

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

علی عرفانی<sup>۱</sup>، غلامحسین حق‌نیا<sup>۲</sup> و امین علیزاده<sup>۳</sup>

### چکیده

به منظور آگاهی از تأثیر کاربرد فاضلاب‌های تصوفیه شده خانگی بر عملکرد و کیفیت کاهو (*Lactuca sativa*) و ویژگی‌های خاک، آزمایشی در یک خاک با بافت لوم رسی، که بر پایه 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 تصوفیه شده خانگی)، T2 (آبیاری با فاضلاب تصوفیه 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 محلود دیت 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 پر مصرف 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 (۳۰-۰ سانتی‌متر) نشان داد که با کاربرد فاضلاب، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشبع، نیتروژن کل، فسفر قابل جذب، پر 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. مریم آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرورد
۲. استاد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳. استاد آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

## مقدمه

اساس این ضوابط، پژوهش‌هایی در کالیفرنیا و آریزونا برای آبیاری به اجرا در آمد (۱۲). 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 گستردگری 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 ناهمانگی‌هایی در اندازه‌گیری این پژوهشگران در شرایط کشتزار و با استفاده از نموهای 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

با توجه به کمبود آب در مناطق خشک و نیمه خشک مانند ایران، در اجرای تدبیری 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 پایه 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 بازیلو 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 حاصل خیز نمودن خاک مورد استفاده قرار می‌گرفته است (۱۱ و ۴۵). آثار سیستم جمع آوری 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

در کشور آلمان، ملاحظه کردند که پس از ۱۶ و ۲۵ سال، از میان فلزات سنگین، تنها عنصر نیکل، کادمیوم و روی به مرز زیان آور 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 انباسته شوند.

مهیدا (۴۵) 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، باقلاء، برنج، سیب‌زمینی و پنبه عملکرد بیشتری را نشان داده است. مونت و اسوزا (۴۷) 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 کردند 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 روش 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 روبرو هستند، استفاده کرد. شهر مشهد نیز جزو مناطق نیمه‌خشک و کم آب 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

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. کلاب 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 می‌باشد 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 زمینه جذب عناصر سنگین در چغندر قند و چغندر علوفه‌ای نداشته است. بول و همکاران (۱۷)، در خاک‌های آبیاری شده با پساب

کاشت، بر اساس کرت های مشخص شده تیمار T<sub>4</sub> 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 دست پاش، در کرت هایی به ابعاد ۴×۱۷ متر مربع و با فاصله ردیف ۶۰ سانتی متر صورت گرفت. آب مورد نیاز گیاه از چاه عمیق پر دیس 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 (جویجه ای) و مطابق عرف منطقه انجام شد.

پساب مورد استفاده، در همان روز آبیاری از تصفیه خانه شهرک لشگر، واقع در اراضی قاسم آباد (ده کیلومتری مشهد) به وسیله تانکر به محل آزمایش حمل، و در دو مخزن موقتی ذخیره، و به مقدار محاسبه شده به کرت ها اضافه گردید. در تصفیه خانه مذکور فاضلاب های خانگی به کمک روش های تصفیه مقدماتی و ثانویه تصفیه می شوند. این مجتمع دارای شبکه های آشغال گیر، خردکن، حوضچه های هواده، حوضچه های تهشینی، واحد کلرزنی و بستر های خشکاننده لجن می باشد. پس ای 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 په عنوان اثر حاشیه حذف، و در سه نوبت از دو ردیف میانی برداشت انجام شد.

در آزمایشگاه، نخست نمونه های تربا دقیت ۰/۰۱ گرم توزین، و پس از آن در دمای ۷۵ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت در آون خشک گردید، و درصد ماده خشک محاسبه شد. همچنین، نمونه هایی از کاهو در اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال و آب مقطر شسته و پس از خشک کردن با آسیاب واپسی پودر

از طریق رودخانه آثار بهداشتی و زیست محیطی به وجود خواهد آورد. بنابراین، در صورتی که از این پساب در آبیاری اراضی کشاورزی استفاده شود، سبب صرفه جویی در مصرف کود شمیابی خواهد شد. با کاربرد پساب بر پایه مدیریت صحیح، تطبیق ویژگی های فیزیکی، شیمیابی و میکروبی آن با استانداردهای ارائه شده بین المللی، 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، می توان از ارزش های 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 ویژگی های گوناگون اند و این گوناگونی کار رده بندی آب ها و پساب ها را دشوار نموده است.

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

## مواد و روش ها

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 می باشد. خاک محل مورد آزمایش از نوع لوم- رسی است، که بر اساس سیستم رده بندی Calcixerollic Fine loamy mixed mesic Xerochrepts نام دارد. ساختمن خاک مناسب، و قادر لایه های محدود کننده و غیر قابل نفوذ بود.

پس از تستیح و آماده سازی زمین مورد نظر و پیش از کاشت، مقدار ۲۵ تن در هکتار کود دامی (گاوی) پوسیده بر اساس کرت های مشخص شده تیمار T<sub>3</sub> مصرف گردید. مقدار ۱۰۰ تا ۱۱۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به صورت اوره، در دو قسمت مساوی به صورت پیش کشتم و شش هفته پس از

دومین استخر تهشیینی فاضلاب را ۱/۲۷ / ۲/۵ گزارش کرده است. تجزیه پساب نشان داد که نیتروژن و پتاسیم پساب تصفیه‌خانه شهرک لشگر بیشتر از آن است که به وسیله الیوت گزارش شده است. این داده‌ها نشان می‌دهد که ترکیب دومین استخر تهشیینی فاضلاب چندان هم ثابت و یکنواخت نیست. در پساب آزمایش شده ۲۸ درصد از نیتروژن به فرم نیتراتی و ۲/۷ تنها نزدیک به ۱۱ درصد از نیتروژن به فرم آمونیومی و 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 تهشیینی فاضلاب در آمریکا اندازه‌گیری و گزارش شده است. کمی کاربرد سرانه 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 ۰/۰۵۳ 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 ۰/۰۲ تا ۰/۰۲ جای می‌گیرد (۴۲ و ۴۵). 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 تصفیه‌خانه شهرک لشگر، در مقایسه با شوری و عناصر محلول دومین استخر تهشیینی فاضلاب شهرهای آمریکا، که به وسیله پژوهشگران (۲۵) گزارش شده است، نشان می‌دهد که این ویژگی‌های پساب در تصفیه‌خانه 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

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 تک‌پاخته کرپتوسپوریدیوم به روش کنسانتره زل نلسون اصلاح شده، 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 آلوودگی‌های 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 ۱/۰/۱۵ / ۹/۹ است (۴۶)، و مقدار آنها از نیتروژن به پتاسیم و فسفر کاهش می‌یابد. الیوت (۲۵) نسبت N/P/K در



### عملکرد کاهو

نتایج نشان می‌دهد که عملکرد کاهو در کلیه تیمارها در مقایسه با شاهد افزایش داشته است (جدول ۴). به طوری که میانگین عملکرد ماده تر و خشک کاهو در تیمارهای T1 و T3، به ترتیب برابر  $82/4$  و  $81/4$  درصد برای وزن تر و  $82/2$  و  $81/3$  درصد برای وزن خشک به دست آمد. میانگین این اعداد برای تیمارهای T4 و T2 به ترتیب برابر  $60/9$  و  $41/7$  درصد برای وزن تر و  $60/8$  و  $41/8$  برای وزن خشک است. عملکرد کل (اندام هوایی + ریشه) در کلیه تیمارها نسبت به تیمار شاهد افزایش داشته است. به طوری که میانگین حداقل افزایش عملکرد ماده تر کل گیاه کاهو در تیمارهای T1 و T3 در مقایسه با تیمار شاهد، به ترتیب برابر  $83/1$  و  $83/7$  درصد بوده است، و در تیمارهای T4 و T2 این افزایش به ترتیب  $60/9$  و  $40/9$  درصد بود. میانگین حداقل افزایش عملکرد کل ماده خشک گیاه کاهو در تیمارهای T3 و T1 به ترتیب برابر  $91$  و  $81/5$  درصد، و میانگین حداقل افزایش عملکرد کل ماده خشک در تیمارهای T4 و T2 به ترتیب برابر  $60/2$  و  $36/6$  درصد است.

بر پایه 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 معنی دار نشد. پژوهش‌ها (۴۲) نشان داده است که مقادیر زیاد نیتروژن نیتراتی موجود در فاضلاب تصفیه شده خانگی سبب افزایش عملکرد گیاهان می‌شود. نتایج پژوهش‌های پایادوپلوس و استیلیانون (۴۰)، و شند (۴۴) کارایی بهتر فاضلاب تصفیه شده را نسبت به کود شیمیایی در باره 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

مشهد، و نامهمندی کیفیت آب آشامیدنی این کشورها می‌تواند دلیلی بر این تفاوت‌ها باشد. افزون بر آن، تصفیه خانه شهرک لشگر قدیمی بوده و جوابگوی جمعیت کوئنی 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  $0/5$  میلی‌گرم در لیتر بود، و میانگین عناصر دیگر کمتر از  $0/15$  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 تجزیه شیمیایی عناصر سنگین پساب با استاندارد سال ۱۳۷۳ سازمان محیط زیست ایران هم خوانی دارد. میانگین بُر در پساب تصفیه خانه 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. پروتزوواهای کریپتوسپوریدیوم (Cryptosporidium) و ژیاردیت (Oocyste) (Giardiasis) فاقد میزان 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 میزان واسطه بوده و مدتی زمان می‌برد تا عفونت‌زا شود. در مورد کرم تینا، خود انسان می‌تواند به عنوان میزان واسطه عمل کند. ولی کرم شلاقی فاقد میزان واسطه بوده، و برای ایجاد بیماری لازم است تا لارو آن در محیط بیرون به وجود آید. در مورد کرم پهنه که عامل ایجاد کیست هیدراتیت است، انسان میزان واسطه می‌باشد، ولی گاهی حیوانات نیز به عنوان میزان واسطه عمل می‌کنند. کرم سنجاقی شکل اکسیور میزان واسطه ندارد و بلا فاصله عفونت‌زا می‌باشد.

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

مرز استاندارد آلوده کننده در پساب برای <sup>۴</sup>	مرز استاندارد آلوده تخلیه به مصارف کشاورزی و آب‌های سطحی	گستره مجاز آب آبیاری <sup>۳</sup>	پساب				آب چاه		معیارهای اندازه‌گیری شده
			برای استفاده تا سال در خاک‌های ریزیافت pH ۶-۸/۵	برای استفاده در خاک‌ها کلیه خاک‌ها	مرز استاندارد <sup>۲</sup>	پساب مورد آزمایش	مرز استاندارد <sup>۱</sup>	آب مورد آزمایش	
۷/۵-۸/۵	۶-۸/۵	-	-	۷/۶	۷/۷۴	۷/۶	۸/۳۰	PH	هدایت الکتریکی (ds / m)
-	-	-	-	۲/۹۷	۰/۵۳	۲/۶۱	۰/۲۱		سدیم
-	-	-	-	-	۰/۹/۸	۸/۹۹/۳	۰/۰/۷		پتاسیم
-	-	-	-	-	۱۱/۶	-	۸/۴		کلسیم
۳/۷۵	-	-	-	-	۱۴/۲	۲۰۰	۱۲		منزیم
۸/۲	۸/۲	-	-	-	۵/۴	۲۹/۰	۲/۶۴		کربنات
-	-	-	-	-	۱/۰	۱/۰	۰/۳		بی‌کربنات
-	-	-	-	-	۳۶/۶	۶۰۰	۳۰/۵		
۱۷/۹	۶	-	-	-	۳/۵۰	<۱۴۲	۳۱/۰۵		کلر
۴/۱۷	۵/۲۱	-	-	-	۶۷/۲	۰/۰/۱	۶۷/۲		سولفات
-	-	-	-	۲/۰-۴۳	۴۴/۶	-	-		نیتروژن کل
۵۰	-	-	-	-	۱۲/۰	-	-		نیتروژن نیتراتی
۱۰	-	-	-	-	۰/۰/۰	-	-		نیتروژن نیتریتی
-	-	-	-	-	۱/۲	-	-		نیتروژن آمونیاکی
-	-	-	-	-	۱۳/۷	-	-		فسفر کل
۶	-	-	-	۴/۱	۴/۴۷	-	-		فسفر فسفاتی
۲	۱	۲	۰/۷۵	-	۰/۱۰/۷	-	۰/۴۳۷		بر
۰/۱	۰/۰/۵	۰/۰/۰	۰/۰/۱	-	۰/۰/۱۶	-	۰/۰/۱۲		کادمیوم
۲	۲	۲۰	۰/۱	۰/۰/۲	-	-	-		کروم
۱	۰/۲	۵	۰/۲	۰/۰/۳	۰/۰/۷۶	۰/۰/۲	۰/۰/۷۹		مس
۱	۱	۱۰	۰/۲	-	۰/۱۲۷	-	۰/۰/۸۶		منگنز
۰/۰/۱	۰/۰/۱	۰/۰/۰	۰/۰/۱	-	-	-	-		مولیبدن
۱	۱	۲۰	۰	۰/۱۹	۰/۰/۸۸	۰/۱۶	۰		سرب
۱	۰/۰/۰	۵	۰/۰/۰	۰/۰/۰	۰/۰/۰۴	۰/۰/۰۴	-		کبالت
۲	۲	۱۰	۲	-	۰/۱۲۹	-	۰/۱۷۶		روی
۳	۳	۲۰	۰	۰/۱۳۳	۰/۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۳۷۲		آهن
۲	۲	۲	۰/۲	۰/۰/۶	۰/۰/۵۶	۰/۰/۰	۰/۶۲۵		نیکل
۳۰	۱۰۰	-	-	-	۱۱۷	-	-		BOD
۶۰	۲۰۰	-	-	-	۱۶۴	-	-		COD

۱. برگرفته از بحری (۱۰)

۲. برگرفته از FAO (۲۶)

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

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

جدول ۳. کیفیت میکروبیولوژی و انگلی آب‌های آبیاری

معیارهای اندازه‌گیری شده	آب چاه	فاضلاب تصفیه شده خانگی	دامنه مجاز آب آبیاری <sup>۱</sup>
شمار کلی ریز جانداران در میلی لیتر	$6/2 \times 10^1$	$1/176 \times 10^4$	$1-100 \times 10^1$
شمار کلی فرم‌ها در میلی لیتر	-	$1/65 \times 10^3$	-
عدد M. P. N. (شمار کلی فرم‌ها در ۱۰۰ میلی لیتر)	$8 \times 10^3$	$1/13 \times 10^6$	$1/5 \times 10^7$
کلی فرم‌ها باکتری‌های سالمونلا	حضور ندارند	غیر مدفعوعی	مدفعوعی ۱۰٪ و غیر مدفعوعی ۹۰٪ ۱۰۰ کلی فرم مدفعوعی در هر ۱۰۰ میلی لیتر
ریز جانداران دیگر	لاکتوباسیل، استرپتوكوک، باکتری‌های باسیلی شکل گرم منفی مشکوک به پروتوبوس مولد هاگ از جنس باسیلوس، باکتری‌های کوکسی شکل گرم مثبت از جنس میکروکوک	لاکتوباسیل‌های گرم مثبت	-
کیفیت آب بر اساس جدول M. P. N.	آلوده	بسیار آلوده	پروتوبوزها
کریپتوسپوریدیوم	-	حضور دارد	-
ژیارديا	-	حضور دارد	-
کرم‌ها	-	"	-
آسکاریس	-	"	-
کرم برگی شکل (ترماتود)	-	"	-
فاسیولا	-	"	-
تنیا	-	"	-
کرم سنjacaci	-	"	-
کرم پهن	-	"	-

۱. برگرفته از خورش (۲۳) و WHO (۳۶)

جدول ۴. اثر تیمارهای آبیاری بر عملکرد اندام هوایی (برگ) کاهو

تیمار	وزن برگ کاهو (کیلوگرم در هکتار)				
	وزن خشک	وزن تر	وزن خشک	وزن تر	برتری نسبت به تیمار شاهد (درصد)
T <sub>1</sub>	۸۲	۸۲	۵۱۱ <sup>a</sup>	۸۵۱۶ <sup>a</sup>	
T <sub>2</sub>	۴۲	۴۲	۳۹۷۶ <sup>ab</sup>	۶۶۱۸ <sup>ab</sup>	
T <sub>3</sub>	۸۱	۸۱	۵۰۸۳ <sup>a</sup>	۸۶۶۰ <sup>a</sup>	
T <sub>4</sub>	۶۱	۶۱	۴۵۰۸ <sup>a</sup>	۷۵۱۲ <sup>a</sup>	
T <sub>5</sub>	-	-	۲۸۰۴ <sup>b</sup>	۴۶۶۹ <sup>b</sup>	

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ قادر تقاضوت معنی دار می‌باشد.

معادل ۲۰۲ درصد نیتروژن، ۳۹ درصد فسفر و ۶۲ درصد پتاسیم موجود در فاضلاب معرفی می‌گردد، و چنانچه توسط ۵ سانتی متر فاضلاب در هفته آبیاری گردد، ذرت سیلولویی 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، ییانگر 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.

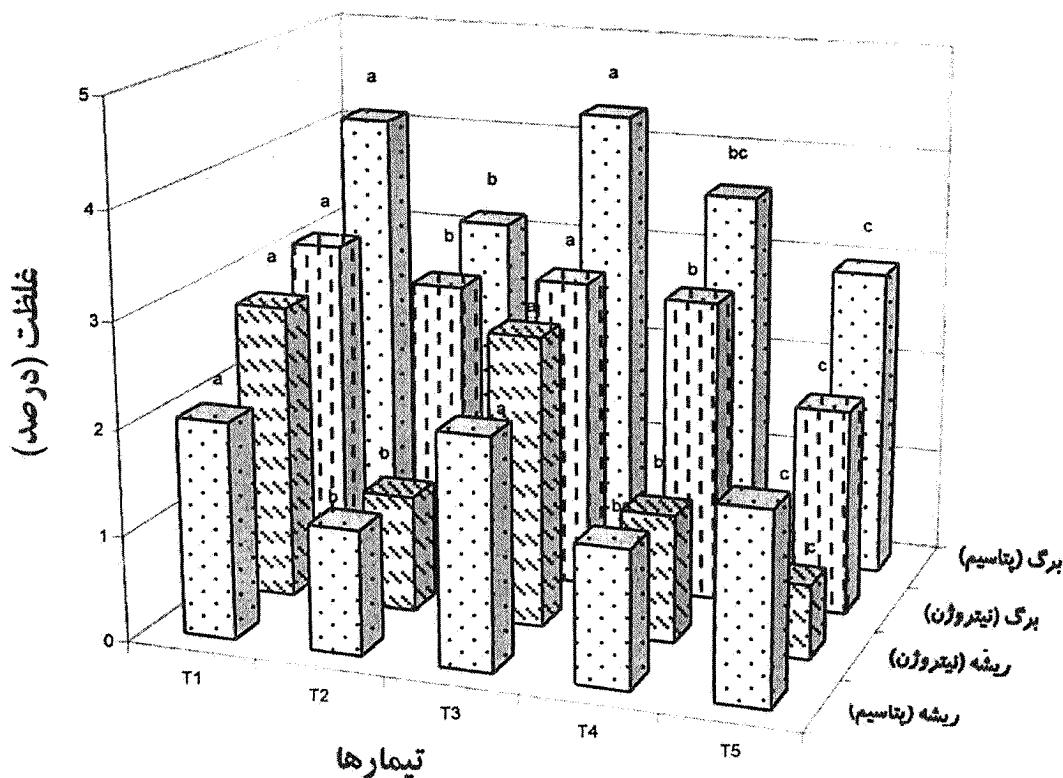
حداکثر مقدار کلسیم در برگ و ریشه کاهو به ترتیب در تیمارهای T1 و T3، و حداقل آن در تیمارهای T4 و T2 دیده شد. بیشترین مقدار منیزیم در برگ و ریشه کاهو به ترتیب در تیمارهای T1 و T4، و کمترین مقدار آن در تیمارهای T3 و T2 مشاهده شد (جدول ۵). اختلاف میان مقادیر کلسیم و منیزیم اندام هوایی و ریشه کاهو کم است، 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 سانتی متر در هفته از پساب در کشت یونجه و ذرت سیلولویی، 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 آرمايش 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 (۹ و ۲۴). کریپس (۲۴)

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.

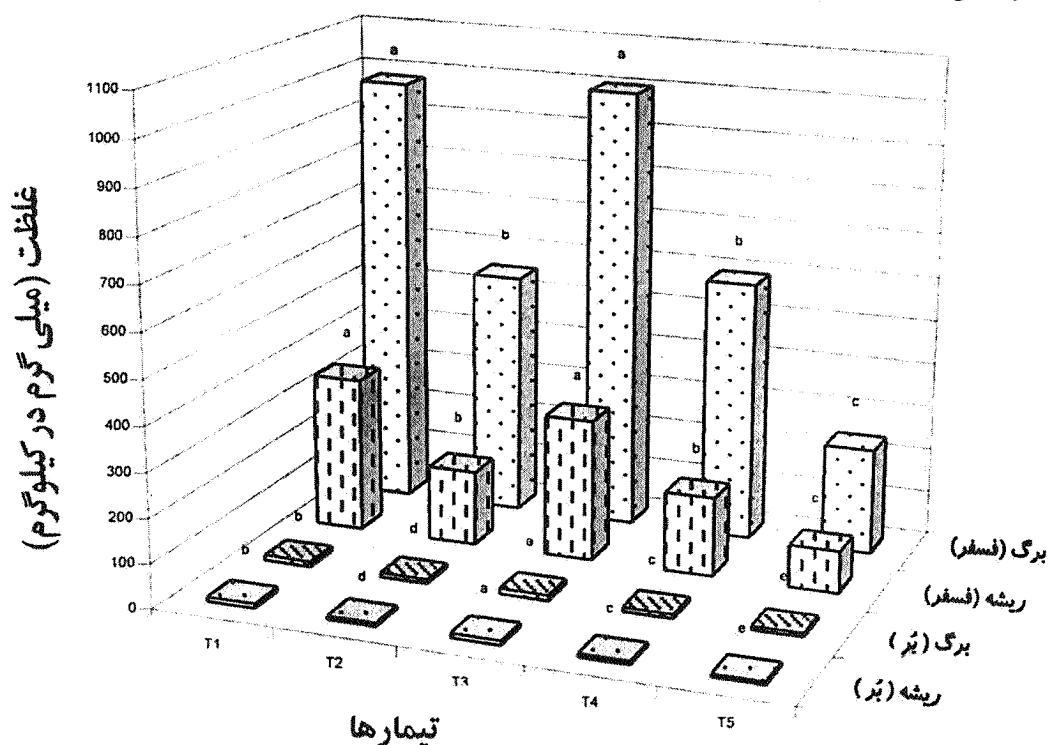
### تجزیه گیاهی

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 دامنه کوچکی می‌تواند باشد (۹). کاردوس و هوک (۳۱) گزارش کردند که آبیاری ۲/۵ سانتی متر در هفته از دومین سریز استخراج‌نشینی فاضلاب نمی‌تواند نیتروژن جذب شده به وسیله گیاهان را جبران کند. در یک دوره ۷-۵ ساله، برداشت سالیانه نیتروژن خاک، با برداشت ذرت دانه‌ای ۱۰۲ تا ۱۷۴ درصد و ذرت علوفه‌ای ۱۱۵ تا ۲۸۶ درصد، برای میزان ورودی با پساب بوده است. در کشت یونجه و ذرت سیلولویی، برداشت پتاسیم از خاک بیش از آن چیزی بوده که با آبیاری ۲/۵ سانتی متر در هفته از پساب به خاک افزوده شده است. با آبیاری ۵ سانتی متر در هفته، برداشت پتاسیم خاک در کشت یونجه، دو سال از چهار سال کشت، و در کشت ذرت سیلولویی در همه سال‌های کشت جبران شده است. اگر ذرت سیلولویی در هر هفته به وسیله ۲/۵ سانتی متر فاضلاب آبیاری شود، مقدار عناصر به دست آمده از محصول برداشت شده



شکل ۱. اثر تیمارهای آبیاری بر غلظت نیتروزن و پنتامیم در برگ و ریشه کامو 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 کامو ستون‌هایی که با یک حرف مشترک مشخص شده‌اند طبق آزمون دانکن در سطح پنج درصد معنی‌دار نمی‌باشند.

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

سدیم	منیزیم		کلسیم		عنصر غذایی		تیمار
	ریشه	برگ	ریشه	برگ	ریشه	برگ	
۲/۲	۱/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۷	۰/۹۸	۱/۰		T <sub>1</sub>
۱/۹	۱/۴۱	۰/۳۹	۰/۴۶	۰/۸۲	۱/۱		T <sub>2</sub>
۱/۰	۱/۳	۰/۴۲	۰/۴۸	۰/۹۱	۱/۴		T <sub>3</sub>
۱/۸	۱/۲۸	۰/۴۸	۰/۰۱	۰/۸۸	۱/۲		T <sub>4</sub>
۱/۲	۱/۱	۰/۲۸	۰/۳۵	۰/۷۱	۰/۹۶		T <sub>5</sub>
۶	۶	۰/۲-۰/۵	۰/۳۵-۰/۶	۰/۸-۲/۲	۱/۲-۲/۱	گستره مجاز غلظت	

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 انباسته می‌شود (۲). استوکنهولتز و همکاران (۴۸) 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

عقیده دارد که در گیاهان، بُر نسبتاً دارای پویایی کمی است، و مقدار آن از پایین گیاه به بالا افزایش می‌یابد (شکل ۲). حداقل مقدار سدیم در تیمار T<sub>1</sub> آزمایش به ترتیب در ریشه و برگ دیده شد. پویایی سدیم در گیاه به سبب شعاع آب‌گیری بزرگ‌تر، در مقایسه با پتانسیم 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 پتانسیم کافی نباشد، آشکار است. ویژگی‌های ذاتی گیاه به دلیل تأثیر نامطلوب عنصر سدیم، ایجاد می‌کند که حداقل 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 T<sub>1</sub> حداقل بود. بیشترین غلظت عناصر آهن، نیکل، کادمیوم و روی به ترتیب در ریشه و برگ کاهو، و حداقل غلظت عناصر منگنز و مس به ترتیب در برگ و ریشه کاهو دیده شد (جدول ۶). 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.

جدول ۶. غلظت عناصر در برگ و ریشه خشک کاهو (میلی گرم در کیلوگرم)

تیمار					غلظت <sup>۱</sup>	گستره مجاز	عناصر
T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>			
۶۲/۷	۵۳/۹	۴۸/۰	۴۴/۷	۲۱/۲	۴۰-۲۰۰	برگ	آهن
۱۰۸/۷	۱۰۳/۱	۹۸/۷	۷۸/۱	۳۹/۷	۴۰-۵۰۰	ریشه	
۴۱/۳	۳۸/۰	۳۷/۹	۳۲/۷	۲۸/۰	۳۰-۱۰۰	برگ	منگنز
۳۸/۷	۳۲/۰	۳۱/۷	۲۸/۹	۱۷/۸	۰/۰۵-۲۰۰	ریشه	
۳۸/۷	۳۶/۵	۳۵/۹	۲۳/۲	۲۳/۶	۳۰-۸۰	برگ	روزی
۴۲/۰	۳۹/۸	۳۷/۱	۳۴/۹	۲۵/۸	۱-۱۰۰	ریشه	
۷/۹	۶/۰	۵/۸	۵/۷	۴/۳	۷-۱۵	برگ	مس
۶/۷	۵/۸	۳/۹	۳/۴	۲/۸	۴-۲۰	ریشه	
۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۰۵	۰/۲	برگ	کادمیوم
۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۰۷	۰/۲	ریشه	
۰/۱۶	۰/۱۴	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۳-۰/۵	برگ	نیکل
۰/۱۹	۰/۱۶	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۳-۰/۷	ریشه	

۱. برگرفته از استوان (۲۸)، تیزدل (۴۹)، نونک (۳۸) و ملکوتی (۷)

۹). 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 بستندگی گیاهان زراعی بود.

جارویس و همکاران (۲۹)، با استفاده از ۲۳ 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 جا به جا کند و خود جانشین آنها شود. روش می‌تواند که مقدار مس نسبت به دیگر بافت‌های گیاهی غنی‌تر است. لونرگان (۳۴) 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 چهار کمبود نسبتاً بی‌تحرک است. یافته‌های پژوهش حاضر ابانتگی بیشتر مس را در اندام‌های کاهو در دامنه بستندگی آن قرار داشت.

در گیاه دانسته است (۹). مس به مقدار بسیار کم در بافت‌های گیاهی ابانتگی می‌شود. کلر و دیول (۳۲) 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. لونرگان (۳۴) 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 چهار کمبود نسبتاً بی‌تحرک است. یافته‌های پژوهش حاضر ابانتگی بیشتر مس را در اندام‌های کاهو در دامنه بستندگی آن قرار داشت. درجه سمیت نیکل در گیاهان هشت برابر روی است (۲) و

اختلاف معنی داری را برای باکتری های روده ای و مدفعوی نمونه های 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 ریز جانداران در برگ کاهو، که با مشاهده عینی تشخیص داده شد، پروتوزواها و کرم ها بودند.

#### ویژگی های شیمیایی و آلودگی های احتمالی میکروبی خاک آزمایش شده

نتایج تجزیه خاک های نمونه برداری شده از عمق ۳۰-۰ سانتی متری نشان داد که شوری خاک های آبیاری شده با فاضلاب بیش از دیگر خاک هایی است که با آب چاه آبیاری شده اند (جدول ۹). همچنین، پساب به کار رفته در آزمایش، نه تنها از لجاظ شوری اثر سوئی نداشته است، بلکه با شوری کمی (۰/۵۳ دسی زیمنس بر متر) که دارد می تواند سبب آب شویی نمک های احتمالی موجود در لایه های بالای خاک به لایه های پایین تر شود. مقدار سدیم محلول و تبادلی خاک های آبیاری شده با پساب بیش از دیگر تیمارها بود. الگوی پخش سدیم تبادلی و محلول در لایه ۳۰-۰ سانتی متری خاک همانند پخش نمک ها است. حداقل افزایش نسبت جذب سدیم در تیمارهای T1 و T2 دیده شد، که افزایش سدیم موجود در فاضلاب تصفیه شده خانگی می تواند دلیلی برای آن باشد. همچنین، مقدار کلسیم تبادلی و محلول خاک های 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، می تواند ویژگی های 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 کربنات های کلسیم و منیزیم، و در پی آن افزایش کلسیم و منیزیم تبادلی و کاهش درصد سدیم تبادلی خاک

در عوض، چنانی (۲۰) و پتروزلي (۴۱) گزارش کردند که توانایی کادمیوم، به علت دارا بودن حلایت زیاد در رسیدن به اندام هوایی گیاه، به مراتب بیشتر از دیگر فلزات سنگین بوده و از انتقال سریع برخوردار است. مقدار کادمیوم در اندام های هوایی کمتر از ریشه، و در دامنه بستندگی است.

غلهای عناصر سرب، کبات و مولیبدن در اندام های کاهو صفر بود. ابیاستگی فلزات سنگین در اندام های کاهو در تیمارهای دیگر روند خاصی را نشان نداد. نتایج آزمایش نشان داد که همه عناصر کمیاب دارای غلطی 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.

#### ویژگی های کیفی برگ کاهو

نتایج نشان داد که رنگ برگ کاهو در تیمارهای T1 و T3 نسبت به شاهد تیره تر شد (جدول ۷)، در صورتی که رنگ برگ کاهو در تیمارهای T2 و T4 روشن تر 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، از دیاد وزن و زودرس شدن آن به سبب وجود فسفر فراوان در فاضلاب تصفیه شده خانگی می باشد (۳۰).

#### آلودگی های احتمالی میکروبی در سطح برگ کاهو

بیشترین شمار کلی فرم و عدد M. P. N. یا متحمل ترین شمار کلی فرم در ۱۰۰ میلی لیتر پساب، به ترتیب در تیمارهای T1 و T2 مشاهده شد (جدول ۸). باکتری های باسیلوس در کلیه تیمارها شناسایی شد. باکتری های سالمونلا در تیمارهای T1 و T2 دیده شد. نتایج آزمایش های بیور (۱۹) هیچ گونه اختلاف معنی داری را بین جمعیت های کلی فرم موجود در محصولات آبیاری شده با فاضلاب و جمعیت های کلی فرم محصولات آبیاری شده با آب چاه نشان نداد. یافته های جنکینز (۳۰)

جدول ۷. اثر تیمارهای آب آبیاری بر ویژگی‌های کیفی کاهو

رطوبت وزنی (درصد)	شکل	رنگ	ویژگی‌های کیفی	تیمار
۹۵	عادی	تیره		T <sub>1</sub>
۹۵	عادی	روشن متمایل به تیره		T <sub>2</sub>
۹۴	عادی	تیره متمایل به روشن		T <sub>3</sub>
۹۴	عادی	تیره		T <sub>4</sub>
۹۵	عادی	روشن		T <sub>5</sub>

جدول ۸. نتایج آزمایش‌های میکروبی انجام شده روی برگ کاهو

تیمار	درازی میکروبی در هر میلی لیتر	باکتری‌های کلی فرم	باکتری‌های نوع مذکوری	شمار کلی ریز جانداران سالمونلا (محتمل ترین شمار کلی فرم)	M.P.N. عدد	باکتری‌های سالمونلا	ریز جانداران شناسایی شده
T <sub>1</sub>	$4/28 \times 10^3$	مدفععی	+	$3/4 \times 10^0$			استرپتوکوک گرم مثبت-
		بسیلوس گرم منفی،					پروتوزواهای ژیاردیا، کرم‌های
		آسکاریس، تینا و فاسیولا					آسکاریس، تینا و فاسیولا
T <sub>2</sub>	$5/1 \times 10^3$	مدفععی	+	$2/2 \times 10^0$			استرپتوکوک گرم منفی-
		پروتوزواهای ژیاردیا، کرم‌های					آسکاریس، تینا و فاسیولا
T <sub>3</sub>	$4/9 \times 10^3$	مدفععی و غیر مدفععی	-	$7/4 \times 10^3$			لاکتوباسیل گرم مثبت و کرم آسکاریس
T <sub>4</sub>	$3/7 \times 10^3$	غیر مدفععی	-	$6/1 \times 10^3$			استافیلوکوک غیر بیماری‌زا و باسیلوس گرم مثبت
T <sub>5</sub>	$6/2 \times 10^2$	غیر مدفععی	-	-			باسیلوس‌های گرم متغیر
		مدت زنده‌مانی					تخم‌های آسکاریس کمتر از ۶۰ روز، پروتوزواها ۶-۸ روز، ویروس‌ها کمتر از ۱۰۰ روز، ولی معمولاً کمتر از ۲۰ روز

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

T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	تیمار از کاشت	خاک پیش	معیارهای اندازه‌گیری شده
۷/۲ <sup>a</sup>	۷/۲ <sup>a</sup>	۷/۰ <sup>a</sup>	۷/۰ <sup>a</sup>	۷/۰ <sup>a</sup>	۷/۰	pH	
۱۰/۹ <sup>a</sup>	۱۰/۹	CEC					
۱/۹ <sup>a</sup>	۱/۹ <sup>a</sup>	۱/۶ <sup>b</sup>	۱/۶ <sup>b</sup>	۱/۵ <sup>b</sup>	۱/۰	EC	(دستی‌زیمنس بر متر)
۳/۹ <sup>a</sup>	۳/۴ <sup>b</sup>	۳/۱ <sup>c</sup>	۲/۴ <sup>a</sup>	۲/۱۸ <sup>e</sup>	۲/۱۸	SAR	
۱/۹ <sup>a</sup>	۱/۸	C	(درصد)				
۰/۱۲۷ <sup>a</sup>	۰/۰۸۳ <sup>b</sup>	۰/۱۲۷ <sup>a</sup>	۰/۰۸۳ <sup>b</sup>	۰/۰۵۸ <sup>c</sup>	۰/۰۵۸	TN	(درصد)
۲۹۰/۲ <sup>a</sup>	۲۸۰ <sup>a</sup>	۸۰ <sup>c</sup>	۱۲۰ <sup>b</sup>	۵۴/۲ <sup>d</sup>	۵۴/۲	فسفر قابل جذب	
۸/۹۴ <sup>a</sup>	۸/۰۱ <sup>b</sup>	۷/۶ <sup>c</sup>	۵/۰۴ <sup>d</sup>	۵/۱ <sup>e</sup>	۵/۱	Na <sup>+</sup>	
۰/۰۵۲ <sup>a</sup>	۰/۳ <sup>b</sup>	۰/۲ <sup>c</sup>	۰/۲۰۴ <sup>c</sup>	۰/۱ <sup>d</sup>	۰/۱	K <sup>+</sup>	کاتیون‌های محلول
۰/۰۳ <sup>a</sup>	۰/۱ <sup>b</sup>	۰/۶ <sup>a</sup>	۵/۴۴ <sup>a</sup>	۴/۶ <sup>c</sup>	۴/۶	Ca <sup>2+</sup>	(میلی‌اکیوالان بر لیتر)
۴/۷ <sup>c</sup>	۵/۶ <sup>ab</sup>	۳/۶ <sup>d</sup>	۴/۹ <sup>bc</sup>	۵/۸ <sup>a</sup>	۵/۸	Mg <sup>2+</sup>	
۰	۰	۰	۰	۰	۰	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
۲/۱۱ <sup>b</sup>	۲/۰ <sup>a</sup>	۲/۰۸ <sup>b</sup>	۱/۹۲۰ <sup>b</sup>	۱/۹۲ <sup>b</sup>	۱/۹۲	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	آنیون‌های محلول
۴ <sup>a</sup>	۳/۲ <sup>b</sup>	۲/۸ <sup>c</sup>	۲/۸ <sup>c</sup>	۲ <sup>d</sup>	۲	Cl <sup>-</sup>	(میلی‌اکیوالان بر لیتر)
۱۴/۸ <sup>a</sup>	۱۲/۹ <sup>b</sup>	۱۱/۲ <sup>c</sup>	۱۱/۳ <sup>c</sup>	۱۱/۵ <sup>c</sup>	۱۱/۰	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	
۱/۲۰ <sup>a</sup>	۱/۱ <sup>a</sup>	۰/۸ <sup>b</sup>	۰/۷ <sup>b</sup>	۰/۴ <sup>c</sup>	۰/۴	Na <sup>+</sup>	کاتیون‌های تبادلی
۰/۵ <sup>a</sup>	۰/۴	K <sup>+</sup>	(سانتی‌مول در کیلوگرم)				
۵/۸ <sup>a</sup>	۵/۲ <sup>b</sup>	۷ <sup>a</sup>	۴/۸ <sup>bc</sup>	۴/۴ <sup>c</sup>	۴/۴	Ca <sup>2+</sup>	
۳/۴ <sup>d</sup>	۴/۲ <sup>c</sup>	۳/۸ <sup>cd</sup>	۴/۹ <sup>b</sup>	۵/۷ <sup>a</sup>	۵/۷	Mg <sup>2+</sup>	

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

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 (۴۳) درباره اثر آبیاری با فاضلاب نشان دهنده کاهش pH می‌باشد، که با نتیجه این پژوهش هم‌خوانی دارد. ولی کاردوس

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 ۴۳). نتایج تجزیه خاک‌های نمونه‌برداری شده از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری، با توجه به طول مدت آزمایش، نشان داده که pH

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

T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	خاک پیش از کاشت	خاک مجاز	تیمار	عناصر کمیاب
۱۲۰ <sup>a</sup>	۱۰۸ <sup>b</sup>	۸۰/۸ <sup>c</sup>	۸۰ <sup>c</sup>	۷۸/۲ <sup>c</sup>	۷۸/۲	-		آهن (میلی‌گرم در کیلوگرم)
۴/۱ <sup>a</sup>	۴/۲ <sup>a</sup>	۲/۴ <sup>b</sup>	۲/۳ <sup>b</sup>	۲/۳ <sup>b</sup>	۲/۳	۳۰۰		روی (میلی‌گرم در کیلوگرم)
۷/۸ <sup>a</sup>	۷/۱ <sup>b</sup>	۶/۷ <sup>c</sup>	۶/۷ <sup>c</sup>	۶/۷ <sup>c</sup>	۶/۷	۱۵۰۰-۳۰۰۰		منگنز (میلی‌گرم در کیلوگرم)
۱۶/۳ <sup>a</sup>	۱۵/۱ <sup>b</sup>	۱۱/۰ <sup>c</sup>	۱۱/۰ <sup>c</sup>	۱۱/۴ <sup>c</sup>	۱۱/۴	۱۰۰		مس (میلی‌گرم در کیلوگرم)
۱۵ <sup>a</sup>	۱۴/۳ <sup>b</sup>	۱۱/۰ <sup>c</sup>	۱۱/۰ <sup>c</sup>	۱۰/۹ <sup>c</sup>	۱۰/۹۳	۱۰۰		سرب (میلی‌گرم در کیلوگرم)
۳۴/۲ <sup>a</sup>	۳۲/۸ <sup>a</sup>	۲۰ <sup>b</sup>	۲۰ <sup>b</sup>	۱۹/۰ <sup>b</sup>	۱۹/۰	۱		نیکل (میلی‌گرم در کیلوگرم)
۰/۳ <sup>a</sup>	۰/۲۲ <sup>a</sup>	۰/۲۰ <sup>b</sup>	۰/۲ <sup>b</sup>	۰/۲ <sup>b</sup>	۰/۲	۳		کادمیوم (میلی‌گرم در کیلوگرم)
۱/۲۷ <sup>a</sup>	۱/۲۲ <sup>ab</sup>	۱/۲ <sup>b</sup>	۱/۲ <sup>b</sup>	۱/۲ <sup>b</sup>	۱/۲	-		پُر (میلی‌گرم در کیلوگرم)

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

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

تیمار	معیارهای میکروبی	شمار کلی ریزجاذaran شناسایی شده	باکتری‌های نوع	باکتری‌های سالمونلا	ریزجاذaran
T <sub>1</sub>			مدفوعی و غیر مدفوعی	+ -	۷/۱۵ × ۱۰ <sup>۴</sup>
T <sub>2</sub>			مدفوعی و غیر مدفوعی	+ -	۲/۸۵ × ۱۰ <sup>۴</sup>
T <sub>3</sub>			مدفوعی	-	۱/۳ × ۱۰ <sup>۴</sup>
T <sub>4</sub>			مدفوعی	-	۴/۹ × ۱۰ <sup>۴</sup>
T <sub>5</sub>			مدفوعی	-	۳/۱ × ۱۰ <sup>۴</sup>
مدت زنده‌مانی روز			مدفوعی	۸-۵۵	
ویروس‌ها، از نوع پلی‌ویروس کمتر از ۱۱ روز			غیر مدفوعی		
			۴-۷۷		

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 (۴ و ۳۵). با توجه به این که برداشت

و هوک (۳۱) گزارش کردند که آبیاری با پساب، افزایش pH لایه ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک را به دنبال داشته است. نامبردگان بیان کردند که اگرچه تجزیه و اکسایس مواد آلی و معدنی

است و در لایه تجمع نمک‌های محلول در کانی‌های رسی خاک تثیت می‌شود. لازم به گفتن است که در این پژوهش پتانسیم محلول در خاک‌های آبیاری شده با پساب که شوری بیشتری داشته‌اند، درسنچش با خاک‌های آبیاری شده با آب چاه که شوری کمتری دارند، بیشتر است. در بررسی گزارش‌های متشر شده تاکنون به نمونه‌ای که نشان دهد آبیاری با پساب اثری بر پتانسیم 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 بستگی 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 کلی فرم مدفوعی و غیر مدفوعی در تیمارهای T1 و T2 و باکتری‌های کلی فرم 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 ذر 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.

گیاه و نیتراتی شدن نیتروژن، و نیز آب‌شویی نیتروژن نیتراتی در کاهش نیتروژن خاک مؤثر است، هم‌چنین در خاک‌ها عمل تثیت 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 بالای خاک در افزایش نیتروژن کل خاک مؤثر است، ولی آبیاری با پسابی که دارای ۶۴۷ میلی گرم 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 کanal، نیتروژن کل بیشتری دارند. صابر (۴۳) 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 انباشت شدن فسفر باید در نظر گرفته شود (۴). صابر (۴۲) گزارش داده که فسفر کل لایه ۲۰-۰ 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 کanal بوده است. نتایج این پژوهش با نتایج مهیدا هم خوانی دارد، و فسفر قابل جذب خاک‌های آبیاری شده با پساب تا عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری بیشتر از خاک‌های آبیاری شده با آب چاه است. انتظار می‌رود استفاده از آب آبیاری با ۱۲۷ میلی گرم در لیتر فسفر کل چنین اثری داشته باشد.

نتایج آزمایش نشان داد که پتانسیم محلول خاک‌های آبیاری شده با پساب، در سنجش با خاک‌های آبیاری شده با آب چاه، افزایش یافته است. از آن جا که پتانسیم توان یونی دارد (۵)، می‌تواند به آسانی همراه با آئیون‌های محلول در خاک‌های شنی جا به جا شود. ولی در خاک‌های رسی توان جا به جایی آن کم

### 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.
۴. کریمیان، ن. ع. (مترجم). ۱۳۷۱. شیمی خاک. تألیف بروکنورت و همکاران، مرکز نشر دانشگاهی.
۵. مجللی، ح. (مترجم). ۱۳۶۶. شیمی خاک. تألیف بوهن و همکاران، مرکز نشر دانشگاهی.
۶. معاونت تحقیقاتی سازمان حفاظت محیط زیست. ۱۳۷۳. استاندارد خروجی فاضلاب‌ها. انتشارات دفتر آموزش زیست محیطی.
۷. ملکوتی، م. ج. ۱۳۷۳. حاصل خیزی خاک‌های مناطق خشک. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس.
۸. منزوی، م. ت. ۱۳۶۶. 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 metabolism of plant. *Agrochimica* 17: 69-83.
11. Angelakis, A. N. and S. Spyridakis. 1996. The Status of Water Resources in Minoan Times: A Preliminay 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. 1<sup>st</sup> 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.

25. Elliott, L. F. and F. J. Stevenson. 1986. Soils for Management of Organic Wastes and Wastewater. 2<sup>nd</sup>. 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: Proceeding 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. Stylianou. 1991. Trickle irrigation of sunflower with municipile 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. Stuckenholz, 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.

49. Tisdale, S. L., W. L. Nelson., J. D. Beaton and J. L. Havlin. 1993. Soil Fertility and Fertilizers. 5<sup>th</sup>. 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.