# بررسی اثرات فاضلاب تصفیه شده بر آلودگی میکروبی و شیمیایی خاک و گندم

علیرضا جعفرنژادی[۱] * و سید محمدهادی موسوی فضل

استادیار بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان.
**arjafarnejady@gmail.com**
مربی پژوهش بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان.
**mousavifazl@yahoo.com**

Archive of SID

## چکیده

**امروزه، استفاده از آب‌های غیرمتعارف از راه‌کارهای مقابله با مشکل کمبود آب است. این پژوهش با هدف بررسی اثرات کاربرد فاضلاب (غیرقابل شرب) بر آلودگی میکروبی و شیمیایی خاک و گندم (رقم چمران)، با پنج تیمار شامل آبیاری کامل (۱۰۰ درصد) آب معمولی (T۱)، آبیاری ۷۵ درصد آب-معمولی و ۲۵ درصد فاضلاب (T۲)، ۵۰ درصد آب‌معمولی و ۵۰ درصد فاضلاب (T۳)، ۲۵ درصد آب‌معمولی و ۷۵ درصد فاضلاب (T۴)، آبیاری کامل (۱۰۰ درصد) فاضلاب (T۵)، در سه تکرار و به-صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ایستگاه مرکز تحقیقات کشاورزی خوزستان (اهواز) اجراء شد. آبیاری بر اساس پایش وزنی رطوبت محاسبه و استفاده گردید. به‌منظور بررسی برخی ویژگی‌ها شامل جمعیت میکروبی، غلظت آلاینده کادمیم و عناصر کم‌مصرف در خاک و گیاه، نمونه‌گیری از خاک (۳۰-۰سانتیمتری) و گیاه (بر اساس مراحل رشدی) انجام شد. نتایج نشان داد، کادمیم کل خاک کمتر از ۱/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بود. همچنین، میانگین غلظت کادمیم قابل جذب گیاه نسبت به خاک اولیه اندکی کاهش یافت. تجزیه واریانس نشان داد، تیمارهای فاضلاب در مقایسه با آب معمولی تاثیر معنی‌داری($p<۰/۰۵$) بر غلظت عناصر دانه (بجز آهن) و غلظت کادمیم بذر نداشت. همچنین، میانگین غلظت کادمیم قابل جذب در هر مرحله رشدی، نسبت به غلظت اولیه خاک افزایشی نشان نداد. از نظر جمعیت میکروبی در طی مراحل مختلف رشد گندم در تیمارهای فاضلاب (T۳ و T۵)، تفاوتی آماری بین تیمارهای فاضلاب مشاهده نشد. این موضوع نشان دهنده وجود محدودیت‌های رشدی در این شرایط بود. بنابراین، هرجند در این پژوهش مصرف فاضلاب (همراه با آب معمولی) بر آلودگی میکروبی و شیمیایی در خاک و گندم ایجاد نشده است، اما باید توجه داشت کاربرد طولانی مدت این منابع آبی سبب تجمع آلودگی شده و برای خاک و محصولات کشاورزی مشکلاتی ایجاد را خواهند نمود.**

**واژه های کلیدی: آب‌های غیرمتعارف ، کادمیوم، عناصر کم‌مصرف.**

---

۱ – مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز بلوار گلستان

* دریافت:آذر ۱۳۹۲ و پذیرش: آبان ۱۳۹۳

www.SID.ir

**مقدمه**

یکی از مشکلات کنونی و آینده جامعه بشری تامین آب کافی و با کیفیت مناسب است. این مشکل در مناطق خشک و نیمه‌خشک بدلیل کمبود ریزش‌های جوی، محدویت بیشتری را از نظر کشت و کار در بسیاری از مناطق ایجاد کرده است. بنابراین، با توجه به وضعیت آب و هوایی کشور و بحران کمبود آب، استفاده از آبهای نامتعارف نظیر فاضلاب شهری یکی از راه-کارهای مقابله با این مشکل است (قنبری و همکاران، ۱۳۸۵، چن و همکاران، ۲۰۰۸). بر این اساس در بسیاری از مناطق استفاده از فاضلاب به‌عنوان آب آبیاری استفاده شده و کاربرد فاضلاب در بعضی موارد به‌دلیل شوری و عناصر سمی، سبب کاهش عملکرد گردیده است (صفری سنجانی، ۱۳۷٤).

عابدی کوپایی و همکاران (۲۰۰٦) در بررسی اثرات آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده بر خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک در یک منطقه خشک دریافتند، سیستم‌های آبیاری تاثیری بر تجمع فلزات سنگین در خاک نداشته، اما کاربرد فاضلاب باعث، تجمع معنی‌دار سرب، منگنز، نیکل و کبالت در مقایسه با تیمار آب زیرزمینی شده است.همچنین، تجمع سرب، منگنز، نیکل، کبالت، مس و روی با عمق خاک کاهش یافته است. استرک و ریچر (۱۹۷۷) گزارش کردند، عناصر سنگین در خاک آبیاری شده با فاضلاب به کندی حرکت نموده، به طوری که بیش از ۹۰ درصد تجمع غلظت عناصر سنگین نیکل، کادمیوم و سرب در عمق ۱۵-۱۰ سانتیمتری خاک مشاهده گردید. همچنین، کلی و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی اثر آبیاری با فاضلاب تصفیه شده نشان دادند، غلظت فلزات سنگین در خاک به خصوص برای سرب و کادمیم با دوره آبیاری افزایش یافته است.

تحقیقات نشان داده است، استفاده از فاضلاب‌ها به‌دلیل داشتن غلظت عناصر زیاد، بر وضعیت حاصلخیزی و مواد آلی موثر است. حسین و همکاران (۲۰۰۲) در پژوهش‌های خود، افزایش عناصر غذایی نظیر نیتروژن و فسفر، افزایش مقدار نمک‌ها و نیز فلزات سنگین در خاک را بعد از کاربرد فاضلاب گزارش کردند. پروان (۱۳۸۳)، گزارش کرد، استفاده از فاضلاب تصفیه شده افزایش فسفر قابل جذب و افزایش عناصر سنگین مانند کادمیم، نیکل و کروم را به دنبال داشته است. آبیاری با فاضلاب تصفیه نشده برای مدت طولانی بسته به منشاء فاضلاب می‌تواند منجر به افزایش فلزات سنگین و در نتیجه کاهش کیفیت خاک شود (لوچو کونستانتینو و همکاران، ۲۰۰۵؛ ماپاندا و همکاران، ۲۰۰۵). به‌همین جهت، تصفیه فاضلاب قبل از استفاده برای آبیاری توصیه می‌شود (توز، ۲۰۰٦).

آلودگی آب و خاک به فلزات سنگین، ضمن کاهش عملکرد و کیفیت محصول، پایداری تولید کشاورزی و سلامت افراد جامعه را با خطر مواجه می کند ( ثواقبی و ملکوتی، ۱۳۷۹). صفری سنجانی (۱۳۷٤) در بررسی خود بر خاک‌هایی که در منطقه برخوار اصفهان به مدت هفت سال با فاضلاب آبیاری شده‌اند، نشان داد میزان تجمع عناصر سنگین در خاک افزایش معنی‌داری نداشته است.

فیضی (۲۰۰۱) در پژوهشی، تاثیر آبیاری با فاضلاب بر تجمع برخی از عناصر در خاک و گیاه در مدت هشت سال را نشان داد. در این پژوهش، مقدار آهن و منیزیم در گیاه ذرت در مزارع آبیاری شده با فاضلاب بیشتر بود. بر این اساس، غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های خاک و گیاه در مزارع آبیاری شده با فاضلاب کمی بیشتر از مزارع آبیاری شده با آب چاه بود. اما محدودیتی از نظر میزان تجمع عناصر سنگین در آبیاری این گیاهان با فاضلاب مشاهده نشد.

مهم‌ترین عامل ایجادکننده مخاطرات بهداشت فردی، میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا، انگل‌ها و مواد سمی و شیمیایی فاضلاب هستند. هم‌چنین

Archive of SID

www.SID.ir

مشکلات بهداشتی محصولات کشاورزی در نتیجه فعل و انفعالات و واکنش‌های مختلف بین ترکیبات و آلاینده‌های فاضلاب با خاک و گیاه اتفاق می افتد. از میان باکتری‌های موجود در محیط فاضلابی می توان به انواع کلیفرم‌های مدفوعی اشاره نمود که مدت زمان ادامه حیات آن‌ها کمتر از ویروس‌ها است. شیستوزومیا و کرم‌های قلاب‌دار از مهم‌ترین انواع کرم‌ها و انگل-های بیماری‌زای موجود در فاضلاب هستند (یارقلی و همکاران، ۱۳۸۹). در نشست متخصصین سازمان جهانی بهداشت (۱۹۷۳) اعلام گردید تولید پسابی با کیفیت ۱۰۰۰ کلیفرم در ۱۰۰ میلی لیتر، از نظر فنی به راحتی امکان پذیر است و آبیاری بدون محدودیت محصولات با چنین پسابی، احتمالاً مخاطرات بهداشتی بسیار محدودی را موجب می-شود (یارقلی و همکاران، ۱۳۸۹).

استان خوزستان یکی از مناطق مستعد کشاورزی در ایران بوده، بطوریکه سهم عمده‌ای از تولیدات کشاورزی به‌ویژه گندم را به خود اختصاص داده است. با توجه به وضعیت جوی و بروز خشک‌سالی‌های اخیر، استفاده از منابع آبهای نامتعارف به‌ویژه فاضلاب تصفیه شده در تولید محصولات کشاورزی (گندم) اجتناب‌ناپذیر است. هرچند، استفاده از فاضلاب در تولید محصولات کشاورزی توصیه نمی‌شود و کاربرد طولانی مدت آن در آینده سبب تجمع آلودگی در خاک و محصولات کشاورزی خواهد شد، اما با توجه به مصرف آن (در حال حاضر) در تولید محصولات کشاورزی به ویژه گندم بررسی تاثیر کاربرد این منبع آبی بر وضعیت آلودگی خاک و گیاه ضروری به نظر می رسید. بر این اساس این پژوهش با هدف بررسی تاثیر فاضلاب تصفیه شده بر وضعیت آلودگی میکروبی و شیمیایی خاک و گندم انجام شد.

## مواد و روش‌ها

این مطالعه در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اهواز، واقع در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان اجراء شد. این ایستگاه دارای طول جغرافیایی ٤٨ درجه و ٤٠ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی می‌باشد. متوسط بارندگی سالیانه، ۲۲٤/۷ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت نیز ۲۲ درجه سانتیگراد است.

فاضلاب مورد استفاده در این پژوهش که غیر قابل شرب می‌باشد، از تصفیه خانه چنیبه واقع در جنوب غربی اهواز تهیه شد. این تصفیه‌خانه با هدف جلوگیری از آلودگی محیط زیست شهری و شیوع بیماری‌ها و جلوگیری از آلودگی رود کارون و آب‌های زیرزمینی با ظرفیت تصفیه٤١٦٢٠ متر مکعب در روز احداث گردیده است. این پژوهش با هدف بررسی کاربرد فاضلاب بر آلودگی میکروبی و شیمیایی خاک و گندم (رقم چمران)، با پنج تیمار شامل آبیاری کامل (۱۰۰ درصد) با آب معمولی (T۱)، آبیاری ۷۵ درصد آب‌معمولی و ۲۵ درصد فاضلاب (T۲)، ۵۰ درصد آب‌معمولی و ۵۰ درصد فاضلاب (T۳)، ۲۵ درصد آب‌معمولی و ۷۵ درصد فاضلاب (T٤)، آبیاری کامل (۱۰۰ درصد) فاضلاب (T۵) در سه تکرار و به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجراء شد. فاضلاب مورد نیاز بوسیله تانکر از تصفیه‌خانه فاضلاب به محل اجرای آزمایش حمل و در مخزنی مخصوص ذخیره گردید. میزان کاربرد آب به‌وسیله کنتور تنظیم و مصرف شد.

در ابتدا به منظور تجزیه خاک اولیه، نمونه‌هایی از خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری سطح خاک تهیه شد.همچنین، از فاضلاب و آب معمولی نمونه‌برداری و میزان غلظت عناصر و برخی خصوصیات مورد مطالعه بر اساس روش‌های موجود اندازه‌گیری شد. در هر کرت شش خط به فاصله ۲۰ سانتیمتر و به طول سه متر در نظر گرفته شد. همچنین، به‌منظور جلوگیری از اختلاط تیمارهای آزمایش، فاصله مناسب بین کرتها در نظر گرفته شد. در طول اجرای آزمایش از خاک (در عمق ۳۰-

Archive of SID

www.SID.ir

۰سانتیمتری) و گیاه (بر اساس پنج مرحله رشدی گندم شامل پنجه‌زنی، ساقه‌دهی، خوشه‌دهی، گل دهی، رسیدگی) نمونه‌برداری انجام گرفت.

در نمونه‌های خاک واکنش خاک به وسیله دستگاه pH متر و در گل اشباع (پیج و همکاران ۱۹۸۲)، هدایت الکتریکی خاک به‌وسیله هدایت سنج و در عصاره گل اشباع (پیج و همکاران ۱۹۸۲)، درصد کربن‌آلی خاک به روش اکسیداسیون تر–والکلی بلاک و غلظت آهن، منگنز، روی، مس و کادمیم قابل جذب در خاک (با استفاده از DTPA) و غلظت کادمیم کل خاک (اسپوزیتو و همکاران، ۱۹۸۲) اندازه‌گیری شد. همچنین، غلظت عناصر آهن، روی، منگنز، مس و کادمیم موجود در گیاه بر اساس روش اکسیداسیون خشک عصاره‌گیری و غلظت عناصر با استفاده از جذب اتمی (پرکین المر ۳۰۱۰) و کوره گرافیتی (پرکین المر ۶۰۰) اندازه‌گیری شد. به‌منظور تعیین تغییرات آلودگی میکروبی، از روش شمارش کلنی روی محیط‌های کشت تلقیح شده با خاک‌های تیماره شده با فاضلاب و مقایسه جمعیت میکروبی با تیمار شاهد استفاده شد. اطلاعات حاصل از مطالعه در بانک اطلاعاتی در نرم‌افزار Excel ذخیره شد. سپس رسم نمودارها و بررسی و مطالعه مقدماتی داده‌ها صورت گرفت. تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم افزار MSTAT-C و مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه با استفاده از آزمون دانکن انجام شد.

## نتایج و بحث

نتایج مربوط به خصوصیات شیمیایی خاک محل آزمایش قبل از کاربرد تیمارهای این پژوهش در جدول (۱) ارائه گردیده است.

**جدول۱ خصوصیات شیمیایی خاک محل آزمایش**

| عمق | EC | pH | OC | $Cd_{Total}$ | Fe | Mn | Zn | Cu | $Cd_{DTPA}$ | Silt | Sand | Clay | TNV |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $dS\ m^{-1}$ | – | % | $mg\ kg^{-1}$ | | | | | $\mu g\ kg^{-1}$ | | | % | |
| ۰-۳۰ | ۳/۸ | ۷/۶ | ۰/۵۷ | ۱/۶۳ | ۸ | ۶/۴ | ۰/۹۵ | ۱/۸ | ۰/۰۷۲ | ۴۶ | ۸ | ۴۶ | ۴۵ |

نتایج نشان داد، غلظت آلاینده کل کادمیم با توجه به حد مجاز (دامنه تغییرات غلظت کادمیم کل، در خاک‌های غیر آلوده ۰/۱ تا ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک تعیین شده است (پایس و جونز ، ۱۹۹۷؛ کاپاتا پندایاس و پندایاس، ۲۰۰۱) ) در حد بحرانی بوده و از نظر غلظت کادمیم قابل جذب گیاه کمتر از حد مجاز (۰/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) (پایس و جونز ، ۱۹۹۷) بود. ویژگی های شیمیایی آب معمولی و فاضلاب تصفیه شده مورد استفاده برخی از ویژگی های شیمیایی مانند شوری، pH، غلظت برخی از عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف و هم چنین فلزات سنگین در آب معمولی و فاضلاب تصفیه شده اندازه‌گیری و نتایج در جدول (۲) نشان داده شده است.

**جدول ۲- خصوصیات شیمیایی آب معمولی و فاضلاب (غیرقابل شرب)**

| منبع | EC | pH | N | P | K | Mn | Fe | Zn | Cu | Cd | Cl |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $dS\ m^{-1}$ | – | $mg\ l^{-1}$ | | | | | $\mu g\ l^{-1}$ | | | $meq\ l^{-1}$ |
| فاضلاب | ۳/۹۹ | ۷/۷ | ۱۳/۸ | ۱/۹۶ | ۱۸/۳ | ۰/۳۴ | ۳۰ | ۵۶/۸ | ۱۷/۹ | ۴/۷۲ | ۲۷/۵ |
| آب معمولی | ۲/۷ | ۷/۱ | ۲/۳ | ۰/۰۳۳ | – | ۰/۲۱ | ۲۰ | ۴۹/۳ | ۱۲/۶ | ۱/۰۱ | – |

به‌منظور ارزیابی کیفیت آب معمولی و فاضلاب تصفیه شده(غیرقابل شرب) برای آبیاری از استانداردهای پیشنهادی سازمان خوار و بار جهانی (۱۹۷۳) استفاده گردید. بر اساس این استانداردها کیفیت فاضلاب تصفیه شده دارای شوری آب بیش از حد مجاز است. این موضوع می‌تواند بروز شوری و مسمومیت گیاهان حساس

Archive of SID

www.SID.ir

به شوری را در پی داشته باشد. نتایج حاصل نشان داد، پ‌هاش فاضلاب در محدوده مجاز قرار داشت. همچنین، غلظت یون کلرید، عناصر کم‌مصرف و سنگین نیز در فاضلاب قابل تامل است. بنابراین، احتمالاً تجمع این عناصر در خاک در طولانی مدت بر اثر کاربرد فاضلاب باید مورد توجه قرار گیرد. همچنین بر اساس استاندارد ذکر شده در آب معمولی، غلظت اندازه‌گیری شده عناصر کم‌مصرف و سنگین به جز منگنز بیشتر از حد مجاز بود.مقایسه نتایج تجزیه فاضلاب و معمولی نشان داد، غلظت مواد غذایی و فلزات سنگین در فاضلاب بیشتر از آب معمولی می‌باشد.

**توصیف آماری داده های اندازه‌گیری شده**

نتایج برخی آماره‌های توصیفی شامل میانگین، دامنه، حداقل، حداکثر و انحراف معیار ویژگی‌های مقدار کربن آلی، پ‌هاش، شوری، آهن، روی، مس، منگنز خاک پس از اعمال تیمارها در زمان برداشت گندم در جدول (۳) نشان داده شده است.

**جدول ۳ -آماره های توصیفی مربوط به خاک پس از اعمال تیمارها در زمان برداشت گندم**

| متغیر | EC | pH | OC | Fe | Cu | Zn | Mn | $Cd_{Total}$ | $Cd_{DTPA}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $dS\ m^{-1}$ | | % | $mg\ kg^{-1}$ | | | | | $\mu g\ kg^{-1}$ |
| میانگین | ۵/۳۰ | ۷/۷۶ | ۰/۶۳ | ۱۰/۹۴ | ۱/۳۵ | ۱/۰۰ | ۹/۳۹ | ۱/۴۵ | ۰/۰۷ |
| انحراف معیار | ۰/۵۳ | ۰/۱۰ | ۰/۵۶ | ۱/۵۵ | ۰/۱۲ | ۰/۱۷ | ۰/۶۲ | ۰/۱۱ | ۰/۰۴ |
| دامنه | ۱/۶۰ | ۰/۳۶ | ۰/۱۷ | ۳/۹۰ | ۰/۴۴ | ۰/۶۲ | ۱/۷۰ | ۰/۳۸ | ۰/۱۶ |
| حداقل | ۴/۷۳ | ۷/۶۰ | ۰/۵۳ | ۹/۴۰ | ۱/۱۶ | ۰/۷۴ | ۸/۶۰ | ۱/۲۵ | ۰/۰۲ |
| حداکثر | ۶/۳۳ | ۷/۹۶ | ۰/۷۰ | ۱۳/۳۰ | ۱/۶۰ | ۱/۳۶ | ۱۰/۳۰ | ۱/۶۳ | ۰/۱۹ |

با توجه نتایج جدول(۳) ، میانگین شوری خاک نسبت به خاک اولیه افزایش یافته با انحراف معیار کم بود که بیانگر تاثیر کاربرد فاضلاب است. کمترین تغییرات در انحراف معیار مربوط به ویژگی‌های پ هاش، غلظت مس و کربن آلی بود، این موضوع نشان داد پراکندگی این ویژگی‌ها کم بوده و کاربرد فاضلاب تاثیر چندانی را بر این خصوصیات نداشته است. غلظت کادمیم کل خاک، کمتر از ۱/٦ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بود. همچنین، نتایج حاصل نشان داد میانگین غلظت کادمیم قابل جذب گیاه در طول مدت اجرای آزمایش نسبت به خاک اولیه اندکی کاهش یافته است.

به‌منظور بررسی تاثیر تیمارهای مورد مطالعه بر عناصر موجود در دانه گندم، تجزیه واریانس انجام و نتایج در جدول (٤) نشان داده شده است. نتایج جدول (٤) نشان داد، تیمارهای اعمال شده بر غلظت آهن دانه تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد داشت. در حالی‌که تیمارهای اعمال شده اختلاف آماری معنی‌داری بر غلظت سایر عناصر به‌ویژه غلظت کادمیم نداشت. بر اساس نتایج جدول (۲) که نشان دهنده غلظت عناصر در فاضلاب و آب معمولی است، غلظت فسفر و آهن در فاضلاب نسبت به آب معمولی بیشتر بود. بر همین اساس با مصرف فاضلاب به‌همراه آب معمولی غلظت این عناصر در محیط ریشه در مراحل مختلف رشد افزایش یافته و همین موضوع احتمالاً باعث افزایش غلظت این عناصر در دانه شده است.

همچنین، غلظت این عناصر به‌ویژه فسفر در خاک در حد مطلوب نبوده جدول (۱) و کاربرد تیمارهای فاضلاب توانسته است بخشی از نیاز گیاه را تامین نماید.این نتایج با سایر یافته‌ها در خاک‌های غیرآهکی مطابقت دارد (فیضی، ۲۰۰۱). دقت در نتایج جدول (٤) نشان داد، کاربرد تیمارهای فاضلاب تاثیری بر غلظت کادمیم دانه نداشت. این موضوع بیانگر این مطلب است، احتمالاً در این شرایط گندم قادر به جذب و انتقال این عنصر از محیط خاک به دانه نبوده است.

Archive of SID

www.SID.ir

**جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس میانگین مربعات عناصر دانه گندم**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | Fe | Zn | Mn | Cu | Cd |
|---|---|---|---|---|---|---|
| تکرار | ۲ | ۲۷۰۲/۵ | ۱۳/۵۳ | ۳۳/۲۲ | ۲/۴۸ | ۰/۰۰۰۱ |
| تیمار | ۹ | ۱۹۵۳۱/۸* | ۳۱/۲۱ns | ۱۱۴/۹ns | ۰/۸۰۴ns | ۰/۰۰۰۲ns |
| خطاء | ۱۸ | ۱۷۲۵/۲ | ۵۰/۲ | ۱۲۲/۳ | ۱/۶۰۱ | ۰/۰۰۰۱ |
| ضریب تغییرات (٪) | | ۲۵/۵ | ۱۶/۸ | ۱۷/۶ | ۲۰/۱ | ۱۰/۵ |

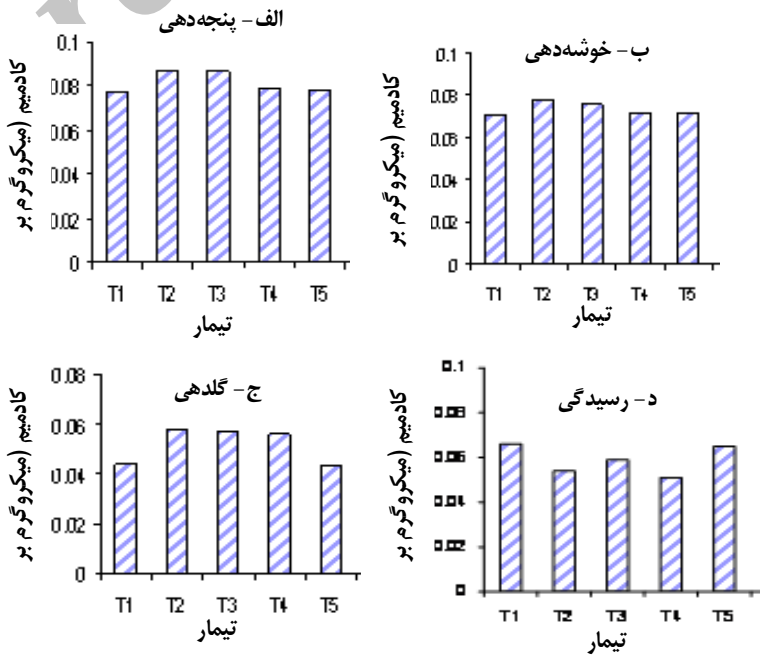
ns ،*: به‌ترتیب عدم وجود تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد

همچنین، تاثیر تیمارهای مورد مطالعه بر میانگین غلظت عناصر موجود در دانه گندم بررسی و در جدول (۵) نشان داده شده است. مقایسه غلظت عناصر کم‌مصرف دانه نشان داد، میانگین غلظت آهن دانه در تیمارهای مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری از نظر آماری نشان داد. بر این اساس میانگین غلظت آهن دانه در تیمار (T۳) نسبت به سایر تیمارها بالاتر بود جدول (۵). سایر عناصر کم‌مصرف از این نظر تفاوت معنی‌داری را در تیمارهای مورد مطالعه نشان ندادند. همچنین، بررسی تاثیر تیمارهای مورد مطالعه بر وضعیت آلودگی کادمیم موجود در دانه انجام شد جدول (۵).

**جدول۵-مقایسه میانگین غلظت عناصر در بذر گندم**

| تیمار | Fe (mg kg$^{-1}$) | Zn (mg kg$^{-1}$) | Cu (mg kg$^{-1}$) | Mn (mg kg$^{-1}$) | Cd (µg kg$^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|
| $T_1$ | ۱۵۲۵ab | ۳۹/۷a | ۶/۱a | ۲۵/۰a | ۰/۰۰۱a |
| $T_2$ | ۱۴۶۹ab | ۴۰/۴a | ۶/۰a | ۲۵/۰a | ۰/۰۰۱a |
| $T_3$ | ۱۹۸۴a | ۴۳/۴a | ۶/۹a | ۲۷/۳a | ۰/۰۰۱a |
| $T_4$ | ۱۶۵۹ab | ۴۰/۶a | ۶/۶a | ۳۱/۴a | ۰/۰۰۱a |
| $T_5$ | ۶۳۷b | ۳۶/۸a | ۶/۴a | ۲۹/۷a | ۰/۰۰۱a |

بر این اساس، میانگین غلظت این عنصر بسیار پایین‌تر از حد مجاز این عنصر بود و در شرایط این پژوهش اختلاف آماری معنی‌داری از این نظر بین تیمارهای مورد مطالعه وجود نداشت. با توجه به این‌که، فاضلاب دارای آلاینده‌های مختلف به‌ویژه عناصر سنگین می‌باشد، میزان عنصر کادمیم، در مراحل مختلف رشد گندم در تیمارهای مورد بررسی اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل اندازه‌گیری کادمیم قابل جذب در خاک در مراحل مختلف رشد گندم در اثر کاربرد تیمارهای فاضلاب در شکل (۱) نشان داده شده است.




**شکل ۱- روند تغییرات کادمیم خاک در اثر تیمارهای مختلف آب و فاضلاب در مراحل رشدی گندم الف- پنجه‌دهی، ب- خوشه‌دهی، ج- گلدهی، د- رسیدگی**

Archive of SID
www.SID.ir

نتایج حاصل از جدول (۱) نشان داد، غلظت کادمیم قابل جذب در خاک اولیه به‌میزان ۰/۰۷۲ میکروگرم بر کیلوگرم خاک و میزان این عنصر در فاضلاب و آب معمولی به‌ترتیب به‌میزان ٤/۷۲ و ۱/۰۱ میکروگرم بر لیتر تعیین شد جدول (۲). بر اساس نتایج شکل (۱) میانگین غلظت کادمیم قابل جذب در هر مرحله کاربرد نسبت به غلظت اولیه خاک افزایش قابل توجهی نداشت. همچنین، نتایج حاصل از جدول (۵) نشان داد، میانگین غلظت کادمیم در دانه گندم کمتر از حد مجاز بوده و بین تیمارهای مورد مطالعه از نظر آماری اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. این نتایج با یافته‌های صفری-سنجانی (۱۳۷٤) که گزارش نمود، میزان تجمع عناصر سنگین در خاک منطقه برخوار اصفهان که به مدت هفت سال با فاضلاب آبیاری شده‌اند افزایش معنی‌داری نداشته است، همخوانی داشت.

همچنین، فیضی (۲۰۰۱) در پژوهشی، تاثیر آبیاری با فاضلاب بر تجمع برخی از عناصر در خاک و گیاه در مدت هشت سال را نشان داد. بر این اساس، غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های خاک و گیاه در مزارع آبیاری شده با فاضلاب کمی بیشتر از مزارع آبیاری شده با آب چاه بود. اما محدودیتی از نظر میزان تجمع عناصر سنگین در آبیاری این گیاهان با فاضلاب مشاهده نشد. به منظور بررسی تاثیر کاربرد فاضلاب بر جمعیت میکروبی خاک، در محیط‌های کشت، تعداد این میکروارگانیسم‌در خاک‌های تیمار شده با فاضلاب (۱۰۰ درصد فاضلاب) ($T_۵$)، تیمار ۵۰ درصد آب و ۵۰ درصد فاضلاب ($T_۳$) و تیمار شاهد ($T_۱$) شمارش شد. نتایج حاصل از این شمارش در جدول (٦) نشان داده شده است.

**جدول۶- تعدادمیکروارگانیسم شمارش شده در برخی تیمارهای مورد مطالعه ($CFU\ l^{-1}$)**

| تیمار | ساقه‌دهی | خوشه‌دهی | گلدهی | رسیدگی |
|---|---|---|---|---|
| $T_۱$ | $۷\times۱۰^{۵}$ | $۶\times۱۰^{۵}$ | $۵\times۱۰^{۶}$ | $۵\times۱۰^{۶}$ |
| $T_۳$ | $۸\times۱۰^{۵}$ | $۸\times۱۰^{۷}$ | $۶\times۱۰^{۷}$ | $۶\times۱۰^{۷}$ |
| $T_۵$ | $۸\times۱۰^{۶}$ | $۸\times۱۰^{۷}$ | $۶\times۱۰^{۸}$ | $۶\times۱۰^{۷}$ |

*: $T_۱$: شاهد؛ $T_۳$: ۵۰ درصد آب معمولی به همراه ۵۰ درصد فاضلاب؛ $T_۵$: ۱۰۰ درصد فاضلاب

نتایج نشان داد، جمعیت میکروارگانیسم‌ها در تیمار $T_۳$ نسبت به تیمار شاهد، و تیمار $T_۵$ نسبت به تیمار $T_۳$ بالاتر بود. همچنین، نتایج نشان داد جمعیت میکروبی در تیمار ۵۰ درصد نسبت به شاهد افزایش قابل توجهی داشته است، در حالی‌که این افزایش جمعیت در تیمار ۱۰۰ نسبت به تیمار ۵۰ درصد مشاهده نگردید. این موضوع نشان دهنده محدودیت خاک از نظر رشد میکروارگانیسم‌ها و رقابت بین آنها در منابع موجود در خاک است.

## نتیجه گیری

این پژوهش با هدف بررسی کاربرد آب فاضلاب (غیرقابل شرب) بر آلودگی میکروبی و شیمیایی خاک و گندم (رقم چمران) انجام شد. نتایج حاصل نشان داد میانگین غلظت کادمیم قابل جذب گیاه نسبت به خاک اولیه اندکی کاهش یافته است. همچنین، کاربرد تیمارهای فاضلاب در مقایسه با آب معمولی تاثیر معنی‌داری بر غلظت عناصر دانه (بجز آهن) نداشت. بر اساس نتایج حاصل تیمار $T_۳$ (۵۰ درصد آب معمولی به همراه ۵۰ درصد فاضلاب) نسبت به سایر تیمارها تاثیر بیشتری بر میزان جذب عناصر در دانه نشان داد. نتایج نشان داد، غلظت کادمیم بذر در اثر کاربرد فاضلاب تفاوت معنی-داری ($p<۰/۰۵$) را نشان نداشت و میانگین غلظت کادمیم قابل جذب در هر مرحله رشدی نسبت به غلظت اولیه خاک افزایش قابل توجهی را نشان نداد. از نظر جمعیت میکروبی در طی مراحل مختلف رشد گیاه در تیمارهای فاضلاب مشابه بودند. این موضوع احتمالاً نشان دهنده ایجاد محدویت (منابع غذایی) برای رشد میکروارگانیسم-ها است. به‌طوری‌که تیمارهای $T_۳$ (۵۰ درصد آب معمولی

Archive of SID

www.SID.ir

بـه همـراه ۵۰ درصـد فاضـلاب) و $T_0$ (۱۰۰ درصـد فاضلاب) از ایـن نظـر تفـاوت داشـتند. هرچنـد در ایـن پژوهش، مصرف فاضـلاب (همـراه بـا آب معمـولی) بـر آلودگی میکروبـی و شـیمیایی در خـاک و گنـدم تـاثیری نداشته، اما باید توجه داشت کـاربرد طـولانی مـدت ایـن منابع آبی به دلیل تجمع آلودگی، برای خاک و محصولات کشاورزی مشـکلاتی ایجـاد را خواهنـد نمـود. بنـابراین، استفاده از ایـن منـابع آبـی در تولیـدات کشـاورزی بایـد محدود شده و در مواردی که در ارتباط با زنجیره غـذایی جامعه نباشد مورد بهره‌برداری قرار گیرند.

## فهرست منابع


۱. پروان، م.۱۳۸۳. اثرات آبیاری با فاضلاب تصفیه شده بر روی خصوصیات خاک. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.

۲. ثواقبی، غ‌ر؛ ملکوتی، م‌ج. ۱۳۷۹. اثرات روی و کادمیوم بر غلظت عناصر و ترکیب شیمیایی دانه گندم. مجله آب و خاک، ویژه نامه کشاورزی پایدار، موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران. ۱۲(۹): ٥٤-٦٥.

۳. عابدی کوپایی، ج؛ افیونی، م؛ مصطفی‌زاده، ب؛ موسوی؛ س‌ف؛ باقری، م‌ر. ۱۳۸۲. تاثیر آبیاری بارانی و سطحی با پساب تصفیه شده بر شوری خاک. مجله آب و فاضلاب، ٤٥: ۲-۱۱.

٤. صفری‌سنجانی، ع. ۱۳۷٤. پیامد آبیاری با پساب بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک ناحیه برخوار اصفهان و انباشتگی برخی عناصر در گیاه یونجه. پایان نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۵. قنبری، ا؛ عابدی کوپایی، ج؛ طایی سمیرمی، ج. ۱۳۸۵. اثر آبیاری با فاضلاب تصفیه شده شهری روی عملکرد و کیفیت گندم و برخی ویژگی‌های خاک منطقه سیستان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ٤: ٥٩-٧٤.

٦. یارقلی، ب. ۱۳۷۹. اثرات زیست محیطی و برنامه پایش در طرح‌های تصفیه و استفاده مجدد از فاضلاب در کشاورزی پایدار. مجله تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، ج ۵، شماره ۱۸.

7. Abedi-Koupai, J., B. Mostafazadeh-Fard, M. Afyuni and M. R. Bagheri. 2006. Effect of treated wastewater on soil chemical and physical properties in an arid region. Plant, soil and Environment. 52(8):335-344.
8. Chen, W., L ,Wu, W.T. Frankenberger, and A.C. Chang. 2008. Soil enzyme activities of long-term reclaimed wastewater-irrigated soils. Environment Quality Journal, 37: 36- 42.
9. FAO/UNESCO. 1973. Irrigation, Drainage, and Salinity. An International Sourcebook.
10. Feizi, M. 2001. Effect of treated wastewater on accumulation of heavy metals in plant and soil, In: Ragab R, Pearce G, Changkim J, Nairizi S, Hamdy A (Eds.). ICID International Workshop on Wastewater Reuse and Management. Seoul, Korea. pp: 137-146.
11. Hussain, I., L. Raschid, M.A. Hanjra, F. Marikar and W. Vander Hoek. 2002. Waste water use in agriculture: Review of impacts and methodological issues in valuing impacts. (With an extended list of bibliographical references). Working Paper 37. Colombo, Sri Lanca, International Water Management Institute.
12. Kabata-Pendias, A. and H. Pendias. 2001. Trace element in Soils and plant. 3rd ed. CRC Press, USA, p. 413.


Archive of SID

www.SID.ir

13. Klay, S., A. Charef, A. Ayed, B. Houman and F. Rezgu. 2010. Effect of irrigation with treated wastewater on geochemical properties (saltiness, C, N and heavy metals) of isohumic soils (Zaouit Sousse perimeter, Oriental Tunisia). Desalination. 253:180-187.
14. Lucho-Constantino CA ,M. Álvarez-Suárez ,R.I. Beltrán-Hernández, F. Prieto –García , H.M. Poggi-Varaldo. 2005. A multivariate analysis of the accumulation and fractionation of major and trace elements in agricultural soils in Hidalgo State, Mexico irrigated with raw wastewater. Environment International. 31: 313-323.
15. Mapanda F, E.N. Mangwayana, J. Nyamangara and K.E. Giller. 2005. The effects of long-term irrigation using wastewater on heavy metal contents of soils under vegetables in Harare, Zimbabwe. Agricultural Ecosystem Environment Journal, 107: 151-165.
16. Page, A.L., R.H. Miller and D.R. Keeney. 1982. Methods of Soil Analysis, Part II, Physical properties, ASA, Soil Science Society of American Journal, Madison, WI.
17. Pais, I. and J.B. Jones. 1997. The handbook of trace elements, St. Lucie Press, Boca Raton, Florida.
18. Sposito, G., L.J. Lund and A.C. Chang. 1982. Trace metal chemistry in arid-zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd and Pb in soil phases. Soil Science Society of American Journal. 46: 260-264.
19. Streck, T and J. Richter. 1997. Heavy metal displacement in a sandy soil at the field scale: I. Measurements and parameterization of sorption. Journal of Environmental Quality. 26: 49-56.
20. Toze S. 2006. Reuse of effluent water - benefits and risks. Agricultural Water Management, 80:147-15

Archive of SID

www.SID.ir