Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Water and Soil Conservation

Print ISSN: 2322-2069
Online ISSN: 2322-2794

Effect of leaf washing with fresh water in sprinkler irrigation with fish effluent on photosynthesis of potato

Zeynab Fathi Tilako[1], Hamid Zare Abyaneh[*2], Eisa Maroufpoor[3], Farzad Hosseinpanahi[4]

1. Ph.D. Student of Irrigation and Drainage, Dept. of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. E-mail: z.fathi@agr.basu.ac.ir
2. Corresponding Author, Professor, Dept. of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. E-mail: zare@basu.ac.ir
3. Associate Prof., Dept. of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Iran. E-mail: e.maroufpoor@uok.ac.ir
4. Assistant Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Iran. E-mail: f.hosseinpanahi@uok.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 11.09.2022
Revised: 01.07.2023
Accepted: 01.15.2023

Keywords:
Chlorophyll,
Stomatal conductance,
Transpiration,
Yield

ABSTRACT

Background and Objectives: In recent years, due to lack of water, using wastewater including fish effluents, for agricultural purposes has increased. Depending on water quality, irrigation method and type of crop might change. The elements present in the fish effluent interact with each other and it is possible to increase or decrease the absorption of an element through the leaves to have a negative effect on the yield and growth indicators. Therefore, the aim of this research is to provide solutions for the use of rainbow trout wastewater in the sprinkler irrigation system to provide irrigation water for potato cultivation and the effect of leaf washing with appropriate quality on yield, tuber dry matter percentage, diameter and height of stem, tuber specific weight, chlorophyll, photosynthesis, transpiration and stomatal conductance.

Materials and Methods: This experiment was conducted in research farm No. 2 of Kurdistan University, Dehgolan plain in Kurdistan province in the form of a factorial experimental format based on a completely randomized design with three replications in the summer of 2019, 2020 and 2021. The investigated factors include irrigation at two levels, A1 (irrigation with well water) and A2 (irrigation with fish farm effluent), as well as washing the leaves of the plant in four levels, B1 (Before applying fish farm effluent to the leaves, they were washed for ten minutes with fresh water), B2 (after applying fish farm effluent to the leaves, they were washed for ten minutes with fresh water), B3 (The leaves were washed with fresh water for ten minutes both before and after applying the fish farm effluent to them), B4 (the leaves were not washed at all). Sprinkler irrigation system with micro sprinkler was used to irrigate. At the end of the growing season, the tuber yield values of different treatments were measured. Chlorophyll meter (SPAD-502-Minolta-Japan) was used in order to measure chlorophyll of leaf. The indicators related to gas exchange including photosynthesis, stomatal conductance and transpiration were measured by a portable device (ADC BioScientific LCi Analyzer Serial No. 32648). Data were analyzed with Rstudio, and mean values of the treatments were compared by the least significant difference (LSD) test at 5% and 1% significance level.

Results: The results showed that washing the leaves with fresh water significantly affected the yield and other growth indicators. The highest amount of yield, stem diameter, specific gravity of potato, chlorophyll meter reading, photosynthesis, transpiration and stomatal conductance were 550.8 grams per pot, 9.941 mm, 1.113 g cc^{-1}, 53.59, 22.00 (µmol m^{-2} s^{-1}), 7.028 (mmol m^{-2} s^{-1}), 0.4439 (mmol m^{-2} s^{-1}), respectively. These amounts were results of applying B3 treatment. Also, the highest percentage of potato tuber dry matter was 13.3% and the highest figure for stem height was 35.46 cm, which were the result of applying B4 treatment.

Conclusion: The results of this research showed that compared to well water, fish effluent increased yield of potato by 16.4%, stem diameter by 4.67%, stem height by 3.72%, chlorophyll meter reading by 9.67%, and stomatal conductance by 15.40%. Also, the results showed that treatment B3 compared to B4, increased yield 64.78%, stem diameter 39.55%, tuber specific weight 48.54%, chlorophyll meter reading 41.21%, photosynthesis by 4.40%, transpiration by 25.86% and stomatal conductance by 10.13%. It is suggested to use the strategy of simultaneous application of fish effluent and fresh water in the sprinkler irrigation system to increase yield and growth indicators.

Cite this article: Fathi Tilako, Zeynab, Zare Abyaneh, Hamid, Maroufpoor, Eisa, Hosseinpanahi, Farzad. 2023. Effect of leaf washing with fresh water in sprinkler irrigation with fish effluent on photosynthesis of potato. *Journal of Water and Soil Conservation*, 29 (4), 75-93.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/jwsc.2023.20768.3593
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۶۹
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۹٤

اثر شستشوی برگی با آب تمیز در آبیاری بارانی با پساب ماهی بر فتوسنتز سیب‌زمینی

زینب فتحی تیلکو[۱]، حمید زارع ابیانه*[۲]، عیسی معروف‌پور[۳]، فرزاد حسین پناهی[٤]

۱. دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران. رایانامه: z.fathi@agr.basu.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران. رایانامه: zare@basu.ac.ir

۳. دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، ایران. رایانامه: e.maroufpoor@uok.ac.ir

٤. استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، ایران. رایانامه: f.hosseinpanahi@uok.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۰۱/۰۸/۱۸
تاریخ ویرایش: ۰۱/۱۰/۱۷
تاریخ پذیرش: ۰۱/۱۰/۲۵

واژه‌های کلیدی:
تعرق،
عملکرد،
کلروفیل،
هدایت روزنه‌ای

چکیده

سابقه و هدف: در سال‌های اخیر به دلیل کمبود آب استفاده از آب‌های نامتعارف از جمله پساب پرورش ماهی برای مصارف کشاورزی افزایش یافته است. با توجه به کیفیت آب، روش آبیاری و نوع محصول می‌تواند تغییر کند. عناصر موجود در پساب ماهی با یکدیگر اثر متقابل دارند و امکان دارد افزایش یا کاهش جذب یک عنصر از طریق برگ بر عملکرد و شاخص‌های رشد تأثیر منفی داشته باشد. بنابراین هدف از پژوهش حاضر ارائه راهکارهای بهره‌برداری از پساب ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در سامانه آبیاری بارانی جهت تأمین آب آبیاری زراعت سیب‌زمینی و تأثیر شستشوی برگی با کیفیت مناسب بر عملکرد، درصد ماده خشک غده، قطر و ارتفاع ساقه، وزن مخصوص غده، کلروفیل، فتوسنتز، تعرق و هدایت روزنه‌ای است.

مواد و روش‌ها: این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی شماره ۲ دانشگاه کردستان، دشت دهگلان در استان کردستان به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار در تابستان سال ۱۳۹۸، ۱۳۹۹ و ۱٤۰۰ انجام شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل آبیاری در دو سطح A1 (آبیاری با آب چاه) و A2 (آبیاری با پساب ماهی) و هم‌چنین شستشوی برگ‌های گیاه در چهار سطح B1 (ده دقیقه قبل از اعمال پساب ماهی بر برگ‌ها، شستشوی برگی با آب تمیز انجام شد)، B2 (ده دقیقه بعد از اعمال پساب بر برگ‌ها، شستشوی برگی با آب تمیز انجام شد)، B3 (ده دقیقه قبل و بعد از اعمال پساب بر برگ‌ها، شستشوی برگی انجام شد)، B4 (هیچ‌گونه شستشوی برگی انجام نشد). جهت آبیاری از سامانه آبیاری بارانی با آبپاش‌های ریز پاشنده

استفاده گردید. در انتهای فصل رشد مقادیر عملکرد غده تیمارهای مختلف اندازه‌گیری گردید. به‌منظور اندازه‌گیری کلروفیل برگ، از دستگاه کلروفیل‌متر[1] استفاده شد. شاخص‌های مربوط به تبادلات گازی شامل میزان فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق توسط دستگاه قابل‌حمل[2] اندازه‌گیری شد. داده‌ها با Rstudio تجزیه‌وتحلیل شد و مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح ۱ و ۵ درصد انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد شستشوی برگ‌ها با آب تمیز تأثیر معنی‌داری بر عملکرد و سایر شاخص‌های رشد داشته است. بیش‌ترین مقدار عملکرد، قطر ساقه، وزن مخصوص غده، مقدار قرائت‌شده کلروفیل‌متر، فتوسنتز، تعرق و هدایت روزنه‌ای به ترتیب ۵۵۰/۸ گرم در گلدان، ۹/۹٤۱ میلی‌متر، ۱/۱۱۳ ($g\ cc^{-1}$)، ۵۳/۵۹، ۲۲ ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$)، ۷/۰۲۸ ($mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$) و ۰/٤٤۳۹ ($mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$) بود. این مقادیر نتایج اعمال تیمار B3 بودند. هم‌چنین بیش‌ترین مقدار درصد ماده خشک غده سیب‌زمینی ۳۰/۱۳ درصد و بیش‌ترین مقدار ارتفاع ساقه ٤٦/۳۵ سانتی‌متر بود که حاصل اعمال تیمار B4 بود.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش نشان داد که پساب ماهی به نسبت آب چاه، ۱٦/٤ درصد عملکرد سیب‌زمینی، ٤/٦۷ درصد قطر ساقه، ۳/۷۲ درصد ارتفاع ساقه، ۹/٦۷ درصد مقدار قرائت‌شده کلروفیل‌متر و ۱۵/٤۰ درصد هدایت روزنه‌ای را افزایش داد. هم‌چنین نتایج نشان داد تیمار B3 نسبت به B4، ٦٤/۷۸ درصد عملکرد، ۳۹/۵۵ درصد قطر ساقه، ٤۸/۵٤ درصد وزن مخصوص غده، ٤۱/۲۱ درصد مقدار قرائت‌شده کلروفل‌متر، ٤/٤۰ درصد فتوسنتز، ۲۵/۸٦ درصد تعرق و ۱۰/۱۳ درصد هدایت روزنه‌ای را افزایش داد. پیشنهاد می‌شود جهت افزایش عملکرد و شاخص‌های رشد استراتژی استفاده هم‌زمان از پساب ماهی و آب تمیز در سامانه آبیاری بارانی استفاده شود.

استناد: فتحی تیلکو، زینب، زارع ابیانه، حمید، معروف‌پور، عیسی، حسین پناهی، فرزاد (۱۴۰۱). اثر شستشوی برگی با آب تمیز در آبیاری بارانی با پساب ماهی بر فتوسنتز سیب‌زمینی. *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۹ (۴)، ۹۳-۷۵.
DOI: 10.22069/jwsc.2023.20768.3593

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
© نویسندگان.

1- SPAD-502-Minolta-japan
2- ADC BioScientific LCi Analyzer Serial No. 32648

مقدمه

آب یک منبع ارزشمند برای تولید محصول است، اما در بسیاری از کشورها در اثر بهره‌برداری بیش‌ازحد از منابع آب سطحی و زیرزمینی، آب شیرین قابل‌استفاده کاهش یافته است (۱، ۲). بیش از ۷۰ درصد از منابع آب شیرین جهان در بخش کشاورزی مورداستفاده قرار می‌گیرد (۳). بااین‌حال ادامه تقاضای آب در بخش غیرکشاورزی هم‌چون بخش شهری و صنعتی باعث شده است که به تقاضای آب آبیاری بیش‌تر توجه شود زیرا در صورت کمبود آب جهت استفاده در بخش کشاورزی امنیت غذایی به خطر خواهد افتاد. در حال حاضر با تمرکز جهانی بر توسعه پایدار، به‌ویژه در بخش کشاورزی، تلاش‌های بیش‌تری برای بهبود استفاده از منابع آب انجام شده است (٤، ٥، ٦)؛ بنابراین به‌کارگیری آب‌های نامتعارف به‌عنوان یک منبع جایگزین آب در کشاورزی، می‌تواند تنش‌های کمی و کیفی وارده بر منابع آب‌زیرزمینی را به حداقل رسانده و پیامدهای ناشی از بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب را کاهش دهد (۷). یکی از مغذی‌ترین پساب‌ها برای درختان و گیاهان، پساب مزارع پرورش ماهی است که حاوی مقادیر قابل‌توجهی فسفر و ازت، سدیم و سایر عناصر است. تلفیق آبزی‌پروری با سامانه‌های کشاورزی به‌عنوان روشی برای افزایش تولید غذا و بالا بردن امنیت غذایی، کاهش هزینه کود و افزایش بهره‌وری در مزارع کوچک و متوسط شناخته شده است (۸، ۹، ۱۰). با توجه به میزان بالای مواد مغذی در پساب ماهی استفاده از آن برای آبیاری سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) که بعد از گندم، برنج و ذرت مقام چهارم تولید را در دنیا به خود اختصاص داده است امری ضروری است (۱۱). مطالعات نشان می‌دهد که پساب ماهی باعث افزایش عملکرد، اجزای عملکرد، کاهش مصرف کود و بهبود عملکرد فیزیولوژی می‌گردد (۱۲، ۱۳، ١٤، ١٥، ١٦، ١٧، ١٨، ١٩، ٢٠، ٢١، ٢٢). اثر مثبت آبیاری با پساب ماهی بر محصولات سویا، سیب‌زمینی و پیاز گزارش شده است (۲۳). پژوهش‌ها نشان داده است ضمن آن‌که نیاز آبی گیاهان مورد آبیاری با پساب ماهی بیش از گیاهان آبیاری شده با آب تمیز است. دلیل این امر افزایش سطح پوشش گیاهی به‌واسطه وجود مواد مغذی در پساب ماهی است (۱۳). در مطالعه‌ای استفاده از پساب ماهی در کشت گوجه‌فرنگی با استفاده از آبیاری قطره‌ای بررسی شد. نتایج نشان داد پساب ماهی باعث افزایش عملکرد و هم‌چنین کاهش هزینه کود نسبت به آب چاه می‌گردد (١٦). عبدالرئوف و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی استفاده از پساب ماهی در آبیاری قطره‌ای و بارانی بر محصولات سیب‌زمینی، سویا و پیاز پرداختند. نتایج نشان داد که استفاده از پساب ماهی در آبیاری باعث کاهش مصرف کود می‌شود. کعب عمیر و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای به بررسی اثر مواد مغذی موجود در پساب ماهی بر میزان مواد مغذی موجود در سبزیجات پرداختند. تیمارهای موردبررسی در این پژوهش (آب رودخانه، پساب ماهی، مخلوط ۵۰ درصد پساب ماهی و ۵۰ درصد آب رودخانه) بود و از سامانه آبیاری سطحی جهت آبیاری کرت‌ها استفاده شد. نتایج نشان داد پساب ماهی باعث افزایش رشد، محتوای مواد مغذی ریحان و خرفه می‌گردد آن‌ها گزارش کردند استفاده از پساب ماهی باعث کاهش مصرف کود می‌شود. عبدالمجید و همکاران (۲۰۱۸) اثر پساب ماهی بر دو محصول پیاز و چغندر را موردبررسی قرار دادند. نتایج نشان داد پساب ماهی بدون کاربرد کود نسبت به تیمار آب رودخانه سبب افزایش عملکرد هر دو محصول در حد ١٦ درصد شد.

بررسی منابع بیانگر پتانسیل بالای استفاده از پساب ماهی در کشاورزی است ولی برخی از پژوهش‌گران محدوده استفاده از پساب ماهی در ترکیب با روش آبیاری و فزونی مواد معلق را عامل محدودکننده گزارش کرده‌اند و با توجه به کیفیت آب روش آبیاری و نوع محصول می‌تواند تغییر کند

(۲٤، ۲۵). در پژوهشی گزارش شد که پساب ماهی باعث می‌شود فعالیت‌های میکروبی خاک را تحت‌تأثیر قرار دهد. هم‌چنین گزارش کردند آبیاری با پساب ماهی به دلیل افزایش شوری خاک ازجمله کلر به‌طور چشمگیری تنوع عملکرد میکروبی را کاهش می‌دهد (۲٦). پژوهش‌های اخیر در رابطه با استفاده از پساب ماهی در سامانه آبیاری قطره‌ای نشان داده است جهت استفاده از پساب ماهی در آبیاری قطره‌ای نیاز است تمهیدات فیلتراسیون انجام شود (۲۷، ۲۸).

آبیاری با آب‌هایی که حاوی مواد معلق می‌باشند در سامانه‌های آبیاری که آب به صورت مستقیم با گیاه تماس دارد توصیه نمی‌شود مگر اینکه تمهیدات خاصی اعمال گردد (۲۵). ازآن‌جاکه در آبیاری بارانی آب مستقیم با گیاه در ارتباط است بااین‌حال مطالعات محدودی در رابطه با استفاده از پساب ماهی در آبیاری بارانی انجام‌شده و یا گزارش نشده است. بنابراین به‌نظر می‌رسد در آبیاری بارانی ازآن‌جایی‌که آبیاری در بالای پوشش گیاهی انجام می‌شود، وجود مقادیر زیاد عناصر باعث جذب بیش‌ازحد عناصر توسط برگ‌ها می‌شود که درنتیجه امکان دارد بر عملکرد و شاخص‌های رشد تأثیر منفی داشته باشد. بنابراین لازم است راهکارهای جلوگیری از صدمات گیاهی در آبیاری بارانی موردمطالعه قرار گیرد. مطالعات نشان می‌دهد استفاده ترکیبی از پساب و آب تمیز باعث کاهش سمیت گیاه و خاک می‌گردد و یک رویکرد ترکیبی عالی برای کاهش آلودگی سبزیجات می‌باشد. این رویکرد باعث توسعه کشاورزی پایدار و امنیت غذایی می‌شود (۲۹). در واقع، پساب مزرعه ماهی حاوی مقدار قابل‌توجهی فسفر، نیتروژن و پتاسیم است. نیتروژن نقش مهمی در اسیدآمینه، پروتئین و کلروفیل ایفا می‌کند، بنابراین برای رشد گیاه از اهمیت بالایی برخوردار است (۳۰، ۳۱). سیب‌زمینی به مقدار قابل‌توجهی نیتروژن جهت رشد نیاز دارد، مقدار ناکافی آن ممکن است منجر به کاهش رشد، محدودیت عملکرد و پیری زودرس محصول شود. بااین‌حال، اگر مقدار نیتروژن بیش‌تر از نیاز گیاه باشد، ممکن است باعث کاهش عملکرد، تأخیر در تشکیل غده و کاهش محتوای ماده خشک غده شود (۳۲). پساب ماهی حاوی مقادیر زیادی نیتروژن، آمونیوم و پتاسیم است. این عناصر از جذب منیزیم که عنصر اصلی کلروفیل است جلوگیری می‌کنند. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که عناصر درشت مغذی با یکدیگر اثر متقابل دارند (۳۳). این فعل‌وانفعالات، در خاک یا درون گیاه، می‌توانند به شیوه‌ای پیچیده هم‌افزایی یا متضاد باشند. مواد مغذی معدنی حیاتی گیاه که عمدتاً در فرآیند فتوسنتز نقش دارند، شامل پتاسیم، منیزیم و نیتروژن است. غلظت بالای پتاسیم ممکن است جذب منیزیم در محلول خاک را مهار کند و منجر به کمبود منیزیم در گیاهان شود (۳٤، ۳۵). پژوهش‌ها نشان داده است با شستشوی برگ با آب تمیز بعد از آبیاری با آب‌های نامتعارف، عناصر روی برگ شستشو می‌شود در غیر این صورت با تبخیر آب، عناصر روی برگ می‌مانند و باعث جذب توسط برگ می‌شوند. هم‌چنین گزارش شده است زمانی که قبل از اعمال آب نامتعارف برگ‌ها شستشو می‌شوند برگ‌ها هیدراته می‌گردند و ظرفیت جذب عناصر توسط برگ کاهش می‌یابد (۳٦، ۳۷).

بنابراین ازآن‌جایی‌که پساب مزرعه ماهی حاوی مواد معدنی و آلی است و به دلیل وجود عناصر زیاد نیتروژن و سایر عناصر در پساب ماهی و هم‌چنین وجود اثر متقابل بین عناصر مختلف در گیاه امکان دارد بر روی عملکرد، فتوسنتز و کلروفیل تأثیر منفی داشته باشند؛ بنابراین بررسی روش‌های پیشگیری از ایجاد مشکل در گیاه، در آبیاری بارانی ضروری است. بنابراین در این پژوهش جهت کاهش اثرات پساب ماهی در آبیاری بارانی از شستشوی برگی بعد از آبیاری، قبل از آبیاری و قبل و بعد از آبیاری استفاده شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر پساب ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان بر عملکرد، درصد ماده خشک غده، ارتفاع و قطر ساقه، وزن مخصوص غده، کلروفیل، فتوسنتز، تعرق و هدایت روزنه‌ای در تابستان سال‌های ۱۳۹۸، ۱۳۹۹ و ۱٤۰۰ آزمایش‌های صحرایی در مزرعه تحقیقاتی شماره ۲ دانشگاه کردستان واقع در دشت دهگلان استان کردستان انجام شد. مزرعه مذکور در ۳۵ درجه و ۱۹ دقیقه شمالی و ٤۷ درجه و ۱۸ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۸٦۳ متری از سطح دریا بود. کشت در فضای باز و در گلدان‌های پلاستیکی به قطر ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر انجام شد. جهت اجرای هر کرت آزمایشی ۹ گلدان در نظر گرفته شد و به‌منظور حذف اثرات تیمارهای مختلف بر یکدیگر بین هر دو کرت شش متر در نظر گرفته شد. در این مطالعه هنگام شستشوی برگ‌ها با آب باکیفیت مطلوب سطح خاک گلدان‌ها پوشیده شد تا آبی که بر برگ‌ها جهت شستشو اعمال می‌شد وارد گلدان‌ها نگردد. این پژوهش در قالب آزمایشی فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام گردید. فاکتورهای موردبررسی شامل آبیاری در دو سطح A1 (آبیاری با آب چاه) و A2 (آبیاری با پساب ماهی) و هم‌چنین شستشوی برگ‌های گیاه در چهار سطح ده دقیقه قبل از اعمال پساب ماهی بر برگ‌ها، شستشوی برگی با آب تمیز انجام شد (B1)، ده دقیقه بعد از اعمال پساب بر برگ‌ها، شستشوی برگی با آب تمیز انجام شد (B2)، ده دقیقه قبل و بعد از اعمال پساب بر برگ‌ها، شستشوی برگی انجام شد (B3)، هیچ‌گونه شستشوی برگی با آب تمیز انجام نشد (B4). در این طرح جهت کشت سیب‌زمینی از خاک مزرعه آزمایشی، جهت پر کردن گلدان‌ها استفاده شد. کشت غده‌ها در گلدان به‌صورت دستی انجام شد و یک غده در وسط گلدان در عمق ۲۰ سانتی‌متری کشت شد. در این طرح از دو منبع آب آبیاری آب چاه و پساب ماهی استفاده شد جهت ذخیره پساب ماهی از ۳ تانک ذخیره آب استفاده شد. جهت آبیاری از سامانه آبیاری بارانی با آبپاش‌های ریز پاشنده استفاده گردید. در شکل ۱ طرح آزمایشی اجراشده در مزرعه ارائه شده است. در تمام طول دوره رشد سیب‌زمینی دور آبیاری ثابت و برابر ۱ روز در نظر گرفته شد. به‌منظور اعمال مقادیر مختلف عمق آب آبیاری از یک کنتور حجمی استفاده گردید. در این پژوهش همه عملیات زراعی برای تمامی تیمارها به‌صورت یکسان انجام شد. جهت اعمال نیاز آبی سیب‌زمینی از دستگاه رطوبت‌سنج PMS-714 استفاده گردید و آبیاری با توجه به کمبود رطوبت خاک اعمال شد (رابطه ۱).

$$SMD = (\theta_{FC} - \theta_i) \times D_{rz} \qquad (۱)$$

که در آن، SMD کمبود رطوبت خاک بر حسب سانتی‌متر، θ_{FC} ظرفیت زراعی مزرعه برحسب درصد حجمی، θ_i رطوبت خاک در زمان آبیاری برحسب درصد حجمی و Drz عمق مؤثر ریشه برحسب سانتی‌متر می‌باشد. در تمام دوره رشد سیب‌زمینی نیاز آبی گیاه تأمین شد به‌طوری‌که هیچ تنشی به گیاه وارد نشد. جدول ۱ پارامترهای هواشناسی منطقه موردمطالعه شامل دما و بارندگی را نشان می‌دهد. بافت خاک مزرعه موردمطالعه لوم رسی به روش هیدرومتری اندازه‌گیری شد. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۲ نشان داده شده است. بر اساس اندازه‌گیری‌ها، جرم مخصوص ظاهری خاک ۱/۳۵ گرم در سانتی‌مترمکعب و ظرفیت زراعی ۳۳ درصد حجمی بود. در جدول ۳ برخی خصوصیات شیمیایی آب چاه و پساب ماهی ارائه شده است. در انتهای فصل رشد مقادیر عملکرد غده تیمارهای مختلف اندازه‌گیری گردید. به‌منظور اندازه‌گیری وزن مخصوص غده‌ها از هر تیمار حدود یک کیلوگرم غده استفاده گردید.

غده‌ها توسط ترازوی دیجیتالی توزین شد و حجم غده‌ها نیز توسط ظرف مدرج اندازه‌گیری گردید. سپس وزن مخصوص غده‌ها از تقسیم وزن نمونه‌ها (حدود یک کیلوگرم) بر حجم آن‌ها به دست آمد.

جهت تعیین درصد ماده خشک سیب‌زمینی در هر یک از تیمارها یک غده کوچک، یک غده متوسط و یک غده بزرگ انتخاب شدند. سپس پوست روی نمونه‌ها تراشیده و غده‌ها خرد و باهم مخلوط و توزین شد. در ادامه نمونه‌ها در پاکت‌های کاغذی قرار داده شد و جهت خشک نمودن آن‌ها در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت تا زمانی که به وزن ثابت رسید. با تثبیت وزن، نمونه‌ها از داخل آون خارج و مجدداً توزین گردید. در نهایت درصد ماده خشک غده سیب‌زمینی با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد.

$$\text{درصد ماده خشک غده} = \frac{\text{وزن خشک غده}}{\text{وزن تر غده}} \times 100 \quad (۲)$$

به‌منظور اندازه‌گیری کلروفیل برگ، از دستگاه کلروفیل‌متر[1] استفاده شد. این دستگاه محتوای کل کلروفیل را به‌صورت شاخصی به نام سپاد[2] اندازه می‌گیرد که روشی غیرتخریبی است. به‌منظور اندازه‌گیری این صفت از قسمت‌های میانی پهنک برگ‌های تازه توسعه‌یافته گیاهان در مرحله گلدهی در هر واحد آزمایشی ۱۰ بار قرائت انجام شد و میانگین این داده‌ها توسط دستگاه به‌عنوان داده نهایی ارائه شد (۳۸). در پایان آزمایش صفات مربوط به تبادلات گازی شامل میزان فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق توسط دستگاه قابل‌حمل[3] بر روی جوان‌ترین برگ بالغ دارای سطح برگ حدود حداقل ۸۰ درصد برگ کامل ششمین تا هشتمین برگ از رأس ساقه و در حالت اتصال به گیاه در یک روز صاف و آفتابی، بین ساعات ۸ تا ١٤ بعدازظهر انجام شد (۳۹). مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار[4] با استفاده از زبان برنامه‌نویسی کدباز R و با استفاده از پکیج آماری موجود[5] تجزیه‌وتحلیل آماری انجام گردید.

شکل ۱- طرح آزمایشی اجراشده در مزرعه.

Figure 1. Experimental design implemented in the field.

1- SPAD-502-Minolta-japan
2- SPAD
3- ADC BioScientific LCi Analyzer Serial No. 32648
4- LSD
5- Doebioresearch

جدول ۱- دمای حداکثر، دمای حداقل و بارندگی در طول فصل رشد سیب‌زمینی.

Table 1. Maximum temperature (T_{max}), minimum temperature (T_{min}) and precipitation during growth season of potato.

سال Year	ماه Month	دمای حداکثر (°C) T_{max}	دمای حداقل (°C) T_{min}	بارندگی (میلی‌متر در ماه) Precipitation
1398	تیر July	34.3	18.69	-
	مرداد August	33.96	18.82	-
	شهریور September	29	14.75	-
	مهر October	21.22	9.12	40
1399	تیر July	34.12	18.98	-
	مرداد August	33.43	18.50	-
	شهریور September	30.03	15.09	-
	مهر October	21.12	9.16	-
1400	تیر July	35.34	21.22	-
	مرداد August	34.81	18.94	-
	شهریور September	29.13	14.61	-
	مهر October	20.087	8.56	27.5

جدول ۲- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کردستان.

Table 2. Some of soil physical and chemical properties of Kurdistan University research farm.

وزن مخصوص خاک (گرم در سانتی‌متر مکعب) specific gravity of Soil (gr/cm^3)	EC ds/m	pH	کربن آلی (٪) Organic carbon (%)	ازت کل (٪) Total nitrogen (%)	فسفر (ppm) Phosphorus (ppm)	پتاسیم (ppm) Potassium (ppm)	رس (٪) Clay (%)	سیلت (٪) Silt (%)	شن (٪) Sand (%)	عمق خاک (cm) Soil depth (cm)	سال Year
1.35	0.4	7.72	1	0.1	13	406	31.6	45.6	22.8	0-20	
1.35	0.38	7.65	0.83	0.083	13.79	294.34	30.4	48	21.6	20-40	1398
1.35	0.42	7.77	0.9	0.09	12.64	238.1	33.8	42.2	24.3	40-60	
1.35	0.37	7.70	1	0.1	12	404	34	44	22	0-20	
1.35	0.38	7.73	0.94	0.095	12.54	281.42	31	43	26	20-40	1399
1.35	0.4	7.65	0.87	0.089	11.4	239.4	32.4	44.7	22.9	40-60	
1.35	0.45	7.89	1	0.1	11.5	395	32.3	46.3	21.4	0-20	
1.35	0.41	7.55	0.94	0.084	11.54	294.7	30.6	48.7	20.7	20-40	1400
1.35	0.38	7.65	0.87	0.095	12.62	295.34	33.2	42.1	24.7	40-60	

جدول ۳- متوسط کیفیت پساب ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان و آب چاه مورد استفاده در آبیاری.

Table 3. Average quality of rainbow trout effluent and well water used for irrigation.

1400		1399		1398				
پساب ماهی Fish farm effluent	آب چاه Well water	پساب ماهی Fish farm effluent	آب چاه Well water	پساب ماهی Fish farm effluent	آب چاه Well water	بدون محدودیت (٤۰) None restriction on use	واحد Unit	پارامترها Parameters
0.6	0.2	0.57	0.25	0.5	0.2	<0.7	dSm^{-1}	ECw
7.97	7.8	7.95	7.6	7.75	7.5	6-8.5		pH
294.42	175	287.36	173	283.14	172	0–2000	$mg\ l^{-1}$	TDS
2.46	2.23	2.39	2.23	2.35	2.22	0–20	mel^{-1}	Ca^{++}
0.18	0.13	0.16	0.13	0.14	0.13	0–5	mel^{-1}	Mg^{++}
0.177	0.168	0.174	0.171	0.174	0.167	0–40	mel^{-1}	Na^{+}
0.071	0.065	0.066	0.064	0.066	0.063	0–10	mel^{-1}	HCO_3^{-}
2.5	1.61	2.27	1.61	2.27	1.61	0-2	mgl^{-1}	K^{+}
48	0.25	48	0.25	42	0.22	0–10	mgl^{-1}	NO_3-N
3.96	0.23	3.85	0.21	3.76	0.19	0–2	mgl^{-1}	PO_4-P
<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	$mglit^{-1}$	Mn
<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0–5	$mglit^{-1}$	Fe
254	85	242	83	240	80		$mg\ lit^{-1}$	TSS

نتایج و بحث

در جدول‌های ٤ و ٥ نتایج تجزیه مرکب مربوط به اثر تیمارهای آب آبیاری و شستشوی برگ بر برخی خصوصیات اندازه‌گیری شده گیاه سیب‌زمینی، نمایش داده شده است. نتایج نشان می‌دهد اثر سال‌های انجام آزمایش بر درصد ماده خشک غده سیب‌زمینی، قطر ساقه، ارتفاع ساقه، وزن مخصوص غده، فتوسنتز، تعرق و هدایت روزنه‌ای در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است. هم‌چنین اثر آب آبیاری بر عملکرد، ارتفاع ساقه، مقدار قرائت‌شده کلروفیل‌متر و هدایت روزنه‌ای در سطح یک درصد و بر قطر ساقه در سطح پنج درصد معنی‌دار بوده است. اثر تیمارهای شستشوی برگی بر عملکرد، درصد ماده خشک غده سیب‌زمینی، قطر ساقه، ارتفاع ساقه، مقدار قرائت‌شده کلروفیل‌متر، فتوسنتز، تعرق و هدایت روزنه‌ای در سطح یک درصد و بر وزن مخصوص غده در سطح پنج درصد معنی‌دار بوده است. جداول مذکور هم‌چنین نشان می‌دهند اثر متقابل آب آبیاری و سناریوهای شستشوی برگی بر درصد ماده خشک غده، ارتفاع ساقه و مقدار قرائت‌شده کلروفیل‌متر در سطح یک درصد معنی‌دار است.

جدول ٤- تجزیه واریانس اثر تیمارها بر عملکرد، درصد ماده خشک غده، قطر ساقه، ارتفاع ساقه و وزن مخصوص غده.

Table 4. Analysis of variance of treatments effect on yield, dry matter percentage of tuber, stem diameter, stem height and specific gravity of tuber.

منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی d.f.	میانگین مربعات Mean sum of squares				
		عملکرد Yield	درصد ماده خشک غده Dry matter percentage of tuber	قطر ساقه Stem diameter	ارتفاع ساقه Stem height	وزن مخصوص غده Specific gravity of tuber
سال Year	2	227.948^{ns}	115.228**	1.932**	33.97**	0.019**
تیمار آبیاری (A) Irrigation treatment (A)	1	18092.782**	6.004^{ns}	2.985*	45.22**	0.001^{ns}
سال × تیمار آبیاری Year × Irrigation treatment	2	13.276^{ns}	7.937^{ns}	0.117^{ns}	4.643^{ns}	0.001^{ns}
تیمارهای شستشوی برگی (B) Washing leaf treatments (B)	3	10264.161**	147.034**	13.331**	105.072**	0.01*
سال × B Year × B	6	268.917^{ns}	1.587^{ns}	0.145^{ns}	5.533^{ns}	0.001^{ns}
A×B	3	267.612^{ns}	19.285**	0.156^{ns}	45.707**	0.002^{ns}
سال × B × A Year×A×B	6	74.743^{ns}	4.04^{ns}	0.065^{ns}	6.792^{ns}	0.002^{ns}
خطا Error	48	323.845	3.481	0.564	7.728	0.004
ضریب تغییرات (٪) Coefficients variance (%)	-	3.58	9.42	8.41	6.41	5.54

^{ns} غیرمعنی‌دار، * و ** به ترتیب معنی‌دار بودن در سطح ٥ و ١ درصد می‌باشد

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر تیمارها بر مقدار قرائت شده کلروفیل‌متر، فتوسنتز، تعرق و هدایت روزنه‌ای.

Table 5. Analysis of variance of treatments effect on chlorophyll meter readings, photosynthesis, transpiration and stomatal conductance.

منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی d.f.	میانگین مربعات Mean sum of squares			
		مقار قرائت شده کلروفیل‌متر Chlorophyll meter readings	فتوسنتز Photosynthesis	تعرق Transpiration	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance
سال Year	2	11.088^{ns}	649.75**	6.536**	0.069**
تیمار آبیاری (A) Irrigation treatment (A)	1	309.59**	0.423^{ns}	1.204^{ns}	0.047**
سال × تیمار آبیاری Year× Irrigation treatment	2	0.12^{ns}	6.482^{ns}	0.09^{ns}	0.001^{ns}
تیمارهای شستشوی برگی (B) washing leaf treatments(B)	3	785.459**	173.827**	13.149**	0.105**
سال × B Year×B	6	1.375^{ns}	1.98^{ns}	0.077^{ns}	0.003^{ns}
A×B	3	35.819**	7.141^{ns}	1.038^{ns}	0.005^{ns}
سال × B × A Year×A×B	6	10.542^{ns}	1.811^{ns}	0.39^{ns}	0.002^{ns}
خطا Error	48	9.458	9.473	0.812	0.006
ضریب تغییرات (٪) Coefficients variance (%)	-	6.84	16.69	14.89	21.91

^{ns} غیرمعنی‌دار، * و ** به ترتیب معنی‌دار بودن در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد

در جدول ٦ حجم آب آبیاری و عملکرد محصول در تیمارهای مختلف آب آبیاری و در سال‌های انجام آزمایش ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد حجم آب آبیاری در یک سال یکسان در گلدان‌هایی که با پساب ماهی آبیاری شده‌اند بیش‌تر است از گلدان‌هایی که با آب تمیز آبیاری شده‌اند. احتمالاً به دلیل وجود مواد مغذی در پساب ماهی باعث رشد و نمو زیاد گیاه و افزایش نیاز آبی گیاه به نسبت گیاهانی که با آب تمیز آبیاری شده‌اند بوده است. نتایج سایر پژوهش‌ها نیز نشان می‌دهد ضمن آن‌که نیاز آبی گیاهان مورد آبیاری با پساب ماهی بیش از گیاهان آبیاری شده با آب تمیز است. دلیل این امر افزایش سطح پوشش گیاهی به‌واسطه وجود مواد مغذی در پساب ماهی است (۱۳).

جدول ٦- مقادیر میانگین عملکرد و حجم آب آبیاری در تیمارهای مختلف آب آبیاری.

Table 6. The mean values of the yield and water volume in different irrigation water treatments.

سال Year	تیمارهای آبیاری Irrigation treatments	حجم آب آبیاری (لیتر در گلدان) Irrigation water volume (L Pot^{-1})	عملکرد (گرم در گلدان) Yield (g pot^{-1})
1398	A1	164.9	484.162
	A2	170.1	562.225
1399	A1	177.9	485.379
	A2	188.4	566.342
1400	A1	175.3	489.296
	A2	186.6	569.383

نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر سال، تیمارهای آب آبیاری و سناریوهای شستشوی برگی بر عملکرد، درصد ماده خشک غده، قطر ساقه، ارتفاع ساقه، وزن مخصوص غده، مقدار قرائت‌شده کلروفیل‌متر، فتوسنتز، تعرق و هدایت روزنه‌ای در جدول ۷ نمایش داده شده است. نتایج نشان می‌دهد بیش‌ترین درصد ماده خشک غده، قطر ساقه، ارتفاع ساقه، وزن مخصوص غده، فتوسنتز، تعرق و هدایت روزنه‌ای به‌ترتیب ۲۵/۳٦ درصد، ۹/۱۹۹ میلی‌متر، ٤٤/۵۰ سانتی‌متر، ۱/۱۱۸ ($g\ cc^{-1}$)، ۲۳/۹۰ ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$)، ٦/٤۵۲ ($mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$)، ۰/۳۹٦۳ ($mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$) مربوط به سال سوم انجام آزمایش بوده است با توجه به جدول ۳ کیفیت پساب ماهی در سال سوم به نسبت سال‌های دیگر مواد مغذی بالاتری داشته است که احتمالاً به همین دلیل عملکرد و سایر شاخص‌ها در سال سوم به نسبت سایر سال‌ها مقدار بالاتری نشان داده است. نتایج جدول مذکور نشان می‌دهد بیش‌ترین مقدار عملکرد، قطر ساقه، ارتفاع ساقه، مقدار قرائت‌شده کلروفیل‌متر و هدایت روزنه‌ای به ترتیب ۵٦۵/۹۸۳گرم در گلدان، ۹/۱۳۰ میلی‌متر، ٤٤/۱۹۳ سانتی‌متر، ٤۷/۰٦۲، ۰/۳۸۲ ($mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$) مربوط به زمانی است که از پساب ماهی به‌عنوان آب آبیاری استفاده شده است و کم‌ترین مقدار عملکرد، قطر ساقه، ارتفاع ساقه، مقدار قرائت شده کلروفیل‌متر و هدایت روزنه‌ای به ترتیب ٤۸٦/۲۷۹ گرم در گلدان، ۸/۷۲۳ میلی‌متر، ٤۲/٦۰۸ سانتی‌متر، ٤۲/۹۱٤، ۰/۳۳۱ ($mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$) مربوط به زمانی است که آب چاه به‌عنوان آب آبیاری استفاده شده است. به‌عبارت دیگر استفاده از پساب ماهی به نسبت آب چاه، ۱٦/٤ درصد عملکرد سیب‌زمینی، ٤/٦۷ درصد قطر ساقه، ۳/۷۲ درصد ارتفاع ساقه، ۹/٦۷ درصد مقدار قرائت‌شده کلروفیل‌متر و ۱۵/٤۰ درصد هدایت روزنه‌ای را افزایش داده است. با توجه به جدول ٦ در طول سه سال زراعی ۱۳۹۸، ۱۳۹۹ و ۱٤۰۰ به ترتیب ۱۷۰/۱، ۱۸۸/٤ و ۱۸٦/٦ لیتر در هر گلدان پساب ماهی مصرف شده است، مقدار نیتروژن اضافه‌شده به گلدان‌هایی که با پساب ماهی آبیاری شدند چندین برابر آب چاه بود و این افزایش نیتروژن تأثیر به‌سزایی بر روی رشد و عملکرد گیاه دارد و ازآن‌جاکه نیتروژن نقش مهمی در اسیدآمینه، پروتئین و کلروفیل ایفا می‌کند (۳۰، ۳۱)، بنابراین باعث افزایش عملکرد، کلروفیل، ارتفاع ساقه، قطر ساقه و هدایت روزنه‌ای گردید. کیفیت پساب ماهی (جدول ۳) نشان می‌دهد محتوای پتاسیم پساب ماهی ۱/۵ برابر بیش‌تر از آب است. هم‌چنین آنالیز پساب ماهی نشان می‌دهد که میزان فسفر در پساب ماهی به نسبت آب چاه ۱۹/۵ برابر بیش‌تر است. بنابراین وجود این عناصر باعث شده است عملکرد گیاه سیب‌زمینی در تیمار A2 به نسبت A1 بیش‌تر باشد. اما با توجه به مقادیر بالای عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در پساب ماهی، عملکرد گیاه تنها ۱٦/٤ درصد افزایش یافته است که احتمالاً دلیل این امر این است که اگر مقدار نیتروژن

بیش‌تر از نیاز گیاه باشد، ممکن است باعث کاهش عملکرد، تأخیر در تشکیل غده و کاهش محتوای ماده خشک غده شود (۳۲). عبدالمجید و همکاران (۲۰۱۸) نیز گزارش کردند پساب ماهی نسبت به تیمار آب رودخانه عملکرد پیاز و چغندر را ١٦ درصد افزایش داد. نتایج هم‌چنین نشان داد شستشوی برگ‌ها با آب تمیز تأثیر معنی‌داری بر عملکرد و سایر شاخص‌های رشد داشته است. با توجه به جدول مذکور بیش‌ترین مقدار عملکرد، قطر ساقه، وزن مخصوص غده، مقدار قرائت‌شده کلروفیل‌متر، فتوسنتز، تعرق و هدایت روزنه‌ای به‌ترتیب ۵۵۰/۸ گرم در گلدان، ۹/۹٤۱ میلی‌متر، ۱/۱۱۳ ($g\ cc^{-1}$)، ۵۳/۵۹، ۲۲ ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$)، ۷/۰۲۸ ($mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$)، ۰/٤٤۳۹ ($mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$) مربوط به حالتی است که قبل و بعد از اعمال پساب ماهی بر برگ‌ها شستشوی برگی انجام شد و هم‌چنین بیش‌ترین مقدار درصد ماده خشک غده سیب‌زمینی و ارتفاع ساقه به ترتیب ۲۷/۱۲ درصد و ٤٦/۳۵ سانتی‌متر مربوط به حالتی است که هیچ‌گونه شستشوی برگی با آب تمیز انجام‌نشده است. نتایج جدول مذکور هم‌چنین نشان داد کم‌ترین مقدار عملکرد، قطر ساقه، وزن مخصوص غده، مقدار قرائت‌شده کلروفیل‌متر، فتوسنتز، تعرق و هدایت روزنه‌ای به ترتیب ۵۰۰/۱ گرم در گلدان، ۷/۸۹۸ میلی‌متر، ۱/۰٦٦ ($g\ cc^{-1}$)، ۳۷/۹۵، ۱٤/۸۱ ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$)، ۵/۰۳٦ ($mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$)، ۰/۲٦۹٤ ($mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$) مربوط به حالتی است که هیچ‌گونه شستشوی برگی با آب تمیز انجام نشده است و هم‌چنین کم‌ترین مقدار درصد ماده خشک غده و ارتفاع ساقه به‌ترتیب ۲۰/۷٦ درصد و ٤۰/۷٦ سانتی‌متر مربوط به حالتی است که قبل و بعد از اعمال پساب ماهی بر برگ‌ها شستشوی برگی انجام شد. به‌عبارت‌دیگر تیمار B3 نسبت به B4، ٦٤/۷۸ درصد عملکرد، ۳۹/۵۵ درصد قطر ساقه، ٤۸/۵٤ درصد وزن مخصوص غده، ٤۱/۲۱ درصد مقدار قرائت‌شده کلروفل‌متر، ٤/٤۰ درصد فتوسنتز، ۲۵/۸٦ درصد تعرق و ۱۰/۱۳ درصد هدایت روزنه‌ای را افزایش داد. نتایج سایر پژوهش‌گران نیز نشان می‌دهد اثر شستشوی برگی زمانی که از آب‌های نامتعارف استفاده می‌شود بر جذب عناصر توسط گیاه و شاخص‌های رشد تأثیر مثبت داشته است هم‌چنین پژوهش‌های گذشته نشان داد کاربرد هم‌زمان آب تمیز و آب‌های نامتعارف اثرات سمی ناشی از مواد موجود در پساب را کاهش می‌دهد و باعث بهبود عملکرد و شاخص‌های فیزیولوژی گیاه می‌گردد (۲۹، ۳٦). گزارش شده است زمانی که قبل و بعد از اعمال آب‌شور بر برگ‌ها شستشوی برگی با آب تمیز انجام می‌شود غلظت کلر و سدیم در برگ کم‌تر است نسبت به موقعی که اصلاً شستشوی برگی انجام نمی‌شود. آن‌ها بیان کردند درزمانی که قبل از اعمال آب‌شور برگ‌ها شستشو می‌شوند برگ‌ها هیدراته می‌گردند و ظرفیت جذب عناصر توسط برگ کاهش می‌یابد و هم‌چنین زمانی که بعد از اعمال آب‌شور شستشوی برگی انجام می‌شود عناصر و مواد روی برگ شستشو می‌شوند و جذب برگ کاهش می‌یابد. بنابراین باعث افزایش عملکرد می‌گردد (۳٦). در جدول ۸ نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای آب آبیاری و سناریوهای شستشوی برگی بر درصد ماده خشک غده، ارتفاع ساقه و مقدار قرائت‌شده کلروفیل‌متر نمایش داده شده است. نتایج نشان می‌دهد بیش‌ترین درصد ماده خشک غده سیب‌زمینی ۲۸/٦۵ مربوط به حالتی است که منبع آب آبیاری تمیز است و برگ‌های گیاه هیچ‌گونه شستشوی برگی نداشتند. هم‌چنین نتایج نشان داد کم‌ترین درصد ماده خشک سیب‌زمینی مربوط به حالتی است که منبع آب پساب ماهی بود و برگ‌های گیاه قبل و بعد از اعمال پساب ماهی با آب تمیز شستشوی برگی داشته‌اند. نتایج جدول مذکور نشان می‌دهد بیش‌ترین ارتفاع ساقه سیب‌زمینی ٤۹/۳۲ سانتی‌متر مربوط به حالتی است که منبع آب آبیاری پساب ماهی است و برگ‌های گیاه هیچ‌گونه شستشوی برگی نداشتند و کم‌ترین ارتفاع ساقه سیب‌زمینی ٤۰/۵۰ و ٤۱/۰۱ سانتی‌متر به ترتیب

مربوط به حالتی است که منبع آب آبیاری پساب ماهی و آب تمیز است و برگ‌ها قبل و بعد از اعمال پساب ماهی بر برگ‌ها با آب تمیز شستشوی برگی داشتند نتایج مقایسه میانگین نشان می‌دهد بین این دو تیمار ازنظر آماری تفاوت معنی‌دار نبوده است. نتایج هم‌چنین نشان می‌دهد بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار قرائت‌شده کلروفیل‌متر ۵۷/۵۶ و ۳۵/۶۵ به ترتیب مربوط به حالتی است که آب آبیاری پساب ماهی و برگ‌ها قبل و بعد از اعمال پساب ماهی بر برگ‌ها شستشوی برگی با آب تمیز انجام شد و آب آبیاری آب تمیز بود و برگ‌ها هیچ‌گونه شستشوی برگی نداشتند. پژوهش‌ها نشان داده است گیاهانی که با آب پساب ماهی آبیاری می‌شوند به نسبت گیاهانی که با آب تمیز آبیاری شده‌اند نیاز آبی بالاتری خواهند داشت هم‌چنین بیش‌ترین تعداد برگ، عملکرد فلفل شیرین، وزن ریشه و شاخص سطح برگ (LAI) در هنگامی‌که پساب ماهی به‌عنوان آب آبیاری استفاده می‌شود به دست می‌آید. آن‌ها هم‌چنین گزارش کردند ازآن‌جاکه شاخص سطح برگ افزایش‌یافته است بنابراین کلروفیل و فتوسنتز گیاه نیز افزایش می‌یابد (۱۳).

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر تیمارها بر عملکرد، درصد ماده خشک غده، قطر ساقه، ارتفاع ساقه، وزن مخصوص غده، مقدار قرائت‌شده کلروفیل‌متر، فتوسنتز، تعرق و هدایت روزنه‌ای.

Table 7. Mean comparison the effect of treatments on yield, dry matter percentage of tuber, stem diameter, stem height, specific gravity of tuber, chlorophyll meter readings, photosynthesis, transpiration and stomatal conductance.

هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	تعرق Transpiration	فتوسنتز Photosynthesis	مقدار قرائت‌شده کلروفیل‌متر Chlorophyll meter readings	وزن مخصوص غده Specific gravity of tuber	ارتفاع ساقه Stem height	قطر ساقه Stem diameter	درصد ماده خشک غده Dry matter percentage of tuber	عملکرد Yield	تیمارها Treatments
mmol m^{-2} s^{-1}	mmol m^{-2} s^{-1}	µmol m^{-2} s^{-1}		(g cc^{-1})	(cm)	(mm)	%		
				سال Year					
0.2958 b	5.459 b	13.53 c	44.235 a	1.072 ab	42.14 b	8.633 b	21.28 b	529.3 a	1398
0.3783 a	6.234 a	17.89 b	45.172 a	1.068 b	43.56 ab	8.947 ab	24.7 a	525.8 a	1399
0.3963 a	6.452 a	23.90 a	45.557 a	1.118 a	44.50 a	9.199 a	25.36 a	523.1 a	1400
				تیمارهای آب آبیاری Irrigation treatments					
0.331 b	5.919 a	18.516 a	42.914 b	1.085 a	42.608b	8.723 b	24.07 a	486.279b	A1
0.382 a	6.178 a	18.363a	47.062 a	1.087 a	44.193a	9.130 a	23.49 a	565.983a	A2
				تیمارهای شستشوی برگی washing leaf treatments					
0.3233 bc	5.745 bc	17.23 bc	42.45 c	1.099 ab	44.19 ab	8.674 b	25.06 b	512.2 b	B1
0.3906 ab	6.385 ab	19.73 ab	45.96 b	1.067 b	42.31 bc	9.192 b	22.18 c	541.4 a	B2
0.4439 a	7.028 a	22.00 a	53.59 a	1.113 a	40.76 c	9.941 a	20.76 c	550.8 a	B3
0.2694 c	5.036 c	14.81 c	37.95 d	1.066 b	46.35 a	7.898 c	27.12 a	500.1 b	B4

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای آب آبیاری و سناریوهای شستشوی برگی بر درصد ماده خشک غده، ارتفاع ساقه و مقدار قرائت شده کلروفیل‌متر.

Table 8. Mean comparison the effect of interaction of irrigation water treatments and washing leaf scenarios on dry matter percentage of tuber, stem height and chlorophyll meter readings.

مقدار قرائت شده کلروفیل متر Chlorophyll meter readings	ارتفاع ساقه Stem height (cm)	درصد ماده خشک غده Dry matter percentage of tuber %	تیمارها Treatments
41.62 de	43.21 bc	25.82 b	A1B1
44.76 cd	42.83 bc	21.69 de	A1B2
49.62 b	41.01 c	20.12 e	A1B3
35.65 f	43.38 bc	28.65 a	A1B4
43.28 cde	45.18 b	24.30 bc	A2B1
47.15 bc	41.78 bc	22.68 cd	A2B2
57.56 a	40.50 c	21.39 de	A2B3
40.26 e	49.32 a	25.59 b	A2B4

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که پساب ماهی به نسبت آب چاه، ١٦/٤ درصد عملکرد سیب‌زمینی، ٤/٦٧ درصد قطر ساقه، ۳/۷۲ درصد ارتفاع ساقه، ۹/٦۷ درصد مقدار قرائت‌شده کلروفیل‌متر و ۱۵/٤۰ درصد هدایت روزنه‌ای را افزایش داده است. هم‌چنین نتایج نشان داد تیمار B3 نسبت به B4، ٦٤/۷۸ درصد عملکرد، ۳۹/۵۵ درصد قطر ساقه، ٤۸/۵٤ درصد وزن مخصوص غده، ٤۱/۲۱ درصد مقدار قرائت‌شده کلروفل‌متر، ٤/٤۰ درصد فتوسنتز، ۲۵/۸٦ درصد تعرق و ۱۰/۱۳ درصد هدایت روزنه‌ای را افزایش داد. پیشنهاد می‌شود جهت افزایش عملکرد و افزایش شاخص‌های رشد استراتژی استفاده هم‌زمان از پساب ماهی و آب تمیز در سامانه آبیاری بارانی استفاده شود.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از معاونت پژوهشی دانشگاه بوعلی‌سینا به‌خاطر تأمین هزینه‌های پژوهش کمال تشکر را دارند.

داده‌ها، اطلاعات و دسترسی

داده‌های این پژوهش مربوط به رساله دکتری نویسنده اول مقاله است که با مکاتبه با نویسنده مسئول قابل‌دسترسی می‌باشند.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافعی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: داده‌برداری، آماده‌سازی داده‌ها، انجام محاسبات، مشارکت در آنالیزها، تهیه پیش‌نویس مقاله، اصلاح و نهایی‌سازی مقاله. نویسنده دوم: طرح تحقیق و روش‌شناسی، اصلاح و نهایی‌سازی مقاله، مشارکت در آنالیزها. نویسنده سوم: طرح تحقیق و روش‌شناسی، اصلاح و نهایی سازی مقاله، مشارکت در آنالیزها. نویسنده چهارم: اصلاح و نهایی‌سازی مقاله، مشارکت در آنالیزها.

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر عملی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آن‌ها است.

حمایت مالی

این پژوهش در قالب رساله دکتری نویسنده اول مقاله انجام شد و با حمایت مالی دانشگاه بوعلی‌سینا در قالب گرنت استاد راهنما انجام گردید.

منابع

1. Mapanda, F., Mangwayana, E.N., Nyamangara, J., and Giller, K. 2005. The Effects of Long-Term Irrigation Using Water on Heavy Metal Contents of Soils under Vegetables. Agriculture, Ecosystems and Environment. 107: 151-165. https:// doi.org/10.1016/j.agee.2004.11.005.
2. Yokoyama, G., Yasutake, D., Minami, K., Kimura, K., Marui, A., Wu, Y., Feng, J., Wang, W., Mori, M., and Kitano, M. 2021. Evaluation of the physiological significance of leaf wetting by dew as a supplemental water resource in semi-arid crop production. Agricultural Water Management. 255, 106964. https://doi.org/ 10.1016/ j.agwat. 2021. 106964.
3. FAO. 2019. Water for Sustainable Food and Agriculture. A report produced for the G20 Presidency of Germany, pp. 1-2. In Http://Www.Fao.Org/3/a-I7959E.Pdf. www.fao.org/publications%0Ahttp://www. fao.org/3/a-i7959e.pdf.
4. Scown, M.W., Winkler, K.J., and Nicholas, K.A. 2019. Aligning research with policy and practice for sustainable agricultural land systems in Europe. Proceedings of the National Academy of Sciences. 116: 1-6. https://doi.org/ 10.1073/pnas.1812100116.
5. Stephens, E.C., Jones, A.D., and Parsons, D. 2018. Agricultural systems research and global food security in the 21st century: An overview and roadmap for future opportunities. Agricultural Systems, 163: 1-6. https://doi.org/ https:// doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.011.
6. Pereira, P., Brevik, E., and Trevisani, S. 2018. Mapping the environment. Science of The Total Environment, 610-611, 17-23. https://doi.org/https:// doi.org/10.1016/ j.scitotenv.2017.08.001.
7. Ganesh Keremane, B., and McKay, J.M. 2007. Successful wastewater reuse scheme and sustainable development : a case study in Adelaide. Water and Environmental Journal, 21: 2. 83-91. https://doi.org/10.1111/j.1747-6593. 2006. 00062.x.
8. Koide, J., Fujimoto, N., Oka, N., and Mostafa, H. 2015. Rice-fish integration in Sub-Saharan Africa: The challenges for participatory water management. Japan Agricultural Research Quarterly, 49: 1. 29-36. https://doi.org/10.6090/jarq.49.29.
9. Omotade, Funmilola, I., Alatise, Olanrewaju, M., Olanrewaju, and Olugbenga, O. 2019. Growth and yield performance of hot pepper using aquaculture wastewater. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 21: 2. 18-25.
10. Zajdband, A.D. 2011. Integrated Agri-Aquaculture Systems (pp. 87-127). https:// doi.org/10.1007/978-94-007-1521-9_4.
11. Fabeiro, C., Martín De Santa Olalla, F., and De Juan, J.A. 2001. Yield and size of deficit irrigated potatoes. Agricultural Water Management, 48: 3. 255-266. https://doi.org/10.1016/S0378-3774 (00) 00129-3.
12. Abdelraouf, R.E. 2019. Reuse of Fish Farm Drainage Water in Irrigation. Handbook of Environmental Chemistry, 75: 393-410. https://doi.org/ 10.1007/ 698_2017_92.
13. Akindele, A.J., Olufayo, A.A., and Faloye, O.T. 2021. Influence of borehole and fish wastewater on soil properties, productivity and nutrient composition of sweet pepper (*Capsicum annum*). Acta Ecologica Sinica, xxxx. https://doi.org/ 10.1016/j.chnaes.2021.02.002.
14. Álvarez-García, M., Urrestarazu, M., Guil-Guerrero, J.L., and Jiménez-Becker, S. 2019. Effect of fertigation using fish production wastewater on

Pelargonium × zonale growth and nutrient content. Agricultural Water Management, 223(July), 1-7. https:// doi.org/ 10.1016/ j.agwat. 2019.105726.

15. Kaab Omeir, M., Jafari, A., Shirmardi, M., and Roosta, H. 2020. Effects of Irrigation with Fish Farm Effluent on Nutrient Content of Basil and Purslane. Proceedings of the National Academy of Sciences India Section B - Biological Sciences, 90: 4. 825-831. https://doi.org/ 10.1007/s40011-019-01155-0.
16. Castro, R.S., Borges Azevedo, C.M.S., and Bezerra-Neto, F. 2006. Increasing cherry tomato yield using fish effluent as irrigation water in Northeast Brazil. Scientia Horticulturae, 110: 1. 44-50. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.06. 006.
17. Elnwishy, N.H., Ramadhane, M.S., and Zalat, S.M. 2008. Combating Desertification through Fish Farming BT - The Future of Drylands (C. Lee & T. Schaaf (eds.); pp. 507-518). Springer Netherlands.
18. Prazeres, A.R., Rivas, J., Adelaide, M., Patanita, M., Dôres, J., and Carvalho, F. 2016. Agricultural reuse of cheese whey wastewater treated by NaOH precipitation for tomato production under several saline conditions and sludge management. Agricultural Water Management, 167: 62-74. https:// doi.org/ 10.1016/ j.agwat.2015.12.025.
19. Yildiz, H.Y., Robaina, L., Pirhonen, J., Mente, E., Domínguez, D., and Parisi, G. 2017. Fish welfare in aquaponic systems: Its relation to water quality with an emphasis on feed and faeces-A review. Water (Switzerland), 9: 1. 1-17. https://doi.org/10.3390/w9010013.
20. Eid, A.R., and Hoballah, E.M.A. 2014. Impact of Irrigation Systems, Fertigation Rates and Using Drainage Water of Fish Farms in Irrigation of Potato under Arid Regions Conditions. International Journal of Scientific Research in Agricultural Sciences. 1: 5. 67-79. https://doi.org/ 10.12983/ijsras-2014-p0067-0079.
21. Marcos, Á., Miguel, U., Luis, G.J., and Silvia, J. 2019. Effect of fertigation using fi sh production wastewater on Pelargonium × zonale growth and nutrient content. 223(April), 1-7. https://doi.org/10.1016/ j.agwat. 2019. 105726.
22. AbdEl Magid, H.A.A., Hala, H.A.A., and Mohamed, A.M.M. 2018. Economic Study the Efficiency of Water Resource Usage (Case Study). Alexandria Journal of Agricultural Sciences, 63: 3. 149-155. https://doi.org/ 10.21608/ alexja. 2018. 81830.
23. Haque, M.M., Belton, B., Alam, M.M., Ahmed, A.G., and Alam, M.R. 2016. Reuse of fish pond sediments as fertilizer for fodder grass production in Bangladesh: Potential for sustainable intensification and improved nutrition. Agriculture, Ecosystems and Environment, 216: 226-236. https://doi.org/10.1016/ j.agee.2015.10.004.
24. Drechsel, P., Keraita, B., Amoah, P., Abaidoo, R.C., Raschid-Sally, L., and Bahri, A. 2008. Reducing health risks from wastewater use in urban and peri-urban sub-Saharan Africa: Applying the 2006 WHO guidelines. Water Science and Technology, 57:9. 1461-1466. https://doi.org/10.2166/wst.2008.245.
25. Gil, M.I., Selma, M.V, Suslow, T., Jacxsens, L., Uyttendaele, M., and Allende, A. 2015. Pre- and Postharvest Preventive Measures and Intervention Strategies to Control Microbial Food Safety Hazards of Fresh Leafy Vegetables. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 55: 4. 453-468. https://doi.org/10.1080/10408398.2012. 657808.
26. Chen, L., Feng, Q., Li, C., Wei, Y., Zhao, Y., Feng, Y., Zheng, H., Li, F., and Li, H. 2017. Impacts of aquaculture wastewater irrigation on soil microbial functional diversity and community structure in arid regions. Scientific Reports, 7: 1. 1-10. https://doi.org/ 10.1038/s41598-017-11678-z.
27. Manbari, N., Maroufpoor, E., Aminpour, Y., Bahrami, B., Jaume, K., and Bargués, P. 2020. Effect of a combined filtration system and drip irrigation laterals on quality of rainbow trout farm effluent. Irrigation Science, 38: 2. 131-145. https://doi.org/ 10.1007/ s00271-019-00654-2.

28.Maroufpoor, E., Aminpour, Y., Kamangar, B.B., and Bargués, J.P. 2021. Clogging rate of pressure compensating emitters in irrigation with rainbow trout fish farm effluent. Irrigation Science, 39 2. 223-233. https://doi.org/10.1007/s00271-020-00697-w.
29.Cao, C., Zhang, P., Ma, Z.P., Ma, Z.B., Wang, J.J., Tang, Y.Y., and Chen, H. 2021. Coupling sprinkler freshwater irrigation with vegetable species selection as a sustainable approach for agricultural production in farmlands with a history of 50-year wastewater irrigation. Journal of Hazardous Materials, 414: 125576. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125576.
30.Gilbert, F.A. 1949. Mineral nutrition of plants and animals. Univ. Oklahoma Press, Oklahoma. 135p.
31.Tisdale, S.L., and Nelson, W.L. 1956. Soil fertility and fertilizers. MacMillan, NY. 430p.
32.Kleinkopf, G.E., Westermann, D.T., and Dwelle, R.B. 1981. Dry Matter Production and Nitrogen Utilization by Six Potato Cultivars1. Agronomy Journal, 73: 5. 799-802. 3 https://doi.org/https://doi.org/10.2134/agronj1981.00021962007300050013x.
33.Rietra, R.P.J.J., Heinen, M., Dimkpa, C.O., and Bindraban, P.S. 2017. Effects of Nutrient Antagonism and Synergism on Yield and Fertilizer Use Efficiency. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 48: 16. 1895-1920.
34.Heenan, D.P., and Campbell, L.C. 1981. Influence of potassium and manganese on growth and uptake of magnesium by soybeans (*Glycine max* (L.) Merr. cv. Bragg). Plant and Soil, 61: 3. 447-456. https://doi.org/10.1007/BF02182025.
35.Salmon, R.C. 1963. Magnesium relationships in soils and plants. Journal of the Science of Food and Agriculture, 14(9): 605-610. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jsfa.2740140901.
36.Benes, S.E., Aragüés, R., Austin, R.B., and Grattan, S.R. 1996. Brief pre- and post-irrigation sprinkling with fresh water reduces foliar salt uptake in maize and barley sprinkler irrigated with saline water. Plant and Soil, 180(1): 87-95. https://doi.org/10.1007/BF00015414.
37.Maas, E.V. 1985. Crop tolerance to saline sprinkling water. Plant and Soil, 89: 273-284. https://doi.org/10.1007/BF021822471.
38.Tehrani, M. 2005. Investigating the nutritional requirement of sugar beet for nitrogen using a chlorophyll meter. Technical Journal No. 1235, Soil and water research institue, Tehran, Iran. (In Persian)
39.Bastam, N., Baninasab, B., and Ghobadi, C. 2013. Improving salt tolerance by exogenous application of salicylic acid in seedlings of pistachio. Plant Growth Regulation, 69: 3. 275-284. https://doi.org/10.1007/s10725-012-9770-7.
40.Ayers, R.S., and D.W.W. 1985. Water for agr Water uality for agriculture (29 Rev. 1). Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome.