ارزیابی مقدار برخی از عناصر معدنی و فلزات سنگین در کلزا، یونجه و اسفناج پس از آبیاری با درجات مختلف فاضلاب خانگی

حمید مظفری[a*]، امیر حسین شیرانی راد[b]، جهانفر دانشیان[b]

[a] *دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شهر قدس، گروه زراعت و اصلاح نباتات، تهران، ایران*
[b] *موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، کرج، ایران*

Archive of SID

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۱۰/۱۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۱۱/۳۰

چکیده

مقدمه: به منظور بررسی تاثیر استفاده از فاضلاب خانگی بر میزان عناصر معدنی از قبیل پتاسیم، فسفر و سدیم و فلزات سنگین کادمیم و سرب در سه گیاه کلزا، یونجه و اسفناج، آزمایشی در سال ۱۳۹۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرقدس اجراء گردید.

مواد و روش‌ها: این آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجراء گردید. فاکتورهای آزمایش شامل فاکتور (A) آب آبیاری با درجات مختلف آلودگی در چهار سطح شامل سطح اول فاضلاب خانگی، سطح دوم زه آب اولیه، سطح سوم زه آب ثانویه و سطح چهارم آبیاری با آب معمولی (چاه) به عنوان تیمار شاهد، همچنین فاکتور دوم (B) نوع گیاه که شامل کلزا، یونجه و اسفناج می‌باشد.

یافته‌ها: نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که بین تیمارها در رابطه با تاثیر بر میزان عناصر پتاسیم، فسفر و سدیم در سطح یک درصد اختلاف معنی دار وجود دارد و بیشترین میزان عناصر در هر سه گیاه در آبیاری با فاضلاب خانگی مشاهده گردید که نسبت به تیمار شاهد افزایش نشان داد، همچنین مقادیر این عناصر در سه گیاه مورد آزمایش متفاوت مشاهده گردید. همچنین در بین تیمارها از نظر کادمیم و سرب هیچگونه اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد مشاهده نگردید.

نتیجه‌گیری: آبیاری با فاضلاب خانگی تصفیه شده باعث افزایش عناصر غذایی در گیاهان مورد آزمایش گردید ضمن اینکه در رابطه با وجود فلزات سنگین سرب و کادمیم اختلاف معنی داری مشاهده نگردید.

واژه‌های کلیدی: *:اسفناج، زه آب، عناصر معدنی، فاضلاب خانگی، فلزات سنگین، کلزا، یونجه*

* نویسنده مسئول مکاتبات email: Mozafarihamid@yahoo.com

www.SID.ir

مقدمه

رشد جمعیت و افزایش مصرف آب شیرین در سالهای اخیر و کاهش منابع آبی در کشور از یکسو و وجود اقلیم خشک و نیمه خشک در ایران و خشکسالی‌های اخیر از سوی دیگر باعث شده تا نظر اکثر متخصصین به استفاده مجدد از فاضلاب ها و منابع آبهای نامتعارف در کشاورزی جلب شود. در چنین شرایطی با توسعه شهر نشینی و صنعتی شدن جوامع و حرکت آنها به سمت کشاورزی پایدار، نیازمند استفاده مجدد از فاضلاب های تصفیه شده هستیم (حسن اقلی و همکاران، ۱۳۸۱؛ عابدی کوپایی و همکاران، ۱۳۸۲). استفاده بهینه از آبهای نامتعارف در کشاورزی بخصوص برای گیاهان خوراکی و دارویی که جنبه مصرف عمومی دارند و بیشتر افراد خواسته یا ناخواسته از آنها استفاده می‌کنند می‌تواند جهت زدودن آلودگی‌های مشاهده شده در سالهای اخیر در این گیاهان زراعی کمک شایانی نماید. همچنین به دلیل اینکه فاضلاب های خانگی عاری از عناصر سنگین و سمی مانند کادمیوم، سرب، روی و جیوه هستند استفاده مجدد از آنها بعنوان آب آبیاری در کشاورزی می تواند در اولویت قرار گیرد. استفاده از فاضلاب های خانگی در کشاورزی از دو جهت حائز اهمیت می‌باشد: اول از جهت کنترل آلودگی‌های آن و عدم رهاسازی آن در رودخانه‌ها و حفظ محیط زیست و دوم از جهت مواد غذائی موجود در فاضلابها که برای گیاهان بسیار سودمند است (عرفانی و علیزاده، ۱۳۷۹). فاضلاب‌های خانگی در نقاط مختلف با کیفیت‌های مختلفی تولید می‌شوند و عناصر مفید و مغذی موجود در آنها درنقاط مختلف، متفاوت است. امّا فاضلابهای خانگی با هر کیفیتی اگر در کشاورزی به عنوان آب آبیاری استفاده شوند موجب کاهش مصرف کودهای ازته، فسفره و پتاسه می‌شوند (عرفانی و علیزاده، ۱۳۷۹؛ Gamito *et al.*, 1999). فاضلاب‌های خانگی به عنوان یک منبع دائمی و مطمئن برای تأمین آب در دسترس می‌باشد. فاضلاب‌های خانگی از جمله منابع آبهائی هستند که هیچگاه تمام نمی‌شوند (عرفانی و علیزاده، ۱۳۷۹). کاربرد فاضلاب غیر آلوده و فاضلاب تصفیه شده در موارد غیر آشامیدنی به میزان وسیعی از محدودیت‌های موجود منابع طبیعی کاسته و از این منابع محدود می‌توان به صورت بهینه استفاده کرد (عرفانی و علیزاده، ۱۳۷۹؛ ولی نژاد، ۱۳۸۰). قیمت تهیه آب از فاضلاب در مصارف غیر آشامیدنی بسیار نازل است و در اغلب موارد حتی از هزینه توسعه تأسیسات آبی برای تأمین آب مورد نیاز کشاورزی و صنعت نیز کمتر می‌باشد (عرفانی و علیزاده، ۱۳۷۹). استفاده مجدد از فاضلابها و زه آب‌ها باعث می‌شود تا این آبهای آلوده کمتر از گذشته به جریانات سطحی و زیر سطحی راه یابند و لذا در چنین شرایطی هم از بار آلودگی آبهای زیرزمینی کاسته می‌شود و هم به لحاظ اقتصادی دیگر هزینه های سنگین تصفیه آبهای سطحی و زیر سطحی را از آلودگی نخواهیم داشت (Blumenthal *et al.*, 1989).

Vazquez- Montiel و همکاران در سال ۲۰۰۴ برای ارزیابی اثرات نیتروژن فاضلاب بر خاک و گیاه، آزمایشاتی بر روی دو گیاه ذرت و سویا انجام دادند. آنها نتیجه گرفتند که کاربرد مقادیر بالای پساب در طول رشد، غلظت های بالاتری از نیتروژن را در هر دو محصول در مقایسه با گیاهان شاهد، موجب شد. بهروز و لیاقت در سال ۱۳۸۱ از روش مدیریتی لایسیمتری برای کشت ۳ نوع گیاه سویا، یونجه و جعفری استفاده نمودند و آنها را با فاضلاب خانگی تصفیه شده و پساب حاصل از آن آبیاری نمودند. آنها پس از انجام تحقیق، عملکرد کمی و کیفی سویا و یونجه را زمانی که با فاضلاب خام خانگی و زه آب اولیه آبیاری شده بود در مقایسه با زمانی که با آب چاه آبیاری شده بود در سطح ۵ درصد معنی دار دانستند و تجمع فلزات و عناصر مفید در اندام‌های هوائی این گیاهان را در پی استفاده از فاضلاب خانگی برای آبیاری دانستد. ارزش غذایی Bahiagrass را در آبیاری با پساب مورد مطالعه قرارگرفته است و نتایج نشان داد که پساب باعث افزایش درصد پروتئین علوفه تولیدی گردیده است در حالیکه هیچگونه تفاوت معنی داری در قابلیت هضم در تیمار پساب و شاهدوجود ندارد (Adjei and Rechcigl, 2002).

Jenkins و همکاران در سال ۱۹۹۴ دریافتند که عملکرد ذرت خوشه‌ای، علوفه و سبزی‌های آبیاری شده با فاضلاب به ترتیب ۵/۲ و ۳ برابر بیش از محصول به دست آمده با آب چاه عمیق است. عابدی و همکاران (۲۰۰۵) اعلام کردند نتایج تاثیر آبیاری با فاضلاب خانگی تصفیه شده و زه آب حاصل از آن بر روی محصولات زراعی،

Archive of SID

www.SID.ir

خوراکی و غیر خوراکی نشان داد که اگر بتوانیم قبل از ورود اینگونه آبهای آلوده به مزارع آنها را تصفیه کنیم، نه تنها بر عملکرد کمی و کیفی محصولات اثرات مثبت خواهد داشت بلکه برای خاک های زراعی نیز به لحاظ غنی تر شدن آنها از نظر عناصر مفید از جمله نیتروژن و مواد آلی و معدنی مفید خواهد بود. صفاری و همکاران در سال ۱۳۸۷ در پی تحقیقی که در آن برای آبیاری لوبیا از پساب فاضلاب خانگی استفاده نموده بودند، چنین عنوان کردند که آبیاری با تیمار پساب فاضلاب خانگی (۱۰۰ درصد) و آبیاری با ۷۵ درصد پساب فاضلاب خانگی و ۲۵ درصد آب چاه در مقایسه با تیمار صد در صد آب چاه در لوبیا افزایش عملکرد کمی و کیفی ایجاد نموده است. بیور و همکاران (۱۹۸۷) در یک آزمایش مداوم پنج ساله تاثیر آبیاری با پساب را بر سبزی هایی که به صورت خام مصرف می شوند، بررسی کردند. ایشان دریافتند که هیچگونه اختلاف معنی‌داری بین کیفیت محصولات تولیدی با پساب در مقایسه با آب معمولی ملاحظه نگردید با این حال هیچگونه تاثیر سوئی بر خاک یا آب‌های زیرزمینی در اثر استفاده از پساب مشاهده نشد. از طرفی آلودگی خاک‌ها و محیط‌های آبی با فلزات سنگین به واسطه فعالیت‌های انسانی و نفوذ فاضلاب های صنعتی به فاضلاب های خانگی در حال گسترش است و آلودگی رو به افزایش فاضلاب های شهری به فلزات سنگین و یون‌های سمی یک مسئله نگران کننده است، به نحوی که در تحقیقی که در سال‌های ۱۳۷۴ الی ۱۳۷۷ به مدت ۴ سال در مزارع جنوب تهران که توسط فاضلاب آبیاری می‌شدند انجام گردید غلظت برخی از فلزات سنگین در خاک و گیاهان بیشتر از حد مجاز بود (ترابیان و همکاران، ۲۰۰۲)، همچنین در تحقیقی که در سال ۱۹۹۷ در سبزیجات کشت شده در منطقه کمپن بلژیک انجام گرفت نتایج نشان دهنده تجمع کادمیم در سبزیجات و خاک منطقه بود(Burchett, 2003)، اما چنانچه فاضلاب‌های خانگی با سایر منابع آبی به ویژه فاضلاب‌های صنعتی ترکیب نشوند، این منابع آبی فاقد فلزات سنگین می‌باشند (حسن پور درویشی و همکاران، ۱۳۸۹).

با توجه به کمبود منابع آبی در کشور و اهمیت استفاده از آب های نامتعارف به عنوان جایگزینی جهت منابع آبی و همچنین مصرف بی رویه کودهای شیمیایی و آلودگی‌های ایجاد شده در محیط زیست و مخاطرات ایجاد شده جهت سلامت انسان‌ها و موجودات زنده لذا در این آزمایش با یک روش مدیریتی جدید جهت استفاده از فاضلاب های خانگی تلاش گردید تاثیر این منابع آبی فراوان و در دسترس را بر برخی از عناصر معدنی و فلزات سنگین مورد بررسی قرار دهیم.

مواد و روش‌ها

این طرح در سال۱۳۹۰ در مزرعه لایسیمتری دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرقدس واقع در کیلومتر ۲۰ جاده مخصوص کرج (غرب تهران) در زمینی به مساحت ۱/۵ هکتار انجام گردید.

در این تحقیق به منظور بررسی امکان استفاده از فاضلاب خانگی در کشت گیاهان مختلف (صنعتی و علوفه‌ای و دارویی- خوراکی) و نیز بررسی دقیق‌تر برخی از پارامترهای شیمیائی آب از ۸۱ عدد لایسیمتر پلاستیکی آبی رنگ (مخزن کشت) به ارتفاع ۱۰۰ سانتیمتر و قطر ۶۰ سانتیمتر استفاده شد. در هر یک از لایسیمترها از یک لوله مشبک به عنوان زه‌کش برای خروج زه آبها استفاده شد. قطر لوله‌ها که به عنوان زه‌کش عمل می‌کنند ۵ سانتی‌متر بود که یک سر این لوله در ظرف‌های مدرج جمع‌آوری فاضلاب قرار گرفت. سپس با یک طرح ابتکاری جهت نصب لایسیمترها در مزرعه بر روی سکوهائی فلزی به ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر و به فاصله ۲ متری از هم نصب گردیدند و پایه‌ها توسط بتن در زمین مزرعه محکم شدند. لایسیمترها در فاصله ۲ متری از هم نصب گردیدند، این فاصله به خاطر این در نظر گرفته شده است تا بتوان بین لایسیمترها به راحتی حرکت نمود و عملیات آبیاری و کشت و کار را انجام داد. پس از نصب پایه‌های لایسیمتر، مخزن‌ها بر روی پایه‌ها نصب شدند و درون آنها از خاکی با بافت clay loam تا ارتفاع ۸۰ سانتی متر پر شدند، سپس لایسیمترها از آب پُر گردید تا مسئله نشست خاک خِلِلی در آزمایش ایجاد نکند. در این تحقیق از ۳ گیاه صنعتی کلزا، علوفه ای یونجه و دارویی- خوراکی اسفناج استفاده گردید. این طرح به صورت آزمایش فاکتوریل و در قالب بلوک های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا گردید، فاکتور های آزمایش شامل:

Archive of SID
www.SID.ir

– فاکتور (A) آب آبیاری با درجات مختلف آلودگی در چهار سطح (سطح اول فاضلاب خانگی، سطح دوم زه آب اولیه، سطح سوم زه آب ثانویه و سطح چهارم آبیاری با آب معمولی (چاه) به عنوان تیمار شاهد).

– فاکتور دوم (B) نوع گیاه (که شامل کلزا یونجه و اسفناج) می باشند.

پس از بلوک بندی، ابتدا گیاهان بر اساس نقشه طرح، در لایسیمترها کشت شدند، بدین نحو که هر گیاه در ۳ تکرار و با ۴ سطح آبیاری با درجات مختلف آلودگی کشت گردید. در موقع آبیاری ابتدا لایسیمترهای ردیف یک آبیاری بوسیله فاضلاب خانگی، لایسیمترهای ردیف دوم توسط زه آب اولیه، لایسیمترهای ردیف سوم توسط زه آب ثانویه و لایسیمترهای ردیف چهارم توسط آب معمولی (چاه) آبیاری می شوند (نقشه طرح و شکل شماتیک نحوه قرار گیری لایسیمترها در رابطه با یکی از گیاهان در شکل ۱ نشان داده شده است).

- **نحوه تهیه زه آب اولیه و زه آب ثانویه**

به منظور اینکه زه آبهای مورد استفاده جهت آبیاری هر سه گیاه از نظر ترکیبات و سایر موارد یکسان باشند، لذا جهت تامین زه آب اولیه و ثانویه، در قسمتی از مزرعه دو ردیف لایسیمتر شامل ردیف اول ۳۰ عدد لایسیمتر و ردیف دوم ۱۵ عدد لایسیمتر تعبیه گردید که این لایسیمترها مطابق با شرایط لایسیمترهای کاشته شده از خاک پر شده ولی هیچ گیاهی در آنها کشت نمی‌شوند و تنها جهت تامین زه آب اولیه و ثانویه به کار برده می شوند. بدین نحو که سطح اول لایسیمترها توسط آب فاضلاب خانگی آبیاری می‌شوند، سپس زه آب خارج شده از لایسیمترهای سطح اول (زه آب اولیه) توسط سطل هایی که مدرج هستند جمع آوری شده و در لایسیمترهای دیگر (اعم از لایسیمترهای کاشته شده و لایسمترهایی که جهت تولید زه آب ثانویه مورد استفاده قرار می گیرند) که در سطح دوم قرار دارند ریخته می‌شوند و زه آب حاصل از آن (زه آب ثانویه)، پس از جمع آوری جهت آبیاری لایسیمترهای سطح سوم گیاهان کاشته شده به کار برده می شود. قبل از انجام آزمایش خصوصیات فیزیکی خاک و میزان متوسط برخی از عناصر معدنی در خاک لایسیمترها اندازه گیری شدند که نتایج در جداول ۱ و ۲ آورده شده است.

در مراحل ابتدایی رشد با توجه به دستورالعمل FAO آبیاری توسط آب چاه انجام گردید و از شروع ساقه دهی آبیاری با تیمارهای فاضلاب آغاز گردید. عملیات آبیاری بر اساس تیمارهای موجود که شامل فاضلاب خانگی، زه آب اولیه، زه آب ثانویه و آب چاه بود به مدت هر ۷ روز یکبار و مجموعا ۷ بار انجام گردید. در هر مرحله از آبیاری میزان عناصر معدنی و فلزات سنگین آب اندازه گیری گردید که متوسط نتایج استخراج شده در جدول ۳ آمده است.

جدول ۱- نتیجه تجزیه یک نمونه ۱۰۰ گرمی از خاک درون لایسیمتر

درصد ذرات خاک (%)	FC[1] (%)	PWP[2] (%)	جرم مخصوص ظاهری g/cm^3	درصد تخلخل(%)	درصد نگهداشت ویژه آب خاک (%)
رس= ۳۵ سیلت= ۲۵ شن= ۴۰	۱۴/۱	۶/۳۲	۱/۵۰	۳۷/۵	۱۹/۸۲

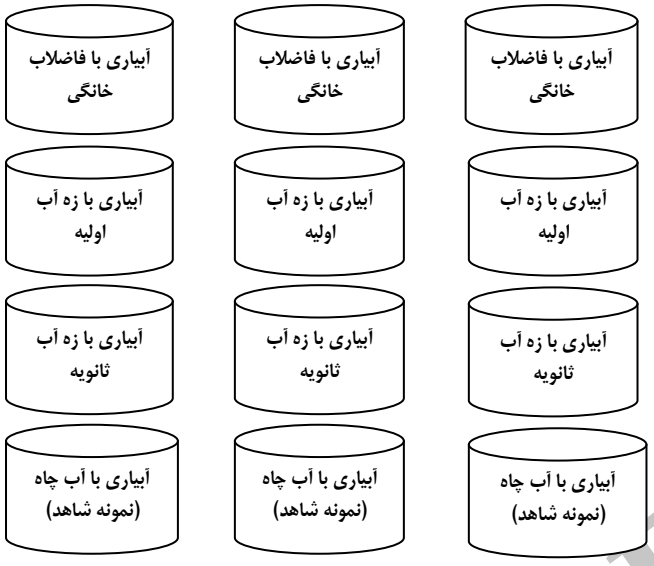
جدول ۲- متوسط میزان برخی عناصر معدنی و فلزات سنگین در لایسیمترها قبل از اعمال تیمارهای فاضلاب خانگی

pH	EC[3] (ds/m)	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Na)meq/lit(	Mg (meq/lit)	Ca (meq/lit)	Cl (meq/lit)	سولفات (meq/lit)
۶/۹	۰/۷۶	۰/۸	۰	۳۲/۶۰	۱۴/۱۴	۱۳/۳۶	۶/۰۲	۲/۰۳

1-Field Capacity
2- Permanent wilting point
3- Electrical Conductivity

Archive of SID

www.SID.ir



شکل۱- نقشه شماتیک نحوه قرار گیری لایسیمترها در خصوص یکی از گیاهان مورد آزمایش

جدول ۳- متوسط میزان برخی عناصر معدنی و فلزات سنگین در تیمارهای مختلف فاضلاب خانگی

پارامتر / نوع تیمار	فاضلاب خانگی	زه آب اولیه	زه آب ثانویه	آب چاه (شاهد)
فسفر(mg/L)	۳/۶۶	۲/۴۸	۱/۹۱	۰/۲۳
پتاسیم (mg/L)	۲۰/۲۱	۱۶/۶	۱۴/۰۰	۱۰/۰۰
سدیم (meq/L)	۱۳/۸۲	۱۰/۹۱	۸/۴۶	۶/۴۰
کادمیم (mg/L)	۰/۰۲۵	۰/۰۱۵	۰/۱۰	۰/۰۰
سرب (mg/L)	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰

- اندازه‌گیری سدیم و پتاسیم نمونه‌های گیاهی

عناصر سدیم و پتاسیم توسط دستگاه نورسنج شعله ای[1] اندازه‌گیری شدند. ۵۰ میلی‌گرم از پودر حاصل بخش‌هوایی نمونه‌ها را وزن کرده و در ارلن‌های ۲۵ میلی‌لیتری ریخته و به آنها ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۶۹٪ اضافه کرده و درب آنها را با پارافیلم بسته، پس از طی ۴۸ ساعت ارلن مایرها را در زیر هود ضد اسید توسط هیتر ۵۰ درجه به آرامی جوشانده تا محلول حاصل شفاف شود و بخارات خرمایی رنگ را بطور کامل متصاعد کند. در ادامه به ارلن مایرهای خنک شده ۳ میلی لیتر اسید پرکلریک خالص (در حضور گرما اشتعال زا است) اضافه کرده و مجدداً حرارت داده شد تا دیگر هیچ‌گونه تصاعد بخارخرمایی رنگ مربوط به اسید نیتریک نداشته باشد و محلول کاملاً شفافی بدست آید. سپس محلول حاصل در لوله آزمایش ۱۵ میلی لیتری ریخته و ارلن مایرها با آب دیونیزه شستشو داده شد و به لوله آزمایش اضافه گردید. در آخر حجم نهایی لوله آزمایش به ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس غلظت یون های سدیم و پتاسیم را در نمونه‌های مورد آزمایش محاسبه کرده و در نهایت بر حسب میلی گرم بر گرم وزن خشک گیاهان گزارش گردید.

- اندازه‌گیری فسفر نمونه‌های گیاهی

۵۰ میلی‌گرم از پودر حاصل بخش‌هوایی نمونه‌ها را وزن کرده و در ارلن‌های ۲۵ میلی‌لیتری ریخته و به آنها ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۶۹٪ اضافه کرده و درب آنها با پارافیلم بسته شد، پس از طی ۴۸ ساعت ارلن مایرها را در زیر هود ضد اسید توسط هیتر ۵۰ درجه به آرامی جوشانده تا محلول حاصل شفاف شود و بخارات خرمایی رنگ را بطور کامل متصاعد کند. در ادامه به ارلن مایرهای خنک شده ۳ میلی لیتر اسید پرکلریک خالص (در حضور گرما اشتعال زا است) اضافه کرده و مجدداً حرارت داده شد تا دیگر هیچ‌گونه تصاعد بخارخرمایی رنگ مربوط به اسید

[1] Flame Photometer

Archive of SID
www.SID.ir

نیتریک نداشته باشیم و محلول کاملاً شفافی بدست بیاوریم. سپس محلول حاصل را در لوله‌ی آزمایش ۱۵ میلی لیتری ریخته و ارلن مایرها را با آب دیونیزه شستشو داده و به لوله آزمایش اضافه می‌کنیم در آخر حجم نهایی لوله آزمایش را به ۱۰ میلی‌لیتر می‌رسانیم. از این محلول برای اندازه‌گیری فسفات طبق روش اروینگ و مکلوگلین (۱۹۹۰) استفاده می‌شود. به ۱/۵ میلی‌لیتر نمونه ۰/۵ میلی‌لیتر محلول عمل واکنش را اضافه کرده و آنها را مخلوط کرده و پس از ۱۵ دقیقه جذب محلول را در ۶۵۰ نانومتر ثبت می کنیم.

- **اندازه‌گیری کادمیم و سرب نمونه‌های گیاهی**

برای اندازه گیری غلظت سرب و کادمیم ۲۰۰ میلی‌گرم نمونه خشک گیاهی با استفاده از روش هضم اسیدی (مخلوط نیتریک اسید و پرکلریک اسید به نسبت حجمی ۳ به ۱) در دمای حدود ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد هضم و خاکستر شد. خاکستر حاصل توسط ۱۰ میلی لیتر آب دوبار تقطیر کامل حل شد. محلول حاصل توسط دستگاه جذب اتمی جهت سنجش مقادیر هر عنصر مورد استفاده قرار گرفت.

یافته ها

- **پتاسیم**

نتایج حاصل از تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها (جداول ۴ و ۵) نشان می‌دهد که بین فاکتورهای آزمایش در سطح یک درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد به نحوی که سطح اول منابع تامین آب یعنی فاضلاب خانگی با ۱/۹۶۶ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک بافت و با افزایش ۳۵/۰۴ درصد نسبت به تیمار شاهد بیشترین میزان میانگین پتاسیم را در هر سه گیاه به خود اختصاص داد که این موضوع با توجه به میزان بالاتر پتاسیم در فاضلاب خانگی نسبت به آب چاه قابل توجیه می‌باشد. هچنین ملاحظه می‌شود در سطوح دوم و سوم منابع تامین آب یعنی زه آب اولیه و ثانویه با توجه به کاهش مقدار پتاسیم آب آبیاری و خاک نسبت به فاضلاب خانگی با کاهش پتاسیم مواجه بوده‌اند به نحوی که میزان پتاسیم در سطح دوم منابع تامین آب به ۱/۷۸۸ mg/gdw و در سطح سوم منابع تامین آب به ۱/۶۷۴ mg/gdw رسید ولی نسبت به تیمار شاهد (آب چاه) با ۱/۴۷۸ mg/gdw به ترتیب ۲۰/۹۷ و ۱۳/۲۶ درصد افزایش در میزان پتاسیم داشته‌اند. به نظر می‌رسد میزان پتاسیم موجود در آب آبیاری و خاک به طور مستقیم بر پتاسیم بافت گیاهی تاثیرگذار است. همچنین در بین گونه‌های گیاهی مورد آزمایش نیز در سطح یک درصد، اختلاف معنی‌دار مشاهده گردید به نحوی که گیاه یونجه با ۱/۷۹۸ mg/gdw در مجموع بالاترین میزان پتاسیم را به خود اختصاص داد اما گیاه کلزا در سطوح بالاتر فاضلاب خانگی عکس العمل مناسبتری نشان داد به نحوی که در سطح اول منابع تامین آب یعنی فاضلاب خانگی با ۲/۱۴۷ mg/gdw نسبت به یونجه و اسفناج دارای بالاترین میزان پتاسیم بود و همانطور که در جدول شماره ۵ ملاحظه می شود با کاهش سطوح آبیاری با آب فاضلاب در هر سه گیاه از میزان پتاسیم کاسته شده است.

- **فسفر**

نتایج حاصل از تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها (جداول ۴ و ۵) نشان می‌دهد که بین فاکتورهای آزمایش در سطح یک درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد به نحوی که سطح اول منابع تامین آب یعنی فاضلاب خانگی با ۲/۲۴۰ میلی گرم بر گرم وزن خشک بافت و با افزایش ۲۲/۴ درصد نسبت به تیمار شاهد بیشترین میزان میانگین فسفر را در هر سه گیاه به خود اختصاص داد که این موضوع با توجه به میزان بالاتر فسفر در فاضلاب خانگی نسبت به آب چاه قابل توجیه می‌باشد. هچنین ملاحظه می شود در سطوح دوم و سوم منابع تامین آب یعنی زه آب اولیه و ثانویه با توجه به کاهش مقدار فسفر آب آبیاری و خاک نسبت به فاضلاب خانگی با کاهش فسفر مواجه بوده‌اند به نحوی که میزان فسفر در سطح دوم منابع تامین آب به ۲/۰۹۵ mg/gdw و در سطح سوم منابع تامین آب به ۱/۹۶۷ mg/gdw رسید ولی نسبت به تیمار شاهد (آب چاه) با ۱/۸۳۰ mg/gdw به ترتیب ۱۴/۴۸ و ۷/۴۸ درصد افزایش در میزان فسفر داشته‌اند. همچنین در بین گونه‌های گیاهی مورد آزمایش، اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید و هر سه گیاه در یک گروه قرار گرفتند اما گیاه کلزا در سطوح بالاتر فاضلاب خانگی عکس العمل مناسبتری نشان داد به نحوی که در سطح اول منابع تامین آب یعنی فاضلاب خانگی با ۲/۲۹۳ mg/gdw نسبت به یونجه و

Archive of SID

www.SID.ir

اسفناج دارای بالاترین میزان فسفر بود و همانطور که در جدول ۵ ملاحظه می‌شود با کاهش سطوح آبیاری با آب فاضلاب در هر سه گیاه از میزان فسفر کاسته شده است.

- **سدیم**

نتایج حاصل از تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها (جداول ۴ و ۵) نشان می‌دهد که بین فاکتورهای آزمایش، در سطح یک درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد به نحوی که سطح اول منابع تامین آب یعنی فاضلاب خانگی با ۰/۵۷۰ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک بافت و با افزایش ۳۶/۶۹ درصد نسبت به تیمار شاهد بیشترین میزان میانگین سدیم را در هر سه گیاه به خود اختصاص داد که این موضوع با توجه به میزان بالاتر سدیم در فاضلاب خانگی نسبت به آب چاه قابل توجیه می‌باشد. همچنین ملاحظه می‌شود در سطوح دوم و سوم منابع تامین آب یعنی زه آب اولیه و ثانویه با توجه به کاهش مقدار سدیم آب آبیاری و خاک نسبت به فاضلاب خانگی با کاهش سدیم مواجه بوده‌اند به نحوی که میزان سدیم در سطح دوم منابع تامین آب به ۰/۵۱۸ mg/gdw و در سطح سوم منابع تامین آب به ۰/۴۷۱ mg/gdw رسید ولی نسبت به تیمار شاهد (آب چاه) با ۰/۴۱۷ mg/gdw به ترتیب ۲۴/۲۲ و ۱۲/۹۴ درصد افزایش در میزان سدیم داشته‌اند. به نظر می‌رسد میزان سدیم موجود در آب آبیاری و خاک به طور مستقیم بر سدیم بافت گیاهی تاثیرگذار است. همچنین در بین گونه‌های گیاهی مورد آزمایش نیز در سطح یک درصد، اختلاف معنی‌دار مشاهده گردید به نحوی که گیاه اسفناج با ۰/۵۵۰ mg/gdw در مجموع بالاترین میزان سدیم را به خود اختصاص داد همچنین گیاه اسفناج در سطوح بالاتر فاضلاب خانگی عکس العمل مناسبتری نشان داد به نحوی که در سطح اول منابع تامین آب یعنی فاضلاب خانگی با ۰/۶۱۳ mg/gdw نسبت به یونجه و اسفناج دارای بالاترین میزان سدیم بود و همانطور که در جدول شماره ۵ ملاحظه می شود با کاهش سطوح آبیاری با آب فاضلاب در هر سه گیاه از میزان سدیم کاسته شده است.

- **سرب**

با توجه به عدم وجود سرب در منابع تامین آب لذا در بافت‌های گیاهان مورد آزمایش از نظر این عنصر موردی مشاهده نگردید.

- **کادمیم**

نتایج حاصل از اندازه‌گیری میزان کادمیم در بافت گیاهان تحت آزمایش حاکی از وجود میزان اندک کادمیم و قرار گرفتن در محدوده مجاز مطابق استانداردهای جهانی می‌باشد. همانطور که در جدول شماره ۳ مشاهده می‌گردد میزان کادمیم از فاضلاب خانگی به سطوح دوم و سوم منابع تامین آب یعنی زه آب اولیه و ثانویه و همچنین آب چاه در هر سه گیاه کاهش یافته است و همانطور که معمولا میزان عناصر در گیاه با مقدار آن در خاک و آب آبیاری نسبت مستقیم دارند لذا مطابق جدول ۶ بیشترین میزان کادمیم در هر سه گیاه در سطح اول منابع تامین آب یعنی فاضلاب خانگی مشاهده می‌گردد که البته این مقادیر بر اساس استاندارد های موجود در محدوده مجاز قرار دارند. همچنین نتایج حاصل از انجام این آزمایش نشان داد مقادیر کادمیم در هر سه گیاه، در تمامی تیمارهای منابع تامین آب آبیاری با حدود استاندارد تعیین شده در مرکز استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (جدول ۷) همخوانی دارند.

بحث

در رابطه با تغییر عناصر معدنی در سطوح مختلف منابع تامین آب، همانطور که در مورد هر سه عنصر پتاسیم، فسفر و سدیم مشاهده می‌گردد مقادیر آنها همزمان با تغییر این عناصر در منابع تامین آب در گیاه نیز تغییر می کند و به نظر می رسد میزان عناصر موجود در آب آبیاری و خاک به طور مستقیم بر میزان این عناصر در بافت گیاهی تاثیرگذار است. با توجه به این موضوع اکثر محققینی که در این زمینه فعالیت کرده‌اند از جمله عابدی و همکاران در سال ۱۳۸۲، Adjei and Rechcigl در سال ۲۰۰۲ و حسن پور و همکاران (۱۳۸۹) بر این نکته تاکید دارند که استفاده از فاضلاب‌های تصفیه شده خانگی با رعایت تمامی استانداردهای موجود می تواند بر عملکرد کمی و کیفی محصولات زراعی اثر مثبت بگذارد، ضمن اینکه استفاده از فاضلاب‌های خانگی با تقویت و حاصلخیزی خاک می تواند موجب کاهش مصرف کودهای شیمیایی گردد. Adjei and Rechcigl در سال ۲۰۰۲ ارزش غذایی Bahiagrass را در آبیاری با پساب مورد مطالعه قرارداد و گزارش کرد پساب باعث افزایش درصد پروتئین علوفه تولیدی گردید در حالیکه هیچگونه تفاوت معنی‌داری در

Archive of SID

www.SID.ir

قابلیت هضم در تیمار پساب و شاهد مشاهده نشد. Vazquez- Montiel در سال ۲۰۰۴ برای ارزیابی اثرات نیتروژن فاضلاب بر خاک و گیاه، آزمایشاتی بر روی دو گیاه ذرت و سویا انجام دادند. آنها نتیجه گرفتند که کاربرد مقادیر بالای پساب در طول رشد، غلظت های بالاتری از نیتروژن را در هر دو محصول در مقایسه با گیاهان شاهد، موجب شد، صفاری و همکاران در سال ۱۳۸۷ در پی تحقیقی که در آن برای آبیاری لوبیا از پساب فاضلاب خانگی استفاده نموده بودند، چنین عنوان کردند که آبیاری با تیمار پساب فاضلاب خانگی (۱۰۰ درصد) و آبیاری با ۷۵ درصد پساب فاضلاب خانگی و ۲۵ درصد آب چاه در مقایسه با تیمار صد در صد آب چاه در لوبیا افزایش عملکرد کمی و کیفی ایجاد نموده است. نتایج تجزیه گیاه نشان داده است که غلظت عناصر غذایی پر مصرف و مفید در اندام‌های هوائی لوبیا در گونه‌هائی که با پساب فاضلاب خانگی آبیاری شده‌اند نسبت به حالتی که با آب چاه آبیاری شده‌اند بیشتر و افزایش چشمگیری داشته است. تجمع عناصر در اندام‌های هوائی لوبیا در پی آبیاری با فاضلاب و پساب خانگی تصفیه شده باعث غنی شدن خاک زراعی نیز شده است به گونه‌ای که پس از آزمایش خاک تجمع عناصر مفید مانند N , K , P در خاک آبیاری شده با فاضلاب خانگی و پساب حاصل از آن در مقایسه با مزارعی که با آب کانال آبیاری شده بودند، بیشتر شده بود (Mahida, 1999). در مورد تجمع فلزات سنگین در خاک‌های زراعی پس از آبیاری با فاضلاب، چنین باید گفت که در اثر مصرف فاضلاب صنعتی امکان تجمع عناصر سنگین در خاک‌ها می‌باشد و حتی در پاره‌ای اوقات بافت و ساختمان خاک نیز دچار تغییر می‌شود. اما تاکنون گزارشی از تجمع عناصر سنگین نظیر کادمیوم، سرب، روی و جیوه پس از آبیاری با فاضلاب خانگی ارائه نشده است (Zhanyi and Jifu, 1999). لذا چنانچه طوری مدیریت شود که این منابع آبی با سایر آلاینده‌ها ازجمله فاضلاب-های صنعتی مخلوط نگردد می‌تواند نقش تعیین کننده ای را در صرفه جویی در منابع آبی و کاهش مصرف کودهای شیمیایی داشته باشد ضمن اینکه خاک می‌تواند به عنوان یک فیلتر بیوشیمیایی در کاهش آلاینده‌ها ایفای نقش نماید.

نتیجه‌گیری

نتایج تأثیر آبیاری با فاضلاب خانگی تصفیه شده و زه آب حاصل از آن بر روی محصولات زراعی، خوراکی و غیر خوراکی نشان داد که اگر بتوانیم قبل از ورود اینگونه آبهای آلوده به مزارع آنها را تصفیه نمائیم، نه تنها بر عملکرد کمی و کیفی محصولات اثرات مثبت خواهد داشت بلکه برای خاک‌های زراعی نیز به لحاظ غنی‌تر شدن آنها از عناصر مفید مانند N، P، K و سایر مواد آلی و معدنی مفید خواهد بود و باعث صرفه جویی در مصرف کودهای شیمیایی و به تبع آن کاهش آلودگی محیط زیست ناشی از مصرف آنها خواهد گردید.

جدول ٤- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف آب آبیاری و گیاه بر روی میزان پتاسیم، فسفر و سدیم بافت گیاهی

		میانگین مربعات (M.S)		
منابع تغییرات	درجه آزادی	پتاسیم	فسفر	سدیم
بلوک	۲	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۰۰۱۱۱۷ ns	۰/۰۰۰۰۲۰۳ ns
منابع تامین آب (فاکتور A)	۳	۰/۴۳۳**	۰/۲۷۷**	۰/۰۳۸**
گونه گیاهی (فاکتور B)	۲	۰/۰۷۱**	۰/۰۰۰۳۰۶۹ ns	۰/۰۳۰**
A*B	۶	۰/۰۲۵**	۰/۰۰۵ **	۰/۰۰۱**
خطای آزمایش	۲۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۱۸۱۸	۰/۰۰۰۰۴۵۵
CV%		۱/۵۲	۰/۶۵	۱/۶۱

ns فاقداختلاف معنی دار

* اختلاف معنی دار در سطح ۰/۰۵

** اختلاف معنی دار در سطح ۰/۰۱

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف آب آبیاری و گیاه بر روی میزان پتاسیم، فسفات، سدیم و پروتئین بافت گیاهی در سطح ۵ درصد

منابع تامین آب	گونه گیاهی	پتاسیم mg/gdw	فسفر mg/gdw	سدیم mg/gdw
a_1		۱/۹۹۶ a	۲/۲۴۰ a	۰/۵۷۰ a
a_2		۱/۷۸۸ b	۲/۰۹۵ b	۰/۵۱۸ b
a_3		۱/۶۷۴ c	۱/۹۶۷ c	۰/۴۷۱ c
a_4		۱/۴۷۸ d	۱/۸۳۰ d	۰/۴۱۷ d
	کلزا	۱/۷۳۷ b	۲/۰۳۷ a	۰/۴۵۴ c
	یونجه	۱/۷۹۸ a	۲/۰۲۸ a	۰/۴۷۹ b
	اسفناج	۱/۶۴۶ c	۲/۰۳۴ a	۰/۵۵۰ a
a_1	کلزا	۲/۱۴۷ a	۲/۲۹۳ a	۰/۵۱۰ e
a_1	یونجه	۲/۰۱۲ b	۲/۲۳۷ b	۰/۵۸۷ b
a_1	اسفناج	۱/۸۲۸ c	۲/۱۸۹ c	۰/۶۱۳ a
a_2	کلزا	۱/۸۰۷ c	۲/۱۰۰ d	۰/۴۷۴ f
a_2	یونجه	۱/۸۴۳ c	۲/۱۰۰ d	۰/۵۰۸ e
a_2	اسفناج	۱/۷۱۵ d	۲/۰۸۵ d	۰/۵۷۲ c
a_3	کلزا	۱/۶۱۰ e	۱/۹۵۸ f	۰/ ۴۳۷ g
a_3	یونجه	۱/۷۳۰ d	۱/۹۶۲ ef	۰/۴۴۴ g
a_3	اسفناج	۱/۶۰۰ e	۱/۹۸۲ e	۰/۵۳۳ d
a_4	کلزا	۱/۳۸۷ f	۱/۷۹۹ h	۰/۳۹۴ h
a_4	یونجه	۱/۶۰۸ e	۱/۸۱۱ h	۰/۳۷۸ i
a_4	اسفناج	۱/۴۴۰ f	۱/۸۷۹ g	۰/۴۸۰ f

میانگین هایی که دارای حروف مشترک می باشند ، تفاوت آنها از لحاظ آماری در سطح ۵٪ دانکن غیر معنی دار است.

جدول ٦- تغییرات جذب کادمیم در سطوح مختلف تامین آب در سه گیاه یونجه، کلزا و اسفناج

پارامتر / نوع تیمار	فاضلاب خانگی	زه آب اولیه	زه آب ثانویه	آب چاه (شاهد)
میزان تجمع کادمیم در اندام هوایی یونجه mg/kg	۰/۰۳۸	۰/۰۲۹	۰/۰۱۸	۰
میزان تجمع کادمیم در دانه کلزا mg/kg	۰/۰۳	۰/۰۲۱	۰/۰۱۱	۰
میزان تجمع کادمیم در اندام هوایی اسفناج mg/kg	۰/۰۱۶	۰/۰۱	۰	۰

جدول ۷- حدود استاندارد کادمیم و سرب در گیاهان خوراکی و آب مطابق اعلام مرکز استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

فلز سنگین	حدود استاندارد در گیاه µg/gr	مصارف کشاورزی و آبیاری mg/l	حدود استاندارد در خاک µg/gr
کادمیم	۰/۲ -۰/۸	۰/۰۵	۰/۱ -۷
سرب	۰/۱ -۱۰	۱	۰/۲ -۱

Archive of SID

www.SID.ir

منابع

بهروز، ر. و لیاقت، ع. (۱۳۸۱). مدیریت استفاده از فاضلاب در کشاورزی. یازدهمین سمینار کمیته ملی آبیاری و زهکش. ص ۱۰۲ – ۱۱۸.

حسن اقلی، ع. (۱۳۸۱). استفاده از فاضلاب‌های خانگی و پساب تصفیه خانه‌ها در آبیاری محصولات کشاورزی و تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی، رساله دکتری، دانشگاه تهران.

حسن پور درویشی، ح. (۱۳۸۹). بررسی امکان استفاده مجدد از پساب فاضلاب خانگی بجای آب چاه در آبیاری ریحان، رساله دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات.

صفاری، م. و فتحی، ح. (۱۳۸۷). تأثیر آبیاری با پساب فاضلاب بر عملکرد و کیفیت دو گونه لوبیا و برخی ویژگی‌های خاک. سومین کنگره ملی بازیافت و استفاده از منابع آلی تجدید شونده در کشاورزی. ص ۱۷–۲۹.

عابدی کوپایی، ج.، افیونی، م.، موسوی، ف.، مصطفی زاده، ب. و باقری، م. (۱۳۸۲). تأثیر آبیاری بارانی و سطحی با فاضلاب تصفیه شده بر شوری خاک، آب و فاضلاب، شماره ۴۵، ص ۱۲–۲.

عرفانی، ع. و علیزاده، الف. (۱۳۷۹). استفاده از فاضلاب تصفیه شده خانگی در آبیاری، سومین همایش کشوری بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی کرمان.

لیاقت، ع. (۱۳۸۵). استفاده از خاک به عنوان فیلتری جهت کنترل آلودگی‌های ناشی از فاضلاب، مجموعه مقالات کمیته ملی آبیاری زه‌کشی ایران، مقاله ۱۱.

ولی‌نژاد، م. (۱۳۸۰). اثرات پساب و سیستم‌های آبیاری بارانی و سطحی و خصوصیات خاک بر عملکرد سه محصول زراعی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

Adjei, M. B. & Rechcigl, J. E. (2002). Bahiagrass production and nutritive value as affected by domestic wastewater residuals. Agronomy Journal 94: 1400-1410.

Abedi- koupai, J., Afuni, M., Mostafazadeh, B. & Bagheri, M. R. (2001). Influence of Treated Wastewater and Irrigation systems on soil physical properties in Isfahan province. ICID International workshop on wastewater Reuse Management. ICID- ICID. September 19-20, 2001. Seoul, Korea. Pp: 165-173.

Alizadeh, A., Bazari, M. E., Velayati, S., Hasheminia, M. & Yaghmai, A. (2001). Using Reclaimed Municipal Wastewater for I rrigation of Com. ICID International workshop on wastewater Reuse Management. ICID-ICID. September 19-20, 2001. Seoul, Korea pp: 147-154.

Blumenthal, U. J., Strauss, M., Mara, D. D. & Cairncross, S. (1989). Generalized model of the effect of different control measures in reducing health risks from waste reuse, Water Science Technology, 21, No. 6-7: 576-577.

Burchett, H. (2003). Increasing fruit & vegetable consumption among britishprimary school children: a review. Health Educ; 103(2):99-109.

FAO. (1985). Wastewater treatment and use in agriculture. FAO Irrigation and Drainage paper. No 42.

Institue of standards and Industrial research of Iran .Specifications for Drinking water. (1997). [Persian].

Gamito, P., Arsenio, A., Faleiro, M.L., Brito, J.M. and Beltrao, J. (1999). The influence of wastewater treatment of irrigation water quality, International Workshop on: Improved Crop Quality by Nutrient Management, pp. 267-270, Izmir, Turkey.

Jenkins, C. R., Papadopoulos, I. & Stylianou. Y. (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.

Mahida, U. N. (1999). Water pollution and Disposal of Waste water on Land tata MeGrow Hill publ. Co. Ltd., New Delhi.

Tanaka, K., Masuda, R., Sugimoto, T. & Sakak, Z. (1999). Water efficiency induced changes. In the contents. 66. 712-729.

Vazquez- Montiel, O., Horan, N. J. & Mara, D. D. (2004). Effects of nitrogen application using treated waste waters on nitrogen uptake and crop yield based pot trials with maize and soybean. Wat.Res. 29:1945-1949.

Wenho. Q. & Russel, J. (2000). 8- OH- DG in calf thymus DNA indubead with $CrCl_3PL$ H_2O_2. Int.cong. 6:45-53.

Archive of SID

www.SID.ir