

اثر شست‌وشوی برگ سیب‌زمینی پس از آبیاری با پساب مزرعه پرورش ماهی بر فلورسانس کلروفیل و برخی از خصوصیات سیب‌زمینی

زینب فتحی تیلکو^۱، حمید زارع ابیانه^{۲*}، عیسی معروف‌پور^۳ و فرزاد حسین پناهی^۴

چکیده

باتوجه به خشکسالی‌های اخیر در ایران و جهان و در نتیجه آن کمبود منابع آب، استفاده از آب‌های نامتعارف از جمله پساب پرورش ماهی، یک رویکرد منطقی به حساب می‌آید؛ بنابراین در مطالعه حاضر به بررسی استفاده از پساب ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در سامانه آبیاری بارانی برای کشت سیب‌زمینی به مدت سه سال (۱۳۹۸-۱۴۰۰) پرداخته شد. آزمایشی گلدانی در فضای باز با سامانه آبیاری بارانی برای تعیین اثر شست‌وشوی برگ سیب‌زمینی با آب معمولی پس از آبیاری با پساب ماهی بر فلورسانس کلروفیل (فلورسانس حداکثر (Fm)، میزان فلورسانس متغیر (Fv) و حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II ((Fv/Fm)) و برخی خصوصیات سیب‌زمینی انجام شد. این تحقیق در قالب آزمایشی فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل آبیاری در دو سطح A1 (آبیاری با آب چاه) و A2 (آبیاری با پساب ماهی) و همچنین شست‌وشوی برگ‌ها در چهار سطح B1 (شست‌وشوی برگ‌ها با آب معمولی، طی ده دقیقه قبل از اعمال پساب ماهی)، B2 (شست‌وشوی برگ‌ها با آب معمولی طی ده دقیقه بعد از اعمال پساب ماهی)، B3 (شست‌وشوی برگ‌ها طی ده دقیقه قبل و بعد از اعمال پساب ماهی)، B4 (اعمال پساب ماهی بدون شست‌وشوی برگی) بود. نتایج این تحقیق نشان داد تیمار B3 نسبت به تیمار B4 باعث افزایش ۱۰/۱۳ درصد عملکرد، ۲۰/۴۴ درصد فلورسانس حداکثر، ۲۸/۶۷ درصد فلورسانس متغیر، ۶/۶۶ درصد حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II، ۳۷/۹۸ درصد وزن خشک ساقه، ۱۰۸/۰۶ درصد وزن خشک برگ و ۱۲۵ درصد وزن خشک ریشه شد. پیشنهاد می‌شود برای افزایش فلورسانس کلروفیل و سایر خصوصیات گیاه سیب‌زمینی، استراتژی استفاده همزمان از پساب ماهی و آب تمیز در سامانه آبیاری بارانی استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری بارانی، حداکثر کارایی کوانتوم فتوسیستم II، عملکرد، فلورسانس متغیر.

ارجاع: فتحی تیلکو ز.، زارع ابیانه ح.، معروف‌پور ع. و حسین پناهی ف. ۱۴۰۲ اثر شست‌وشوی برگ سیب‌زمینی پس از آبیاری با پساب مزرعه پرورش ماهی بر فلورسانس کلروفیل و برخی از خصوصیات سیب‌زمینی. مجله پژوهش آب ایران. ۴۸: ۱۰۷-۱۱۸. <https://dx.doi.org/10.22034/IWRJ.2023.14109.2471>

۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بوعلی سینا، دانشکده کشاورزی، ایران.
۲- استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، ایران.
۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، ایران.
۴- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، ایران.

* نویسنده مسئول: Zare@basu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۲۷

مقدمه

در سال‌های اخیر نگرانی‌های زیادی مبنی بر کمبود آب در جهان به دلیل تغییرات آب‌وهوایی وجود داشته است (آکینبل و یوسف، ۲۰۱۱). تغییرات اخیر در آب‌وهوا نشان می‌دهد که کیفیت و کمیت منبع آب مورد نیاز جهان ممکن است به یک چالش جدی تبدیل شود؛ بنابراین کشورها با تمرکز بر توسعه پایدار، به‌ویژه در بخش کشاورزی، تلاش‌های بیشتری برای بهبود استفاده از منابع آب انجام داده‌اند (متکالف، ۲۰۰۳؛ استیفنز و همکاران، ۲۰۱۸؛ پیرا و همکاران، ۲۰۱۸؛ اسکون و همکاران، ۲۰۱۹). استفاده مجدد از آب برای آبیاری در کشاورزی، اغلب به‌عنوان روشی مثبت برای بازیافت آب به دلیل حجم زیاد آبی که می‌توان استفاده کرد، تلقی می‌شود. آب بازیافتی یک منبع آب ثابت و قابل‌اعتماد است که می‌تواند میزان آب شیرین مورد استفاده را کاهش دهد. این عمل باعث افزایش میزان آب مصرفی در سایر بخش‌ها (خانگی و صنعتی) می‌شود. استفاده از پساب در بخش کشاورزی روشی مناسب برای حفظ محیط‌زیست محسوب می‌شود؛ زیرا تخلیه پساب به محیط‌زیست با خطرات بهداشتی و محیطی متعددی همراه است (طباطبایی و همکاران، ۲۰۲۰).

برای مدیریت مؤثر آب موجود، جایگزین‌های دیگری مانند استفاده از پساب مزارع پرورش ماهی که حاوی مقادیر زیادی فسفر، ازت، سدیم و سایر عناصر است، موضوعی درخور اهمیت است (گانش کرمان و مک‌کی، ۲۰۰۷؛ زاجدبند، ۲۰۱۱؛ امیر، ۲۰۱۵؛ کویده و همکاران، ۲۰۱۵؛ اومتاده، ۲۰۱۹). کعب عمیر و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند غلظت نیترات، فسفر، پتاسیم، کلسیم، آهن، منگنز، روی و مس پساب ماهی به ترتیب ۴، ۲/۳۴، ۱/۴۸، ۱/۴۶، ۴/۱۷، ۴/۸۲ و ۲/۸۳ برابر غلظت این عناصر در آب رودخانه بوده است.

تحقیقات نشان داده است بسته به حجم استخر و نحوه مدیریت استخرهای پرورش ماهی، مقدار غلظت پارامترهای اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی (BOD) ۶/۹۸-۴۹/۲ میلی‌گرم در لیتر، اکسیژن‌خواهی شیمیایی (COD) ۱۹/۲۵-۱۰۴/۷ میلی‌گرم در لیتر، کل جامدات (TS) ۶۶/۷۵-۴۴۰ میلی‌گرم در لیتر و مواد جامد معلق (SS) ۲۷-۶۹۰/۱ میلی‌گرم در لیتر متغیر است (کلدبلا و همکاران، ۲۰۱۷). مقادیر غلظت استاندارد BOD ۲۰۰

میلی‌گرم در لیتر، COD ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، آهن ۳ میلی‌گرم در لیتر، روی ۲ میلی‌گرم در لیتر، مس ۰/۲ میلی‌گرم در لیتر و منگنز ۱ میلی‌گرم در لیتر برای کشاورزی است (سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران، ۱۳۷۸)؛ بنابراین لازم است قبل از استفاده از پساب در کشاورزی، کیفیت آن بررسی شود.

پساب ماهی به دلیل وجود مواد مغذی، باعث افزایش تولید غذا و بالابردن امنیت غذایی، کاهش هزینه کود و افزایش بهره‌وری در مزارع کوچک و متوسط می‌شود (زاجدبند، ۲۰۱۱؛ امیر، ۲۰۱۵؛ کویده و همکاران، ۲۰۱۵؛ اومتاده، ۲۰۱۹).

گیاه سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum L*) مقام چهارم تولید را در دنیا به خود اختصاص داده است (فابیرو، ۲۰۰۱). این گیاه یکی از محصولات عمده زراعی در استان کردستان است و به کمبود آب بسیار حساس است (بادر و همکاران، ۲۰۲۲). به دلیل افت شدید سطح ایستابی آبخوان‌ها در استان کردستان و حساسیت این محصول به کمبود آب (فتحی تیلکو و همکاران، ۱۳۹۵) استفاده از پساب مزارع پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان که سالانه حجم بالایی از آب را شامل می‌شود، می‌تواند در کشت سیب‌زمینی مفید واقع شود. باتوجه به تحقیقات انجام‌شده از شیلات و کشاورزان استان کردستان، برای تولید هر تن ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان، تقریباً دبی ۲ لیتر در ثانیه آب لازم است؛ بنابراین حجم آب مورد نظر برای کاربرد در بخش کشاورزی مفید است.

در میان کودهای مصرفی، مقدار کود نیتروژن در حصول حداکثر عملکرد و ارتقای ارزش غذایی نقش بسزایی دارد. نیتروژن جزء اولیه تشکیل‌دهنده ترکیبات آلی همانند اسیدهای آمینه، پروتئین و اسید نوکلئیک به‌شمار می‌رود (السید، ۲۰۰۰). با افزایش نیتروژن برگ، شدت کربن‌گیری نیز بیشتر می‌شود (هوانگ، ۲۰۰۴).

به‌منظور تعیین وضعیت فیزیولوژی گیاه و کارکرد فتوسنتز از سنجش فلورسانس می‌توان استفاده کرد. از طریق اندازه‌گیری عملکرد کوانتومی (fv/fm) می‌توان کارکرد دستگاه فتوسنتزی را بررسی کرد که نشان‌دهنده عملکرد کوانتومی مرکز واکنش فتوسیستم II است. در واقع با استفاده از مقدار فلورسانس کلروفیل می‌توان به سالم‌بودن غشای تیلاکوئید و کارایی نسبی انتقال الکترون از فتوسیستم II به I پی برد. هنگامی که مولکول کینون

کاربرد پساب ماهی باعث افزایش تعداد برگ، محتوای کلروفیل (SPAD)، هدایت روزنه‌ای، محتوای TSS برگ، غلظت کلروفیل، محتوای کاروتن، فلورسانس کلروفیل و عملکرد فتوسنتزی نسبت به سایر تیمارها و شاهد شد. همچنین آن‌ها گزارش کردند که تعداد گل، تعداد میوه و وزن هر میوهٔ خیار افزایش معنی‌داری داشت. کعب عمیر و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای به بررسی اثر مواد مغذی موجود در پساب ماهی بر میزان مواد مغذی در سبزیجات پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد پساب ماهی باعث افزایش رشد و افزایش محتوای مواد مغذی از جمله نیترات برگ ریحان و خرفه شد. آن‌ها گزارش کردند که استفاده از پساب ماهی باعث کاهش مصرف کود شد. بررسی منابع بیانگر پتانسیل بالای استفاده از پساب ماهی در کشاورزی است؛ لیکن برخی از پژوهشگران محدودهٔ استفاده از پساب ماهی در ترکیب با روش آبیاری و فزونی مواد معلق را عامل محدودکننده گزارش کرده‌اند.

پساب ماهی حاوی مقادیر زیادی نیتروژن، آمونیوم و پتاسیم است. این عناصر از جذب منیزیم که عنصر اصلی کلروفیل است، جلوگیری می‌کنند. تحقیقات نشان می‌دهد که عناصر درشت مغذی با یکدیگر اثر متقابل دارند (ریترا و همکاران، ۲۰۱۷). این فعل و انفعالات، در خاک یا درون گیاه، می‌تواند به شیوه‌ای پیچیده هم‌افزایی داشته یا متضاد باشند. غلظت بالای پتاسیم ممکن است جذب منیزیم در محلول خاک را مهار کند و منجر به کمبود منیزیم در گیاهان شود (هینان و کمپیل، ۱۹۸۱؛ سالمون، ۱۹۶۳). گزارش شده است با شست‌وشوی برگ با آب تمیز بعد از آبیاری با آب‌های نامتعارف، عناصر روی برگ شسته می‌شود. در غیر این صورت با تبخیر آب، عناصر روی برگ باقی مانده و توسط برگ جذب می‌شوند. همچنین گزارش شده است زمانی که قبل از اعمال آب نامتعارف برگ‌ها شست‌وشو شوند، برگ‌ها هیدراته می‌شوند و ظرفیت جذب عناصر توسط برگ کاهش می‌یابد (نس و همکاران، ۱۹۹۶؛ ماس، ۱۹۸۵).

مطالعات محدودی در رابطه با استفاده از پساب‌مزارع پرورش ماهی در آبیاری بارانی انجام شده است. از آنجایی که پساب مزرعهٔ ماهی حاوی مواد معدنی و آلی است و به‌دلیل وجود عناصر زیاد نیتروژن و سایر عناصر در پساب ماهی و همچنین وجود اثر متقابل بین عناصر مختلف در گیاه، امکان دارد بر کلروفیل فلورسانس و سایر خصوصیات

در حالت کاملاً اکسید قرار داشته باشد، سیستم دارای کمترین فلورسانس (F0) است و به تدریج با افزایش احیاشدن مولکول کینون، فلورسانس افزایش می‌یابد. در چنین حالتی، مرکز فتوسیستم در حالت احیای کامل قرار دارد و دارای بیشترین فلورسانس (Fm) است. اثرات نامطلوب محیطی باعث می‌شود سیستم به سرعت به Fm برسد و در نتیجه فلورسانس متغیر (Fv) کاهش می‌یابد؛ بنابراین، حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II به صورت نسبت Fv/Fm بیان می‌شود (ما و همکاران، ۱۹۹۵).

پساب ماهی حاوی نیتروژن بالایی است. مطالعات نشان می‌دهد که پساب ماهی باعث افزایش عملکرد، اجزای عملکرد، کاهش مصرف کود و همچنین مقدار نیتروژن برگ می‌شود. در نتیجه مقدار کلروفیل برگ در حالتی که گیاه با پساب ماهی آبیاری می‌شود، بالاتر است (آلوارز-گارسیا و همکاران، ۲۰۱۹، آکیندله و همکاران، ۲۰۲۱، کان و همکاران، ۲۰۲۱). عبدالرئوف و حب‌الله (۲۰۱۴) گزارش کردند عملکرد سویای آبیاری شده با ۱۰۰ درصد پساب ماهی و ۱۰۰ درصد کود نیتروژن، ۵۰ درصد بیشتر از هنگامی است که ۱۰۰ درصد آب رودخانه و ۱۰۰ درصد کود نیتروژن اعمال شود. همچنین عبدالرئوف و راگاب (۲۰۱۷) با استفاده از پساب ماهی بر گیاه گندم گزارش کردند، عملکرد گندم آبیاری شده با ۱۰۰ درصد پساب ماهی و ۱۰۰ درصد کود نیتروژن، ۱۰ درصد بیشتر از هنگامی است که به گندم ۱۰۰ درصد آب رودخانه و ۱۰۰ درصد کود نیتروژن اعمال شد. زهری و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند عملکرد باقلا و نخود آبیاری شده با پساب ماهی به ترتیب ۱۱ و ۲۹ درصد نسبت به زمانی که از آب رودخانه برای آبیاری استفاده شود، افزایش یافته است. آکیندله و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند گیاهانی که با پساب ماهی آبیاری می‌شوند، نسبت به گیاهانی که با آب معمولی آبیاری شده‌اند، نیاز آبی بالاتری خواهند داشت. همچنین بیشترین تعداد برگ، عملکرد، وزن ریشه و شاخص سطح برگ (LAI) فلفل شیرین در هنگامی که پساب ماهی به‌عنوان آب آبیاری استفاده می‌شود، به‌دست می‌آید. آن‌ها همچنین گزارش کردند از آن‌جا که شاخص سطح برگ افزایش یافته است؛ بنابراین کلروفیل و فتوسنتز گیاه نیز افزایش می‌یابد. خنداگر و همکاران (۲۰۱۸) مطالعه‌ای به‌منظور بررسی اثر پساب ماهی بر رشد و عملکرد خیار انجام دادند. نتایج نشان داد که

تحت کشت در ۳۵ درجه و ۱۹ دقیقه شمالی و ۴۷ درجه و ۱۸ دقیقه شرقی و در ارتفاع ۱۸۶۳ متری از سطح دریا قرار داشت. جدول ۱ پارامترهای هواشناسی منطقه مورد مطالعه شامل دما و بارندگی را نشان می‌دهد.

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و کیفیت آب

برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش که گلدان‌های آزمایشی توسط آن پر شده‌اند در جدول ۲ نشان داده شده است. براساس اندازه‌گیری‌ها، جرم مخصوص ظاهری خاک ۱/۳۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب و ظرفیت زراعی ۳۳ درصد حجمی بود. در جدول ۳ برخی از خصوصیات شیمیایی آب چاه و پساب ماهی ارائه شده است که بیانگر کلاس C1S1 برای آب چاه و C2S1 برای پساب ماهی است.

گیاه سیب‌زمینی تأثیر منفی داشته باشند؛ بنابراین بررسی روش‌های پیشگیری از ایجاد مشکل در گیاه، در آبیاری بارانی ضروری است؛ از این‌رو در این تحقیق برای کاهش اثرات پساب ماهی در آبیاری بارانی، از شست‌وشوی برگ‌ها بعد از آبیاری، قبل از آبیاری و قبل و بعد از آبیاری استفاده شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار در تابستان سال ۱۳۹۸، ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ به‌منظور تعیین اثر پساب ماهی بر عملکرد، فلورسانس کلروفیل، نیترات برگ، وزن خشک ساقه و ریشه در مزرعه دانشگاه کردستان انجام شد. موقعیت جغرافیایی زمین

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

سال	ماه	دمای حداکثر (°C)	دمای حداقل (°C)	بارندگی (میلی‌متر در ماه)
۱۳۹۸	تیر	۳۴/۳	۱۸/۶۹	-
	مرداد	۳۳/۹۶	۱۸/۸۲	-
	شهریور	۲۹	۱۴/۷۵	-
	مهر	۲۱/۲۲	۹/۱۲	۴۰
۱۳۹۹	تیر	۳۴/۱۲	۱۸/۹۸	-
	مرداد	۳۳/۴۳	۱۸/۵۰	-
	شهریور	۳۰/۰۳	۱۵/۰۹	-
	مهر	۲۱/۱۲	۹/۱۶	-
۱۴۰۰	تیر	۳۵/۳۴	۲۱/۲۲	-
	مرداد	۳۴/۸۱	۱۸/۹۴	-
	شهریور	۲۹/۱۳	۱۴/۶۱	-
	مهر	۲۰/۰۸۷	۸/۵۶	۲۷/۵

بودند. برای اجرای هر کرت آزمایشی ۹ گلدان در نظر گرفته شد و به‌منظور حذف اثرات تیمارهای مختلف بر یکدیگر فاصله بین هر دو کرت ۶ متر در نظر گرفته شد. کشت غده‌ها در گلدان به‌صورت دستی انجام شد و یک غده در وسط گلدان در عمق ۲۰ سانتی‌متری کشت شد. به‌منظور آبیاری از سامانه آبیاری بارانی با آبیاری میکرو اسپرینکلر استفاده شد. در این پژوهش اندازه‌گیری حجم آب آبیاری با نصب کنتور حجمی در ابتدای هر ردیف صورت گرفت. میزان آب آبیاری براساس نیاز آبی گیاه سیب‌زمینی از معادله زیر به‌دست آمد.

$$SMD = (\theta_{FC} - \theta_i) \times Drz \quad (1)$$

نحوه انجام آزمایش

فاکتورهای مورد بررسی شامل آبیاری در دو سطح A1 (آبیاری با آب چاه) و A2 (آبیاری با پساب ماهی) و همچنین شست‌وشوی برگ‌ها در چهار سطح B1 (شست‌وشوی برگ‌ها با آب معمولی طی ده دقیقه قبل از اعمال پساب ماهی)، B2 (شست‌وشوی برگ‌ها با آب معمولی طی ده دقیقه بعد از اعمال پساب ماهی)، B3 (شست‌وشوی برگ‌ها طی ده دقیقه قبل و بعد از اعمال پساب ماهی) و B4 (اعمال پساب ماهی بدون شست‌وشوی برگ‌ها) بود. گلدان‌های مورد استفاده از جنس پلاستیک به قطر ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر

با استفاده از دستگاه فتوستنز متر miniPPM300 پارامترهای فلورسانس، فلورسانس حداقل (F0)، فلورسانس حداکثر (Fm)، میزان فلورسانس متغیر (Fv) و حداکثر کارایی کوانتوم فتوسیستم II ($\frac{Fv}{Fm}$) اندازه‌گیری شد. در جدول ۴ مؤلفه‌های بیوفیزیکی اندازه‌گیری شده فلورسانس کلروفیل ارائه شده است. همچنین برای اندازه‌گیری نیترات برگ، برگ‌ها ابتدا با آب مقطر شست‌وشو داده شد، سپس در آون در دمای ۷۰ درجه خشک و در مرحله بعد نمونه‌ها آسیاب شد. سپس محتوای نیترات نمونه‌ها به روش دی آزو و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل sp-uv-vis850) تعیین شد (سینگ، ۱۹۸۸).

که در آن SMD کمیود رطوبت خاک، Θ_{FC} ظرفیت زراعی مزرعه، Θ_i رطوبت خاک در زمان قبل آبیاری و D_{rz} عمق مؤثر ریشه است. رطوبت خاک توسط دستگاه PMS-714 براساس عمق ریشه در سه عمق اندازه‌گیری و به صورت میانگین اعمال شد. کلیه عملیات زراعی برای همه تیمارها به صورت یکسان انجام شد. در انتهای فصل رشد عملکرد غده تیمارهای مختلف اندازه‌گیری شد. برای نمونه‌گیری از اندام‌های هوایی در ۲۹ مرداد، در هر کرت دو بوته انتخاب شد. هر بوته به صورت جداگانه در پاکت قرار گرفت و برای اندازه‌گیری پارامترهای مورد نیاز به آزمایشگاه منتقل و وزن خشک ساقه و ریشه اندازه‌گیری شد.

برای سنجش فلورسانس کلروفیل از محل میانه برگ و بین رگبرگ اصلی و لبه آخرین برگ توسعه‌یافته هر گیاه

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

EC dS/m	pH	O.C %	N %	P ppm	K ppm	رس %	سیلت %	شن %	عمق خاک
۰/۴	۷/۷۲	۱	۰/۱	۱۳	۴۰۶	۳۱/۶	۴۵/۶	۲۲/۸	۲۰-۰
۰/۳۸	۷/۶۵	۰/۸۳	۰/۰۸	۱۳/۷۹	۲۹۴/۳۴	۳۰/۴	۴۸	۲۱/۶	۴۰-۲۰
۰/۴۲	۷/۷۷	۰/۹	۰/۰۹	۱۲/۶۴	۲۳۸/۱	۳۳/۸	۴۲/۲	۲۴/۳	۶۰-۴۰

جدول ۳- متوسط کیفیت پساب ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان و آب چاه

۱۴۰۰		۱۳۹۹		۱۳۹۸		بدون محدودیت (آیرز و وست کات، ۱۹۸۵)	واحد	پارامترهای اندازه‌گیری شده
پساب ماهی	آب چاه	پساب ماهی	آب چاه	پساب ماهی	آب چاه			
۰/۶	۰/۲	۰/۵۷	۰/۲	۰/۵	۰/۲	<۰/۷	dS m ⁻¹	ECw
۷/۹۷	۷/۵	۷/۹۵	۷/۵	۷/۷۵	۷/۵	۸/۵-۶	-	pH
۲۹۴/۴۲	۱۷۲	۲۸۷/۳۶	۱۷۲	۲۸۳/۱۴	۱۷۲	۲۰۰۰-۰	mg l ⁻¹	TDS
۲/۴۶	۲/۲۲	۲/۳۹	۲/۲۲	۲/۳۵	۲/۲۲	۲۰۰۰	meq l ⁻¹	Ca ⁺⁺
۰/۱۸	۰/۱۳	۰/۱۶	۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۱۳	۵۰۰	meq l ⁻¹	Mg ⁺⁺
۰/۱۸	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷۴	۰/۱۷	۴۰۰۰	meq l ⁻¹	Na ⁺
۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۱۵۰۰	meq l ^{-1/2}	SAR
۰/۰۷۱	۰/۰۶۳	۰/۰۶۶	۰/۰۶۳	۰/۰۶۶	۰/۰۶۳	۱۰۰۰	meq l ⁻¹	HCO ₃ ⁻
۲/۵	۱/۶۱	۲/۲۷	۱/۶۱	۲/۲۷	۱/۶۱	۲۰۰	mg l ⁻¹	K ⁺
۴۸	۰/۲۲	۴۸	۰/۲۲	۴۲	۰/۲۲	۱۰۰۰	mg l ⁻¹	NO ₃ -N
۳/۹۶	۰/۱۹	۳/۸۵	۰/۱۹	۳/۷۶	۰/۱۹	۲۰۰	mg l ⁻¹	PO ₄ -P
<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	۰/۲	mg l ⁻¹	Mn
<۰/۲	<۰/۲	<۰/۲	<۰/۲	<۰/۲	<۰/۲	۵۰۰	mg l ⁻¹	Fe
۲۵۴	۸۰	۲۴۲	۸۰	۲۴۰	۸۰		mg l ⁻¹	Tss

جدول ۴- مؤلفه‌های بیوفیزیکی اندازه‌گیری‌شده فلورسانس کلروفیل و معادلات مربوط به آن‌ها (کلاکامر و شرایبر، ۲۰۰۸)

مؤلفه	شناسه	معادله
فلورسانس متغیر	Fv (Variable fluorescence)	Fm-F ₀
حداکثر کارایی کوانتوم فتوسیستم II	Maximum photochemical quantum yield of photosystem II	$\frac{Fm - F_0}{Fm}$

تحلیل آماری

بر نیترات برگ در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است. جداول مذکور همچنین نشان می‌دهند که اثر متقابل آب آبیاری و سناریوهای شست‌وشوی برگی بر وزن خشک ساقه، برگ و ریشه در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است.

مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) با استفاده از زبان برنامه‌نویسی R و پکیج DoebioResearch مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت.

نتایج و بحث

تحلیل آماری

حجم آب کاربردی

در جدول ۷ حجم آب آبیاری و عملکرد محصول در تیمارهای مختلف آب آبیاری و در سال‌های انجام آزمایش ارائه شده است. مشاهده جدول ۷ نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین مقدار عملکرد غده و حجم آب آبیاری به ترتیب مربوط به تیمارهای A2 و A1 است. احتمالاً دلیل این موضوع وجود مواد مغذی در پساب ماهی و رشد و نمو زیاد گیاه و افزایش نیاز آبی گیاه در تیمار A2 نسبت به گیاهانی که با آب معمولی آبیاری شده‌اند، بوده است. آکیندله و همکاران (۲۰۲۱) نیز گزارش کردند که نیاز آبی گیاهان مورد آبیاری با پساب ماهی بیش از گیاهان آبیاری شده با آب تمیز است. آن‌ها دلیل این امر را افزایش سطح پوشش گیاهی به‌واسطه وجود مواد مغذی در پساب ماهی بیان کردند.

در جداول ۵ و ۶ نتایج تجزیه مرکب مربوط به اثر تیمارهای آب آبیاری و سناریوهای شست‌وشوی برگ بر عملکرد، F_v، F_m، F₀، حداکثر کارایی کوانتوم فتوسیستم II، نیترات برگ و وزن خشک برگ، ساقه و ریشه نمایش داده شده است. نتایج نشان می‌دهد اثر سال‌های انجام آزمایش بر نیترات برگ، وزن خشک ساقه، برگ و ریشه در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد اثر آب آبیاری بر عملکرد، F_v، F_m، حداکثر کارایی کوانتوم فتوسیستم II، نیترات برگ و وزن خشک ساقه، برگ و ریشه در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است. نتایج جدول مذکور نشان می‌دهد اثر تیمارهای شست‌وشوی برگی بر کل پارامترهای مورد بررسی، به جز F₀ در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است. همچنین نتایج نشان می‌دهند اثر متقابل آب آبیاری و سال انجام آزمایش

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آب آبیاری و سناریوهای شست‌وشوی برگی بر عملکرد، شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و

نیترات برگ

نیترات برگ	میانگین مربعات					درجه آزادی	منبع تغییرات
	Fv/fm	Fv	Fm	F ₀	عملکرد		
۶۳۴/۴۱**	۰/۰۰۱ ^{ns}	۴۱۵۳۸/۳۹ ^{ns}	۱۰۲۲۷۷/۱۲ ^{ns}	۱۴۹۳۷/۲۷ ^{ns}	۲۲۷/۹۴ ^{ns}	۲	سال
۱۲۱۷۱۱۲/۰۴**	۰/۰۱**	۸۱۰۴۷۶/۶۹**	۸۲۶۰۴۰/۸۹**	۷۴/۰۱۴ ^{ns}	۱۸۰۹۲/۷۸**	۱	آب آبیاری (A)
۸/۳۴**	۰/۰۰۱ ^{ns}	۸۵۳۲۳/۷۲ ^{ns}	۱۸۹۶۶۰/۲۷ ^{ns}	۲۰۵۶۲/۹۳ ^{ns}	۱۳/۲۷۶ ^{ns}	۲	آب آبیاری×سال
۴۶۲۵/۴۶**	۰/۰۰۷**	۴۸۷۸۵۷/۹**	۴۳۸۹۱۱/۱۵**	۱۳۴۷/۰۹ ^{ns}	۱۰۲۶۴/۱۶**	۳	سناریوهای شست‌وشوی برگی (B)
۲۵/۳۳**	۰/۰۰۱ ^{ns}	۲۹۹۶۸/۲۲ ^{ns}	۴۳۷۷۲/۰۵ ^{ns}	۷۲۱۹/۶۷ ^{ns}	۲۶۸/۹۲ ^{ns}	۶	سناریوهای شست‌وشوی برگی×سال
۵۴/۵۴**	۰/۰۰۳ ^{ns}	۲۱۷۳۷/۱۲ ^{ns}	۹۱۱۴۴/۷۰ ^{ns}	۳۲۹۹۷/۵ ^{ns}	۲۶۷/۶۱ ^{ns}	۳	A×B
۱/۸ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۵۷۸۶۹/۳۳ ^{ns}	۱۲۱۲۲۵/۳۰ ^{ns}	۱۵۱۱۲/۵ ^{ns}	۷۴/۷۴ ^{ns}	۶	سال×B×A
۲/۲۵	۰/۰۰۲	۴۹۹۰۶/۶	۱۰۳۸۲۶/۴۲	۱۶۵۸۵/۵	۳۲۲/۸۴	۴۸	خطا
۰/۶۷	۵/۲۳	۱۵/۷۲	۱۷/۴۴	۳۰/۱۷	۳/۵۸	-	ضریب تغییرات (%)

ns نشان‌دهنده غیرمعنی‌دار بودن اثر تیمارهای آزمایشی بر پارامتر مورد بررسی، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن این اثر در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آب آبیاری و سناریوهای شست و شوی برگ بر وزن خشک ساقه، برگ و ریشه

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		وزن خشک ساقه	وزن خشک برگ	وزن خشک ریشه
سال	۲	۱۹/۱۹ ^{**}	۴۰/۴۹ ^{**}	۶/۵۸ ^{**}
آب آبیاری (A)	۱	۹۶/۹۸ ^{**}	۱۶۱/۳۱ ^{**}	۱۲۷/۲۰ ^{**}
آب آبیاری×سال	۲	۰/۷۲ ^{ns}	۰/۰۳۳ ^{ns}	۰/۲۵ ^{ns}
سناریوهای شست و شوی برگ (B)	۳	۱۸۶/۶۵ ^{**}	۴۷۱/۴۳ ^{**}	۳۰۹/۹۴ ^{**}
سناریوهای شست و شوی برگ × سال	۶	۱۷/۴۲ ^{**}	۱/۱۵ ^{ns}	۶/۱۴۵ ^{**}
A × B	۳	۰/۴۹۷ ^{ns}	۱/۹۱ ^{ns}	۱/۰۵ ^{ns}
سال × B × A	۶	۰/۱۱ ^{ns}	۰/۰۶ ^{ns}	۰/۰۴ ^{ns}
خطا	۴۸	۰/۹۱ ^{ns}	۱/۵۶ ^{ns}	۱/۲۱ ^{ns}
ضریب تغییرات (%)	-	۵/۶۶	۹/۱۹	۱۱/۹۶

ns نشان دهنده غیرمعنی دار بودن اثر تیمارهای آزمایشی بر پارامتر مورد بررسی، * و ** به ترتیب نشان دهنده معنی دار بودن این اثر در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

جدول ۷- مقادیر میانگین عملکرد و حجم آب آبیاری در تیمارهای مختلف آب آبیاری

سال	تیمارهای آبیاری	حجم آب آبیاری (لیتر در گلدان)	عملکرد (گرم در گلدان)
۱۳۹۸	A1	۱۶۴/۹۲	۴۸۴/۱۷
	A2	۱۷۰/۱۸	۵۶۲/۲۳
۱۳۹۹	A1	۱۷۷/۹۸	۴۸۵/۳۸
	A2	۱۸۸/۴	۵۶۶/۳۴
۱۴۰۰	A1	۱۷۵/۳۳	۴۸۹/۳
	A2	۱۸۶/۶	۵۶۹/۳۸

فلورسانس کلروفیل و سایر خصوصیات گیاه سیب زمینی

شاخص‌های فلورسانس کلروفیل، نیترات برگ، وزن خشک ساقه، برگ و ریشه در جدول ۸ نمایش داده شده است.

نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر سال، تیمارهای آب آبیاری و سناریوهای شست و شوی برگ بر عملکرد،

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر تیمارهای آب آبیاری و سناریوهای شست و شوی برگ بر مقدار عملکرد، شاخص‌های فلورسانس کلروفیل، نیترات برگ، وزن خشک ساقه، برگ و ریشه

تیمار	عملکرد (gr/pot)	Fm	Fv	Fv/Fm	نیترات برگ (mg/kg)	وزن خشک ساقه (gr)	وزن خشک برگ (gr)	وزن خشک ریشه (gr)
سال								
۱۳۹۸	۵۲۳/۱۹ ^a	۱۹۲۱/۴۲ ^a	۱۴۶۵/۷۱ ^a	۰/۷۷ ^a	۲۱۹ ^c	۱۵/۹۴ ^c	۱۲/۲۳ ^c	۸/۹۸ ^{ab}
۱۳۹۹	۵۲۵/۸۶ ^a	۱۸۲۴/۳ ^a	۱۴۱۲/۸۸ ^a	۰/۷۷ ^a	۲۲۵ ^b	۱۶/۷۵ ^b	۱۳/۶۸ ^b	۸/۸۱ ^b
۱۴۰۰	۵۲۹/۳۳ ^a	۱۷۹۷/۳ ^a	۱۳۸۳/۶۳ ^a	۰/۷۷ ^a	۲۲۹/۳ ^a	۱۷/۷۲ ^a	۱۴/۸۲ ^a	۹/۷۹ ^a
آب آبیاری								
A1	۴۸۶/۲۸ ^b	۱۷۴۰/۵۶ ^b	۱۳۱۴/۶۴ ^b	۰/۷۶ ^b	۹۴/۳۷ ^b	۱۵/۶۴ ^b	۱۲/۰۸ ^b	۷/۸۶ ^b
A2	۵۶۵/۹۸ ^a	۱۹۵۴/۷۸ ^a	۱۵۲۶/۸۳ ^a	۰/۷۸ ^a	۳۵۴/۴۰ ^a	۱۷/۹۷ ^a	۱۵/۰۸ ^a	۱۰/۵۲ ^a
سناریوهای شست و شوی برگ								
B1	۵۱۲/۲ ^b	۱۷۵۴ ^b	۱۳۲۰ ^b	۰/۷۶ ^{ab}	۲۳۱/۶ ^b	۱۳/۶۴ ^d	۹/۴۸ ^c	۵/۵۶ ^d
B2	۵۱۴/۴ ^a	۱۸۶۲ ^{ab}	۱۴۳۶ ^b	۰/۷۷ ^{ab}	۲۱۵/۷ ^c	۱۷/۱۱ ^b	۱۴/۶۵ ^b	۹/۸۸ ^b
B3	۵۵۰/۸ ^a	۲۰۶۲ ^a	۱۶۴۷ ^a	۰/۸ ^a	۲۰۷/۲ ^d	۲۱/۱۴ ^a	۲۰/۳۹ ^a	۱۴/۷۶ ^a
B4	۵۰۰/۱ ^b	۱۷۱۲ ^b	۱۲۸۰ ^b	۰/۷۵ ^b	۲۴۳ ^a	۱۵/۳۲ ^c	۹/۸ ^c	۶/۵۶ ^c

آب معمولی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد و سایر پارامترهای اندازه‌گیری شده داشته است. با توجه به جدول ۸ بیشترین مقدار عملکرد، Fv/Fm، Fv، Fm، وزن خشک ساقه، برگ و ریشه به ترتیب ۵۵۰/۸ گرم در گلدان، ۲۰۶۲، ۱۶۴۷، ۰/۸، ۲۱/۱۴ گرم، ۲۰/۳۹ گرم و ۱۴/۷۶ گرم مربوط به حالتی است که قبل و بعد از اعمال پساب ماهی بر برگ‌ها شست‌وشوی برگی انجام شد و همچنین بیشترین مقدار نیترات برگ ۲۴۳ میلی‌گرم در کیلوگرم مربوط به حالتی است که هیچ گونه شست‌وشوی برگی با آب تمیز انجام نشده است؛ به عبارت دیگر، تیمار B3 نسبت به تیمار B4 باعث افزایش ۱۰/۱۳ درصد عملکرد، ۲۰/۴۴ درصد فلورسانس حداکثر، ۲۸/۶۷ درصد فلورسانس متغیر، ۶/۶۶ درصد حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II، ۳۷/۹۸ درصد وزن خشک ساقه، ۱۰۸/۰۶ درصد وزن خشک برگ و ۱۲۵ درصد وزن خشک ریشه شد.

تحقیقات گذشته نشان داده است هرچقدر نیترات برگ بیشتر باشد، شاخص‌های فلورسانس کلروفیل بالاتر است؛ اما در پژوهش حاضر نتیجه خلاف این به دست آمد و بیشترین مقدار فلورسانس کلروفیل مربوط به حالتی است که قبل و بعد از اعمال پساب ماهی بر برگ‌ها شست‌وشوی برگی انجام شده است که احتمالاً دلیل آن مقادیر بالای مواد معلق در پساب ماهی است. شست‌وشوی برگ تأثیر مثبتی بر شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و سایر شاخص‌های رشد داشته است. نتایج سایر محققان نیز نشان می‌دهد که شست‌وشوی برگی زمانی که از آب‌های نامتعارف استفاده می‌شود، بر جذب عناصر توسط گیاه و شاخص‌های رشد تأثیر مثبت دارد. همچنین تحقیقات گذشته نشان داده است که کاربرد همزمان آب معمولی و آب‌های نامتعارف اثرات سمی ناشی از مواد موجود در پساب را کاهش می‌دهد و باعث بهبود عملکرد و شاخص‌های فیزیولوژی گیاه می‌شود (کائو و همکاران، ۲۰۲۱؛ بنس، ۱۹۹۶).

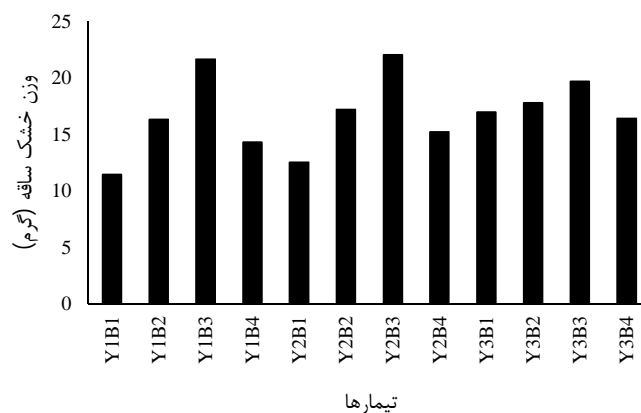
بنس و همکاران (۱۹۹۶) گزارش کردند زمانی که قبل و بعد از اعمال آب شور بر برگ‌ها، شست‌وشوی برگی با آب معمولی انجام می‌شود؛ غلظت کلر و سدیم در برگ نسبت به موقعی که اصلاً شست‌وشوی برگی انجام نمی‌شود، کمتر است. آن‌ها همچنین به این نتیجه رسیدند هنگامی که قبل از اعمال آب شور برگ‌ها

نتایج جدول ۸ نشان می‌دهد بیشترین مقدار نیترات برگ، وزن خشک ساقه، برگ و ریشه به ترتیب ۲۲۹/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم، ۱۷/۷۲ گرم، ۱۴/۸۲ گرم و ۹/۷۹ گرم مربوط به سال سوم انجام آزمایش بوده است. با توجه به جدول ۴ کیفیت پساب ماهی در سال سوم نسبت به سال‌های دیگر مواد مغذی بالاتری داشته است که احتمالاً به همین دلیل مقدار نیترات برگ و سایر شاخص‌ها در سال سوم نسبت به سایر سال‌ها مقدار بالاتری نشان داده است. نتایج جدول مذکور نشان می‌دهد بیشترین مقدار عملکرد، Fv/Fm، Fv، Fm، نیترات برگ، وزن خشک ساقه، برگ و ریشه به ترتیب ۵۶۵/۹۸ گرم در گلدان، ۱۹۵۴/۷۸، ۱۵۲۶/۸۳، ۰/۷۸، ۳۵۴/۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، ۱۷/۹۷ گرم، ۱۵/۰۸ گرم و ۱۰/۵۲ گرم مربوط به زمانی است که از پساب ماهی به عنوان آب آبیاری استفاده شده است و کمترین پارامترهای ذکر شده به ترتیب ۴۸۶/۲۸ گرم در گلدان، ۱۷۴۰/۵۶، ۱۳۱۴/۶۴، ۰/۷۶، ۹۴/۳۷ میلی‌گرم در کیلوگرم، ۱۵/۶۴ گرم، ۱۲/۰۸ گرم و ۷/۸۶ گرم مربوط به زمانی است که آب معمولی به عنوان آب آبیاری استفاده شده است. به عبارت دیگر تیمار A2 نسبت به A1 باعث افزایش ۱۶/۴ درصد عملکرد، ۱۲/۳۰ درصد فلورسانس حداکثر، ۱۶/۱۴ درصد فلورسانس متغیر، ۲/۶۳ درصد حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II، ۲۷۵/۵۴ درصد نیترات برگ، ۱۴/۸۹ درصد وزن خشک ساقه، ۲۴/۸۳ درصد وزن خشک برگ و ۳۳/۸۴ درصد وزن خشک ریشه شد.

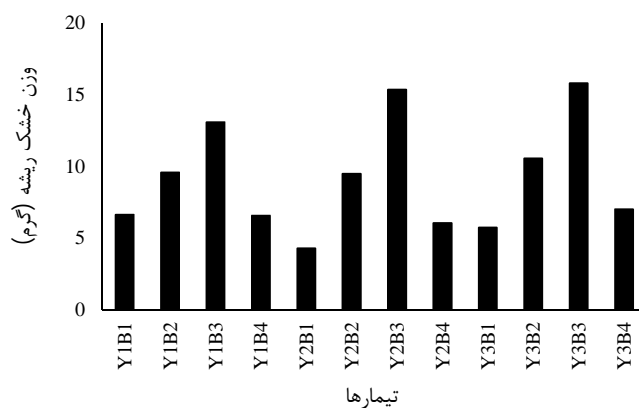
نیترژن جزء اولیه تشکیل‌دهنده ترکیبات آلی همانند اسیدهای آمینه، پروتئین و اسید نوکلئیک به شمار می‌رود و کمبود آن رشد گیاه را در دو مرحله رویشی و زایشی به تأخیر می‌اندازد و از سرعت گسترش برگ در گیاه می‌کاهد (السید، ۲۰۰۰). هوانگ (۲۰۰۴) اشاره کرد هرچه غلظت نیترژن در برگ‌ها افزایش یابد، شدت کربن‌گیری نیز بیشتر می‌شود؛ بنابراین شاخص‌های فلورسانس کلروفیل افزایش یافته است. تحقیقات نشان داده است که پساب ماهی باعث افزایش تعداد برگ، عملکرد، وزن ریشه و شاخص سطح برگ (LAI) فلفل شیرین می‌شود. همچنین از آنجا که استفاده از پساب ماهی باعث افزایش شاخص سطح برگ می‌شود؛ بنابراین کلروفیل و فتوسنتز گیاه نیز افزایش می‌یابد (آکیندله، ۲۰۲۱). نتایج همچنین نشان داد شست‌وشوی برگ‌ها با

ساقه و برگ در شکل‌های ۱ و ۲ نمایش داده شده است. نتایج نشان می‌دهد بیشترین وزن ساقه در سال دوم انجام آزمایش و مربوط به حالتی است که قبل و بعد از اعمال پساب ماهی بر برگ‌ها شست‌وشوی برگی انجام شد و همچنین بیشترین مقدار وزن ریشه در سال سوم انجام آزمایش و مربوط به حالتی است که قبل و بعد از اعمال پساب ماهی بر برگ‌ها شست‌وشوی برگی انجام شد.

شست‌وشو می‌شوند، برگ‌ها هیدراته می‌گردند و ظرفیت جذب عناصر توسط برگ کاهش می‌یابد و همچنین زمانی که بعد از اعمال آب شور شست‌وشوی برگی انجام می‌شود عناصر و مواد روی برگ شسته می‌شوند و جذب برگ کاهش می‌یابد؛ بنابراین باعث افزایش عملکرد می‌شود. نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر متقابل سال انجام آزمایش و سناریوهای شست‌وشوی برگی بر وزن خشک



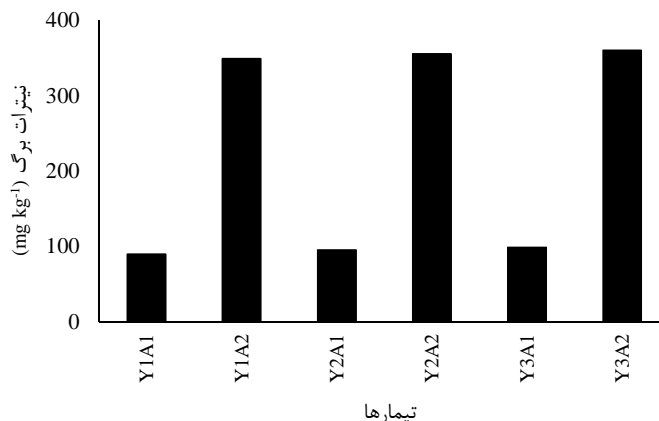
شکل ۱- میانگین اثر متقابل سال انجام آزمایش و سناریوهای شست‌وشوی برگی بر وزن خشک ساقه (Y1 (سال ۱۳۹۸)، Y2 (سال ۱۳۹۹)، Y3 (سال ۱۴۰۰))



شکل ۲- میانگین اثر متقابل سال انجام آزمایش و سناریوهای شست‌وشوی برگی بر وزن خشک ریشه (Y1 (سال ۱۳۹۸)، Y2 (سال ۱۳۹۹)، Y3 (سال ۱۴۰۰))

پساب ماهی به‌عنوان آب آبیاری استفاده شده است. نتایج تحقیق سایر محققان نیز نشان داد با اعمال پساب ماهی بر گیاه مقدار نیترات برگ افزایش می‌یابد (کعب عمیر و همکاران، ۲۰۲۰).

شکل ۳ نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر متقابل سال انجام آزمایش و آب آبیاری بر مقدار نیترات برگ نمایش داده شده است. نتایج نشان می‌دهد بیشترین نیترات برگ در سال سوم انجام آزمایش و مربوط به حالتی است که از



شکل ۳- میانگین اثر متقابل سال انجام آزمایش و آب آبیاری بر غلظت نیترات برگ (Y1 (سال ۱۳۹۸)، Y2 (سال ۱۳۹۹)، Y3 (سال ۱۴۰۰))

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد تیمار A2 نسبت به A1 باعث افزایش ۱۶/۴ درصد عملکرد، ۱۲/۳۰ درصد فلورسانس حداکثر، ۱۶/۱۴ درصد فلورسانس متغیر، ۲/۶۳ درصد حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II، ۲۷۵/۵۴ درصد نیترات برگ، ۱۴/۸۹ درصد وزن خشک ساقه، ۲۴/۸۳ درصد وزن خشک برگ و ۳۳/۸۴ درصد وزن خشک ریشه شد. همچنین تیمار B3 نسبت به تیمار B4 باعث افزایش ۱۰/۱۳ درصد عملکرد، ۲۰/۴۴ درصد فلورسانس حداکثر، ۲۸/۶۷ درصد فلورسانس متغیر، ۶/۶۶ درصد حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II، ۳۷/۹۸ درصد وزن خشک ساقه، ۱۰۸/۰۶ درصد وزن خشک برگ و ۱۲۵ درصد وزن خشک ریشه شد.

تحقیق حاضر نشان می‌دهد استفاده از شست‌وشوی برگی هنگام استفاده از پساب ماهی در آبیاری بارانی گزینه مناسبی برای بهبود تولید سیب‌زمینی است. پیشنهاد می‌شود اثر پساب ماهی در سیستم آبیاری بارانی برای سایر محصولات نیز مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

- علوم و صنایع کشاورزی). ۳۰(۵): ۱۳۹۴-۱۴۰۲.
- Abdelraouf R. E. 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. *Int J Sci Res Agric Sci.* 1(5): 67-79
- Abdelraouf R. E. and Ragab R. 2017. The benefit of using drainage water of fish farms for irrigation: field and modelling study using the SaltMed model. *Irrig Drain.* 66: 758-772.
- Akinbile C. O. and Yusoff M. S. 2011. Growth yield and water use pattern of chilli pepper under different irrigation scheduling and management. *Asian Journal of Agricultural Research.* 5(2): 154-163.
- 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.* <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2021.02.002>
- Álvarez-García M. Urrestarazu M. Guil-Guerrero J. L. and Jiménez-Becker S. 2019. Effect of fertigation using fish production wastewater on *Pelargonium x zonale* growth and nutrient content. *Agricultural Water Management.* 223(July): 1-7.
- Ayers R. S. and Westcot D. W. 1985. Water for agr Water uality for agriculture (29 Rev. 1). Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome.
- Badr M. A. El-Tohamy W. A. Salman S. R. and Gruda N. 2022. Yield and water use relationships of potato under different timing and severity of water stress. *Agricultural Water Management.* 271(June):

- سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران. ۱۳۷۸. ضوابط و استانداردهای زیست‌محیطی. انتشارات سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران.
- فتحی تیلکو ز. فتحی پ. و حسین پناهی ف. ۱۳۹۵. تأثیر عمق جایگذاری نوار آبیاری و میزان آب کاربردی بر عملکرد و بهره‌وری آب

- 825–831.
20. Khandaker M. M. 2018. Effects of Fish Waste Extract on the Growth, Yield and Quality of *Cucumis sativus* L. *Journal Of Agrobiotechnology*. 9(1S): 250–259.
 21. Klughammer C. and Schreiber U. 2008. Complementary PS II quantum yields calculated from simple fluorescence parameters measured by PAM fluorometry and the Saturation Pulse method. *PAM application notes*. 1 (2):201-247.
 22. 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. .
 23. Kun Á. Bakti B. Boz C. and Gyuricza C. 2021. Utilization of Fish Farm Effluent for Irrigation Short Rotation Willow (*Salix alba* L.) under Lysimeter Conditions.
 24. Ma B. L. Morison M. J. and Videng H. D. 1995. Leaf greenness and photosynthetic rates in soybean. *Crop Science*. 35: 1411-1414.
 25. Maas E. V. 1985. Crop tolerance to saline sprinkling water. *Plant and Soil*. 89(1): 273–284.
 26. Metcalf E. 2003. *Wastewater engineering: Treatment and Reuse*, 4th ed. McGraw Hill Publication.
 27. Omotade Funmilola I. Alatisé 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.
 28. Pereira P. Brevik E. and Trevisani S. 2018. Mapping the environment. *Science of The Total Environment*. 610–611: 17–23.
 29. 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.
 30. Salmon R. C. 1963. Magnesium relationships in soils and plants. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 14(9): 605-610.
 31. Scown M. W. Winkler K. J. and Nicholas K. A. 2019. Aligning research with policy and practice for sustainable agricultural land systems in Europe. 116(11). <https://doi.org/10.1073/pnas.1812100116>
 32. Singh J. P. 1988. A rapid method for determination of nitrate in soil and plant extract. *Plant and Soil*. 11: 137-139.
 33. Stephens E. C. Jones A. D. and Parsons D. 2018. Agricultural systems research and 107793. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107793>.
 10. 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.
 11. 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(February): 125576. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125576>
 12. Coldebella A. Gentelini A. L. Piana P. A. Coldebella P. F. Boscolo W. R. and Feiden A. 2017. Effluents from fish farming ponds: A view from the perspective of its main components. *Sustainability (Switzerland)*. 10(1): 1-16.
 13. El-Sayed K. A. Ross S. A. El-Sohly M. A. Khalafall M. M. Abdel Halim O. B. and Ikegami F. 2000. Effect of different fertilizers on the amino acid, fatty acid and essential oil composition of *Nigella sativa* seeds. *Saudi Pharmaceutical Journal*. 8:175-182.
 14. Emire S. A. 2015. Proximate composition, mineral content and antinutritional factors of some capsicum (*Capsicum annum*) Varieties Grown IN. August.
 15. 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.
 16. 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.
 17. 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.
 18. Huang Z. Turner B. J. Dury S. J. Wallis I. R. and Foley W. J. 2004. Estimating foliage nitrogen concentration from hmap data using continuum removal analysis. *Remote Sensing of Environment*. 93: 18-29.
 19. 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):

- global food security in the 21st century: An overview and roadmap for future opportunities. *Agricultural Systems*. 163: 1-6.
34. Tabatabaei S. H. Nourmahnad N. Golestani Kermani S. Tabatabaei S. A. Najafi P. and Heidarpour M. 2020. Urban wastewater reuse in agriculture for irrigation in arid and semi-arid regions - A review. *International Journal of Recycling Organic Waste in Agriculture*. 9(2): 193-220.
35. Zajdband A. D. 2011. Integrated Agri-Aquaculture Systems. pp. 87-127. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1521-9_4
36. Zohry A. Hefny Y. and Ouda S. 2020. Interplanting four legume crops under orange trees using different irrigation water and fertilizer sources in sandy soil. In: *Proceedings of the 16th international conference on crop science*, 16th of October, Cairo, Egypt. pp. 341-346.