تأثیر فاضلاب بر ضریب انتقال عناصر سنگین از خاک به گیاه و برخی خصوصیات خاک (مطالعه موردی: سیب‌زمینی در شرایط لایسیمتری- گلخانه‌ای)

نصرالدین پارسافر[۱] و صفر معروفی[۱*]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۴/۱۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۹/۱۴)

چکیده

با توجه به کمبود آب با کیفیت مناسب، مصرف پساب فاضلاب شهری برای استفاده در کشاورزی اهمیت دارد. در این تحقیق، از فاضلاب خام و تصفیه‌شده تصفیه‌خانه شهر سرکان برای تعیین ضریب انتقال عناصر آهن، نیکل و منگنز از خاک به گیاه و برخی خصوصیات خاک در کشت سیب‌زمینی و شرایط لایسیمتری استفاده شده است. تیمارهای آبیاری شامل فاضلاب خام، فاضلاب تصفیه‌شده، آب معمولی، ترکیب ۵۰٪ فاضلاب خام و آب معمولی، و ترکیب ۵۰٪ فاضلاب تصفیه‌شده و آب معمولی بودند. نتایج نشان داد که اثر کیفیت آب بر قابلیت هدایت الکتریکی و پ-هاش خاک معنی‌دار (P <۰/۰۱) و اثر عمق خاک بر قابلیت هدایت الکتریکی غیرمعنی‌دار و بر پ-هاش خاک معنی‌دار (P <۰/۰۱) شد. هم‌چنین، اثر متقابل بر این دو پارامتر غیرمعنی‌دار بود. با افزایش عمق خاک، قابلیت هدایت الکتریکی افزایش و پ-هاش خاک کاهش یافت. بیشترین قابلیت هدایت الکتریکی و پ-هاش را به ترتیب فاضلاب خام و آب معمولی داشتند. مقدار بالای قابلیت هدایت الکتریکی در فاضلاب خام و زیاد بودن پ-هاش در آب معمولی، از دلایل زیادتر بودن پارامترهای فوق در خاک می‌باشد. اثر تیمارها بر ضریب انتقال عناصر منگنز و آهن به اندام هوایی معنی‌دار و در غده‌های سیب‌زمینی تنها در مورد منگنز معنی‌دار بود. بیشترین ضریب انتقال از خاک به اندام هوایی و غده‌ها به ترتیب مربوط به نیکل، آهن و منگنز بود. همچنین ضریب انتقال عناصر سنگین به اندام هوایی بیشتر از غده‌ها می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: کمبود آب، فاضلاب خام، فاضلاب تصفیه‌شده

مقدمه

در شرایطی که کشور ایران به شدت از لحاظ کمبود آب غیر شور رنج می‌برد و مسئله بحران آب به صورت یک مسئله جدی مطرح می‌باشد، توجه به منابع نامتعارف آب (آب‌های با کیفیت نامطلوب) یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر است. از سوی دیگر، تمرکز مراکز جمعیتی و صنعتی در نقاط مختلف، باعث تولید حجم زیادی از پساب می‌گردد که عدم توجه به یافتن بهترین شیوه‌های دفع آن، دشواری‌های زیست‌محیطی زیادی در اطراف این مناطق به همراه خواهد آورد. بررسی‌ها نشان داده است که کاربرد پساب در کشاورزی، بهترین شیوه دفع آن است (۱۰). تجمع املاح و نمک‌ها موجب شور شدن خاک‌ها و کاهش حاصل‌خیزی آنها می‌شود. تجمع بیش از حد برخی عناصر نیز می‌تواند برای گیاهان ایجاد مسمومیت کند (۲۳). در زمینه تأثیر فاضلاب بر خاک و گیاه مطالعاتی در سطح دنیا

۱. گروه مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا
*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: marofi@basu.ac.ir

صورت گرفته است؛ از جمله: فیتزپاتریک و همکاران (۱۷) به این نتیجه رسیدند که گونه‌های گیاهی مختلف واکنش یکسانی به آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده نشان نمی‌دهند. عرفانی آگاه (۱۱) نتیجه‌گیری نمود که غلظت عناصر سنگین در کلیه اندام‌های گیاهان کاهو و گوجه‌فرنگی در کلیه تیمارهای فاضلاب نسبت به تیمار شاهد افزایش داشته است. شیپر و همکاران (۳۲) افزایش پ–هاش خاک را به دنبال کاربرد طولانی مدت آبیاری فاضلاب گزارش کردند. دلیل این افزایش را وجود مقادیر زیاد کاتیون‌هایی نظیر سدیم، منیزیم و منگنز در فاضلاب بیان کردند. ملی و همکاران (۲۴) بیان نمودند که استفاده از فاضلاب بعد از سه دوره پنج ساله، بخصوص در فصول خشک، سبب افزایش در مقدار مواد غذایی خاک می‌شود. احتمالاً زیاد بودن غلظت این عناصر در فاضلاب نسبت به آب چاه، سبب تجمع این املاح در محلول خاک شده است. غلظت این املاح در سطح بیشتر از اعماق بود، که می‌تواند به دلیل تبخیر زیاد رطوبت از سطح خاک وانتقال املاح محلول در آب از اعماق به سطح خاک همراه با آب تبخیر شده باشد.

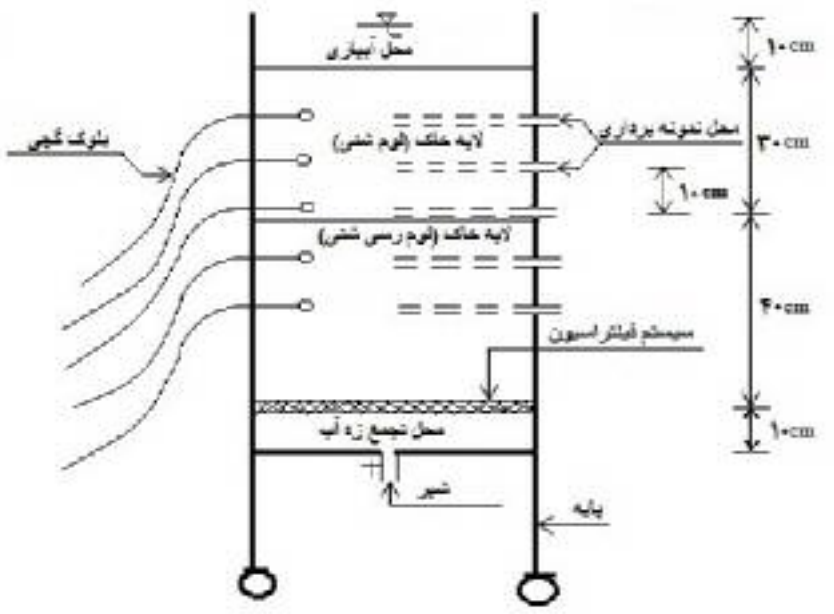
بهمنیار (۲) تأثیر مصرف فاضلاب در آبیاری گیاهان زراعی بر میزان برخی از عناصر سنگین خاک و گیاهان را مورد بررسی قرار داد. نتایج این پژوهشگر نشان داد که با استفاده از فاضلاب شهری برای کمک به آبیاری اراضی، میزان کادمیم، نیکل، سرب و کروم در خاک افزایش یافت. با افزایش مقدار آهک و مواد آلی خاک، میزان سرب کل تجمع یافته در خاک افزایش معنی‌داری نشان داد و سایر عناصر با مقدار آهک و مواد آلی همبستگی معنی‌داری نشان ندادند (۲). ضریب انتقال سرب، کادمیم، نیکل و کروم به دانه برنج به ترتیب افزایش یافت. اما در اندام هوایی اسفناج، میزان انتقال به ترتیب در کروم، نیکل، سرب و کادمیم افزایش نشان داده است (۲). نتایج پاپن و نادری (۴) در بررسی استفاده از پساب روی کشت آفتابگردان جهت مبارزه با خشکسالی نشان داد که پساب کاربردی نه تنها باعث افزایش شوری خاک نشده، بلکه با شوری کم خود قادر است نمک‌های احتمالی موجود در لایه سطحی پروفیل خاک را به پایین منتقل نماید. کلی و همکاران (۲۱) با بررسی اثر آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده نشان دادند که محتوای فلزات سنگین، بخصوص برای سرب و کادمیم، با دور آبیاری افزایش یافته است.

جمع‌بندی تحقیقات قبلی در زمینه انتقال عناصر سنگین از آب و خاک آلوده به محصولات زراعی نشان می‌دهد که پژوهش‌های قبلی عمدتاً در زمینه سبزی‌ها و صیفی‌ها بوده و در زمینه محصولات غده‌ای و وضعیت انتقال عناصر سنگین از خاک به اندام‌های مختلف این گیاهان در اثر کاربرد فاضلاب‌ها پژوهش‌های اندکی صورت گرفته است. در این پژوهش‌ها نیز عمدتاً اثر فاضلاب‌های تصفیه‌شده بررسی گردیده است. لذا در پژوهش حاضر، علاوه بر فاضلاب تصفیه‌شده، فاضلاب خام و ترکیب این فاضلاب‌ها با آب معمولی نیز در نظر گرفته شد. همچنین، علی‌رغم انجام تحقیقات مختلف در زمینه اثر فاضلاب‌ها بر خصوصیات خاک و گیاه، اطلاع دقیقی از مقدار انتقال عناصر سنگین از خاک به محصولات غده‌ای، به ویژه مقدار انتقال در بخش‌های مختلف خوراکی و غیر خوراکی این محصولات، در دست نیست. لذا در این راستا، پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر تیمارهای مختلف فاضلاب بر ضریب انتقال عناصر سنگین (نیکل، آهن و منگنز) از خاک به اندام‌های هوایی و غده سیب‌زمینی و همچنین تغییرات قابلیت هدایت الکتریکی و پ–هاش خاک در شرایط لایسیمتری اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

آماده سازی بستر کشت

در اجرای این پژوهش، به منظور کنترل هر چه مطلوب‌تر کلیه عوامل مؤثر، از لایسیمتر استفاده گردید. تعداد ۱۵ عدد لایسیمتر استوانه‌ای فلزی (عایق‌بندی شده) حجمی با ظرفیت ۲۲۰ لیتر (قطر ۶۰ و ارتفاع ۹۰ سانتی‌متر) استفاده شد. با توجه به اهمیت سیب‌زمینی در استان همدان و سطح وسیع زیر کشت آن، بدین منظور این گیاه انتخاب گردید. براساس آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی، در سال زارعی ۸۸–۱۳۸۷ در استان همدان، کشت سیب‌زمینی ۱۶/۶۳ درصد اراضی کشور را در بر



شکل ۱. شمایی از لایسیمتر و لایه‌های خاک به کار رفته در این تحقیق

گرفته و از نظر سطح، این استان مقام نخست را به خود اختصاص داده است. از نظر میزان تولید نیز ۲۱/۷۲ درصد از سیب‌زمینی کشور در سال زراعی مذکور در این استان تولید شده است و از این نظر نیز استان همدان مقام اول را در کشور داشته است (۳). جهت زهکشی آب موجود در قسمت پائین لایسیمترها از یک سیستم زهکشی ویژه استفاده شد و زه‌آب‌ها در محفظه مخصوصی که بدین منظور تعبیه شده بود جمع‌آوری گردید. در شکل ۱ شمای کلی لایسیمتر مورد استفاده ارائه شده است.

پس از طراحی، ساخت و قرار دادن لایسیمترها در محل مورد نظر، جهت حصول شرایطی واقعی، پر نمودن آنها طی چند مرحله و به تدریج صورت گرفت تا تراکم خاک در آنها در حد شرایط طبیعی منطقه صورت گیرد. به منظور ایجاد شرایط یکنواخت در خاک مورد نظر و جداسازی ذرات درشت دانه، از الک با قطر روزنه‌های یک سانتی‌متر استفاده گردید (۷). ضمناً با توجه به خاک‌های منطقه، خاک مورد استفاده دو لایه بود که شامل لایه فوقانی (صفر تا ۳۰ سانتی‌متر) از جنس شن لومی و لایه زیرین (۳۰-۷۰ سانتی‌متر) با بافت لوم رسی شنی بوده است. در نهایت، کلیه لایسیمترها تا ارتفاع تقریبی ۱۰ سانتی‌متر پایین‌تر از قسمت فوقانی، بر اساس چگالی ظاهری ۱/۴۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب از خاک پر شدند.

پس از استقرار خاک در لایسیمترها (مهر ماه ۱۳۸۸)، عملیات آبیاری (بدون اعمال تیمارها) بدون کشت گیاه به‌طور منظم و پیوسته (هفتگی) طی یک بازه زمانی پنج ماهه صورت گرفت تا شرایط طبیعی و ایجاد مجاری رخنه و ترجیحی در خاک ایجاد گردد. عملیات آبیاری لایسیمترها با توجه به شرایط رطوبتی خاک، که توسط بلوک‌های گچی کنترل می‌شد، به طور متوسط هر ۱۱ روز یکبار انجام گرفت. به همین منظور، برای هر دوره آبیاری، فاضلاب تصفیه‌خانه شهر سرکان واقع در استان همدان (به‌صورت خام و تصفیه شده و به‌طور جداگانه) به محل اجرای تحقیق (گلخانه دانشکده کشاورزی) حمل گردید. با توجه به مشکلات ناشی از نگهداری فاضلاب، بلافاصله پس از حمل به منطقه طرح، عملیات آبیاری صورت می‌گرفت. حجم آب استفاده شده در هر مرحله در حدود ۳۰ تا ۳۵ لیتر بود و در مجموع هشت نوبت آبیاری صورت گرفت. در جدول ۱، بافت و درصد ذرات تشکیل دهنده خاک در دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۷۰ سانتی‌متری ارائه شده‌اند. بافت خاک به روش هیدرومتری تعیین گردید.

جدول ۱. درصد ذرات تشکیل‌دهنده خاک

عمق خاک (سانتی‌متر)	بافت خاک	شن	سیلت	رس
۰-۳۰	لوم شنی	۶۰/۸	۲۰/۲	۱۹/۰
۳۰-۷۰	لوم رسی شنی	۵۲/۶	۲۱/۹	۲۵/۵

طرح آماری

در خصوص تعیین ضریب انتقال، این پژوهش به صورت طرح کاملاً تصادفی با پنج تیمار و سه تکرار (در شرایط کشت گیاه) به اجرا درآمد. پنج تیمار آبیاری شامل: فاضلاب خام (T_1)، فاضلاب تصفیه‌شده (T_2)، ترکیب فاضلاب خام و آب چاه به نسبت ۵۰٪ (T_3)، ترکیب فاضلاب تصفیه‌شده و آب چاه به نسبت ۵۰٪ (T_4) و آب چاه (T_5) می‌باشند. جهت بررسی تغییرات پ-هاش و قابلیت هدایت الکتریکی خاک، این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار، پنج تیمار آبیاری و دو عمق خاک سطحی (۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متر) در نظر گرفته شد.

اندازه‌گیری عناصر سنگین در خاک و گیاه

به منظور تعیین میزان واقعی جذب عناصر آهن، منگنز و نیکل توسط اندام‌های سیب‌زمینی، ضریب انتقال عناصر محاسبه گردید. ضریب انتقال عبارت است از نسبت غلظت فلز در گیاه به غلظت همان فلز در خاک (۲۹ و ۳۱). برای تعیین این ضریب باید به این نکته توجه داشت که هر نوع گیاه پس از برداشت با نمونه خاک مربوط به خود در نظر گرفته شود.

به منظور محاسبه ضریب انتقال عناصر سنگین مذکور، نمونه‌های خاک و گیاه از هر تیمار جمع‌آوری گردیدند. نمونه‌های خاک برداشت شده در پایان آزمایش از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری، در آزمایشگاه در محل سرپوشیده و در هوای آزاد خشک شدند. بعد از خرد شدن مکانیکی، از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. پنج گرم از هر نمونه خاک در ظرف پلی‌اتیلنی ریخته شد. برای تهیه عصاره خاک از مخلوط دو اسید (اسید سولفوریک ۰/۰۲۵ نرمال و اسید کلریدریک ۰/۰۵ نرمال) برای استخراج فلزات سنگین استفاده شد (۱۴). نمونه‌های غده و اندام هوایی جمع آوری شده ابتدا با آب معمولی و کمی مواد شوینده شسته شده، و سپس با آب مقطر آبشویی گردیدند و در دمای محیط آزمایشگاه به تدریج خشک شدند. پس از رنده کردن غده‌ها، نمونه‌ها وزن شده و در دمای ۸۰-۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت خشک شدند. نمونه‌های خشک شده ابتدا توزین و سپس به وسیله آسیاب برقی پودر و برای عصاره‌گیری از نمونه‌ها از روش خاکستر استفاده گردید. بدین ترتیب که مقدار یک گرم از پودر به‌مدت یک شبانه‌روز در ظرف چینی در کوره با دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس قرار داده و سپس خاکستر تهیه شده در ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲۰٪ حل و از کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف شده، عصاره جمع‌آوری شده و عناصر سنگین (آهن، منگنز و نیکل) اندازه‌گیری شد. برای تعیین غلظت عناصر سنگین در خاک و گیاه از روش جذب اتمی (AAS Varian Model 220) استفاده شد (۱۲).

اندازه‌گیری پ-هاش و قابلیت هدایت الکتریکی خاک

مقادیر پ-هاش و قابلیت هدایت الکتریکی خاک در عصاره اشباع (مخلوط ۱ به ۲ خاک و آب مقطر) تعیین گردید (۱۵). بدین منظور، از تکرارهای مربوط به همه تیمارها، در دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متری، به وسیله اوگر نمونه‌های خاک جمع‌آوری گردید. سپس نمونه‌ها در شرایط آزمایشگاه هواخشک شده و بعد از خرد شدن مکانیکی، از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند.

جدول ۲. غلظت عناصر سنگین (میلی‌گرم در لیتر) در تیمارهای آبیاری و مقایسه آنها با استانداردها

پارامتر	نوع منبع آب			میزان مجاز استاندارد	
	فاضلاب خام	فاضلاب تصفیه‌شده	آب معمولی	استاندارد ایران[1]	فائو[2]
منگنز	۰/۰۵۶	۰/۰۲۸	۰/۰۰۵	۰/۲	۰/۲
آهن	۰/۶۰۴	۰/۲۶۲	۰/۰۴۰	۵	۵
نیکل	۰/۰۵۹	۰/۰۳۴	۰/۰۲۷	۲	۰/۲

۱: استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست (برای کشاورزی)، ۲: گرفته شده از پسکاد (۲۸)

جدول ۳. مقادیر متوسط قابلیت هدایت الکتریکی و پ-هاش در سه تیمار اصلی مورد مطالعه

نوع آب آبیاری	قابلیت هدایت الکتریکی (میکروموس بر سانتی‌متر)		pH	
	متوسط	دامنه تغییرات	متوسط	دامنه تغییرات
فاضلاب خام	۷۶۴	۶۷۶- ۸۵۹	۷/۱	۶/۹- ۷/۲
فاضلاب تصفیه‌شده	۶۱۹	۵۷۸ - ۶۶۵	۷/۳	۷/۱-۷/۶
آب معمولی	۷۳۸	۷۱۰ - ۷۶۵	۷/۷	۷/۴-۷/۹

تحلیل نتایج

به منظور مقایسه ضریب انتقال عناصر سنگین از خاک به اندام‌های سیب‌زمینی در تیمارهای آبیاری، مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون دانکن (در محیط نرم‌افزار SAS 9.1) و در سطح احتمال ۵٪ صورت گرفت.

نتایج و بحث

غلظت عناصر سنگین در فاضلاب خام و تصفیه‌شده

در جدول ۲، غلظت عناصر آهن، منگنز و نیکل در فاضلاب خام و پساب تصفیه‌شده (در تحقیق حاضر) همراه با مقادیر استاندارد آلوده کننده در فاضلاب برای مصارف کشاورزی توسط سازمان حفاظت محیط زیست ایران و سازمان فائو ارائه گردیده است (۲۸). همانطور که مشاهده می‌شود، در فاضلاب خام و تصفیه‌شده، عناصر مذکور بر اساس دو استاندارد ارائه شده در حد مجاز می‌باشند.

مقادیر قابلیت هدایت الکتریکی و پ-هاش در تیمارهای آبیاری

مقادیر متوسط و دامنه تغییرات قابلیت الکتریکی و پ-هاش تیمارهای آب مورد استفاده در جدول ۳ ارائه گردیده است. با عنایت به این جدول می‌توان مشاهده نمود که قابلیت هدایت الکتریکی در فاضلاب خام ورودی بیشتر از دو تیمار دیگر می‌باشد. تیمارهای آب معمولی (شاهد) و فاضلاب خام به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار پ-هاش را دارا بوده‌اند. مطابق استاندارد سازمان جهانی خواربار و کشاورزی (FAO)، بیشینه مجاز قابلیت هدایت الکتریکی آب آبیاری با محدودیتی کم تا متوسط برای آبیاری برابر ۳ دسی‌زیمنس بر متر است و مقادیر کمتر از ۰/۷ دسی‌زیمنس بر متر، بدون محدودیت اعلام شده است. مقدار مجاز پ-هاش بر اساس استاندارد FAO بین ۶/۵ تا ۸/۴ است (۲۸). قابلیت هدایت الکتریکی در فاضلاب تصفیه‌شده کمتر از ۰/۷ بود و لذا هیچگونه محدودیتی جهت استفاده در آبیاری ندارد. در خصوص فاضلاب خام و آب معمولی، قابلیت هدایت الکتریکی متوسط و دامنه تغییرات آن بسیار نزدیک به ۰/۷ دسی‌زیمنس بر متر بوده و به میزان ناچیزی از آن بیشتر است. متوسط پ-هاش و دامنه تغییرات آن برای هر سه نوع آب آبیاری در حد مجاز مشاهده گردید.

جدول ۴. نتایج تجزیه آماری حاصل از اندازه‌گیری قابلیت هدایت الکتریکی و پ-هاش در خاک مورد بررسی

منابع تغییرات	میانگین مربعات	
	pH	قابلیت هدایت الکتریکی
کیفیت آب	۰/۰۴۵**	۳۵۱۱۷/۷۹**
عمق	۱/۲۷۳**	۶۵۰۳/۳۰^{ns}
کیفیت × عمق	۰/۰۰۳^{ns}	۲۱۰/۸۱^{ns}
خطا	۰/۰۰۷	۴۰۵۴/۲۱

** و ns معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و بدون اختلاف معنی‌دار

جدول ۵. مقایسه میانگین مقادیر قابلیت هدایت الکتریکی (میکروموس بر سانتی‌متر) و پ-هاش خاک مورد بررسی

ویژگی شیمیایی خاک	تیمارهای آبیاری				
	فاضلاب خام	فاضلاب تصفیه‌شده	ترکیب فاضلاب خام و آب معمولی	ترکیب فاضلاب تصفیه‌شده و آب معمولی	آب معمولی (شاهد)
قابلیت هدایت الکتریکی	۳۵۷/۶۷a*	۱۶۳/۱۳c	۲۶۳/۴۲b	۱۹۲/۱۷bc	۲۱۰/۷۷bc
pH	۷/۳۹d	۷/۵۶ab	۷/۴۵dc	۷/۵۱bc	۷/۶۱a

* میانگین‌هایی که در هر سطر دارای حروف مشترک می‌باشند، در سطح ۵٪ آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

تغییرات قابلیت هدایت الکتریکی و پ-هاش خاک در اثر کاربرد تیمارهای فاضلاب

جدول ۴ تجزیه آماری حاصل از قابلیت هدایت الکتریکی و پ-هاش خاک را نشان می‌دهد. طبق این جدول، اثر کیفیت آب بر قابلیت هدایت الکتریکی خاک معنی‌دار ($P <$ ۰/۰۱) و اثر عمق خاک غیر معنی‌دار مشاهده گردید. همچنین، اثر کیفیت آب و عمق بر پ-هاش خاک معنی‌دار ($P <$ ۰/۰۱) و اثر متقابل عمق خاک و کیفیت آب بر پ-هاش غیر معنی‌دار بود.

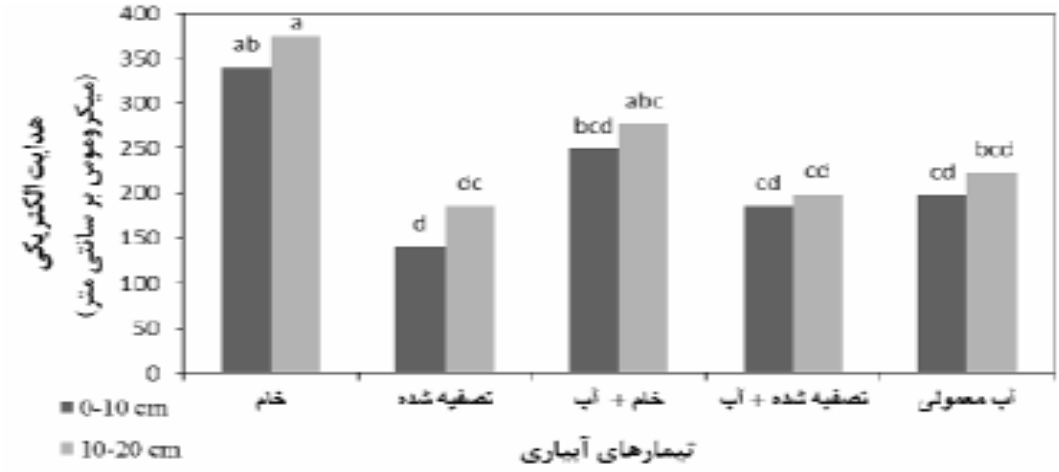
جدول ۵ مقایسه میانگین‌های مقادیر قابلیت هدایت الکتریکی و پ-هاش خاک مربوط به تیمارهای مختلف آبیاری را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول، بیشترین و کمترین مقدار قابلیت هدایت الکتریکی به ترتیب در خاک‌های آبیاری شده با فاضلاب خام و فاضلاب تصفیه‌شده مشاهده گردید. ترکیب فاضلاب‌های خام و تصفیه‌شده با آب معمولی به ترتیب بعد از تیمار فاضلاب خام دارای بیشترین قابلیت هدایت الکتریکی بودند. همچنین این نتایج نشان داد که مقایسه دو به دو بین تیمارهای فاضلاب خام و شاهد، فاضلاب تصفیه‌شده و تیمارهای ترکیب فاضلاب خام و آب معمولی و همچنین بین تیمارهای فاضلاب خام و فاضلاب تصفیه‌شده اختلاف معنی‌دار (در سطح ۵٪) دارد. در صورتی که بین تیمار فاضلاب تصفیه‌شده و شاهد اختلاف معنی‌دار (در سطح ۵٪) مشاهده نگردید. نتایج مقایسه جفتی تیمارها در خصوص پ-هاش بیانگر آن است که بیشترین و کمترین مقدار پ-هاش در خاک‌های تیمار شاهد و فاضلاب خام مشاهده گردید. ترکیب فاضلاب تصفیه‌شده و آب معمولی و همچنین ترکیب فاضلاب خام و آب معمولی، به ترتیب بعد از تیمار شاهد دارای بیشترین پ-هاش بودند. بین تیمارهای فاضلاب خام و شاهد، فاضلاب تصفیه‌شده، تیمارهای ترکیب فاضلاب خام و آب معمولی و همچنین بین تیمارهای فاضلاب خام و فاضلاب تصفیه‌شده اختلاف معنی‌دار (در سطح ۵٪) مشاهده گردید. ولی بین تیمارهای فاضلاب تصفیه‌شده و شاهد اختلاف معنی‌دار (در سطح ۵٪) نبود.

جدول ۶ مقایسه میانگین‌های مقادیر قابلیت هدایت

جدول ۶. مقایسه مقادیر میانگین قابلیت هدایت الکتریکی (میکروموس بر سانتی‌متر) در دو عمق خاک

ویژگی	عمق خاک (سانتی‌متر)	
شیمیایی	۰–۱۰	۱۰–۲۰
قابلیت هدایت الکتریکی	۲۲۲/۷a*	۲۵۲/۱ a
PH	۷/۷a	۷/۳ b

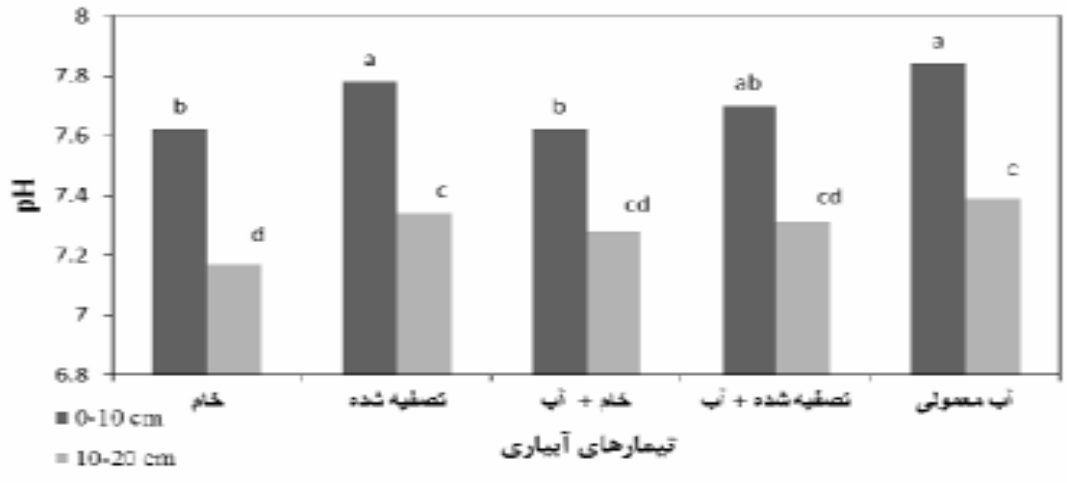
* میانگین‌هایی که در هر سطر دارای حروف مشترک می‌باشند در سطح ۵% آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.



شکل ۲. اثر کیفیت آب آبیاری بر قابلیت هدایت الکتریکی در دو عمق ۰–۱۰ و ۱۰–۲۰ سانتی‌متر.
ستون‌هایی که دارای حروف مشترک هستند در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

الکتریکی و پ–هاش خاک در دو عمق ۱۰–۰ و ۲۰–۱۰ سانتی‌متر را نشان می‌دهد. بر طبق این جدول، با افزایش عمق، قابلیت هدایت الکتریکی خاک افزایش یافته است. همچنین این نتایج بیانگر آن است که بین قابلیت الکتریکی در دو عمق خاک مورد بررسی اختلاف معنی‌دار (در سطح ۵٪) مشاهده نگردید. در صورتی‌که در خصوص پ–هاش خاک، نتایج مربوطه نشان‌دهنده آن است که با افزایش عمق، مقدار پ–هاش کاهش یافته است. بر خلاف قابلیت هدایت الکتریکی، در مورد پ–هاش اختلاف معنی‌داری (در سطح ٪) بین دو عمق مورد نظر مشاهده گردید.

تغییرات مقدار قابلیت هدایت الکتریکی تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و عمق خاک در شکل ۲ نشان داده شده است. طبق این شکل، کاربرد تیمار فاضلاب خام باعث افزایش قابلیت هدایت الکتریکی خاک نسبت به سایر تیمارها شده است. در اینجا نیز ملاحظه می‌گردد که تیمار فاضلاب تصفیه‌شده دارای کمترین قابلیت هدایت الکتریکی در بین تیمارها می‌باشد. این نتایج را می‌توان با توجه به مقادیر قابلیت هدایت الکتریکی در آب مورد استفاده در آبیاری (ورودی به پروفیل خاک) توصیف نمود. به طوری که هرچه قابلیت هدایت الکتریکی در آب آبیاری بیشتر باشد، شوری مشاهده شده در خاک نیز بیشتر بوده است. در کلیه تیمارهای آبیاری، قابلیت هدایت الکتریکی خاک با افزایش عمق، افزایش یافته است. این افزایش در سطح ۵٪ غیر معنی‌دار بود که می‌تواند توسط آبشویی لایه بالایی صورت گرفته باشد. تغییرات مقدار پ–هاش تحت تأثیر تیمارهای کیفیت آب و عمق خاک در شکل ۳ نشان داده شده است. طبق این شکل، کاربرد تیمار فاضلاب خام باعث کاهش معنی‌دار ($P < ۰/۰۵$) پ–هاش خاک نسبت به تیمار شاهد شده است. در تمامی تیمارهای آبیاری، پ–هاش خاک با افزایش عمق، کاهش یافته است. این کاهش در سطح ۵٪ معنی‌دار بود.



شکل ۳. اثر کیفیت آب آبیاری بر پ-هاش خاک در دو عمق ۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی‌متر.
ستون‌هایی که دارای حروف مشترک هستند در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

محمد و مظهره (۲۶) نشان دادند که افزایش قابلیت هدایت الکتریکی در خاک آبیاری شده با فاضلاب در مقایسه با خاک آبیاری شده با آب آشامیدنی، به دلیل مقدار بیش از حد غلظت املاح کل (TDS) فاضلاب است. همچنین وجود املاح فراوان در فاضلاب شهری و اضافه شدن تدریجی آنها به خاک، سبب افزایش قابلیت هدایت الکتریکی گردیده است (۱). همچنین بالا بودن قابلیت هدایت الکتریکی در فاضلاب خام نسبت به آب معمولی، سبب افزایش قابلیت هدایت الکتریکی در محلول خاک شده است. روحانی شهرکی و همکاران (۸) بیان کردند که تیمارهای پساب نه تنها هیچ گونه مشکلی از لحاظ شوری و پ-هاش در منطقه ایجاد ننموده، بلکه شوری و قلیائیت خاک‌های منطقه را کاهش داده‌اند. وجود هدایت الکتریکی کمتر در فاضلاب تصفیه‌شده ورودی نسبت به آب معمولی می‌تواند از دلایل کاهش هدایت الکتریکی در خاک آبیاری شده با فاضلاب تصفیه‌شده باشد. همچنین نتایج کیزیل‌اغلو و همکاران (۲۰) تأکید بر آن دارد که آبیاری با فاضلاب، پ-هاش خاک را در مقایسه با خاک آبیاری نشده با فاضلاب کاهش داد. تجارب آنها نشان دهنده کمتر بودن پ-هاش در خاک آبیاری شده با فاضلاب خام، در مقایسه با فاضلاب تصفیه‌شده، می‌باشد. زیاد بودن پ-هاش آب آبیاری می‌تواند سبب افزایش آن در خاک گردد (۱).

می‌توان به برخی دیگر از تحقیقات صورت گرفته در این زمینه، نظیر مطالعات آقابراتی و همکاران (۱)، آل- لحم و همکاران (۱۳)، محمد روسان و همکاران (۲۷)، هایز و همکاران (۱۸)، بول و همکاران (۱۶) و صابر (۳۰) اشاره نمود که تأکید بر افزایش قابلیت هدایت الکتریکی دارند. در صورتی که مهیدا (۲۲) کاهش قابلیت هدایت الکتریکی را در اثر آبیاری با فاضلاب نسبت به آب معمولی مشاهده کردند. این تفاوت‌ها می‌تواند ناشی از هدایت الکتریکی آب آبیاری مورد استفاده، نوع فاضلاب و شرایط خاک باشد. در صورتی که هدایت الکتریکی فاضلاب از آب معمولی کمتر باشد، آبیاری با آن نه تنها شوری خاک را افزایش نمی‌دهد، بلکه به‌دلیل آبشویی، سبب کاهش شوری خاک نیز می‌گردد. کالاوروزیوتیس و همکاران (۱۹)، آقابراتی و همکاران (۱)، آل- لحم و همکاران (۱۳) و شیپر و همکاران (۳۲) افزایش پ-هاش خاک تحت تأثیر کاربرد فاضلاب (نسبت به آب معمولی) را گزارش نموده‌اند. شایان ذکر است که بیشتر این تحقیقات تنها فاضلاب تصفیه‌شده را در شرایط طبیعی مزرعه به کار برده‌اند در حالی که تحقیق حاضر چهار تیمار مختلف فاضلاب را در شرایط کنترلی (در لایسیمتر) مورد ارزیابی قرار داده است.

جدول ۷. نتایج تجزیه واریانس ضریب انتقال عناصر سنگین از خاک به اندام هوایی و غده سیب‌زمینی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		آهن		منگنز		نیکل	
		اندام هوایی	غده	اندام هوایی	غده	اندام هوایی	غده
تیمار	۴	۰/۰۰۲۸**	۰/۰۰۰۰۵ ^{ns}	۰/۰۰۰۱۷*	۰/۰۰۰۰۹۹*	۰/۰۰۲۱ ^{ns}	۰/۰۰۱۹ ^{ns}
خطا	۱۰	۰/۰۰۰۴۷	۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۲	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۱۰
ضریب تغییرات (٪)		۱۵/۰۶	۷/۳۲	۱۷/۳۴	۲۱/۳۸	۱۸/۳۱	۲۰/۹۱

**، * و ns معنی‌دار در سطوح ۱٪ و ۵٪ و بدون اختلاف معنی‌دار

جدول ۸. مقایسه میانگین ضریب انتقال عناصر سنگین از خاک به اندام هوایی و غده سیب‌زمینی در اثر اعمال تیمارها

ضریب	T_1		T_2		T_3		T_4		T_5	
	اندام هوایی	غده	اندام هوایی	غده	اندام هوایی	غده	اندام هوایی	غده	اندام هوایی	غده
آهن	۰/۱۹۰a*	۰/۱۰۳ a	۰/۱۳ bc	۰/۱۱۱a	۰/۱۵۹ ab	۰/۱۰۷ a	۰/۱۱۳ c	۰/۱۰۸ a	۰/۱۲۸ bc	۰/۱۱۴ a
منگنز	۰/۰۳۷ a	۰/۰۰۸۲ a	۰/۰۳۶ a	۰/۰۰۷۷ a	۰/۰۳۸ a	۰/۰۰۸۴ a	۰/۰۲۵ b	۰/۰۰۶۸ a	۰/۰۲۱ b	۰/۰۰۴ b
نیکل	۰/۲۴۷ a	۰/۱۹۲ a	۰/۲۴۶ a	۰/۱۳۸ a	۰/۲۳۷ a	۰/۱۶۳ a	۰/۲۴۹ a	۰/۱۳۹ a	۰/۳۰۳ a	۰/۱۳۱ a

* میانگین‌هایی که در هر سطر دارای حروف مشترک می‌باشند، در سطح ۵٪ آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

ضریب انتقال عناصر از خاک به اندام هوایی سیب‌زمینی

نیکل: نتایج نشان داد که اثر تیمارهای آبیاری بر ضریب انتقال نیکل از خاک به اندام هوایی سیب‌زمینی غیر معنی‌دار می‌باشد (جدول ۷). بیشترین ضریب انتقال از خاک به اندام هوایی در تیمار T_5 و کمترین در تیمار T_3 مشاهده گردید. اختلاف معنی‌داری بین تیمارها در سطح ۵٪ در مورد ضریب انتقال نیکل از خاک به اندام هوایی مشاهده نگردید (جدول ۸).

آهن: اثر تیمارهای آبیاری بر ضریب انتقال آهن از خاک به اندام هوایی سیب‌زمینی معنی‌دار (در سطح ۱٪) مشاهده گردید (جدول ۷). بیشترین ضریب انتقال آهن از خاک به اندام هوایی مورد مطالعه در تیمار T_1 و کمترین در تیمار T_4 مشاهده گردید. همچنین در این تحقیق اختلاف معنی‌داری بین تیمار فاضلاب خام و تیمار شاهد در سطح ۵٪ از نظر ضریب انتقال آهن از خاک به اندام سیب‌زمینی مشاهده گردید (جدول ۸).

منگنز: اثر تیمارها بر ضریب انتقال منگنز از خاک به اندام هوایی معنی‌دار (در سطح ۵٪) شد (جدول ۷). بیشترین ضریب انتقال منگنز از خاک به اندام هوایی در تیمار T_3 و کمترین در تیمار T_5 مشاهده گردید. همچنین در این تحقیق اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای فاضلاب و شاهد (بجز بین T_4 و T_5) در سطح ۵٪ از نظر ضریب انتقال منگنز از خاک به اندام هوایی سیب‌زمینی مشاهده گردید (جدول ۸).

ضریب انتقال عناصر از خاک به غده سیب‌زمینی

نیکل: نتایج نشان داد که اثر تیمارهای آبیاری بر ضریب انتقال نیکل از خاک به غده‌ها غیر معنی‌دار می‌باشد (جدول ۷). بیشترین ضریب انتقال در غده‌ها در تیمار T_1 و کمترین در تیمار T_5 مشاهده گردید. در این تحقیق بین تیمارها در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری در ضریب انتقال نیکل از خاک به غده‌ها مشاهده نگردید. همچنین نتایج نشان داد که ضریب انتقال نیکل از خاک به اندام هوایی بیشتر از غده‌ها می‌باشد (جدول ۸).

آهن: اثر تیمارهای آبیاری بر ضریب انتقال آهن در غده‌ها غیر معنی‌دار بود (جدول ۷). بیشترین ضریب انتقال آهن از خاک به غده در تیمار T_5 و کمترین در تیمار T_1 مشاهده گردید.

همچنین در این تحقیق اختلاف معنی‌داری بین تیمارها در سطح ۵٪ از نظر ضریب انتقال آهن مورد مطالعه از خاک به غده سیب‌زمینی مشاهده نگردید. همچنین نتایج نشان داد که ضریب انتقال آهن در اندام هوایی بیشتر از غده‌ها می‌باشد (جدول ۸).

منگنز: اثر تیمارهای آبیاری بر ضریب انتقال منگنز در غده‌ها معنی‌دار (در سطح ۵٪) مشاهده گردید (جدول ۷). نتایج نشان داد که ضریب انتقال منگنز در اندام هوایی بیشتر از غده‌ها می‌باشد. بیشترین ضریب انتقال منگنز از خاک به غده‌ها در تیمار T_3 و کمترین در تیمار T_5 مشاهده گردید. همچنین در این تحقیق اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای فاضلاب و تیمار شاهد در سطح ۵٪ از نظر ضریب انتقال فلز منگنز از خاک به غده سیب‌زمینی مشاهده نگردید (جدول ۸).

در این تحقیق اثر تیمارهای آبیاری بر ضریب انتقال عناصر منگنز و آهن از خاک به اندام هوایی معنی‌دار و در مورد نیکل غیرمعنی‌دار بود. در غده‌های سیب‌زمینی تنها در مورد منگنز معنی‌دار بود. نتایج نشان داد که عناصر مذکور در خاک و گیاه انباشته شده‌اند. کیزیل‌اغلو و همکاران (۲۰) در بررسی اثر آبیاری فاضلاب تصفیه‌شده و تصفیه نشده نشان دادند که آبیاری با فاضلاب آهن، منگنز، روی، مس، سرب، نیکل و کادمیم گل‌کلم و کلم قرمز را افزایش داد. عناصری که برای رشد گیاه ضروری هستند معمولاً در گیاه متحرک بوده، اما عناصر سمی و سنگین جابه‌جایی کمی داشته و در ریشه‌ها تجمع می‌یابند. بنابراین میزان این عناصر در ریشه حداکثر بوده است (۲۵).

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که ضریب انتقال عناصر مذکور از خاک به اندام هوایی بیشتر از غده‌ها می‌باشد. این موضوع با توجه به اینکه فقط غده سیب‌زمینی در وعده‌های غذایی و صنایع مرتبط با فرآورده‌های سیب‌زمینی به مصرف می‌رسد، حائز اهمیت می‌باشد و لازم است که در مصرف احتمالی اندام‌های هوایی به عنوان علوفه دام مورد توجه قرار گیرد. پارسادوست و همکاران (۵) نیز بیان کردند که مقدار عنصر سرب در اندام‌های هوایی بیشتر از اندام‌های زیرزمینی گیاهان مرتعی و بومی (در خاک‌های آلوده) می‌باشد. همچنین شنبه‌دستجردی و همکاران (۹) بیشترین مقدار عنصر روی را در اندام هوایی، و کمترین مقدار آن را در اندام‌های زیرزمینی گونه‌های مرتعی در خاک‌های منطقه ایرانکوه گزارش نمودند. مقایسه ضریب انتقال از خاک به اندام هوایی نشان داد که بیشترین ضریب انتقال به ترتیب مربوط به نیکل، آهن و منگنز می‌باشد. در غده‌های سیب‌زمینی نیز بیشترین ضریب انتقال در تمامی تیمارها مشابه اندام هوایی مشاهده گردید. ترابیان و مهجوری (۶) نتیجه گرفتند که گیاه تربچه کادمیم را به خوبی جذب می‌کند، ولیکن در جذب سرب و نیکل ضعیف می‌باشد.

از طریق این ضرایب انتقال می‌توان به رفتار یک گیاه در جذب فلزات سنگین پی برد. در این تحقیق، تمایل اندام هوایی و غده‌های سیب‌زمینی در جذب نیکل بیشتر از سایر عناصر بوده است. کمترین تمایل به جذب منگنز مشاهده گردید. به طوری که در تیمارها مقدار ضریب انتقال منگنز از خاک به اندام سیب‌زمینی نسبت به دو عنصر دیگر ناچیز بود. استفاده از فاضلاب جهت آبیاری، به دلیل وجود عناصر سنگین در آن، سبب تجمع این عناصر در خاک می‌گردد و هر چه میزان این عناصر در خاک بیشتر گردد جذب آنها توسط گیاه نیز افزایش می‌یابد. البته شایان ذکر است که گیاهان مختلف رفتارهای متفاوتی در جذب این عناصر از خود نشان می‌دهند. تحقیق حاضر در خصوص سیب‌زمینی، که گیاهی غده‌ای می‌باشد، صورت گرفته است. همچنین علی‌رغم غلظت کمتر از حد مجاز عناصر سنگین در فاضلاب‌های به کار رفته، غلظت این عناصر در خاک و گیاه افزایش یافت، که بیانگر تجمع آنها در خاک و گیاه با گذشت زمان است. ضرایب انتقال نیز این مطلب را تأیید می‌کنند.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که تیمارهای آبیاری اثر معنی‌داری بر قابلیت هدایت الکتریکی و پ–هاش خاک داشته‌اند. استفاده از فاضلاب خام به مدت ۴ ماه افزایش قابلیت هدایت الکتریکی را در مقایسه با سایر تیمارها به دنبال داشته است. همچنین ترکیب

این فاضلاب با آب نیز بعد از تیمار فاضلاب خام، بیشترین قابلیت هدایت الکتریکی را داشت. کاربرد فاضلاب تصفیه‌شده (شامل خالص و ترکیب شده با آب معمولی) باعث کاهش قابلیت هدایت الکتریکی خاک در مقایسه با تیمار شاهد شد. همچنین، پ-هاش در اثر آبیاری با تیمارهای فاضلاب در مقایسه با تیمار شاهد کاهش یافته است. مقایسه بین تیمار فاضلاب خام و تصفیه‌شده نشان داد که پ-هاش خاک آبیاری شده با فاضلاب خام بیشتر از فاضلاب تصفیه‌شده بود. قابلیت هدایت الکتریکی در همه تیمارها با افزایش عمق، افزایش یافته است. به طوری که قابلیت هدایت الکتریکی در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متر بیشتر از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر بوده که در نتیجه آبشویی نمک‌ها به عمق خاک در حین عملیات آبیاری حادث شده است. این امر نشان می‌دهد که با تداوم فصل آبیاری، از مقدار قابلیت هدایت الکتریکی خاک کاسته می‌گردد. بنابراین می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که املاح محلول مرتباً به همراه آب آبیاری به عمق خاک انتقال یافته و با تداوم مصرف آب و در نتیجه آبشویی بیشتر آنها، به تدریج از میزان املاح اندازه‌گیری شده در پروفیل خاک کاسته خواهد شد. همچنین در همه تیمارهای آبیاری، با افزایش عمق خاک، پ-هاش خاک کاهش می‌یابد. مقایسه ضریب انتقال از خاک به اندام هوایی و غده‌ها نشان داد که بیشترین ضریب انتقال به ترتیب مربوط به نیکل، آهن و منگنز می‌باشد. همچنین ضریب انتقال در غده‌های سیب‌زمینی کمتر از اندام هوایی بود. استفاده از این فاضلاب، با توجه به شوری و اسیدیته کم، اثر مخربی بر خاک ندارد. همچنین، جهت آبیاری سیب‌زمینی باید آلودگی میکروبی بررسی شده و سپس اظهار نظر گردد (فاضلاب خام با توجه به تماس مستقیم با غده‌ها توصیه نمی‌گردد). در آخر، متذکر می‌شود که این تحقیق در یک دوره کوتاه مدت روی گیاه سیب‌زمینی صورت گرفته است و دوره طولانی مدت بر تغییر ویژگی‌های خاک و تجمع عناصر سنگین اثر گذار می‌باشد. استفاده از ترکیب تیمارهای فاضلاب با آب معمولی می‌تواند این اثرهای مضر را کاهش دهد.

منابع مورد استفاده

۱. آقابراتی، ا.، س.م. حسینی، ع. اسماعیلی و ح. مارالیان. ۱۳۸۸. اثر آبیاری با فاضلاب شهری بر خصوصیات فیزیکی- شیمیایی خاک، تجمع عناصر غذایی و کادمیم در درختان زیتون (*Olea europaea* L.). علوم محیطی ۶(۳): ۱-۱۰.

۲. بهمنیار، م.ع. ۱۳۸۶. تأثیر مصرف فاضلاب در آبیاری گیاهان زراعی بر میزان برخی از عناصر سنگین خاک و گیاهان. مجله محیط‌شناسی ۳۳(۴۴): ۱۹-۲۶.

۳. بی‌نام. ۱۳۸۸. آمارنامه کشاورزی (محصولات زراعی). وزارت جهاد کشاورزی.

۴. پاپن، پ. و ز. نادری. ۱۳۸۸. بررسی استفاده از پساب بر روی کشت آفتابگردان جهت مبارزه با خشکسالی. دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن، اصفهان.

۵. پارسادوست، ف.، ب. بحرینی‌نژاد، ع.ا. صفری سنجانی و م.م. کابلی. ۱۳۸۶. گیاه‌پالایی عنصر سرب توسط گیاهان مرتعی و بومی در خاک‌های آلوده منطقه ایران کوه (اصفهان). پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی ۷۷: ۵۴-۶۳.

۶. ترابیان، ع. و م. مهجوری. ۱۳۸۱. بررسی اثر آبیاری با فاضلاب روی جذب فلزات سنگین بوسیله سبزی‌های برگی جنوب تهران. مجله علوم آب و خاک ۱۶(۲): ۱۷-۲۱.

۷. حسین پور، ا.، غ.ح. حق‌نیا، ا. علیزاده. و ا. فتوت. ۱۳۸۶. تأثیر آبیاری با فاضلاب خام و پساب شهری بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک در اعماق مختلف در دو شرایط غرقاب پیوسته و متناوب. مجله آبیاری و زهکشی ایران ۱(۲): ۷۳-۸۵.

۸. روحانی شهرکی، ف.، ر. مهدوی و م. رضایی. ۱۳۸۴. اثر آبیاری با پساب بر برخی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک. فصلنامه آب و فاضلاب ۱۶(۵۳): ۲۳-۳۱.

۹. شنبه‌دستجردی، ف.، م. تدین‌نژاد و ک. شیرانی. ۱۳۸۶. گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به عنصر روی در منطقه ایرانکوه توسط گونه‌های مرتعی. مجله علوم خاک و آب ۲۱(۲): ۲۲۹-۲۳۹.

۱۰. عابدی، م. ج و پ. نجفی. ۱۳۸۰. استفاده از فاضلاب تصفیه شده در کشاورزی. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۲۴۸ صفحه.

۱۱. عرفانی آگاه، ع. ۱۳۷۸. بررسی کارایی فاضلاب تصفیه شده خانگی در آبیاری زراعت کاهو و گوجه فرنگی. همایش جنبه‌های زیست‌محیطی استفاده از پساب در آبیاری، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، وزارت نیرو، صفحات ۶۱-۷۹.

۱۲. علیزاده، م.، ف. فتحی و ع. ترابیان. ۱۳۸۷. بررسی مقدار تجمع فلزات سنگین در گیاهان علوفه‌ای تحت آبیاری با فاضلاب درجنوب تهران، مطالعه موردی: ذرت و یونجه. مجله محیط شناسی ۳۴(۴۸): ۱۳۷-۱۴۸.

13. Al-Lahham, O., N.M. El-Assi and M. Fayyad. 2007. Translocation of heavy metals to tomato (*Solanum lycopersicom* L.) fruit irrigated with treated wastewater. Sci. Hort. 113: 250-254.
14. Alloway, B.J. 1990. Heavy metals in soils. John Wiley and Sons, Inc. New York.
15. Bahati, M. and G. Singh. 2003. Growth and mineral accumulation in *Eucalyptus camaldulensis* seedlings irrigated with mixed industrial effluents. Bioresour. Technol. 88: 221-228.
16. Boll, R., H. Dernbach and R. Kayser. 1986. Aspects of land disposal of wastewater as experienced in Germany. Water Sci. Technol. 18: 383-390.
17. Fitzpatrick, G.E., H. Donselman and N.S. Carter. 1986. Interactive effects of sewage effluent irrigation and supplemental fertilization on container-grown trees. Hort. Sci. 21(1): 92-93.
18. Hayes, A.R., C.F. Mancino and I.L. Pepper. 1990. Irrigation of turfgrass with secondary sewage effluent: I. Soil and leachate water quality. J. Agron. 82: 943-946.
19. Kalavrouziotis, I.K., P. Robolas, P.H. Koukoulakis and A.H. Papadopoulos. 2008. Effects of municipal reclaimed wastewater on the macro- and micro- elements status of soil and of *Brassica oleracea* var. Italica, and *B. Oleracea* var. Gemmifera. Agric. Water Manage. 95: 419-426.
20. Kiziloglu, F.M., M. Turan, U. Sahin, Y. Kuslu and A. Dursun. 2008. Effects of untreated and treated wastewater irrigation on some chemical properties of cauliflower (*Brassica Olerecea* L. var. Botrytis) and red cabbage (*Brassica Olerecea* L. var. rubra) grown on calcareous soil in Turkey. Agric. Water Manage. 95: 716-724.
21. 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.
22. Mahida, N.U. 1981. Water Pollution and Disposal of Wastewater on Land. Tata McGraw-Hill Publishing Co., Ltd., 325 p.
23. Martinez, J. 1999. Irrigation with saline water. Agric. Water Manage. 40: 213-225.
24. Meli, S., M. Porto, A. Belligno, S.A. Bufo, A. Mazzatura and A. Scopa. 2002. Influence of irrigation with lagooned urban wastewater on chemical and microbiological soil parameters in a citrus orchard under Mediterranean condition. Sci. Total Environ. 285: 69-77.
25. Mirales, A., C. Solís, E. Andrade, M. Lagunas-Solar, C. Piña and R.G. Flocchini. 2004. Heavy metal accumulation in plants and soil irrigated with wastewater from Mexico City. Nuclear Instr. Meth. Phys. Res. B. 219-220: 187-190.
26. Mohammad, M.J. and N. Mazahreh. 2003. Changes in soil fertility parameters in response to irrigation of forage crops with secondary treated wastewater. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 34(9 &10): 1281-1294.
27. Mohammad 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.
28. Pescod, M.B. 1992. Wastewater Treatment and Use in Agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 47, 113 p.
29. Ross, S.M. 1994. Toxic Metals in Soil-Plant System. John Wiley and Sons, Inc., UK, pp. 103-189.
30. Saber, M.S.M. 1986. Prolonged effect of land disposal of human wastes on soil conditions. Water Sci. Technol. 18: 371-374.
31. Sajwan, K.S., W.H. Ornes, T.V. Youngblood and A.K. Alva. 1996. Uptake of soil applied cadmium, nickel and selenium by bush beans. J. Water Air Soil Poll. 91: 209-217.
32. Schipper, L.A., J.C. Williamson, H.A. Kettles and T.W. Speir. 1996. Impact of land-applied tertiary-treated effluent on soil biochemical properties. J. Environ. Qual. 25(5): 1073-1077.