تأثیر آبیاری با فاضلاب بر عملکرد و کیفیت کاهو و برخی ویژگی‌های خاک

علی عرفانی[۱]، غلامحسین حق‌نیا[۲] و امین علیزاده[۳]

چکیده

به منظور آگاهی از تأثیر کاربرد فاضلاب‌های تصفیه شده خانگی بر عملکرد و کیفیت کاهو (Lactuca sativa) و ویژگی‌های خاک، آزمایشی در یک خاک با بافت لوم رسی، که بر پایهٔ سیستم رده‌بندی Fine loamy mixed mesic Calcixerollic Xerochrepts نام دارد، در چارچوب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه مشهد انجام شد. تیمارها عبارت بودند از : T1 (آبیاری با فاضلاب تصفیه شده خانگی)، T2 (آبیاری با فاضلاب تصفیه شده خانگی + آب چاه به تناوب)، T3 (آبیاری با آب چاه + کود حیوانی، گاوی)، T4 (آبیاری با آب چاه + کاربرد نیتروژن و فسفر) و T5 (آبیاری با آب چاه، شاهد). نتایج تجزیه شیمیایی آب چاه نشان داد که این آب برای کشاورزی محدودیت خاصی ندارد.

نتایج به دست آمده از این آزمایش مشخص کرد که عملکرد کاهو در کلیه تیمارها افزایش داشت. در مقایسه با تیمار شاهد، بیشترین عملکرد تر اندام هوایی کاهو (برگ) به ترتیب در تیمارهای T3 و T1، و بیشترین افزایش وزن خشک برگ کاهو به ترتیب در تیمارهای T1 و T3 دیده شد. نتایج تجزیه گیاه نشان داد که غلظت عناصر غذایی پرمصرف و سنگین در اندام هوایی و ریشه کاهو، در کلیه تیمارهای آزمایش نسبت به تیمار شاهد افزایش داشته است. در تیمار T1 آزمایش، غلظت آهن بیشترین و غلظت کادمیوم کمترین بوده است. آلودگی‌های میکروبی در تیمار T2 آزمایش به مراتب بیش از دیگر تیمارها بود. تجزیه خاک سطحی (۰-۳۰ سانتی‌متر) نشان داد که با کاربرد فاضلاب، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع، نیتروژن کل، فسفر قابل جذب، بُر محلول و عناصر سنگین خاک افزایش داشت، ولی مقدار آن زیر مرز استانداردهای ارائه شده به وسیله مجامع بین‌المللی بوده و هیچ گونه تأثیر سوئی بر خاک نداشته است. تفاوت‌های ایجاد شده در ویژگی‌های دیگر گیاهی و خاک چندان نیست، هرچند ضروری است به نتایج حاصله در سال‌های بعد نیز توجه گردد.

واژه‌های کلیدی: *پساب، آبیاری، کاهو، عملکرد، آلودگی میکروبی*

---

۱. مربی آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهرود

۲. استاد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳. استاد آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-06-09]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.1.8]

مقدمه

با توجه به کمبود آب در مناطق خشک و نیمه خشک مانند ایران، در اجرای تدابیری به منظور توسعه و بهره‌برداری از منابع آبی جدید، به ویژه در بخش کشاورزی، استفاده از پساب فاضلاب‌های کشاورزی، صنعتی، شهری و روستایی می‌تواند به عنوان منابع آب مورد توجه قرار گیرد. با این کار نه تنها کمبود آب کشاورزی تا حدودی جبران می‌شود، بلکه از آثار سوء تخلیه بی رویه فاضلاب‌ها و خسارت‌های آن به منابع کشاورزی و محیط زیست نیز جلوگیری خواهد شد.

هم اکنون در شهر مشهد سالیانه ۱۶۵ میلیون متر مکعب آب برای آشامیدن و بهداشت از منابع گوناگون تأمین و به مصرف می‌رسد. پیش‌بینی می‌شود نیاز این شهر با توجه به رشد جمعیت در سال ۱۳۹۵ در حدود ۵۹۰ میلیون متر مکعب باشد (۳). بر پایهٔ معیارهای موجود، ۸۰ درصد آب مصرفی به فاضلاب تبدیل شده و به داخل چاه‌های جاذب و یا آبراهه‌های موجود دفع می‌گردد (۳ و ۸). بنابراین، با توجه به روند کنونی تولید فاضلاب، در سال ۱۳۹۵ سالیانه حدود ۴۵۰ میلیون متر مکعب پساب تصفیه شده فاضلاب خانگی در مشهد تولید خواهد شد (۳).

برابر گزارش‌های موجود، نخستین کاربردهای فنی پساب در آبیاری مربوط به بانزلو در آلمان در سال ۱۵۳۱ میلادی، و سپس در اسکاتلند در شهر ادین‌برو در سال ۱۶۵۰ بوده است (۴۵). هرچند، شواهد تاریخی گویای این است که فاضلاب و لجن تولید شده از آن، در چین و دیگر کشورهای آسیایی، از زمان‌های بسیار دورتر به منظور حاصل‌خیز نمودن خاک مورد استفاده قرار می‌گرفته است (۱۱ و ۴۵). آثار سیستم جمع‌آوری فاضلاب در کاخ‌های قدیمی مربوط به تمدن مینوان در چین و هدایت فاضلاب‌ها به حومه شهر و مزارع، این موضوع را به اثبات رسانیده است (۱۱). از اوایل قرن بیستم، کاربرد مجدد فاضلاب به صورت برنامه‌ریزی شده در ایالت کالیفرنیای آمریکا آغاز، و اولین مقررات استفاده مجدد از فاضلاب در آبیاری نیز در سال ۱۹۱۸ در این ایالت تدوین گردید. در دهه ۱۹۲۰ بر اساس این ضوابط، پروژه‌هایی در کالیفرنیا و آریزونا برای آبیاری به اجرا در آمد (۱۳). بکمن (۴۵) در سال ۱۸۶۸، با آزمایش‌هایی که در شهر گن‌ویله انجام داد کاربرد فاضلاب را برای کشاورزی توصیه نمود، به طوری که در سال ۱۸۷۶ حدود ۹۰۰ هکتار اراضی کشاورزی با فاضلاب شهر پاریس آبیاری می‌شد. گرچه بکمن یک نفر مهندس و نه کارشناس کشاورزی بود، ولی توصیه‌های وی باعث شد که در سال ۱۸۸۹ پارلمان فرانسه قانونی را بگذراند تا به موجب آن استفاده از فاضلاب برای مناطق گسترده‌تری مجاز شمرده شود، و در سال ۱۹۰۴ حدود ۵۳۰۰۰ هکتار از اراضی در فرانسه با فاضلاب شهر پاریس آبیاری می‌گردید (۴۵).

چنگ و همکاران (۲۱) در بررسی خود فاضلاب را به عنوان یک ماده مناسب اصلاح کننده خاک معرفی می‌کنند. نتایج پژوهش چندین ساله آنان نشان می‌دهد که کاربرد فاضلاب در خاک منجر به تغییر خواص فیزیکی خاک شده و بر اثر آن ظرفیت نگهداری و قابلیت هدایت الکتریکی افزایش می‌یابد، در حالی که جرم مخصوص ظاهری خاک کاهش پیدا می‌کند. فاضلابی که در خواص خاک دگرگونی ایجاد نموده، ماهیت زراعی خاک را بهبود بخشیده، ولی مقدار فاضلاب لازم برای ایجاد تغییری محسوس در خواص فیزیکی خاک به مراتب بیشتر از مقدار لازم برای تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه بوده است. گرچه ناهماهنگی‌هایی در اندازه‌گیری این پژوهشگران در شرایط کشتزار و با استفاده از نمونه‌های دست نخورده خاک دیده می‌شود، ولی در بررسی‌های آزمایشگاهی با استفاده از ستون‌های فشرده خاک، دشواری بالا را اصلاح کرده و نتایج یک‌نواخت‌تری ارائه داده‌اند.

آسانو و پتیگراو (۱۴) در آزمایش‌هایی که در کالیفرنیا انجام دادند اثر پخش فاضلاب تصفیه شده را روی اراضی کشاورزی بررسی نموده و نتیجه‌گیری کرده‌اند که چه به لحاظ کشاورزی و چه به لحاظ بهداشتی، پخش پساب هیچ گونه اثر سوئی در آب زیرزمینی، خاک و یا فراورده‌های کشاورزی نداشته است. دیگر پژوهشگران (۴۶) نیز تأثیر دراز مدت کاربرد فاضلاب را

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-06-09]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.1.8]

به منظور تأمین برخی عناصر تغذیه‌ای گیاه (P. N) مورد بررسی قرار داده، و در مقادیر مصرف شده تا مدت هفت سال اثر نامطلوبی از تجمع فلزات سنگین مشاهده نکردند. کلاپ و همکاران (۲۳) اثر پساب فاضلاب شهری را در چند ایالت مختلف آمریکا در مورد عملکرد گیاه ذرت، و نیز شماری از گیاهان علوفه‌ای مطالعه نموده و به این نتیجه رسیدند که تأثیر پساب با کاربرد کود شیمیایی به صورت نیترات آمونیوم از نظر تأمین نیاز گیاه کاملاً قابل مقایسه است.

بیورو و همکاران (۱۹)، در یک آزمایش مداوم پنج ساله تأثیر آبیاری با پساب را بر سبزی‌هایی که به صورت خام مصرف می‌شوند، بررسی کردند. نام‌بردگان دریافتند که هیچ گونه اختلاف معنی‌داری میان کیفیت محصولات تولیدی با پساب، در مقایسه با آب معمولی ملاحظه نگردید. افزون بر این، هیچ گونه تأثیر سوئی بر خاک و یا آب‌های زیرزمینی در اثر استفاده از پساب دیده نشد. با این حال، پاره‌ای از نتایج نشان می‌دهد که در اثر استفاده از پساب تغییراتی در ویژگی‌های فیزیکی خاک ایجاد می‌شود. ولی این تغییرات به دلیل وجود املاح در آب و بالا بودن SAR آب است، که نه تنها پساب، بلکه در اثر استفاده از آب معمولی نیز چنین وضعیتی ممکن است رخ دهد. در هر حال، گزارش‌هایی که گویای اثر نامطلوب کاربری پساب باشد، بسیار اندک است، و دال بر اثبات مطلب نبوده و می‌بایست پژوهش‌های گسترده‌ای در این زمینه انجام شود.

جنکیز و همکاران (۳۰) دریافتند که عملکرد ذرت خوشه‌ای، علوفه و سبزی‌های آبیاری شده با فاضلاب به ترتیب ۲/۵ و ۳ برابر بیش از محصول به دست آمده با آب چاه عمیق است. در حقیقت، گیاه آبیاری شده با فاضلاب بلندتر بوده، رنگ سبز تیره‌تر داشته، و زودتر گل داده است. گزارش بررسی‌های دانش و همکاران (۱) نشان داد که استفاده از فاضلاب تصفیه شده خانگی هیچ گونه تأثیر سوئی در زمینهٔ جذب عناصر سنگین در چغندر قند و چغندر علوفه‌ای نداشته است. بول و همکاران (۱۷)، در خاک‌های آبیاری شده با پساب در کشور آلمان، ملاحظه کردند که پس از ۱۶ و ۲۵ سال، از میان فلزات سنگین، تنها عنصر نیکل، کادمیوم و روی به مرز زیان‌آور نزدیک شده‌اند. صابر (۴۳) با آزمایش خاک‌های آبیاری شده با فاضلاب شهر قاهره به این نتیجه رسید که در یک زمان صفر تا ۶۰ ساله، هر یک از فلزات سنگین می‌توانند به اندازه چشم‌گیری در خاک انباشته شوند.

مهیدا (۳۵) گزارش کرد که در مناطق مختلف هند، عملکرد گیاهان ریشه‌ای، نیشکر، سبزی‌ها، میوه‌ها و به ویژه علوفه، در مزارع آبیاری شده با آب فاضلاب، در مقایسه با مزارع آبیاری شده با آب کانال بیشتر بوده است. شند و همکاران (۴۴) گزارش کردند که استفاده دوباره از فاضلاب در هر یک از مراحل تصفیه،در مقایسه با آب شیرین (همراه با اندازه استاندارد کود نیتروژن، فسفر و پتاسیم)، برای آبیاری مزارع گندم، باقلا، برنج، سیب‌زمینی و پنبه عملکرد بیشتری را نشان داده است. مونت و اسوزا (۳۷) با کشت سه گیاه ذرت، سورگوم و آفتاب‌گردان در خاک‌های شنی کشور پرتغال، و آبیاری آنها با فاضلاب تصفیه شده و آب چاه به همراه کودهای مرسوم، نشان دادند که عملکرد گیاهان در مزارع آبیاری شده با پساب، در مقایسه با مزارع آبیاری شده با آب چاه همراه کود، بیشتر است. ولی دیگر پژوهشگران (۴۷) گزارش کرده‌اند که در آبیاری با پساب گیاهان مرکبات، انگور، چغندر قند، سیب‌زمینی، سیب، خربزه، آواکادو و کدو، در مقایسه با آبیاری با آب چاه به همراه کودهای مرسوم، از کیفیت نازل‌تری برخوردارند. آنها این کیفیت پایین در میوه گیاهان را مربوط به افزایش مداوم نیتروژن در طول دوره رویش گیاه دانستند.

چنین به نظر می‌رسد که بتوان از پساب تصفیه شده فاضلاب‌های خانگی، به عنوان یک منبع مطمئن برای آبیاری در کشاورزی، به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، که با کمبود شدید آب روبه‌رو هستند، استفاده کرد. شهر مشهد نیز جزو مناطق نیمه‌خشک و کم‌آب می‌باشد. با احداث سیستم جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب، که در آینده امری ناگزیر است، حجم عظیمی از پساب در اختیار خواهد بود، که دفع مستقیم آن

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-06-09]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.1.8]

از طریق رودخانه آثار بهداشتی و زیست‌محیطی به وجود خواهد آورد. بنابراین، در صورتی که از این پساب در آبیاری اراضی کشاورزی استفاده شود، سبب صرفه‌جویی در مصرف کود شمیایی خواهد شد. با کاربرد پساب بر پایه مدیریت صحیح، تطبیق ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و میکروبی آن با استانداردهای ارائه شده بین‌المللی، بررسی و شناخت عناصر جذبی، بررسی وضعیت زمین از نظر توپوگرافی، و هم‌چنین pH، شوری و املاح موجود در خاک، و سرانجام منابع آلوده کننده آن، می‌توان از ارزش‌های بالقوه این منبع به نحو شایسته و مطلوبی استفاده کرد. افزون بر آن، مدیریت بر پایه تنها مرز استاندارد گمارده شده کار درستی نیست، زیرا آب، هوا، گیاه و خاک دارای ویژگی‌های گوناگون‌اند و این گوناگونی کار رده‌بندی آب‌ها و پساب‌ها را دشوار نموده است.

هدف از این پژوهش ارزیابی تأثیر پساب و آب آبیاری، با و یا بدون کود دامی و نیتروژن و فسفر، بر عملکرد و ترکیب شیمیایی کاهو در منطقه مشهد بوده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. مزرعه در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۸ دقیقه شرقی، و با میانگین ارتفاع ۹۸۹ متر از سطح دریا می‌باشد. خاک محل مورد آزمایش از نوع لوم- رسی است، که بر اساس سیستم رده‌بندی Fine loamy mixed mesic Calcixerollic Xerochrepts نام دارد. ساختمان خاک مناسب، و فاقد لایه‌های محدود کننده و غیر قابل نفوذ بود.

پس از تسطیح و آماده‌سازی زمین مورد نظر و پیش از کاشت، مقدار ۲۵ تن در هکتار کود دامی (گاوی) پوسیده بر اساس کرت‌های مشخص شده تیمار T_3 مصرف گردید. مقدار ۱۰۰ تا ۱۱۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به صورت اوره، در دو قسمت مساوی به صورت پیش‌کشت و شش هفته پس از کاشت، بر اساس کرت‌های مشخص شده تیمار T_4 افزوده شد. فسفات دی آمونیوم به میزان ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار، در یک نوبت اضافه گردید.

کاشت بذر کاهو (پیچ اهوازی) (*Lactuca sativa*) به صورت دست‌پاش، در کرت‌هایی به ابعاد ٤ ×۱/۷ متر مربع و با فاصله ردیف ٦۰ سانتی‌متر صورت گرفت. آب مورد نیاز گیاه از چاه عمیق پردیس دانشگاه به عمق ۱۲۰ متر در فاصله دو کیلومتری مزرعه تأمین، و پس از انتقال به مخزن ذخیره موقت استفاده گردید. آبیاری به صورت سطحی (جویچه‌ای) و مطابق عرف منطقه انجام شد.

پساب مورد استفاده، در همان روز آبیاری از تصفیه خانه شهرک لشگر، واقع در اراضی قاسم‌آباد (ده کیلومتری مشهد) به وسیله تانکر به محل آزمایش حمل، و در دو مخزن موقتی ذخیره، و به مقدار محاسبه شده به کرت‌ها اضافه گردید. در تصفیه‌خانه مذکور فاضلاب‌های خانگی به کمک روش‌های تصفیه مقدماتی و ثانویه تصفیه می‌شوند. این مجتمع دارای شبکه‌های آشغال‌گیر، خردکن، حوضچه‌های هوادهی، حوضچه‌های ته‌نشینی، واحد کلرزنی و بسترهای خشکاننده لجن می‌باشد. پسابی که برای آزمایش در مزرعه استفاده شد، از آخرین مرحله تصفیه برداشت گردید.

دور آبیاری در پنج هفته اول به فواصل هر شش روز یک بار، و از آن پس تا هنگام برداشت به دلیل گرمی هوا و تجمع نمک، و برای این که محیط ریشه مرطوب نگاه داشته شود، به هر پنج روز تغییر یافت. هر کرت دارای چهار ردیف کاشت بود، که دو ردیف کناری و نیم متر از ابتدای هر کرت به عنوان اثر حاشیه حذف، و در سه نوبت از دو ردیف میانی برداشت انجام شد.

در آزمایشگاه، نخست نمونه‌های تر با دقت ۰/۰۱ گرم توزین، و پس از آن در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ٤۸ ساعت در آون خشک گردید، و درصد ماده خشک محاسبه شد. هم‌چنین، نمونه‌هایی از کاهو در اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال و آب مقطر شسته و پس از خشک کردن با آسیاب وایلی پودر

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-06-09]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.1.8]

شد، و غلظت عناصر مختلف در اندام‌های هوایی ریشه گیاه تعیین گردید.

ویژگی‌های شیمیایی آب و پساب در فصل رشد، و به طور ماهیانه اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری برخی عناصر سنگین در نمونه‌های گیاهی، از روش گنجی و پیچ (۲۷) بهره‌گیری شد. نمونه‌برداری از خاک مربوط به هر تیمار در پنج تکرار از نقاط مزرعه، و از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری با آگر فولادی انجام گرفت. PH به وسیله دستگاه pH متر، شوری با هدایت‌سنج الکتریکی، فسفر با عصاره‌گیری به وسیله بی‌کربنات سدیم و pH ۸/۵ با روش اولسن به وسیله رنگ‌سنجی، کلر به وسیله تیتراسیون با نیترات نقره، بُر به وسیله روش رنگ‌سنجی با کارکومین-اسیداگزالیک، سدیم و پتاسیم به روش شعله‌سنجی (۳۹)، کربنات و بی‌کربنات به روش نیتراسیون (۳۹)، BOD به روش نیتراسیون وین‌کلر، COD به روش بیکرومات (۱۲)، و دیگر عناصر با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شدند (۲۲). برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ آمده است. برای آگاهی از وضعیت بهداشتی (میکروبی و انگل‌شناسی) پساب، در هر نوبت از آبیاری، نمونه‌های پساب به آزمایشگاه ارسال، و آزمایش‌های مربوط با توجه به کشت‌های میکروبی انجام گردید. تشخیص تک‌یاخته کریپتوسپوریدیوم به روش کنسانتره زل نلسون اصلاح شده، و وجود ژیاردیا با مشاهده کیست آن بوده است. تخم کرم با مشاهده عینی در پساب تشخیص داده شد، که در تمام موارد از میکروسکوپ استفاده گردید (۱۲). هم‌چنین، برای تعیین آلودگی‌های احتمالی ایجاد شده در خاک، از عمق صفر تا پنج سانتی‌متری نمونه‌برداری و به آزمایشگاه فرستاده شد.

نتایج و بحث

کیفیت آب و پساب

نیتروژن، فسفر و پتاسیم مهم‌ترین عناصر غذایی موجود در فاضلاب می‌باشند، که روی هم رفته نسبت N/P/K در پساب برابر ۱۵/ ۱/۵ / ۹/۹ است (٤٦)، و مقدار آنها از نیتروژن به پتاسیم و فسفر کاهش می‌یابد. الیوت (۲۵) نسبت N/P/K در دومین استخر تهنشینی فاضلاب را ۲/۷ / ۱ / ۲/۵ گزارش کرده است. تجزیهٔ پساب نشان داد که نیتروژن و پتاسیم پساب تصفیه‌خانهٔ شهرک لشگر بیشتر از آن است که به وسیلهٔ الیوت گزارش شده است. این داده‌ها نشان می‌دهد که ترکیب دومین استخر تهنشینی فاضلاب چندان هم ثابت و یک‌نواخت نیست. در پساب آزمایش شده ۲۸ درصد از نیتروژن به فرم نیتراتی و تنها نزدیک به ۱۱ درصد از نیتروژن به فرم آمونیومی و ۲/۷ درصد به فرم نیتریتی بود. فسفر پساب بیشتر به فرم ارتوفسفات، و تنها حدود ۲۵ درصد از فسفر پساب به فرم آلی بود.

فسفر با پیوند آلی در بیشتر فاضلاب‌های خانگی از اهمیت کمی برخوردار بوده، ولی می‌تواند در فاضلاب‌های صنعتی و لجن‌های تصفیه‌خانه فاضلاب از ترکیبات مهم باشد. در این جا یادآوری می‌شود که مقدار نیتروژن و فسفر در پساب شهرک لشگر کمتر از آن است که به وسیله پژوهشگران (۲۵) در دومین استخر تهنشینی فاضلاب در آمریکا اندازه‌گیری و گزارش شده است. کمی کاربرد سرانهٔ آب در ایران (۱۵۰ لیتر در شبانه‌روز) در برابر آمریکا (۲۵۰ لیتر در شبانه‌روز)، هم‌چنین، ناهمانندی عادت غذایی و خوراکی‌ها در دو کشور می‌تواند دلیلی بر این نابرابری‌ها باشد.

میانگین شوری پساب ۰/۵۳ دسی‌زیمنس بر متر بود، ولی روی هم رفته شوری پساب شهرک لشگر از ۱/۲ دسی‌زیمنس بر متر کمتر بود، که در دامنه شوری گزارش شده پساب‌ها (۰/۲ تا ۲/۲) جای می‌گیرد (۲۵ و ٤۲). کاتیون چیره در پساب، سدیم بود. مقدار کلسیم کمی بیشتر از منیزیم، و از میان آنیون‌ها، مقدار کلر بیشتر از بی‌کربنات و سولفات بود. میانگین عناصر محلول پساب تصفیه‌خانهٔ شهرک لشگر، در مقایسه با شوری و عناصر محلول دومین استخر تهنشینی فاضلاب شهرهای آمریکا، که به وسیلهٔ پژوهشگران (۲۵) گزارش شده است، نشان می‌دهد که این ویژگی‌های پساب در تصفیه‌خانهٔ شهرک لشگر بالاتر از آمریکا است. اختلاف مصرف سرانه آب در ایران در برابر آمریکا، و نیز زیاد بودن نمک و سختی آب آشامیدنی شهر

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-06-09]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.1.8]

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

ویژگی‌های فیزیکی	شن	سیلت	رس	بافت	نقطه اشباع	ظرفیت زراعی	حد آب قابل استخراج	حد پژمردگی دایم	ظرفیت نگهداری آب
	درصد				درصد وزنی				
	۵۰	۳۰	۲۰	لوم رسی	۲۹	۲۶	۱۷	۱۲	۱۴

ویژگی‌های شیمیایی	PH	CEC (سانتی‌مول در کیلوگرم)	EC (دسی زیمنس بر متر)	SAR	C (درصد)	TN (درصد)	فسفر محلول در بی‌کربنات سدیم (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)	کاتیون‌های محلول (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)				آنیون‌های محلول (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)				کاتیون‌های تبادلی (سانتی‌مول در کیلوگرم)			
								Na^{2+}	K^{+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$CO3^{2-}$	$HCO3^{-}$	Cl^{-}	$SO4^{2-}$	Na^{+}	K^{+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}
	۷/۵	۱۰/۹	۱/۵	۲/۱۸	۱/۸	۰/۰۵۴	۵۴	۵	۰/۱	۴/۵	۵/۸	۰	۱/۹	۲	۱۱/۵	۰/۴	۰/۴	۴/۴	۵/۷

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-06-09]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.1.8]

مشهد، و ناهمانندی کیفیت آب آشامیدنی این کشورها می‌تواند دلیلی بر این تفاوت‌ها باشد. افزون بر آن، تصفیه‌خانهٔ شهرک لشگر قدیمی بوده و جوابگوی جمعیت کنونی منطقه نیست، و مشخصات کامل یک سیستم تصفیه ثانویه را ندارد (۸).

از میان عناصر سنگین سرب، نیکل، آهن، روی، منگنز، مس، کبالت و کادمیوم، تنها مقدار سرب، نیکل و آهن بیش از ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر بود، و میانگین عناصر دیگر کمتر از ۰/۱۵ میلی‌گرم در لیتر اندازه‌گیری شد، که همگی زیر مرز استانداردهای ارائه شده برای کاربرد پساب در کشاورزی می‌باشد. بیشتر عناصر سنگین هنگام تصفیه فاضلاب از آن جدا می‌شوند، و خود را بیشتر در لجن نشان می‌دهند (۴۲). نتایج تجزیهٔ شیمیایی عناصر سنگین پساب با استاندارد سال ۱۳۷۳ سازمان محیط زیست ایران هم‌خوانی دارد. میانگین بُر در پساب تصفیه‌خانهٔ شهرک لشگر کمتر از میزان گزارش شده توسط دیگران (۲۵) است. کمی کاربرد سرانه آب و استفاده کمتر از مواد شوینده می‌تواند دلیلی بر این تفاوت باشد (جدول ۲). نتایج آزمایش‌های میکروبی و انگلی آب‌های آبیاری در جدول ۳ آمده است. پروتوزواهای کریپتوسپوریدیوم (Cryptosporidium)، ائوسیت (Oocyste) و ژیاردیا (Giardiasis) فاقد میزبان واسطه بوده و می‌توانند به طور مستقیم در انسان بیماری به وجود آورند. کریپتوسپوریدیوم در افراد خردسال به بروز اسهال روده‌ای می‌انجامد، و سبب مرگ افراد مبتلا به بیماری ایدز می‌شود. هم‌چنین، تخم انواع کرم‌های نواری، گرد و سنجاقی مشاهده گردید. تخم کرم گرد بدون میزبان واسطه بوده و مدتی زمان می‌برد تا عفونت‌زا شود. در مورد کرم تنیا، خود انسان می‌تواند به عنوان میزان واسطه عمل کند. ولی کرم شلاقی فاقد میزبان واسطه بوده، و برای ایجاد بیماری لازم است تا لارو آن در محیط بیرون به وجود آید. در مورد کرم پهن که عامل ایجاد کیست هیداتیت است، انسان میزبان واسطه می‌باشد، ولی گاهی حیوانات نیز به عنوان میزبان واسطه عمل می‌کنند. کرم سنجاقی شکل اکسیور میزبان واسطه ندارد و بلافاصله عفونت‌زا می‌باشد.

عملکرد کاهو

نتایج نشان می‌دهد که عملکرد کاهو در کلیه تیمارها در مقایسه با شاهد افزایش داشته است (جدول ٤). به طوری که میانگین عملکرد ماده تر و خشک کاهو در تیمارهای T1 و T3، به ترتیب برابر ۸۲/٤ و ۸۱/٤ درصد برای وزن تر و ۸۲/۲ و ۸۱/۳ درصد برای وزن خشک به دست آمد. میانگین این اعداد برای تیمارهای T4 و T2 به ترتیب برابر ٦۰/۹ و ٤۱/۷ درصد برای وزن تر و ٦۰/۸ و ٤۱/۸ برای وزن خشک است. عملکرد کل (اندام هوایی + ریشه) در کلیه تیمارها نسبت به تیمار شاهد افزایش داشته است. به طوری که میانگین حداکثر افزایش عملکرد ماده تر کل گیاه کاهو در تیمارهای T1 و T3 در مقایسه با تیمار شاهد، به ترتیب برابر ۸۳/۷ و ۸۳/۱ درصد بوده است، و در تیمارهای T4 و T2 این افزایش به ترتیب ٦۰ و ٤۰/۹ درصد بود. میانگین حداکثر افزایش عملکرد کل ماده خشک گیاه کاهو در تیمارهای T3 و T1 به ترتیب برابر ۹۱ و ۸۱/۵ درصد، و میانگین حداقل افزایش عملکرد کل ماده خشک در تیمارهای T4 و T2 به ترتیب برابر ٦۰/۲ و ۳٦/٦ درصد است.

بر پایهٔ نتایج به دست آمده، می‌توان گفت که فاضلاب تصفیه شده خانگی به کار رفته، عمدتاً به علت دارا بودن عناصر غذایی مختلف مورد نیاز کاهو، وزن اندام هوایی، اندام زیرزمینی و کل ماده تر و خشک گیاهی را در مقایسه با تیمارهای T2 و T5 افزایش داده است. مصرف نیتروژن و فسفر در تیمار T4 به اندازه تیمار T1 عملکرد گیاه را افزایش نداد، ولی از نظر آماری اختلاف میان این دو تیمار معنی‌دار نشد. پژوهش‌ها (٤۲) نشان داده است که مقادیر زیاد نیتروژن نیتراتی موجود در فاضلاب تصفیه شده خانگی سبب افزایش عملکرد گیاهان می‌شود. نتایج پژوهش‌های پاپادوپلوس و استیلیانون (٤۰)، و شند (٤٤) کارایی بهتر فاضلاب تصفیه شده را نسبت به کود شیمیایی در بارهٔ جذب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه نشان می‌دهد. مونت و اسوزا (۳۷) با کشت سه گیاه ذرت، سورگوم و آفتاب‌گردان در خاک‌های شنی کشور پرتغال، و آبیاری آنها با فاضلاب تصفیه شده و آب چاه به همراه کودهای مرسوم، نشان دادند که

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-06-09]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.1.8]

جدول ۲. میانگین ترکیب شیمیایی آب چاه و پساب (میلی‌گرم در لیتر)

معیارهای اندازه‌گیری شده	آب چاه		پساب		گستره مجاز آب آبیاری[3]		مرز استاندارد آلوده کننده در پساب برای[4]	
	آب مورد آزمایش	مرز استاندارد[1]	پساب مورد آزمایش	مرز استاندارد[2]	برای استفاده مداوم در کلیه خاک‌ها	برای استفاده تا ۲۰ سال در خاک‌های ریزبافت pH ۶-۸/۵	مصارف کشاورزی و آبیاری	تخلیه به آب‌های سطحی
PH	۸/۳۵	۷/۶	۷/۷۴	۷/۶	–	–	۶-۸/۵	۶/۵-۸/۵
هدایت الکتریکی (ds / m)	۰/۲۱	۲/۶۱	۰/۵۳	۲/۹۷	–	–	–	–
سدیم	۵/۵۷	۸۹۹/۳	۵۹/۸	–	–	–	–	–
پتاسیم	۸/۴	–	۱۱/۶	–	–	–	–	–
کلسیم	۱۲	۲۰۰	۱۴/۲	–	–	–	–	۳/۷۵
منیزیم	۲/۶۴	۲۹/۵	۵/۴	–	–	–	۸/۲	۸/۲
کربنات	۰/۳	۱/۵	۱/۵	–	–	–	–	–
بی‌کربنات	۳۰/۵	۶۰۰	۳۶/۶	–	–	–	–	–
کلر	۳۱/۵۵	<۱۴۲	۳/۵۵	–	–	–	۶	۱۶/۹
سولفات	۶۷/۲	۵۰۱/۱	۶۷/۲	–	–	–	۵/۲۱	۴/۱۷
نیتروژن کل	–	–	۴۴/۶	۴۳-۲/۵	–	–	–	–
نیتروژن نیتراتی	–	–	۱۲/۵	–	–	–	–	۵۰
نیتروژن نیتریتی	–	–	۰/۰۵	–	–	–	–	۱۰
نیتروژن آمونیاکی	–	–	۱/۲	–	–	–	–	–
فسفر کل	–	–	۱۳/۷	–	–	–	–	–
فسفر فسفاتی	–	–	۴/۴۷	۴/۱	–	–	–	۶
بُر	۰/۴۳۷	–	۰/۱۰۷	–	۰/۷۵	۲	۱	۲
کادمیوم	۰/۰۱۲	–	۰/۰۱۶	–	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۱
کروم	–	–	–	۰/۰۲	۰/۱	۲۰	۲	۲
مس	۰/۰۶۹	۰/۰۲	۰/۰۷۶	۰/۰۳	۰/۲	۵	۰/۲	۱
منگنز	۰/۰۸۶	–	۰/۱۲۷	–	۰/۲	۱۰	۱	۱
مولیبدن	–	–	–	–	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۱
سرب	۰	۰/۱۶	۰/۰۸۸	۰/۱۹	۵	۲۰	۱	۱
کبالت	–	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۵	۵	۰/۰۵	۱
روی	۰/۱۷۶	–	۰/۱۲۹	–	۲	۱۰	۲	۲
آهن	۰/۳۷۲	۰/۱۱	۰/۵۱۲	۰/۳۳	۵	۲۰	۳	۳
نیکل	۰/۶۲۵	۰/۰۵	۰/۶۵۶	۰/۰۶	۰/۲	۲	۲	۲
BOD	–	–	۱۱۷	–	–	–	۱۰۰	۳۰
COD	–	–	۱۶۴	–	–	–	۲۰۰	۶۰

۱. برگرفته از بحری (۱۵)

۲. برگرفته از FAO (۲۶)

۳. برگرفته از بوئر و چنی (۱۸)، برگ و متکاف (۱۶)، سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (۵۰)

۴. برگرفته از حفاظت محیط زیست ایران (۶)

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-06-09]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.1.8]

جدول ۳. کیفیت میکروبیولوژی و انگلی آب‌های آبیاری

معیارهای اندازه‌گیری شده	آب چاه	فاضلاب تصفیه شده خانگی	دامنه مجاز آب آبیاری[1]
شمار کلی ریزجانداران در میلی‌لیتر	$۶/۲ \times ۱۰^{۱}$	$۱/۱۷۶ \times ۱۰^{۴}$	$۱-۱۰۰ \times ۱۰^{۶}$
شمار کلی‌فرم‌ها در میلی‌لیتر	–	$۱/۶۵ \times ۱۰^{۳}$	–
عدد M. P. N. (شمار کلی‌فرم‌ها در ۱۰۰ میلی‌لیتر)	۸×۱۰^{۳}	$۱/۱۳ \times ۱۰^{۶}$	$۱/۵ \times ۱۰^{۷}$
کلی‌فرم‌ها	غیرمدفوعی	مدفوعی ۱۰٪ و غیر مدفوعی ۹۰٪	۱۰۰ کلی‌فرم مدفوعی در هر ۱۰۰ میلی‌لیتر
باکتری‌های سالمونلا	حضور ندارند	$۲/۹۵ \times ۱۰^{۲}$	–
ریزجانداران دیگر	لاکتوباسیل‌های گرم مثبت	لاکتوباسیل، استرپتوکوک، باکتری‌های باسیلی شکل گرم منفی مشکوک به پروتئوس مولد هاگ از جنس باسیلوس، باکتری‌های کوکسی شکل گرم مثبت از جنس میکروکوک	
کیفیت آب بر اساس جدول M. P. N.	آلوده	بسیار آلوده	
پروتوزوا‌ها			
کریپتوسپوریدیوم	–	حضور دارد	–
ژیاردیا	–	حضور دارد	–
کرم‌ها			
آسکاریس	–	"	–
کرم برگی شکل (ترماتود)	–	"	–
فاسیولا	–	"	–
تنیا	–	"	–
کرم سنجاقی	–	"	–
کرم پهن	–	"	–

۱. برگرفته از خورش (۳۳) و WHO (۳۶)

جدول ٤. اثر تیمارهای آبیاری بر عملکرد اندام هوایی (برگ) کاهو

تیمار	وزن برگ کاهو (کیلوگرم در هکتار)		برتری نسبت به تیمار شاهد (درصد)	
	وزن‌تر	وزن خشک	وزن‌تر	وزن خشک
T_1	۸۵۱۶۰^{a}	۵۱۱۰^{a}	۸۲	۸۲
T_2	٦٦۱۸۰^{ab}	۳۹۷٦^{ab}	٤۲	٤۲
T_3	۸٦٦۸۰^{a}	۵۰۸۳^{a}	۸۱	۸۱
T_4	۷۵۱۲۰^{a}	٤۵۰۸^{a}	٦۱	٦۱
T_5	٤٦٦۹۰^{b}	۲۸۰٤^{b}	–	–

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

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-06-09]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.1.8]

عملکرد گیاهان در مزارع آبیاری شده با پساب، در مقایسه با مزارع آبیاری شده با آب چاه به همراه کود بیشتر است، و آبیاری با فاضلاب تصفیه شده هیچ گونه تأثیر منفی بر کمیت و کیفیت گیاهان نداشته، و ارزش کودی پساب همانند، و شاید بهتر از ارزش کودی کودهای مرسوم است.

تجزیه گیاهی

نتایج تجزیه گیاهی نشان داد که غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در کلیه اندام‌های گیاه کاهو در تیمار T1، نسبت به شاهد افزایش داشته است (شکل‌های ۱ و ۲). بیشترین مقدار نیتروژن و فسفر در اندام هوایی و ریشه کاهو به ترتیب در تیمارهای T1 و T3، و کمترین آن به ترتیب در T2 و T4 می‌باشد. بیشترین مقدار پتاسیم در اندام هوایی و ریشه کاهو به ترتیب در تیمارهای T3 و T1، و کمترین آن به ترتیب در تیمارهای T4 و T2 مشاهده شد. مقادیر عناصر پرمصرف در اندام هوایی کاهو به مراتب بیشتر از ریشه است.

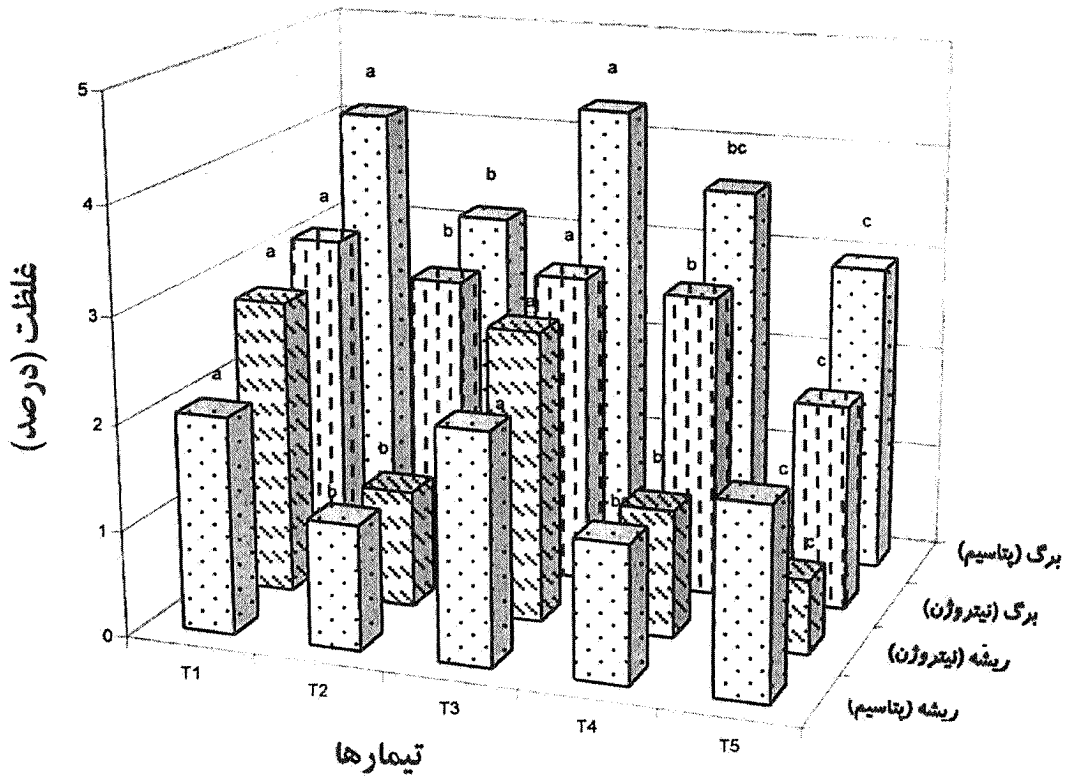
انباشتگی عناصر در گیاه به آب و هوا، خاک، گونه گیاهی و مدیریت کشاورزی وابسته است. ولی در بیشتر گیاهان کشت شده مقدار عناصر پرمصرف در دامنهٔ کوچکی می‌تواند باشد (۹). کاردوس و هوک (۳۱) گزارش کردند که آبیاری ۲/۵ سانتی‌متر در هفته از دومین سرریز استخر ته‌نشینی فاضلاب نمی‌تواند نیتروژن جذب شده به وسیله گیاهان را جبران کند. در یک دوره ۵-۷ ساله، برداشت سالیانه نیتروژن خاک، با برداشت ذرت دانه‌ای ۱۰۲ تا ۱۷٤ درصد و ذرت علوفه‌ای ۱۱۵ تا ۲۸٦ درصد، برابر میزان ورودی با پساب بوده است. در کشت یونجه و ذرت سیلویی، برداشت پتاسیم از خاک بیش از آن چیزی بوده که با آبیاری ۲/۵ سانتی‌متر در هفته از پساب به خاک افزوده شده است. با آبیاری ۵ سانتی‌متر در هفته، برداشت پتاسیم خاک در کشت یونجه، دو سال از چهار سال کشت، و در کشت ذرت سیلویی در همه سال‌های کشت جبران شده است. اگر ذرت سیلویی در هر هفته به وسیلهٔ ۲/۵ سانتی‌متر فاضلاب آبیاری شود، مقدار عناصر به دست آمده از محصول برداشت شده معادل ۲۰۲ درصد نیتروژن، ۳۹ درصد فسفر و ٦۲ درصد پتاسیم موجود در فاضلاب معرفی می‌گردد، و چنانچه توسط ۵ سانتی متر فاضلاب در هفته آبیاری گردد، ذرت سیلویی تنها معادل ۱۰۳ درصد نیتروژن به کار رفته را مورد استفاده قرار خواهد داد.

زیاد بودن پتاسیم در اندام‌ها، به ویژه در برگ کاهو، و کم بودن پتاسیم پساب‌ها، بیانگر آن است که در استفاده مجدد از پساب، کمبود پتاسیم خاک بر افزایش پتاسیم در خاک برتری دارد. از سوی دیگر، افزایش پتاسیم در اندام‌های کاهو در تیمار T1 نسبت به تیمار شاهد، می‌تواند مؤید افزایش فراهمی پتاسیم خاک در اثر پساب باشد. هم‌چنین، وجود فسفر در پساب سبب تسریع در رسیدن گیاه شد. مقادیر کلسیم و منیزیم در کلیه تیمارها نسبت به تیمار شاهد افزایش داشت.

حداکثر مقدار کلسیم در برگ و ریشه کاهو به ترتیب در تیمارهای T1 و T3، و حداقل آن در تیمارهای T4 و T2 دیده شد. بیشترین مقدار منیزیم در برگ و ریشه به ترتیب در تیمارهای T1 و T4، و کمترین مقدار آن در تیمارهای T3 و T2 مشاهده شد (جدول ۵). اختلاف میان مقادیر کلسیم و منیزیم اندام هوایی و ریشه کاهو کم است، که این می‌تواند به دلیل پویایی کم کلسیم و منیزیم نسبت به نیتروژن، فسفر و پتاسیم درون گیاه باشد. کاردوس و هوک (۳۱) گزارش کردند که با آبیاری ۲/۵ و یا ۵ سانتی‌متر در هفته از پساب در کشت یونجه و ذرت سیلویی، فسفر، کلسیم، منیزیم، بُر، سدیم و کلر افزوده شده به خاک بیش از آن چیزی است که به وسیله گیاهان برداشت شده است. گرچه غلظت‌های عناصر پرمصرف گیاهی در تیمارهای مختلف آزمایش نسبت به تیمار شاهد افزایش داشت، ولی این غلظت در دامنه مجاز گزارش شده بود. بیشترین غلظت بُر در برگ و ریشه کاهو به ترتیب در تیمارهای T3 و T1، و کمترین آن به ترتیب در تیمارهای T2 و T4 مشاهده گردید. گزارش‌های بسیاری انباشتگی بیشتر بُر را در اندام‌های هوایی نسبت به ریشه نشان داده است؛ به ویژه گلبرگ‌ها از این عنصر غنی می‌باشند (۲ و ۹). کریپس (۲٤)

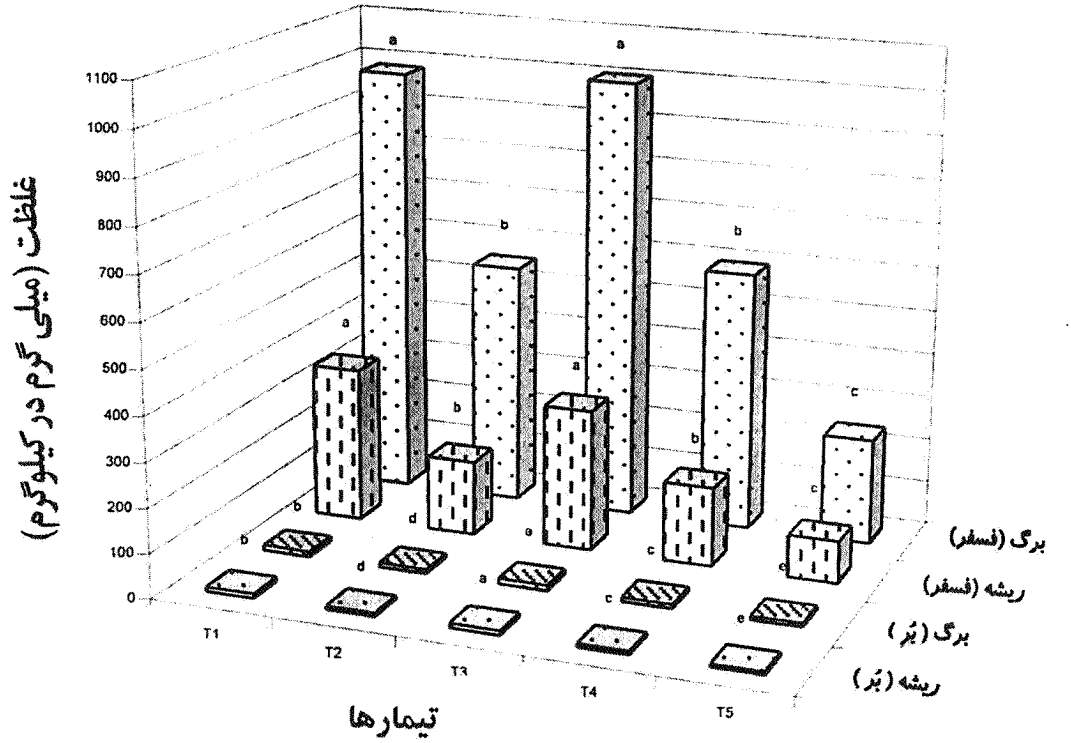
[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-06-09]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.1.8]



شکل ۱. اثر تیمارهای آبیاری بر غلظت نیتروژن و پتاسیم در برگ و ریشه کاهو

ستون‌هایی که با یک حرف مشترک مشخص شده‌اند طبق آزمون دانکن در سطح پنج درصد معنی‌دار نمی‌باشند.



شکل ۲. اثر تیمارهای آبیاری بر غلظت فسفر و بر در برگ و ریشه کاهو

ستون‌هایی که با یک حرف مشترک مشخص شده‌اند طبق آزمون دانکن در سطح پنج درصد معنی‌دار نمی‌باشند.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-06-09]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.1.8]

جدول ۵. غلظت عناصر موجود در برگ و ریشه خشک کاهو (درصد)

عناصر غذایی / تیمار	کلسیم		منیزیم		سدیم	
	برگ	ریشه	برگ	ریشه	برگ	ریشه
T_1	۱/۵	۰/۹۸	۰/۵۷	۰/۵۱	۱/۵۵	۲/۲
T_2	۱/۱	۰/۸۲	۰/٤٦	۰/۳۹	۱/٤۱	۱/۹
T_3	۱/٤	۰/۹۱	۰/٤۸	۰/٤۲	۱/۳	۱/۵
T_4	۱/۲	۰/۸۸	۰/۵۱	۰/٤۸	۱/۲۸	۱/۸
T_5	۰/۹٦	۰/۷۱	۰/۳۵	۰/۲۸	۱/۱	۱/۲
گسترهٔ مجاز غلظت	۱/۲-۲/۱	۰/۸-۲/۲	۰/۳۵-۰/٦	۰/۲-۰/۵	٦	٦

عقیده دارد که در گیاهان، بُر نسبتاً دارای پویایی کمی است، و مقدار آن از پایین گیاه به بالا افزایش می‌یابد (شکل ۲).

حداکثر مقدار سدیم در تیمار T1 آزمایش به ترتیب در ریشه و برگ دیده شد. پویایی سدیم در گیاه به سبب شعاع آب‌گیری بزرگ‌تر، در مقایسه با پتاسیم کمتر است. در برخی از گونه‌های گیاهی، سدیم به پتانسیل اسمزی سلول کمک می‌کند، بنابراین در وضع رطوبت گیاه تأثیر مثبت دارد. اثر مفید سدیم بر رشد گیاه، به ویژه هنگامی که میزان پتاسیم کافی نباشد، آشکار است. ویژگی‌های ذاتی گیاه به دلیل تأثیر نامطلوب عنصر سدیم، ایجاب می‌کند که حداکثر غلظت سدیم در ریشه بماند، و جا به جایی آن به اندام‌های هوایی بسیار اندک باشد (۹).

مقادیر آهن، منگنز، مس، روی، نیکل و کادمیوم در تیمار T1 حداکثر بود. بیشترین غلظت عناصر آهن، نیکل، کادمیوم و روی به ترتیب در ریشه و برگ کاهو، و حداکثر غلظت عناصر منگنز و مس به ترتیب در برگ و ریشه کاهو دیده شد (جدول ٦). تحرک کم آهن در اندام‌ها و بافت‌های گیاهی می‌تواند موجب ناهمانندی مقدار آهن در ریشه و اندام‌های هوایی گیاه باشد (۲). میانگین مقدار آهن در اندام‌های هوایی و ریشه گیاه کاهو در دامنه بسندگی آن است. این موضوع نشان می‌دهد که در مزارع آبیاری شده با فاضلاب تصفیه شده خانگی آهن گیاه به خوبی فراهم می‌شود، و نیازی به کوددهی خاک و گیاه نیست.

میزان جذب منگنز به طور چشم‌گیری در میان گونه‌های گیاهی متفاوت است، ولی به طور کلی میزان جذب آن کمتر از انواع کاتیون‌های دو ظرفیتی دیگر مانند کلسیم و منیزیم است. منیزیم مخصوصاً جذب منگنز را کاهش می‌دهد. هم‌چنین، با افزایش میزان منگنز، مقدار آهن در گیاه سویا کاهش یافته است (۲ و ۹). منگنز جا به جایی کمی در گیاه دارد، ولی آمبرگر (۱۰) گزارش کرده است که این عنصر جاگیری در بافت‌های بخشینه‌ای گیاه را ترجیح می‌دهد. بنابراین، بایستی اندام‌های جوان گیاه سرشار از منگنز باشد. مقدار منگنز اندام هوایی و ریشه کاهو در دامنه مجاز بسندگی قرار می‌گیرد و آسیبی به گیاه نمی‌رسد.

گزارش شده که جا به جایی روی در گیاه کم است و هنگامی که مقدار روی فراهم در پیرامون ریشه زیاد باشد، در بافت‌های ریشه‌ای گیاه انباشته می‌شود (۲). استوکنهولتز و همکاران (٤۸) گزارش کرده‌اند که با افزایش فسفر فراهم در اواسط رشد گیاه، غلظت روی در اندام‌های هوایی نسبت به ریشه‌ها کاهش داشته است. یافته‌های پژوهش حاضر با این گزارش هم‌خوانی دارد. کاهش غلظت روی در اندام‌های هوایی گیاه به دشواری جا به جایی روی از ریشه به ساقه‌های گیاه نسبت داده می‌شود. گزارش‌های زیادی برهمکنش میان روی و فسفر را، هنگامی که فسفر فراهم زیاد باشد، سبب جذب روی

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-06-09]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.1.8]

جدول ٦. غلظت عناصر در برگ و ریشه خشک کاهو (میلی‌گرم در کیلوگرم)

عناصر		گسترهٔ مجاز غلظت[1]	تیمار				
			T_5	T_4	T_3	T_2	T_1
آهن	برگ	٤٠-٢٠٠	٢١/٢	٤٤/٧	٤٨/٥	٥٣/٩	٦٢/٧
	ریشه	٤٠-٥٠٠	٣٩/٧	٧٨/١	٩٨/٧	١٠٣/١	١٠٨/٧
منگنز	برگ	٣٠-١٠٠	٢٨/٥	٣٢/٧	٣٧/٩	٣٨/٥	٤١/٣
	ریشه	٠/٠٥-٢٠٠	١٧/٨	٢٨/٩	٣١/٧	٣٢/٥	٣٨/٧
روی	برگ	٣٠-٨٠	٢٣/٦	٣٣/٢	٣٥/٩	٣٦/٥	٣٨/٧
	ریشه	١-١٠٠	٢٥/٨	٣٤/٩	٣٧/١	٣٩/٨	٤٢/٥
مس	برگ	٧-١٥	٤/٣	٥/٧	٥/٨	٦/٥	٧/٩
	ریشه	٤-٢٠	٢/٨	٣/٤	٣/٩	٥/٨	٦/٧
کادمیوم	برگ	٠/٢	٠/٠٥	٠/١١	٠/١١	٠/١٢	٠/١٣
	ریشه	٠/٢	٠/٠٧	٠/١٣	٠/١٢	٠/١٤	٠/١٨
نیکل	برگ	٠/٣-٠/٥	٠/٠٢	٠/٠٤	٠/٠٥	٠/١٤	٠/١٦
	ریشه	٠/٣-٠/٧	٠/٠٣	٠/٠٧	٠/٠٧	٠/١٦	٠/١٩

١. برگرفته از استوان (٢٨)، تیزدل (٤٩)، نونک (٣٨) و ملکوتی (٧)

در گیاه دانسته است (٩).

مس به مقدار بسیار کم در بافت‌های گیاهی انباشته می‌شود. کلر و دیول (٣٢) با استفاده از ریشه‌های بریده گونه‌های گیاهی مختلف، نشان دادند که مس می‌تواند بیشتر یون‌های دیگر را از مکان‌های تبادلی ریشه جا به جا کند و خود جانشین آنها شود. این یافته‌ها ممکن است دلیل خوبی باشد بر این که ریشه از نظر مقدار مس نسبت به دیگر بافت‌های گیاهی غنی‌تر است. لونراگان (٣٤) گزارش کرده است که تحرک مس به وضع آن در درون گیاه بستگی دارد. در بوته‌های گندمی که به خوبی از مس برخوردارند، انتقال مس از برگ به دانه به آسانی می‌تواند انجام گیرد، ولی این عنصر در گیاهان دچار کمبود نسبتاً بی‌تحرک است. یافته‌های پژوهش حاضر انباشتگی بیشتر مس را در اندام‌های هوایی نسبت به ریشه کاهو نشان داد. مقدار مس در اندام‌های کاهو در دامنه بسندگی آن قرار داشت.

درجه سمیت نیکل در گیاهان هشت برابر روی است (٢ و ٩). به تازگی نظریه‌های زیادی وجود دارد مبنی بر این که نیکل ممکن است در سوخت و ساز حیوانات و احتمالاً گیاهان، ضروری باشد. مقدار نیکل در اندام‌های کاهو در دامنه بسندگی گیاهان زراعی بود.

جارویس و همکاران (٢٩)، با استفاده از ٢٣ گونه گیاهی که در کشت مایع با محلول جاری روییده شده بودند، نشان دادند که اگرچه ریشه بسیاری از گونه‌های این گیاهان مقدار چشم‌گیری کادمیوم را از محلول جذب می‌کند، انتقال این عنصر در داخل گیاه محدود است. به نظر می‌رسد که کادمیوم در مکان‌های تبادلی ریشه نگهداری می‌شود، و کلسیم، منیزیم و روی می‌توانند جای‌گزین آن شوند. از آن جا که کلسیم به طور معمول، کاتیون غالب در محلول خاک به شمار می‌رود، ممکن است جذب کادمیوم را از خاک به طور کلی تحت تأثیر قرار دهد. محدودیت جا به جایی کادمیوم از ریشه به سمت اندام هوایی گیاه ممکن است به ویژه در اثر فسفات افزایش یابد (٢).

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-06-09]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.1.8]

در عوض، چانی (۲۰) و پتروزلی (٤١) گزارش کردند که توانایی کادمیوم، به علت دارا بودن حلالیت زیاد در رسیدن به اندام هوایی گیاه، به مراتب بیشتر از دیگر فلزات سنگین بوده و از انتقال سریع برخوردار است. مقدار کادمیوم در اندام‌های هوایی کمتر از ریشه، و در دامنه بسندگی است.

غلظت عناصر سرب، کبالت و مولیبدن در اندام‌های کاهو صفر بود. انباشتگی فلزات سنگین در اندام‌های کاهو در تیمارهای دیگر روند خاصی را نشان نداد. نتایج آزمایش نشان داد که همه عناصر کمیاب دارای غلظتی کمتر از آستانه سمیت بوده، و استفاده از فاضلاب تصفیه شده خانگی، دست کم در یک دوره کوتاه آزمایش، اثر سوئی بر گیاه مورد آزمایش نداشته است.

ویژگی‌های کیفی برگ کاهو

نتایج نشان داد که رنگ برگ کاهو در تیمارهای T1 و T3 نسبت به شاهد تیره‌تر شد (جدول ۷)، در صورتی که رنگ برگ کاهو در تیمارهای T2 و T4 روشن‌تر بود. هم‌چنین، با توجه به کاشت بهاره و گرمای هوا، گیاهان در تیمار T1 و T3 زودتر گل دادند. کلیه تیمارها در درصد رطوبت وزنی برگ و طول ریشه کاهو تفاوت ناچیز داشتند. برگ کاهو در تیمارهای مختلف آبیاری طعم مشابه داشت. درشتی میوه، ازدیاد وزن و زودرس شدن آن به سبب وجود فسفر فراوان در فاضلاب تصفیه شده خانگی می‌باشد (۳۰).

آلودگی‌های احتمالی میکروبی در سطح برگ کاهو

بیشترین شمار کلی‌فرم و عدد M. P. N. یا متحمل‌ترین شمار کلی‌فرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر پساب، به ترتیب در تیمارهای T1 و T2 مشاهده شد (جدول ۸). باکتری‌های باسیلوس در کلیه تیمارها شناسایی شد. باکتری‌های سالمونلا در تیمارهای T1 و T2 دیده شد. نتایج آزمایش‌های بیور (۱۹) هیچ گونه اختلاف معنی‌داری را بین جمعیت‌های کلی‌فرم موجود در محصولات آبیاری شده با فاضلاب و جمعیت‌های کلی‌فرم محصولات آبیاری شده با آب چاه نشان نداد. یافته‌های جنکینز (۳۰) اختلاف معنی‌داری را برای باکتری‌های روده‌ای و مدفوعی نمونه‌های مربوط به بالا و پایین گیاهان آبیاری شده با فاضلاب نشان داد، ولی این آلودگی وابسته به نوع منبع آب نبود، و احتمالاً مربوط به مدفوع پرندگان بوده است. از جمله دیگر ریزجانداران در برگ کاهو، که با مشاهده عینی تشخیص داده شد، پروتوزواها و کرم‌ها بودند.

ویژگی‌های شیمیایی و آلودگی‌های احتمالی میکروبی خاک آزمایش شده

نتایج تجزیه خاک‌های نمونه‌برداری شده از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری نشان داد که شوری خاک‌های آبیاری شده با فاضلاب بیش از دیگر خاک‌هایی است که با آب چاه آبیاری شده‌اند (جدول ۹). هم‌چنین، پساب به کار رفته در آزمایش، نه تنها از لحاظ شوری اثر سوئی نداشته است، بلکه با شوری کمی (۰/۵۳ دسی‌زیمنس بر متر) که دارد می‌تواند سبب آب‌شویی نمک‌های احتمالی موجود در لایه‌های بالای خاک به لایه‌های پایین‌تر شود. مقدار سدیم محلول و تبادلی خاک‌های آبیاری شده با پساب بیش از دیگر تیمارها بود. الگوی پخش سدیم تبادلی و محلول در لایه ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک همانند پخش نمک‌ها است. حداکثر افزایش نسبت جذب سدیم در تیمارهای T1 و T2 دیده شد، که افزایش سدیم موجود در فاضلاب تصفیه شده خانگی می‌تواند دلیلی برای آن باشد. هم‌چنین، مقدار کلسیم تبادلی و محلول خاک‌های آبیاری شده با پساب، در سنجش با تیمار شاهد افزایش داشت، ولی میزان منیزیم تبادلی و محلول خاک در مقایسه با تیمار کاهش یافت. از آن جا که پساب دارای عناصر معدنی به شکل کاهشی است (مانند نیتروژن که به شکل آمونیاکی است)، و نیز مقدار زیادی مواد آلی دارد، می‌تواند ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک را بهبود بخشد. ورود این مواد به همراه پساب به خاک و افزایش آنها، کاهش pH خاک را به دنبال دارد، که خود سبب افزایش حلالیت کربنات‌های کلسیم و منیزیم، و در پی آن افزایش کلسیم و منیزیم تبادلی و کاهش درصد سدیم تبادلی خاک

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-06-09]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.1.8]

جدول ۷. اثر تیمارهای آب آبیاری بر ویژگی‌های کیفی کاهو

ویژگی‌های کیفی / تیمار	رنگ	شکل	رطوبت وزنی (درصد)
T_1	تیره	عادی	۹۵
T_2	روشن متمایل به تیره	عادی	۹۵
T_3	تیره متمایل به روشن	عادی	۹٤
T_4	تیره	عادی	۹٤
T_5	روشن	عادی	۹۵

جدول ۸. نتایج آزمایش‌های میکروبی انجام شده روی برگ کاهو

معیارهای میکروبی / تیمار	شمار کلی ریزجانداران در هر میلی‌لیتر	باکتری‌های نوع کلی‌فرم	باکتری‌های سالمونلا	عدد M.P.N. (محتمل‌ترین شمار کلی‌فرم)	ریزجانداران شناسایی شده
T_1	$٤/٢٨ \times ١٠^{٣}$	مدفوعی	+	$٣/٤ \times ١٠^{٥}$	استرپتوکوک گرم مثبت- باسیلوس گرم منفی، پروتوزواهای ژیاردیا، کرم‌های آسکاریس، تنیا و فاسیولا
T_2	$٥/١ \times ١٠^{٣}$	مدفوعی	+	$٢/٢ \times ١٠^{٥}$	استرپتوکوک گرم منفی- پروتوزواهای ژیاردیا، کرم‌های آسکاریس، تنیا و فاسیولا
T_3	$٤/٩ \times ١٠^{٣}$	مدفوعی و غیر مدفوعی	-	$٧/٤ \times ١٠^{٣}$	لاکتوباسیل گرم مثبت و کرم آسکاریس
T_4	$٣/٧ \times ١٠^{٣}$	غیر مدفوعی	-	$٦/١ \times ١٠^{٣}$	استافیلوکوک غیر بیماری‌زا و باسیلوس گرم مثبت
T_5	$٦/٢ \times ١٠^{٢}$	غیر مدفوعی	-	-	باسیلوس‌های گرم متغیر
مدت زنده‌مانی		کمتر از ۲۱ روز مدفوعی ۳۸-۱۵ روز	۲۸۰-۱۵ روز		تخم‌های آسکاریس کمتر از ۶۰ روز، پروتوزواها ۸-۶ روز، ویروس‌ها کمتر از ۱۰۰ روز، ولی معمولاً کمتر از ۲۰ روز

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-06-09]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.1.8]

جدول ۹. ویژگی‌های شیمیایی خاک (۰-۳۰ سانتی‌متر) پیش و پس از پایان آزمایش

معیارهای اندازه‌گیری شده / تیمار		خاک پیش از کاشت	T_5	T_4	T_3	T_2	T_1
pH		۷/۵	۷/۵ a	۷/۵ a	۷/۵ a	۷/۲ a	۷/۲ a
CEC (سانتی‌مول در کیلوگرم)		۱۰/۹	۱۰/۹ a	۱۰/۹ a	۱۰/۹ a	۱۰/۹ a	۱۰/۹ a
EC (دسی‌زیمنس بر متر)		۱/۵	۱/۵ b	۱/٦ b	۱/٦ b	۱/۹ a	۱/۹ a
SAR		۲/۱۸	۲/۱۸ e	۲/٤ a	۳/۱ c	۳/٤ b	۳/۹ a
C (درصد)		۱/۸	۱/۸ a	۱/۸ a	۱/۸ a	۱/۸ a	۱/۹ a
TN (درصد)		۰/۰۵۸	۰/۰۵۸ c	۰/۰۸۳ b	۰/۱۲۷ a	۰/۰۸۳ b	۰/۱۲۷ a
فسفر قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)		۵٤/۲	۵٤/۲ d	۱۲۰ b	۸۰ c	۲۸۰ a	۲۹۰/۲ a
کاتیون‌های محلول (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	Na^+	۵/۱	۵/۱ e	۵/۵٤ d	٦/٦ c	۸/۵۱ b	۸/۹٤ a
	K^+	۰/۱	۰/۱ d	۰/۲۰٤ c	۰/۲ c	۰/۳ b	۰/۵۰۲ a
	Ca^{2+}	٤/٦	٤/٦ c	۵/٤٤ a	۵/٦ a	۵/۱ b	۵/۵۳ a
	Mg^{2+}	۵/۸	۵/۸ a	٤/۹ bc	۳/٦ d	۵/٦ ab	٤/۷ c
آنیون‌های محلول (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	$CO^{=}_3$	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	HCO^{-}_3	۱/۹۲	۱/۹۲ b	۱/۹۲۰ b	۲/۰۸ b	۲/۵ a	۲/۱۱ b
	Cl^-	۲	۲ d	۲/۸ c	۲/۸ c	۳/۲ b	٤ a
	$SO^{=}_4$	۱۱/۵	۱۱/۵ c	۱۱/۳ c	۱۱/۲ c	۱۲/۹ b	۱٤/۸ a
کاتیون‌های تبادلی (سانتی‌مول در کیلوگرم)	Na^+	۰/٤	۰/٤ c	۰/۷ b	۰/۸ b	۱/۱ a	۱/۲۰ a
	K^+	۰/٤	۰/٤ a	۰/٤ a	۰/٤ a	۰/٤ a	۰/۵ a
	Ca^{2+}	٤/٤	٤/٤ c	٤/۸ bc	٦ a	۵/۲ b	۵/۸ a
	Mg^{2+}	۵/۷	۵/۷ a	٤/۹ b	۳/۸ cd	٤/۲ c	۳/٤ d

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

خواهد شد. کاهش منیزیم محلول و تبادلی خاک‌های آبیاری شده با فاضلاب تصفیه شده خانگی، نسبت به خاک‌های آبیاری شده با آب چاه، می‌تواند بر اثر تشکیل کمپلکس‌هایی با یون‌های فلزات سنگین باشد (۲۵، ۳۵ و ٤۳).

نتایج تجزیه خاک‌های نمونه‌برداری شده از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری، با توجه به طول مدت آزمایش، نشان داده که pH خاک به مقدار کم کاهش داشته است، و به لحاظ آماری در مقایسه با شاهد معنی‌دار نیست. پیش‌بینی می‌شود که در دو خاک یکسان، آن که شورتر است، به دلیل اثر غلظت تعادلی نمک، pH کمتری داشته باشد (۵). گزارش‌های مهیدا (۳۵) و صابر (٤۳) درباره اثر آبیاری با فاضلاب نشان دهنده کاهش pH می‌باشد، که با نتیجه این پژوهش هم‌خوانی دارد. ولی کاردوس

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-06-09]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.1.8]

جدول ۱۰. غلظت عناصر کمیاب در خاک (۰-۳۰ سانتی‌متر) پیش و پس از پایان آزمایش

تیمار / عناصر کمیاب	گسترهٔ مجاز در خاک‌ها	خاک پیش از کاشت	T_5	T_4	T_3	T_2	T_1
آهن (میلی‌گرم در کیلوگرم)	–	۷۸/۲	۷۸/۲ ^{c}	۸۰^{c}	۸۰/۸ ^{c}	۱۰۸ ^{b}	۱۲۰^{a}
روی (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۳۰۰	۲/۳	۲/۳ ^{b}	۲/۳ ^{b}	۲/٤ ^{b}	٤/۲ ^{a}	٤/۱^{a}
منگنز (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۱۵۰۰-۳۰۰۰	٦/۷	٦/۷ ^{c}	٦/۷ ^{c}	٦/۷ ^{c}	۷/۱ ^{b}	۷/۸^{a}
مس (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۱۰۰	۱۱/٤	۱۱/٤ ^{c}	۱۱/۵ ^{c}	۱۱/۵ ^{c}	۱۵/۱ ^{b}	۱٦/۳^{a}
سرب (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۱۰۰	۱۰/۹۳	۱۰/۹ ^{c}	۱۱/۰٤ ^{c}	۱۱/۰۵ ^{c}	۱٤/۳ ^{b}	۱۵^{a}
نیکل (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۱	۱۹/۵	۱۹/۵ ^{b}	۲۰ ^{b}	۲۰ ^{b}	۳۲/۸ ^{a}	۳٤/٤^{a}
کادمیوم (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۳	۰/۲	۰/۲ ^{b}	۰/۲ ^{b}	۰/۲۰ ^{b}	۰/۲۲ ^{a}	۰/۳^{a}
بُر (میلی‌گرم در کیلوگرم)	–	۱/۲	۱/۲ ^{b}	۱/۲ ^{b}	۱/۲^{b}	۱/۲۲ ^{ab}	۱/۲۷^{a}

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

جدول ۱۱. کیفیت میکروبیولوژی خاک در عمق ۰-۵ سانتی‌متر پس از برداشت کاهو

معیارهای میکروبی / تیمار	شمار کلی ریزجانداران در هر گرم	باکتری‌های نوع کلی‌فرم	باکتری‌های سالمونلا	ریزجانداران شناسایی شده
T_1	۷/٦۵ ×۱۰^{٤}	مدفوعی و غیر مدفوعی	+	باسیلوس کلوستریدیوم، استافیلوکوک و کرم آسکاریس
T_2	۲/۸۵ ×۱۰^{٤}	مدفوعی و غیر مدفوعی	+	باسیلوس، استافیلوکوک، میکروک و کرم آسکاریس
T_3	۱/۳ ×۱۰^{٤}	مدفوعی	–	باکتری‌های باسیلوس و کلوستریدیوم دارای هاگ
T_4	٤/۹ ×۱۰^{٤}	مدفوعی	–	باکتری‌های میکروک، باسیلوس و مخمر
T_5	۳/۱ ×۱۰^{۲}	مدفوعی	–	باسیلوس، کلوستریدیوم، اکتینومایست
مدت زنده‌مانی		مدفوعی ۵۵-۸ روز غیر مدفوعی ۷۷-٤ روز		تخم‌های آسکاریس بیش از ۷ سال ویروس‌ها، از نوع پلی‌ویروس کمتر از ۱۱ روز

و هوک (۳۱) گزارش کردند که آبیاری با پساب، افزایش pH لایه ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک را به دنبال داشته است. نامبردگان بیان کردند که اگرچه تجزیه و اکسایس مواد آلی و معدنی پساب سبب پیدایش یون هیدرونیوم در خاک می‌شود، ولی خاک و پساب هر دو تامپونی قوی هستند و می‌توانند در برابر تغییرات pH پایداری کنند (٤ و ۳۵). با توجه به این که برداشت

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-06-09]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.1.8]

گیاه و نیتراتی شدن نیتروژن، و نیز آب‌شویی نیتروژن نیتراتی در کاهش نیتروژن خاک مؤثر است، هم‌چنین در خاک‌ها عمل تثبیت و در پی آن جذب و نگهداری نیتروژن آمونیاکی به وسیله کانی‌های رسی خاک و تجمع نیترات و نیتریت به همراه نمک‌های محلول دیگر در لایه‌های بالایی خاک در افزایش نیتروژن کل خاک مؤثر است، ولی آبیاری با پسابی که دارای ٤٤/٦ میلی‌گرم در لیتر نیتروژن کل بوده، توانسته است از دست رفتن نیتروژن خاک را به خوبی جبران کند. زیاد بودن نیتروژن خاک‌های آبیاری شده با پساب یکی از آثار سودمند آبیاری با پساب است. مهیدا (۳۵) گزارش کرده است که خاک‌های آبیاری شده با فاضلاب، در سنجش با خاک‌های آبیاری شده با آب کانال، نیتروژن کل بیشتری دارند. صابر (٤۳) نشان داد که آبیاری با فاضلاب باعث افزایش نیتروژن کل خاک می‌گردد.

پساب مورد استفاده در آزمایش توانسته است فسفر قابل جذب خاک‌های آبیاری شده را افزایش دهد. با توجه به این که توان تحرک و پخش فسفر در خاک کم است، در استفاده دراز مدت از پساب برای آبیاری اراضی، موضوع انباشته شدن فسفر باید در نظر گرفته شود (٤). صابر (٤۳) گزارش داده که فسفر کل لایه ۰-۲۰ سانتی‌متری یک خاک شنی با افزایش سال‌های آبیاری افزایش یافته است. هم‌چنین، نتایج پژوهش‌های مهیدا (۳۵) نشان می‌دهد که فسفر محلول خاک‌های آبیاری شده با فاضلاب بیشتر از خاک‌های آبیاری شده با آب کانال بوده است. نتایج این پژوهش با نتایج مهیدا هم‌خوانی دارد، و فسفر قابل جذب خاک‌های آبیاری شده با پساب تا عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری بیشتر از خاک‌های آبیاری شده با آب چاه است. انتظار می‌رود استفاده از آب آبیاری با ۱۳/۷ میلی‌گرم در لیتر فسفر کل چنین اثری داشته باشد.

نتایج آزمایش نشان داد که پتاسیم محلول خاک‌های آبیاری شده با پساب، در سنجش با خاک‌های آبیاری شده با آب چاه، افزایش یافته است. از آن جا که پتاسیم توان یونی دارد (۵)، می‌تواند به آسانی همراه با آنیون‌های محلول در خاک‌های شنی جا به جا شود. ولی در خاک‌های رسی توان جا به جایی آن کم است و در لایه تجمع نمک‌های محلول در کانی‌های رسی خاک تثبیت می‌شود. لازم به گفتن است که در این پژوهش پتاسیم محلول در خاک‌های آبیاری شده با پساب که شوری بیشتری داشته‌اند، درسنجش با خاک‌های آبیاری شده با آب چاه که شوری کمتری دارند، بیشتر است. در بررسی گزارش‌های منتشر شده تاکنون به نمونه‌ای که نشان دهد آبیاری با پساب اثری بر پتاسیم خاک داشته باشد برخورد نشده است.

عناصر سنگین خاک‌های آبیاری شده با پساب در مقایسه با خاک‌های آبیاری شده با آب چاه افزایش یافت، ولی این افزایش در دامنه بسندگی این عناصر در خاک‌ها بود (جدول ۱۰). در استفاده دراز مدت از پساب باید به موضوع انباشتگی این عناصر در لایه‌های خاک توجه شود. هم‌چنین، به دلیل کوتاهی مدت پژوهش و کم بودن مواد آلی فاضلاب خانگی تصفیه شده، درصد کربن خاک افزایش نیافت، و CEC خاک نیز تغییر نکرد.

شمار کلی ریزجانداران ناشی از کاربرد آب‌های آبیاری در کلیه تیمارها افزایش داشت (جدول ۱۱). حداکثر جمعیت ریزجانداران برای خاک‌های نمونه‌برداری شده به ترتیب در تیمارهای T1 و T2 دیده شد. حضور باکتری‌های کلی‌فرم مدفوعی و غیر مدفوعی در تیمارهای T1 و T2 و باکتری‌های کلی‌فرم مدفوعی در تیمارهای T3 و T4 مشاهده شد. تفاوت‌های ایجاد شده در ویژگی‌های دیگر گیاهی و خاک چشم‌گیر نیست، هرچند ضروری است که به نتایج حاصله در سال‌های بعد نیز توجه گردد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده از آزمایش، کارآیی بیشتر تیمار فاضلاب تصفیه شده، در مقایسه با تیمار کودهای شیمیایی، از نظر جذب عناصر، و نیز صرفه‌جویی در هزینه‌ها کاملاً آشکار است. کاربرد فاضلاب تصفیه شده خانگی، دست کم در یک دوره کوتاه مدت، تأثیر نامطلوبی بر ویژگی‌های خاک و گیاه نداشته است.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-06-09]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.1.8]

منابع مورد استفاده

۱. دانش، ش. ، غ. حق‌نیا و ا. علیزاده. ۱۳۷۰. اثر فاضلاب‌های تصفیه شده خانگی بر عملکرد و کیفیت محصول چغندر قند و چغندر علوفه‌ای. گزارش نهایی معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد.

۲. سالاردینی، ع. و م. مجتهدی (مترجمان). ۱۳۷۲. *اصول تغذیه گیاه*. جلد دوم. تألیف منگل و کرکبی، مرکز نشر دانشگاهی.

۳. شرکت مهندسی مشاور طوس آب. ۱۳۷۰. گزارش طرح تأمین دراز مدت آب. مشهد.

٤. کریمیان، ن. ع. (مترجم). ۱۳۷۱. *شیمی خاک*. تألیف بروکنورت و همکاران، مرکز نشر دانشگاهی.

۵. مجللی، ح. (مترجم). ۱۳٦٦. *شیمی خاک*. تألیف بوهن و همکاران، مرکز نشر دانشگاهی.

٦. معاونت تحقیقاتی سازمان حفاظت محیط زیست. ۱۳۷۳. *استاندارد خروجی فاضلاب‌ها*. انتشارات دفتر آموزش زیست‌محیطی.

۷. ملکوتی، م. ج. ۱۳۷۳. حاصل‌خیزی خاک‌های مناطق خشک. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس.

۸. منزوی، م. ت. ۱۳٦٦. *فاضلاب شهری*. جلد دوم: *تصفیه فاضلاب*. انتشارات دانشگاه تهران.

9. Adriano, D. C. 1988. Trace Elements in the Terrestrial Environment. Springer Verlag, New York.

10. Amberger, A. G. 1973. The role of manganese in the matabolism of plant. Agrochimica 17: 69-83.

11. Angelakis, A. N. and S. Spyridakis. 1996. The Status of Water Resources in Minoan Times: A Prèliminay Study, Diachronic Climatic Impacts on Water Resources in Mediterranean Region. Springer-Verlag, Heidelberg, Germany.

12. APHA. 1980. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 1st ed. APHA, Washington, D. C.

13. Asano, T. and A. D. Levine. 1996. Wastewater reclamation, recycling and reuse: Past, present and future. J. Water Sci. Tech. 33 (10-11): 1-14.

14. Asano, T. and S. Pettygrove. 1987. Using reclaimed municipal wastewater for irrigation. Calif. Agric. 41(3 and 4): 15-18.

15. Bahri, A. 1988. Present and future state of treated wastewater and sewage sludge in Tunisia. Presented at Regional Seminar on Wastewater Reclamation and Reuse, Cairo, Egypt.

16. Berg, G. and T. G. Metcalf. 1978. Indicator of viruses in water. P. 286. *In:* G. Berg (Ed.), Indicator of Viruses in Water and Food. Ann Arbor Sci. Publishers Inc. , Ann Arbor, Michigan.

17. Boll, R., H. Dernbach and R. Kayser. 1986. Aspects of land disposal of wastewater as experienced in Germany. Water Sci. Tech. (18): 383-390.

18. Bouwer, H. and R. L. Chaney. 1974. Land treatment of wastewater. Adv. Agron. 26: 133-176.

19. Burau, R. B. , R. Sheikh, R. Cort, R. Cooper and D. Ririe. 1987. Reclaimed water for irrigation of vegetables eaten raw. Calif. Agric. 41(7-8): 4-7.

20. Chaney, R. L. 1982. Fate of toxic substances in sludge applied to cropland. Proc. Int. Symp. Land. Appl. Sludge, Tokyo, Japan.

21. Chang, A. C., J. E. Warneke, A. L. Page and L. J. Lund. 1984. Accumulation of heavy metal in sewage sludge treated soils. J. Environ. Qual. 13: 87-90.

22. Chapman, H. D. and P. F. Pratt. 1961. Methods of Analysis for Soils, Plant and Water. Univ. of California, Division of Agric. Science.

23. Clapp, C. E., A. J. Palazzo, W. E. Larson, G. C. Marten and D. R. Lindem. 1987. Uptake of nutrients by plants irrigated with municipal wastewater effluent. PP. 395-404. *In:* State of Knowledge in Land Treatment of Wastewater. Army Corps of Engineers, Hanover, N. H.

24. Crips, E. G. 1956. Boron nutrition of the hop. J. Hort. Sci. 31: 25-34.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-06-09]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.1.8]

25. Elliott, L. F. and F. J. Stevenson. 1986. Soils for Management of Organic Wastes and Wastewater. 2nd. Print., Soil Sci. Soc. Am. INC. Publisher, Madison, WIS.
26. FAO. 1992. Wastewater treatment and use in agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper., No. 42.
27. Ganje, T. J. and A. L. Page. 1974. Rapid acid dissolution of plant tissue for cadmium determination by atomic absorption spectrophotometry. Atomic Absorption Newsletter 13: 131-134.
28. Istvan, P. J. and J. Benton Jr. 1997. The Handbook of Trace Elements. St. Luis Press, Boca Raton, Florida.
29. Jarvis, S. C. , L. H. P. Jones and M. J. Hopper. 1976. Cadmium uptake from solution by plants and its transport from roots to shoots. Plant Soil 44: 179-191.
30. Jenkins, C. R., I. Papadopoulos and Y. Stylianou. 1994. Pathogens and wastewater use for irrigation in Cyprus. *In:* Procedding of Int. Conf. on Land and Water, Valenzano, Bari, Italy, 4-8 Sept. 1994.
31. Kardos, L. T. and J. E. Hook. 1976. Phosphorus balance in sewage effluent treated soils. J. Environ. Qual. 5: 87-90.
32. Keller, P. and H. Deuel. 1958. Cation exchange equilibrium with dead plant roots. Trans. Comm. II and IV, Int. Soc. Soil. Sci. 2: 164-168, Hamburg 1958, Verlag Chemie, Weinheim/Bergstr.
33. Khurshe, A. 1987. Indicators, Pathogens, and Parasite Removal by Waste Stabilization Ponds System. In press, Dhahran, Saudi Arabia.
34. Loneragan, J. F. 1975. The availability and absorption of trace elements in soil-plant systems and their relation to movement and concentrations of trace element in plants. PP. 109-134. *In:* D. J. D. Nicholas and A. R. Egan (Eds.), Trace Elements in Soil-Plant-Animal Systems. Academic Press, London, UK.
35. Mahida, U. N. 1981. Water Pollution and Disposal of Wastewater on Land. Tata McGrow Hill Publ. Co. Ltd., New Delhi.
36. Mara, D. and C. Cross. 1989. Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture measure for public halth protection. WHO, Geneva.
37. Monte, H. M. and M. S. Esousa. 1992. Effects on crops of irrigation with effluent water. Sci. Tech. 26(7-8): 1603-1613.
38. Nonnec, I. L. 1992. Vegetable Production. Van. Nostrand-Reinbold, New York, NY.
39. Page, A. L., R. H. Miller and D. R. Keeney. 1982. Methods of Soil Analysis. Part2: Chemical and Microbiological Properties. 2nd. Ed., Soil Soc. Am. Inc. Publisher.
40. Papadopoulos, I. And Y. Stylianon. 1991. Trickle irrigation of sunflower with municiple wastewater. Agric. Water Manage. 19: 67-75.
41. Petruzzelli, G. 1989. Recycling wastes in agriculture, heavy metal bioavailability. Agric. Ecosyst. Environ. 27: 493-503.
42. Pettygrove, G. S. and T. Asano. 1984. Irrigation with reclaimed municipal wastewater. A guidance manual. Report No.,84-1 Wr, California State Water Resources Control Board.
43. Saber, M. S. M. 1986. Prolonged effect of land disposal of human wastes on soil conditions. Water Sci. Tech. 18: 371-374.
44. Shend, G. B. 1988. Agronomical aspects of wastewater irrigation. *In*: K. A. Biswas and A. Arar (Eds.), Treatment and Reuse of Wastewater. Butterworths, London.
45. Shuval, H. I., A. Adin, B. Fattal, E. Rawitz and P. Yekutiel. 1986. Wastewater Irrigation in Developing Countries. The World Bank Washington. D.C.
46. Sommers, L. E. and P. M. Giordano. 1984. Use of Nitrogen from Agricultural, Industrial, and Municipal Wastes. American Society of Agronomy, Mad., Wis.
47. Stevenson, F. J. 1982. Nitrogen in Agricultural Soils. American Society of Agronomy. Mad., Wis.
48. Stuckenholtz, D. D., R. J. Olsen, G. Gosan and R. A. Olsen. 1966. On the mechanism of phosphorus- zinc interaction in corn nutrition. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 30: 759-763.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-06-09]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.1.8]

49. Tisdale, S. L., W. L. Nelson., J. D. Beaton and J. L. Havlin. 1993. Soil Fertility and Fertilizers. 5th. Ed., McMillan, N. Y.

50. U. S. Enviorn. Protec. Agency. 1973. Water Quality Criteria. Ecological Research Series, EPA R3-73-033, U. S. Environ. Protec. Agency, Washington, D. C.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-06-09]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.1.8]