نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۶، جلد ۱۶، بهمن - اسفند ۱۴۰۱، ص. ۱۱۱۱-۱۰۹۸

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.6, Vol. 16, Feb.-Mar. 2023, p. 1098-1111

مقاله علمی-پژوهشی

اثر نوع آبیاری با ترکیب فاضلاب تصفیه‌شده و آب شور بر جذب برخی فلزات سنگین در دانه جو

علی شهیدی[1*]، عباس خاشعی سیوکی[2]، حسین باقری[3]، علی افشین[4]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۱۴

چکیده

کمی منابع آب و بارندگی از جمله مشکلات پیش‌روی کشاورزی در مناطق گرم و خشک بوده که آبیاری مدیریت شده با آب‌های نامتعارف موجود در هر منطقه جز راه‌حل‌های کارآ در این خصوص می‌باشد. لذا، هدف پژوهش حاضر، بررسی اثر سطح آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده و آب شور بر تجمع آلومینیوم، منگنز و آرسنیک در دانه جو رقم گوهران است. عوامل آزمایش شامل سطح آبیاری (۱۰۰، ۷۰ و ۵۰٪ نیاز آبی) و نوع آب (آبیاری جداگانه، اختلاط‌شده و یکی در میان با فاضلاب تصفیه‌شده و آب شور چاه) در سه تکرار بود. آماده‌سازی زمین و کشت دانه‌های جو در سال زراعی ۱۳۹۸ در اراضی کشاورزی تصفیه‌خانه فاضلاب شهر بیرجند انجام گرفته و پس از رسیدن محصول، دانه‌های جو جداسازی و هضم شده و غلظت منگنز، آلومینیوم و آرسنیک آن اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که غلظت آرسنیک جو در تمامی تیمارها ناچیز بوده و دامنه تغییرات منگنز بین ۶۸/۴ و ۹۶/۵ و آلومینیوم آن بین ۳۹ تا ۱۱۵/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده که منطبق بر استاندارد خوراک دام است. در این راستا، غلظت منگنز و آلومینیوم در تیمار آبیاری یکی‌درمیان به‌ترتیب ۷۹/۴ و ۵۳/۷ و در تیمار آبیاری اختلاطی ۷۸/۳ و ۵۲/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده که تفاوت معنی‌داری بین آن‌ها در سطح آماری ۵ درصد مشاهده نشد. به‌طور کلی، سطح آبیاری و نوع آب اثر معنی‌داری بر جذب منگنز و آلومینیوم در دانه جو نداشته و آبیاری یکی درمیان و اختلاطی با فاضلاب تصفیه‌شده و آب شور موجب کاهش تجمع فلزات سنگین در دانه جو گردید ($p<0.05$). کم‌آبیاری در تمامی تیمارها موجب افزایش تجمع منگنز و در تمامی تیمارها به جز آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده و آبیاری یکی‌درمیان سبب افزایش جذب آلومینیوم در دانه گردید. با تغییر رژیم آبیاری از ۵۰٪ نیاز آبی به ۱۰۰٪، نقش شوری آب در تجمع فلزات کاهش و نقش مواد آلی فاضلاب تصفیه‌شده افزایش یافت. نتایج این مطالعه به لحاظ اثر گذاری سطح آب آبیاری و مثبت بودن آبیاری یکی در میان و اختلاطی با فاضلاب تصفیه‌شده و آب شور در کاهش تجمع فلزات سنگین در دانه جو، به‌عنوان دو راه‌کار مدیریتی کم هزینه، راهنمای مناسبی در استفاده ایمن از این آب‌های نامتعارف در کشاورزی است."

واژه‌های کلیدی: آب‌های نامتعارف، ، آبیاری یکی در میان، اختلاط منابع آب، فلزات سنگین، کم‌آبیاری

مقدمه

کمبود منابع آب با کیفیت، کمبود بارش و پراکندگی نامناسب آن متاثر از عوامل انسانی و تغییر اقلیم و هزینه بالای تصفیه آب موجب کاهش امنیت غذایی، وسعت کشاورزی، عملکرد محصولات و درآمد کشاورزان در عمده مناطق شده است (یزدان‌پناه و همکاران، ۱۳۹۰؛ رحمانی و همکاران، ۱۳۹۷). مطابق برخی گزارشات، دو سوم جمعیت کره زمین تا سال ۲۰۵۰ با مشکل کمبود آب مواجه شده که تغییرات اقلیمی پیش‌رو اوضاع را بدتر خواهد نمود (UNESCO, 2020 ; Wang et al., 2022). لذا، فعالیت‌های کشاورزی می‌بایست سازگار و منطبق با تغییرات محیطی در جهت حفظ ظرفیت تولید متناسب با رشد جمعیت و ثبات در تولید محصولات ضروری باشد. در این راستا، جو به‌عنوان یکی از چهار غله مهم در دنیا در کنار گندم، برنج و ذرت به‌جهت خوراک دام و انسان جایگاه ویژه‌ای در کشاورزی کشور دارد (پاک‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۶). مطابق آمار سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰، بعد از گندم، جو با ۱۳/۹ درصد سطح زیرکشت، دومین محصول با

۱- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب و عضو گروه پژوهشی آبهای نامتعارف، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
۲- استاد گروه علوم و مهندسی آب و عضو گروه پژوهشی آبهای نامتعارف، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
۳- عضو هیئت علمی گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
۴- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: ashahidi@birjand.ac.ir
DOR: 20.1001.1.20087942.1401.16.6.3.0

بیشترین میزان تولید در کشور بوده که مبین اهمیت حفظ سطح زیرکشت و پایداری در تولید آن است (آمارنامه کشاورزی، ۱۴۰۱).

کاربرد منابع آب نامتعارف موجود از قبیل فاضلاب تصفیه‌شده خانگی و صنعتی، شورابه‌های تصفیه‌خانه‌های آب و آب‌های شور موجود در کشاورزی به‌عنوان یک راه‌کار می‌تواند جبران‌کننده و جایگزین بخشی از کمبود آب در حوزه کشاورزی و کمک‌کننده در تامین احتیاجات غذایی باشد (سرگلزایی و مرادقلی، ۱۳۹۴؛ قائدی و همکاران، ۱۳۹۵؛ دهقانی فیروزآبادی و همکاران، ۱۳۹۶؛ یزدانی و همکاران، ۱۳۹۶؛ ذوقی و دوستی، ۱۳۹۸). منظور از فاضلاب تصفیه‌شده همان فاضلاب خامی است که با گذر از یک سیستم تصفیه مثل برکه های تثبیت یا لجن فعال، بخشی از ترکیبات آن مثل مواد آلی، ذرات معلق و میکروب ها به صورت فیزیکی و یا شیمیایی از بخش سیال آن جدا و تصفیه می‌گردد. در زمینه کاربرد فاضلاب تصفیه‌شده در کشاورزی، حدود ۲۰ میلیون هکتار معادل ۱۰٪ از اراضی زراعی تحت آبیاری کره زمین، با فاضلاب آبیاری شده که اخیرا تا ۵۰ درصد افزایش یافته است (Goyal, 2016; Thebo et al., 2017). مطابق سالنامه آماری شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور برای پوشش جمعیت شهری ۵۲/۶۴ درصد، حجم فاضلاب جمع‌آوری‌شده در سال ۱۳۹۹ برابر ۵/۷ میلیون مترمکعب در شبانه‌روز بوده (شهراب، ۱۴۰۰) که عمدتا پس از تصفیه در اراضی کشاورزی پایین‌دست تصفیه‌خانه‌ها به‌جهت آبیاری محصولات خوراکی و غیرخوراکی نظیر جو، پنبه، ذرت، یونجه و گندم مورد استفاده قرار می‌گیرد (جلالی و همکاران، ۱۳۸۹؛ ذوقی و دوستی، ۱۳۹۸؛ روزبه و همکاران، ۱۴۰۰).

سوال مهم در خصوص آبیاری با فاضلاب، اطمینان از سلامت محصولات متاثر از عوامل بیماری‌زا به‌ویژه فلزات سنگین و انتخاب نوع گیاه بسته به مصارف صنعت، خوراک انسان و یا تعلیف دام است. در این زمینه، ارزیابی فلزات سنگین به‌علت متنوع بودن، تفاوت در میزان سمیت آن‌ها و تجمع در بافت گیاهان و جانداران همواره یک معضل کشاورزی و اجتماعی بوده که در مطالعات مختلفی دنبال شده است (خالدیان و رضائی، ۱۳۹۶؛ افخمی و همکاران، ۱۴۰۰؛ روزبه و همکاران، ۱۴۰۰). این فلزات عمدتا مس، سرب، کروم، روی، کادمیم، آرسنیک، آهن، منگنز، کبالت، آلومینیوم، جیوه، نیکل و قلع بوده (Muchuwetia et al., 2006؛ عالی‌نژادیان و همکاران، ۱۳۹۲) که مطالعات در خصوص تجمع آلومینیوم، منگنز و آرسنیک در گیاهان زراعی به‌ویژه جو معدود است (کریمی و همکاران، ۱۳۹۵؛ برکی وندی و همکاران، ۱۳۹۶؛ ذوقی و دوستی، ۱۳۹۸).

انباشت بیش از حد فلزات منگنز، آلومینیوم و آرسنیک در گیاهان سبب مسمومیت، کاهش جذب آهن و تولید کلروفیل، افت رشد دیواره سلولی، کاهش وزن گیاه، اختلال در فرآیندهای متابولیکی، جذب مواد غذایی و افت رشد گیاه و در بدن انسان موجب بیماری منگانیسم، اختلالات عصبی، تضعیف بافت استخوان، عوارض قلبی و مختل شدن سیستم گوارش می‌گردد (زاهدی اصل، ۱۳۸۲؛ شکوهی و همکاران، ۱۳۸۶؛ زرگری و همکاران، ۱۳۹۹). جهت کاهش عوارض تجمع فلزات سنگین در گیاهان و جانداران، علاوه بر ایجاد استانداردهای محافظه‌کارانه و پایش کیفی محصولات، محققان همواره دنبال ارزیابی راه‌کارهای مختلف شامل کشت گونه‌های کم‌آب‌بر، تغییر مقدار آب آبیاری، اختلاط منابع آب و آبیاری یکی درمیان با منابع مختلف هستند (قائدی و همکاران، ۱۳۹۵؛ خالدیان و رضائی، ۱۳۹۶؛ کریمی و همکاران، ۱۳۹۷؛ روزبه و همکاران، ۱۴۰۰). نتایج مطالعه لیاقت و اسماعیلی (۱۳۸۲) نشان‌دهنده کاهش ۲۹ درصدی عملکرد دانه ذرت تحت آبیاری با اختلاط آب شور (EC=۷/۳dS/m) و آب شیرین (EC=۰/۷ dS/m) است. بوزوگان اختلاط فاضلاب تصفیه‌شده با دیگر منابع آب به‌جهت کاهش عوارض فاضلاب تصفیه‌شده در آبیاری اراضی را پیشنهاد کردند (Bozdoğan, 2015). آسولین و همکاران با اختلاط فاضلاب تصفیه‌شده با آب کشاورزی در سه نسبت مختلف، کاهش تعرق و قطر تنه گیاهان متاثر از افزایش نرخ کاربرد فاضلاب تصفیه‌شده را گزارش کردند (Assouline et al., 2020). بالخیر و همکاران بیان کردند که اختلاط فاضلاب تصفیه‌شده با آب زیرزمینی سبب کاهش تجمع فلزات سنگین در بادنجان گردید (Balkhair et al., 2014). تصمیم‌گیری در مورد فرآیند اختلاط فاضلاب تصفیه‌شده با دیگر منابع آب جهت کاهش عوارض آن و تقلیل تجمع فلزات سنگین در گیاهان، نیازمند افزایش آگاهی و انجام مطالعات میدانی است. در این راستا، تغییرات شوری و مقادیر مواد آلی محلول و معلق در منابع آب اختلاطی از عوامل کنترل‌کننده انتقال فلزات سنگین به‌درون گیاه است (Wiatrowska and Komisarek, 2019; Li et al., 2016; Taghipour and Jalali, 2019). نتایج فرمانی‌فرد و همکاران (۱۳۹۵) نشان‌دهنده افزایش دوبرابری تجمع منگنز در دانه جو و ذرت تحت آبیاری با فاضلاب تصفیه شده است. تجمع معنی‌دار منگنز و آرسنیک در دانه سه ژنوتیپ‌های جو با نام‌های لوت، MSB-87-12 و افضل در استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده یزد نیز گزارش شده است (یزدانی و همکاران، ۱۳۹۶).

مقدار آب یا سطح آبیاری یکی از راهکارهای آسان امکان کاربرد فاضلاب تصفیه‌شده در آبیاری و یک عمل پرکاربرد در مناطق کم‌آب به‌جهت صرفه‌جویی و حفظ منابع آب است. در این زمینه، زمانی و همکاران (۱۳۸۶) اثرات توام سطح آبیاری (۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵٪ نیاز آبی گیاه) و میزان شوری (۱/۴، ۴/۵ و ۹/۶ دسی‌زیمنس بر سانتی‌متر) را بر عملکرد گندم در دشت بیرجند مطالعه نموده و کاهش ۵۱ درصدی عملکرد دانه در تیمارهای کم‌آبیاری ۵۰٪ و آب با بیشترین شوری را گزارش کردند. باقری و زارع ابیانه (۱۳۹۶) کاهش

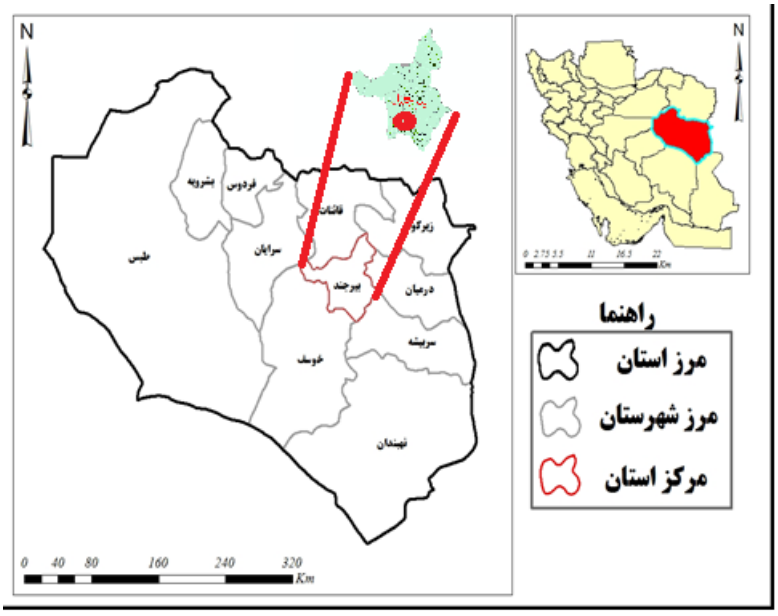
نرخ آبیاری را دلیل کاهش حجم آلودگی وارده به خاک و کند شدن حرکت جبهه آلودگی در خاک دانستند. دهقانی‌سانیچ و همکاران (۱۳۹۷) نقش میزان آب آبیاری بر تجمع نمک در خاک را بررسی کرده و بیان کردند که کم‌آبیاری در مقایسه با ۱۰۰٪ نیاز آبی موجب کاهش شوری خاک گردید. زارع میرک‌آباد و همکاران (۱۳۹۷) اثر رژیم آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده را بررسی کرده و بیان کردند که کم‌آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده در مقایسه با آب معمولی تاثیر کمتری بر کاهش عملکرد ذرت داشت. همچنین، معصومی و همکاران (۱۳۹۳) به این نتیجه رسیدند که جهت دست‌یابی به عملکرد ذرت بیشتر نیاز به آبیاری کامل نبوده و با کم‌آبیاری متناوب نیز می‌توان به حداکثر عملکرد رسید. لال و همکاران ضمن مطالعه اثر کم‌آبیاری با فاضلاب بر تجمع فلزات سنگین در چمن معطر، افزایش تجمع فلزات سنگین در گیاه تحت آبیاری کامل با فاضلاب و کاهش تجمع فلزات در شرایط کم‌آبیاری را گزارش کردند (Lal et al., 2013). همچنین، کم‌آبیاری در ۸۰٪ ظرفیت زراعی سبب کاهش ۱۶ تا ۴۶ درصدی فلزات سنگین در گیاه ذرت گردید (Mirzaei et al., 2020).

وجود چندین منابع آب نامتعارف از قبیل فاضلاب تصفیه‌شده و آب شور در یک منطقه می‌تواند پتانسیل کشت محصولات چندمنظوره و مقاوم به شوری مثل جو را با مدیریت آبیاری ایجاد کند. در اینجا، مسئله اصلی کاهش تجمع فلزات سنگین در دانه جو با روش‌های مختلف آبیاری از جمله کم‌آبیاری، اختلاط منابع آب، آبیاری یکی درمیان با منابع مختلف و یا آبیاری با یک منبع آب است. اگرچه در این زمینه مطالعات مختلفی روی برخی گونه‌های گیاهی انجام شده اما به‌رغم دشواری تعمیم نتایج آن‌ها به هر منطقه متاثر از تاثیر اقلیم و بارندگی بر نیاز آبی گیاه و شست‌وشوی فصلی فلزات سنگین خاک، تفاوت در گونه‌های گیاهی کشت‌شده و کیفیت منابع آب دردسترس؛ مطالعه‌ای در خصوص ارزیابی تجمع آلومینیوم، آرسنیک و منگنز در دانه جو رقم گوهران در شرایط توام کم‌آبیاری با ترکیب منابع آب شور و فاضلاب تصفیه‌شده انجام نشده است. لذا، هدف مطالعه حاضر بررسی اثر سطح آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده و آب شور به‌صورت جداگانه، مخلوط شده و آبیاری یکی در میان بر انباشت منگنز، آلومینیوم و آرسنیک در دانه جو رقم گوهران است.

مواد و روش‌ها

مشخصات جغرافیایی محل مطالعه

این پژوهش در اراضی تصفیه‌خانه فاضلاب شهر بیرجند با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۶ دقیقه شرقی در ارتفاع ۱۴۹۱ متر از سطح دریا انجام شد. موقعیت استان خراسان جنوبی و شهرستان‌های استان ونیز محل استقرار تصفیه خانه فاضلاب بیرجند در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت استان خراسان جنوبی و شهرستان‌های استان و محل استقرار تصفیه خانه فاضلاب بیرجند

مشخصات تصفیه‌خانه فاضلاب شهر بیرجند و منابع آب موجود

طرح تصفیه‌خانه شهر بیرجند طی ۲ فاز (مدول ۱: روش برکه‌های تثبیت بیولوژیکی و مدول ۲: روش لجن فعال) اجرا و در حال بهره‌برداری می‌باشد. البته در این طرح از خروجی تصفیه‌شده فاضلاب مدول ۱ استفاده شده زیرا به دلیل زمان ماند بالا (حدود ۳۰ روز) از نظر کیفی به استانداردهای کشاورزی نزدک‌تر می‌باشد اما

خروجی مدول ۲ گرچه کدورت کمتری دارد اما به دلیل زمان ماند کم (۸ ساعت) از نظر بیولوژیکی و وجود پاتوژن‌ها فعلا برای کشاورزی استفاده نمی‌شود. در طراحی مدول ۱، جمعیت مبنای طرح ۶۴۰۰۰ نفر با فاضلاب تولیدی ۱۲۰ لیتر بر ثانیه در نظر گرفته شده که در سال ۱۳۸۴ به بهره‌برداری رسید. در سال زراعی مطالعه (۱۳۹۸) با پوشش ۷۱ درصدی جمعیت شهر، میزان فاضلاب خام ورودی به تصفیه‌خانه ۱۹۱/۲ لیتر بر ثانیه و مقدار فاضلاب تصفیه‌شده خروجی برابر ۱۶۵ لیتر بر ثانیه بود. مساحت مجموع برکه‌ها در عمق مفید ۱۶ هکتار بوده که به‌جهت کاهش معضلات بیولوژیکی فرآیند تصفیه و بو، سیستم هوادهی در کف برکه‌های اختیاری نصب گردید. شکل (۲) تصاویر تصفیه خانه فاضلاب بیرجند را در دو بخش مذکور نشان می‌دهد.

شکل ۲- تصفیه خانه فاضلاب بیرجند (a: مدول ۱روش برکه‌های تثبیت بیولوژیکی و b: مدول ۲ روش لجن فعال)

در اراضی پایین‌دست و اطراف تصفیه‌خانه، باغات و مزارع متعددی وجود داشته که با افزایش حجم فاضلاب تصفیه‌شده تولیدی به وسعت آن‌ها افزوده شده و عمده محصولاتشان یونجه، پنبه و جو است. تصفیه‌خانه فاضلاب شهر بیرجند دارای دو فاز برکه‌های تثبیت بیولوژیکی و لجن فعال بوده که پژوهش حاضر با استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده خروجی برکه‌های تثبیت انجام گرفت. در این روش تصفیه، فاضلاب خام ورودی با گذر از برکه‌های بی‌هوازی، اختیاری و تکمیلی تصفیه شده و به‌عنوان یک منبع آب در آبیاری کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. منبع دیگر آب آبیاری، آب چاه‌های کشاورزی بوده که به‌علت شوری بالای آن، کشاورزان منطقه به صورت جداگانه یا اختلاط‌شده با فاضلاب تصفیه‌شده در راستای کاهش عوامل بیماری‌زای احتمالی و تنظیم طول دوره رشد گیاه متاثر از تجربه چندین ساله‌شان، آن را جهت آبیاری محصولات کشاورزی استفاده می‌کنند. ویژگی‌های منابع آب آبیاری موجود و استانداردهای کیفیت آب کشاورزی در جدول (۱) آمده است. مطابق آن، EC و pH با EC متر و pH متر، میزان اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی (BOD[1]) و اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD[2]) به‌ترتیب با BOD متر و اسپکتروفتومتر (UV-Vis SP[3]) و فلزات سنگین با دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی (AAS[4]) (Analytikjena, Contr AA700) تعیین شدند (حمیدیان و احمدی ممقانی، ۱۳۹۸).

مطابق جدول (۱)، میزان EC آب چاه (آب شور) و فاضلاب تصفیه‌شده به‌ترتیب ۵/۸ و ۲/۸ دسی‌زیمنس بر متر بوده که نسبت به استاندارد فائو، نشان‌دهنده شوری بالای آب چاه کشاورزی در مقابل فاضلاب تصفیه‌شده است. همچنین، مقادیر pH، BOD، COD و فلزات سنگین در محدوده استاندارد فائو و سازمان محیط زیست ایران است.

روش اجرای آزمایش

قبل از انجام آزمایشات مزرعه‌ای، نمونه‌های مرکب خاک از عمق ۰-۳۰ سانتیمتری جمع‌آوری شده که پس از هواخشک کردن، ذرات آن از الک شماره ۱۰ عبور داده شده و ویژگی‌های آن اندازه‌گیری که در جدول (۲) ارائه شده است. در این راستا، بافت و اندازه ذرات به‌روش هیدرومتری (Kroetsch and Wang, 2008)، چگالی ظاهری با سیلندر نمونه‌برداری (Hao et al., 2008)، ماده آلی به‌روش والکی-بلک (Walkley and Black,1934)، EC و pH به‌ترتیب با EC متر و pH متر تعیین شد (Rowell, 1996).

1- Biochemical oxygen demand
2- Chemical oxygen demand
3- Ultraviolet-visible (UV-Vis) spectrophotometer
4- Atomic absorption spectrophotometer

جدول ۱- برخی خصوصیات آب چاه و فاضلاب تصفیه‌شده و استانداردهای کیفی آب کشاورزی

منبع آب	EC (dS/m)	pH (-)	BOD (mg/L)	(mg/L) COD	Al (mg/L)	Mn (mg/L)	As (mg/L)
آب چاه (آب شور)	۵/۸	۷/۹	۱۷/۷	۱۸/۷	–	–	–
فاضلاب تصفیه‌شده	۲/۸	۸/۱	۸۴	۱۷۴	–	۰/۰۶۲	۰/۰۱۴
حد مجاز فائو	۳	۸-۶/۵	–	–	۵	۰/۲	۰/۱
حد مجاز سازمان محیط زیست	–	۸/۵-۶	۱۰۰	۲۰۰	۵	۱	۰/۱

جدول ۲- خصوصیات خاک مورد آزمایش

اندازه ذرات خاک (٪)			بافت خاک	چگالی ظاهری (gr/cm^3)	ماده آلی (٪)	EC (dS/m)	pH (-)	Al (mg/kg)	Mn^* (mg/kg)	As^* (mg/Kg)
شن	سیلت	رس								
۲۷	۴۰	۳۳	لومی رسی	۱/۵	۰/۴	۵/۵	۷/۵	–	۳۸۳/۳	۲/۴۱

*Karimi et al., (2020)

جهت انجام آزمایش مطابق شکل (۳)، قطعه زمین موردنظر شخم‌زنی، تسطیح و کرت‌بندی شد. در این راستا، زمین به سه بلوک مجزا که هر بلوک دارای ۱۲ کرت به ابعاد ۲×۲ متر مربع بوده تقسیم‌بندی شده که طرح آزمایشی آن، کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بود. درون مزرعه، بلوک‌ها به فاصله یک متر و کرت‌ها به فاصله نیم متر جانمایی شدند تا اثرات متقابل حاشیه‌ای حذف گردد. جهت کشت گیاه، دانه جو رقم گوهران با شجره Rhn-03//L.527/NK1272 از ژنوتیپ‌های جو دریافتی از ایکاردا به‌علت مقاوم بودن به گرما و خشکی و تطابق بیولوژیکی با اقلیم خشک و نیمه‌خشک دشت بیرجند انتخاب شد. پس از کشت بذرها، آبیاری با آب شور چاه (SW) و فاضلاب تصفیه‌شده (TWW) به سه صورت جداگانه، مخلوط ۱:۱ (SWTWW) و آبیاری یکی درمیان با منابع آب مذکور (SW/TWW) در سطوح آبیاری کامل ۱۰۰٪، کم‌آبیاری ۷۰٪ و کم‌آبیاری ۵۰٪ به‌درون کرت‌ها انجام شد. نماد تیمارهای مورد استفاده با توجه به نوع آب آبیاری و سطوح آبیاری SW100، SW70، SW50، TWW100، TWW70، TWW50، SWTWW100، SWTWW70، SWTWW50، SW/TWW100، SW/TWW70 و SW/TWW50 بوده که بخش حروف لاتین آن‌ها نشان‌دهنده نوع آب آبیاری و بخش اعداد آن مبین سطح تامین نیاز آبی گیاه یا همان سطح آبیاری است. جهت محاسبه نیاز آبی گیاه جو در این منطقه به‌کمک داده‌های هواشناسی و بارندگی، از رابطه فائو پنمن-مانتیس در برنامه Cropwat 8.0 استفاده گردید که مطابق معادله (۱) است. همچنین، برای محاسبه مقدار آب آبیاری معادله (۲) به‌کار گرفته شد.

$$ET_c = k_c \times \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma\left(\frac{900}{T+273}\right)u_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (۱)$$

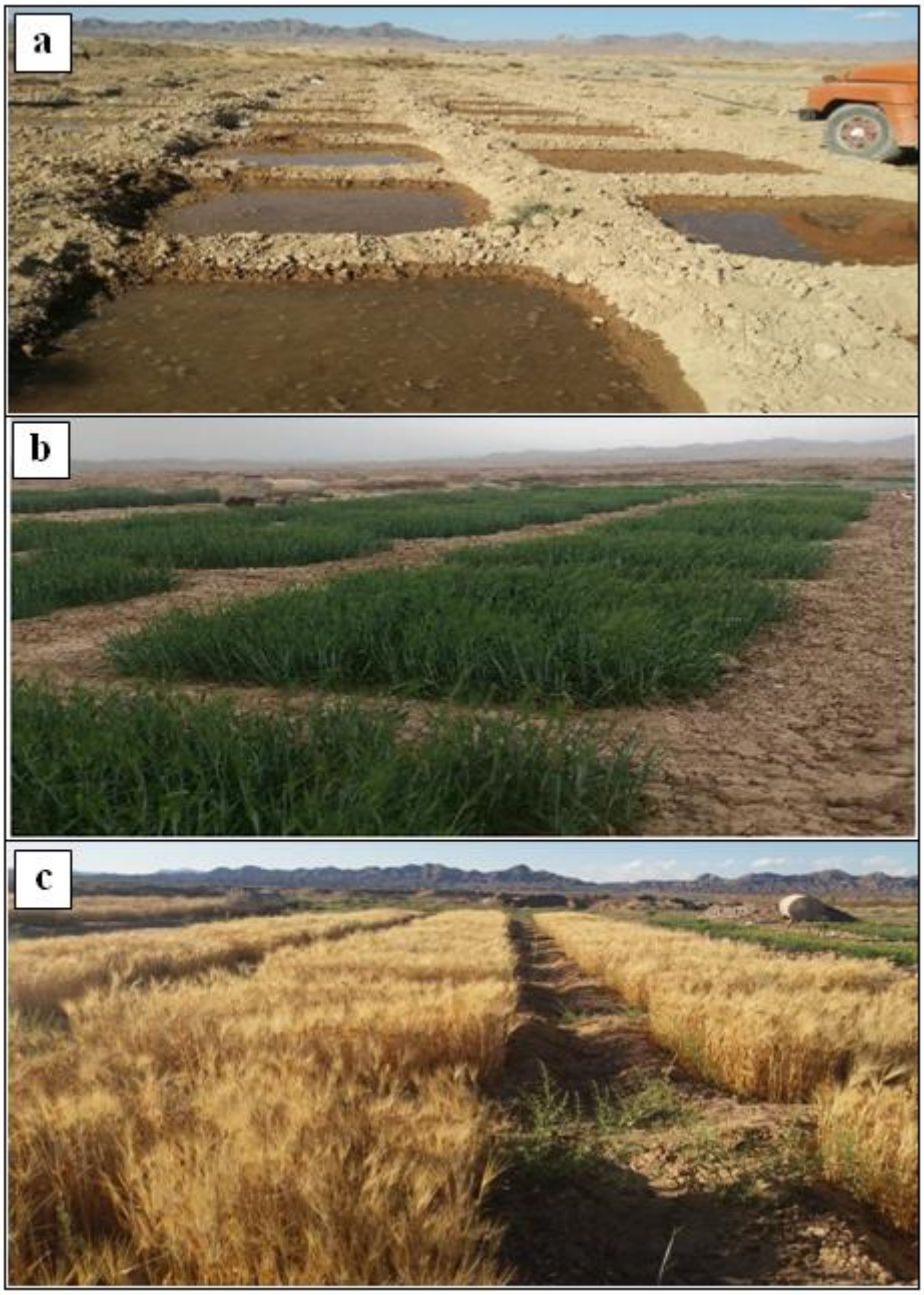
$$WL = \frac{C}{100}.ET_c - R \quad (۲)$$

که در آن ET_c و k_c به‌ترتیب تبخیر و تعرق گیاه (mm/day) و ضریب گیاهی (-)، Δ شیب منحنی فشار بخار ($KPa/^0C$)، R_n تابش خالص در سطح پوشش گیاهی ($MJ/m^2.day$)، شار گرما به داخل خاک ($MJ/m^2.day$)، T دمای هوا (^0C)، γ ضریب رطوبتی ($KPa/^0C$)، u_2 سرعت باد در ارتفاع دومتری (m/s)، e_s-e_a کمبود فشار بخار در ارتفاع دومتری (KPa)، R مقدار بارندگی (mm) و C ضریب مربوط به سطح آبیاری که برای ۱۰۰٪ آبیاری کامل برابر ۱۰۰، ۷۰٪ کم‌آبیاری برابر ۷۰ و ۵۰٪ کم‌آبیاری برابر ۵۰ است. دور آبیاری بر اساس دور آبیاری سنتی منطقه تنظیم شده که تعداد آبیاری در حالت آبیاری کامل، کم‌آبیاری ۷۰٪ و کم‌آبیاری ۵۰٪ به‌ترتیب ۱۲، ۹ و ۷ روز بود.

مشخصات و آنالیز دانه جو

پس از پایان دوره رشد و رسیدگی کامل گیاه، بوته‌های جو از نقاط مختلف هر کرت در پایان اردیبهشت‌ماه برداشت شده و بخش دانه آن از کاه و کلش جدا گردید. جهت تعیین غلظت فلزات سنگین در دانه جو، عملیات هضم اسیدی انجام شد که طی آن، نمونه‌های هواخشک شده جو به‌کمک اسید پرکلریک ۷۲٪ و اسید نیتریک ۶۵٪ با نسبت ۱/۵ به ۵، تجزیه شیمیایی و حل گردید (فرهادی و همکاران، ۱۳۹۵). سپس، محلول نهایی جهت شفاف‌سازی از کاغذ فیلتر شماره ۰/۴۲ واتمن عبور داده شده و غلظت فلزات آلومینیوم، منگنز و آرسنیک آن توسط دستگاه جذب اتمی (Analytikjena, Contr AA700) اندازه‌گیری شد. آنالیز آماری اثر عوامل نوع آب و سطح آبیاری به‌صورت طرح کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بر تجمع فلزات سنگین در دانه جو در محیط

SPSS انجام گردید که نشان‌دهنده عدم معنی‌داری عوامل بـر تجمـع فلزات بود. لذا، مقایسه میانگین‌ها جهت بررسی تفـاوت آمـاری مقـدار فلزات متاثر از ترکیب عوامل فوق‌الذکر به‌کمک آزمـون یـک طرفـه دانکن انجام در سطح آماری ۵٪ گرفت.

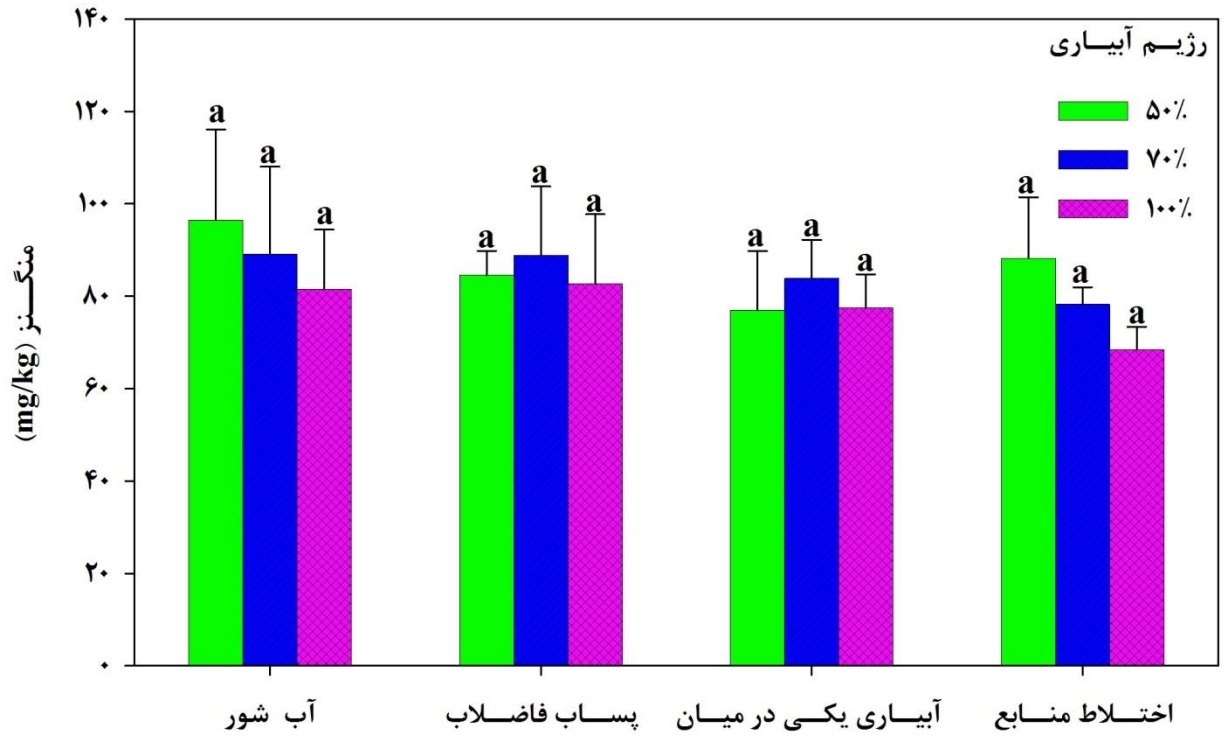


شکل ۳ – نحوه جانمایی کرت‌ها در زمین در مراحل آبیاری (a)، رشد (b) و رسیدن محصول (c)

نتایج و بحث

اثر سطح آبیاری بر تجمع فلزات سنگین در دانه جو

اثـر متقابـل نـوع آب و سـطح آبیـاری بـا آب شـور و فاضـلاب تصفیه‌شده بر مقدار منگنـز و آلومینیـوم تجمـع‌یافتـه در دانـه جـو در شکل‌های (۴) و (۵) آمده است. به‌علاوه، اثرات مستقل عوامل مـذکور بر تجمع منگنز، آلومینیوم و آرسنیک دانه جو در جدول (۳) ارائه شـده است. میزان منگنـز دانـه جـو در دامنـه ۶۸/۴ و ۹۶/۵ میلـی‌گـرم بـر کیلوگرم متغیر بوده که منطبق بر استاندارد خوراک دام است.



شکل ٤- اثر منابع آب و رژیم آبیاری بر مقدار منگنز در دانه جو

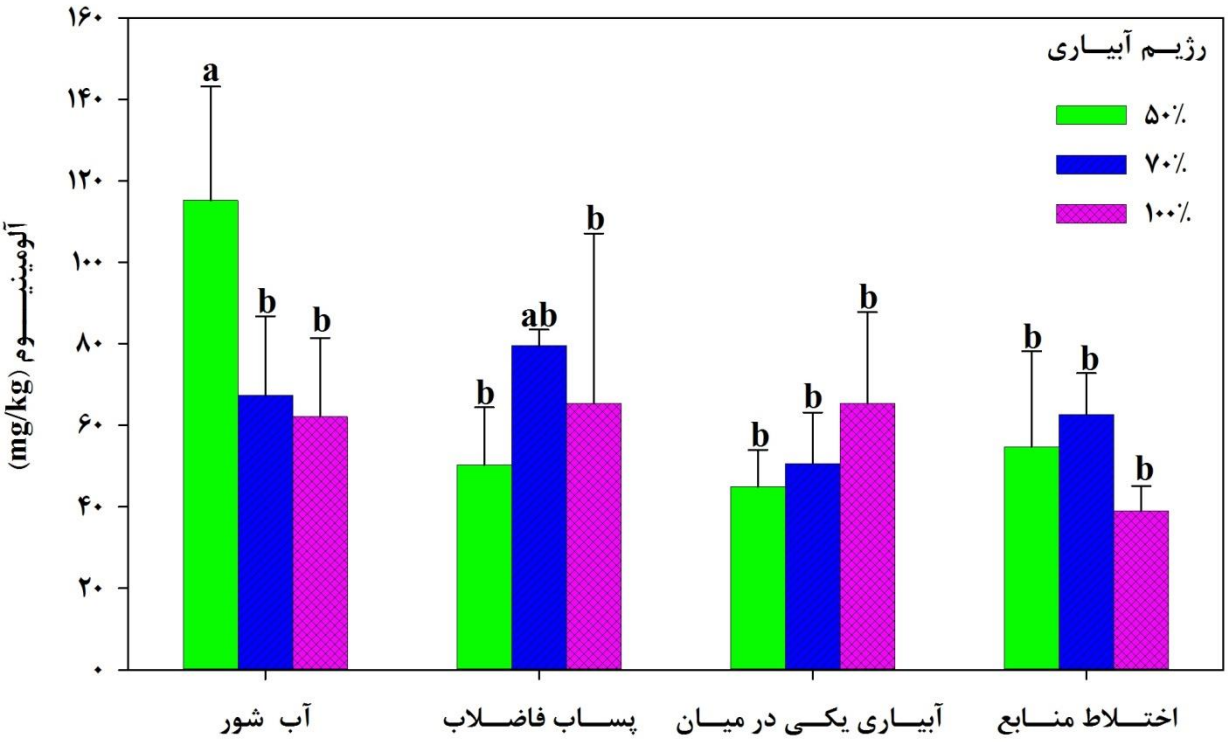
بیشترین و کمترین میزان منگنز در تیمار کم‌آبیاری ۵۰٪ با آب شور و آبیاری کامل با اختلاط آب شور و فاضلاب تصفیه‌شده مشاهده شده که از لحاظ آماری تفاوت مقادیر آن‌ها معنی‌دار نیست. میزان هم‌پوشانی قابل‌توجه نوارهای خطا[1] در تیمارهای مختلف نیز نشان‌دهنده این وضعیت معنی‌داری آماری است (شکل ۴). در همچنین، دامنه تغییرات مقادیر آلومینیوم دانه متاثر از عوامل آزمایش بین ۳۹ تا ۱۱۵/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده که در محدوده ایمن و مجاز برای خوراک دام است. در این موارد، برای خوراک انسان استانداردی تعریف نشده است (Codex, 2014). بر اساس مقایسه میانگین‌ها در شکل (۴)، مقدار آلومینیوم جذبی در کرت تحت ۵۰٪ کم‌آبیاری با آب شور برابر ۱۱۵/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده که به‌لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با تمامی تیمارها به‌جز ۷۰٪ کم‌آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده دارد. در همین راستا، کمترین مقدار آلومینیوم در تیمار آبیاری کامل با اختلاط فاضلاب تصفیه‌شده و آب شور دیده شد.

به‌رغم اثرگذاری غیرمعنی‌دار عوامل نوع آب و رژیم آبیاری بر مقدار منگنز و آلومینیوم جذبی (جدول شکل ۴ و ۵ و جدول ۳)، هرگونه کاهش تجمع فلزات سنگین در بافت گیاهان به‌دلیل پایداری بالا در محیط‌زیست، سمیت برای خود گیاهان و جانداران و خاصیت تجمعی آن‌ها حائز اهمیت بوده و یک تدبیر ارزشمند در درازمدت است. مطابق شکل (۴)، با افزایش سطح آبیاری، میزان جذب منگنز کاهش یافت، که به‌سبب آن در تیمار آبیاری کامل در مقایسه با کم‌آبیاری ۵۰٪، کاهش ۱۰/۵ درصدی مشاهده گردید (جدول ۳). سطح آبیاری متاثر از نوع آب بر جذب آلومینیوم در تیمارهای مختلف نتیجه متفاوتی داشت (شکل ۵). به‌طوری‌که متاثر از آبیاری کامل در تیمارهای SW و SWTWW به‌علت رقیق شدن غلظت املاح خاک در آب با شوری بیشتر و متاثر از کم‌آبیاری ۵۰٪ در تیمارهای TWW و SW/TWW ناشی از کاهش بار نمک و مواد غذایی وارده به خاک، جذب آلومینیوم حداقل گردید. به‌علاوه، نتیجه کلی مشابه تجمع منگنز، نشان‌دهنده کاهش ۱۲/۵ درصدی تجمع آلومینیوم در دانه جو متاثر از افزایش سطح آبیاری تا ۱۰۰٪ آبیاری کامل است (جدول ۳). از مهمترین دلایل افزایش تجمع برخی فلزات متاثر از کم‌آبیاری، تغلیظ املاح در محیط ریشه در شرایط تنش آبی، افزایش حجم ریشه گیاه و افزایش سطح تماس ریشه با سطوح ذرات خاک بوده که موجب جذب بیشتر املاح و فلزات سنگین توسط ریشه و تجمع آن‌ها درون بافت گیاه گردید (Oliveira et al., 2015; Barbosa and Barbosa, 1996). بالعکس، زهتابیان و همکاران (۱۳۸۵) کاهش نمک خاک‌های زراعی در شرایط آبیاری کامل با آب شور را ناشی از آبشویی و زهکشی املاح به پایین منطقه ریشه دانستند. فلاحتی

1 Error bars

مروست و همکاران (۱۳۹۲) بیان داشتند که افزایش شوری آب‌خاک متاثر از کم‌آبیاری علاوه بر کاهش عملکرد گیاه سبب تغلیظ املاح در بافت گیاهان است. یوآن و همکاران نیز تشدید شوری خاک زیر کشت ذرت در شرایط کم‌آبیاری را گزارش کردند (Yuan et al., 2019). خالدیان و رضائی (۱۳۹۶) افزایش میزان هوای خاک و ایجاد فرصت بیشتر جهت واکنش اکسیداسیون را دلیلی بر تجمع بیشتر برخی فلزات سنگین در دانه برنج در وضعیت کم‌آبیاری معرفی کردند. با این وجود، کاهش مقدار نمک خاک تحت کشت درخت خرما نیز تحت تاثیر کاهش سطح آبیاری مشاهده شده است (علی‌حوری و همکاران، ۱۳۹۴).

طبق جدول ۳، مقادیر جذبی آرسنیک در دانه جو توسط دستگاه غیرقابل تشخیص بوده که مبین ناچیز بودن آن است. انیل بیان داشت که تجمع آرسنیک در اکثر گیاهان به‌علت مسمومیت و مرگ گیاهان متاثر از آن اندک است (O'Neill, 1995). طبق برخی مطالعات، عمدتا آرسنیک در ریشه گیاهان تجمع پیدا کرده و انتقال آن به بخش‌های هوایی گیاهان کم است (Abedin et al., 2002; Shaibur et al., 2008; Simmler et al., 2016; Dradrach et al., 2020). نتایج مطالعه احراری (۱۳۹۳) نیز نشان‌دهنده ناچیز بودن و غیرقابل تشخیص بودن میزان آرسنیک جذبی در یونجه تحت آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده شهر بیرجند بود.



شکل ۵- اثر منابع آب و رژیم آبیاری بر مقدار آلومینیوم در دانه جو

اثر نوع آب آبیاری بر تجمع فلزات سنگین در دانه جو

مطابق شکل (۴)، در تیمار آبیاری کامل، کم‌آبیاری ۷۰٪ و کم‌آبیاری ۵۰٪، به‌ترتیب آبیاری با TWW، SW و SW بیشترین و آبیاری با SWTWW، SWTWW و SW/TWW کمترین تجمع منگنز را سبب شده که تفاوت معنی‌داری در سطح آماری ۵٪ بین آن‌ها مشاهده نشد. به‌همین ترتیب، در تیمار آبیاری کامل، کم‌آبیاری ۷۰٪ و کم‌آبیاری ۵۰٪، به‌ترتیب آبیاری با TWW-SW/TWW، TWW و SW بیشترین و آبیاری با SWTWW، SW/TWW و SW/TWW کمترین تجمع آلومینیوم در دانه جو را موجب شده که تنها بین تیمار SW50 و مابقی تیمارها به‌جز TWW70 تفاوت معنی‌دار است. (شکل ۵). نتیجه اثر مستقل نوع آب نیز مبین کاهش غیرمعنی‌دار تجمع منگنز در تیمار SW/TWW و SWTWW و تجمع معنی‌دار آلومینیوم در همین تیمارها در مقایسه با آب شور است (جدول ۳). لذا، به‌طور کلی تیمارهای SWTWW100، SWTWW70 و SW/TWW50 برای منگنز و تیمارهای SWTWW100، SW/TWW70 و SW/TWW50 برای آلومینیوم حداقل تجمع را سبب شده (شکل‌های ۴ و ۵) و اختلاط و آبیاری یکی در میان موجب کاهش ۷-۱۲٪ منگنز و ۱۸-۳۶٪ آلومینیوم شد (جدول ۳). ضمنا، نتایج برخی مطالعات نشان‌دهنده کاهش تجمع

فلزات سنگین در گیاه سورگوم و جو متاثر از آبیاری یکی در میان با آب شور و فاضلاب تصفیه‌شده است (جلالی و همکاران، ۱۳۸۹؛ یزدانی و همکاران، ۱۳۹۶). کاربرد آبیاری یکی در میان با فاضلاب تصفیه‌شده و آب معمولی، به‌طور معنی‌داری غلظت منگنز آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده اختلاطی با آب کشاورزی در مقایسه با آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده تنها نیز موجب کاهش جذب سرب و کادمیم در گیاه بادرنجبویه گردید (علی‌نژاد جهرمی و همکاران، ۱۳۹۱). تعدیل غلظت فلزات سنگین در آبیاری یکی درمیان و اختلاطی و کاهش شوری آب به‌نسبت آب شور جز مهمترین عوامل موثر بر این تغییرات است. همچنین در این خصوص اثرپذیری عملکرد گیاه و دانه از کیفیت فاضلاب تصفیه‌شده و شوری آب چاه از دیگر مولفه‌های موثر بر مقادیر فلزات سنگین دانه است (افشین، ۱۳۹۸). نتایج ژو و همکاران مبین افزایش جذب منگنز در شرایط شور متاثر از تغییر مولفه‌های عملکرد گیاه است (Zhou et al., 2019). طبق نتایج شارما و همکاران، pH، رطوبت و میزان مواد غذایی در دسترس جزء عوامل تعیین‌کننده تجمع فلزات در گیاهان است (Sharma et al., 2007). لذا، کاهش پتانسیل اسمزی بین آب خاک و آب ریشه گیاه در شرایط اختلاط منابع آب و آبیاری متناوب و تغلیظ مواد مغذی خاک نسبت به آب شور موجب کاهش عمده فلزات سنگین در جو گردید. طبق نظر برخی محققان، تزریق مواد آلی محلول به‌درون خاک مشابه آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده و کاهش اسیدیته آب موجب افزایش تجمع فلزات درون گیاهان شده (Nan et al., 2002; Mojiri and Aziz, 2011; Chen et al., 2015; Li et al., 2016; Wiatrowska and Komisarek, 2019)، که این نتیجه در تیمارهای آبیاری کامل و کم‌آبیاری ۷۰٪ قابل مشاهده است.

تجمع بیشتر منگنز در دانه جو تحت آبیاری با آب شور در مقایسه با فاضلاب تصفیه‌شده به‌علت تغییر شرایط فیزیولوژیکی گیاه در شرایط شور هم‌راستا با جذب املاح و فلزات سنگین توسط بافت گیاهان و کاهش عملکرد است (فلاحتی مروست و همکاران، ۱۳۹۲). بر خلاف نتایج مطالعه حاضر، نتایج برخی گزارشات مبین افزایش تجمع فلزات سنگین گیاه در شرایط آبیاری با فاضلاب تصفیه در مقابل آب کشاورزی بوده که یکی از عوامل تفاوت آن پایین بودن میزان شوری آب معمولی در مقایسه با فاضلاب است (فرمانی‌فرد و همکاران، ۱۳۹۵؛ یزدانی و همکاران، ۱۳۹۶). به‌طوری که، در مطالعه فرمانی‌فرد و همکاران (۱۳۹۵) کاربرد فاضلاب تصفیه‌شده (EC=۱/۷ dS/m) در مقایسه با آب معمولی (EC=۰/۹۶ dS/m) سبب تجمع دوبرابری منگنز در دانه جو و ذرت شده و در گزارش یزدانی و همکاران، (۱۳۹۶)، تجمع معنی‌دار منگنز و آرسنیک در دانه چند رقم جو تحت آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده یزد (EC=۱/۶۷ dS/m) در مقابل آب معمولی (EC=۰/۸ dS/m) بیان شده است. به‌علاوه، عدم تفاوت معنی‌دار بین غلظت فلزات سنگین دانه گیاهان تحت آبیاری با فاضلاب و آب شیرین در مطالعه‌ای گزارش شد (Koottatep et al., 2006). به‌عنوان یک نتیجه جالب، با تغییر رژیم آبیاری از ۵۰٪ نیاز آبی به ۱۰۰٪، نقش شوری آب چاه در تجمع فلزات کم‌اثر شده و در مقابل تاثیر مواد آلی فاضلاب تصفیه‌شده بر تجمع فلزات در دانه جو افزایش یافت.

جدول ۳- اثر مستقل رژیم آبیاری و نوع آب بر تجمع منگنز، آلومینیوم و آرسنیک در دانه جو

عوامل		Mn (mg/kg)	Al (mg/kg)	As (mg/kg)
نوع آب	آب شور	۸۹/۰^{a}	۸۱/۶^{a}	غ.ت*
	فاضلاب تصفیه‌شده	۸۵/۴^{a}	۶۵/۱^{ab}	غ.ت
	آبیاری یکی در میان	۷۹/۴^{a}	۵۳/۷^{b}	غ.ت
	اختلاط آب‌ها	۷۸/۳^{a}	۵۲/۱^{b}	غ.ت
رژیم آبیاری	٪۵۰	۸۶/۶ ^{a}	۶۶/۳ ^{a}	غ.ت
	٪۷۰	۸۵/۰ ^{a}	۶۵/۰ ^{a}	غ.ت
	٪۱۰۰	۷۷/۵ ^{a}	۵۸/۰ ^{a}	غ.ت
حد مجاز خوراک انسان**	–	–	–	۰/۵
حد مجاز خوراک دام***	–	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۸

*: غیرقابل تشخیص بودن توسط دستگاه، **: Codex (2014)، ***: Codex (1983)

نتیجه‌گیری

هدف مطالعه حاضر بررسی اثر سطح و نوع آب آبیاری با منابع فاضلاب تصفیه‌شده و آب شور (به‌تنهایی یا به‌صورت اختلاط شده و یکی درمیان) بر جذب فلزات سنگین آلومینیوم، منگنز و آرسنیک در دانه جو رقم گوهران بود. دانه جو به‌لحاظ تجمع فلزات سنگین با توجه به استانداردهای موجود، مشکلی برای تعلیف دام نداشت. با توجه به نتایج، لزوما، آبیاری با آب چاه‌های کشاورزی در مقابل فاضلاب تصفیه‌شده متضمن سلامت محصولات کشاورزی نبوده و چه‌بسا متاثر از برخی عوامل نظیر شوری بالا با تغییر وضعیت

فیزیولوژیکی گیاه و رشد آن موجب تغلیظ فلزات سنگین در گیاهان گردید. آبیاری یکی در میان و اختلاطی آب شور و فاضلاب تصفیه‌شده، توانست به‌مقدار قابل توجهی منگنز و آلومینیوم را در دانه جو کاهش دهد. اگرچه عوامل آزمایش اثر غیرمعنی‌داری بر جذب فلزات سنگین در دانه جو نداشته، با این وجود به‌دلیل خاصیت تجمعی و سمیت فلزات سنگین، کاهش آن‌ها تحت تاثیر روش‌های مختلف مثل روش‌های فوق‌الذکر علاوه بر کاربردی‌بودن، یک رویکرد زیست‌محیطی ارزشمند در دراز مدت بوده و موجب افزایش سطح سلامتی جوامع انسانی و جانوری می‌گردد.

منابع

احراری، ف. ۱۳۹۳. مقایسه غلظت فلزات سنگین در گیاهان زراعی آبیاری شده با آب و فاضلاب تصفیه شده (مطالعه موردی: تصفیه خانه فاضلاب شهرستان بیرجند). پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی منابع طبیعی-محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

افخمی، م.، امیری، ف. و طباطبایی، ط. ۱۴۰۰. اثر آبیاری با پساب تصفیه‌شده شهری بر انباشت سرب و کادمیوم در خاک و گیاه فلفل دلمه‌ای. سلامت و محیط زیست. ۱۴ (۱):۱۱۴-۹۹.

افشین، ع. ۱۳۹۸. بررسی مدیریت آبیاری و فاضلاب تصفیه‌شده شهری بر عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه جو (رقم گوهران). پایان‌نامه کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند.

آمارنامه کشاورزی. ۱۴۰۱. گزارش سطح، تولید و عملکرد محصولات زراعی در سال زراعی ۱۴۰۰- ۱۳۹۹. جلد اول. مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات جهاد کشاورزی. ۰-۹۸.

باقری، ح.، و زارع ابیانه، ح. ۱۳۹۶. شبیه‌سازی انتقال سدیم و نیترات در خاک اصلاح شده با ورمی‌کمپوست تحت رژیم‌های مختلف آبیاری. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۱ (۵): ۸۸۸-۸۸۹.

برکی وندی، ن.، اردکانی، س.س. و چراغی، م. ۱۳۹۶. تعیین شاخص مخاطرهٔ سلامت تجمع عناصر آرسنیک، آلومینیم، روی و مس در گیاهان دارویی بادرنجبویه و گل گاوزبان مصرفی شهر همدان. مجله علمی - پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی سبزوار. ۲۴ (۴): ۲۶۵-۲۷۱.

پاک‌نژاد، ف.، فاطمی ریکا، ز.، و ایلکایی دهنو، م.ن. ۱۳۹۶. بررسی اثر تنش آخر فصل بر عملکرد و اجزاء عملکرد ده رقم جو در منطقه کرج. تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۱۰ (۳): ۳۹۱-۴۰۱.

جلالی، ع.، گلوی، م.، قنبری، ا.، رمرودی، م. و یوسف الهی، م. ۱۳۸۹. اثر آبیاری با فاضلاب تصفیه شده شهری بر عملکرد و جذب فلزات سنگین در سورگوم علوفه‌ای (*Sorghum bicolor L.*). مجله علوم آب و خاک. ۱۴ (۵۲): ۱۵-۲۵.

حمیدیان، ا.ح. و احمدی ممقانی، ی.ع. ۱۳۹۸. کیفیت آب (مفاهیم، نمونه برداری و آنالیز). انتشارات دانشگاه تهران.

خالدیان، م. و رضایی، م. ۱۳۹۶. تاثیر آبیاری با آب رودخانه زرجوب بر تجمع عناصر سنگین در دانه برنج. مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۱۱(۴): ۶۱۸-۶۲۵.

دهقانی فیروزآبادی، ع.، زارعی محمودآبادی، ه. و احرامپوش، م.ح. ۱۳۹۶. بررسی استفاده مجدد از پساب شهرک‌های صنعتی جهت مصارف کشاورزی و آبیاری (مطالعه موردی: تصفیه خانه شهرک صنعتی جهان آباد میبد). طلوع بهداشت. ۱۶ (۳) :۵۵-۴۶.

دهقانی‌سانیج، ح.، حاجی آقابزرگی، ح.، و قائمی، ع.ا. ۱۳۹۷. تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری بر توزیع شوری در خاک تحت سیستم آبیاری قطره‌ای زیر سطحی. مدیریت آب و آبیاری. ۸ (۱): ۱۵-۲۵.

ذوقی، م.ج. و دوستی، م.ر. ۱۳۹۸. بررسی تجمع فلزات سنگین در گیاهان آبیاری شده با آب چاه و فاضلاب تصفیه شده ی شهر بیرجند. مجله مهندسی بهداشت محیط. ۷ (۲) :۱۵۱-۱۳۵.

رحمانی، ص.، یزدان‌پناه، م.، فروزانی، م. و عبدشاهی، ع. ۱۳۹۷. بررسی باورها و راهبردهای سازگاری کشاورزان با شرایط کمبود آب و عوامل موثر بر آنها در شهرستان ممسنی. پژوهش آب در کشاورزی. ۳۲ (۲): ۳۲۱-۳۴۰.

روزبه، ن.، و خرم نژادیان، ش.، عاصمی زواره، س.، و صائب، ک. ۱۴۰۰. بررسی اثر آبیاری با فاضلاب شهری بر تجمع فلزات سنگین در گندم (مطالعه موردی: مزارع شهر ری). علوم و تکنولوژی محیط زیست, ۲۳ (۳): ۱۳۳-۱۴۷.

زارع میرک آباد، ر.، سهرابی، ت.، و متشرع زاده، ب. ۱۳۹۷. اثر کم آبیاری با فاضلاب تصفیه شده شهری بر عملکرد ذرت. تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۹ (۳): ۵۰۵-۵۱۴.

زاهدی اصل، ص. ۱۳۸۲. اثر سمی آلومینیوم. پژوهش در پزشکی. ۲۷ (۴): ۳۳۱-۳۴۱.

زرگری، ف.، پوراکبر، ل.، صالحی لیسار، س.ی.، رازقی، ج. و متفکرآزاد، ر. ۱۳۹۹. اثر سطوح مختلف آرسنات بر جوانه‌زنی، رشد و برخی مولفه‌های فیزیولوژیک گیاه یونجه (*Medicago sativa L.*). مجله علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۲ (۴۵): ۵-۲۳.

زمانی، غ.، کشکولی، ح.، شهیدی، ع.، و قریشی، س.غ. ۱۳۸۶. اثرات

شوری و رژیم‌های مختلف آبیاری بر عملکرد و درصد پروتئین دانه در دو رقم گندم. پژوهش کشاورزی. ۷ (۲): ۵۵-۶۵.

زهتابیان، غ.، سرداری مهرآباد، م. و سوری م. ۱۳۸۵. بررسی اثر آبیاری بر شور شدن خاک (مطالعه موردی: دشت یزد - اردکان). نشریه بیابان، ۱۱ (۱): ۱۹۷-۲۱۰

سرگلزایی، س. و مرادقلی، م. ۱۳۹۴. بررسی پارامترهای کمی و کیفی پساب تصفیه خانه آب زاهدان جهت نیاز به استفاده مجدد. همایش ملی مصرف بهینه آب در صنعت، چالش ها و راهکارها. آبان‌ماه، دانشگاه اصفهان.

شکوهی، خ. و قناتی، ف. ۱۳۸۷. تأثیر آلومینیوم بر کاهش رشد و تغییر در ترکیبات دیوارهء سلول‌های توتون. نشریه علوم دانشگاه خوارزمی. ۱۸ (۴۵): ۸۵۵-۸۶۴ .

شهراب، ۱۳۹۹. سالنامه اماری شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور سال ۱۳۹۹. دفتر برنامه‌ریزی و بودجه. ۲۴ (۶۶۹): ۰-۶۴.

عالی نژادیان، ا.، محمدی، ج.، کریمی، ا. و نیکوخواه، ف. ۱۳۹۲. تأثیر آبیاری با پساب شهری بر تجمع باکتری های شاخص آلودگی و برخی فلزات سنگین در خاک و گیاه. مجله پژوهش های سلولی و مولکولی. ۲۶ (۴): ۵۰۸-۵۲۳.

علی‌حوری، م.، ناصری، ع.ع.، برومندنسب، س. و کیانی، ع. ۱۳۹۴. اثر کم آبیاری و شوری آب آبیاری بر توزیع شوری خاک و رشد رویشی نهال‌های خرما. نشریه حفاظت منابع آب و خاک (علمی - پژوهشی). ۴ (۳): ۱-۱۳.

علی‌نژادجهرمی، ه.، محمدخانی، ع.، و صالحی، م.ح. ۱۳۹۱. تأثیر استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده شهری شهرکرد بر رشد، عملکرد و تجمع سرب و کادمیم در گیاه دارویی بادرنجبویه (*Melissa officinalis*). مجله علوم آب و خاک. ۱۶ (۶۰): ۱۷۳-۱۸۵.

فرمانی‌فرد، م.، قمرنیا، ه.، پیرصاحب، م. و فتاحی، ن. ۱۳۹۵. مطالعهٔ تجمع فلزات سنگین در محصولات مختلف تحت تأثیر آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شدهٔ شهری کرمانشاه. مدیریت آب و آبیاری. ۶ (۲): ۳۴۷-۳۶۵.

فرهادی، د.، اصغری، ح.، عامریان م.ر. و عباسپور، ع. ۱۳۹۵. بررسی تاثیر زئولیت و میکوریزا بر جذب عناصر غذایی و عملکرد ذرت علوفه ای رقم ۷۰۴. نشریه کشاورزی بوم شناختی. ۶(۲): ۱.

فلاحتی مروست، ع.، حسین پور، ع.، و طباطبایی، س.ح. ۱۳۹۲. اثر شوری و لجن فاضلاب بر فراهمی و جذب فلزات سنگین توسط گیاه جو. آب و خاک. ۲۷ (۵): ۹۸۵-۹۹۷.

قائدی، س.، افراسیاب، پ.، و لیاقت، ع. ۱۳۹۵. مقایسه‌ی روش‌های تلفیق آب شور و غیر شور در کشت سورگوم علوفه ای و توزیع شوری در نیمرخ خاک. علوم و مهندسی آبیاری. ۳۹ (۱): ۱۶۷-۱۷۹.

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

کریمی، ب.، عبدی، چ.، فتحی تیلکو، ز. و گویلیان، ه. ۱۳۹۵. تأثیر کاربرد فاضلاب تصفیه‌شده شهری بر میزان و الگوی تجمع برخی از فلزات سنگین در نیمرخ خاک زیر کشت ذرت و گوجه‌فرنگی. پژوهش آب در کشاورزی. ۳۰ (۱): ۸۹-۱۰۱.

لیاقت، ع.، و اسماعیلی، ش. ۱۳۸۲. تاثیر تلفیق آب شور و شیرین روی عملکرد و غلظت نمک در منطقه توسعه ریشه ذرت. علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۰ (۲): ۱۵۹-۱۷۰.

معصومی، س.ط.، رحیمی خوب، ع.، قربانی جاوید، م.، و نظری‌فر، م.ه. ۱۳۹۳. تأثیرکم آبیاری متناوب برعملکرد، اجزا عملکرد و بهره‌وری آب در ذرت دانه‌ای سینگل کراس-۷۰۴. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۸ (۴): ۸۱۰-۸۱۶.

یزدان پناه، م.، حیاتی، د. و زمانی، غ. ۱۳۹۶. کاربرد تئوری فرهنگی در واکاوی نگرش و فعالیتهای حفاظت از منابع آب: مورد مطالعه کارکنان سازمان جهاد کشاورزی استان بوشهر. علوم ترویج و آموزش کشاورزی ایران. ۱ (۳): ۶-۶۲.

یزدانی، ع.، صفاری، م. و رنجبر، غ. ۱۳۹۶. اثر آبیاری با فاضلاب شهری تصفیه‌شده بر عملکرد دانه و تجمع فلزات سنگین در دانه ژنوتیپ‌های جو (*Hordeum vulgare L.*). نشریه علوم زراعی ایران. ۱۹ (۴) :۲۹۶-۲۸۴.

Abedin, M.J., Cotter-Howells, J. and Meharg, A.A. 2002. Arsenic uptake and accumulation in rice (*Oryza sativa L.*) irrigated with contaminated water. Plant and Soil. 240:311–319.

Assouline, S., Kamai, T., Šimůnek, J., Narkis, K. and Silber, A. 2020. Mitigating the Impact of Irrigation With Effluent Water: Mixing With Freshwater and/or Adjusting Irrigation Management and Design. Water Resources Research. 56 (9): e2020WR027781.

Balkhair, K.S., El- Nakhlawy, F.S., Al-Solaimani, S., and Ismail, S.M. 2014. Effect of diluted wastewater and irrigation systems on the yield and contamination of vegetable crops in arid region. Journal of Food, Agriculture and Environment. 12 (2):579-586.

accumulation in lemon grass (*Cymbopogon flexuosus*) under varied wastewater–groundwater irrigation regimes. Industrial Crops and Products. 45:270–278.

Li, R., Zhou, Z., Xie, X., Li, Y., Zhang, Y. and Xu, X. 2016. Effects of Dissolved Organic Matter on Uptake and Translocation of Lead in Brassica chinensis and Potential Health Risk of Pb. International Journal of Environmental Research and Public Health. 13 (7):687.

Mirzaei, F., Fathi, E., Parsinejad, M., Motesharezadeh, B. and Ahmadi, P. 2020. Effects of full and limited irrigation and contaminated soil on cadmium uptake by corn. Desert. 25 (1):33–40.

Muchuwetia, M., Birkettb, J., Chinyangaa, E., Zvauyaa, R., Scrimshawc, M., and Lester, J.N. 2006. Heavy metal content of vegetables irrigated with mixtures of wastewater and sewage sludge in Zimbabwe: Implications for human health. Agricultural Ecosystem Environment. 112:41-48.

Nan, Z., Zhao, C., Li, J., Chen, F. and Sun, W. 2002. Relations between soil properties and selected heavy metal concentrations in spring wheat (*Triticum Aestivum L.*) grown in contaminated soils. Water, Air, and Soil Pollution. 133(1–4):205–213.

Oliveira, V.S., Lima, A.M.N., Salviano, A.M., Bassoi, L.H. and Pereira, G.E. 2015. Heavy Metals and Micronutrients in the Soil and Grapevine Under Different Irrigation Strategies. Revista Brasileira de Ciência Do Solo. 39 (1):162–173.

O'Neill, P. 1995. Arsenic. p. 105-121. In B.J. Alloway (ed.): Heavy Metals in Soils. Blackie Academic & Professional, London, U.K.

Rowell, D.L. 1996. Soil Science: Methods and Applications; Longman Scientific and Technical: Reading. Massachusetts, USA.

Shaibur, M.R., Kitajima, N. and Sugawara, R. 2008. Critical toxicity level of arsenic and elemental composition of arsenic induced chlorosis in hydroponic sorghum. Water, Air and Soil Pollution. 191:279–292.

Sharma, R.K., Agrawal, M. and Marshall, F. 2007. Heavy metal contamination of soil and vegetables in suburban areas of Varanasi, India. Ecotoxicology and Environmental Safety. 66 (2):258–266.

Simmler, M., Suess, E., Christl, I., Kotsev, T. and Kretzschmar, R. 2016. Soil-to-plant transfer of arsenic and phosphorus along a contamination gradient in the mining-impacted Ogosta River floodplain. Science of The Total Environment. 572: 742–754.

Taghipour, M. and Jalali, M. 2019. Impact of some industrial solid wastes on the growth and heavy metal uptake of cucumber (*Cucumis sativus L.*)

Barbosa, D.C. and Barbosa, M.C.A. 1996. Crescimento e estabelecimento de plantas. In: Sampaio EVSB, Mayo SJ, Barbosa MRV, eds. Pesquisa botânica nordestina: Progresso e perspectivas. Recife: Sociedade Botânica do Brasil. 173:7.

Bozdoğan, E. 2015. Possible use of treated wastewater as irrigation water at urban green area. Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology. 3 (1):35-39.

Chen, W., Habibul, N., Liu, X.Y., Sheng, G. P. and Yu, H.Q. 2015. FTIR and synchronous fluorescence heterospectral two-dimensional correlation analyses on the binding characteristics of copper onto dissolved organic matter. Environmental Science and Technology. 49 (4):2052–2058.

CODEX. (1983). Report of the fifteenth session of the joint fao/who codex alimentarius commission. FAO/WWHO, Rome.

CODEX. (2014). Food Chemical CODEX. 9th. Pharmacopeial Convention, USA.

Dradrach, A., Karczewska, A., Szopka, K., and Lewińska, K. 2020. Accumulation of arsenic by plants growing in the sites strongly contaminated by historical mining in the sudetes region of poland. International Journal of Environmental Research and Public Health. 17: 3342.

Goyal, M.R. 2016. Wastewater Management for Irrigation: Principles and Practices. Apple Academic Press. the United States, New York.

Hao, X., Ball, B.C., Culley, J.L.B., Carter, M.R. and Parkin, G.W. 2008. Soil density and porosity. In: Carter, M., Gregorich, E. (Eds.), Soil Sampling and Methods of Analysis, 2nd ed. CRC Press, Taylor and Francis Group, London. 743–759.

Karimi, A., Naghizadeh, A., Biglari, H., Peirovi, R., Ghasemi, A. and Zarei, A. 2020. Assessment of human health risks and pollution index for heavy metals in farmlands irrigated by effluents of stabilization ponds. Environmental Science and Pollution Research. 27 (10):10317–10327.

Koottatep, T., Polprasert, C. and Hadsoi, S. 2006. Integrated faecal sludge treatment and recycling through constructed wetlands and sunflower plant irrigation. Water Science and Technology. 11: 155-164.

Kroetsch, D. and Wang, C. 2008. Particle size distribution. In: Carter, M., Gregorich, E. (Eds.), Soil Sampling and Methods of Analysis, 2nd ed. CRC Press, Taylor and Francis Group, London. Pp: 720–722.

Lal, K., Yadav, R.K., Kaur, R., Bundela, D.S., Khan, M.I., Chaudhary, M., … and Singh, G. 2013. Productivity, essential oil yield, and heavy metal

Integrative Agriculture. 21 (4): 1215-1224.

Wiatrowska, K. and Komisarek, J. 2019. Role of the light fraction of soil organic matter in trace elements binding. PLOS ONE. 14 (5):e0217077.

Yuan, Ch., Feng, Sh., Huo, Z. and Ji, Q. 2019. Effects of deficit irrigation with saline water on soil water-salt distribution and water use efficiency of maize for seed production in arid Northwest China. Agricultural Water Management. 212: 424-432.

Zhou, M., Engelmann, T. and Lutts, S. 2019. Salinity modifies heavy metals and arsenic absorption by the halophyte plant species Kosteletzkya pentacarpos and pollutant leaching from a polycontaminated substrate. Ecotoxicology and Environmental Safety. 30 (182): 109460.

under salinity stress. Ecotoxicology and Environmental Safety. 182:109347.

Thebo, A.L., Drechsel, P., Lambin, E.F. and Nelson, K.L. 2017. A global, spatially-explicit assessment of irrigated croplands influenced by urban wastewater flows. Environmental Research Letters. 12: 074008.

UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). 2020. The United Nations World Water Development Report 2020: Water and Climate Change. UNESCO. Paris, France.

Walkley, A. and Black, I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science. 37: 29–38.

Wang, H.J., Wang, J. and Yu, X. 2022. Wastewater irrigation and crop yield: A meta-analysis. Journal of

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.6, Vol. 16, Feb.-Mar. 2023, p. 1098-1111

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۶، جلد ۱۶، بهمن - اسفند ۱۴۰۱، ص. ۱۱۱۱-۱۰۹۸

Effect of Irrigation Water Type with Treated Wastewater and Saline Water Combination on Heavy Metals Contents in Barley Grain

A. Shahidi[1*], A. Khashei Siuki[2], H. Bagheri[3], A. Afshin[4]

Recived: Jul.23, 2022 Accepted: Sep.05, 2022

Abstract

Lack of water resources and rainfall are among the agricultural problems in hot and dry regions, which managed irrigation with available unconventional water in each region is one of the effective solutions in this regard. Therefore, the aim of the current research is study of the effects of irrigation water level using wastewater and saline water on accumulation of Al, Mn and As in barley grain of Goharan cultivar. The experimental factors are irrigation regimes (100, 70 and 50% of crop irrigation requirement) and method (alone, mixed and alternative irrigation) in three replications. Preparing the land and plant of barley grain were preformed in agricultural lands of wastewater treatment plant of Birjand, and after harvesting the plants, the grains were separated from the straw and were digested to be measured their Al, Mn and As contents. The results indicated that As content was negligible in all treatments, the variation range of Mn was in 68.4-96.5 mg/kg and the range of Al was in 39-115.2 mg/kg which indicated all elements were in safe range of livestock feed. In this regard, the concentrations of Mn and Al were 79.4 and 53.7 mg/Kg in alternative irrigation, and 78.3 and 52.1 mg/Kg in mixed waters, in which was not observed significant difference between them at statistical level of 5%. Overall, the irrigation regime and method had insignificant effects on Al, Mn and As sorption in the barley grain, and the alternative and mixed irrigation with wastewater and saline water decreased the accumulation of heavy metals in the barley grain ($P<0.05$). The Deficient irrigation increased Mn accumulation in all treatments, and increased Al accumulation in all treatments with the exception of TWW and SW/TWW. By changing the irrigation regime form 50% to 100%, the role of water salinity on metal accumulation was reduced, and the role of organic matter of wastewater on its accumulation was increased. The results of this study is a good guide in the safe use of these unconventional waters in agriculture, due to evaluating the irrigation water level and positive effects of mixed waters and alternative irrigation with treated wastewater on the reduction of heavy metal contents in the barley grain, as two low-cost management solutions.

Keywords: Unconventional waters, Heavy metals, Deficient irrigation, Alternative irrigation, Mixed water resources.

1- Associate Professor, Department of Water Science and Engineering and Member of the Unconventional Water Research Group, University of Birjand, Birjand, Iran
2- Professor, Department of Water Science and Engineering and Member of the Unconventional Water Research Group, University of Birjand, Birjand, Iran
3- Department of Water Science and Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran
4- Graduated from Master's degree, Department of Water Science and Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran
(*Corresponding author Email: ashahidi@birjand.ac.ir)