نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۸، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۰، ص. ۱۲۸-۱۱۵

Water Management in Agriculture
Vol. 8, No. 1, Spring and Summer 2021, 115-128

مقاله علمی-پژوهشی

اثر آبیاری با پساب مغناطیسی تصفیه‌شده بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت

مجتبی خوش‌روش[۱*]، فاطمه عرفانیان[۲] و مسعود پورغلام آمیجی[۳]

چکیده

افزایش تقاضای آب به‌منظور آبیاری در بخش کشاورزی، سبب افزایش روزافزون استفاده مجدد از پساب‌های تصفیه‌شده یا خام شهری و صنعتی در بسیاری از کشورهای جهان شده است. استفاده از پساب معمولاً همراه با آلودگی‌های میکروبی و فلزات سنگین است که بخش‌های مختلف طبیعت و در نتیجه سلامت انسان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. فلزات سنگین موجود در این‌گونه آب‌های نامتعارف یکی از منابع آلودگی آب، خاک و گیاه به شمار رفته که سمیت فلزات سنگین در گیاهان باعث کاهش رشد گیاه می‌شود. با اصلاح آب‌وخاک به روش مغناطیسی می‌توان مشکلات فوق را برطرف نمود. در این پژوهش به بررسی تأثیر استفاده از پساب مغناطیسی تصفیه‌شده بر عملکرد اجزای عملکرد گیاه ذرت پرداخته شد. بدین منظور آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۹ در شهرستان بابلسر انجام شد. تیمارها شامل آبیاری با آب چاه (W_1)، آبیاری با اختلاط ۲۵ درصد پساب و ۷۵ درصد آب چاه (W_2)، آبیاری با اختلاط ۵۰ درصد پساب و ۵۰ درصد آب چاه (W_3)، آبیاری با اختلاط ۷۵ درصد پساب و ۲۵ درصد آب چاه (W_4)، آبیاری با ۱۰۰ درصد پساب (W_5) در شرایط اعمال میدان مغناطیسی (I_1) و بدون میدان مغناطیسی (I_2) بود. مغناطیس نمودن آب آبیاری با عبور آب از میان یک آهن‌ربای دائمی با شدت میدان مغناطیسی ۰/۳ تسلا ایجاد شد. نتایج نشان داد که اثر نوع آبیاری و اختلاط آب و پساب بر وزن تر و خشک بوته، تعداد دانه در بلال، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه معنی‌دار شد. به‌طور متوسط آبیاری با پساب مغناطیسی باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه (۹/۱۸ درصد) و عملکرد بیولوژیک ذرت (۱۰/۰۹ درصد) نسبت به پساب غیرمغناطیسی شد. همچنین عملکرد و اجزای عملکرد ذرت با افزایش استفاده از پساب، افزایش یافت. به‌طورکلی با استفاده از فن‌آوری مغناطیسی می‌توان از آب‌های نامتعارف استفاده نمود و مقدار عملکرد گیاه را افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد، اختلاط آب و پساب، آب مغناطیسی، پساب تصفیه‌شده، فلزات سنگین

مقدمه

حدود ۷۵ درصد آب مورد مصرف در شهرها به فاضلاب تبدیل می‌شود. عدم توجه به نحوه‌ی دفع این فاضلاب‌ها می‌تواند پیامدهای ناهنجار و نگران‌کننده بهداشتی داشته باشد. علاوه بر آن در بعضی از مناطق به علت شرایط زمین ساختی پهنه شهرها، دفع سنتی فاضلاب‌ها به چاه‌های جذبی میسر نبوده و یا اینکه این شیوه دفع سبب بالا آمدن سطح آب زیرزمینی می‌شود تا حدی که ساختمان‌ها و زیرساخت‌های شهری را به مخاطره می‌اندازد (عالم‌زاده و همکاران، ۱۳۹۹؛ عباسی و همکاران، ۱۴۰۰)؛ بنابراین جمع‌آوری، تصفیه و دفع بهداشتی فاضلاب نیز از ضروریات توسعه شهرنشینی است. این آب بازیافتی می‌تواند به‌خوبی به چرخه‌ی تولید کشاورزی بازگردانده شود. در نتیجه کمبود منابع آب کشاورزی و افزایش هزینه کودهای شیمیایی و شناخته شدن ارزش عناصر غذایی

۱- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زارعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران (*نویسنده مسئول: m.khoshravesh@sanru.ac.ir,khoshravesh_m24@yahoo.com).
۲- دانشجوی کارشناسی گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زارعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۳- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۱۷
DOR: 20.1001.1.24764531.2021.8.1.10.8

فاضلاب‌ها و هزینه قابل‌توجه عملیات پیشرفته تصفیه فاضلاب جهت برخی مصارف و بسیاری از عوامل دیگر، توجه ویژه‌ای به استفاده از فاضلاب در زمینه‌های گوناگون و در رأس آن‌ها کشاورزی معطوف شده است (خوش‌روش و همکاران، ۱۳۹۵؛ کریمی و همکاران، ۱۳۹۷؛ لیاقت و همکاران، ۱۴۰۰). تحقیقات در برخی مناطق ایران و سایر کشورها نشان داده است که استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده راه‌حل مناسبی برای کمبود آب و همچنین برطرف کردن نیاز کودی گیاهان است. استفاده از فاضلاب‌های تصفیه‌شده در کشاورزی مزایای زیادی دارد که می‌توان به کاهش فشار بر منابع آب، کاهش هزینه‌های آب و کود کشاورزی، افزایش محصولات کشاورزی، کاهش آلودگی محیط‌زیست، تقویت منابع آب و دسترسی به منابع آب با کیفیت بالاتر جهت مصارف شرب و بهداشت را نام برد (Bolto, 1990; Willer & Lernoud, 2019; Azari et al., 2021).

بعضی از فلزات سنگین از جمله Mn، Fe، Cu، Cr، Co، Ni، Mo و Zn در مقادیر کم برای رشد و حیات گیاهان یا جانوران ضروری می‌باشند؛ اما برخی دیگر مانند Pb، Cd و Hg برای موجودات زنده سمی هستند. اثر سمیت عناصری مثل سرب و کادمیوم ناشی از رقابت آن‌ها با عناصر ضروری سبک‌تر در رفتار بیوشیمیایی و جذب به‌وسیله گیاه است که در نتیجه جای آن‌ها را در وظایف بیوشیمیایی می‌گیرند. مثلاً کادمیوم می‌تواند جذب و وظایف متابولیسمی شبیه به روی داشته باشد.

سبزی‌ها در برابر عناصر سنگین بیش از گندمیان و چمن‌ها از خود حساسیت نشان می‌دهند. برخی از گیاهان می‌توانند غلظت‌های زیاد برخی از عناصر سنگین مانند آرسنیک، مس و کادمیوم را تحمل کنند (۵۰ تا ۵۰۰ برابر بیشتر از میانگین جذب گیاه) و در بافت‌های خود ذخیره کنند (Alloway, 2001). در میان فلزات سنگین، کادمیوم دارای خطرات زیادی است به دلیل این‌که تحرک نسبتاً زیادی در خاک داشته و همچنین در غلظت‌های کم نیز سمی است. کادمیوم، فلز سنگین غیرضروری است که هیچ‌گونه مصرف متابولیک ندارد و ازآنجایی‌که نیمه-عمر بیولوژیک این فلز در بدن انسان بین ۱ تا ۳۰ سال است و در بدن قابل‌تبدیل به ترکیبات دیگر نیست، ضرورت دارد تا جایی که ممکن است غلظت ورود آن به زنجیره غذایی کاهش داده شود (Naser et al., 2009).

عناصری که برای رشد گیاه ضروری هستند، معمولاً در گیاه متحرک بوده ولی عناصر سمی و سنگین جابه‌جایی کمی داشته و در ریشه‌ها تجمع می‌یابند؛ بنابراین مقدار کادمیوم، کروم، سرب و نیکل در ریشه حداکثر است (عبادی و همکاران، ۱۳۸۴). در پژوهشی یاران‌کوپائی (۱۳۷۹) آزمایشی را به‌منظور بررسی اثرات پساب تصفیه‌شده و سامانه‌های آبیاری بر عملکرد چغندرقند، ذرت و آفتابگردان انجام داد. نتایج نشان داد که میانگین عملکرد و اجزای عملکرد ذرت و آفتابگردان در تیمار پساب تصفیه‌شده نسبت به تیمار آب چاه بیشتر بود ولی از لحاظ آماری دارای اختلاف معنی‌دار نبود. به‌منظور بررسی تأثیر تیمار آب آبیاری و سیستم آبیاری بر جذب عناصر غذایی و فلزات سنگین، برخی از این عناصر شامل ازت، فسفر، پتاسیم، کلسیم، سدیم، آهن، مس، روی، نیکل و کادمیوم در نمونه‌های گیاهی مورد مطالعه اندازه‌گیری و مشاهده شد که اختلاف قابل‌توجهی در جذب این عناصر وجود نداشت.

دهقانی (۱۳۹۱) در آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی به بررسی اثرات پساب تصفیه‌شده شهری بر جذب عناصر و عملکرد گیاه ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ پرداخت. تیمارها شامل تیمار شاهد (آب چاه)، پساب ورودی به تصفیه‌خانه، پساب نیمه تصفیه‌شده، پساب خروجی از تصفیه‌خانه و تیمار کود شیمیایی (نیتروژن و فسفر) و سه نوع بافت خاک (شنی، لومی و رسی) بود. نتایج نشان داد که اعمال تیمارهای پساب باعث افزایش معنی‌دار مقدار جذب نیتروژن و فسفر گیاه نسبت به تیمار شاهد شد. اعمال تیمار کودی باعث افزایش معنی‌دار مقدار جذب نیتروژن شده ولی برای جذب فسفر اختلاف معنی‌داری نشان نداد. بررسی‌های به‌عمل‌آمده تحت تأثیر کاربرد پساب و تیمار کودی بر عملکرد (وزن خشک گیاه) باعث افزایش معنی‌دار عملکرد وزن خشک گیاه شد. کریمی و همکاران (۱۳۹۷) تأثیر پساب تصفیه‌شده را بر رشد و عملکرد گیاه ذرت رقم سینگل کراس ۲۶۰ در شرایط گلخانه‌ای موردبررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که آبیاری با پساب در

مقایسه با آب معمولی به‌طور معنی‌داری عملکرد گیاه ذرت را افزایش داد. بیشترین و کمترین تأثیر پساب بر شاخص‌های رشد ذرت مربوط به وزن هزار دانه (۲۸/۱ درصد) و قطر بلال (۱۰ درصد) بود. همچنین حیدری و همکاران (۱۳۹۹) تأثیر آب مغناطیسی بر خصوصیات رشدی ریحان تحت کم آبیاری و آبیاری ناقص ریشه را بررسی کرده و گزارش کردند که استفاده از آب مغناطیسی باعث افزایش عملکرد گیاه ریحان می‌شود؛ به‌طوری‌که نتایج حاکی از افزایش ۵ درصدی وزن تر اندام هوایی، ۱۳ درصدی شاخص سطح برگ، ۲۸ درصدی وزن خشک ریشه و ۲۴ درصدی حجم ریشه در آب مغناطیسی ۰/۶ تسلا بود.

برخی تحقیقات نشان دادند که مقدار تجمع فلزات سنگین بسته به نوع فلز، شرایط خاک و گونه گیاهی متفاوت بوده ولی عمدتاً مقدار تجمع در اندام هوایی، به‌ویژه برگ و ساقه، بیشتر از سایر اندام‌ها بوده و در دانه بسیار کمتر از برگ و ساقه است؛ اما برخی نیز گزارش کرده‌اند که اغلب فلزات تمایل دارند که در قسمت ریشه گیاهان باقی بمانند (Pruvot & Douay, 2006). رضاپور و همکاران میزان غلظت فلزات سنگین در گندم زمستانه را با استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده بررسی کردند. نتایج آن‌ها وجود میزان قابل‌توجهی از فلزات سنگین در خاک و بخش‌های مختلف گندم را نشان داد. میانگین غلظت این فلزات در دانه گندم در حد مجاز بود. آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده منجر به افزایش قابل‌توجهی از غلظت فلزات سنگین در گندم نسبت به تیمار شاهد شد که شامل Zn> Cu > Ni > Cd > Pb بودند. غلظت فلزات سنگین در ریشه گندم به‌طور معنی‌داری بیشتر از دانه‌ها و ساقه‌ها بود که به ترتیب Cu> Zn> Pb> Cd> Ni بود (Rezapour et al., 2019). همچنین عاطفی (۱۳۹۰) تأثیر پساب تصفیه‌شده شهری بر عملکرد گیاه کلم بروکلی را مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که استفاده از پساب باعث افزایش تجمع کلیه عناصر پرمصرف و کم‌مصرف گیاهی، ترکیبات آلی و فلزات سنگین سرب و کادمیوم در محصولات تولیدشده شد، ولی بر تجمع نیکل در محصول اثر معنی‌داری نداشت. عابدی کوپایی و همکاران اثر کاربرد پساب را با تیمارهای مختلف شامل پساب معمولی، پساب با غلظت فلزات سنگین ۵ برابر و غلظت ۱۰ برابر، روی چند گونه گیاهی بررسی کردند. نتایج نشان داد که زیست‌توده کل گیاه با افزایش غلظت عناصر در پساب کاهش یافت؛ به‌طوری‌که غلظت زیاد فلزات سنگین، تولید گیاهی در برگ‌ها و ساقه‌ها را کاهش می‌دهد (Abedi-Koupai et al., 2001).

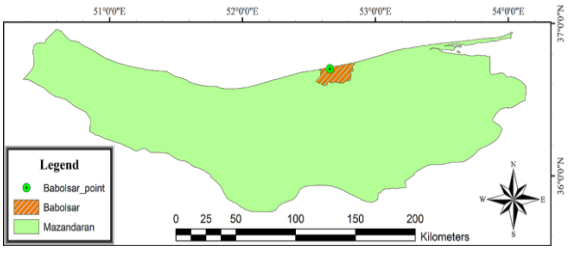
کم‌آبی و کاهش هزینه‌های بسیار بالای توسعه منابع آبی جدید و حفاظت محیط‌زیست، انگیزه استفاده از آب‌های نامتعارف را ضروری می‌سازد. این آب‌ها شامل دو گروه عمده پساب‌ها و آب‌های شور هستند که استفاده مستقیم از آن‌ها، مشکلات محیط زیستی و آلودگی خاک را سبب می‌شود؛ بنابراین یافتن راه‌های سریع‌تر و ارزان‌تر برای اصلاح این آب‌ها بسیار بااهمیت است. یکی از راهکارها استفاده از فناوری‌های نوین ازجمله فناوری مغناطیسی به‌عنوان روش‌های زیستی می‌تواند بسیار مفید باشد. عبور آب از یک میدان مغناطیسی باعث تغییر بعضی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب مانند کشش سطحی، قابلیت حل نمک‌ها، تغییر ساختار خوشه‌ای، زنجیره پیوند هیدروژنی مولکول‌ها، افزایش اثرات دوقطبی مولکول‌های آب و تغییر در ضریب شکست نور و اسیدیته آب می‌شود (خوش‌روش و کیانی، ۱۳۹۴؛ حیدرپور و همکاران، ۱۳۹۵؛ Khoshravesh et al., 2018). این تغییرات به‌وجود آمده به‌واسطه عبور آب از یک میدان مغناطیسی به عوامل بسیاری مانند شدت میدان مغناطیسی، جهت میدان، مدت‌زمان قرار گرفتن در معرض میدان مغناطیسی، نرخ جریان محلول، کیفیت و pH آب بستگی دارد (Hamza et al., 2021; Mostafazadeh-Fard et al., 2011). از این‌رو، قرار گرفتن گیاهان در میدان‌های مغناطیسی و یا عبور دادن آب مورد استفاده برای آبیاری آن‌ها از یک میدان مغناطیسی و پاسخ متفاوت گیاهان به شدت‌های مختلف امواج الکترومغناطیسی می‌تواند راهی جهت افزایش کیفیت آب، کمیت و کیفیت محصول باشد (قدمی فیروزآبادی و همکاران، ۱۳۹۵؛ نیکبخت و طالعی، ۱۳۹۸). همچنین اثر آب مغناطیسی در افزایش رشد می‌تواند به افزایش رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی، ایندول و سنتز

پروتئین‌ها نسبت داده شود (Celik et al., 2008). برخی دیگر گزارش کرده‌اند که آب مغناطیسی ممکن است سبب افزایش نفوذپذیری غشای سلولی دانه، تغییر pH دو طرف غشای سلولی، افزایش فعالیت یون کلسیم و کاهش فعالیت موجودات ذره‌بینی مضر گردد (Biryukov et al., 2005).

افزایش عملکرد و به دنبال آن افزایش غلظت عناصر پرمصرف و کم‌مصرف در گیاه، یکی از جنبه‌های مهم کشاورزی است که راهکار مغناطیس نمودن آب می‌تواند به‌عنوان یک گزینه مناسب برای افزایش کمیت و کیفیت عملکرد محصول و غلظت عناصر موجود در اندام‌های محصولات، استفاده شود. تاکنون پژوهش‌هایی در مورد اثر آب مغناطیسی و یا پساب حاوی فلزات سنگین بر عملکرد گیاهان انجام شده ولی در مورد اثر ترکیبی این دو، یعنی پساب مغناطیسی تصفیه‌شده بر عملکرد گیاهان انجام نشده است؛ بنابراین، هدف از این پژوهش، بررسی استفاده از پساب مغناطیسی تصفیه‌شده بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت با روش آبیاری قطره‌ای است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۹ در مزرعه روستای آرمیج‌کلای شهرستان بابلسر (استان مازندران) در ارتفاع ۲۱- متر از سطح دریاهای آزاد انجام شد. طبق داده‌های درازمدت و بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن، منطقه دارای آب و هوای مرطوب است. مطابق آمار درازمدت ۳۰ ساله، متوسط بارندگی سالانه منطقه ۸۹۱ میلی‌متر و میانگین سالانه دمای هوا ۱۷/۵ درجه سانتی‌گراد است (Pourgholam-Amiji et al., 2021). شکل (۱) موقعیت جغرافیایی مزرعه مورد آزمایش را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی مزرعه مورد آزمایش

کشت گیاه ذرت رقم SC 704 در لایسیمتر انجام شد. لایسیمترهای مورداستفاده از جنس PVC با قطر ۶۰ ارتفاع ۱۰۰ سانتی‌متر بودند. برای خارج کردن آب اضافی از لایسیمترها، لوله‌هایی از جنس PVC به قطر ۵ سانتی‌متر و طول ۷۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. روی لوله‌ها سوراخ‌هایی به قطر دو میلی‌متر و به فاصله ۲/۵ سانتی‌متر در ۴ ردیف در ۵۰ سانتی‌متر از طول لوله به‌عنوان زهکش در نظر گرفته شد. به‌منظور جلوگیری از ورود ذرات خاک به درون لوله‌های زهکش، از صافی ژئوتکستایل در اطراف لوله زهکش استفاده شد. این صافی پس از دوخت به‌صورت پوششی هم‌قطر با لوله، به دور آن کشیده شد. لوله‌های زهکشی به‌طور افقی در پنج سانتی‌متری کف لوله قرار گرفتند؛ به‌طوری‌که سر مسدود آن‌ها در داخل لایسیمتر و سر باز آن‌ها، خارج از لایسیمتر قرار می‌گرفت. محل اتصال لوله با بدنه لایسیمتر از داخل و بیرون آب‌بندی شد.

پر کردن لایسیمترها با استفاده از خاک مزرعه در چند مرحله انجام شد. خاک به‌صورت لایه‌ای به ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر در لایسیمترها ریخته شد و پس از تسطیح، لایه بعدی اضافه شده بود. با رسیدن ارتفاع خاک به میانه لایسیمترها، جهت نشست و تحکیم، مقداری آب به خاک اضافه شد و اضافه کردن خاک تا پر شدن لایسیمتر ادامه یافت. سپس مجدداً با افزودن آب و پس از نشست، فضای خالی باقی‌مانده تا ارتفاع پنج سانتی‌متر پایین‌تر از لبه فوقانی لایسیمترها، از خاک پر شد. برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، قبل از شروع آزمایش و اعمال تیمارها، نمونه‌برداری از خاک لایسیمترها انجام شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول (۱) آورده شده است.

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل آبیاری با آب چاه (W_1)، آبیاری با اختلاط ۲۵ درصد پساب و ۷۵ درصد آب چاه (W_2)، آبیاری با اختلاط ۵۰ درصد پساب و ۵۰ درصد آب چاه (W_3)، آبیاری با اختلاط ۷۵ درصد پساب و ۲۵ درصد آب چاه (W_4)، آبیاری با ۱۰۰ درصد پساب (W_5) در شرایط اعمال

میدان مغناطیسی (I_1) و بدون میدان مغناطیسی (I_2) بود. مغناطیس نمودن آب آبیاری با عبور آب از میان یک آهن‌ربای دائمی با شدت میدان مغناطیسی ۰/۳ تسلا ایجاد شد.

خصوصیات شیمیایی آب چاه و پساب مورداستفاده در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک لایسیمترها

عمق (سانتی‌متر)	ذرات تشکیل‌دهنده خاک (درصد)			بافت خاک	ρ_b (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	pH	EC (دسی زیمنس بر متر)	Pb (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	Cd (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
	رس	سیلت	شن						
۳۰-۰	۱۹/۶۹	۴۵/۰۴	۳۵/۲۷	لوم	۱/۴۸	۷/۴	۱/۸	۱/۰۱	۰/۰۲۲
۶۰-۳۰	۱۹/۳۴	۴۵/۱۶	۳۵/۵۰	لوم	۱/۵۰	۷/۳	۱/۹	۱/۰۰	۰/۰۲۲
۹۰-۶۰	۱۹/۵۵	۴۵/۳۹	۳۵/۰۶	لوم	۱/۵۵	۷/۵	۱/۸	۱/۰۲	۰/۰۲۵

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی آب و پساب مورداستفاده

نوع منبع	pH	EC (دسی زیمنس بر متر)	Ca	Mg	Na	Pb	Cd
			(میلی اکی والان بر لیتر)			(میکروگرم بر لیتر)	
آب چاه	۷/۲	۰/۵۷	۲/۹۲	۲/۱۱	۱/۶۲	۱/۰۲	۰/۰۱
پساب	۷/۹	۱/۱۱	۴/۳۵	۴۱/۵۷	۱۲/۱۷	۱۳/۱۵	۰/۰۲۵

در این آزمایش، آبیاری لایسیمترها به دو بخش مجزا تقسیم‌بندی شد. بخش اول از تاریخ کشت (ابتدای تیرماه ۱۳۹۹) شروع شد و تا زمانی که ریشه گیاه برای استحصال آب از پروفیل خاک، به حد کافی رشد کرده باشد و بخش دوم، از انتهای بخش اول تا روز برداشت (اوایل آبان ۱۳۹۹) بود. از ابتدای بخش دوم، تیمارها اعمال شد. روش آبیاری مورداستفاده، قطره‌ای نواری بوده و دبی خروجی‌ها ۱/۶ لیتر در ساعت بافاصله ۲۰ سانتی‌متر بود. برای ممانعت از گرفتگی خروجی‌ها، از یک فیلتر دیسکی استفاده شد که بعد از پمپ قرار داشت. میزان آب آبیاری و دور آبیاری بر اساس نیاز گیاه انجام شد. در دوره رشد محصول ذرت جمعاً ۲۸ آبیاری با دور آبیاری ۳ روزه انجام شد. حجم آب آبیاری حدود ۱۲۰۰۰ مترمکعب بود. با توجه به نوع کیفیت آب (شاخص اشباع لانژیلر) و سیستم آبیاری قطره‌ای، به آبشویی نیازی نبود. پساب موردنظر از تصفیه‌خانه فاضلاب شهری که نوع دو محسوب می‌شود، تهیه شد. سپس درون سطل‌های مخصوص ریخته و درب ظرف پلمپ شد تا واکنشی با هوای بیرون رخ ندهد. درنهایت بعد از انتقال پساب موردنظر به محل آزمایش، با درصدهای مختلف اختلاط با آب چاه، برای آبیاری گیاه استفاده شد. در پایان دوره آزمایش، صفت‌های وزن تر و خشک بوته، تعداد دانه در بلال، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت محاسبه شدند. پس از اتمام رشد و رسیدگی فیزیولوژیکی به‌منظور تعیین عملکرد و اجزای عملکرد، هر واحد آزمایشی جهت نمونه‌برداری انتخاب شد.

جهت تعیین عملکرد در محدوده‌ای به طول مشخص، برداشت صورت گرفت. همچنین برای تعیین اجزای عملکرد نیز ۲۰ نمونه به‌طور تصادفی در محدوده موردنظر برداشت و اجزای عملکرد موردنظر تعیین شد. برای اندازه‌گیری وزن بوته کامل با بلال، بوته‌های برداشت‌شده پس از انتقال به آزمایشگاه همراه با بلال‌ها وزن شدند. برای اندازه‌گیری وزن بوته خشک‌شده، بوته‌های برداشت‌شده به مدت ۲۴ ساعت در داخل اون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شده و سپس طی این مدت توزین گردیدند. برای اندازه‌گیری تعداد دانه در هر بلال، حاصل‌ضرب تعداد دانه در ردیف و تعداد ردیف در بلال محاسبه شد. برای اندازه‌گیری وزن هزار دانه، دانه‌های ذرت از بلال جدا شده و اقدام به تهیه دسته‌های ۱۰۰ عددی بذر شد و سپس

توزین نمونه‌ها وزن هزار دانه محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیک، بوته‌های مربوط به تمامی تکرارهای هر تیمار قطع‌شده (کف بر) و برداشت گردید و به‌وسیله باسکول وزن‌کشی شدند. سپس وزن بوته‌های برداشت‌شده از مساحت مذکور بر حسب تن در هکتار موردمحاسبه قرار گرفت. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه، حاصل‌ضرب تعداد بوته در واحد سطح، وزن هزار دانه و تعداد دانه در خوشه محاسبه و برحسب واحد تن در مساحت هکتار تعمیم داده شد. شاخص برداشت نیز، از رابطه موردنظر محاسبه شد. سپس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه 9.4) برای تحلیل آماری استفاده‌شده و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون دانکن مورد مقایسه قرار گرفتند. شاخص برداشت با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد (Unkovich et al., 2010).

$$H_i = \frac{Y}{Y_b} \times 100 \qquad (۱)$$

که در آن H_i شاخص برداشت برحسب درصد و Y، Y_b به ترتیب عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک است.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثر نوع آب آبیاری و اختلاط آب و پساب بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت در جدول‌های (۳) و (۴) ارائه شده است. همچنین مقایسه میانگین اثرات نوع آب آبیاری و اختلاط آب و پساب بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت نیز در جدول‌های (۵) و (۶) نشان داده شده است.

وزن بوته

با توجه به نتایج تجزیه واریانس ارائه شده در جدول (۳)، اثر نوع آبیاری (مغناطیسی و غیرمغناطیسی) بر وزن بوته در سطح احتمال ۱ درصد و اثر اختلاط آب و پساب بر وزن بوته در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. اثر متقابل نوع آبیاری و اختلاط آب و پساب بر وزن بوته معنی‌دار نشد. حداکثر وزن بوته برابر ۸۳۹/۱۴ گرم از تیمار ۱۰۰ درصد پساب حاصل شد که نسبت به تیمار شاهد ۳۰/۴۸ درصد افزایش نشان داد. همچنین با اعمال میدان مغناطیسی، وزن تر بوته در تیمارهای پساب مغناطیسی تصفیه‌شده به‌طور متوسط ۱۲/۱ درصد نسبت به تیمارهای غیرمغناطیسی افزایش یافت. نتایج این پژوهش با یافته‌های ال سید مطابقت داشت. وی گزارش داد که آب مغناطیسی سطح برگ لوبیا چشم‌بلبلی و سطح برگ باقلا را به‌طور معنی‌داری افزایش داد که با این افزایش سطح برگ، سطح برخورد نور بیشتر شده و در نتیجه سرعت فتوسنتز افزایش یافت (El Sayed, 2014). همچنین علت اثر آب مغناطیسی می‌تواند مربوط به رشد ریشه و هدایت روزنه‌ای باشد که جذب عناصر غذایی را افزایش داده است (Sadeghipour & Aghaei, 2013). الگذری و یاو گزارش کردند که آب مغناطیسی سبب افزایش نفوذ آب به غشای سلولی و جذب بیشتر آب و عناصر غذایی در سلول‌های ریشه می‌شود (Algozari & Yao, 2006). حبیبی و همکاران (۱۳۹۸) نشان دادند که آبیاری ذرت با آب مغناطیسی باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع ذرت نسبت به تیمار شاهد شد و این افزایش به‌واسطه سهولت جذب آب توسط ذرت و درنتیجه افزایش رشد رویشی است. نتایج مقایسه میانگین تیمارهای اختلاط آب و پساب نشان داد که تیمارهای ۵۰ درصد پساب و ۵۰ درصد آب چاه با ۷۵ درصد پساب و ۲۵ درصد آب چاه اختلاف معنی‌داری نداشتند درصورتی‌که مابقی تیمارها دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشند (جدول ۴). استفاده از پساب باعث افزایش وزن زیست‌توده و پوشش سبز در گیاه ذرت شد و این افزایش در تیمار ۱۰۰ درصد پساب مشهودتر از درصد اختلاط‌های دیگر آب و پساب بود. نیکبخت و رضایی (۱۳۹۶) نیز نشان دادند که کاربرد ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد پساب در آب آبیاری، سبب افزایش در وزن تر کل بوته ذرت در مقایسه با تیمار شاهد به میزان ۵، ۱۴، ۳۳ و ۵۱ درصد شد. همچنین ایشان اشاره کردند با عنایت به عدم استفاده از کود در طول دوره رشد گیاه و نیز وجود مواد آلی و معدنی موردنیاز رشد گیاه در فاضلاب، افزایش عملکرد تر گیاه تحت تیمار پساب را می‌توان به تأمین بخشی از عناصر غذایی موردنیاز گیاهان توسط پساب مربوط دانست. همچنین لیاقت و همکاران (۱۴۰۰)

با بررسی اثر استفاده از آب آلوده به فلزات سنگین بر عملکرد و جذب آن توسط گیاه ذرت علوفه‌ای به موارد فوق‌الذکر اشاره داشته‌اند.

وزن بوته خشک

نتایج تجزیه واریانس ارائه‌شده در جدول (۳) نشان می‌دهد که اثر نوع آبیاری بر وزن بوته خشک در سطح احتمال ۱ درصد و اثر اختلاط آب و پساب بر وزن بوته خشک در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. اثر متقابل نوع آبیاری و اختلاط آب و پساب بر وزن بوته خشک معنی‌دار نشد. بیشترین مقدار وزن بوته خشک برابر ۱۹۶/۷۳ گرم مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد پساب بود و نسبت به تیمار شاهد ۴۲/۲۹ درصد افزایش داشت. مشابه با اثر پساب بر وزن بوته تر که تیمار ۱۰۰ درصد پساب بیش‌ترین وزن بوته را داشت، وزن خشک بوته نیز بدین‌صورت بود که چنین انتظاری وجود داشت، زیرا وزن بوته خشک از وزن بوته تر نشأت گرفته و روند تغییرات عملکرد باید در تناسب باشند. بهترین عملکرد در روش ۱۰۰ درصد پساب و سپس اختلاط ۷۵ درصد پساب و ۲۵ درصد آب چاه با ۵۰ درصد پساب و ۵۰ درصد آب چاه در یک گروه آماری قرار گرفته و وزن بوته خشک مشابهی داشتند، مشاهده شد (جدول ۴).

با اعمال میدان مغناطیسی، وزن بوته خشک در تیمارهای مغناطیسی به‌طور متوسط ۱۱/۰۷ درصد نسبت به تیمارهای غیرمغناطیسی افزایش یافت. نتایج مقایسه میانگین تیمارهای اختلاط آب و پساب نشان داد که تیمارهای ۲۵ درصد پساب و ۷۵ درصد آب چاه با ۵۰ درصد پساب و ۵۰ درصد آب چاه اختلاف معنی‌داری نداشتند. همچنین اختلاف تیمارهای ۵۰ درصد پساب و ۵۰ درصد آب چاه با ۷۵ درصد پساب و ۲۵ درصد آب چاه معنی‌دار نبود و اختلاف بین مابقی تیمارهای اختلاط آب و پساب معنی‌دار بود (جدول ۴). استفاده از پساب باعث افزایش وزن زیست‌توده و پوشش سبز در گیاه ذرت شد و این افزایش در تیمار ۱۰۰ درصد پساب مشهودتر از درصد اختلاط‌های دیگر آب و پساب بود. نتایج این بخش از پژوهش با یافته‌های کریمی و همکاران (۱۳۹۷) مطابقت دارد. آن‌ها نشان دادند که پساب باعث افزایش وزن خشک بوته به‌ویژه وزن خشک برگ نسبت به تیمار شاهد شد. لیاقت و همکاران (۱۴۰۰) بیان کردند که اثر استفاده از پساب بر وزن بوته خشک ذرت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. در مورد اثر آب مغناطیسی نیز، نیکبخت و طالعی (۱۳۹۸) نشان دادند که اعمال تیمار آب مغناطیسی بر گیاه ذرت باعث افزایش وزن تر کل، وزن خشک کل و سطح برگ کل (به ترتیب ۱۱، ۱۰ و ۱۳ درصد) شد که از نظر آماری اختلاف‌ها معنی‌دار بود. در پژوهش دیگری، نیکبخت و همکاران (۱۳۹۳) بیان کردند که آبیاری با آب مغناطیسی اثر محرکی بر پارامترهای رشد اولیه گیاه ذرت داشت و ارتفاع گیاه، وزن خشک ساقه و ریشه را به ترتیب به میزان ۱۴/۶۵، ۲۰/۸۷ و ۱۲/۳۳ درصد در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد.

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای مختلف بر اجزای عملکرد ذرت

منبع تغییرات	درجه	وزن بوته	وزن بوته خشک	تعداد دانه در بلال	وزن هزار
بلوک	۲	۲۴/۰۲**	۱۷/۳۲**	۱۹/۱۹**	۱۸/۹۱**
نوع آبیاری	۱	۳۵۱/۲۳**	۲۹۴/۱۲**	۳۰۵/۱۷**	۲۸۹/۴۶**
اختلاط آب و پساب	۴	۴۱/۰۹*	۳۱/۰۸*	۳۶/۴۵*	۳۴/۵۵*
نوع آبیاری × اختلاط آب و پساب	۴	۳۱/۷۸^{ns}	۲۴/۱۴^{ns}	۲۷/۵۳**	۲۵/۰۷*
خطا	۱۸	۵/۶۶	۴/۷۳	۵/۱۹	۴/۸۸
ضریب تغییرات	–	۱۸/۴۳	۱۶/۷۹	۱۵/۶۴	۱۴/۱۲

*، ** و ^{ns} به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد، معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار

جدول ٤- مقایسه میانگین‌های مقدار اجزای عملکرد ذرت

تیمار آزمایشی	وزن بوته (گرم)	وزن بوته خشک (گرم)	تعداد دانه در بلال	وزن هزار دانه (گرم)
نوع آبیاری				
مغناطیسی	۷۸۲/۵۹ a	۱۷۱/۶۲ a	۶۵۸/۳۹ a	۲۶۱/۷۳ a
غیرمغناطیسی	۶۹۸/۱۲ b	۱۵۴/۵۲ b	۶۱۲/۲۳ b	۲۴۱/۷۶ b
اختلاط آب و پساب				
آب چاه	۶۴۳/۰۹ d	۱۳۸/۱۵ d	۵۶۹/۰۸ d	۲۱۹/۰۸ d
۲۵ درصد پساب و ۷۵ درصد آب چاه	۶۹۹/۰۵ c	۱۵۱/۰۸ c	۶۰۵/۸۷ c	۲۳۶/۸۵ c
۵۰ درصد پساب و ۵۰ درصد آب چاه	۷۴۳/۶۰ b	۱۶۰/۱۰ bc	۶۳۵/۱۹ bc	۲۴۵/۰۷ c
۷۵ درصد پساب و ۲۵ درصد آب چاه	۷۷۶/۹۰ b	۱۶۹/۳۰ b	۶۵۵/۳۴ b	۲۶۱/۴۹ b
۱۰۰ درصد پساب	۸۳۹/۱۴ a	۱۹۶/۷۳ a	۷۱۱/۰۷ a	۲۹۶/۲۳ a

میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شده‌اند. برای هر تیمار آزمایشی تفاوت هر دو میانگین با حداقل یک حرف مشترک معنی‌دار نیست.

تعداد دانه در بلال

بر اساس نتایج تجزیه واریانس مشاهده شد که اثر نوع آبیاری بر تعداد دانه در بلال در سطح احتمال ۱ درصد و اثر اختلاط آب و پساب بر تعداد دانه در بلال در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل نوع آبیاری و اختلاط آب و پساب بر تعداد دانه در بلال در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. حداکثر تعداد دانه در بلال برابر ۷۱۱/۰۷ گرم از تیمار ۱۰۰ درصد پساب حاصل شد که نسبت به تیمار شاهد ۲۴/۹۵ درصد افزایش نشان داد.

همچنین با اعمال میدان مغناطیسی، تعداد دانه در بلال در تیمارهای مغناطیسی به‌طور متوسط ۷/۵۴ درصد نسبت به تیمارهای غیرمغناطیسی افزایش یافت. آب مغناطیسی با افزایش قدرت حلالیت آب، باعث افزایش فتوسنتز و رشد بذرهای آبیاری شده با آب مغناطیسی شده و جذب مواد غذایی از خاک نیز بیشتر خواهد شد. پادلئونی و همکاران گزارش کردند که تعداد غلاف و عملکرد لوبیا با اعمال آب مغناطیسی افزایش یافت (Podleoeny et al., 2004). نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای اختلاط آب و پساب بر تعداد دانه در بلال نشان می‌دهد که تیمارهای ۲۵ درصد پساب و ۷۵ درصد آب چاه با ۵۰ درصد پساب و ۵۰ درصد آب چاه اختلاف معنی‌داری نداشتند. همچنین اختلاف تیمارهای ۵۰ درصد پساب و ۵۰ درصد آب چاه با ۷۵ درصد پساب و ۲۵ درصد آب چاه معنی‌دار نبود؛ ولی اختلاف بین سایر تیمارهای اختلاط آب و پساب معنی‌دار شد (جدول ۴). استفاده از پساب باعث افزایش تعداد دانه در بلال شد و این افزایش در تیمار ۱۰۰ درصد پساب مشهودتر از سایر اختلاط‌های آب و پساب بود. استفاده از پساب و میدان مغناطیسی در مراحل رشد رویشی و زایشی، پتانسیل تولید دانه ذرت در طول این مراحل را تحت تأثیر قرار داده و از طریق افزایش تعداد دانه در ردیف ذرت و تعداد ردیف در ذرت، موجب افزایش تعداد دانه در ذرت شد که به‌طور مستقیم عملکرد محصول را تحت تأثیر قرار داد. کریمی و همکاران (۱۳۹۷) گزارش کردند که قطر بلال در تیمارهای آبیاری با پساب، آب معمولی و اختلاط آب و پساب به ترتیب برابر ۴/۷۱، ۴/۲۵ و ۴۳/۴۳ سانتی‌متر بود.

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر نوع آبیاری بر وزن هزار دانه در سطح احتمال ۱ درصد و اثر اختلاط آب و پساب بر وزن هزار دانه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). همچنین اثر متقابل نوع آبیاری و اختلاط آب و پساب بر وزن هزار دانه نیز در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. بیشترین مقدار وزن هزار دانه برابر ۲۹۶/۲۳ گرم مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد پساب بود که نسبت به تیمار شاهد ۳۵/۲۱ درصد افزایش نشان داد. مقایسه میانگین نتایج نشان داد که آبیاری با پساب، وزن هزار دانه را به‌طور معنی‌داری افزایش داد؛ بالا بودن وزن هزار دانه به‌عنوان یکی از اجزای اصلی عملکرد، سبب افزایش

عملکرد محصول در شرایط آبیاری با پساب و اعمال میدان مغناطیسی بوده است. درحالی‌که در شرایط بدون استفاده از پساب و غیر مغناطیس، وزن هزار دانه کمتری به دست آمد. با اعمال میدان مغناطیسی، وزن هزار دانه در تیمارهای مغناطیسی به‌طور متوسط ۸/۲۶ درصد نسبت به تیمارهای غیرمغناطیسی افزایش یافت و این افزایش معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین تیمارهای اختلاط آب و پساب نشان می‌دهد که تیمارهای ۲۵ درصد پساب و ۷۵ درصد آب چاه با ۵۰ درصد پساب و ۵۰ درصد آب چاه اختلاف معنی‌داری نداشتند ولی سایر تیمارها دارای اختلاف معنی‌داری با یکدیگر داشتند (جدول ۴). موسوی و شهسواری گزارش کردند که غنی بودن فاضلاب تصفیه‌شده از عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، روی و آهن نسبت به آب چاه، باعث افزایش وزن هزار دانه ذرت شد (Mousavi & Shahsavari, 2014).

عملکرد بیولوژیک

بر اساس نتایج تجزیه واریانس مشخص است که اثر نوع آبیاری و همچنین اثر اختلاط آب و پساب بر عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۵)؛ اثر متقابل نوع آبیاری و اختلاط آب و پساب نیز بر عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. بر اساس جدول (۶)، بیشترین مقدار عملکرد بیولوژیک برابر ۴۳/۷۸ تن در هکتار در تیمار ۱۰۰ درصد پساب مشاهده شد که دارای افزایشی به میزان ۲۷/۸۲ درصد نسبت به تیمار شاهد است.

ازآنجایی‌که بیشترین اجزای عملکرد زیست‌توده در تیمار ۱۰۰ درصد پساب و سپس سایر درصد اختلاط‌های پساب با آب چاه به‌دست‌آمده بود، عملکرد بیولوژیک که دربرگیرنده همه آن‌هاست، چنین روندی را داشته و کاملاً مطابقت دارد. نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای اختلاط آب و پساب بر عملکرد بیولوژیک نشان داد که بین تمامی تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۶).

بدیعی و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی عملکرد بیولوژیک را با فاضلاب خام و تصفیه‌شده موردبررسی قرار داده و نشان دادند که عملکرد بیولوژیک در تیمار فاضلاب خام و تصفیه‌شده نسبت به تیمار شاهد افزایش داشت. آن‌ها دلیل این افزایش را کافی بودن عناصر مغذی به‌ویژه فسفر و نیتروژن گزارش کردند. با اعمال میدان مغناطیسی، عملکرد بیولوژیک در تیمار مغناطیسی به‌طور متوسط ۱۰/۰۹ درصد نسبت به تیمار غیرمغناطیسی افزایش یافت. با عبور آب از میدان مغناطیسی، پیوندهای هیدروژنی و واندروالس بین مولکول‌های آب شکسته شده و درنتیجه کشش سطحی آب کاهش و حلالیت آب افزایش می‌یابد و در نتیجه املاح معدنی موردنیاز گیاه در آب به‌خوبی حل‌شده و درنهایت افزایش کمیت محصول را سبب می‌شود (قدمی فیروزآبادی و همکاران، ۱۳۹۵).

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر نوع آبیاری و همچنین اثر اختلاط آب و پساب بر عملکرد دانه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۵)؛ همچنین اثر متقابل نوع آبیاری و اختلاط آب و پساب بر عملکرد دانه نیز در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. بیشترین مقدار عملکرد دانه برابر ۲۵/۰۹ تن در هکتار مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد پساب بود که نسبت به تیمار شاهد ۲۸/۲۸ درصد افزایش نشان داد. مقایسه میانگین نتایج نشان داد که آبیاری با پساب، عملکرد دانه را به‌طور معنی‌داری افزایش داد؛ نتایج مقایسه میانگین تیمارهای اختلاط آب و پساب نشان می‌دهد که بین تیمار آب چاه با اختلاط ۲۵ درصد پساب و ۷۵ درصد آب چاه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ولی اختلاف بین سایر تیمارها با یکدیگر معنی‌دار بود (جدول ۶).

با اعمال میدان مغناطیسی، عملکرد دانه در تیمارهای مغناطیسی به‌طور متوسط ۹/۱۸ درصد نسبت به تیمارهای غیرمغناطیسی افزایشی معنی‌دار یافت. به‌بیان‌دیگر، استفاده از میدان مغناطیسی باعث افزایش رطوبت در خاک و کاهش شوری پروفیل خاک شده و بالطبع با تأثیر این موارد، درنهایت باعث افزایش کمیت محصول خواهد شد (Mostafazadeh-Fard et al., 2011, Hamza et al., 2021). مصطفی‌زاده فرد

و همکاران اثر آب مغناطیسی بر املاح و رطوبت خاک در عمق‌های مختلف در آبیاری قطره‌ای را بررسی کردند و گزارش نمودند که شوری خاک در تیمار آب مغناطیسی در مقایسه با آب غیرمغناطیسی، کاهش داشت. آن‌ها بیان کردند که افزایش ۷/۵ درصدی مقدار رطوبت خاک در تیمار آب مغناطیسی، باعث آبشویی میزان املاح خاک شد (Mostafazadeh-Fard et al., 2012). در همین باره، نیکبخت و طالعی (۱۳۹۸) در پژوهشی با عنوان تأثیر آب مغناطیسی بر خصوصیات هیدرولیکی آبیاری قطره‌ای–نواری و عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت به این نتیجه دست یافتند که با توجه به مصرف مقدار ثابت آب برای هر دو تیمار آب مغناطیسی و غیرمغناطیسی (۵۱۹۳ مترمکعب در هکتار)، افزایش عملکرد تر کل ذرت در تیمار آب مغناطیسی باعث افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب این تیمار به میزان ۱/۷ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب مصرفی (۱۱ درصد) شد.

شاخص برداشت

بر اساس نتایج تجزیه واریانس مشخص است که اثر نوع آبیاری بر شاخص برداشت معنی‌دار نشد. اثر اختلاط آب و پساب بر شاخص برداشت در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۵)؛ اثر متقابل نوع آبیاری و اختلاط آب و پساب بر شاخص برداشت معنی‌دار نشد. بر اساس جدول (۶)، بیشترین مقدار شاخص برداشت برابر ۵۹/۵۹ درصد در تیمار ۱۰۰ درصد پساب به دست آمد که دارای افزایشی به میزان ۱۰/۰۲ درصد نسبت به تیمار شاهد است. تیمار ۱۰۰ درصد پساب با داشتن عملکرد دانه بیشتر در مقایسه با سایر تیمارها، زیست‌توده بیشتری را تولید کرده که این باعث اختلاف شاخص برداشت شد. این علت را می‌توان به تسهیم بیشتر مواد فتوسنتزی به دانه در این تیمار دانست (محرابیان و همکاران، ۱۳۹۷).

جدول ۵- تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای مختلف بر عملکرد ذرت

منبع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه	شاخص برداشت
بلوک	۲	۴/۱۴**	۰/۲۳**	۱۰/۸۵**
نوع آبیاری	۱	۱۲/۰۸**	۲/۴۵**	۲۳۱/۱۱^{ns}
اختلاط آب و پساب	۴	۵/۱۳**	۰/۶۸**	۱۷/۰۸*
نوع آبیاری × اختلاط آب و پساب	۴	۶/۲۷**	۰/۹۶*	۱۸/۰۴^{ns}
خطا	۱۸	۲/۰۹	۰/۱۶	۳/۵۵
ضریب تغییرات	–	۹/۵۵	۷/۹۱	۸/۰۲

*، ** و ^{ns} به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد، معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار

جدول ٦- مقایسه میانگین‌های مقدار عملکرد ذرت

تیمار آزمایشی	عملکرد بیولوژیک (تن بر هکتار)	عملکرد دانه (تن بر هکتار)	شاخص برداشت (درصد)
نوع آبیاری			
مغناطیسی	۴۰/۸۰ ^{a}	۲۳/۰۷ ^{a}	۵۶/۵۴ ^{a}
غیرمغناطیسی	۳۷/۰۶ ^{b}	۲۱/۱۳ ^{b}	۵۷/۰۱ ^{a}
اختلاط آب و پساب			
آب چاه	۳۴/۲۵ ^{e}	۱۹/۵۵ ^{e}	۵۴/۱۶ ^{d}
۲۵ درصد پساب و ۷۵ درصد آب چاه	۳۶/۹۴ ^{d}	۲۰/۲۸ ^{d}	۵۴/۹۰ ^{d}
۵۰ درصد پساب و ۵۰ درصد آب چاه	۳۸/۸۲ ^{c}	۲۱/۹۷ ^{c}	۵۶/۵۹ ^{c}
۷۵ درصد پساب و ۲۵ درصد آب چاه	۴۰/۸۵ ^{b}	۲۳/۶۱ ^{b}	۵۷/۸۰ ^{b}
۱۰۰ درصد پساب	۴۳/۷۸ ^{a}	۲۵/۰۹ ^{a}	۵۹/۵۹ ^{a}

میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شده‌اند. برای هر تیمار آزمایشی تفاوت هر دو میانگین با حداقل یک حرف مشترک معنی‌دار نیست.

نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر، افزایش تقاضا و کاهش عرضه منابع آب باعث فشار بیش‌ازحد به پهنه‌های آبی شده و صدمات جبران-ناپذیری بر منابع آب سطحی و زیرزمینی و محدودیت در کاربری‌های شرب، کشاورزی و صنعتی وارد کرده است. در چنین شرایطی استفاده مجدد از پساب و آب‌های نامتعارف، به-عنوان راهکار اساسی چالش کمبود آب جهت استفاده در بخش کشاورزی ضروری است. پساب به دلیل غنی بودن از عناصر غذایی گیاه نظیر نیتروژن، فسفر و دیگر عناصر پرمصرف و کم‌مصرف می‌تواند به‌عنوان یک منبع آب برای آبیاری در منطقه استفاده شود و کاربرد کودها را کاهش دهد. این پژوهش باهدف بررسی اثر آبیاری با پساب مغناطیسی تصفیه‌شده بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت انجام شد. نتایج نشان داد که آبیاری با درصد اختلاط‌های مختلف آب چاه و پساب در شرایط میدان مغناطیسی، اثر متفاوتی بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت داشته است. آبیاری با پساب مغناطیسی باعث افزایش عملکرد ذرت شده است که بیشترین و کمترین افزایش مربوط به وزن تر بوته و تعداد دانه در بلال به ترتیب برابر با ۱۲/۱ و ۷/۵۴ درصد است. استفاده از پساب نیز باعث افزایش تمامی اجزای عملکرد ذرت شد که بیشترین و کمترین افزایش مربوط به وزن بوته خشک بوته و تعداد دانه در بلال به ترتیب برابر با ۴۲/۲۹ و ۲۴/۹۵ درصد است. با اعمال میدان مغناطیسی در نتیجه جذب بهتر عناصر غذایی خاک می‌توان مصرف کودها را کاهش داد.

منابع

بدیعی، آ. کارانـدیش، ف. و طباطبـائی، س. م. ۱۳۹۵. تـأثیر آبیاری با فاضلاب خام و تصفیه‌شـده شـهری بـر عملکـرد گندم و ویژگی‌های میکروبـی خـاک و گیـاه. دانـش آب و خاک. ۲۶ (۴/۲): ۲۲۸-۲۱۵.

حبیبی، ه، موحدی نائینی، س. ع.، خوش‌روش، م. و صابری، ع. ۱۳۹۸. تأثیر آب مغناطیسی بر عملکـرد و جـذب برخـی از عناصر در ذرت در شرایط مزرعه. مهندسی زراعی. ۴۲ (۴): ۱۴۲-۱۳۱.

حیدرپور، م.، خوش‌روش، م. و مشاوری، ی. ۱۳۹۵. اثر آب شور مغناطیسی‌شده بر اصلاح آب و خاک در آبیـاری قطـره‌ای. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۳ (۲): ۱۹۳-۱۷۹.

حیـــدری، ط.، شـــاهدی، ب. و بـــانژاد، ح. ۱۳۹۹. تـــأثیر آب مغناطیسی بر خصوصیات رشدی ریحان تحت کم آبیاری و آبیـاری نـاقص ریشـه. مـدیریت آب در کشـاورزی. ۷ (۲): ۱۵۸-۱۴۹.

خوش‌روش، م. و کیانی، ع. ۱۳۹۴. اثر آب‌شور مغناطیسـی‌شـده بر نفوذپذیری و هدایت الکتریکی بافت‌های مختلف خـاک. آبیاری و زهکشی ایران. ۹ (۴): ۶۵۴-۶۴۶.

خوش‌روش، م.، دیوبند، ل.، معتمدی، ف. و ریحانی. گ. ۱۳۹۵. تأثیر کادمیم بر جذب کروم شش‌ظرفیتی (VI) توسط نـانو رس کلویزایت سدیمی. پژوهش‌های حفاظت آب و خـاک. ۲۳ (۳): ۲۴۱-۲۵۶.

دهقانی، ر. ۱۳۹۱. تأثیر آبیاری با پساب تصفیه‌خانه شهر انزلـی روی برخـی از خصوصـیات شـیمیایی خـاک و گیـاه ذرت. پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد شیمی و حاصلخیزی خاک، دانشگاه گیلان.

عاطفی، ا. ۱۳۹۰. اثر پساب تصفیه‌شده فاضلاب شهری شـیراز روی برخی از خصوصیات شیمیایی خـاک و عملکـرد کلـم بروکلی در آبیاری قطره‌ای نوار تیپ زیرسطحی. پایان‌نامـه دوره کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه شیراز.

عالم‌زاده، ا.، سلطانی گردفرامرزی، س.، یرمـی، ن. و دهسـتانی اردکانی، مریم. ۱۳۹۹. پاسخ فیزیولوژیک اسطوخودوس بـه کاربرد پساب خام و تصفیه‌شده در دو روش آبیاری سطحی و زیرسطحی با لوله‌های تراوا. مدیریت آب در کشاورزی. ۷ (۲): ۱۷۰-۱۵۹.

عبادی، ف.، اسماعیل ساری، ع. و ریـاحی بختیـاری، ع. ۱۳۸۴. میزان و نحوه تغییرات فلزات سنگین و اندام‌های گیاهـــان آبزی و رسوبات تالاب میانکاله. محـیط‌شناسـی. ۳۱ (۳۷): ۷۴-۵۳.

عباسـی، پ.، بابـازاده، ح.، یـارقلی، ب. و باخـدا، ح. ۱۴۰۰. اثـر

استفاده از پساب شهری بر عملکرد و اجزای عملکـرد ذرت تحـت مـدیریت کـم‌آبیـاری (مطالعـه مـوردی: شهرسـتان مرودشت). آبیاری و زهکشی ایران. ۱۵ (۲): ۴۱۳-۴۰۲.

قـدمی فیروزآبـادی، ع.، خـوش‌روش، م.، شـیرازی، پ. و زارع ابیانه، ح. ۱۳۹۵. اثر آبیاری مغناطیسی بـر عملکـرد دانـه و بیوماس گیـاه سـویا رقـم DPX در شـرایط کـم آبیـاری و شوری آب. پژوهش آب در کشاورزی. ۳۰ (۱): ۱۴۳-۱۳۱.

کریمی، ب.، عبدی، چ. و فتحی تیلکو، ز. ۱۳۹۷. تأثیر آبیاری با پساب شهری تصفیه‌شده بر عملکرد و برخی ویژگـی‌هـای رشد گوجه‌فرنگی و ذرت در شرایط گلخانه‌ای. دانش آب و خاک. ۲۸ (۴): ۲۹-۱۹.

لیاقت، ع.، اویسی، م. ر.، ابراهیمیان، ح.، پورغلام آمیجـی، م. و صالح، م. ۱۴۰۰. اثر استفاده از آب آلوده بـه فلـز سـرب بـا آبیاری سطحی و زیرزمینی بر عملکرد و جـذب آن توسـط گیاه ذرت علوفه‌ای. آبیاری و زهکشی ایران. ۱(۱): ۱۶-۱.

محرابیـان، س.، ناصـری، ع.، هوشـمند، ع. و مسکرباشـی، م. ۱۳۹۷. اثر عمق نصب لولـه‌هـای قطـره‌چکـان‌دار و مقـدار زئولیت بر عملکرد و اجزای عملکـرد ذرت. مـدیریت آب و آبیاری. ۸ (۲): ۳۳۵-۳۲۱.

نیکبخت، ج. و رضایی، ا. ۱۳۹۶. تأثیر سطوح مختلـف پسـاب و آب مغناطیسی‌شده بر عملکرد و بهـره‌وری مصـرف آب در آبیاری ذرت و برخی خصوصیات فیزیکی خـاک. تحقیقـات آب و خاک ایران. ۴۸ (۱): ۷۵-۶۳.

نیکبخـت، ج. و طـالعی، ا. ۱۳۹۸. تـأثیر آب مغناطیسـی بـر خصوصیات هیدرولیکی آبیاری قطره‌ای-نواری و عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت. حفاظت منابع آب و خـاک. ۸ (۴): ۳۶-۲۱.

نیکبخت، ج.، خنده‌رویان، م.، توکلی، ا. و طاهری، م. ۱۳۹۳. اثر آبیاری مغناطیسی بر خصوصیات جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاه ذرت (Zea mays). پـژوهش‌هـای کـاربردی زراعـی. ۲۷ (۱۰۵): ۱۴۷-۱۴۱.

یاران‌کوپائی، م.، مصطفی‌زاده، ب. و میرمحمدی میبدی، س. ع. م. ۱۳۷۹. اثرات پساب و سیستم‌های آبیاری بر عملکرد چند محصول زراعی. پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

Abedi-Koupai, J., Afyuni, M., Mostafazadeh-Fard, B. and Bagheri, M. R. 2001. Influence of treated wastewater and irrigation systems on soil physical properties in Isfahan province. PP. 165-173. In: Ragab, R., G. Pearce, J. C. Kim, S. Nairizi and A. Hamdy (Eds.), Proceeding of International Workshop on Wastewater Reuse Management, 52nd IEC Meeting and 1st Asian Regional Conference of the International Commission on Irrigation and Drainage (ICID), Seoul, Korea.

Algozari, H. and Yao, A. 2006. Effect of the magnetizing of water and fertilizers on the some chemical parameters of soil and growth of maize (MSc thesis). Baghdad (Iraq): University of Baghdad.

Alloway, B. J. 2001. Heavy metal in soil. New York: John Wiley and sons. Inc; 2001. P.20-28.

Azari, A., Nabizadeh, R., Mahvi, A. H. and Nasseri, S. 2021. Magnetic multi-walled carbon nanotubes-loaded alginate for treatment of industrial dye manufacturing effluent: adsorption modelling and process optimisation by central composite face-central design. International Journal of Environmental Analytical Chemistry. 101: 1-21.

Biryukov, A. S., Gavrikov, V. F., Nikiforov, L. O. and Shcheglov, V. A. 2005. New physical methods of disinfection of water. Journal of Russian Laser Research. 26(1): 1913-1925.

Bolto, B. A. 1990. Magnetic particle technology for wastewater treatment. Waste management. 10(1): 11-21.

Celik, O., Atak, C. and Rzakulieva, A. 2008. Stimulation of rapid regeneration by a magnetic field in paulownia node cultures. Journal of Central European Agriculture. 9(2): 297-303.

El Sayed, H. E. S. A. 2014. Impact of magnetic water irrigation for improve the growth, chemical composition and yield production of broad bean (Vicia faba L.) plant. Journal of Experimental Agriculture International. 4 (4): 476-496.

Hamza, A. H., Shreif, M., El-Azeim, A.,

Mohamad, M., and Mohamed, W. A. 2021. Impacts of Magnetic Field Treatment on Water Quality for Irrigation, Soil Properties and Maize Yield. Journal of Modern Research. 3(1): 51-61.

Khoshravesh, M., Mirzaei, S. M. J., Shirazi, P. and Valashedi, R. N. 2018. Evaluation of dripper clogging using magnetic water in drip irrigation. Applied Water Science. 8(3): 1-8.

Mohamed, A. I. 2013. Effects of magnetized low quality water on some soil properties and plant growth. International Journal of Research in Chemistry and Environment. 3(2): 140-147.

Mostafazadeh-Fard, B., Khoshravesh, M., Mousavi, S. F. and Kiani, A. R. 2011. Effects of magnetized water on soil sulphate ions in trickle irrigation. In 2nd International Conference on Environmental Engineering and Applications. IACSIT Press. 94-99.

Mostafazadeh-Fard, B., Khoshravesh, M., Mousavi, S. F. and Kiani, A. R. 2012. Effects of magnetized water on soil chemical components underneath trickle irrigation. Journal of irrigation and drainage engineering. 138(12): 1075-1081.

Mousavi, S. R. and M. Shahsavari. 2014. Effects of treated municipal wastewater on growth and yield of maize (Zea mays). Biological Forum. 6(2): 228-233.

Naser, H. M., Shil, N. C., Mahmud, N. U., Rashid, M. H. and Hossain, K. M. 2009. Lead, cadmium and nickel contents of vegetables grown in industrially polluted and non-polluted areas of Bangladesh. Bangladesh Journal of Agricultural Research. 34(4): 545-554.

Podleoeny, J., Pietruszewski, S. and Podleoena, A. 2004. Efficiency of the magnetic treatment of broad bean seeds cultivated under experimental plot conditions. International Agro Physics. 18(1): 65-71.

Pourgholam-Amiji, M., Liaghat, A., Khoshravesh, M. and Azamathulla, H. M. 2021. Improving rice water productivity using alternative irrigation (case study: north of Iran). Water Supply. 21(3): 1216-1227.

Pruvot, C. and Douay, F. 2006. Heavy metals in soil, crops and grass as a source of human exposure in the former mining areas. Journal of Soils and Sediments. 6(4): 215-220.

Rezapour, S., Atashpaz, B., Moghaddam, S. S. and Damalas, C. A. 2019. Heavy metal bioavailability and accumulation in winter wheat (Triticum aestivum L.) irrigated with treated wastewater in calcareous soils. Science of the Total Environment. 656: 261-269.

Sadeghipour, O. and Aghaei, P. 2013. Improving the growth of cowpea (Vigna unguiculata L. Walp.) by magnetized water. Journal of Biodiversity and Environmental Sciences. 3(1): 37-43.

Unkovich, M., Baldock, J. and Forbes, M. 2010. Variability in harvest index of grain crops and potential significance for carbon accounting: examples from Australian agriculture. Advances in agronomy. 105: 173-219.

Willer, H. and Lernoud, J. 2019. The world of organic agriculture. Statistics and emerging trends 2019 (pp. 1-336). Research Institute of Organic Agriculture FiBL and IFOAM Organics International.

Water Management in Agriculture
Vol. 8, No. 1, Spring and Summer 2021, 115-128

نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۸، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۰، ص. ۱۲۸-۱۱۵

Effect of Irrigation with Treated Magnetic Effluent on Yield and Yield Components of Maize

M. Khoshravesh[1*], F. Erfanian[2] and M. Pourgholam-Amiji[3]

Abstract

Increasing demand for water for irrigation in the agricultural sector has led to increasing reuse of treated or raw municipal and industrial effluents in many countries around the world. The use of wastewater is usually associated with microbial contamination and heavy metals that affect various parts of nature and therefore human health. Heavy metals in these unconventional waters are one of the sources of water, soil, and plant pollution that the toxicity of heavy metals in plants reduces plant growth. The above problems can be solved by modifying water and soil magnetically. In this study, the effect of using treated magnetic effluent on the yield components of maize plants was investigated. For this purpose, a factorial experiment was conducted in a randomized complete block design with three replications in 2020 at Babolsar city. Treatments include irrigation with well water (W_1), irrigation with mixing 25% of effluent and 75% of well water (W_2), irrigation with the mixing of 50% of effluent and 50% of well water (W_3), irrigation with mixing of 75% of effluent and 25% of water Well (W_4), irrigation with 100% effluent (W_5) under magnetic field (I_1) and without magnetic field (I_2) was. Irrigation water magnetization was created by passing water through a permanent magnet with a magnetic field intensity of 0.3 Tesla. The results showed that the effect of irrigation type and water and effluent mixing on fresh and dry mass weight, number of seeds per corn, 1000-seed weight, biological yield, and grain yield were significant. On average, irrigation with magnetic effluent significantly increased grain yield (9.18%) and biological yield of maize (10.09%) compared to non-magnetic effluent. Yield and yield components of maize also increased with increasing effluent use. In general, by using magnetic technology, unconventional waters can be used and the amount of plant yield can be increased.

Keywords: Heavy Metals, Magnetic Water, Treated Effluent, Water and Effluent Mixing, Yield Components

1. Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
(* Corresponding Author Email: khoshravesh_m24@yahoo.com – m.khoshravesh@sanru.ac.ir)
2. B.Sc. Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
3. Ph.D. Candidate, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
Received: 18 July 2021
Accepted: 8 August 2021