیولوژیکی مخلوط کودهای زیستی حاوی باکتری‌های *ازتوباکتر* و میکوریزا به‌صورت جداگانه و ترکیبی بر شاخص‌های رشد در عدس ایرانی را مورد بررسی قرار دادند. تیمارهای آزمایشی شامل کاربرد مجزای ماده سوپرجاذب و ترکیب دوگانه و سه گانه آن‌ها در شش سطح با کود زیستی باکتری‌های *ازتوباکتر* و قارچ‌های میکوریزا بود. نتایج آزمایش نشان داد که کاربرد ترکیب ماده سوپرجاذب با کود زیستی باکتری *ازتوباکتر* و میکوریزا بیشترین تأثیر بر شاخص‌های رشد داشت.

کاهش اثرات تنش خشکی توسط مایه‌زنی گیاهان زراعی با قارچ میکوریزا آربوسکولار در گیاهانی مانند پیاز (*Allium cepa*)، ذرت و گندم (*Triticum aestivum* L) توسط برخی از محققان گزارش شده است (Aug, 2001; Al-Karaki et al., 204; Bolandnazar et al., 2007; Subramanian et al., 2008). بومسما و وین (Boomsma & Vyn, 2008) گزارش کردند که کاربرد قارچ میکوریزا آربوسکولار با استفاده از تغییر روابط آب گیاه و کاهش اثرات ناشی از تنش خشکی و همچنین افزایش زیست فراهمی عناصر غذایی در شرایط حاصلخیزی پایین خاک می‌تواند باعث افزایش عملکرد در ذرت گردد. همچنین مشخص شده است که تلقیح گیاهان ذرت با دو گونه میکوریزا (*Glomus intraradices* و *G. mosseae*) سبب افزایش پتانسیل آب سلول‌های برگ در مقایسه با گیاهان غیر میکوریزایی شده است (Amerian & Stewart, 2001). در سایر مطالعات، اثرات قابل توجه میکوریزا در تحمل به خشکی به نقش آن در افزایش جذب فسفر، تحریک سنتز سیتوکینین و افزایش راندمان فتوسنتز نسبت داده شده است (Maclean et al., 2017؛ Goicoechea et al., 1997). گیاهان میکوریزایی در پتانسیل آب کمتر در خاک قدرت جذب بیشتری نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی دارند (Sanchez-Blanco et al., 2004). گوراو و همکاران (Gaurav et al., 2010) به ارزیابی صفات رشدی، عملکرد و کیفیت غده‌های تولیدی در ۳۴ رقم سیب‌زمینی تحت شرایط تنش با استفاده از سیستم آبیاری سورس‌لاین و در تلقیح با میکوریزا پرداختند. نتایج نشان داد که در ارقام مختلف در شرایط تنش و در تلقیح با قارچ میکوریزا سطح برگ در مقایسه با شاهد (تنش و عدم تلقیح) تفاوت معنی‌دار نشان داد. متوسط افزایش سطح برگ در شرایط تنش و تلقیح با میکوریزا نسبت به شاهد از ۲۰ تا ۳۶/۶ درصد متغیر بود. در تیمار تنش و عدم تلقیح بسته به رقم درصد بدشکلی افزایش معنی‌دار داشت. در مجموع، از نظر عملکرد کل و کیفیت غده‌های تولیدی در بین ارقام مورد بررسی دو رقم "Girraj" و "Swarna" وضعیتی بهتر از سایر ارقام در سازگاری با تلقیح با میکوریزا در تحت شرایط تنش داشتند.

الیزابت و همکاران (Elizabeth et al., 2000) به بررسی تأثیر گونه ای از قارچ آربوسکولار میکوریزا گونه *G. mosseae* بر گیاهچه‌های سیب‌زمینی در شرایط گلخانه پرداختند. نتایج نشان داد که در شرایط گلخانه در گیاهچه‌های مایه‌زنی شده با دو جدایه تجاری قارچ نسبت به تیمارهای شاهد اختلاف معنی‌داری در تعداد گره، ارتفاع گیاهی و وزن تر ریشه وساقه و نیز وزن خشک آن‌ها وجود داشت. اگر چه در میزان وزن کل مینی تیوبرهای حاصل تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشتند، امّا در گیاهچه‌های مایه‌زنی شده با جدایه مخلوط قارچ میکوریزا تعداد ریزغده بیشتری تولید شد.

نتایج تحقیقات مختلف در رابطه با اثر اندومیکوریزا بر عملکرد و راندمان تولید محصول در سیب‌زمینی بسته به نوع رقم و ایزوله انتخابی از قارچ متفاوت بوده است. گراهام و همکاران (Graham et al., 1996) دریافتند که تلقیح با سویه قارچ *Glomus Fasciculatum* عملکرد را افزایش داد، درحالی‌که گونه *G. mosseae* قادر به افزایش معنی‌داری در عملکرد نبود. پرویزی و همکاران (Parvizi et al., 2017) با بررسی اثر دو گونه قارچ میکوریز، *G. mosseae* و *G. etunicatum* در تلقیح گیاهچه‌های سیب‌زمینی در محیط کشت بافت و شرایط گلخانه نتیجه گرفتند که از بین دو گونه مورد مطالعه، گونه *G. etunicatum* قابلیت بیشتری در کلونیزه شدن و ایجاد رابطه همزیستی با گیاهچه‌های سیب‌زمینی داشته و در تیمارهای تلقیح‌شده با این گونه نسبت به گونه *G. mosseae*، تولید ریزغده به‌صورت معنی‌داری افزایش پیدا کرد. در هر دو رقم مورد مطالعه (سانته[1] و آگریا[2]) متوسط درصد افزایش تولید ریزغده نسبت به شاهد و تیمار تلقیح با *G. mosseae* به‌ترتیب ۵۸/۸ درصد و ۲۳/۶ درصد بود.

همان‌طوری‌که در مرور منابع نیز مورد اشاره قرار گرفت، تحقیقات محدودی در ارتباط با اثر مواد سوپرجاذب و میکوریزا و به‌ویژه در

1- Sante
2- Agria

شرایط کم‌آبیاری در سیب‌زمینی انجام شده است. مهم‌تر اینکه گزارشات بسیار کمی از اثر ترکیبی سوپرجاذب و میکوریزا در محصول سیب‌زمینی ارائه شده است. لذا در این آزمایش، اثرات کاربرد آن‌ها بر جذب عناصر غذایی و عملکرد سیب‌زمینی در شرایط کم‌آبیاری و همچنین کاربرد توأم آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت طرح استریپ- پلات فاکتوریل و با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی به‌مدت دو سال زراعی (۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷) در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان به اجرا درآمد. در این تحقیق، مقدار آب آبیاری در سه سطح (۱۰۰ ، ۷۵ و۵۰ درصد نیاز آبی بر اساس تبخیر و تعرق) در کرت‌های افقی و فاکتور استفاده از سوپر جاذب $Trawat_{200A}$ با دو سطح (۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار) و میکوریزا در دو سطح (تلقیح و عدم تلقیح با میکوریزا گونه *Glomus etunicatum*) در کرت‌های عمودی قرار گرفتند. در تیمارهای آبیاری، آبیاری از ابتدای فصل رشد بلافاصله بعد از کاشت و بر اساس محاسبه نیاز آبی از فرمول پنمن مانتیث اصلاح شده و با احتساب راندمان ۹۰ درصد انجام پذیرفت. لازم به ذکر اینکه برای محاسبه نیاز آبی مقدار تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر در ضریب‌های مربوطه از جمله ضریب تشتک (Kp) و ضریب گیاهی (Kc) در مراحل مختلف رشد گیاهی ضرب شده است. هر کدام از کرت‌ها به‌طول ۱۰ متر و عرض ۴/۵۰ متر بودند. در هر پلات آزمایش، شش خط کاشت وجود داشت و نوار تیپ در وسط هر دو خط کاشت غده‌ها به‌صورت پشته تلفیقی (۱۵۰×۵۰ سانتی‌متر) با تراکم کاشت ۵۶۰۰۰ غده در هکتار انجام گرفت. رقم مورد نظر جهت کشت رقم تجاری مرسوم در منطقه (آگریا) بود. ماده سوپر جاذب رطوبتی در هنگام کاشت غده‌ها در مجاور غده و در شیارهای کشت توزیع شد. در تیمارهای تلقیح با میکوریزا از زادمایه مورد نظر با جمعیت فعال قارچ به تعداد ۱۲۰ عدد در هر گرم (از مؤسسه تحقیقات خاک و آب تهیه شد) و به‌صورت بذرمال در هنگام کاشت غده‌ها با آن‌ها آغشته شد. جهت انجام بذرمالی قارچ میکوریزا، ابتدا با آب مقطر بر روی غده‌ها محلول‌پاشی انجام شده و سپس محیط کشت پیت ماس در مخلوط با زادمایه قارچ بر روی غده‌ها پاشیده شد، به‌طوری‌که سطح غده‌ها به لایه نازکی از مخلوط محیط کشت و قارچ آغشته گردید. لازم به ذکر اینکه در این تحقیق هیچ نوع ضدعفونی شیمیایی در هنگام کاشت غده‌های بذری مورد استفاده قرار نگرفت.

قبل از کاشت نمونه خاک از محل آزمایش تهیه و در هوا خشک شده و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن از جمله فسفر قابل جذب به‌روش اولسن (Olsen et al., 1954)، بافت خاک به‌روش هیدرومتری (Gee & Bauder, 1986)، پتاسیم قابل جذب با عصاره-گیری با استات آمونیوم یک نرمال (Knudsen et al., 1982) و واکنش و هدایت الکتریکی خاک در عصاره گل اشباع تعیین شد (جدول ۱).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک قبل از کاشت در دو سال اجرای آزمایش

Table 1- Physicochemical properties of soil before planting (two years of experiment)

سال Year	بافت خاک Soil texture	شوری خاک EC (dS.m^{-1})	pH	فسفر Available P (mg.kg^{-1})	پتاسیم Available K (mg.kg^{-1})	درصد نیتروژن N (%)	درصد کربن آلی Organic C (%)
۱۳۹۷ 2018	لوم رسی Clay loam	1.6	7.8	4.2	356.4	0.38	0.50
۱۳۹۸ 2019	لوم رسی Clay loam	1.8	7.6	3.8	338.6	0.35	0.70

برای اندازه‌گیری غلظت عناصر غذایی در پایان مرحله سوم رشد سیب‌زمینی (پرشدن غده)، نمونه گیاهی از کامل‌ترین برگ‌های انتهایی تهیه و قسمتی از آن در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت خشک شده و سپس غلظت عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، منگنز در اندام هوایی تعیین گردید. بعد از برداشت از هر کرت نمونه تصادفی غده انتخاب و غلظت عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، منگنز، اندازه‌گیری شد. فسفر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Jones, 2001)، غلظت پتاسیم به‌وسیله شعله‌سنجی، آهن، روی و منگنز توسط دستگاه جذب اتمی (Ryan et al., 2001)، نیتروژن با استفاده از دستگاه کجلدال

(Waling et al., 1989) اندازه‌گیری شدند.

جهت تعیین شدت کلونیزاسیون قارچ میکوریزا از روش رنگ‌آمیزی ریشه ارائه شده توسط فیلیپس و هیمن (Phillips & Hayman, 1970) استفاده شد. درصد کلونیزاسیون ریشه‌ها به‌صورت درصد آغشتگی میکوریزایی ریشه‌ها با روش تلاقی خطوط مشبک مشخص شده و بر اساس روش گونیگل و همکاران (Gonigle et al., 1990) محاسبه شد.

رکورگیری در مرحله برداشت به‌صورت انتخاب واحدهای یک مترمربعی و به‌صورت تصادفی در دو نقطه از هر رقم و تیمار مربوطه انجام شد. در محصول برداشتی، غده‌ها بر اساس اندازه آن‌ها در گروه‌هایی با اندازه کوچک‌تر از ۳۵، ۵۵–۳۵ و بزرگ‌تر از ۵۵ میلی‌متر تقسیم‌بندی شده و توزین و شمارش شدند. میزان غده‌های با آلودگی اسکب، دفرمه و بدشکل و دارای رشد ثانویه و نیز غده‌های پوسیده شمارش و در تیمارهای مختلف توزین و درصد هریک تعیین گردید. کارآیی مصرف آب به‌صورت مقدار ماده خشک تولید شده به‌ازای مصرف هر مترمکعب آب در تیمارهای مختلف با استفاده از معادله زیر تعیین گردید.

معادله (۱) $WUE= TY / TWU$

که در آن، WUE: کارآیی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب آب)، TY: عملکرد غده (کیلوگرم در هکتار)، و TWU: کل آب مصرف شده توسط سیب‌زمینی (مترمکعب در هکتار) می‌باشند.

برای تعیین درصد ماده خشک غده، برش‌های نازک از چهار غده متوسط (۸۰–۴۰ میلی‌متر) از هر رقم تهیه شده و به‌صورت جداگانه در داخل آون به‌مدت ۴۸ ساعت و در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده و از طریق معادله ۵ محاسبه شد (Jones, 2001).

معادله (۲)

درصد ماده خشک = (وزن غده اولیه/وزن غده پس از خشک شدن) ×۱۰۰

در نهایت، تجزیه مرکب داده‌ها با ادغام داده‌های حاصل از دو سال مختلف پس از انجام آزمون بارتلت و تأیید یکنواختی واریانس سال‌های مختلف، با نرم‌افزار SAS انجام شد. مقایسه میانگین تیمارهای مختلف با استفاده از آزمون مقایسه چند دامنه‌ای دانکن صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

عناصر غذایی در برگ و غده سیب‌زمینی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، اثر سطوح آبیاری در میزان فسفر غده سیب‌زمینی معنی‌دار نشد. امّا اثر آبیاری در میزان نیتروژن و پتاسیم برگ و غده و نیز مقدار عناصر آهن، روی و منگنز در برگ و همچنین در غده معنی‌دار گردید ($p\leq0.01$). اثر اصلی استفاده از میکوریزا و سوپرجاذب و نیز اثر متقابل سطوح آبیاری و میکوریزا و سوپرجاذب بر تمامی عناصر پرمصرف و کم مصرف در برگ و غده در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول‌های ۲ و ۳). ضمناً همان‌طور که می‌دانیم، اثر سال در همه تحقیقات به‌عنوان اثر تصادفی در نظر گرفته می‌شود که تغییرات آن در کنترل محقق نیست و به‌منظور افزایش دقت آزمایش، برای تمامی منابع تغییرات از یک خطای کل (خطای بزرگ‌تر) به‌جای خطاهای متفاوت جهت تجزیه و تحلیل استفاده گردیده است.

مقایسه میانگین تیمارها حاکی از اثر قابل توجه میکوریزادر جذب فسفر در مقایسه با تیمارهای سوپرجاذب و شاهد در هر سه سطح آبیاری بود. این اثرات مثبت میکوریزادر جذب فسفر و افزایش میزان آن در غده با شدت کم‌آبیاری رابطه مستقیم داشت و در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی این مقدار افزایش بیشتری داشت. جذب نیتروژن تحت تأثیر تیمار آبیاری قرار نگرفت، امّا کاربرد میکوریزا و سوپرجاذب سبب افزایش قابل توجه نیتروژن برگ و غده گردید و در هر سه سطح آبیاری میزان جذب نیتروژن در تیمارهای میکوریزی و سوپرجاذب نسبت به عدم کاربرد آن‌ها افزایش قابل توجه داشت، اگرچه میزان جذب و تجمع نیتروژن با ترکیب سوپرجاذب و میکوریزا افزایش یافت (جدول‌های ۴، ۵، ۶ و ۷).

جذب پتاسیم به‌طور معنی‌داری ($p\leq0.01$) تحت تأثیر رژیم آبیاری و همچنین کاربرد میکوریزا و سوپرجاذب قرار گرفت. در شاهد و آبیاری با ۱۰۰ درصد نیاز آبی میزان جذب پتاسیم نسبت به دو سطح دیگر (۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی) افزایش معنی‌دار داشت. سوپرجاذب و میکوریزاهر دو قادر به افزایش میزان جذب پتاسیم و نیز میزان ذخیره آن در غده سیب‌زمینی شدند (جدول‌های ۳ و ۴).

در تیمار آبیاری ۱۰۰ نیاز آبی با کاربرد توأم سوپرجاذب و میکوریزا و نیز مصرف جداگانه میکوریز، بیشترین میزان آهن در برگ و غده سیب‌زمینی تجمع پیدا کرد که با مقدار آن در برگ و در سطح ۷۵ درصد نیاز آبی و با همین دو سطح میکوریزا و سوپرجاذب معنی‌دار نشد، امّا مقدار آن در غده سیب‌زمینی در مقایسه با سایر تیمارها

تفاوت معنی‌دار نشان داد. در سطوح آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد استفاده از میکوریزا و سوپرجاذب و نیز تلفیق آن‌ها منجر به افزایش معنی‌دار در جذب آهن شد. ضمن اینکه این اثرات در تیمار آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی بیشتر قابل توجه بود. جذب منگنز و روی تحت تأثیر تیمار آبیاری و سوپرجاذب و میکوریزا قرار گرفت. در تیمارهای کم‌آبیاری بدون استفاده از میکوریزا و سوپرجاذب، میزان جذب این دو عنصر به‌صورت معنی‌داری کاهش پیدا کرد. امّا سوپرجاذب و میکوریزا و تلفیق آن‌ها به طریقی مطلوب‌تر قادر به افزایش جذب روی و منگنز شدند. این افزایش جذب با کاهش میزان آب آبیاری متناسب بود، به‌طوری‌که میزان جذب آن‌ها در سطح آبیاری ۵۰ درصد و تیمارهای میکوریزی و سوپرجاذب نسبت به شاهد در مقایسه با تیمارهای مشابه در آبیاری ۷۵ و ۱۰۰ درصد افزایش قابل ملاحظه داشت. این وضعیت در میزان روی و منگنز در غده نیز برقرار بود و غده‌های تولیدی از تیمارهای میکوریزا و سوپرجاذب به‌صورت معنی‌دار از میزان بالاتری در هر سه تیمار آبیاری برخوردار شدند. ضمن اینکه میزان آن‌ها در غده‌های حاصل از تیمار ترکیبی سوپرجاذب و میکوریزادر مقایسه با تیمارهای جداگانه آن‌ها بیشتر بود (جدول‌های ۴، ۵، ۶ و ۷).

به‌طور کلی، پذیرفته شده است که از اثرات همزیستی قارچ میکوریزا، افزایش جذب فسفر در اولویت اول می‌باشد و در این خصوص، تمامی پژوهشگران اتفاق نظر دارند. میکوریزا این عمل را به شیوه‌های مختلف از طریق توسعه سطح جذب با گسترش بیشتر ریسه‌های قارچ، انتشار رطوبت بیشتر در خاک، افزایش هدایت هیدرولیکی و کمک به انتقال توده‌ای فسفر و انحلال بیشتر فسفر از منابع غیر محلول از طریق ترشح آنزیم فسفاتاز انجام می‌دهد (Carlile et al., 2001). افزایش جذب فسفر در تیمارهایی که سوپرجاذب نیز استفاده شده بود، بیشتر مشهود بود و این موضوع با میزان توسعه ریشه و متعاقب آن زیست‌توده ساقه و ریشه (داده‌های دیگر حاصل از پژوهش) در آن‌ها وابستگی کامل داشت. در این پژوهش، تفاوت قابل توجهی در میزان جذب فسفر و سایر عناصر غذایی کم مصرف و پرمصرف در سطوح آبیاری نرمال و اعمال کم‌آبیاری در گیاهان میکوریزایی وجود داشت، به‌طوری‌که میزان جذب آن متناسب با شدت کم‌آبیاری و در شرایط تلقیح با میکوریزا افزایش پیدا کرد. به نظر می‌رسد، با اعمال کم‌آبیاری و متناسب با شدت آن قابلیت و کارآیی میکوریزا در جذب عناصر غذایی و به‌ویژه فسفر به دو طریق؛ ۱- افزایش میزان دسترسی به حجم بیشتری از خاک و ۲- تغییر در محیط ریشه با آزادسازی اسید فسفاتاز و هیدرولیز کردن فسفات آلی افزایش می‌یابد (Maclean et al., 2017).

قارچ‌های میکوریزا با افزایش محتوای آب نسبی[1] می‌توانند موجب بهبود جذب فسفر از خاک شده و در نهایت، نقش مؤثری در افزایش رشد گیاه داشته باشند (Krishna et al., 2005). به نظر می‌رسد، افزایش ارتفاع گیاهان و نیز وزن تر و خشک ساقه و همچنین شاخص سطح برگ (داده‌های دیگر حاصل از این پژوهش) در نتیجه تلقیح با میکوریزا و به‌ویژه در شرایط تنش آبی، ناشی از افزایش جذب فسفر و همچنین تأثیر آن بر روابط آبی گیاه باشد. از دیگر نتایج حاصل از افزایش جذب فسفر توسط قارچ میکوریزا در این پژوهش و به‌ویژه در شرایط کم‌آبیاری شدید که به‌خوبی در تحریک رشد نیز نمود پیدا کرد، اثر این قارچ بر سنتز هورمون‌های محرک رشد گیاهی و به‌ویژه اسید ایندول استیک می‌باشد. هر چند در سیب‌زمینی تا کنون در این زمینه گزارشی ارائه نشده است، امّا گزارش‌هایی متنوعی از افزایش مقدار اسید ایندول استیک، جیبرلین و سیتوکینین در سایر گیاهان همزیست با میکوریزا ارائه شده است. افزایش جذب فسفر، نیتروژن، پتاسیم و همچنین سه عنصر مهم و مؤثر در فتوسنتز شامل آهن، روی و منگنز در نتیجه تلقیح سیب‌زمینی با قارچ میکوریزا در این آزمایش با افزایش در ارتفاع و وزن تر و خشک ساقه و ریشه و همچنین شاخص سطح برگ (داده‌های دیگر حاصل از تحقیق) متناسب بود و از این نظر با نتایج تحقیقات مربوطه در سیب‌زمینی (Elizabeth et al., 2000)، در گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum*) (Subramanian et al., 2008)، در فلفل (*Capsicum annuum*) (Demir, 2004) و نیز در گندواش (*Artemisia annua*) (Rapparini et al., 2008) مطابقت دارد.

عناصر غذایی ریزمغذی همواره با مشکلات بیشتری در جذب توسط گیاهان زراعی و به‌ویژه در سیب‌زمینی مواجه هستند. این محدودیت‌ها به‌خصوص با اثرات آنتاگونیستی فسفر بالا در ممانعت از جذب روی و یا مقدار منگنز بیشتر در رقابت با جذب روی دو چندان نیز می‌شود (Davies, 2005). میکوریزا با اثر رقیق‌سازی و تحریک رشد ضمن کاهش جذب هر کدام از عناصر در شرایط سمیت و افزایش جذب در شرایط کمبود عنصر، اثرات آنتاگونیستی را تا حدودی تعدیل می‌کند. تحریک جذب عناصر ریزمغذی توسط قارچ‌های میکوریزا به ترشح ترکیبات کلاته‌کننده و اسیدهای آلی مربوط می‌باشد (Giovannetti, 2000).

1- Relative water content

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) اثر کم‌آبیاری، تلقیح میکوریزایی و کاربرد سوپرجاذب بر محتوای برخی از عناصر غذایی در غده سیب‌زمینی

Table 2- Combined analysis of variance (mean of squaress) the effect of deficit irrigation, mycorrhizal inoculation and application of superabsorbent on the content of some nutrient elements in potato tubers

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares					
		نیتروژن N (%)	فسفر P (%)	پتاسیم K (%)	آهن Fe ($mg.kg^{-1}dw$)	روی Zn ($mg.kg^{-1}dw$)	منگنز Zn ($mg.kg^{-1}dw$)
سال Year (Y)	1	0.007 ns	0.00001 ns	0.0004 ns	0.88 ns	4.01 ns	8.68 ns
تکرار × سال Year × Replication (R)	4	0.006 ns	0.002 ns	0.0023 ns	16.72 ns	8.22 ns	4.18 ns
تیمار آبیاری Irrigation treatments (I)	2	0.12 **	0.002 ns	0.12 **	1674.01 **	368.51 **	729.55 **
سال × تیمار آبیاری Y × I	2	0.005 ns	0.0001 ns	0.003ns	3.01 ns	2.34 ns	0.05 ns
سال × تیمار آبیاری × تکرار Y × I × R							
سوپرجاذب و میکوریزا Superabsorbent and Mycorrhiza (SM)	3	0.107 **	0.07 **	0.19 **	265.70 **	227.68 **	156.34 **
سال × سوپرجاذب و میکوریزا Y × SM	3	0.008 ns	0.005 ns	0.003 ns	2.22 ns	5.68 ns	1.05 ns
تیمار آبیاری × سوپرجاذب و میکوریزا I × SM	6	0.044 **	0.018 **	0.02 **	148.60 **	30.40 **	108.05 **
سال× تیمار آبیاری × سوپرجاذب و میکوریزا Y × I× SM	6	0.006 ns	0.0004 ns	0.001 ns	2.45 ns	4.01 ns	2.37 ns
خطا Error	42	0.002	0.001	0.005	8.64	7.43	11.18
کل Total	71						
ضریب تغییرات CV		2.52	6.33	3.08	15.6	6.52	25.7

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) اثر کم‌آبیاری، تلقیح میکوریزایی و کاربرد سوپرجاب بر محتوای برخی از عناصر غذایی در برگ و ساقه سیب‌زمینی

Table 3- Combined analysis of variance (mean of squaress) the effect of deficit irrigation, mycorrhizal inoculation and application of superabsorbent on the content of some nutrient elements in shoot and leaf of potato

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	فسفر P (%)	آهن Fe ($mg.kg^{-1}dw$)	روی Zn ($mg.kg^{-1}dw$)	منگنز Zn ($mg.kg^{-1}dw$)
سال Year (Y)	1	0.064 ^{ns}	33.34 ^{ns}	8.68 ^{ns}	2.24 ^{ns}
تکرار × سال Year × Replication	4	0.008 ^{ns}	31.81 ^{ns}	48.80 ^{ns}	67.24 ^{ns}
تیمار آبیاری Irrigation treatments (I)	2	0.41 **	8952.12**	4804.68 **	16112.26 **
سال × تیمار آبیاری Y× I	2	0.019 ^{ns}	17.68 ^{ns}	1.01 ^{ns}	12.59 ^{ns}
سوپرجاذب و میکوریزا Superabsorbent and Mycorrhiza (SM)	3	2.63 **	3680.08 **	1886.90 **	741.42 **
سال × سوپرجاذب و میکوریزا Y× SM	3	0.025 ^{ns}	7.56 ^{ns}	25.93 ^{ns}	8.05 ^{ns}
تیمار آبیاری × سوپرجاذب و میکوریزا I× SM	6	0.58 **	770.36 **	516.90 **	53.11 *
سال× تیمار آبیاری × سوپرجاذب و میکوریزا Y× I× SM	6	0.020 ^{ns}	5.62 ^{ns}	1.68 ^{ns}	8.69 ^{ns}
خطا Error	42	0.020	25.92	47.13	20.59
کل Total	71				
ضریب تغییرات CV		14.25	2.24	4.78	3.49

جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات اصلی کم‌آبیاری، تلقیح میکوریزایی و کاربرد سوپرجاب بر محتوای برخی از عناصر غذایی در برگ و ساقه سیب‌زمینی

Table 4- Mean comparison of the main effects of deficit irrigation, mycorrhizal inoculation and application of superabsorbent on the content of some nutrient elements in shoot and leaf of potato

تیمارها Treatments	فسفر P (%)	آهن Fe ($mg.kg^{-1}dw$)	روی Zn ($mg.kg^{-1}dw$)	منگنز Zn ($mg.kg^{-1}dw$)
۱۰۰٪ نیاز آبی 100% water requirement	0.92 b	240.75 a	156.87 a	153.50 a
۷۵٪ نیاز آبی 75% water requirement	0.94 b	234.87 b	144.25 b	134.25 b
۵۰٪ نیاز آبی 50% water requirement	1.15 a	204.75 c	128.91 c	102.20 c
شاهد (عدم مصرف سوپرجاذب و میکوریز) Control (no use of superabsorbent and mycorrhiza)	0.61 d	210.88 d	132.22 d	122.00 d
استفاده از سوپرجاذب Use of superabsorbent	0.74 c	218.72 c	137.50 c	128.00 c
استفاده از میکوریزا Use of mycorrhiza	1.26 b	236.77 b	149.33 b	133.22 b
کاربرد توأم میکوریزا و سوپرجاذب Both superabsorbent and mycorrhiza	1.40 a	240.77 a	154.33 a	136.72 a

* میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون از اثرات اصلی مربوطه اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد آزمون دانکن نداشته‌اند.

* In each column and for each main effect, the means followed by the similar letters do not have a significant difference ($p \leq 0.05$)

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل کم‌آبیاری، تلقیح میکوریزایی و کاربرد سوپرجاب بر محتوای برخی از عناصر غذایی در برگ و ساقه سیب‌زمینی

Table 5- Mean comparison of the interaction effects of deficit irrigation, mycorrhizal inoculation and application of superabsorbent on the content of some nutrient elements in shoot and leaf of potato

تیمارها		فسفر P (%)	آهن Fe ($mg.kg^{-1}dw$)	روی Zn ($mg.kg^{-1}dw$)	منگنز Zn ($mg.kg^{-1}dw$)
۱۰۰٪ نیاز آبی 100% water requirement	شاهد (عدم مصرف سوپرجاذب و میکوریزا) Control (no use of superabsorbent and mycorrhiza)	0.86 de*	234.66 bc	157.83 b	149.16 b
	استفاده از سوپرجاذب Use of superabsorbent	0.80 e	237.66 b	141.66 c	152.16 b
	استفاده از میکوریزا Use of mycorrhiza	1.02 cd	247.00 a	157.00 b	153.00 b
	کاربرد توأم میکوریزا و سوپرجاذب Both superabsorbent and mycorrhiza	0.99 cd	243.66 a	171.00 a	159.66 a
۷۵٪ نیاز آبی 75% water requirement	شاهد (عدم مصرف سوپرجاذب و میکوریزا) Control (no use of superabsorbent and mycorrhiza)	0.57 fg	220.00 d	133.00 de	126.00 e
	استفاده از سوپرجاذب Use of superabsorbent	0.72 ef	231.33 c	142.50 c	132.33 d
	استفاده از میکوریزا Use of mycorrhiza	1.07 c	243.66 a	151.00 b	137.66 cd
	کاربرد توأم میکوریزا و سوپرجاذب Both superabsorbent and mycorrhiza	1.39 b	244.50 a	150.50 b	141.00 c
۵۰٪ نیاز آبی 50% water requirement	شاهد (عدم مصرف سوپرجاذب و میکوریزا) Control (no use of superabsorbent and mycorrhiza)	0.41 g	178.00 f	105.83 f	90.83 h
	استفاده از سوپرجاذب Use of superabsorbent	0.71 ef	187.16 e	128.33 e	99.50 g
	استفاده از میکوریزا Use of mycorrhiza	1.70 a	219.66 d	140.00 cd	109.00 f
	کاربرد توأم میکوریزا و سوپرجاذب Both superabsorbent and mycorrhiza	1.81 a	134.16 bc	141.50 c	109.50 f

* میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد آزمون دانکن نداشته‌اند.

* In each column the means followed by the similar letters do not have a significant difference ($p \leq 0.05$)

جدول ٦- مقایسه میانگین اثرات اصلی کم‌آبیاری، تلقیح میکوریزایی و کاربرد سوپرجاب بر محتوای برخی از عناصر غذایی در غده سیب‌زمینی

Table 6- Mean comparison of the main effects of deficit irrigation, mycorrhizal inoculation and application of superabsorbent on the content of some nutrient elements in potato tubers

تیمارها Treatments	نیتروژن N (%)	فسفر P (%)	پتاسیم K (%)	آهن Fe ($mg.kg^{-1}dw$)	روی Zn ($mg.kg^{-1}dw$)	منگنز Zn ($mg.kg^{-1}dw$)
۱۰۰٪ نیاز آبی 100% water requirement	1.81 a*	0.51 a	2.50 a	54.95 a	45.41 a	52.29 a
۷۵٪ نیاز آبی 75% water requirement	1.82 a	0.50 a	2.47 a	49.62 b	42.25 b	4.12 b
۵۰٪ نیاز آبی 50% water requirement	1.71 b	0.49 a	2.36 b	38.58 c	37.62 c	1.79 c
شاهد (عدم مصرف سوپرجاذب و میکوریزا) Control (no use of superabsorbent and mycorrhiza)	1.70 c	0.43 c	2.29 b	42.44 c	37.05 c	41.66 b
استفاده از سوپرجاذب Use of superabsorbent	1.76 b	0.47 b	2.47 a	47.55 b	41.00 b	47.66 a
استفاده از میکوریزا Use of mycorrhiza	1.86 a	0.65 a	2.51 a	49.55 a	44.83 a	47.77 a
کاربرد توأم میکوریزا و سوپرجاذب Both superabsorbent and mycorrhiza	1.85 a	0.55 a	2.50 a	51.33 a	44.16 a	47.16 a

* میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون از اثرات اصلی مربوطه اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد آزمون دانکن نداشته‌اند.

* In each column and for each main effect, the means followed by the similar letters do not have a significant difference ($p \leq 0.05$)

در این پژوهش، با افزایش درصد میکوریزایی‌شدن، سطح جذب هر سه عنصر ریزمغذی آهن، روی و منگنز نیز بالا رفت. در این پژوهش مشخص شد که کاربرد سوپرجاذب در سیب‌زمینی به افزایش جذب عناصر غذایی کمک می‌کند. دلیل این امر می‌تواند افزایش ظرفیت نگهداری آب و عناصر غذایی برای مدت طولانی در خاک، کاهش شست و شوی مواد غذایی، رشد سریع و مطلوب ریشه با ذخیره مواد غذایی و هوادهی بهتر خاک باشد. به نظر می رسد که ترکیبات محلول در آب با وزن مولکولی کم، نظیر عناصر غذایی می توانند جذب این ماده شوند و با آزاد شدن تدریجی، توسط ریشه گیاه جذب شوند.

درصد کلونیزاسیون ریشه، اندازه غده تولیدی، درصد ماده خشک غده، عملکرد کل و کارآیی مصرف آب

درصد کلونیزه شدن قارچ تحت تأثیر تیمارهای آبیاری قرار گرفت، به‌طوری‌که میزان کلونیزاسیون قارچ میکوریزابا تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی در بالاترین میزان بود (با متوسط ۴۲/۱۲ درصد) که نسبت به کلونیزه شدن آن در دو تیمار دیگر آبیاری تفاوت معنی‌دار داشت. شدت کلونیزاسیون قارچ در کم‌آبیاری ملایم با متوسط ۳۸/۸۷ درصد نسبت به آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی با متوسط ۳۰/۰۴ درصد به‌طور معنی‌داری بیشتر بود و از این حیث در موقعیت دوم قرار گرفت. تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات سطوح آبیاری، میکوریزا و سوپرجاذب و نیز اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد بر تعداد غده در اندازه‌های مختلف (بذری، خوراکی و ریز)، درصد ماده خشک غده و کارآیی مصرف آب معنی‌دار بود. تیمار آبیاری تأثیر بسیار زیادی بر میزان ماده خشک غده و نیز بر عملکرد کل داشت. استفاده از سوپرجاذب و میکوریزا عملکرد را در سطح یک درصد تحت تأثیر قرار داد، امّا تفاوت معنی‌داری در اثر متقابل تیمار آبیاری و میکوریزا و سوپرجاذب بر عملکرد کل، در سطح پنج درصد مشاهده نشد (جدول‌های ۸ و ۹).

با نتایج این پژوهش در وضعیت کلونیزاسیون قارچ میکوریزا با ریشه سیب‌زمینی مشخص شد که در حالت کلی، اگرچه گونه مورد استفاده از میکوریزا *Glomus etunicatum* با ترکیب جمعیت فعال قارچ ذکر شده، قابلیت بالایی در جهت کلونیزاسیون باگیاهچه‌های سیب‌زمینی دارد، امّا میزان و شدت کلونیزاسیون این قارچ متناسب با کاهش آب آبیاری افزایش پیدا کرده است. بدین مفهوم که اصولاً قارچ همزیست در شرایط کم‌آبیاری در مقایسه با آبیاری نرمال از توان بالاتری در استقرار و کلونیزه‌شدن بر روی ریشه سیب‌زمینی برخوردار می‌باشد. قابلیت بالای این قارچ در جهت کلونیزه شدن با سیب‌زمینی قبلاً با پژوهش‌های الیزابت و همکاران (Elizabeth et al., 2000) و پرویزی و همکاران (Parvizi et al., 2017) نیز به اثبات رسیده است.

متوسط تعدا غده بذری در تیمار آبیاری ۱۰۰ و با کاربرد توأم میکوریزا و سوپرجاذب ۳۷ عدد در مترمربع بود که با دو سطح دیگر از این تیمار آبیاری و نیز سایر سطوح آبیاری و ترکیب میکوریزا و سوپرجاذب مربوطه تفاوت معنی‌دار نشان داد. کمترین غده در اندازه بذری در تیمار آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی و عدم کاربرد سوپرجاذب و میکوریزاتولید شد که با سایر تیمارها تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد داشت. در هر سه تیمار آبیاری استفاده از میکوریزا و سوپرجاذب سبب افزایش تعداد غده بذری شد. این اثرات در کاربرد تلفیقی آن‌ها بیشتر بود. لازم به ذکر است که اثر میکوریزا و سوپرجاذب و همچنین تلفیق آن‌ها بر تولید غده در اندازه بذری در تیمار آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی در مقایسه با دو سطح دیگر آبیاری چشمگیرتر بود (جدول‌های ۹ ، ۱۰ و ۱۱).

تعداد غده درشت در سطوح مختلف آبیاری و با کاربرد جداگانه و تلفیقی میکوریزا و سوپرجاذب نسبت به تیمار عدم کاربرد آن‌ها افزایش یافت. امّا این افزایش در تیمار آبیاری با تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی بیشتر بود. تعداد غده ریز با استفاده از میکوریزا و سوپرجاذب و نیز تلفیق آن‌ها در دو سطح آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی به‌طور معنی-داری کاهش یافت. شایان ذکر است که این اثر مثبت در استفاده ترکیبی آن‌ها بارزتر بود. امّا در تیمار آبیاری با ۱۰۰ درصد نیاز آبی، استفاده از میکوریزا و سوپرجاذب اثر معنی‌داری بر کاهش غده ریز نداشت (جدول‌های ۱۰ و ۱۱).

با تیمار آبیاری ۱۰۰ نیاز آبی و استفاده تلفیقی از سوپرجاذب و میکوریزابیشترین عملکرد کل غده حاصل گردید که با متوسط ۴۸/۸۸ تن در هکتار تفاوت معنی‌دار با سه تیمار دیگر از این سطح آبیاری و نیز سایر تیمارها داشت. در مجموع، استفاده از میکوریزا و سوپرجاذب و همچنین کاربرد توأم آن‌ها سبب افزایش عملکرد نسبت به شاهد در هر سه سطح آبیاری شد. امّا صرفاً در تیمار ترکیبی میکوریزا و

سوپرجاذب در مقایسه با شاهد تفاوت معنی‌دار ایجاد شد. استفاده از میکوریزا و سوپرجاذب در دو سطح آبیاری ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی اثر معنی‌داری بر میزان ماده خشک غده ایجاد نکرد و در هر دو سطح آبیاری تیمارهای شاهد و میکوریزا و سوپرجاذب و نیز تلفیق آن‌ها، درصد ماده خشک غده بسیار به هم نزدیک بود. امّا در سطح آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی (اعمال کم‌آبیاری شدید) افزایش قابل توجه و معنی‌داری در درصد ماده خشک غده بین شاهد و تیمارهای میکوریزایی و نیز سوپرجاذب ایجاد شد. در سطح آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی و در تیمارهای میکوریز، سوپرجاذب و نیز تلفیق آن‌ها ماده خشک غده به‌ترتیب ۲۰/۰۷، ۲۰/۵۲ و ۲۰/۳۹ درصد بود که در مقایسه با شاهد در همین سطح آبی (با متوسط ۱۸/۷۲ درصد ماده خشک غده) تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد نشان داد (جدول‌های ۸، ۹ و ۱۰).

استفاده از میکوریزا و سوپرجاذب و به‌ویژه تلفیق آن‌ها موجب شد که کارآیی مصرف آب نسبت به شاهد به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یابد. این افزایش با سطوح آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی چشمگیرتر بود. در مجموع، بیشترین کارآیی مصرف آب به‌میزان ۱۸/۰۱ کیلوگرم بر مترمکعب و در سطح آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی و در استفاده توأم از میکوریزا و سوپرجاذب ایجاد شد که نسبت به سه تیمار دیگر در این سطح آبیاری و سایر تیمارها تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد نشان داد. کمترین کارآیی مصرف آب (با متوسط ۱۱/۰۲ کیلوگرم بر مترمکعب آب) با تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و بدون استفاده از میکوریزا و سوپرجاذب حاصل شد که صرفاً با کاربرد سوپرجاذب در این سطح آبیاری تفاوت معنی‌دار نشان نداد، امّا با سایر تیمارها تفاوت‌ها معنی‌دار شد (جدول‌های ۸، ۹ و ۱۰).

افزایش تعداد کل غده و همچنین عملکرد کل در این آزمایش هماهنگی کامل با میزان جذب عناصر غذایی و به‌ویژه فسفر داشت. به‌گونه‌ای که متناسب با میزان جذب فسفر و به‌ویژه در تیمار مخلوط سوپرجاذب و میکوریزاتعداد غده‌ها و به‌خصوص غده‌های تولیدی با اندزه بذری نیز به‌صورتی معنی‌دار افزایش پیدا کرد. تأثیرات مثبت میکوریزادر افزایش جذب فسفر و در نتیجه، تولید تعداد غده بیشتر و در نتیجه، عملکرد کل در سیب‌زمینی در این تحقیق با گزارش میوتتوا و همکاران (Mutetwa et al., 2010) هماهنگی دارد. در این پژوهش، سوپرجاذب با تأثیر بر صفات مرتبط با ساقه سیب‌زمینی، افزایش شاخص سطح برگ و سرعت رشد و ایجاد پوشش کامل (سایر داده‌های حاصل از پژوهش) در مرحله استولون‌زایی، بر تعداد غده و نهایتاً، عملکرد کل اثرگذار بود. با نتایج این پژوهش مشخص شد که در هر دو شرایط آبیاری با تأمین ۱۰۰ نیاز آبی و همچنین کم‌آبیاری شدید استفاده توأم از میکوریزا و سوپر جاذب سبب افزایش تعداد غده و همچنین عملکرد کل نسبت به کاربرد جداگانه سوپرجاذب و میکوریزا و نیز شاهد شد. به نظر می‌رسد که استفاده از سوپرجاذب در شرایط کم‌آبیاری به استقرار میکوریزا کمک کرده و کارآیی آن را به‌ویژه در شرایط کم آبی افزایش داده است. یا ممکن است در شرایط تأمین ۱۰۰ نیاز آبی، سوپرجاذب با جذب و تثبیت مواد غذایی بیشتر به اندوخته عناصر غذایی در ریزوسفر[1] کمک کرده و با فراهم نمودن عناصر غذایی بیشتر سبب افزایش ظرفیت جذب در ریسه‌های قارچ میکوریزا بشود. در همین زمینه، گزارش شده است که استفاده از سوپر جاذب سبب تشدید فعالیت قارچ‌های میکوریزامی‌گردد (Hadi & Kalantar, 2017).

ثابت شده است که مقدار ماده خشک غده در سیب‌زمینی با فسفر برگ و میزان فسفر خاک همبستگی مثبت دارد (Ekelof, 2007). با توجه به اینکه فسفر عنصری ضروری برای متابولیسم‌های گیاهی به خصوص در متابولیسم کربوهیدرات است، تأمین فسفر مورد نیاز گیاه و تقویت انجام متابولیسم‌های لازم باعث افزایش ذخیره کربوهیدرات غده می‌شود. چون در غده سیب‌زمینی بیشترین میزان کربوهیدرات ذخیره نشاسته می‌باشد، این امر باعث افزایش ماده خشک گیاه و در نتیجه، ماده خشک غده‌ها می‌شود. همچنین با تجزیه برگی مشخص شد که در گیاهان تلقیح شده سطح جذب عناصر ریزمغذی آهن، روی و منگنز افزایش معنی‌دار داشته است. نقش این عناصر در تحریک سنتز کلروفیل، افزایش ظرفیت فتوسنتز و در نتیجه، کمک به تجمع زیست‌توده گیاهی کاملاً مشخص شده است. بر این اساس، می‌توان بخشی از دلایل افزایش ماده خشک غده به‌ویژه در تیمارهای تنش که با درصد بالاتری از استقرار و کلونیزاسیون قارچ میکوریزا همراه بودند را به اثرات مثبت ناشی از تأثیر میکوریزا بر جذب این عناصر و در نتیجه، افزایش ظرفیت فتوسنتز، سرعت آسیمیلاسیون و در نهایت، تجمع مواد ذخیره‌ای کربوهیدرات در غده‌ها نسبت داد. اثرات مثبت تلقیح با قارچ میکوریزا در تجمع ماده خشک غده در این آزمایش با نتایج گزارش‌های داوید و همکاران (David et al., 2007) و همچنین ریان و همکاران (Ryan et al., 2003) هم‌خوانی کامل

1- Rhizosphere

جدول ۸- تجزیه واریانس مرکب درصد کلونیزاسیون ریشه، عملکرد، اندازه غده تولیدی، وزن خشک غده و کارآیی مصرف آب

Table 8- Combined analysis of variance on root colonization percentage, yield, tuber size, tuber dry weight and water use efficiency

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares						
		درصد کلونیزاسیون Colonization percentage	تعداد غده بذری No. of seed tuber	تعداد غده خوراکی No. of edible tuber	تعداد غده ریز No. of small tuber	عملکرد کل Total yield ($ton.ha^{-1}$)	درصد ماده خشک غده Tuber dry matter (%)	کارآیی مصرف آب Water use efficiency ($kg.m^{-3}$)
سال Year (Y)	1	42.13 ^{ns}	22.0 ^{ns}	12.4 ^{ns}	34.0 ^{ns}	009.0 ^{ns}	001.0 ^{ns}	09.0 *
تکرار × سال Y × Replication (R)	4	72.2 ^{ns}	95.4 ^{ns}	30.3 ^{ns}	36.0 ^{ns}	13.28 ^{ns}	55.0 ^{ns}	05.0 ^{ns}
تیمار آبیاری Irrigation treatments (I)	2	72.887 **	79.195 **	18.74 **	26.70 **	95.647 **	28.2 **	91.169 **
سال × تیمار آبیاری Y × I	2	05.17 ^{ns}	26.0 ^{ns}	51.0 ^{ns}	34.6 ^{ns}	01.14 ^{ns}	05.0 ^{ns}	06.0 ^{ns}
سوپرجاذب و میکوریزا Superabsorbent and mycorrhiza (SM)	3	01.30556 **	75.70 **	61.38 **	16.48 **	91.54 *	23.2 **	76.8 **
سال × سوپرجاذب و میکوریزا Y × SM	3	53.4 ^{ns}	59.1 ^{ns}	38.0 ^{ns}	86.0 ^{ns}	33.9 ^{ns}	08.0 ^{ns}	04.0 ^{ns}
تیمار آبیاری × سوپرجاذب و میکوریزا I × SM	6	27.299 **	32.20 **	12.4 *	02.24 **	13.16 ^{ns}	16.1 **	05.2 **
سال× تیمار آبیاری × سوپرجاذب و میکوریزا Y × I × SM	6	01.8 ^{ns}	24.1 ^{ns}	34.0 ^{ns}	81.0 ^{ns}	83.11 ^{ns}	11.0 ^{ns}	01.0 ^{ns}
خطا Error	42	14.6	01.2	41.1	04.1	99.16	33.0	021.0
کل Total	71							
ضریب تغییرات CV		3.88	4.35	11.28	16.41	10.36	2.85	1.08

دارد.

جدول ۹- مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمار آبیاری و استفاده از سوپرجاذب و میکوریزا بر درصد کلونیزاسیون ریشه، عملکرد، اندازه غده، درصد ماده خشک و کارآیی مصرف آب

Table 9- Comparison of the mean of the main effects of irrigation treatment and the use of superabsorbent and mycorrhiza on root colonization percentage, yield, tuber size, dry matter percentage and water use efficiency

تیمارها Treatments	درصد کلونیزاسیون Colonization percentage	تعداد غده بذری No. of seed tuber	تعداد غده خوراکی No. of edible tuber	تعداد غده ریز No. of small tuber	عملکرد کل Total yield (ton.ha $^{-1}$)	درصد ماده خشک غده Tuber dry matter (%)	کارآیی مصرف آب Water use efficiency (kg.m^{3})
۱۰۰ درصد نیاز آبی 100% water requirement	30.04c*	35.37 ^{a}	12.37 ^{a}	4.58 ^{c}	44.40 ^{a}	20.49 ^{a}	11.36 ^{c}
۷۵ درصد نیاز آبی 75% water requirement	34.87 ^{b}	32.70 ^{b}	10.33 ^{b}	6.12 ^{b}	37.72 ^{b}	20.41 ^{a}	12.98 ^{b}
۵۰ درصد نیاز آبی 50% water requirement	42.12 ^{a}	29.66 ^{c}	8.87 ^{c}	8.00 ^{a}	34.16 ^{b}	19.92 ^{a}	16.56 ^{a}
شاهد (عدم کاربرد سوپرجاذب رطوبتی و میکوریزا) Control (no use of superabsorbent and mycorrhiza)	0.00 ^{b}	29.88 ^{c}	8.38 ^{b}	8.66 ^{a}	36.72 ^{b}	19.82 ^{c}	12.82 ^{d}
استفاده از سوپرجاذب رطوبتی Use of superabsorbent	0.00 ^{b}	32.83 ^{b}	10.77 ^{a}	5.61 ^{b}	40.87 ^{a}	20.64 ^{a}	13.85 ^{b}
استفاده از میکوریزا Use of mycorrhiza	71.00 ^{a}	32.94 ^{b}	11.55 ^{a}	5.55 ^{b}	38.21 ^{ab}	20.20 ^{bc}	13.39 ^{c}
استفاده توأم از سوپرجاذب رطوبتی و میکوریزا Both mycorrhiza and superabsorbent applications	71.72 ^{a}	34.66 ^{a}	11.38 ^{a}	5.11 ^{b}	39.24 ^{ab}	20.43 ^{ab}	14.47 ^{a}

* میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون از اثرات اصلی مربوطه اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد آزمون دانکن نداشته‌اند.

* In each column and for each main effect, the means followed by the similar letters do not have a significant difference ($p \leq 0.05$)

جدول ۱۰- مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمار آبیاری و استفاده از سوپرجاذب و میکوریزا بر عملکرد، اندازه غده، درصد ماده خشک و کارآیی مصرف آب

Table 10- Comparison of the mean of the main effects of irrigation treatment and the use of superabsorbent and mycorrhiza on root colonization percentage, yield, tuber size, dry matter percentage and water use efficiency

	تیمارها Treatments	درصد کلونیزاسیون Colonization percentage	تعداد غده بذری No. of seed tuber	تعداد غده خوراکی No. of edible tuber	تعداد غده ریز No. of small tuber	عملکرد کل Total yield ($ton.ha^{-1}$)	درصد ماده خشک غده Tuber dry matter (%)	کارآیی مصرف آب Water use efficiency ($kg.m^{-3}$)
۱۰۰٪ نیاز آبی 100% water requirement	شاهد (عدم مصرف سوپرجاذب و میکوریزا) Control (no use of superabsorbent and mycorrhiza)	0.00 e*	34.66 bc	11.16 cde	4.00 d	42.70 b	20.44 a	11.20 j
	استفاده از سوپرجاذب Use of superabsorbent	0.00 e	35.33 b	12.66 ab	4.50 d	43.91 b	20.68 a	11.38 ij
	استفاده از میکوریزا Use of mycorrhiza	60.33 d	34.50 bc	12.66 ab	4.48 d	43.10 b	20.27 a	11.45 i
	کاربرد توأم میکوریزا و سوپرجاذب Both superabsorbent and mycorrhiza	59.83 d	37.00 a	13.00 a	5.33 d	46.88 a	20.59 a	11.41 i
۷۵٪ نیاز آبی 75% water requirement	شاهد (عدم مصرف سوپرجاذب و میکوریزا) Control (no use superabsorbent and mycorrhiza)	0.00 e	30.66 d	7.50 g	9.16 b	35.70 cd	20.31 a	12.13 h
	استفاده از سوپرجاذب Use of superabsorbent	0.00 e	33.50 c	10.00 def	5.00 d	38.79 bc	20.74 a	13.21 f
	استفاده از میکوریزا Use of mycorrhiza	68.33 c	33.33 c	12.50 abc	5.16 d	34.57 cd	20.27 a	12.61 g
	کاربرد توأم میکوریزا و سوپرجاذب Both superabsorbent and mycorrhiza	71.16 b	33.66 bc	11.33 bcd	5.12 d	39.45 bc	20.33 a	13.98 e
۵۰٪ نیاز آبی 50% water requirement	شاهد (عدم مصرف سوپرجاذب و میکوریزا) Control (no use of superabsorbent and mycorrhiza)	0.00 e	24.33 e	6.50 g	12.83 a	31.77 d	18.72 b	15.14 d
	استفاده از سوپرجاذب Use of superabsorbent	0.00 e	29.66 d	9.66 f	7.33 c	34.95 cd	20.52 a	16.97 b
	استفاده از میکوریزا Use of mycorrhiza	84.33 a	31.00 d	9.50 f	7.00 c	34.57 cd	20.07 a	16.12 c
	کاربرد توأم میکوریزا و سوپرجاذب Both superabsorbent and mycorrhiza	84.16 a	33.66 bc	9.83 f	4.83 d	36.12 c	20.39 a	18.01 a

* میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد آزمون دانکن نداشته‌اند.

* In each column, the means followed by the similar letters do not have a significant difference ($p \leq 0.05$).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، مشخص شد که کاربرد سوپرجاذب و قارچ همزیست میکوریزا در سیب‌زمینی و به‌خصوص در شرایط کم‌آبیاری به افزایش جذب عناصر غذایی و در نتیجه، افزایش ظرفیت تولید غده و عملکرد در سیب‌زمینی منجر می‌شود. همچنین اثرات مثبت میکوریزا و سوپرجاذب در جذب مواد غذایی و همچنین عملکرد سیب-زمینی در کاربرد توأم آن‌ها و به‌ویژه در شرایط کم‌آبیاری شدید، بیشتر مشهود بود. در مجموع، کارآیی مصرف آب با مصرف میکوریزا و سوپرجاذب در هر دو شرایط کم‌آبیاری در مقایسه با شاهد به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت.

References

1. Allahdadi, M.A., Ghamsari, B. M., Akbari, G., & Zohoor Mehr, M.G. (2005). Investigating the effect of various A200 hydrogel polymer and different levels of irrigation on growth and yield of corn. In 9th Iranian Congress of Agricultural Sciences and Plant Breeding, Tehran University, Tehran, Iran, 26-27 September 2005, p. 113-163. (In Persian)
2. Al-Karaki, G.N., McMichael, B., & Zak, J. (2004). Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. *Mycorrhiza*, *14*, 263–269. doi.org/10.1007/s00572-003-0265-2.
3. Amerian, M.R., & Stewart, W.S. (2001). Effect of 2 species of arbuscular mycorrhizal fungi on growth assimilation and leaf water relations in maize (*Zea mays*). *Aspects of Applied Biology*, *63*, 1-6.
4. Auge´, R.M. (2001). Water relations, drought, and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. Mycorrhiza 11: 3-42.
5. Bagheri, A., Azizi, K., Heidari, S., & Hasanvandi, M.S. (2013). Regression modeling of growth indices of lentil affected by bio-fertilizer with superabsorbent polymer. *International Journal of Farming and Apllied Sciences, 2(19)*, 712-719. (In Persian with English Summary)
6. Banedj Schafiee, S., & Rahbar, E. (2019). Efficiency of a hydrophilic polymer in agriculture and natural resources. *Iranian Journal of Rangeland and Desert Research, 10(1)*, 111-129. (In Persian with English Summary). doi.org/10.22092/ijrdr.2019.119699.
7. Bolandnazar, S., Aliasgarzad, N., Neishabury, M.R., & Chaparzadeh, N. (2007). Mycorrhizal colonization improves onion (*Allium cepa* L.) yield and water use efficiency under water deficit condition. *Scientia Horticulture*, *114*, 11–15.
8. Boomsma, C.R., & Vyn, T.J. (2008). Maize drought tolerance: Potential improvements through arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Field Crops Research*, *108*, 14–31. doi.org/10.1016/j.scienta.2007.05.012.
9. Carlile, M.J., Watkinson, S.C., & Gooday, G.M. (2001). The fungi. Elsevier Academic Press, San Diego pp. 260.
10. David, D., Gerald, N., Carolyn, R., & Paul, R.H. (2007). Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi increases the yield of potatoes in a high P soil. *Biological Agriculture Horticulture*, *25*, 67-78. doi.org/10.1080/01448765.2007.10823209.
11. Davies, J.R., Calderón, F.T., & Huainan, Z. (2005). Influence of arhuscular on growth, yield, and leaf elemental concentration of 'Yungay' potatoes. *Hort Science*, *40*, 381-385. doi.org/10.1080/01448765.2007.10823209.
12. Demir, S. (2004). Influence of arbuscular mycorrhiza on some physiological growth parameters of pepper. *Turkish Journal of Biology*, *28*, 85-90. doi.org/10.1007/s00572-010-0360-0.
13. Elizabeth, M., Duffy, A., & Cassells, C. (2000). The effect of inoculation of potato microplant with arbuscular mycorrhizal fungi on tuber yield and tuber size distribution. *Applied Soil Ecology*, *15*, 137-144. doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00089-5.
14. Eissenstat, D.M., Graham, J.H, Syvertsen, J.P., & Drouillard, D.L. (1993). Carbon economy of sour orange in relation to mycorrhizal colonization and phosphorus status. *Annual Botany*, *71*, 1-10. doi.org/10.1006/anbo.1993.1001.
15. Elliott, A.P., Bird, G.W., & Safir, G.R. (1984). Joint influence of *Pratylenchus penetrans* (Nematode) and *Glomus fasciculatus* (Phycomycete) on the ontology of *Phaseolus vulgaris*. *Nematropica Journal*, *14*, 111-119.
16. Elwan, L.M. (2001). Effect of soil water regimes and inoculation with mycorrhizae on growth and nutrients content

of maize plants. *Zagazig Journal of Agricultural Research*, *28*, 163-172.
17. Feng, G., Zhang, F.S., Tian, C.Y., & Tang, C. (2002). Improved tolerance of maize plants to salt stress by arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of soluble sugars in roots. *Mycorrhiza*, *12*, 185–190. doi.org/ 10.1007/s00572-002-0170-0.
18. Gaurav, S.S., Sirohi S.P.S., Singh, B., & Sirohi, P. (2010). Effect of mycorrhiza on growth, yield, and tuber deformity in Potato (*Solanum tuberosum* L.) grown under water stress conditions. *Progressive Agriculture Journal*, *10*, 31-40.
19. Gee, G.W., & Bauder J.W.C. (1986). Methods of Soil Analysis, Part1, Physical and Mineralogical Methods. Second edition, *American Society of Agronomy*, USA pp. 383-411.
20. Giovannetti, M. (2000). Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function. Kluwer Academic Publishers, Netherlands pp. 320.
21. Goicoechea, N., Antolín, M.C., & Sánchez-Díaz, M. (1997). Influence of arbuscular mycorrhizae and *Rhizobium* on nutrient content and water relations in drought stressed alfalfa. *Plant and Soil*, *192*, 261-268. doi.org/10.1023/A:1004216225159
22. Gonigle, T., Miller, M., and Swan, J. (1990). A new method that gives an objective measure of colonization of roots by vesicular arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, *115*, 495-501. doi.org/10.1111/j.1469-8137.1990.tb00476.x.
23. Graham, S.O., Green, N.E., & Hendrix, J.W. (1996). The influence of vesicular- arbuscular mycorrhiza on growth and tuberization of potatoes. *Mycologia Journal*, *68*, 925-929. doi.org/10.1080/00275514.1976.12019968
24. Hadi, H., & Kalantar, A. (2017) Effects of mycorhizal symbiosis, application of super absorbent gel, glycine-betain and sugar beet extract on physiological traits and seed yield of castor bean (*Ricinus communis* L.) in drought stress conditions. Iranian Journal of Crop Sciences, *17(3)*, 236-250. (In Persian with English Summary). doi.org/20.1001.1.15625540.1394.17.3.5.1
25. Hao, J.J., Meng, Q.X., Yin, J.F., & Kirk, W.W. (2009). Characterization of a new Streptomyces strain, DS3024, that causes potato common scab. *Plant Diseases*, *93*, 1329–1334. doi.org/10.1094/PDIS-93-12-1329.
26. Jahan, M., Kamayestani, N., & Ranjbar, F. (2013). The feasibility of using superabsorbent moisture to reduce drought stress in corn in a low input system. Journal of Agroecology *5(3)*, 272-281. (In Persian with English Summary)
27. Jalili, K.H., Jalili, J., & Sohrabi, H. (2011). The effect of super absorbents and irrigation period on generative growth of rosa bushes. *Journal of Plant Production*, *18(3)*, 91-104. (In Persian with English Summary). doi.org/10.22067/jag.v5i3.28999.
28. Jones, J. (2001). Laboratory Guide for Conducting Soil Tests and Plant Analysis. CRC Press, LLC. USA.
29. Karoliina, N., Ritta, j., Hely, H., & Tytii, S. (2006). Suillus Variegatus causes significant changes in Scots pine seedlings during mycorrhiza formation *in vitro* conditions. *Journal Experimental Botany*, 1-11. doi.org/10.1093/jxb/erl209.
30. Kellam, M.K., & Schenck, N.C. (1980). Interaction between a vesicular arbuscular mycorrhizal fungus and root-knot nematode on soyabean. *Phytopathology*, *70*, 293-296.
31. Khadem, S.A., Raroudi, M., Ghalvi, M., & Roosta, M.G. (2011). Effect of drought stress and application of different ratios of manure and polymers-permeable fertilizer on yield and yield components of corn. Iranian Journal of Crop Sciences *42(1)*, 115-123. (In Persian with English Summary)
32. Knudsen, D., Peterson, G.A., & Pratt, P.E. (1982). Lithium, sodium, and potassium. In A.L. page (Ed.). Methods of Soil Analysis-Part 2, Agron. Monogr. 9, American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 225-246.
33. Krishna. H., Singh, S.K., & Sharma, R.R. (2005). Biochemical changes in micropropagated grape (*Vitis vinifera* L.) plantlets due to arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) inoculated during ex vitro acclimatization. *Scientia Horticulturae*, *106*, 554-567. doi.org/10.1016/j.scienta.2005.05.009.
34. Maclean, A.M., Bravo, A., & Harrison, M.J. (2017). Plant signaling and metabolic pathways enabling arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Plant Cell American Society of Plant Biologists*, *29(10)*, doi.org/10.1105/tpc.17.00555.
35. Mao, R., Islam, S., Xue, X., Yang, X., Zhao, X., & Hu, Y. (2011). Evaluation of a water-saving superabsorbent polymer for corn (*Zea mays* L.) production in arid regions of Northern China. *African Journal of Agricultural Research*, *6(17)*, 4108-4115. doi.org 10.5897/AJAR11.395.
36. Menzel, C.M. (1985). Tuberization in potato at high temperature: Interaction between temperature and irradiance.

Annual Botany, *55*, 35-39. doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a086875.
37. Monnig, S. (2005). Watter saturated super-absorbent polymers used in high strength concrete. *Journal of Otto-Graf*, *3*(16), *193*-202.
38. Mutetwa, M., Shoko, M.D., & Mtaita, T.A. (2010). The effect of super phosphate and planting density on mini-tuber production from true potato seed. Second Ruforum Biennial Meeting, 20-24 September 2010, Entebbe, Uganda. pp. 120-126. doi.org/10.4314/ijbcs.v4i4.63067.
39. Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S., & Dean, L.A. (1954). Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circ. 939 US Gover. Prin. Office, Washington DC.
40. Parvizi, K., Parvizi, Y., & Navaei, A. (2017). Effect of arbuscular mycorrhizal (AM) fungus (*Rhizophagus irregularis*) inoculation in different levels of water deficit on mini tuber production in potato. *Journal of Plant Productions* (*Agronomy*, *Breeding*, *and Horticulture*), *40(3)*, 15-26. (In Persian with English Summary). doi.org/10.22055/ppd.2017.19706.1402.
41. Pawlowska, T.E., & Taylor, J.W. (2004). Organization of genetic variation in individuals of arbuscular mycorrhizal fungi. *Nature*, *427*, 733-737.
42. Phillips, J.M., & Hayman, D.S. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Mycology Society Journal*, *55*, 159-161. doi.org/10.1016/S0007-1536(70)80110-3.
43. Rapparini, F., Liusia, J., & Penuelas, J. (2008). Effect of arbuscular mycorrhiza on contents of *Artemisia annua*. *Plant Biology*, *10(1)*, doi.org/108-122. 10.1055/s-2007-964963.
44. Rashidi, N., Arji, I., Gerdekaneh, M., & Kashi, A. (2014). The effect of organic manure and water super absorbent on tuber yield and yield components of potato (*Solanum tuberosum*, cv. marfona). *Plant Production Technology*, *5(2)*, 11-22. (In Persian with English Summary). doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.45072.
45. Rosendahl, S. (1985). Interactions between the vesicular arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus fasciculatus* and *Aphanomyces euteiches* root-rot of peas. *Phytopathologische Zeitschrift*, *114*, 31-40.
46. Rowe, R.C. (1993). Potato Health Management. pp. 5-27. APS Press.
47. Ryan, J.R., Stefan, G., & Rashid A. (2001). Soil and Plant Analysis Laboratory Manual (2nd Edition). ICARDA. Aleppo, Syria, pp.172.
48. Sanchez-Blanco, M.I., Ferrandez, T., Morales M., Morata, A., & Alarcon, J.J. (2004). Variations in water status, gas exchange, and growth in *Rosmarinus officinalis* plant infected with *Glomus deserticola* under drought condition. *Journal of Plant Physiology*, *161*, 673-682. doi.org/10.1078/0176-1617-01191.
49. Subramanian, K.S., Bharathi, C.A., & Jegan, O. (2008). Response of maize to mycorrhizal colonization at varying levels of zinc and phosphorus. *Biology Fertil Soils*, *45*, 133–144. doi.org/10.1007/s00374-008-0317-z.
50. Upadhya, M.D., Hardy, B., Guar, P.C., & Iiantileke, S.G. (1996). Production and utilization of the potato seed in Asia, CIP. pp. 233.
51. Waling, I., Vark, W.V., Houba, V.J.G., & Vanderlee, J.J. (1989). Soil and Plant Analysis, a series of syllabi. Part 7. Plant Analysis Procedures. Wageningen Agriculture University, Netherland, pp 272.
52. Yao, M.K., Tweddell, R.J., & Desilets, H. (2002). Effects of two Vesicular- arbuscular mycorrhizal fungi on the growth of microplanted potato plantlets. *Mycorrhiza*, *12*, 235-242. doi.org/10.1007/s00572-002-0176-7
53. Zhu, H.H., & Yao, Q. (2004). Localized and systemic increase of phenols in tomato roots induced by *Glomus versiforme* inhibits Ralstonia solanacearum. *Journal of Phytopathology*, *152*, 537-542. doi.org/10.1111/j.1439-0434.2004.00892.x.