

مقاله علمی-پژوهشی

## اثر آبیاری با پساب مغناطیسی تصفیه شده بر بهره‌وری آب ذرت

مسعود پورغلام آمیجی<sup>۱\*</sup>، مجتبی خوش‌روش<sup>۲</sup>، لاله دیوبند هفشجانی<sup>۳</sup>، علی قدمی فیروزآبادی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۶

### چکیده

کم‌آبی، کاهش هزینه‌های بسیار بالای توسعه منابع آبی جدید و حفاظت از محیط‌زیست، استفاده از آب‌های نامتعارف در کشاورزی را ضروری می‌سازد. این آب‌ها شامل دو گروه عمده پساب‌ها و آب‌های شور هستند که استفاده مستقیم از آن‌ها، مشکلات محیط‌زیستی و آلودگی خاک را سبب می‌شود. یکی از راه‌هایی که به‌وسیله آن می‌توان آب و خاک را اصلاح نمود و مقدار کل آب مصرفی برای آبیاری را کاهش داد، به‌کارگیری فن‌آوری آب مغناطیسی است که عملکرد محصول در واحد حجم آب مصرفی را افزایش می‌دهد. در این پژوهش تأثیر استفاده از پساب مغناطیسی تصفیه شده بر بهره‌وری آب گیاه ذرت مورد بررسی قرار گرفت. 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<sub>1</sub>)، آبیاری با اختلاط ۲۵ درصد پساب و ۷۵ درصد آب چاه (W<sub>2</sub>)، آبیاری با اختلاط ۵۰ درصد پساب و ۵۰ درصد آب چاه (W<sub>3</sub>)، آبیاری با اختلاط ۷۵ درصد پساب و ۲۵ درصد آب چاه (W<sub>4</sub>)، آبیاری با ۱۰۰ درصد پساب (W<sub>5</sub>) در شرایط اعمال میدان مغناطیسی (I<sub>1</sub>) و بدون میدان مغناطیسی (I<sub>2</sub>) بود. نتایج نشان داد که اثر نوع آبیاری و اختلاط آب و پساب بر بهره‌وری‌های بیولوژیکی، فیزیکی، علوفه تر و علوفه خشک معنی‌دار شد. به‌طور متوسط، آبیاری با پساب مغناطیسی باعث افزایش معنی‌دار بهره‌وری‌های بیولوژیکی (۱۰/۳۳ درصد)، فیزیکی (۹/۳۵ درصد)، علوفه تر (۱۰/۰۷ درصد) و علوفه خشک (۱۱/۴۹ درصد) نسبت به پساب غیرمغناطیسی شد. همچنین تمامی پارامترهای ذکر شده با افزایش درصد پساب استفاده شده در آبیاری، افزایش یافت. با استفاده از فن‌آوری مغناطیسی می‌توان از پساب در جهت افزایش بهره‌وری محصول ذرت استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: اختلاط آب و پساب، بهره‌وری بیولوژیکی، آب مغناطیسی، اصلاح آب و خاک، پساب تصفیه شده

### مقدمه

غذایی خانوار بوده و به عنوان یکی از مهم‌ترین جیره‌های غذایی شناخته می‌شود که بررسی‌ها نشان می‌دهد سطح زیرکشت و تولید قابل توجهی در دسته محصولات مربوط به خود را دارا می‌باشند. کل تولید ذرت علوفه‌ای جهان بیش از ۱۵۱۵ میلیون تن اعلام شده است. در ایران نیز بر اساس آمارنامه محصولات کشاورزی در سال زراعی ۱۳۹۹، میزان تولید ذرت علوفه‌ای بیش از ۱۲/۷ میلیون تن بوده که رشد قابل توجه تولید در مقایسه با سال‌های گذشته را نشان داده و اهمیت این محصول در چرخه تولید مواد غذایی را بیان می‌کند. ذرت علوفه‌ای به عنوان گیاهی با توانایی تولید و سازگاری بالا در بیشتر مناطق کشور کشت می‌شود و یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی است که به دلیل عملکرد سیلویی بالا، مواد قندی و نشاسته، یکی از بهترین گیاهان علوفه‌ای برای تغذیه دام است. بهبود کمیت و کیفیت عناصری همچون پتاسیم، روی و آهن در خاک به‌واسطه برخی روش‌های کشاورزی و مدیریت کودها می‌تواند باعث افزایش عملکرد این گیاه و بالتبع افزایش غلظت این عناصر در گیاه شود. افزایش

رشد روزافزون جمعیت و محدودیت منابع غذایی، بشر را با چالش بزرگ امنیت غذایی و بحران‌های منطقه‌ای و بین‌المللی روبه‌رو کرده است. در کشور ایران محصول ذرت از محصولات اصلی در سبذ

- ۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
- ۳- استادیار گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده مهندسی آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
- ۴- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج، همدان، ایران

\*- نویسنده مسئول: (Email: Mpourgholam6@ut.ac.ir)  
DOR: 20.1001.1.20087942.1401.16.1.19.6

غلظت عناصر در این گیاه علوفه‌ای علاوه بر افزایش عملکرد، می‌تواند در بهبود سلامت دام و در نتیجه انسان مؤثر واقع گردد (آمارنامه کشاورزی، ۱۳۹۹).

به علت گسترش سطح زیر کشت کشاورزی و از طرفی کمبود منابع آب آبیاری، برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی از طریق چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق صورت گرفته و پیشروی آب شور در سفره آب شیرین باعث شده تا آب شور از گستردگی بیشتری برخوردار شود و هر روز حجم آن افزایش یابد. بنابراین کیفیت آب در اکثر مناطق به علل مختلف رو به کاهش است. در این راستا بهره‌گیری از منابع آب غیرمعتاد از جمله پساب تصفیه‌شده یکی از مهم‌ترین اهداف در بخش کشاورزی می‌باشد (خوش‌روش و همکاران، ۱۳۹۵؛ خوش‌روش و شاهنظری، ۱۳۹۷؛ لیاقت و همکاران، ۱۳۹۷؛ پورغلام آمیجی و همکاران، ۱۴۰۰؛ خوش‌روش و همکاران، ۱۴۰۰). آ. مصارف کشاورزی با توجه به حجم زیاد مورد نیاز، به‌عنوان یکی از مصارف اصلی پساب‌ها و آب‌های برگشتی محسوب می‌شود. از بین منابع مختلف پساب‌ها و منابع برگشتی، فاضلاب‌های خانگی به خاطر حجم زیاد و کیفیت مناسب‌تر بعد از طی مراحل تصفیه برای مصارف کشاورزی از اولویت بیشتری برخوردار می‌باشد (Ahangari Hassas & Taghizadegan, 2022). همچنین با افزایش جمعیت و توسعه شهری و نیز افزایش تولیدات کشاورزی، گسترش آبیاری و تخریب منابع آب موجود، نیاز به منابع آب بیشتر و مدیریت بهینه آن افزایش یافته است. تأمین انواع نیازهای زیست‌محیطی و اکوسیستم، شهری، کشاورزی، برقایی و تفریحی با توجه به کیفیت آب در کنار محدودیت منابع آب بر پیچیدگی‌های مسئله افزوده است (Ladi et al., 2021; Pawels & Tom, 2022). این مهم بدون استفاده از آب‌های نامتعارف و دسته دوم یا چندم، امکان‌پذیر نبوده و نمی‌توان بدون استفاده از منابع نامتعارف، بر مشکلات و بحران آب در تمام بخش‌های شرب، کشاورزی و صنعت فائق آمد و منابع آب محدود را برای دستیابی به امنیت غذایی پایدار به درستی مدیریت کرد. به همین دلیل هرگونه فناوری مانند میدان مغناطیسی که منجر به تصفیه، بازیابی و استفاده مجدد از آب‌های نامتعارف نظیر پساب‌ها شود، حائز اهمیت بوده و باید مورد بررسی قرار گیرد.

بهره‌وری مصرف آب آبیاری ذرت تابع عوامل متعددی از جمله خصوصیات فیزیولوژیکی، خاک، شرایط آب و هوایی منطقه و شیوه‌های کشت است (فریدونی و فرجی، ۱۳۹۵). ابراهیمی‌زاده و همکاران (۱۳۸۶) تأثیر پساب و آب معمولی بر بهره‌وری آب گیاه ذرت را در منطقه کربال فارس بررسی کردند. آزمایش آن‌ها در قالب طرح یک‌بار خردشده با سه روش آبیاری (جویچه‌ای با هیدروفولوم، قطره‌ای سطحی و قطره‌ای زیرسطحی) و دو کیفیت آب (فاضلاب تصفیه‌شده و آب معمولی) در دو سال متوالی انجام شد. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که بیشترین میزان بهره‌وری آب در روش قطره‌ای زیرسطحی و

کمترین آن در روش جویچه‌ای بود و اختلاف آن‌ها معنی‌دار بود. همچنین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در تیمار آبیاری با پساب افزایش یافت. دهقانی (۱۳۹۱) در آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی به بررسی اثرات پساب تصفیه‌شده شهری بر عملکرد گیاه ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ پرداخت. بررسی‌های به‌عمل آمده تحت تأثیر کاربرد پساب و تیمار کودی بر عملکرد (وزن خشک گیاه) باعث افزایش معنی‌دار عملکرد وزن خشک گیاه شد. نیکیخت و رضایی (۱۳۹۶) تأثیر سطوح مختلف پساب (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد) و آب مغناطیسی را بر بهره‌وری مصرف آب ذرت بررسی کردند و نشان دادند که بیش‌ترین بهره‌وری مصرف آب در تیمار ۱۰۰ درصد پساب حاصل شد که با تیمار شاهد ۷/۶ کیلوگرم بر مترمکعب اختلاف داشت و این اختلاف در تیمارهای مخلوط آب مغناطیسی و غیرمغناطیسی برابر ۴/۷ کیلوگرم بر مترمکعب و معنی‌دار بود.

نتایج پژوهش روسان و همکاران در اردن نشان داد که آبیاری گیاه جو با پساب باعث تولید ۲۳۴۹ گرم بر مترمربع در خاک تحت آبیاری با پساب به مدت پنج سال شد که نسبت به تیمار شاهد (۱۴۰۵ گرم بر مترمربع) حدود ۶۷ درصد بیش‌تر بود (Rusan et al., 2007). توسلی و همکاران در پژوهشکده کشاورزی دانشگاه زابل، بیش‌ترین عملکرد دانه گیاه ذرت را برابر ۸ تن در هکتار در تیمار آبیاری با پساب و تأمین ۵۰ درصد نیاز کودی گیاه با کود شیمیایی و کم‌ترین عملکرد دانه را برابر ۲/۵ تن در هکتار در تیمار شاهد به دست آوردند (Tavassoli et al., 2010b). فریدونی و همکاران تأثیر پساب شهری تصفیه‌شده و نیتروژن بر عملکرد کمی، کیفیت دانه ذرت شیرین و برخی ویژگی‌های خاک را در منطقه یاسوج بررسی کردند. نتایج نشان داد که تأثیر پساب و نیتروژن بر صفات عملکرد بلال و دانه معنی‌دار شد. کاربرد پساب باعث کاهش مصرف کود شیمیایی نیتروژن در تولید ذرت شیرین شد (Fereidooni et al., 2013). کریمی و همکاران (۱۳۹۷) تأثیر آبیاری با پساب شهری تصفیه‌شده را بر عملکرد گوجه‌فرنگی و ذرت در شرایط گلخانه‌ای بررسی کردند و گزارش نمودند که آبیاری با پساب در مقایسه با آب معمولی، عملکرد گیاه ذرت و گوجه‌فرنگی را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. عباسی و همکاران (۱۴۰۰) نیز اثر پساب شهری بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت را تحت مدیریت کم‌آبیاری بررسی کردند و نشان دادند که بیش‌ترین مقدار عملکرد ماده خشک در مراحل رویشی و گلدهی و عملکرد دانه در مرحله رشد دانه به ترتیب مقادیر ۷۲۶۰، ۹۸۵۷ و ۳۱۵۸ کیلوگرم در هکتار در تیمار آبیاری کامل با پساب و کم‌ترین مقدار عملکرد با مقادیر ۵۰۵۲، ۶۰۶۹ و ۱۵۰۸ کیلوگرم در هکتار در تیمار کم‌آبیاری ۶۰ درصد با آب چاه به دست آمد.

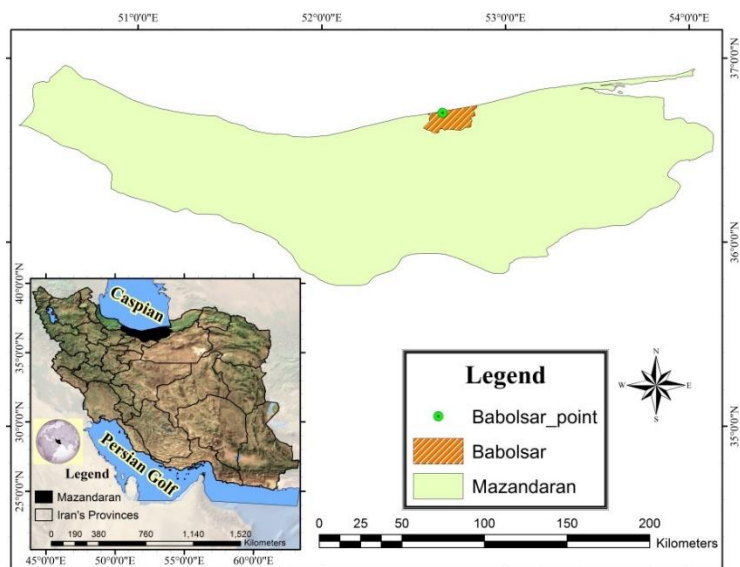
تحریک گیاهان با استفاده از میدان مغناطیسی می‌تواند به‌عنوان راهی جهت افزایش کمیت و کیفیت عملکرد مورد توجه قرار گیرد و به

این صورت می‌توان بهره‌وری مصرف آب را به‌خصوص در مناطق خشک افزایش داد. در این شرایط از آب کمتری در عملیات آبیاری استفاده می‌شود که این حالت باعث کاهش برداشت آب از منابع آبی شده و ذخایر آبی حفظ می‌شود. با عبور آب از یک میدان مغناطیسی، بعضی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب مانند کشش سطحی، قابلیت حل نمک‌ها، ساختار خوشه‌ای و زنجیره پیوند هیدروژنی مولکول‌ها تغییر کرده و باعث افزایش اثرات دوقطبی مولکول‌های آب و تغییر در ضریب شکست نور و اسیدیته آب می‌شود (حیدرپور و همکاران، ۱۳۹۵؛ Khoshravesh et al., 2018). این تغییرات به‌وجود آمده به‌واسطه عبور آب از یک میدان مغناطیسی به عواملی مانند شدت میدان مغناطیسی، جهت میدان، مدت‌زمان قرار گرفتن در معرض میدان مغناطیسی، نرخ جریان محلول، کیفیت و pH آب بستگی دارد (Mostafazadeh-Fard et al., 2011). بنابراین، 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 کمیت محصول و بهره‌وری آب باشد (قدمی فیروزآبادی و همکاران، ۱۳۹۵). در پژوهشی، لین و یوتوات افزایش بهره‌وری آب در محصولات زراعی در اثر مغناطیسی کردن آب را گزارش کردند (Lin and Yotvat, 1990). گروال و ماهشواری تأثیر میدان مغناطیسی را روی عملکرد گیاهان نخود، کرفس و لوبیا در شرایط کشت گلخانه‌ای مورد مطالعه قرار دادند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که آب مغناطیسی محصول کرفس را ۱۲ و ۲۳ درصد و بهره‌وری آب را ۱۲ و ۲۴ درصد افزایش داده است. در لوبیا نیز افزایش عملکرد محصول و بهره‌وری آب در تیمار آب مغناطیسی نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد (Grewal and Maheshwari, 2011). کیانی (۱۳۸۶) گزارش کرد که آب مغناطیسی با افزایش حلالیت آب، باعث آبشویی خاک و در نتیجه افزایش عملکرد گیاهان می‌شود. حیدری و همکاران (۱۳۹۹) نیز اثر آب مغناطیسی بر خصوصیات رشدی ریحان تحت کم آبیاری و آبیاری ناقص ریشه را بررسی و گزارش کردند که استفاده از آب مغناطیسی باعث افزایش ۵ درصدی وزن تر اندام هوایی، ۱۳ درصدی شاخص سطح برگ، ۲۸ درصدی وزن خشک ریشه و ۲۴ درصدی حجم ریشه در شدت میدان مغناطیسی ۰/۶ تسلا شد. خوش‌روش و همکاران (۱۴۰۰ ب) اثر آبیاری با پساب مغناطیسی تصفیه شده بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت را مورد بررسی قرار داده و نتایج ایشان حاکی از آن بود 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. با کاهش منابع آبی، استفاده از آب‌های نامتعارف مانند پساب شهری به‌ویژه در جایی که آب با کیفیت مناسب در دسترس نیست، می‌تواند باعث کاهش فشار بر منابع آب قابل دسترس شود و هزینه‌های تولید نیز کاهش یابد. پساب علاوه بر تأمین آب مورد نیاز گیاه، می‌تواند بخشی از نیاز غذایی گیاه را تأمین کند. از طرف دیگر راه‌کار مغناطیس نمودن آب، به عنوان یک گزینه مناسب برای افزایش عملکرد محصول و غلظت عناصر موجود در اندام‌های محصولات مورد استفاده قرار می‌گیرد. تاکنون پژوهش‌های اندکی در مورد اثر آب مغناطیسی بر بهره‌وری آب گیاهان انجام شده ولی در مورد اثر پساب مغناطیسی تصفیه شده بر بهره‌وری آب گیاه ذرت، پژوهشی انجام نشده است. هدف از این پژوهش، بررسی اثر پساب مغناطیسی تصفیه شده بر انواع بهره‌وری آب گیاه ذرت می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در سال ۱۳۹۹ در مزرعه‌ای در روستای آرمیج-کلای شهرستان بابلسر (استان مازندران) با مختصات ۵۹ درجه و ۳۹ دقیقه عرض جغرافیایی (N) و ۳۶ درجه و ۴۳ دقیقه طول جغرافیایی (E) در ارتفاع ۲۱- متر از سطح دریاهای آزاد و ۷ متر بالاتر از دریای کاسپین انجام شد. طبق داده‌های درازمدت و بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، منطقه دارای آب‌وهوای مرطوب می‌باشد. مطابق آمار درازمدت ۳۰ ساله (۲۰۲۰-۱۹۹۱)، متوسط بارندگی سالانه منطقه ۸۹۱ میلی‌متر و میانگین سالانه دمای هوا ۱۷/۵ درجه سانتی‌گراد است (Pourgholam-Amiji et al., 2021). موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در شکل (۱) نشان داده شده است. کشت گیاه ذرت علوفه‌ای رقم SC 704 در لایسیمترهایی از جنس PVC با قطر ۶۰ ارتفاع ۱۰۰ سانتی‌متر انجام شد. لایسیمترها با استفاده از خاک مزرعه در چند مرحله پر شدند. خاک به صورت 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 لایه‌های مختلف خاک در جدول (۱) آورده شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک لایسیمترها

Cd mg/kg	Pb mg/kg	EC (dS/m)	pH	$\rho_b$ (g/cm <sup>3</sup> )	بافت خاک	ذرات تشکیل دهنده خاک (%)			عمق (سانتی متر)
						شن	سیلت	رس	
۰/۰۲۲	۱/۰۱	۱/۸	۷/۴	۱/۴۸	لوم	۳۵/۲۷	۴۵/۰۴	۱۹/۶۹	۳۰-۰
۰/۰۲۲	۱/۰۰	۱/۹	۷/۳	۱/۵۰	لوم	۳۵/۵۰	۴۵/۱۶	۱۹/۳۴	۶۰-۳۰
۰/۰۲۵	۱/۰۲	۱/۸	۷/۵	۱/۵۵	لوم	۳۵/۰۶	۴۵/۳۹	۱۹/۵۵	۹۰-۶۰

صافی پس از دوخت به صورت 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. شکل (۲) شماتیکی از تیمارهای مورد آزمایش و جانمایی لایسیمترها را نشان می‌دهد.

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 به عنوان زهکش در نظر گرفته شد. به منظور جلوگیری از ورود ذرات خاک به درون لوله‌های زهکش، از صافی ژئوتکستایل در اطراف لوله زهکش استفاده شد. این



شکل ۲- جانمایی لایسیمترها به صورت شماتیک

$$d_g = \frac{d_n}{E} \quad (۳)$$

$$V = dg \times A \quad (۴)$$

که در آن  $ET_C$  تبخیر و تعرق گیاه ذرت (میلی‌متر در روز)،  $T_d$  حداکثر تعرق روزانه گیاه (میلی‌متر در روز)،  $P_d$  سطح سایه‌انداز (برحسب درصد)،  $F$  دور آبیاری (روز)،  $dn$  عمق خالص آبی در هر دور آبیاری (میلی‌متر)،  $dg$  عمق ناخالص آبی در هر دور آبیاری (با توجه به راندمان ۹۰ درصد آبیاری قطره‌ای برحسب میلی‌متر)،  $V$  حجم آب داده شده به تیمار (مترمکعب) و  $A$  مساحت کرت (برحسب مترمربع) (سهرابی و پایدار، ۱۳۹۵). در پایان دوره آزمایش عملکرد دانه در تیمارهای مختلف اندازه‌گیری شدند. بر اساس عملکردهای مختلف گیاه ذرت و برای تیمارهای مختلف، مقدار بهره‌وری بیولوژیکی، بهره‌وری فیزیکی، بهره‌وری علوفه تر و بهره‌وری علوفه خشک محاسبه و بررسی شد. از رابطه زیر برای محاسبه بهره‌وری گیاه ذرت استفاده شد (Kijne et al., 2003):

$$WP = \frac{Y}{I} \quad (۵)$$

که در آن،  $WP$ ، بهره‌وری آب آبیاری ( $kg/m^3$ )،  $Y$  عملکرد ( $kg$ ) و  $I$  حجم آب آبیاری ( $m^3$ ) است. برای تحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار SAS (نسخه 9.4) استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون دانکن مورد مقایسه قرار گرفتند.

## نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثر نوع آب آبیاری و اختلاط آب و پساب بر بهره‌وری محصول ذرت در جدول (۲) آمده است. اثر نوع آبیاری بر بهره‌وری بیولوژیکی، بهره‌وری فیزیکی، بهره‌وری علوفه تر و بهره‌وری علوفه خشک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار 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. آب چاه کیفیت خوبی داشته (غلظت TDS زیر ۱ دسی‌زیمنس بر متر) و کیفیت فاضلاب نیز مطلوب بود. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. پساب مورد نظر از تصفیه‌خانه فاضلاب شهری شهرستان بابلسر تهیه شد. سپس درون سطل‌های مخصوص ریخته و در نهایت بعد از انتقال به محل آزمایش، با درصدهای مختلف اختلاط با آب چاه، برای آبیاری گیاه استفاده شد. مغناطیس نمودن آب آبیاری با عبور آب از میان یک آهن‌ربای دائمی با شدت میدان مغناطیسی ۰/۳ تسلا ایجاد شد.

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، ادامه یافت. بخش دوم، از انتهای بخش اول تا روز برداشت (اوایل آبان ۱۳۹۹) بود. روش آبیاری مورد استفاده، قطره‌ای بوده و میزان آب آبیاری و دور آبیاری بر اساس نیاز گیاه انجام شد. دبی خروجی‌ها ۱/۶ لیتر در ساعت با فاصله ۲۰ سانتی‌متر بوده و با توجه به نوع سیستم آبیاری قطره‌ای و کیفیت آب (شاخص اشباع لانتزلیر)، به آبشویی نیازی نبود. اعمال تیمار در آبیاری قطره‌ای پس از پنج-شش برکه شدن (حدود یک ماه پس از کاشت) انجام گرفت. با توجه به درصد حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی ( $MAD$ ) ۵۰ درصد، دور آبیاری ۳ روز و در نظر گرفتن راندمان ۹۰ درصد، نیاز آبیاری مشخص شد و جمعاً ۲۸ آبیاری اعمال شد. مقادیر آبیاری در هر تیمار توسط کنتور حجمی اعمال شد که محاسبات آن به صورت زیر می‌باشد (سهرابی و پایدار، ۱۳۹۵):

$$T_d = ET_C \times [0.15 + 0.85 P_d] \quad (۱)$$

$$d_n = T_d \times F \quad (۲)$$

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر فاکتورهای مختلف بر بهره‌وری محصول ذرت

منبع تغییرات	درجه آزادی	بهره‌وری بیولوژیکی	بهره‌وری فیزیکی	بهره‌وری علوفه تر	بهره‌وری علوفه خشک
بلوک	۲	۲/۷۳**	۱/۸۸**	۱/۰۸**	۰/۸۷**
نوع آب آبیاری	۱	۱۰/۴۹**	۶/۷۶**	۳/۲۲**	۱/۳۰**
اختلاط آب و پساب	۴	۳/۸۶**	۲/۰۳**	۰/۹۵*	۰/۲۳*
نوع آب آبیاری × اختلاط آب و پساب	۴	۴/۹۰ <sup>ns</sup>	۲/۱۱ <sup>ns</sup>	۰/۸۹ <sup>ns</sup>	۰/۱۹ <sup>ns</sup>
خطا	۱۸	۱/۵۸	۰/۹۸	۰/۳۸	۰/۰۹

\*، \*\* و <sup>ns</sup> به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد، معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار

کمیت محصول را سبب می‌شود. بدیعی و همکاران (۱۳۹۵) عملکرد بیولوژیک را با فاضلاب خام و تصفیه‌شده مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که عملکرد بیولوژیک در تیمار فاضلاب خام و تصفیه‌شده نسبت به تیمار شاهد افزایش داشت.

با اعمال میدان مغناطیسی، مقدار بهره‌وری بیولوژیکی در تیمارهای مغناطیسی به طور متوسط ۱۰/۳۳ درصد نسبت به تیمارهای غیرمغناطیسی افزایش داشت. در اثر مغناطیسی شدن آب و با تغییر در خواص فیزیکی و شیمیایی آن و کوچک‌تر شدن مولکول‌های آب منجر به افزایش توانایی جذب آن توسط گیاه شده در نتیجه بهره‌وری آب نیز افزایش می‌یابد. الگدزی و یو 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). ال سید در پژوهشی نشان داد که آب مغناطیسی باعث افزایش سطح برگ لوبیا چشم‌بلبلی و سطح برگ باقلا شد که می‌تواند باعث افزایش بهره‌وری بیولوژیکی شود (El Sayed, 2014).

همچنین اثر اختلاط آب و پساب بر بهره‌وری بیولوژیکی و بهره‌وری فیزیکی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار و اثر بر بهره‌وری علوفه تر و بهره‌وری علوفه خشک در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد؛ اثر متقابل نوع آب آبیاری و اختلاط آب و پساب بر هیچ‌کدام از پارامترهای بهره‌وری ذرت معنی‌دار نشد.

نتایج مقایسه میانگین بهره‌وری بیولوژیکی تیمارهای اختلاط آب و پساب نشان می‌دهد که تمامی تیمارها با یکدیگر دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشند. استفاده از پساب باعث افزایش وزن پوشش سبز در گیاه ذرت شد و این افزایش در تیمار ۱۰۰ درصد پساب مشهودتر از درصد اختلاط‌های دیگر آب و پساب بود. حداکثر مقدار بهره‌وری بیولوژیکی برابر ۳/۵۵ کیلوگرم بر مترمکعب از تیمار ۱۰۰ درصد پساب حاصل شد که نسبت به تیمار شاهد ۲۷/۶۹ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳). با عبور آب از میدان مغناطیسی، پیوندهای هیدروژنی و واندروالس بین مولکول‌های آب شکسته شده و در نتیجه کشش سطحی آب کاهش و حلالیت آب افزایش می‌یابد و در نتیجه اصلاح معدنی مورد نیاز گیاه در آب به خوبی حل شده و در نهایت افزایش

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های بهره‌وری محصول ذرت

تیمار آزمایشی	بهره‌وری بیولوژیکی (kg/m <sup>3</sup> )	بهره‌وری فیزیکی (kg/m <sup>3</sup> )	بهره‌وری علوفه تر (kg/m <sup>3</sup> )	بهره‌وری علوفه خشک (kg/m <sup>3</sup> )
نوع آب آبیاری				
مغناطیسی	۳/۳۱ a	۱/۸۷ a	۱/۴۲ a	۰/۹۷ a
غیرمغناطیسی	۳/۰۰ b	۱/۷۱ b	۱/۲۹ b	۰/۸۷ b
اختلاط آب و پساب				
آب چاه	۲/۷۸ e	۱/۵۸ e	۱/۱۶ d	۰/۷۸ d
۲۵ درصد پساب و ۷۵ درصد آب چاه	۲/۹۹ d	۱/۶۴ d	۱/۳۰ c	۰/۸۴ c
۵۰ درصد پساب و ۵۰ درصد آب چاه	۳/۱۵ c	۱/۷۸ c	۱/۳۶ bc	۰/۸۸ c
۷۵ درصد پساب و ۲۵ درصد آب چاه	۳/۳۱ b	۱/۹۱ b	۱/۴۱ b	۰/۹۹ b
۱۰۰ درصد پساب	۳/۵۵ a	۲/۰۳ a	۱/۵۲ a	۱/۰۹ 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 نمی‌باشد.

(Asgari et al., 2008). نتایج این بخش از پژوهش با یافته‌های کریمی و همکاران (۱۳۹۷) مطابقت دارد؛ آن‌ها گزارش کردند که استفاده از پساب تصفیه‌شده شهری در مقایسه با آب معمولی، به دلیل وجود مواد غذایی بیشتر، به‌طور مؤثری اجزای عملکرد ذرت را بهبود می‌بخشد. بالا بودن غلظت نیتروژن، فسفر و مواد آلی موجود در پساب، باعث افزایش وزن هزار دانه و در نتیجه بهره‌وری آب شده است.

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، موجب افزایش تعداد

نتایج مقایسه میانگین بهره‌وری فیزیکی تیمارهای اختلاط آب و پساب نشان می‌دهد که تمامی تیمارها دارای اختلاف معنی‌داری با یکدیگر می‌باشند. حداکثر مقدار بهره‌وری فیزیکی برابر ۲/۰۳ کیلوگرم بر مترمکعب از تیمار ۱۰۰ درصد پساب حاصل شد که دارای افزایش ۲۸/۴۸ درصدی نسبت به تیمار شاهد بود (جدول ۳). در تیمار پساب، میزان کلروفیل موجود در برگ‌ها افزایش یافته و در نتیجه باعث افزایش تولید شیره پرورده و همچنین سرعت پر شدن دانه و در نهایت افزایش عملکرد بلال می‌شود. همچنین با افزایش شاخص سطح برگ، مقدار فتوسنتز افزایش یافته و در مرحله پر شدن دانه‌ها، مواد به دانه‌ها منتقل شده و باعث افزایش وزن آن‌ها می‌شود

ساختمان سیتوکرومها مورد استفاده قرار گرفته و در نتیجه باعث افزایش فتوسنتز می‌شود (Fereidooni et al., 2013). توسلی و همکاران نشان دادند که عملکرد علوفه تر ذرت در شرایط آبیاری با پساب در مقایسه با آب معمولی، ۸/۲۵ درصد افزایش داشت (Tavassoli et al., 2010a). همچنین اعمال میدان مغناطیسی باعث افزایش ۱۰/۰۷ درصدی مقدار بهره‌وری علوفه تر نسبت به تیمارهای غیرمغناطیسی شد. میدان مغناطیسی باعث کاهش کشش سطحی و ویسکوزیته آب شده و در نتیجه نفوذ آب به بذر سریع‌تر اتفاق می‌افتد (Pang and Deng, 2008). همچنین میدان مغناطیسی باعث تعدیل اثرات تنش خشکی و شوری می‌شود (Yinan et al., 2005). نیکبخت و رضایی (۱۳۹۶) نیز نشان دادند که میانگین بهره‌وری مصرف آب در تیمار مخلوط آب و پساب مغناطیسی ۳۰ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود. با افزایش جذب آب در شرایط آبیاری با مخلوط آب و پساب مغناطیسی، آماس سلولی و در نتیجه پتانسیل فشاری آب در سلول افزایش می‌یابد که باعث افزایش تقسیم سلولی در بافت‌های گیاهی شده و ارتفاع گیاه افزایش و در نتیجه بهره‌وری علوفه تر افزایش می‌یابد.

نتایج مقایسه میانگین بهره‌وری علوفه خشک تیمارهای اختلاط آب و پساب نشان می‌دهد که تیمارهای ۵۰ درصد پساب و ۵۰ درصد آب چاه با تیمار ۲۵ درصد پساب و ۷۵ درصد آب چاه و همچنین ۲۵ درصد پساب و ۷۵ درصد آب چاه اختلاف معنی‌داری نداشتند ولی اختلاف بهره‌وری علوفه خشک بین بقیه تیمارها دارای اختلاف معنی‌داری بود. حداکثر مقدار بهره‌وری علوفه خشک برابر ۱/۰۹ کیلوگرم بر مترمکعب از تیمار ۱۰۰ درصد پساب حاصل شد که نسبت به تیمار شاهد ۲۸/۴۴ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳). 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 که می‌تواند باعث افزایش بهره‌وری علوفه خشک شود. همچنین در تیمار مغناطیسی، مقدار بهره‌وری علوفه خشک به‌طور متوسط ۱۱/۴۹ درصد نسبت به تیمارهای غیرمغناطیسی افزایش داشت.

دانه در ذرت شد که به طور مستقیم عملکرد محصول و در نتیجه بهره‌وری فیزیکی را افزایش داد. با اعمال میدان مغناطیسی، مقدار متوسط بهره‌وری فیزیکی در تیمارهای مغناطیسی نسبت به تیمارهای غیرمغناطیسی ۹/۳۵ درصد افزایش نشان داد. آب مغناطیسی با افزایش قدرت حلالیت آب، باعث افزایش فتوسنتز و رشد بذریه‌های آبیاری شده با آب مغناطیسی می‌شود. بنابراین در طی این عمل، جذب مواد غذایی از خاک بیشتر شده و در نتیجه بهره‌وری فیزیکی افزایش می‌یابد. یافته‌های این پژوهش با یافته‌های بلاوسکی مطابقت دارد. وی گزارش نمود که با اعمال میدان مغناطیسی، مولکول‌های آب منظم‌تر و فضای کمتری توسط آن‌ها اشغال شده و با افزایش توانایی جذب آب توسط گیاه، کارایی مصرف آب افزایش می‌یابد (Belyavskaya, 2004). مصطفی‌زاده فرد و همکاران نشان دادند که با اعمال میدان مغناطیسی، مقدار رطوبت در خاک افزایش و شوری پروفیل خاک کاهش یافته و باعث افزایش کمیت محصول خواهد شد. آن‌ها اثر آب مغناطیسی بر املاح و رطوبت خاک در عمق‌های مختلف در آبیاری قطره‌ای را بررسی و گزارش کردند که شوری خاک در تیمار آب مغناطیسی در مقایسه با آب غیرمغناطیسی، کاهش داشته است. به طوری که افزایش ۷/۵ درصدی مقدار رطوبت خاک در تیمار آب مغناطیسی، باعث آبشویی میزان املاح خاک شده است (Mostafazadeh-Fard et al., 2012).

نتایج مقایسه میانگین بهره‌وری علوفه تر تیمارهای اختلاط آب و پساب نشان می‌دهد که تیمارهای ۵۰ درصد پساب و ۵۰ درصد آب چاه با تیمار ۲۵ درصد پساب و ۷۵ درصد آب چاه و همچنین ۲۵ درصد پساب و ۷۵ درصد آب چاه اختلاف معنی‌داری نداشتند. در صورتی که مابقی تیمارها دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشند. حداکثر مقدار بهره‌وری علوفه تر برابر ۱/۵۷ کیلوگرم بر مترمکعب از تیمار ۱۰۰ درصد پساب حاصل شد که مقدار افزایش این تیمار نسبت به تیمار شاهد برابر ۳۱/۰۳ درصد بود. افزایش بهره‌وری علوفه تر ذرت در تیمار پساب نسبت به تیمار شاهد به دلیل تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه توسط پساب می‌باشد (جدول ۳). فریدونی و همکاران گزارش کردند که افزایش عملکرد علوفه ذرت در آبیاری با پساب به دلیل وجود عناصر غذایی موجود در پساب است که در چرخه‌های فتوسنتزی و

جدول ۴- درصد افزایش بهره‌وری محصول ذرت در تیمار مغناطیسی نسبت به تیمار غیرمغناطیسی در اختلاط‌های مختلف آب و پساب

تیمار آزمایشی	بهره‌وری بیولوژیکی	بهره‌وری فیزیکی	بهره‌وری علوفه تر	بهره‌وری علوفه خشک
آب چاه	۹/۶۵	۸/۶۳	۹/۱۱	۱۰/۳۶
۲۵ درصد پساب و ۷۵ درصد آب چاه	۹/۹۶	۸/۸۷	۹/۵۱	۱۰/۸۲
۵۰ درصد پساب و ۵۰ درصد آب چاه	۱۰/۳۴	۹/۲۸	۹/۹۸	۱۱/۴۹
۷۵ درصد پساب و ۲۵ درصد آب چاه	۱۰/۶۳	۹/۸۱	۱۰/۶۴	۱۲/۱۰
۱۰۰ درصد پساب	۱۱/۰۷	۱۰/۱۹	۱۱/۱۱	۱۲/۶۸

آبیاری (قطره‌ای نوار تیپ، زیرسطحی و جویچه‌ای) بر بهره‌وری آب و کود، رشد ذرت و ویژگی‌های خاک با حداقل اثرات زیست‌محیطی. پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد رشته مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه شیراز.

آمارنامه کشاورزی. ۱۳۹۹. آمارنامه کشاورزی (سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷) جلد اول: محصولات زراعی. چاپ اول، وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات، ۹۷ ص.

بدیعی، آ. کاراندیش، ف. و طباطبائی، س. م. ۱۳۹۵. تأثیر آبیاری با فاضلاب خام و تصفیه‌شده شهری بر عملکرد گندم و ویژگی‌های میکروبی خاک و گیاه. دانش آب و خاک. ۲۶ (۴/۲): ۲۱۵-۲۲۸.

پورغلام آمیجی، م.، لیاقت، ع. و احمدالی، خ. ۱۴۰۰. مدل‌سازی هزینه طراحی و اجرای سامانه‌های آبیاری قطره‌ای. تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی. ۲۲ (۸۲): ۱-۲۲.

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

حیدری، ط.، شاهدی، ب. و بانزاد، ح. ۱۳۹۹. تأثیر آب مغناطیسی بر خصوصیات رشدی ریحان تحت کم آبیاری و آبیاری ناقص ریشه. مدیریت آب در کشاورزی. ۷ (۲): ۱۵۸-۱۴۹.

خوش‌روش، م. و شاهنظری، ع. ۱۳۹۷. کیفیت آب. انتشارات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، چاپ اول، ۴۵۰ صفحه.

خوش‌روش، م.، حسینی، س. م. و پورغلام آمیجی، م. ۱۴۰۰. آ. اثر آبیاری با پساب تصفیه‌شده مغناطیسی بر خصوصیات شیمیایی و فلزات سنگین خاک. تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۲ (۸): ۲۲۰۳-۲۱۹۸.

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

خوش‌روش، م.، عرفانیان، ف. و پورغلام آمیجی، م. ۱۴۰۰. ب. آ. اثر آبیاری با پساب مغناطیسی تصفیه‌شده بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت. مدیریت آب در کشاورزی. ۸ (۱): ۱۱۵-۱۲۸.

دهقانی، ر. ۱۳۹۱. تأثیر آبیاری با پساب تصفیه‌خانه شهر انزلی روی برخی از خصوصیات شیمیایی خاک و گیاه ذرت. پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد شیمی و حاصلخیزی خاک، دانشگاه گیلان.

مشابه با اثر پساب بر بهره‌وری علوفه تر که تیمار ۱۰۰ درصد پساب بیش‌ترین مقدار بهره‌وری را داشت، بهره‌وری علوفه خشک نیز چنین روندی را نشان داد؛ زیرا بهره‌وری بوته خشک از بهره‌وری بوته تر نشأت گرفته و روند تغییرات عملکرد در تناسب می‌باشد. درصد افزایش پارامترهای بهره‌وری محصول ذرت در تیمار مغناطیسی نسبت به تیمار غیرمغناطیسی در اختلاط‌های مختلف آب و پساب در جدول (۴) ارائه شده است. حداقل افزایش بهره‌وری مربوط به بهره‌وری فیزیکی در تیمار آب چاه بود که ۸/۶۳ درصد در شرایط مغناطیسی نسبت به شرایط غیرمغناطیسی افزایش داشت. حداکثر افزایش بهره‌وری مربوط به بهره‌وری علوفه خشک بود که ۱۲/۶۸ درصد در شرایط اعمال میدان مغناطیسی نسبت به شرایط غیرمغناطیسی با تأثیر در افزایش عملکرد گیاه، باعث افزایش بهره‌وری محصول می‌شود.

## نتیجه‌گیری

با توجه به مشکل کمبود منابع آبی، استفاده از پساب تصفیه‌شده به همراه فن‌آوری مغناطیسی می‌تواند نقش قابل‌توجهی در توسعه پایدار و کاهش هزینه‌های آبیاری و کوددهی داشته باشد. استفاده از پساب با تغییر در خصوصیات فیزیکی خاک، می‌تواند آب قابل‌دسترس گیاه را افزایش دهد که پایداری در منابع آب و خاک را به همراه خواهد داشت. به همین منظور در این پژوهش، اثر آبیاری با پساب مغناطیسی تصفیه‌شده بر بهره‌وری‌های مختلف گیاه ذرت بررسی شد. نتایج نشان داد که آبیاری با درصد اختلاط‌های مختلف آب چاه و پساب در شرایط میدان مغناطیسی، باعث افزایش تمامی شاخص‌های بهره‌وری ذرت شد و این افزایش معنی‌دار بود. همچنین آبیاری با پساب مغناطیسی تصفیه‌شده باعث افزایش بهره‌وری آب ذرت شد که بیشترین و کمترین افزایش مربوط به بهره‌وری علوفه خشک و بهره‌وری فیزیکی به ترتیب برابر با ۱۱/۴۹ و ۹/۳۵ درصد بود. استفاده از پساب نیز باعث افزایش تمامی شاخص‌های بهره‌وری ذرت شد که بیشترین و کمترین افزایش مربوط به بهره‌وری علوفه تر و بهره‌وری بیولوژیکی به ترتیب برابر با ۳۱/۰۳ و ۲۷/۶۹ درصد بود. با اعمال میدان مغناطیسی، در نتیجه با جذب بهتر عناصر غذایی خاک و بهبود ظرفیت نگهداری آب در خاک می‌توان بهره‌وری مصرف آب ذرت را افزایش داد و مدیریت آبیاری ذرت را با استفاده از فناوری مغناطیسی جهت برنامه‌ریزی آبیاری در استفاده مؤثرتر و اقتصادی‌تر از منابع محدود آب، بهبود بخشید.

## منابع

ابراهیمی‌زاده، م. ع. ۱۳۸۶. تأثیر پساب و آب معمولی با سه روش



- Research, 34: 1566-1574.
- 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*. 476-496.
- Fereidooni, M. J., Farajee, H. and Owliaei, H. R. 2013. Effect of treated urban sewage and nitrogen on yield and grain quality of sweet corn and some soil characteristics in Yasouj region. *Water and Soil Science*. 23(3): 43-56.
- Grewal, S. H. and Maheshwari, B. L. 2011. Magnetic treatment of irrigation water and snow pea and chickpea seeds enhances early growth and nutrient contents of seedlings. *Bioelectromagnetics*, 32(1): 58-65.
- 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.
- Kijne, J. W., Tuong, T. P., Bennett, J., Bouman, B. and Oweis, T. 2003. Ensuring food security via improvement in crop water productivity. *Challenge Program on water and Food Background Paper*. 1: 20-26.
- Ladi, T., Mahmoudpour, A. and Sharifi, A. 2021. Assessing impacts of the water poverty index components on the human development index in Iran. *Habitat International*. 113: 102375.
- Lin, I. J. and Yotvat, J. 1990. Exposure of irrigation and drinking water to a magnetic field with controlled power and direction. *Journal of magnetism and magnetic materials*. 83(1-3): 525-526.
- 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 (pp. 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.
- Pang, X. and Deng, B. 2008. Investigation of changes in properties of water under the action of a magnetic field. *Chinese Science Journal*. 51(11): 1621-1632.
- Pawels, R. and Tom, A. P. 2022. Sustainable water treatment technologies: a review. *Sustainability, Agri, Food and Environmental Research*. 10(1).
- 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.
- سهرابی، ت. و پایدار، ز. ۱۳۹۵. اصول طراحی سیستم‌های آبیاری. انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول، ۴۱۰ صفحه.
- عباسی، پ.، بابازاده، ح.، یارقلی، ب. و باخدا، ح. ۱۴۰۰. اثر استفاده از پساب شهری بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت تحت مدیریت کم‌آبیاری (مطالعه موردی: شهرستان مرودشت). آبیاری و زهکشی ایران. ۱۵ (۲): ۴۱۳-۴۰۲.
- فریدونی، م. ج. و فرجی، ه. ۱۳۹۵. تأثیر سطوح مختلف آبیاری و روش‌های کشت بر بهره‌وری مصرف آب و عملکرد کمی و کیفی ذرت شیرین. آب و خاک. ۳۱ (۴): ۱۰۱۴-۱۰۰۱.
- قدمی فیروزآبادی، ع.، خوش‌روش، م.، شیرازی، پ. و زارع ابیانه، ح. ۱۳۹۵. اثر آبیاری مغناطیسی بر عملکرد دانه و بیوماس گیاه سویا رقم DPX در شرایط کم‌آبیاری 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 تصفیه شده بر عملکرد و برخی ویژگی‌های رشد گوجه‌فرنگی و ذرت در شرایط گلخانه‌ای. دانش آب و خاک. ۲۸ (۴): ۲۹-۱۹.
- کیانی، ع. ۱۳۸۶. آب مغناطیسی پدیده‌ای نو در ارتقاء بهره‌وری آب. ماهنامه علمی تخصصی کشاورزی زیتون. ۹: ۱۸۳-۱۰۹.
- لیاقت، ع.، پورغلام آمیجی، م. و مشهوری‌نژاد، پ. ۱۳۹۷. اثر آبیاری سطحی و زیرسطحی با آب شور و مالچ بر عملکرد و بهره‌وری آب ذرت و توزیع املاح در خاک. آب و خاک. ۳۲ (۴): ۶۷۴-۶۶۱.
- نیکبخت، ج. و رضایی، ا. ۱۳۹۶. تأثیر سطوح مختلف پساب و آب مغناطیسی شده بر عملکرد و بهره‌وری آب در آبیاری ذرت و برخی خصوصیات فیزیکی خاک. تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۸ (۱): ۷۵-۶۳.
- Ahangari Hassas, M. and Taghizadegan Kalantari, N. 2022. The energy-water-food nexus: Concept, challenges and prospects. *Journal of Energy Management and Technology*. 6(1): 9-14.
- Algozari, H. and Yao, A. 2006. Effect of the magnetizing of water and fertilizers on some chemical parameters of soil and growth of maize (MSc thesis). Baghdad (Iraq): University of Baghdad.
- Asgari, K., Solimani, A., and Najafi P. 2008. Effects of treated urban wastewater on grain yield index and its components in sunflower plant under different irrigation treatments. *Iranian Water Research Journal*. 2(2): 45-52.
- Belyavskaya, N. A. 2004. Biological effects due to weak magnetic field on plants. *Advances in Space*

- and Esmaelian, Y. 2010b. Effect of Treated Wastewater Combined with Various Amounts of Manure and Chemical Fertilizers on Nutrient Content and Yield in Corn. *Journal of water and wastewater*. 21(3): 37-44.
- Yinan, Y., Yuan, L., Yongqing, Y. and Chunyang, L. 2005. Effect of seed pretreatment by magnetic field on the sensitivity of cucumber (*Cucumis sativus*) seedlings to ultraviolet-B radiation, *Environmental Experimental Botany*. 54: 286-294.
- Rusan, M. J. M., Hinnawi, S. and Rousan, L. 2007. Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. *Desalination*. 215: 143-152.
- Tavassoli, A., Ghanbari, A., Amiri, E. and Paygozar, Y. 2010a. Effect of municipal with manure and fertilizer on yield and quality characteristics of forage in corn. *African Journal of Biotechnology*. 9(17): 2515-2520.
- Tavassoli, A., Ghanbari, A., Heydari, M., Paygozar, Y.

## The Effect of Irrigation with Treated Magnetic Effluent on Water Productivity of Maize

M. Pourgholam-Amiji<sup>1\*</sup>, M. Khoshravesh<sup>2</sup>, L. Divband Hafshejani<sup>3</sup>, A. Ghadami Firouzabadi<sup>4</sup>

Received: Oct.06, 2021

Accepted: Dec.17, 2021

### Abstract

Water scarcity, the reduction of very high costs for the development of new water resources and the protection of the environment necessitate the use of unconventional water in agriculture. These waters include two main groups of effluents and saline waters, the direct use of which causes environmental problems and soil pollution. One of the ways in which water and soil can be improved and the total amount of water used for irrigation can be reduced is the use of magnetic water technology, which increases crop yield per unit volume of water used. In this study, the effect of using treated magnetic effluent on maize water productivity 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. The results showed that the effect of irrigation type and water and wastewater mixing on biological, physical, wet and dry forage productivity was significant. On average, irrigation with magnetic effluent significantly increased biological (10.33%), physical (9.35%), wet forage (10.07%) and dry forage (11.49%) productivity compared to non-magnetic effluent. Also, all the mentioned parameters increased with increasing the percentage of effluent used in irrigation. Using magnetic technology, effluent can be used to increase the productivity of maize.

**Keywords:** Biological Productivity, Magnetic Water, Soil and Water Remediation, Treated Effluent, Water and Effluent Mixing

- 
- 1- Ph.D. Candidate, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
  - 2- Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
  - 3- Assistant Professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
  - 4- Assistant Professor, Department of Agricultural Engineering Research, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Hamedan, Iran
- (\* - Corresponding Author Email: Mpourgholam6@ut.ac.ir)