

تأثیر آبیاری با پساب شهری بر تجمع باکتریهای شاخص آلودگی و برخی فلزات سنگین در خاک و گیاه

افسانه عالی نژادبان^۱، جهانگرد محمدی^۲، احمد کریمی^۲ و فرزانه نیکوخواه^{۳*}

^۱ خرم آباد، دانشگاه لرستان، دانشکده کشاورزی، گروه علوم خاک

^۲ شهرکرد، دانشگاه شهرکرد، دانشکده کشاورزی، گروه خاکشناسی

^۳ شهرکرد، دانشگاه شهرکرد، دانشکده منابع طبیعی، گروه محیط زیست

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۱/۱ تاریخ پذیرش: ۹۱/۶/۱۲

چکیده

به منظور بررسی میکروبی و برخی فلزات سنگین در اندام هوایی ذرت علوفه‌ای و خاک، پژوهشی با طرح آماری بلوکهای کامل تصادفی با دو تیمار شامل آبیاری با آب چاه با کود (W_1) و آبیاری با پساب (W_2) در تابستان ۱۳۹۰ در مزرعه تصفیه‌خانه فاضلاب شهری شهرکرد اجرا گردید. نتایج نشان داد که تعداد باکتریهای لاکتوز مثبت، کلی‌فرم کل و مدفوعی در عمق ۵-۰ سانتیمتری نسبت به عمق ۱۵-۵ سانتیمتری حدود ۴۲ درصد بیشتر بود و با گذشت زمان روزانه تعداد باکتریهای شاخص آلودگی در خاک به مقدار ۳۵ درصد کاهش نشان دادند. در برگ مسن تعداد کلی‌فرم کل ۸۸ و کلی‌فرم مدفوعی $40 \text{ MPN}/100\text{m}$ و در برگ جدید تعداد کلی‌فرم کل ۳۸ و کلی‌فرم مدفوعی $2 \text{ MPN}/100\text{ml}$ شمارش گردید. غلظت فلزات سنگین در ساقه و برگ گیاه در تیمار W_2 در مقایسه با تیمار W_1 بیشتر بود ولی تفاوت معنی‌داری بین دو تیمار دیده نشد. غلظت فلزات سنگین در خاک و گیاه تحت بررسی نیز در حد مجاز قرار داشتند.

واژه‌های کلیدی: تصفیه‌خانه فاضلاب شهری، ذرت علوفه‌ای، کلی‌فرم کل، کلی‌فرم مدفوعی، فلزات سنگین

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۳۱۸۶۱۸۳۶، پست الکترونیکی: f_nikookhah@yahoo.com

مقدمه

جدید مانند استفاده از پساب فاضلابهای کشاورزی، صنعتی، شهری و روستایی، به ویژه در بخش کشاورزی، می‌تواند مشکلات مربوط به تخلیه فاضلاب و کمبود منابع آبی را برطرف و مورد توجه قرار گیرد (۱). استفاده از فاضلاب تصفیه شده شهری می‌تواند به دلیل داشتن مواد آلی و عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، عملکرد محصول را افزایش دهد (۷) و از طرفی ممکن است به علت وجود طیف وسیعی از عوامل بیماری‌زا مانند باکتریهای کلی‌فرمی فلزات سنگین خطرانی را برای سلامتی به همراه داشته باشد (۱۴)؛ بنابراین از آنجایی که پساب فاضلاب جزء منابع غیرمتعارف آب محسوب می‌شود، کاربرد آن در

حفاظت از آب و خاک که از عوامل مهم محیط زیستی در مناطق خشک و نیمه خشک به شمار می‌آیند، یکی از راهکارهای حفظ و توسعه کشاورزی در این نواحی هستند. رشد روز افزون جمعیت جهان همگام با گسترش فعالیتهای کشاورزی و صنعتی در جهت افزایش تأمین مواد غذایی از یک سو و خشکسالیهای پی در پی در سالهای اخیر از سوی دیگر، موجب شده است که منابع موجود آب شیرین سطحی در اکثر کشورهای واقع در کمربند مناطق خشک به اوج بهره‌برداری خود برسد و بالطبع فشار بیش از اندازه به منابع آب وارد آید بنابراین اجرای تدابیر و چاره‌اندیشی به منظور توسعه و بهره‌برداری از منابع آبی

کشاورزی نیازمند مدیریتی خاص است که ضمن بهره‌گیری مطلوب از آن، مخاطرات زیست محیطی و بهداشتی را در خاک، گیاه و منابع آب سطحی و زیر زمینی به همراه نداشته باشد (۴۴).

تعداد زیادی از تحقیقات نشان می‌دهد که غلظت بالای فلزات سنگین اثرات منفی و زیان‌باری بر محتوای میکروبی خاک، تنوع میکروبی، فراوانی باکتریها، فعالیت آنزیمی مختلف و معدنی شدن کربن و نیتروژن خواهد گذاشت که در دراز مدت تهدید جدی را برای سلامت و تثبیت خاک به همراه خواهد داشت (۱۹).

در تعیین کیفیت میکروبیولوژیکی فاضلاب تصفیه شده، معمولاً شاخصهای آلودگی مدفوعی از قبیل کلی‌فرمها و انتروکوکوکوسها مورد بررسی قرار می‌گیرند. انتخاب این میکروارگانیسمها به دلیل سرعت و سهولت جدا سازی و شناسایی آنها است که تعیین آنها اطلاعاتی را راجع به وجود و رفتار عوامل بیماری‌زای اصلی در فاضلاب فراهم می‌کند (۴۵).

باکتریها به دلیل تنوع متابولیکی، قادرند در جاهایی زندگی کنند که اغلب میکروارگانیسمهای دیگر قادر به زندگی در آن مکانها نیستند. با توجه به اینکه ویروسها استثنا هستند، معمولاً تعداد باکتریها در خاک نسبت به سایر میکروارگانیسمها بیشتر است. تنها در یک نمونه خاک ممکن است بیش از ۴۰۰۰ باکتری یافت شود که از لحاظ ژنتیکی با هم متفاوت هستند (۴۳). باکتریها از لحاظ اکولوژیکی به دو دسته تقسیم می‌شوند: باکتریهای بومی (اتوکتونوس) که به عنوان ساکنین واقعی و دائمی شناخته شده‌اند و باکتریهای غیر ساکن یا خارجی (آلوکتونوس) که به عنوان مهاجم یا عابر در نظر گرفته می‌شوند (۸).

مواد و روشها

مکان تحقیق: این مطالعه قسمتی از یک کار تحقیقی می‌باشد که در تصفیه‌خانه فاضلاب شهری شهرکرد با هدف اثرات زراعی و محیط زیستی استفاده مجدد فاضلاب این تصفیه‌خانه برای آبیاری محصول کشاورزی در تابستان ۱۳۹۰ اجرا گردید. عمل تصفیه در این تصفیه‌خانه به صورت لجن فعال با هوادهی گسترده می‌باشد و سه مرحله تصفیه مقدماتی، ثانویه و پیشرفته در آن صورت می‌گیرد. این تصفیه‌خانه، فاضلاب تولید شده توسط جمعیتی بالغ بر ۲۰۰۰۰۰ نفر را تصفیه می‌کند و پساب خروجی آن ۳۵۰ lit/s می‌باشد. تصفیه‌خانه در جنوب غربی شهرکرد و در ارتفاع ۲۰۶۱ متری از سطح دریا قرار دارد. آب و هوای

کشاورزی نیازمند مدیریتی خاص است که ضمن بهره‌گیری مطلوب از آن، مخاطرات زیست محیطی و بهداشتی را در خاک، گیاه و منابع آب سطحی و زیر زمینی به همراه نداشته باشد (۴۴).

تعداد زیادی از تحقیقات نشان می‌دهد که غلظت بالای فلزات سنگین اثرات منفی و زیان‌باری بر محتوای میکروبی خاک، تنوع میکروبی، فراوانی باکتریها، فعالیت آنزیمی مختلف و معدنی شدن کربن و نیتروژن خواهد گذاشت که در دراز مدت تهدید جدی را برای سلامت و تثبیت خاک به همراه خواهد داشت (۱۹).

در تعیین کیفیت میکروبیولوژیکی فاضلاب تصفیه شده، معمولاً شاخصهای آلودگی مدفوعی از قبیل کلی‌فرمها و انتروکوکوکوسها مورد بررسی قرار می‌گیرند. انتخاب این میکروارگانیسمها به دلیل سرعت و سهولت جدا سازی و شناسایی آنها است که تعیین آنها اطلاعاتی را راجع به وجود و رفتار عوامل بیماری‌زای اصلی در فاضلاب فراهم می‌کند (۴۵).

باکتریها به دلیل تنوع متابولیکی، قادرند در جاهایی زندگی کنند که اغلب میکروارگانیسمهای دیگر قادر به زندگی در آن مکانها نیستند. با توجه به اینکه ویروسها استثنا هستند، معمولاً تعداد باکتریها در خاک نسبت به سایر میکروارگانیسمها بیشتر است. تنها در یک نمونه خاک ممکن است بیش از ۴۰۰۰ باکتری یافت شود که از لحاظ ژنتیکی با هم متفاوت هستند (۴۳). باکتریها از لحاظ اکولوژیکی به دو دسته تقسیم می‌شوند: باکتریهای بومی (اتوکتونوس) که به عنوان ساکنین واقعی و دائمی شناخته شده‌اند و باکتریهای غیر ساکن یا خارجی (آلوکتونوس) که به عنوان مهاجم یا عابر در نظر گرفته می‌شوند (۸).

خاک کشاورزی ترکیب ضروری اکوسیستم است و به عنوان فیلتر طبیعی در نظر گرفته می‌شود و این خاصیت آن را قادر به حذف میکروارگانیسمهای بیماری‌زا از فاضلاب به کار برده شده می‌سازد (۳۹). حذف این

نمونه‌های خاک هوا خشک و پس از کوبیده شدن با چکش پلاستیکی از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند و برخی خصوصیات شیمیایی و فیزیکی مانند اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک (در سوسپانسیون ۱:۵ خاک به آب) به ترتیب با pH متر دیجیتال مدل ۷۴۴، مارک Metrohm و EC متر دیجیتال sension7 و مارک HACH، کربنات کلسیم معادل با روش خنثی کردن کربنات کلسیم با اسید کلریدریک و تیتراسیون اسید اضافی با سود، مواد آلی خاک توسط اکسیداسیون تر، ازت کل خاک با روش کج‌دال و با دستگاه کج‌دال مدل Behr labor-Technik، فسفر قابل جذب به روش اولسن و با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Cintra 5، پتاسیم قابل جذب با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر Corning مدل ۴۱۰، غلظت قابل استفاده عناصر سنگین پس از عصاره‌گیری نمونه‌ها با DTPA با دستگاه جذب اتمی مدل GBC 932 Plus Atomic Absorption Spectrometer و بافت خاک به روش هیدرومتر اندازه‌گیری شدند (۲). نتایج برخی پارامترهای شیمیایی و فیزیکی در جدول ۱ نشان داده شده است. همچنین در پساب مورد استفاده نیز برخی از پارامترها اندازه‌گیری و در جدول ۲ نشان داده شده‌اند. اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی و اکسیژن مورد نیاز شیمیایی به ترتیب با BOD متر مدل OxiDirect و COD متر مدل DRB 200 Digestion مارک HACH سنجش شدند.

آنالیز شیمیایی گیاه: در نمونه‌های برداشته شده گیاهی اجزاء تر گیاه شامل برگ و ساقه از هم جدا و ابتدا با آب معمولی تمیز و سپس با محلول رقیق اسید کلریدریک ۰/۰۰۵ درصد شسته و بعد از شستشوی مجدد با آب معمولی در نهایت با آب مقطر چندین بار شستشو و به مدت چند روز در هوای آزاد گذاشته شدند و پس از آن با قرار دادن نمونه‌ها در پاکتهای کاغذی در گرمخانه تهویه‌دار در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت چند روز تا رسیدن به وزن ثابت قرار داده شدند. پس از این مرحله نمونه‌های خشک شده توسط آسیاب برقی به ذرات حدود

این منطقه معتدل نیمه مرطوب سرد است و بارش سالیانه آن ۳۱۹ میلی‌متر، حداکثر درجه حرارت مطلق آن ۴۲ درجه سلسیوس و حداقل دمای مطلق آن ۳۲- درجه سلسیوس می‌باشد.

این تحقیق در بهار و دهه اول خرداد ماه ۱۳۹۰ در زمینی که تا به حال توسط پساب آبیاری نشده بود برای بررسی میکروبی و برخی فلزات سنگین در اندام هوایی گیاه و خاک با طرح آماری بلوکهای کامل تصادفی با دو تیمار شامل آبیاری با آب چاه با کود (W_1) و آبیاری با پساب (W_2) در ۳ تکرار اجرا گردید. با توجه به آزمون خاک قبل از کشت در تیمار W_1 (آب چاه) کودهای شیمیایی حاوی ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپر فسفات تریپل و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سولوپتاس استفاده شد و در تیمار W_2 به دلیل کاربرد پساب هیچ کودی استفاده نگردید. عملیات کاشت ذرت علوفه‌ای رقم ZP 677 به وسیله کارگر در کرت‌هایی به ابعاد ۳/۷۵×۵ متر و با فاصله ردیف ۷۵ سانتیمتر و در ۵ ردیف، فاصله بوته‌ها روی ردیف ۲۰ سانتیمتر و با عمق ۵ سانتیمتر به صورت خطی صورت گرفت. در هر نوبت آبیاری مقدار آب مورد نیاز ذرت با استفاده از تخلیه رطوبتی خاک محاسبه گردید و از چاه موجود در تصفیه‌خانه و پساب خروجی تصفیه‌خانه، با سیستم لوله‌کشی بسته آب به کرتها انتقال یافت و حجم مشخص آب با کنتور حجمی متصل به شیلنگها، با آبیاری سطحی در هر کرت توزیع گردید. در طی فصل رشد و با توجه به عرف منطقه آبیاری با فواصل هفت روز یک بار انجام و در مجموع ۱۶ مرتبه آبیاری صورت گرفت.

نمونه‌برداری و آنالیز شیمیایی و فیزیکی خاک: قبل از انجام آزمایشات مزرعه‌ای جهت بررسی یکنواختی زمین و به دست آوردن اطلاعاتی راجع به خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک، نمونه‌های مرکب خاک از اعماق ۳۰-۰ سانتیمتری خاک از هر بلوک (تکرار) جمع‌آوری گردید.

آنالیز میکروبیولوژیکی خاک: در انتهای فصل رشد و یک روز بعد از اتمام آخرین مرحله آبیاری از وسط کرت‌های آبیاری شده با پساب و آب معمولی (آب چاه) با استفاده از قاشقک فلزی استریل ۰/۵ سانتیمتر از خاک سطحی کنار زده شد و بلافاصله با اسپیتول استریل دیگری، ۱۰ گرم از خاک از اعماق ۰-۵ و ۵-۱۵ سانتیمتری خاک مربوطه برداشته و در ظروف و بطریهای شیشه‌ای استریل جمع‌آوری و در ظرف حاوی یخ در دمای حدود ۴ درجه سلسیوس نگهداری شدند و سریعاً جهت تجزیه میکروبی مورد استفاده قرار گرفتند. نمونه‌های برداشته شده با استفاده از همزن مغناطیسی استریل برای ۳۰ دقیقه در ۹۰ سی‌سی آب مقطر استریل پراکنده شدند. روش اندازه‌گیری کلی‌فرم کل و کلی‌فرم مدفوعی در نمونه‌های خاک نیز مانند نمونه پساب با روش MPN بود و باید خاطر نشان کرد که جهت اندازه‌گیری کل باکتریها در خاک، رقیق‌سازی صورت گرفت و درجه رقت برای نتایج نهایی در نظر گرفته شد (۱۵ و ۳۱).

در انتهای فصل رشد همچنین در یک آزمایش فرعی جهت ارزیابی شدت کاهش در تعداد میکروارگانیسم‌ها با گذشت زمان بعد از آبیاری، نمونه‌های خاک در تیمار W_2 (تیمار پساب) در ۳ تکرار بعد از زمانهای (۲، ۴، ۲۴، ۴۴، ۶۸ و ۹۲ ساعت پس از کاربرد فاضلاب تصفیه شده) از عمق ۵-۱۵ سانتیمتری خاک جمع‌آوری شدند. باکتریهای کلی‌فرم کل و کلی‌فرم مدفوعی در نمونه‌های خاک مشابه آنچه که در قسمت قبلی برای دو عمق ۰-۵ و ۵-۱۵ سانتیمتری شرح داده شد مورد آنالیز و شمارش قرار گرفتند.

آنالیز میکروبی گیاه: جهت بررسی باکتریها در برگ و دانه گیاه، این اجزاء گیاه با آب استریل شسته شدند و آب حاصل از شستشو با روشهای ذکر شده در بالا مورد بررسی قرار گرفت (۱۲ و ۱۵).

۱ میلی‌متر تبدیل و سپس برخی فلزات سنگین قابل عصاره‌گیری با DTPA در این نمونه‌ها اندازه‌گیری شدند (۳).

آنالیزهای میکروبیولوژیکی نمونه‌های فاضلاب تصفیه شده: کیفیت باکتریایی پساب با روش بیشترین شمارش احتمالی (MPN) تعیین گردید. جهت تعیین باکتریهای لاکتوز مثبت در نمونه پساب از محیط کشت لاکتوز براث با کد Merck Cat. No. 1.07661.0500 (۵ گرم پپتون، ۳ گرم عصاره گوشت و ۵ گرم لاکتوز) با رقت‌های ضعیف و قوی استفاده شد. پس از تلقیح، لوله‌ها به مدت ۴۸-۲۴ ساعت در ۳۷-۳۵/۵ درجه سلسیوس قرار گرفتند. تولید گاز در این لوله‌ها احتمال وجود باکتریهای لاکتوز مثبت را نشان داد. پس از این مرحله از محیط کشت برلیانت گرین بایل براث با کد A7119 (حاوی ۱۰ گرم ژلاتین، ۱۰ گرم لاکتوز، ۲۰ گرم اکس بایل و ۰/۱۳۳ گرم برلیانت گرین) جهت تشخیص باکتریهای کلی‌فرم استفاده شد به این ترتیب که یک تا دو قطره از هر لوله لاکتوز براث مثبت به محیط کشت برلیانت گرین بایل براث اضافه گردید و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۰/۵ ± ۳۵ درجه سلسیوس قرار داده شد. ایجاد گاز در لوله‌های دورهام محیط کشت برلیانت گرین، به منزله مثبت بودن آزمایش و تأیید مراحل قبلی بود. بعد از این مرحله از محیط پپتون واتر با کد A7418 (محتوی ۱۰ گرم پپتون، ۵ گرم کلرید سدیم، ۳/۵ گرم فسفات دی سدیم و ۱/۵ گرم فسفات مونو پتاسیم) و تست اندول جهت تعیین باکتریهای کلی‌فرم مدفوعی استفاده شد که در این تست بعضی باکتریها می‌توانند اسید آمینه تریپتوفان به کار رفته در تست اندول که از انحلال ۱۰ گرم تریپتوفان و ۵ گرم کلرید سدیم به دست می‌آید را تجزیه و به آنالین و اندول تبدیل نمایند. اندول آزاد شده توسط باکتریها با معرف کواکس (پارادی متیل آمینو بنزالدئید) رنگ زرد محیط کشت را به رنگ قرمز تبدیل می‌کند. در نهایت تعداد باکتریها با استفاده از جدول MPN تعیین شدند (۱۵).

اکسیداسیون کامل و نیتریفیکاسیون در طول فرآیند تصفیه بود و فسفر نیز با غلظت نسبتاً پایینی در پساب وجود داشت. سطح اکسیژن بیوشیمیایی و شیمیایی در فاضلاب تصفیه شده پایین بود که نشانگر اکسیداسیون کامل پساب و کارایی بالای تصفیه در تصفیه‌خانه فاضلاب شهرکرد بود. تصفیه فاضلاب همچنین باید تعداد میکروارگانیسم‌ها را به یک سطح قابل قبول کاهش دهد که این سطح قابل قبول برای مصارف گوناگون مانند منابع آب آشامیدنی، آبیاری و کشاورزی متفاوت است. با توجه به جدول ۲ مشاهده می‌شود که کیفیت پساب خروجی تصفیه‌خانه با توجه به استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست ایران (۵) از جنبه شیمیایی و فیزیکی بالا و برای آبیاری محصولات زراعی و باغها در مناطق خشک و نیمه خشک مناسب می‌باشد.

تجزیه آماری: تیمارهای مورد آزمایش (آب چاه و پساب) با استفاده از نرم افزار SAS V8 بر مبنای طرح بلوکهای کامل تصادفی با ۳ تکرار مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. میانگینها با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵ درصد مقایسه شدند. برای ترسیم نمودارها از نرم افزار Excel و در نمودارها از حروف، برای مشخص نمودن تفاوت بین میانگینها استفاده گردید.

نتایج

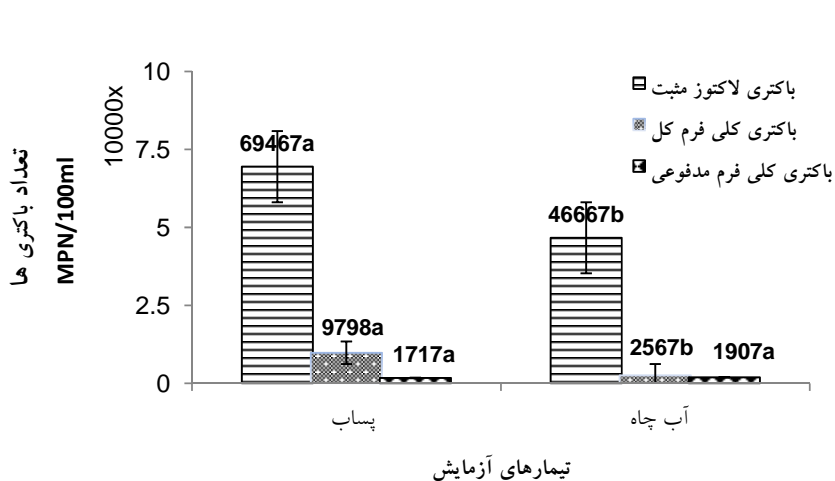
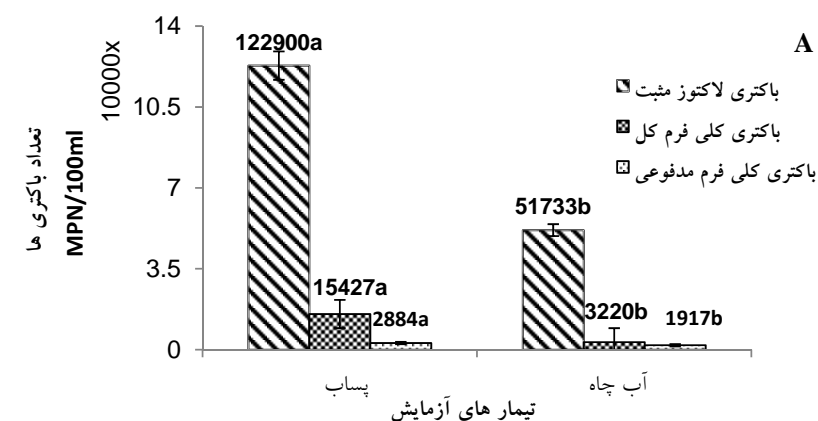
با توجه به نتایج به دست آمده خاک منطقه مورد آزمایش، از نظر بافت، رسی، قلیایی، شدیداً آهکی و حاوی مقادیر کم نیتروژن، پتاسیم، فسفر، شوری و ماده آلی بود (جدول ۱). فاضلاب تصفیه شده نیز قلیایی و غیر شور بود. نیتروژن عمدتاً به صورت نیتروژن نیتراتی بود که بیان کننده

جدول ۱- برخی از مشخصات اصلی خاک منطقه مورد مطالعه

عمق خاک (cm)	pH	درصد مواد آلی	هدایت الکتریکی (dS/m)	درصد کربنات کلسیم معادل	نیتروژن (%)	فسفر قابل جذب (mg/kg)	پتاسیم قابل جذب (mg/kg)	بافت خاک
۰-۳۰	۸/۵۲	۱/۰۶	۰/۳۷	۴۸/۰۵	۰/۰۹	۸/۲۰	۲۰۸	رسی

آبیاری شده با آب چاه بیشتر بودند. تعداد کلی فرم کل در نمونه‌های خاک آبیاری شده با فاضلاب تصفیه شده در عمق ۰-۵ سانتیمتری 15427 ± 775 MPN/100ml و کلی فرم مدفوعی 2883 ± 225 MPN/100ml و در عمق ۵-۱۵ سانتیمتری کلی فرم کل 9797 ± 440 MPN/100ml و کلی فرم مدفوعی 1907 ± 154 MPN/100ml بودند در حالی که در خاک آبیاری شده با آب چاه (آب معمولی) در عمق ۰-۵ سانتیمتری باکتریهای کلی فرم کل 3220 ± 917 MPN/100ml و کلی فرمهای مدفوعی از 1917 ± 465 MPN/100ml و در عمق ۵-۱۵ سانتیمتری تعداد کلی فرم کل 929 ± 2567 MPN/100ml و برای کلی فرم مدفوعی 1717 ± 326 MPN/100ml متغیر بودند.

بررسی باکتریولوژیکی خاک و گیاه: الف) خاک: در دو عمق مورد نظر، بین باکتریهای هوازی لاکتوز مثبت، کلی فرم کل و کلی فرم مدفوعی در تمام نمونه‌های خاک آبیاری شده با آب چاه نسبت به خاک آبیاری شده با فاضلاب تصفیه شده بین دو تیمار، تفاوت معنی داری دیده شد ولی برای عمق ۵-۱۵ سانتیمتری برای باکتری کلی فرم مدفوعی بین دو تیمار تفاوت معنی داری مشاهده نگردید (شکل ۱). در تمام نمونه‌ها در اعماق ۰-۵ و ۵-۱۵ سانتیمتری از سطح خاک در دو تیمار مورد آزمایش تعداد کلی فرم کل از کلی فرم مدفوعی بیشتر بود و با افزایش عمق کاهش باکتریها نمایان بود (شکل ۱). همچنین مشاهده می‌گردد که کلی فرمهای کل و مدفوعی در نمونه‌های خاک آبیاری شده با فاضلاب تصفیه شده نسبت به نمونه‌های



شکل ۱- باکتری لاکتوز مثبت، کلی فرم کل و مدفوعی در ۲ عمق خاک (A) ۰-۵ cm و (B) ۵-۱۵ cm بعد از آبیاری با پساب و آب معمول کشاورزی داده‌ها و تفاوت معنی‌دار آنها در زمانهای مختلف با حروف روی نمودار نمایان شده است. نتایج تجزیه واریانس نیز در جدول ۴ نشان می‌دهد که در زمانهای مختلف بعد از اتمام آبیاری، هر سه باکتری در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر دارند.

در آزمایش فرعی انجام شده بعد از ۲۴ ساعت کل تعداد باکتریهای لاکتوز مثبت حدود 6×10^4 MPN/100ml کل کلی‌فرمهای کل حدود 10^4 و کلی‌فرمهای مدفوعی حدود 2×10^3 MPN/100ml به دست آمد. این کاهش باکتریها بعد از ۲۴ ساعت می‌تواند به علت جذب باکتریها به ذرات کلوییدی خاک و یا مرگ سلولها باشد. تمام باکتریها با گذشت زمان بعد از کاربرد فاضلاب به کمترین

نتایج آزمایشات باکتریایی خاک و تجزیه آماری داده‌ها و مقایسه میانگینها در سطح ۵ درصد نشان داد که استفاده از فاضلاب تصفیه شده در مقایسه با آب چاه به ترتیب باعث افزایش کلی‌فرم کل (TC) و کلی‌فرم مدفوعی (FC) به میزان $79/12$ و $33/52$ درصد در عمق ۰-۵ و $73/80$ و $9/96$ درصد در عمق ۵-۱۵ سانتیمتری خاک گردید (جدول ۳ و شکل ۱).

نتایج آزمایشات فرعی در زمانهای مختلف (۲، ۴، ۲۴، ۴۴، ۶۸ و ۹۲ ساعت) در نمونه‌های خاک جمع‌آوری شده در کرت‌های آبیاری شده با فاضلاب تصفیه شده (W_2) با گذشت زمان کاهش باکتریهای لاکتوز مثبت، کلی‌فرم کل و مدفوعی را نشان می‌دهد (شکل ۲) در این شکل میانگین

مقدار کاهش پیدا کردند. این کاهش نشان داد که با گذشت زمان خطرات باکتریایی استفاده از پساب در خاک کاهش می‌یابد.

جدول ۲- میانگین کیفیت آب چاه و پساب شهری تصفیه شده شهرکرد در تابستان ۱۳۹۰ و ارزیابی آلودگی آنها در مقایسه با استانداردهای توصیه شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست ایران می‌باشد.

معیار اندازه‌گیری شده	آب چاه	انحراف معیار آب چاه	پساب	انحراف معیار	مرز استاندارد آلوده کننده‌ها در پساب برای مصارف کشاورزی
pH	۷/۳۰	۰/۱۹	۷/۸	۰/۱۹۸	۶-۸/۵
هدایت الکتریکی (dS/m)	۰/۷۹	۰/۰۰۳	۰/۷۷	۰/۰۴۱	۲/۹۷
کلسیم (mg/l)	۶۱/۷۵	۴/۹۶	۴۱/۳۲	۹/۵۵	-
منیزیم (mg/l)	۶/۳۱	۰/۱۰۶	۲۴/۲۴	۲/۶۴	۱۰۰
نیترژن نیتراتی (mg/l)	۳۰/۶۲	۱/۱۲	۳۵/۹۸	۵/۰۳	۵۰
نیترژن نیتریتی (mg/l)	۰/۰۲۱	۰/۰۰۳	۱/۲۲	۰/۴۲	-
فسفر فسفاتتی (mg/l)	۰/۱۵	۰/۰۱۴	۱۴/۷۶	۱/۲۸۶	۶
پتاسیم (mg/l)	۰/۹۷	۰/۰۶۲	۲۴/۸۰	۴/۰۶۱	-
منگنز (mg/l)	۰/۰۰۹	۰/۰۰۲	۰/۰۱۲	۰/۰۰۲	۱
آهن (mg/l)	۰/۰۱۵	۰/۰۰۱	۰/۰۲۸	۰/۰۱	۳
روی (mg/l)	۰/۳۴۶	۰/۰۰۲	۰/۰۳۹	۰/۰۲۱	۲
مس (mg/l)	۰/۰۶۹	۰/۰۰۲	۰/۰۱۸	۰/۰۳۷	۰/۲
کادمیوم (mg/l)	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳	۰/۰۵
BOD (mg/l)	-	-	۸/۵	۱/۱۳	۱۰۰
COD (mg/l)	-	-	۳۲/۱۶	۵/۰۴	۲۰۰
کلی فرم کل [®] (MPN/100mL) Coliform	-	-	۱۷۰۰۰۰	-	۱۰۰۰
کلی فرم مدفوعی Fecal (MPN/100mL) Coliform	-	-	۱۱۰۰۰۰	-	۴۰۰

* مقادیر کلی فرم کل و مدفوعی تنها در انتهای فصل رشد و با ۳ تکرار شمارش گردیدند.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (F) اثر نوع آب بر تعداد باکتری در دو عمق ۵- و ۱۵- سانتیمتری خاک

عمق ۵-۱۵ سانتیمتری خاک			عمق ۵- سانتیمتری خاک			منابع تغییر
کلی فرم مدفوعی	کلی فرم کل	باکتری لاکتوز مثبت	کلی فرم مدفوعی	کلی فرم کل	باکتری لاکتوز مثبت	
۰/۸۶ ^{ns}	۲/۷۳ ^{ns}	۲/۱۳ ^{ns}	۳/۸۱ ^{ns}	۲/۲۲ ^{ns}	۰/۷۵ ^{ns}	۲ تکرار
۰/۷۷ ^{ns}	۲۷۶/۳۰ ^{**}	۹۲/۴۴ ^{**}	۲۵/۲۹ ^{**}	۴۹۹/۶۶ ^{**}	۲۴۰/۸۲ ^{**}	۱ تیمار (نوع آب)
						۲ خطا

ns، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار، معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس (F) تعداد باکتریهای لاکتوز مثبت، کلی فرم کل و مدفوعی با گذشت زمان

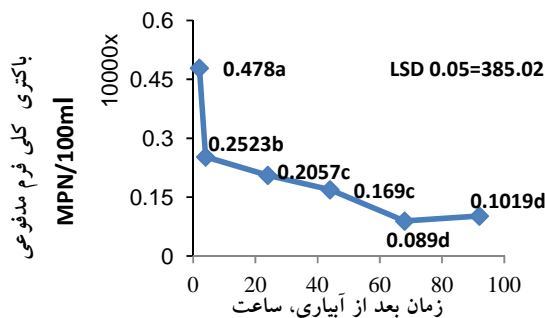
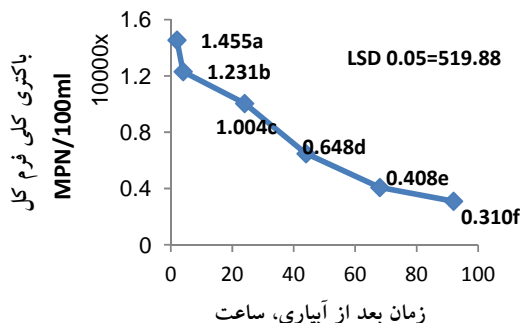
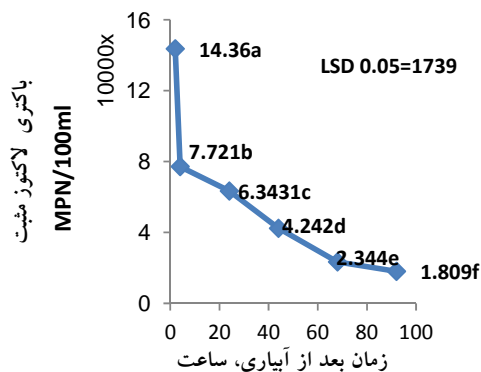
منابع تغییر	درجه آزادی	باکتری لاکتوز مثبت	باکتری کلی فرم کل	باکتری کلی فرم مدفوعی
تکرار	۲	۶/۲۰**	۶/۸۰**	۱/۹۹ ^{ns}
تیمار (زمان)	۵	۷۰۴۳/۲۰**	۷۹۲/۴۳**	۱۳۵/۸۶**
خطا	۱۰			

ns، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار، معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

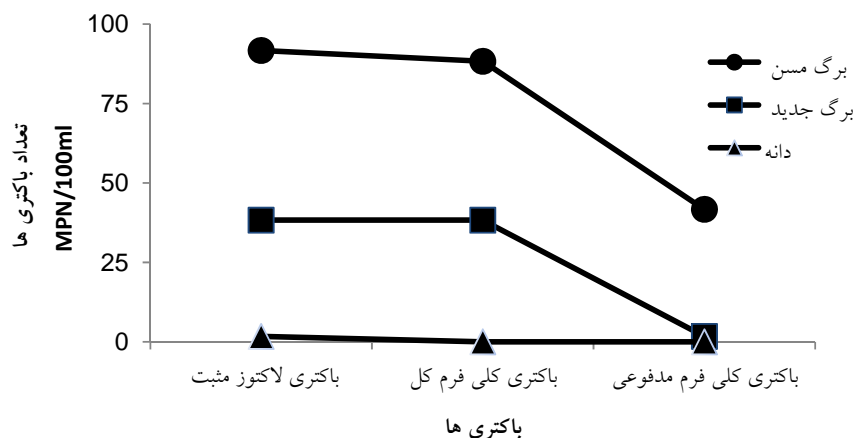
جدول ۵- میانگین غلظت برخی فلزات سنگین (استخراج با DTPA) در خاک (۳۰-۰ سانتیمتر) پیش و پس از آزمایش

شاخص اندازه‌گیری شده	آهن (mg/kg)	منگنز (mg/kg)	روی (mg/kg)	مس (mg/kg)	کادمیوم (mg/kg)	سرب (mg/kg)	نیکل (mg/kg)
خاک پیش از کاشت	۲/۴۵	۳/۱۲	۰/۳۰	۰/۳۱	۰/۰۵۱	۰/۴۷	۰/۳۲
گستره مجاز در خاکها	-	۱۵۰۰-۳۰۰۰	۳۰۰	۱۰۰	۳	۱۰۰	۱
W ₁	۲/۰۳b	۱/۱۱d	۰/۳۲a	۰/۶۰a	۰/۰۵۶bc	۰/۸۶b	۰/۲۰ab
W ₂	۱/۷۰d	۱/۱۲d	۰/۲۴c	۰/۶۲a	۰/۰۶۳ab	۰/۹۶a	۰/۲۵ab

در هر ستون میانگینهایی که دارای حروف مشابه هستند بر اساس آزمون LSD در سطح ۵٪ فاقد تفاوت معنی‌دار هستند.



شکل ۲- کاهش در تعداد باکتریهای لاکتوز مثبت (a)، کلی فرم کل (b) و کلی فرم مدفوعی (c) در خاک با زمان پس از کاربرد پساب به خاک (LSD حداقل اختلاف معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد)



شکل ۳- تعداد باکتریهای لاکتوز مثبت، کلی فرم کل و مدفوعی در اندام مختلف گیاه تحت آبیاری با پساب

باید توجه کرد که در مورد تجمع عناصر سنگین در خاک نباید انتظار داشت که در یک سال زراعی میزان غلظت عناصر سنگین در خاک افزایش معنی‌داری نشان دهد زیرا غلظت این عناصر در فاضلاب تصفیه شده بسیار ناچیز است. تجمع عناصر سنگین در خاک طی آبیاری با فاضلاب به عوامل مختلفی از جمله غلظت این عناصر در فاضلاب، مدت آبیاری با فاضلاب، بافت، اسیدیته و درصد مواد آلی خاک بستگی دارد (۲۰ و ۲۷). اورتگا لوراسه (۲۰۰۱) (۳۸) در پژوهش خود بیان کرد که کاربرد فاضلاب تجمع عناصر سنگین و فسفر را در لایه سطحی خاک افزایش داد.

خاک منطقه آزمایش پیش از تحقیق حاوی مقادیر کمی از عناصر کم مصرف و فلزات سنگین بود و این عناصر در پساب مورد استفاده نیز کم بودند و یکی از دلایل پایین بودن برخی از این عناصر در خاک نسبت به قبل از آزمایش می‌تواند به بافت ریز خاک منطقه آزمایش که ظرفیت نگهداری بالا برای ریز مغذیها و فلزات سنگین موجود در پساب را دارد، مربوط باشد.

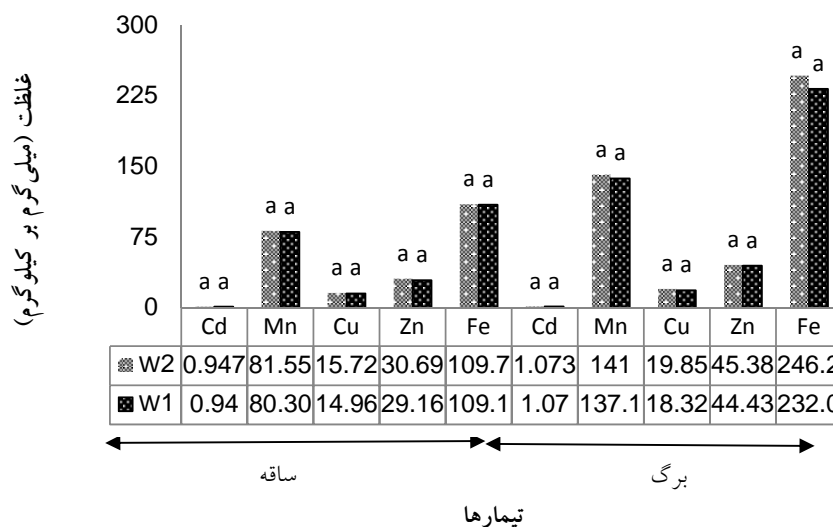
گیاه: با توجه به شکل ۴ نمایان است که با مصرف پساب (W_2) مقادیر فلزات سنگین در برگ و ساقه گیاه نسبت به تیمار آب معمولی (W_1) بیشتر است ولیکن تفاوت معنی‌داری بین آنها دیده نشد. علت بالاتر بودن غلظت

(ب) **بررسی آلودگی میکروبی برگها و دانه گیاه:** مقدار باکتریهای لاکتوز مثبت، کلی فرم کل و مدفوعی در برگهای قدیمی نسبت به برگ جدید گیاه زیادتر بودند (شکل ۳) که علت آن می‌تواند نزدیک بودن برگهای قدیمی به سطح زمین و امکان آلوده شدن بیشتر آنها با پساب در حین آبیاری باشد. همچنین نتایج نشان داد که آلودگی باکتریایی در اجزاء گیاه در حد قابل قبول بود و در دانه ذرت تعداد باکتریهای شاخص حدود صفر بود.

(ج) **تأثیر پساب شهری بر غلظت برخی فلزات سنگین خاک و گیاه:** خاک: نتایج تجزیه شیمیایی خاک نشان داد آبیاری با فاضلاب به استثنای مس، کادمیوم و سرب تأثیری بر افزایش یا تجمع عناصر ریز مغذی و فلزات سنگین در خاک (استخراج با DTPA) نداشته است (جدول ۵) و تمامی مقادیر در دامنه بسندگی این عناصر در خاکها قرار دارند. گرچه فاضلاب محتوی مقادیر خیلی کمی از ریز مغذیها بود مس قابل استخراج با DTPA در خاک به طور معنی‌داری افزایش یافت که این می‌تواند به واکنشهای کلاته شدن مس با ترکیبات آلی فراهم شده به وسیله کاربرد پساب که یک مکانیسم اصلی برای بالا بردن حلالیت‌پذیری و قابل دسترسی عناصر کم مصرف در خاکهای با آهک بالا و قلیایی است، مربوط باشد (۳۵).

خاک می‌شوند و قابلیت جذب روی، مس و آهن خاک را افزایش می‌دهند که با نتایج این تحقیق همخوانی داشت. در هر دو تیمار مقدار عناصر سنگین از حد استاندارد تجاوز نمود. علیزاده و همکاران (۲۰۰۱) (۱۳) در بررسی اثر آبیاری ذرت با پساب نشان دادند که غلظت عناصر میکرو و سنگین در گیاه ذرت تحت تأثیر تیمار آبیاری قرار نگرفت.

عناصر سنگین در اندام هوایی گیاه تحت آبیاری با پساب می‌تواند به دلیل وجود مقادیر بالاتر این عناصر در پساب باشد. همچنین به علت افزایش مواد آلی خاک توسط پساب قابلیت جذب آهن، روی، مس، منگنز و کادمیوم توسط گیاه افزایش یافته است. رضایی نژاد و افیونی (۱۳۷۹) (۴) نیز در بررسی اثر مواد آلی بر خواص شیمیایی خاک، جذب عناصر به وسیله ذرت و عملکرد آن اظهار داشتند که کودهای آلی باعث افزایش معنی‌دار مواد آلی



شکل ۴- اثر تیمارهای آبیاری بر غلظت عناصر سنگین در اندام هوایی ذرت علوفه‌ای. (مقایسه میانگین بر اساس آزمون LSD در سطح ۰/۰۵ انجام گرفته است)

خاک، پالایش باکتریها توسط خاک (همراه با محدود کردن انتقال آنها و جریان آب به لایه‌های پایین‌تر)، تجمع ذرات معلق و باکتریها در سطح خاک که خود به عنوان فیلتر عمل می‌کند، مربوط باشد (۲۹). شایان ذکر است که شسته شدن و آبشویی باکتریها از طریق بارندگی یا آبیاری از خاک آلوده به مواد دفعی و عناصر آلاینده تدریجاً می‌تواند آلودگی را به لایه‌های پایین‌تر خاک و حتی به آبهای سطحی و زیرزمینی برساند. محمودی و جوانمردی (۱۳۸۸) (۹) در بررسی خود گزارش کردند که آلودگی مدفوعی در کنار دریاچه پریشان نسبت به قسمت میانی دریاچه بیشتر بود که دلیل آن ورود آلودگیهای مدفوعی از خاک مناطق ساحلی به کناره‌های دریاچه بود. عالی نژادیان

بحث

نتایج نشان داد که با توجه به کم بودن عناصر غذایی در خاک منطقه مورد مطالعه، مواد آلی و مواد غذایی موجود در فاضلاب توانسته است منجر به تحریک میکروبیها و افزایش بیوماس و فعالیت آنها شود که با توجه به شکل ۱ مشاهده می‌شود که تعداد باکتریها در تیمار آبیاری شده با پساب، به دلیل بیشتر بودن عناصر غذایی در پساب، بیشتر می‌باشد. همچنین تعداد کل باکتریها در لایه بالایی خاک (۵-۰ سانتیمتری) نسبت به لایه عمیق‌تر (۱۵-۵ سانتیمتری) بیشتر بودند که دلیل آن می‌تواند به عواملی مانند زیادتر بودن مواد آلی و وجود هوا در لایه سطحی

باکتریها مشاهده می‌شود. بارتون و آرلوسکروف (۱۹۸۷) (۱۷) و تات (۱۹۷۸) (۴۲) نیز در مطالعات خود، رطوبت، رطوبت خاک، نوع و غلظت نمک‌های یونی در محلول خاک را از عوامل مهم تأثیر گذار در زنده ماندن و مقدار انتقال باکتریها در خاک بیان کردند. گلدشمید و همکاران در تحقیق خود (۱۹۷۳) (۲۲) نشان دادند که نگهداشت باکتریها توسط خاک در حضور پساب فاضلاب نسبت به آب معمولی بیشتر است. در مطالعه حاضر افزایش در تعداد باکتریهای لاکتوز مثبت، کلی‌فرم کل و کلی‌فرم مدفوعی می‌تواند به علت افزایش رطوبت خاک، دمای مناسب، بیشتر بودن مقدار یونهای املاح در آغاز فصل رشد مخصوصاً درست بعد از آبیاری با فاضلاب تصفیه شده و حتی مقداری بیشتر بعد از آبیاری دوم با همان فاضلاب باشد.

باکتریهای کلی‌فرم کل در خاک آبیاری شده با فاضلاب تصفیه شده نسبت به خاک آبیاری شده با آب معمولی حدود ۴ برابر بیشتر بود که این افزایش می‌تواند مربوط به مواد مدفوعی موجود در فاضلاب تصفیه شده باشد. هرچند، در خاکهای آبیاری شده با آب معمولی که حاوی تعداد کمی کلی‌فرم مدفوعی بودند، کلی‌فرمهایی وجود داشت که می‌تواند به عواملی غیر از فاضلاب تصفیه شده مانند استعمال کود که ممکن است به باکتریها آلوده باشد، مربوط باشد. استفاده باکتریهای کلی‌فرم مدفوعی به عنوان یک شاخص آلودگی توسط برخی از دانشمندان یک شاخص بهتری از آلودگی نسبت به کلی‌فرم کل است زیرا کلی‌فرمهای کل ممکن است شامل گونه‌هایی باشند که مربوط به مواد مدفوعی نباشند (۲۴).

واکنش خاک (pH) یک فاکتور مهم دیگری در بقای میکروارگانیسم‌ها در خاک است. مشخص شده است که زمان دوام باکتریهای هتروتروفیک معمولاً در خاک اسیدی (pH=۳-۵) نسبت به خاک قلیایی کمتر است زیرا اسیدیته (pH پایین) خاک می‌تواند نقش معکوسی بر باکتریها و

ویگی (۱۳۸۷) (۶) در تحقیق خود نشان دادند که آلودگی بالای مدفوعی در مظهر قنات لقدمه واقع در شهرستان سامان شهرکرد ناشی از آبیاری، ورود و دفع نامناسب فضولات و پساب مرغداری از طریق خاک به مادر چاه قنات موجود در مرغداری بود. زنده ماندن و بقای میکروارگانیسم‌ها در خاک به عواملی مانند درجه حرارت، مقدار رطوبت، واکنش خاک، ترکیب خاک، رقابت بازدارنده از میکروفلورای بومی خاک و همچنین مدت زمان دوام میکروارگانیسم‌ها خارج از میزبان طبیعی بستگی دارد (۱۸ و ۲۱). اگر شرایط نامساعد باشد، حتی در درجه حرارت پایین تعداد پاتوژنها کاهش موقتی را نشان خواهند داد (۳۳). زنده ماندن و دوام عوامل بیماری‌زای باکتریایی در خاک برای خاکهای علفزارها برای بیش از یک ماه گزارش شده است (۳۷) در حالیکه مطالعات متعددی بقای طولانی ویروسها را در خاک گزارش کرده‌اند (۴۱).

سرشت و طبیعت خاک مانند ظرفیت نگهداری رطوبت در خاک، واکنش خاک و مواد آلی خاکها نقش بسیار اساسی در بقاء و نگهداری میکروارگانیسم‌ها دارد (۱۸). کاربرد فاضلاب به خاک معمولاً فعالیت میکروارگانیسم‌ها را به خاطر افزایش مواد آلی خاک افزایش می‌دهد. تات (۱۹۷۸) (۴۲) در تحقیق خود نشان داد که بقای باکتریهای کلی‌فرم مدفوعی معمولاً در خاکهای آلی نسبت به خاکهای معدنی بالا می‌رود که دلیل آن می‌تواند به علت حضور مواد آلی در خاکهای آلی باشد. نتایج در این تحقیق نشان داد که بقاء و تعداد باکتریهای لاکتوز مثبت، کلی‌فرم کل و مدفوعی در نمونه‌های خاک با گذشت زمان کاهش یافت و در واقع چند ساعت پس از آبیاری نسبت به ۳ روز پس از آبیاری تعداد باکتریها بیشتر بود که این می‌توانست بیانگر این باشد که بلافاصله پس از آبیاری با فاضلاب، مقدار مواد آلی در خاک افزایش و در پی آن تعداد باکتریها نیز افزایش یافته و همچنین با گذشت زمان رطوبت خاک که از عوامل تأثیرگذار بر بقای باکتریها می‌باشد، کاهش می‌یابد و می‌توان نتیجه گرفت با گذشت زمان سیر نزولی در تعداد

ریشه گیاه گندم تغییرات مورفولوژیکی و میکروسکوپی در برگ گیاه ایجاد نگردید اما در ریشه گیاه این تغییرات مشاهده شد و با رسیدن کادمیوم به غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر در خاک، تمامی برگها زرد و خشک شده و ریشه‌ها از بین رفت و هیچگونه ریشه‌ای در گیاه دیده نشد. در این پژوهش غلظت فلزات سنگین در خاک به بیش از حد قابل مجاز نرسید و حتی ممکن است باعث تحریک فعالیت میکروبی خاک نیز شده باشد. رامیرز-فوانتر و همکاران (۲۰۰۲) (۴۰) نیز در بررسیهای خود یافتند که وقتی غلظت فلزات سنگین (سرب، جیوه، مس، کروم و کادمیوم) از حد مجاز تجاوز نکنند اثرات مثبتی روی فعالیت میکروبی خاک، کربن آلی و ازت کل خاک دارند. در تحقیق دیگر مافیت و همکاران (۲۰۰۳) (۳۴) نشان دادند که در خاکهای آلوده با عنصر روی (400 mg/kg^{-1}) نسبت به خاک غیر آلوده (57 mg/kg^{-1}) تنوع باکتریایی کمتر بود.

آلودگی باکتریایی در سطح برگ ذرت مورد مطالعه می‌تواند به علت پاشیده شدن پساب در حین عملیات آبیاری یا مربوط به مدفوع پرندگان باشد ولی این تعداد باکتری در حد قابل قبول بود. زنده ماندن عوامل بیماری‌زا در محیط زیستهای متفاوت به روشهای آبیاری، مانند آبیاری جوی پشته‌ای و بارانی، درجه حرارت بالا، خشک شدن و اشعه ماورای بنفش بستگی دارد. این فاکتورها می‌توانند منجر به مرگ و میر سریع‌تر عوامل بیماری‌زا از سطح مواد شوند (۲۶). نتایج به دست آمده نشان داد که در برگ مسن تعداد باکتری بیشتری وجود داشت و احتمالاً در فصل رشد فاکتورهای محیطی مانند درجه حرارت بالا، خشکی هوا توانسته روی برگهای جدید که بیشتر در معرض نور هستند تأثیر زیادتری بگذارد و باعث مرگ و از بین رفتن باکتریها در سطح برگ جدید نسبت به برگ قدیمی شود. برخی از مواقع استفاده از فاضلاب منجر به آلودگی میکروبی در سطح میوه شده و لذا مصرف تازه‌خوری آن مضر می‌باشد. عوامل بیماری‌زا اکثراً در محیط خاک به محصولات ریشه‌ای مانند تربچه، کاهو و دیگر سبزیجات

قابل دسترس بودن عناصر غذایی بگذارد (۴۲). نتایج این پژوهش نشان داد که pH اندازه‌گیری شده پساب و نمونه خاک قبل از آزمایش بالاتر از ۷ و قلیایی بود و این می‌توانست دلیلی بر بقاء و دوام باکتریهای مطالعه شده در طی دوره رشد و تحقیق باشد. همچنین با کاربرد پساب در انتهای فصل رشد، pH خاک آبیاری شده با پساب کاهش یافت (۸/۴۵) و این کاهش pH ممکن است حلالیت فلزات سنگین را افزایش داده باشد و موجب تحریک رشد باکتریها شده باشد (۴۰).

هدایت الکتریکی نیز از عوامل مهم و تأثیرگذار بر تعداد باکتریهای خاک است. تحقیقات نشان داده‌اند که شوری از عوامل مهم استرس برای میکروارگانیسم‌ها به حساب می‌آید. کاهش میزان دی‌اکسیدکربن تولیدی، کاهش فعالیت آنزیمی و کاهش محتوی میکروبی در اثر شوری اتفاق می‌افتد (۳۰). شوری پساب و آب چاه درطول دوره تحقیق به ترتیب ۰/۷۷ و ۰/۷۹ dS/m بود که این مقدار برای رشد باکتریها مناسب بود و برای آبیاری محصولات کشاورزی در حد استاندارد قرار داشت. مقدار شوری خاک نیز قبل از اجرای پژوهش ۰/۳۷ dS/m بود که مشکل شوری در محلول خاک وجود نداشت و افزودن پساب با شوری مناسب و عناصر غذایی مناسب نه تنها اثر سویی در خاک نداشت بلکه شرایط را برای فعالیت باکتریها مهیا نمود.

اگر چه بیشتر اوقات فاضلاب یا لجن فاضلاب می‌تواند برای کاربرد کوتاه مدت تأثیر مثبتی برای خاک و محصول داشته باشد، اما کاربرد طولانی مدت آن ممکن است به دلیل آلودگی ایجاد شده از طریق فلزات سنگین اثرات منفی بر جمعیت میکروبی خاک داشته باشد (۱۶). همچنین به دلیل جذب این فلزات توسط گیاه، در صورت جذب بیش از حد و تجاوز این عناصر از حد قابل قبول برای گیاه، اثرات زیان‌باری برای گیاه پیش خواهد آمد. مینویی و همکاران (۱۳۸۷) (۱۰) در تحقیق خود نشان دادند که با رسیدن غلظت کادمیوم به ۵۰ میلی‌گرم در لیتر در محیط

استفاده از پساب در کشاورزی نباید سلامت خاک را به خطر بیندازد. نتایج به دست آمده در این پژوهش نشان داد که باکتریهای شاخص آلودگی در گیاه در محدوده مجاز قرار داشتند و در خاک تحت آبیاری نیز با گذشت زمان باکتریها کاهش یافته و به حد قابل قبول رسیدند. پساب فاضلاب حاوی عناصر کم مصرف و فلزات سنگین می‌باشد و هنگامی که این عناصر به خاک اضافه می‌شوند گیاه این عناصر را جذب می‌کند. جذب عناصر کم مصرف و فلزات سنگین به مقدار زیاد به وسیله گیاه می‌تواند سبب آلودگی زنجیره غذایی انسان و دام شود. در این پژوهش در خاک و گیاه، غلظت فلزات سنگین از حد مجاز تجاوز نکرد؛ بنابراین کاربرد فاضلاب تصفیه شده دست کم در یک دوره کوتاه مدت، تأثیر نامطلوبی بر ویژگیهای خاک و گیاه نداشته است و می‌توان در شرایط کم آبی حاضر، استفاده از این پساب را با اعمال مدیریت خوب برای آبیاری غلات در منطقه مورد نظر توصیه نمود.

سپاسگزاری

بدین وسیله از آقای مهندس یزدانی، مدیر عامل محترم اداره آب و فاضلاب شهرکرد، سرکار خانم مهندس غلامی، مدیر محترم تصفیه‌خانه فاضلاب شهری شهرکرد، خانم نجفی، تکنسین آزمایشگاه اداره آب و فاضلاب شهرکرد، آقای غلامی مسئول حراست اداره آب و فاضلاب شهرکرد، خانم مؤمنی، خانم کریمی و خانم جمشیدی فرجهت همکاری در انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

منتقل می‌شوند و سلامتی غذا را مخصوصاً وقتی این محصولات توسط مصرف‌کنندگان به صورت خام مصرف می‌شوند در معرض خطر قرار می‌دهند (۳۶) ولی برای محصولات علوفه‌ای و غلات استفاده از پساب مشکلات کمتری را ایجاد می‌کند. آیلو و همکاران (۲۰۰۷) (۱۲) نشان دادند که کاربرد فاضلاب باعث افزایش آلودگی استرپتوکوک مدفوعی و اشرشیاکلی به ترتیب 3×10^3 MPN/100ml، 1×10^3 MPN/100ml در سطح خاک گردید. همچنین آنالیز میکروبی محصول، تجمع کمی از اشرشیاکلی را روی میوه‌های گوجه‌فرنگی آبیاری شده با فاضلاب با غلظت ۴۰ MPN/100ml را برای ۸۰ درصد نمونه‌ها نشان داد. کالاورو زیوتیس و همکاران (۲۰۰۸) (۲۸) در تحقیقی که در آگرینیون (Agrinion) یونان بر روی دو گیاه کلم بروکلی و کلم بروکسل انجام دادند نتیجه گرفتند که فاضلاب شهری تصفیه شده باعث افزایش غلظت فلزات سنگینو میزان کلی فرم مدفوعی و اشرشیاکلی در قسمتهای خوردنی این دو گیاه شد که عاملی خطرناک برای سلامتی بود، بنابراین فاضلاب شهری تصفیه شده نتوانست برای آبیاری این دو گیاه مورد استفاده قرار گیرد. عزیزاده (۱۳۷۵) (۷) کاشت گیاهان کاهو و هویج را در ارتباط با آبیاری با فاضلاب به علت مسائل بهداشتی توصیه نکرد ولی استفاده از پساب را در زراعت خیار و گوجه فرنگی بلا مانع دانست.

نتیجه‌گیری کلی

حفظ سلامت خاک از جنبه بهداشتی و شیمیایی برای کشاورزی پایدار از اهمیت فراوانی برخوردار است و

منابع

- ۱- ارون‌دی س.، کامیاب مقدس، ر. ۱۳۷۹. یکی از راهکارهای مقابله با کم آبی. استفاده بهینه از فاضلاب شهری. مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با کم آبی و خشکسالی، ۹ تا ۱۰ اسفند ماه، دانشگاه کرمان، جلد اول، صفحات ۵۵ تا ۶۴.
- ۲- توللی ح.، سمنانی ا. ۱۳۸۱. روشهای تجزیه خاک‌ها، گیاهان، آب‌ها و کودها. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.
- ۳- خوشگفتار منش ا.ح. ۱۳۸۶. ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای گیاه و مدیریت بهینه کودی. انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان.

- ۴- رضایی نژاد، ی.، افیونی، م. ۱۳۸۰. ارزیابی اثرات مواد آلی بر خصوصیات شیمیایی خاک، جذب عناصر توسط ذرت و عملکرد آن. مجله علوم کشاورزی و تکنولوژی و منابع طبیعی. جلد ۴، صفحات ۱۹ تا ۲۷.
- ۵- سازمان حفاظت محیط زیست ایران. ۱۳۷۸. ضوابط و استانداردهای زیست محیطی. انتشارات سازمان حفاظت محیط زیست ایران، تهران.
- ۶- عالی نژادیان، ا.، بیگی، ح. ۱۳۸۷. ارتباط الودگی باکتریایی آب قنات لقدمه سامان - شهرکرد با برخی از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی و یافتن منابع احتمالی آلودگی. مجله زیست‌شناسی ایران. جلد ۲۱ (شماره ۱، ویژه‌نامه میکروبیولوژی). صفحات ۱۲۱-۱۲۰.
- ۷- عزیززاده، ا. ۱۳۷۵. استفاده از پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در آبیاری محصولات کشاورزی. هفته‌نامه شهراب. انتشارات شرکت مهندسی آب و فاضلاب شماره ۴.
- ۸- لکزیان، ا.، شیبانی، س.، بهادریان، م.، شاددل، ل. ۱۳۸۳. میکروبیولوژی خاک. چاپ اول. انتشارات سخن گستر، مشهد، ۱۶۲ صفحه.
- ۹- محمودی، م.م.، جوانمردی، ف. ۱۳۸۸. تعیین میزان و منشأ باکتریهای مدفوعی در دریاچه پریشان. مجله زیست‌شناسی ایران. جلد ۲۲ (شماره ۴)، صفحات ۷۱۶-۷۱۵.
- ۱۰- مینویی، س.، مینایی تهرانی، د.، سمیعی، ک.، فریور، ش. ۱۳۸۷. مطالعه تغییرات میکروسکوپی تأثیر فلز کادمیوم بر گیاه گندمی (*Chlorophytum comosum*). مجله زیست‌شناسی ایران. جلد ۲۱ (شماره ۴). ۷۴۲-۷۳۷.
- ۱۱- نجفی، پ.، عابدی، م.ج.، موسوی، س.ف.، افیونی، م. ۱۳۸۲. مقایسه آلودگی گوجه‌فرنگی و سیب‌زمینی در دو روش مختلف آبیاری با پساب فاضلاب شهری. مجله علمی پژوهشی علوم کشاورزی. جلد ۱۰ (شماره ۲)، صفحات ۱۳۴-۱۲۵.
- 12- Aiello, R. Cirelli, G.L. and Consoli, S. 2007. Effects of reclaimed wastewater irrigation on soil and tomato fruits: a case study in Sicily (Italy). Journal of Agricultural water management 93: 65-72.
- 13- Alizadeh, A. Bazari, M.E. Velayati, S. Hashemian, M. Yaghmaie, A. 2001. Irrigation of corn with wastewater. PP. 147-154. In: R. Ragab, G. Pearce, J. Changkim, S. Nairizi and A. Hamdy (Eds.), ICID international workshop on wastewater reuse and management. Seoul, Korea.
- 14- Al-Nakshabandi, G.A. Saqqar, M.M. Shatanawi, M.R. Fayyad, M. Al-Horani, H. 1997. Some environmental problems associated with the use of treated wastewater for irrigation in Jordan. Journal of Agricultural water management. 34: 81-94.
- 15- APHA. 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater, 21th ed. American Public health association, Washington DC.
- 16- Bååth, E. Díaz-Ravina, M., Frostegård, Å. Campbell, C.D. 1998. Effect of metal-rich sludge amendment on the soil microbial community. Journal of Applied and Environmental Microbiology. 64: 238-245.
- 17- Bartone, C. R. And Arloscoroff, S. 1987. Irrigation reuse in pond effluent in developing countries. Journal of Water Science and Technology. 19: 289-297.
- 18- Chu, Y. Jin, Y. Baumann, T. Yates, M.V. 2003. Effect of soil properties on saturated and unsaturated virus transport through columns. Journal of Environmental Quality. 32 (6): 2017-2025.
- 19- Daj, J. Becquer, T. Rouiller, J.H. Reversat, G. Bernhard-Reversat, F. Lavelle, P. 2004. Influence of heavy metal on C and N mineralization and microbial biomass in Zn-, Pb-, Cu-, and Cd-contaminated soils. Journal of Applied Soil and Ecology. 25: 99-109.
- 20- EPA. 1992. Guidelines for wastewater reuse. EPA 625/R-92/004. Washington, D.C: US Environmental Protection Agency. 247.
- 21- Gerba, C. P. And Goyal., S. M. 1984. Pathogen removal from wastewater during groundwater recharge. In: Artificial recharge of groundwater (ASANO. T., Editor). Butterworths, Boston, Massachusetts.
- 22- Goldshmid, J. Zohar, D. Argamah, Y. And Koh, Y. 1973. Effect of dissolved salts on the filtration of coliform bacteria in sand dunes. In: Advances in water pollution research (jenkins, S.H., editor) pp. 147-153. Pergamon Press. New York.
- 23- Gori, R. Ferrini, F. Nicese, F. P. And Lubello, C. 2000. Effect of reclaimed wastewater on the growth and nutrient content of three landscape shrubs. Journal of Environmental Horticulture. 18: 108-114.

- 24- Hespanol, I. And Prost, A. M. 1994. WHO guidelines and national standards for reuse and water quality. *Journal of Water Research*. 28: 119-124.
- 25- Hespanol, I. 1990. Guidelines and integrated measure for public health protection and agricultural reuse systems. *Journal of Water Supply: Research and Technology*. 39: 237-249.
- 26- Hutchison, M. L. Walters, L. D. Moore, A. Crookes, K. M. and Avery, S. M. 2004. Length of time before incorporation on survival of pathogenic bacteria present in livestock wastes applied to agricultural soil. *Journal of Applied Environmental Microbiology*. 70: 5111-5118.
- 27- Ibewe, A. M. Luchanej, J. S. R. Van Burkum, P. 1995. Sewage sludge and heavy metal effects on nodulation and nitrogen fixation of legumes. *Journal of Environmental Quality*. 24: 1199-1204.
- 28- Kalavrouziotis I.K. Robolas P. Koukou lakis P.H. and Papadopoulos A.H. 2008. Effects of municipal reclaimed wastewater on the macro-and-micro-elements status of soil and of *Brossica oleracea* Var. Italica, and *B. oleracea* Var. Gemmifera. *Journal of Agricultural Water Management*. 95:419-426.
- 29- Krone, R. B. 1968. The movement of disease producing organisms through soils. In: municipal Sewage effluent for irrigation (Wilson, C.W. and Beckett, F. F., editors). Ruston Louisiana Tech. Alumni Foundation.
- 30- Mamilov, A. O.M. Dilly. S. Mamilov, Inubushi, K. 2004. Microbial ecophysiology of degrading aral sea wetlands: Consequences for C-cycling. *Journal of Soil Science Plant Nutrition*. 50:839-842.
- 31- Manios T, Moraitaki G, Mantzavinos D. 2006. Survival of total coliforms in lawn irrigated with secondary wastewater and chlorinated effluent in the Mediterranean region. *Journal of Water Environment Research*. 78(3): 330-335.
- 32- Mara, S. And Cairncross, S. 1988. Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture: measure for public health protection, IRCWD News, 24/25, 4-12.
- 33- Maule, A. 1999. Environmental aspect of *E.coli* 0157. *International food hygiene Journal*. 9, 21-23.
- 34- Moffett, B.F. Nicholson, F.A. Uwakwe, N.C. Chambers, B.J. Harris, J.A. Hill, T.C.J. 2003. Zinc contamination decreases the bacterial diversity of agricultural soil. *FEMS Microbiology Ecology Journal*. 43: 13-19.
- 35- Mohammad, M.J.A. 1986. The effect of S and H₂SO₄ application on the availability of Fe, Mn and Zn in calcareous soils, Washington State University, Pullman, WA, MS Thesis.
- 36- Natvig, E. E. Ingham, S.G. Ingham, B.H. Cooperband, L.R. Roper, T.R. 2002. Salmonella enterica Serovar Typhimurium and Escherichia coli contamination of root and leaf vegetables grown in soils with incorporated bovine manure. *Journal of Applied and Environmental microbiology*. 68 (6), 2737-2744.
- 37- Nicholson, F. A. Groves, S.J. Chambers, B.J. 2005. Pathogen survival during livestock manure storage and following land application. *Journal of Bioresource Technology*. 96(2): 135-143.
- 38- Ortega-Loracea, M. P. 2001. Arbuscular mycorrhizal fungi (AME) spore abundance is affected by wastewater pollution in soils of Mezqital valley in centurial Mexico. Sustaining the global farm. Pp. 676-681. In: D. E. Stott R. H. Mohtar G. C. Steinhardt (eds.), selected papers from the 10th international soil conservation organization meeting held at Purdue university and the USDA-ARS national soil erosion research laboratory, west Lafayette In.
- 39- Page, A. L. Lue-Hin, G.C. and Chang, C. A. 1986. Utilization, treatment, and disposal of waste on land. In: utilization, Treatment, and disposal of waste on land (Brown, K. W. Et al., Editors), pp. 1. SSSA, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- 40- Ramirez-Fuentes, E. Lucho-Constantino, C. Escamilla-Silva, E. Dendooven, L. 2002. Characteristics and carbon and nitrogen dynamics in soil irrigated with wastewater for different lengths of time. *Journal of Bioresource Technology*. 85:179-187.
- 41- Rzezutka, A. Cook, N. 2004. Survival of human enteric viruses in the environment and food. *FEMS microbiology reviews Journal*. 28(4): 441-453.
- 42- Tate, R. L. 1978. Cultural and environmental factors affecting the longevity of *Escherichia coli* in histosols. *Journal of Applied Environmental Microbiology*. 35: 25-929.
- 43- Torsvika, V. Gohsoyr, J. and Daae, F. L. 1990. High diversity in DNA of soil bacteria, *Journal of Applied and Environmental Microbiology*. 56: 782-807.

- 44- Toze, S. 2006. Reuse of effluent water (benefit and risks). *Agricultural water management*. 80:147-159.
- 45- Vera, I. Martel, G. Gutierrez, J. Marquez, M. Abreu-Acosta, N. Salas, J. J. Sardon, N. Herrera Melian, J, A. Aguilar Bujalance, M, E. Rexachs, J,A. Brito, A,G. Nogueira, R. Ribero, D. Martins, G. Cunha, J. 2008. *Gestion sostenible del agua residual en entornos rurales, Capitulo 3: Evaluacion de los sistemas de depuracion natural. Proyecto Depuranat, netbiblo, La Coruna-Spain*, pp, 99-157.

Effect of municipal effluent irrigation on accumulation of indicator bacteria and some of heavy metal in soil and plant

Alinezhadian A.¹, Mohammadi J.¹, A. Karimi¹, F. Nikookhah²

¹ Soil Science Dept., Faculty of Agriculture, Shahr-e-Kord University, Shahr-e-Kord, I. R. of Iran

² Environment Dept., Faculty of Natural Resource, Shahr-e-Kord University, Shahr-e-Kord, I.R. of Iran

Abstract

To study of microbial and some of heavy metal in forage corn and soil, field experiment was conducted in wastewater treatment plant in Shahr-e- kord in summer, 2011. Plots were arranged in a randomized complete block design in 3 replications and 2 treatments, well water with fertilizer (W_1) and effluent (W_2). Results showed that total number of positive lactose bacteria, total and fecal coliforms in depth of 0-5 cm was 42% more than depth of 5-15 cm . In old leaves, total and fecal coliform was 88 and 40 MPN /100 ml, respectively. Also, for new leaves, it was 38 and 2 MPN/ 100 ml, respectively. During the time, number of indicator bacteria in soil was decreased (about 35%). Heavy metal contents in W_2 was more than W_1 in stem and leaf but there was no significant difference between them. In soil and plant heavy metal contents were in acceptable level.

Key words: municipal wastewater treatment plant, forage corn, total coliform, fecal coliform, heavy metal