"مجله علوم زراعی ایران"
جلد نوزدهم، شماره ٤، زمستان ١٣٩٦

اثر آبیاری با فاضلاب شهری تصفیه شده بر عملکرد دانه و تجمع فلزات سنگین در دانه ژنوتیپ‌های جو (*Hordeum vulgare* L.)

Effects of irrigation with treated wastewater on grain yield and grain heavy metals content of barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes

عباسعلی یزدانی[1]، مهری صفاری[2] و غلامحسن رنجبر[3]

چکیده

یزدانی، ع. م. صفاری و غ.ح. رنجبر. ١٣٩٦. اثر آبیاری با فاضلاب شهری تصفیه شده بر عملکرد دانه و تجمع فلزات سنگین در دانه ژنوتیپ‌های جو (*Hordeum vulgare* L.). **مجله علوم زراعی ایران. ١٩(٤): ٢٩٦-٢٨٤.**

به منظور بررسی اثر آب فاضلاب تصفیه شده بر عملکرد دانه، اجزای عملکرد و تجمع فلزات سنگین در بذر ژنوتیپ‌های جو، یک آزمایش مزرعه‌ای به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی تصفیه خانه فاضلاب یزد در سال‌های ٩٥- ١٣٩٤ و ٩٦- ١٣٩٥ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل ١- آبیاری با آب فاضلاب در کل دوره رشد گیاه، ٢- آبیاری متناوب با آب فاضلاب و آب کشاورزی و ٣- آبیاری با آب کشاورزی در کل دوره رشد گیاه به عنوان کرت اصلی و سه ژنوتیپ جو (لوت، MSB-87-12 و افضل) به عنوان کرت فرعی بودند. نتایج نشان داد که بیشترین تعداد سنبله در واحد سطح در سال اول (٣٤٥ عدد) در ژنوتیپ MSB-87-12 و در سال دوم (٣٢٥ عدد) در رقم لوت و در شرایط آبیاری با آب فاضلاب به دست آمد. بیشترین تعداد دانه در سنبله (٥٨ و ٥٧ عدد به ترتیب در سال اول و دوم) و عملکرد دانه (٧٨٣٢ و ٧٠٦٩ کیلوگرم در هکتار به ترتیب در سال اول و دوم) در هر دو سال در رقم لوت که با آب فاضلاب آبیاری شده بود، به دست آمد. در هر دو سال آزمایش، برهمکنش بین تیمارها بر میزان عناصر کمیاب (آرسنیک، روی، منگنز، مس، آهن و سرب) در دانه‌های ژنوتیپ‌های جو معنی‌دار نبود. نتایج نشان داد که آبیاری گیاه جو با پساب تصفیه شده منجر به افزایش تجمع فلزات سنگین در دانه شد که البته مقادیر آن‌ها پایین‌تر از استانداردهای سازمان بهداشت جهانی بود. نتایج این آزمایش نشان داد که استفاده از آب فاضلاب تصفیه شده ضمن افزایش عملکرد دانه جو می‌تواند باعث صرفه‌جویی در هزینه‌های تامین و مصرف کودهای شیمیایی شود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، اجزای عملکرد، پساب تصفیه شده، جو و عناصر کمیاب

تاریخ دریافت: ١٣٩٦/٠٣/١٧ تاریخ پذیرش: ١٣٩٦/١٠/٢٦ این مقاله مستخرج از رساله دکتری نگارنده اول می‌باشد.

١- دانشجوی دکتری دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان (مکاتبه کننده) (پست الکترونیک: yazdani.abas@gmail.com)
٢- دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان
٣- استادیار مرکز ملی تحقیقات شوری یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.15625540.1396.19.4.2.4]

مقدمه

رشد روز افزون جمعیت جهان، همگام با گسترش فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی در جهت تامین مواد غذایی از یک سو و وقوع خشکسالی‌های پی در پی در سال‌های اخیر از سوی دیگر، باعث شده است که بهره‌برداری از منابع آب شیرین در اکثر کشورهای واقع در کمربند مناطق خشک به اوج خود رسیده و فشار زیادی به منابع آب وارد شود (Salehi *et al.*, 2008). ایران از جمله کشورهایی است که با محدودیت منابع آب شیرین مواجه است و در عین حال، برداشت آب از منابع آب زیرزمینی به مقدار زیادی صورت می‌گیرد. این موضوع باعث بروز بحران آب در دراز مدت خواهد شد. از راهکارهای مقابله با این بحران استفاده از منابع آب شور و نامتعارف (آب فاضلاب تصفیه شده)، بهبود مدیریت آبیاری، افزایش بهره‌وری آب و تغییر الگوی کشت است (Lazarova *et al.*, 2001). آب فاضلاب تصفیه شده یکی از منابع آب برای کشاورزی در اکثر مناطق خشک و نیمه خشک جهان مثل ایران به شمار می‌رود. در بسیاری از مناطق کشور ورود فاضلاب‌های تصفیه نشده به محیط باعث آلودگی رودخانه‌ها، آبهای زیرزمینی و مسیل‌های شهری گردیده است. یک از بهترین شیوه‌های دفع پساب فاضلاب، تصفیه و استفاده از آن در کشاورزی است (Kalavrouziotisa and Apostolopoulos, 2007). آب فاضلاب دارای مقادیر زیادی از عناصر غذایی است که در حالت معمول و در صورت ورود به آب‌های جاری باعث آلودگی آن می‌شود، درحالی که این مواد را می‌توان به صورت کود محلول جهت کشت و زرع و جنگل‌کاری مورد استفاده قرار داد (Madejon *et al.*, 2006)، بنابراین مصرف فاضلاب می‌تواند تا حد قابل ملاحظه‌ای اتکا به کودهای شیمیایی برای تولید محصول را کاهش داده و در عین حال باعث افزایش محصول گیاهان زراعی شود (Munir and Ayadi, 2005). تعدادی از محققان نیز نشان دادند که آبیاری با آب فاضلاب باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک گیاه آفتابگردان می‌شود (Safi-Naz and Shabaan, 2015). مواد غذایی موجود در آب فاضلاب شرایطی را برای رشد گیاهان فراهم می‌کند که بدون مصرف کودهای شیمیایی، باعث افزایش رشد رویشی و زایشی گیاه می‌شود (Esmailiyan *et al.*, 2008). یون و کوان (Yoon and Kwun, 2001) گزارش کردند که آبیاری با فاضلاب باعث افزایش قدرت پنجه زنی، طول ساقه، طول خوشه و تعداد سنبله در گیاه برنج شد. ایشان اظهار داشتند که عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در تیمار آبیاری با فاضلاب نسبت به سایر تیمارها افزایش معنی‌داری داشت و هیچ گونه اثر سوء ناشی از آبیاری با فاضلاب در گیاه مشاهده نشد. باحجب الماسی و باغ (Bahojb-Almasi and Bagh, 2014) نیز نشان دادند که دفعات آبیاری با آب فاضلاب باعث افزایش تعداد سنبله در واحد سطح در گندم می‌شود. علیزاده و همکاران (Alizadeh *et al.*, 2001) گزارش کردند که آبیاری با فاضلاب در تمام مراحل رشد گیاه منجر به حصول بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک گیاه ذرت شد. آب فاضلاب علاوه بر تغذیه مناسب گیاه، از طریق افزایش ماده آلی خاک و بهبود خصوصیات فیزیکی خاک نیز می‌تواند باعث افزایش رشد و عملکرد گیاهان شود (Castro *et al.*, 2011).

فاضلاب ممکن است بسته به منشاء آن، حاوی مقداری از مواد بالقوه مضر مانند فلزات سنگین و عوامل بیماری‌زا باشد که در خاک و سیستم‌های بیولوژیکی تجمع یافته و باعث ایجاد سمیت شود (Brar *et al.*, 2000; Sharma *et al.*, 2007). علی و همکاران (Ali *et al.*, 2010) گزارش کرده‌اندکه می‌توان از فاضلاب برای آبیاری اراضی کشاورزی استفاده کرد. با این حال، مدیریت مناسب در استفاده از چنین آب‌هایی و انتخاب گیاهانی که بتوانند اثرات زیانبار استفاده از فاضلاب را بر خصوصیات خاک و

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1396.19.4.2.4]

عملکرد محصول به حداقل برسانند، اهمیت بالایی دارد. گزارش شده است که آبیاری گیاهان زراعی با آب فاضلاب باعث افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک و گیاه می‌شود (Masona *et al.*, 2011). برخی از این فلزات مانند آهن، مس، روی و منگنز برای جانداران لازم بوده و از عناصر کم مصرف و ضروری برای تغذیه و رشد گیاهان، حیوانات و انسان محسوب می‌شوند و وجود غلظت‌های مناسبی از آنها در بافت‌های گیاهان نه تنها برای رشد و عملکرد مطلوب آنها، بلکه در زنجیره غذایی برای رشد و سلامتی حیوانات و انسان ضروری است (Bolan and Duraisamy, 2003). احتمال افزایش شوری خاک در صورت استفاده از آب فاضلاب در اراضی کشاورزی توسط برخی از پژوهشگران گزارش شده است (Castro, *et al.*, 2011)، بنابراین انتخاب گونه و رقم مناسب در شرایط آبیاری با آب فاضلاب اهمیت بالایی خواهد داشت.

با توجه به اینکه جو یکی از محصولات استرتژیک مهم کشور بوده و سالانه حجم زیادی از نیاز کشور از طریق واردات تامین می‌شود، هدف از اجرای این پژوهش، ارزیابی عملکرد دانه، اجزای عملکرد و میزان تجمع فلزات سنگین در دانه ژنوتیپ‌های جو در شرایط آبیاری با آب فاضلاب تصفیه شده بوده است.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر در دو سال زراعی (۹۵-۱۳۹۴ و ۹۴-۱۳۹۳) در مزرعه تحقیقاتی تصفیه‌خانه فاضلاب شهری یزد با مختصات طول جغرافیایی ۳۱ درجه و ۹۶ دقیقه شمالی و عرض ۵۴ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی و ۱۱۴۵ متر ارتفاع از سطح دریا اجرا شد. منطقه بر اساس سیستم طبقه‌بندی کوپن، دارای اقلیم گرم و خشک است. میانگین بارندگی در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳، به‌میزان ۵۱ میلی‌متر و در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ به میزان ۲۵ میلی‌متر بود. آزمایش به صورت کرت خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل آبیاری از سه منبع ۱- آبیاری با آب فاضلاب تصفیه شده در کل دوره رشد گیاه، ۲- آبیاری متناوب؛ یک دور با آب فاضلاب تصفیه شده و دور بعد با آب کشاورزی تا انتهای دوره رشد گیاه و ۳- آبیاری با آب کشاورزی در کل دوره رشد گیاه به مقدار یکسان و هر ۱۲ روز یک‌بار به‌عنوان کرت اصلی و سه ژنوتیپ جو (لوت، MSB-87-12 و رقم متحمل به شوری افضل) (Tadayon and Emam, 2007) به عنوان کرت فرعی در نظر گرفته شدند. پس از شخم زمین و تسطیح خاک، کرت‌هایی با ابعاد ۴ × ۳ متر ایجاد شدند. برای دستیابی به تراکم ۳۵۰ بوته در متر مربع، بذرها به طور یکنواخت در ردیف‌هایی به طول ۴ متر و با فاصله بین ردیف ۲۰ سانتی متر در تاریخ اول آبان در هر دو سال کاشته شدند. با توجه به نتایج تجزیه آب فاضلاب و غلظت بالای عناصر معدنی آن (جدول ۳)، در کرت‌هایی که فقط با آب کشاورزی در کل دوره رشد آبیاری می‌شدند، کود مصرف شد. قبل از دیسک زدن خاک، بر اساس نتایج آزمون خاک، ۳۰ کیلوگرم در هکتار مود فسفر (از منبع کود سوپر فسفات تریپل) و یک سوم کود نیتروژن مورد نیاز (۴۰ کیلوگرم نیتروژن خالص از منبع اوره) در مزرعه پخش و با خاک مخلوط شد. دو سوم باقی مانده کود نیتروژن (۸۰ کیلوگرم نیتروژن خالص) نیز در مرحله اواسط پنجه‌زنی بوته‌ها به صورت سرک به کرت‌ها اضافه شد. برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش، قبل از آماده سازی بستر کاشت و در پایان سال زراعی در هر دو سال آزمایش، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌های تصادفی از سطح مزرعه برداشته شد. نمونه‌ها پس از هواخشک کردن و عبور از الک دو میلی‌متری، جهت تجزیه‌های مکانیکی با روش هیدرومتری و اندازه‌گیری هدایت الکتریکی و اسیدیته عصاره آب خاک مورد استفاده قرار گرفتند. مقداری از نمونه‌های خاک جهت تهیه عصاره برای

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1396.19.4.2.4]

اندازه‌گیری محتوای فلزات سنگین به روش چهار اسید، استفاده شد (Baker and Amacher, 1982). بعد از آماده‌سازی نمونه‌های با استفاده از دستگاه طیف سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) (Agilent series 450, *AGILENT*, USA)، مقدار عناصر منگنز، روی، آهن و مس اندازه‌گیری شدند (جدول‌های ۱، ۲ و ۳). هر دو ماه یکبار نمونه‌هایی از فاضلاب تصفیه شده شهری تهیه و با استفاده از دستگاه طیف سنجی جرمی القایی، محتوای فلزات سنگین آن اندازه‌گیری شدند. میانگین میزان فلزات سنگین موجود در فاضلاب تصفیه شده طی هر دو سال و استانداردهای سازمان بهداشت جهانی (WHO)، سازمان خوار و بار جهانی (FAO) و محیط زیست ایران (IRNDOE) در ارتباط با مصرف آب فاضلاب در کشاورزی در جدول ۴ ارائه شده است. بعد از کاشت بذر ارقام جو در کرت‌های مورد نظر، آبیاری بر اساس تیمارهای آبی مورد نظر انجام شد. در هر دو سال آزمایش، محصول جو در ۱۵ خرداد برداشت شد. جهت اندازه‌گیری تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک، با در نظر گرفتن اثر حاشیه، نمونه‌هایی از سطح یک مترمربع از وسط هر کرت برداشته شد. مقادیری از بذرها جهت اندازه‌گیری فلزات سنگین (سرب، کادمیوم، منگنز، مس، روی، آهن و آرسنیک) به روش اضمحلال با اسید هیدروکلریک ، اسید نیتریک ، اسید پرکلریک و پراکسید هیدروژن و تهیه عصاره استفاده شد (Mihaylova *et al*., 2013). بعد از انجام آزمون همگنی واریانس، تجزیه واریانس داده‌ها به صورت تجزیه مرکب انجام شد و در مورد صفاتی که اثر سال در تیمارهای آزمایش معنی‌دار نبود، از میانگین دو سال برای مقایسات میانگین استفاده شد و برای صفاتی که اثر متقابل هر کدام از تیمارها در سال معنی‌دار بود، داده‌ها به تفکیک برای هر سال به صورت جداگانه، تجزیه واریانس شدند و مقایسات میانگین نیز به تفکیک هر سال صورت گرفت. جهت تجزیه واریانس داده‌ها از نرم افزار آماری SAS 9:0 و برای مقایسه میانگین‌ها از نرم افزار آماری MSTATC به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

جدول ۱ – خصوصیات شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1. Chemical properties of soil in experimental site

خصوصیات شیمیایی Chemical properties		مقدار Value
pH	اسیدیته	7.7
EC ($dS.m^{-1}$)	هدایت الکتریکی	5.7
N (%)	نیتروژن	0.009
P ($mg.kg^{-1}$)	فسفر	13
K ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم	92
Fe ($mg.kg^{-1}$)	آهن	6.14
Cu ($mg.kg^{-1}$)	مس	0.96
Zn ($mg.kg^{-1}$)	روی	2.73
Mn ($mg.kg^{-1}$)	منگنز	0.32

جدول ۲ – خصوصیات فیزیکی خاک محل اجرای آزمایش

Table2. Physical properties of soil in experimental site

خصوصیات فیزیکی Physical properties		مقدار Value
Sand (%)	شن	69
Silt (%)	سیلت	18
Clay (%)	رس	13
Texture	بافت	Loamy sand شنی لومی
Organic carbon (%)	کربن‌آلی	0.101

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1396.19.4.2.4]

جدول ۳ - خصوصیات شیمیایی خاک بعد از پایان سال اول و دوم آزمایش

Table 3. Chemical properties of soil after first and second years of experiment

		منبع آب آبیاری Irrigation water source					
		Fresh water آب کشاورزی		Waste water/Fresh water آب فاضلاب/ آب کشاورزی		Waste water آب فاضلاب	
		Year سال		Year سال		Year سال	
Properties	خصوصیات	۱۳۹۴ 2015	۱۳۹۵ 2016	۱۳۹۴ 2015	۱۳۹۵ 2016	۱۳۹۴ 2015	۱۳۹۵ 2016
EC ($dS.m^{-1}$)	هدایت الکتریکی	3.8	3.6	4.1	4	3.9	4
pH	اسیدیته	7.7	7.8	7.6	7.7	7.2	7
Organic carbon (%)	کربن آلی	0.11	0.13	0.165	0.145	0.25	0.31
N (%)	نیتروژن	0.008	0.009	0.014	0.016	0.022	0.027
P ($mg.kg^{-1}$)	فسفر	11	12.01	12.1	13.3	15.3	14.33
K ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم	92	80	100	121	221	242
Fe ($mg.kg^{-1}$)	آهن	5.55	6.2	6.66	7	8	8.21
Cu ($mg.kg^{-1}$)	مس	1	0.88	1.6	1.45	2.21	2.77
Zn ($mg.kg^{-1}$)	روی	2.65	2.38	2.88	2.92	4.2	3.73
Mn ($mg.kg^{-1}$)	منگنز	0.31	0.25	0.65	0.45	1.81	1.77

جدول ۴ – حداکثر حد مجاز استفاده از آب فاضلاب تصفیه شده برای مصارف کشاورزی بر اساس استانداردهای سازمان بهداشت جهانی، خوارو بار کشاورزی و محیط زیست ایران و میانگین خصوصیات شیمیایی آب شیرین و آب فاضلاب تصفیه شده مورد استفاده

Table 4. Maximum permissible limits for treated wastewater application in agriculture according to World Health Organization (WHO), Food and Agriculture Organization (FAO) and Iranian Department of Environment (IRNDOE) and the averages of chemical properties of fresh water and treated wastewater

		آب فاضلاب تصفیه شده Treated wastewater		استانداردهای آب فاضلاب برای کشاورزی Wastewater standards for agriculture (FAO, 1992; WHO, 2006)		
Properties خصوصیات	آب کشاورزی Fresh water	۱۳۹۴ 2015	۱۳۹۵ 2016	WHO	FAO	IRNDOE
EC ($dS.m^{-1}$) هدایت الکتریکی	0.8	1.6	1.67	< 3	< 3	-
pH اسیدیته	7.2	7.5	7.6	6 – 8.4	6.5 – 8.4	6 – 8.5
Nitrate ($mg.l^{-1}$) نیترات	5.21	14.5	12.5	5-30	5-30	10
Nitrite ($mg.l^{-1}$) نیتریت	0.003	1.2	1.5	5-30	-	10
Ammonium ($mg.l^{-1}$) آمونیوم	0.06	8.5	5.7	-	-	1
P ($mg.l^{-1}$) فسفر	0.06	2	2.1	4	4	6
K ($mg.l^{-1}$) پتاسیم	-	0.42	0.44	-	-	-
Fe ($mg.l^{-1}$) آهن	<0.02	0.186	< 0.1	5	5	3
Zn ($mg.l^{-1}$) روی	<0.01	0.157	< 0.1	2	2	2
Cu ($mg.l^{-1}$) مس	<0.01	< 0.1	< 0.1	0.2	0.2	0.2
Mn ($mg.l^{-1}$) منگنز	<0.01	< 0.1	< 0.1	0.2	0.2	1
As ($mg.l^{-1}$) آرسنیک	Not detected	0.17	< 0.1	0.1	0.1	0.1
Pb ($mg.l^{-1}$) سرب	Not detected	0.11	< 0.1	5	5	1
Cd ($mg.l^{-1}$) کادمیوم	Not detected	0.023	< 0.01	0.01	0.01	0.05

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1396.19.4.2.4]

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر متقابل تیمارها در سال فقط برای عملکرد بیولوژیک غیرمعنی‌دار بود، بنابراین تجزیه واریانس مربوط به صفات تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و عملکرد دانه به تفکیک هر سال محاسبه شدند.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که در هر دو سال، اثرات متقابل تیمارهای منبع آب آبیاری و ژنوتیپ بر تعداد سنبله در واحد سطح معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین تعداد سنبله در مترمربع در برهمکنش تیمارها نشان داد که بیشترین تعداد سنبله در سال اول (۳۴۵ سنبله) در ژنوتیپ MSB-87-12 و آبیاری با آب فاضلاب در کل دوره رشد به‌دست آمد که با رقم لوت (۳۳۱ سنبله) و در شرایط آبیاری با آب فاضلاب تفاوت معنی‌داری نداشت و در سال دوم (۳۲۵ سنبله) نیز در رقم لوت و آبیاری با آب فاضلاب در کل دوره رشد حاصل شد (جدول ۵). نتایج نشان داد که رقم متحمل به شوری افضل در تمام تیمارهای آبیاری همواره کمترین تعداد سنبله در مترمربع را داشت (جدول ۵). هر سه ژنوتیپ جو که با آب فاضلاب در کل دوره رشد آبیاری شده بودند، بیشترین تعداد سنبله را در مترمربع تولید کردند. به نظر می‌رسد که وجود نیتروژن کافی در آب فاضلاب باعث افزایش تعداد پنجه‌ها شده و تغذیه مناسب بوته‌ها در کل دوره رشد باعث افزایش میزان باروری آنها گردیده و باعث افزایش تعداد سنبله در واحد سطح شده است. قنبری و همکاران (Ghanbari *et al*., 2007) در پژوهشی نشان دادند که آبیاری گندم با آب فاضلاب باعث افزایش تعداد پنجه‌های بارور و تعداد سنبله در واحد سطح می‌شود.

جدول ۵- مقایسه میانگین تعداد سنبله در واحد سطح و تعداد دانه در سنبله ژنوتیپ‌های جو در برهمکنش تیمارهای منبع آب آبیاری و ژنوتیپ

Table 5. Mean comparison of number of spike.m^{-2} and number of grain.spike^{-1} of barley genotypes in interaction effect of irrigation water source and cultivar treatments

منبع آب آبیاری Irrigation water source	ژنوتیپ‌های جو Barley genotypes	سنبله در واحد سطح (Spike.m^{-2}) ۱۳۹۴ 2015	 ۱۳۹۵ 2016	دانه در سنبله (Grain.spike^{-1}) ۱۳۹۴ 2015	 ۱۳۹۵ 2016
آب فاضلاب Waste water	Loot	331a	325a	58a	57a
	MSB-87-12	345a	306b	52b	54ab
	Afzal	271c	248d	43e	53bc
آب فاضلاب/آب کشاورزی Fresh water/Waste water	Loot	298b	296b	48d	51bcd
	MSB-87-12	295b	273c	41ef	51bcd
	Afzal	251d	230e	36g	50cd
آب کشاورزی Fresh water	Loot	306b	295b	51bc	52bcd
	MSB-87-12	268c	258d	49cd	50cd
	Afzal	245d	231e	40f	49d

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test

اثر متقابل بین تیمارها بر تعداد دانه در سنبله در هر دو سال معنی دار بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین تعداد دانه در سنبله (۵۸ و ۵۷ عدد به ترتیب در سال اول و دوم) در تیمار آبیاری با آب فاضلاب در کل دوره رشد مربوط به رقم لوت (جدول ۴) و کمترین تعداد دانه در سنبله (۴۰ و ۴۹ عدد به ترتیب در

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1396.19.4.2.4]

سال اول و دوم) مربوط به رقم متحمل به شوری افضل و در شرایط آبیاری با آب کشاورزی بود (جدول ۵). هر سه ژنوتیپ جو در شرایط آبیاری با آب فاضلاب، تعداد دانه بیشتری تولید کردند و تفاوت چندانی بین آبیاری متناوب آب فاضلاب و آب کشاورزی و آبیاری با آب کشاورزی مشاهده نشد. قنبری و همکاران (Ghanbari *et al*., 2007) گزارش کردند تعداد دانه در سنبله در شرایط آبیاری با آب فاضلاب و بدون مصرف کود شیمیایی نسبت به آبیاری با آب کشاورزی همراه با کود شیمیایی، بیشتر بوده و به تبع آن عملکرد بیشتری تولید می‌شود. با توجه به اینکه آب فاضلاب حاوی مقدار زیادی عناصر غذایی می‌باشد (جدول ۴) و غلظت عناصر سنگین آب فاضلاب تصفیه شده شهری مورد استفاده در آزمایش حاضر پایین‌تر از حد مجاز و استانداردهای زیست محیطی می‌باشد (جدول ۴)، به نظر می‌رسد که آبیاری با آب فاضلاب به دلیل غنی بودن از عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم و ریزمغذی‌ها، باعث بهبود رشد رویشی ژنوتیپ‌های جو (در شرایط عدم استفاده از کودهای شیمیایی) گردیده (Fonseca *et al*., 2007; Esmailiyan *et al*., 2008) و در اثر فراهمی و بهره‌برداری بهتر عناصر غذایی در دوره‌هایی از رشد گیاه که حساسیت بالایی نسبت به کمبود آن‌ها وجود دارد، رشد زایشی نیز بهبود یافته است. این موضوع باعث افزایش تولید پنجه‌های بارور شده و به دلیل تغذیه بهتر و عدم القای تنش کمبود عناصر غذایی و گرده‌افشانی بیشتر، باعث تولید دانه‌های بیشتری در سنبله‌ها شده است. در این پژوهش وزن هزار دانه ژنوتیپ‌های جو تحت تاثیر برهمکنش تیمارها و اثرات ساده آن ها قرار نگرفت و فقط در سال اول آزمایش، اثر تیمار آب فاضلاب بر وزن هزار دانه معنی‌دار بود، به نحوی که بیشترین وزن هزار دانه در تیمار آبیاری با آب فاضلاب در کل دوره رشد (۴۰/۱ گرم) به دست آمد. بین تیمارهای آبیاری متناوب و آبیاری با آب کشاورزی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (به ترتیب ۳۹/۱ و ۳۸/۸ گرم).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش تیمارها بر عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو معنی‌دار بود. رقم لوت در تیمار آبیاری با آب فاضلاب در کل دوره

جدول ۶- مقایسه میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو در برهمکنش تیمارهای منبع آب آبیاری و ژنوتیپ

Table 6. Mean comparison of grain yield of barley genotypes in interaction effect of irrigation water source and genotype treatments

منبع آب آبیاری Irrigation water source	ژنوتیپ‌های جو Barley cultivars	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha^{-1}) ۱۳۹۴ 2015	 ۱۳۹۵ 2016
آب فاضلاب Waste water	Loot	7832a	7069a
	MSB-87-12	7472b	6092c
	Afzal	5313d	5328d
آب فاضلاب/آب کشاورزی Fresh water/Waste water	Loot	6107c	6611b
	MSB-87-12	5801c	6045c
	Afzal	4480e	4664e
آب کشاورزی Fresh water	Loot	6073c	5870c
	MSB-87-12	5349d	5813c
	Afzal	4322e	4580e

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1396.19.4.2.4]

رشد در هر دو سال، بیشترین عملکرد دانه (به ترتیب ۷۸۳۲ و ۷۰۶۹ کیلوگرم در هکتار) را داشت. با توجه به نتایج آزمایش‌های قبلی و طبق انتظار، رقم متحمل به شوری افضل در هر کدام از انواع منابع آبیاری،کمترین عملکرد دانه را نسبت به دو ژنوتیپ دیگر داشت (جدول ۶)، به ترتیبی که کمترین میزان عملکرد دانه مربوط به رقم افضل در تیمار آبیاری با آب کشاورزی بود. اجزای عملکرد و عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو در تیمارهای آبیاری متناوب و آبیاری با آب شیرین، تفاوت معنی‌دار (اما اندکی) داشتند، این موضوع نشان می‌دهد که اثر آبیاری با آب کشاورزی همراه با مصرف کود شیمیایی نسبتا مشابه آبیاری متناوب (بدون مصرف کود) بوده است. در حقیقت افزایش تعداد سنبله در واحد سطح و تعداد دانه در سنبله در تیمار آبیاری با آب فاضلاب، باعث افزایش عملکرد دانه ارقام جو شده است. پاندی و سینگ (Pandey and Singh, 2015) نیز در یک آزمایش نشان دادند که آبیاری گندم با آب فاضلاب باعث افزایش تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه می‌شود. به نظر می‌رسد که مقادیر زیاد نیتروژن نیتراتی موجود در فاضلاب تصفیه شده، باعث افزایش عملکرد گیاه می‌شود (Alizadeh *et al.*, 2001).

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین میزان زیست توده مربوط به رقم لوت در تیمار آبیاری با آب فاضلاب بود و البته ژنوتیپ MSB-87-12 نیز در تیمارهای آبیاری، عملکرد بیولوژیک بالایی تولید کرده و اختلاف معنی‌داری با رقم لوت در تیمار آبیاری با آب فاضلاب نداشت (جدول ۷). رقم متحمل به شوری افضل در تیمارهای آبیاری، زیست توده کمتری داشت (جدول ۶). آب فاضلاب باعث افزایش مقدار مواد آلی خاک می‌شود (جدول ۳). استفاده از فاضلاب به عنوان یک ماده اصلاح کننده خاک می‌تواند باعث بهبود خصوصیات فیزیکی خاک شده و ظرفیت نگهداری و هدایت هیدرولیکی آن را افزایش دهد و در مقابل وزن مخصوص ظاهری خاک کاهش می‌یابد (Abedi- Koupai *et al.*, 2001). گزارش شده است که آب فاضلاب تصفیه شده از طریق فراهم کردن ریزمغذی‌ها برای تغذیه گیاه و بهبود خصوصیات فیزیکی خاک، شرایط مناسبی برای رشد گیاه فراهم کرده باعث افزایش تولید زیست توده آن می‌شود (Hassanpour-Darvishi *et al.*, 2010).

جدول ۷- مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیک ژنوتیپ‌های جو در برهمکنش تیمارهای منبع آب آبیاری و ژنوتیپ

Table 7. Mean comparison of biological yield of barley cultivars in interaction effect of irrigation water source and genotype treatments

منبع آب آبیاری Irrigation water source	ژنوتیپ‌های جو Barley genotypes	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg.ha^{-1})
آب فاضلاب Waste water	Loot	14366a
	MSB-87-12	14175ab
	Afzal	12330c
آب فاضلاب/آب کشاورزی Fresh water/Waste water	Loot	13750b
	MSB-87-12	13841ab
	Afzal	10833e
آب کشاورزی Fresh water	Loot	14180ab
	MSB-87-12	14075ab
	Afzal	11666d

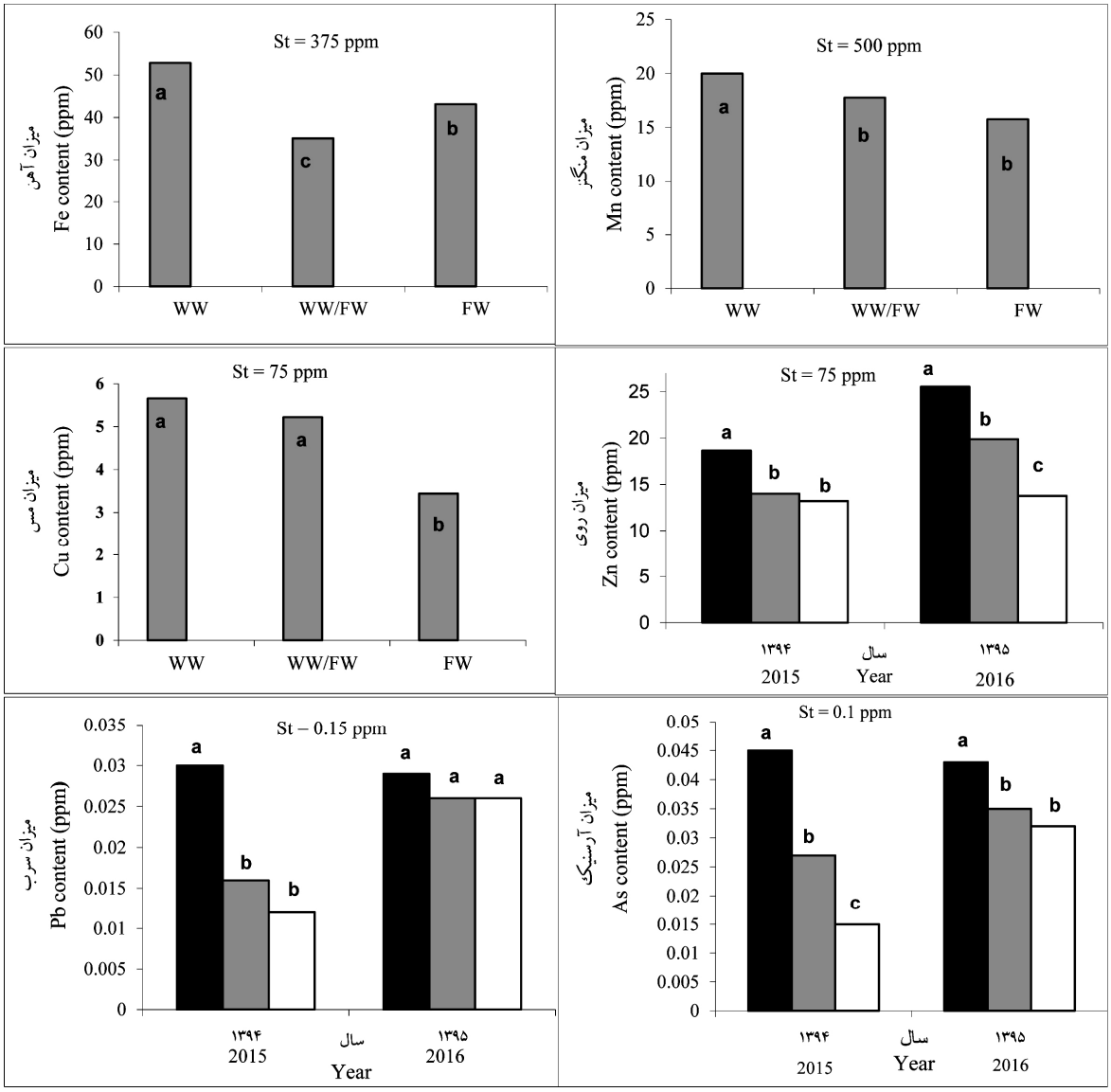
در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1396.19.4.2.4]

نتایج تجزیه عناصر دانه نشان داد که مقدار قابل تشخیصی از فلز کادمیوم در دانه ژنوتیپ‌های جو وجود نداشت. بر اساس نتایج تجزیه مرکب داده‌ها طی دو سال اجرای آزمایش، برهمکنش تیمارها در سال بر محتوای عناصر روی، سرب و آرسنیک معنی‌دار بود، در حالیکه اثر متقابل معنی‌داری برای فلزات آهن، منگنز و مس مشاهده نشد. تنها تجمع منگنز در دانه‌های ژنوتیپ‌های جو تحت اثر متقابل معنی‌دار بین تیمارها



شکل ۱- اثر آب فاضلاب تصفیه شده بر محتوای عناصر آهن، منگنز، مس، روی، سرب و آرسنیک (قسمت در میلیون) در دانه ژنوتیپ‌های جو

■ = آبیاری با فاضلاب تصفیه شده (WW)، ▒ = آبیاری متناوب با آب فاضلاب و آب کشاورزی (FW/WW)، □ = آبیاری با آب کشاورزی (FW)

Fig. 1. Effects of treated wastewater on Fe, Mn, Cu, Zn, Pb and As content in barley genotypes grains (ppm)

■ = Treated waste water irrigation (WW), ▒ = Treated wastewater/fresh water alternative irrigation (WW/FW) and □ = Fresh water irrigation (FW)

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1396.19.4.2.4]

قرار گرفت و برای سایر فلزات تنها اثر ساده آب فاضلاب معنی‌دار بود. نتایج نشان داد که آب فاضلاب باعث افزایش میزان تجمع فلزات سنگین نسبت به سایر تیمارهای آبیاری در دانه‌های ژنوتیپ‌های جو شد (شکل ۱). اگرچه نتایج حاکی از افزایش میزان فلزات سنگین در دانه ژنوتیپ‌های جو است، ولی با این وجود، مقدار این فلزات در دانه از مقادیر گزارش شده در استانداردهای سازمان بهداشت جهانی (آرسنیک: ۰/۱، سرب: ۰/۱۵، کادمیوم: ۰/۱، آهن: ۳۷۵، روی: ۷۵، مس: ۷۵ و منگنز: ۵۰۰ قسمت در میلیون) (WHO, 2011) کمتر بود.

در این خصوص نتایج مشابهی توسط برخی محققان گزارش شده که نشان دهنده افزایش غلظت عناصر سنگین در گیاهان زراعی می‌باشد (Rusan *et al*., 2007). نتایج تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که آبیاری با آب فاضلاب در اراضی کشاورزی باعث افزایش معنی‌دار غلظت فلزات سنگین در خاک و به دنبال آن جذب و تجمع آنها در گیاهان می‌شود (Masona *et al*., 2011). در حقیقت تجمع فلزات سنگین در گیاهان به عوامل متعددی مثل اسیدیته و درصد رس خاک بستگی دارد. افزایش اسیدیته و رس خاک می‌تواند باعث کاهش جذب فلزات سنگین در خاک شود. به طور معمول، آبیاری با آب فاضلاب باعث افزایش مواد آلی خاک و در نتیجه کاهش اسیدیته خاک می‌شود (جدول ۳)، بنابراین جذب فلزات سنگین توسط گیاهان افزایش می‌یابد (Mojiri and Aziz, 2011). در مقابل برخی از محققان نیز گزارش کرده‌اند که غلظت فلزات سنگین در دانه گیاهانی که با آب فاضلاب آبیاری شده بودند در مقایسه با گیاهانی که با آب شیرین آبیاری شده بودن، تفاوت معنی‌داری نداشت (Koottatep *et al*., 2006).

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش، آبیاری گیاه جو با آب فاضلاب تصفیه شده (با درنظر گرفتن اینکه غلظت فلزات سنگین آرسنیک، سرب و کادمیوم تجمع یافته در دانه ژنوتیپ‌های جو کمتر از استانداردهای موجود است)، نه تنها باعث افزایش اجزای عملکرد و عملکرد دانه می‌شود، بلکه عدم مصرف کود، باعث صرفه‌جویی در هزینه‌های تامین و مصرف کودهای شیمیایی شده و افزایش درآمد کشاورزان را در پی خواهد داشت.

منابع مورد استفاده

References

Abedi-Koupai, J., M. Afyuni, B. Mostafazadeh and M. R. Bagheri. 2001. Influence of treated wastewater and irrigation systems on soil physical properties in Isfahan province. P.165-173. ICID International Workshop on Wastewater Reuse Management. 19-20 September, Seoul, Korea.

Ali, H. M., E. M. El-Mahrouk, F. A. Hassan and M. H. Khamis. 2010. Growth, chemical compositions and soil properties of *Tipuana speciosa* irrigated with sewage effluent. Paper presented at the 25th Meeting of Saudi Biological Society, Nanotechnology in Life Sciences, May 11-13, Alasa City at King Faisal University, Saudi Arabia.

Alizadeh A., M. E. Bazari, S. Velayati, M. Hasheminia and A. Yaghmai. 2001. Using reclaimed municipal wastewater for irrigation of corn. ICID International Workshop on Wastewater Reuse Management, Sep. 19-20, Seoul, Korea.

Bahojb-Almasi, A. and P. G. K. Bagh. 2014. Influence of irrigation with wastewater on yield and yield

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1396.19.4.2.4]

component of wheat. Int. J. Biosci. 8: 105-109.

Baker, D. E. and M. C. Amacher. 1982. Nickel, Copper, Zinc and Cadmium in A. L. Page et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties, 2nd (Ed.), Agron. Monograph. Vol. 9, ASA and SSSA, Madison, WI, USA.

Bolan, N. S. and V. P. Duraisamy. 2003. Role of inorganic and organic soil amendments on immobilisation and phytoavailability of heavy metals: A review involving specific case studies. Aust. J. Soil Res. 41:533-555.

Brar, M. S., S. S. Mahli, A. P. Singh, C. L. Arora and K. S. Gill. 2000. Sewer water irrigation effects on some potentially toxic trace elements in soil and Potato plants in North western India. Can. J. Soil Sci. 80: 465-471.

Castro, E., M. P. Manas and J. De Las Heras. 2011. Effects of wastewater irrigation on soil properties and turfgrass growth. Water Sci. Tech. 63:1678-88.

Esmailiyan, Y., M. Heidari and A. Ghanbari. 2008. Effect of municipal wastewater with manure and chemical fertilizer on grain yield and yield components in corn (KoSc704). J Agron. 7: 227–280.

FAO. 1992. Waste water treatment and use in agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, FAO 47.

Fonseca, A. F., U. Herpin, A. M. Paula, R. L. Victória and A. J. Melfi. 2007. Agricultural use of treated sewage effluents: agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. Scientia Agricola (Piracicaba, Braz) 64: 194-209.

Ghanbari, A., J. Abedi Koupai and J. Taie Semiromi. 2007. Effect of municipal wastewater irrigation on yield and quality of wheat and some soil properties in Sistan zone**.** J. Water Soil Sci. 10: 59-75. (In Persian with English abstract).

Hassanpour Darvishi, H., M. Manshouri and H. Aliabadi Farahani. 2010. The effect of irrigation by domestic waste water on soil properties. J. Soil Sci. Environ. Manage. 1: 30-33.

Kalavrouziotisa, I. K. and C. A. Apostolopoulos. 2007. An integrated environmental plan for the reuse of treated waste water effluents from WWTP in urban areas. Building Environ. 42: 1862-1868.

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

Lazarova, V., B. Levine, J. Sack, G. Cirelli, P. Jeffrey, H. Muntau, M. Salgot and F. Brissaud. 2001. Role of water reuse for enhancing integrated water management in Europe and Mediterranean countries. Water Sci. Technol. 43: 25-33.

Madejon, P., T. Maranon and J. M. Murillo. 2006. Biomonitoring of trace elements in the leaves and fruits of wild olive and holm oak trees. Sci. Total Environ. 355: 187- 203.

Masona, C., M. Loveness, M. Stenly and M. Revai. 2011. Assessment of heavy metal accumulation in wastewater irrigated soil and uptake by maize plants (*Zea Mays* L) at Firle farm in Harare. J. Sustain. Dev. 4: 132-137.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1396.19.4.2.4]

Mihaylova, V., V. Lyubomirova and R. Djingova. 2013. Optimization of sample preparation and ICP-MS analysis for determination of 60 elements for characterization of the plant ionome. Int. J. Environ. Analytic. Chem. 93: 1441-1456.

Mojiri, A. and H. A. Aziz. 2011. Effects of municipal wastewater on accumulation of heavy metals in soil and wheat (*Triticum aestivum* L.) with two irrigation methods. Roman Agric. Res. 28: 217-222.

Munir, J. M. and M. Ayadi. 2005. Forage yield and nutrient uptake as influenced by secondary treated wastewater. J. Plant Nut. 27: 351–356.

Pandey, R., and J. Singh. 2015. Effect of textile factory effluent irrigation on productivity of wheat crop. Int. J. Sci. Environ. Tech. 3: 727 – 736.

Rusan, M. J., S. Hinnawi and L. Rousan. 2007. Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. Desalination. 215:143-152.

Safi-Naz, S. Z. and M. M. Shaaban. 2015. Impact of treated sewage water irrigation on some growth parameters, yield and chemical composition of sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants. Int. J. Chem. Tech. Res. 9: 114-122.

Salehi, A., M. Tabari, J. Mohammadi and A. Aliarb. 2008. Effect of irrigation with municipal effluent on soil and growth of *Pinus eldarica* trees. Iran. J. Forest Poplar Res. 2: 186-196. (In Persian with English abstract).

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

Tadayon, M. R. and Y. Emam. 2007. Physiological and morphological responses of two barley cultivars to salinity stress in relation to grain yield. J. Water Soil Sci. 11: 253-262. (In Persian with English abstract).

WHO. 2011. Joint FAO/WHO food standards programme, codex committee on contaminants in foods, fifth session. The Hague, the Netherlands. CF/5 INF/1.

Yoon, C. G. and S. K. Kwun. 2001. Feasibility study of reclaimed wastewater irrigation to paddy rice culture in Korea. PP. 127-136. *In*: R. Ragab, G. Pearce, J. Changkim, S. Nairizi and A. Hamdy (Eds.), ICID International Workshop on Wastewater Reuse and Management. Sep. 19-20, Seoul, Korea.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1396.19.4.2.4]

Effects of irrigation with treated wastewater on yield and grain heavy metals content of barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes

Yazdani, A. A.[1], M. Saffari[2] and Gh.H. Ranjbar[3]

ABSTRACT

Yazdani, A. A., M. Saffari and Gh.H. Ranjbar. 2018. Effects of irrigation with treated wastewater on yield and grain heavy metals content of barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes. **Iranian Journal of Crop Sciences. 19(4): 284-296. (In Persian).**

To assess the effects of irrigation with treated wastewater on the grain yield, yield components and grain heavy metals content of barley genotypes, two-years field experiment was conducted on Research Field of Yazd Municipal Wastewater Purification Station in 2015-16 and 2016-17. Experimental design was split plot arrangement in randomized complete block with three replications. Treatments consisted of three irrigation water quality; treated municipal wastewater (WW), alternatively fresh water/treated municipal wastewater (FW/WW) and fresh water (FW) during growing stages as main plot and three barley genotypes; Loot, MSB-87-12 and Afzal as subplots. Results showed that, the highest spike.m^{-2} obtained in MSB-87-12 in 2015-16 (345) and Loot in 2016-17 (325) that were irrigated with treated wastewater. Overall, the results showed that the highest grain number.spike^{-1} and grain yield obtained for cv. Loot which was irrigated with treated wastewater in both years. Interactions between methods of irrigation and genotype did not significantly affect on heavy metals concentration (Fe, Cu, Mn, Zn, As, Cd and Pb) in barley grains. Treated municipal wastewater application caused an increase of trace elements (Fe, Mn, Zn, Cu, Cd, Pb and As) in grain of barley genotypes. However, the values obtained for all heavy metals were below the permissible limits recommended by the World Health Organization (WHO), European Union (EU) and the Institute of Standards and Industrial Research of Iran (ISIRI). According to these results, the use of treated wastewater for irrigation of barley crop can suggested for higher grain yield, decreasing fertilizer application and protection of environment.

Key words: Barley, Irrigation, Trace elements, Treated wastewater and Yield components

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1396.19.4.2.4]

Received: June, 2017 **Accepted: January, 2018**

1. PhD Student, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran (Corresponding author)
(Email: yazdani.abas@gmail.com)
2. Associate Prof., Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
3. Assistant Prof., National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran