

اثر کاربرد پساب و لجن فاضلاب صنعتی بر غلظت برخی عناصر و عملکرد گندم، جو و ذرت

محمدعلی نظری^۱، حسین شریعتمداری^۱، مجید افیونی^۱، مصطفی مبلی^۲ و شهرام رحیلی^۳

چکیده

پساب و لجن فاضلاب می‌توانند نیاز آبی و غذایی گیاه را تأمین نموده، به همین علت به عنوان منابع آبی و کودی ارزان قیمت مورد توجه قرار گرفته‌اند. البته وجود فلزات سنگین در پساب و لجن و امکان جذب آنها به وسیله گیاهان و ورود آنها به زنجیره غذایی انسان و حیوان نباید از نظر دور بماند. هدف از انجام این پژوهش تعیین آثار پساب و لجن فاضلاب صنعتی بر غلظت تعدادی از عناصر پرمصرف، کم مصرف، فلزات سنگین و سدیم و هم‌چنین عملکرد سه گیاه گندم (*Triticum aestivum*)، جو (*Hordeum vulgare*) و ذرت (*Zea mays*) بود. این مطالعه در شرایط گلخانه‌ای و در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار و پنج تیمار شامل آب چاه، آب چاه+ لجن (۵۰ تن در هکتار) و سه پساب صنعتی از کارخانه پلی‌اکریل ایران به نام‌های پساب خروجی هوادم‌ها مربوط به برج‌های خنک‌کننده، پساب سرریز تصفیه پساب و پساب خروجی به رودخانه انجام گرفت. تجزیه پساب‌ها و لجن نشان داد که غلظت عناصر مختلف آنها در محدوده مجاز استانداردهای مربوطه می‌باشد. هیچ‌کدام از تیمارها در گیاه ذرت و نیز تیمار پساب خروجی هوادم‌ها در گندم و جو نتوانست نیاز گیاهان را به عنصر نیتروژن تأمین نماید. همه تیمارها نیاز گندم به فسفر را تأمین نمودند، ولی در مورد ذرت در هیچ‌کدام از تیمارها و در مورد جو در تیمارهای پساب خروجی هوادم‌ها، سرریز تصفیه پساب و خروجی به رودخانه نیاز گیاه به فسفر برآورده نشد. غلظت عناصر کم مصرف و سنگین در گیاهان در تیمارهای دارای لجن و پساب‌های صنعتی بیشتر از تیمار آب چاه بود. عملکرد وزن خشک اندام هوایی و ریشه در تیمار آب چاه+ لجن در تمام گیاهان بالاترین مقدار را به خود اختصاص داد. کاربرد پساب‌ها در مقایسه با آب چاه سبب افزایش عملکرد وزن خشک اندام هوایی گیاهان شد.

واژه‌های کلیدی: پساب صنعتی، لجن فاضلاب، فلزات کم مصرف و سنگین، گندم، جو، ذرت

مقدمه

است (۴ و ۱۳). طرح‌های استفاده از فاضلاب و پساب در مقیاس وسیع هم‌اکنون در کشورهای صنعتی و در حال توسعه در حال اجرا است (۷). به طور کلی فاضلاب به ضایعات

ارزش فاضلاب و پساب به عنوان منابع تأمین‌کننده نیاز گیاهان به آب و عناصر غذایی در پژوهش‌های متعدد نشان داده شده

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و دانشیاران خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. دانشیار باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳. کارشناس کارخانه پلی‌اکریل ایران

بخش جامد فاضلاب یا لجن به دلیل وجود عناصر غذایی مورد نیاز گیاه مانند نیتروژن، فسفر و هم‌چنین ماده آلی فراوان به عنوان کودی ارزان قیمت مورد توجه کشاورزان قرار گرفته است (۱۴، ۲۲ و ۲۳). به طور متوسط ۳۰ میلیون تن لجن فاضلاب سالانه در جهان تولید می‌شود که حدود ۲۱ میلیون تن آن به عنوان کود به زمین‌های کشاورزی اضافه می‌گردد (۱۵).

استفاده از لجن فاضلاب نیز اثرات متفاوتی بر عملکرد محصولات می‌گذارد. چنگ و همکاران در یک تحقیق گلخانه‌ای نشان دادند افزودن لجن فاضلاب شهری به میزان ۸۰ تن در یک هکتار خاک اسیدی سبب افزایش بیش از حد غلظت برخی از عناصر در گیاه و کاهش شدید عملکرد چغندر قند گردید (۱۰). هم‌چنین در پژوهش دیگری که در ایالت ویرجینیای غربی در آمریکا انجام شد، مشخص گردید افزایش سطوح مختلف لجن باعث اضافه شدن وزن توده زنده گندمیان (Grass) ولی کاهش آن در گیاهان لگوم (Legume) شد (۲۲). در مطالعه دیگری که در آن از لجن به مدت دو سال در مزرعه ذرت استفاده شد تولید ذرت ۷۹ تن در هکتار افزایش یافت (۲۶).

پساب و لجن فاضلاب دارای مقادیر زیادی از عناصر کم مصرف و فلزات سنگین نیز می‌باشند. هنگامی که این مواد به زمین اضافه می‌شوند، گیاه این عناصر را نیز جذب می‌کند. جذب عناصر کم مصرف و فلزات سنگین به مقدار زیاد به وسیله گیاه می‌تواند سبب آلودگی زنجیره غذایی انسان و دام شود. برای پیشگیری از جذب بیش از حد فلزات سنگین توسط گیاه برخی از کشورها و هم‌چنین سازمان حفاظت محیط زیست و سازمان بهداشت جهانی قوانینی وضع کرده‌اند و حدودی را نیز برای غلظت عناصر و ویژگی‌های مختلف پساب‌ها مقرر نموده‌اند (۹ و ۲۱).

در این پژوهش با هدف بررسی امکان استفاده از پساب و لجن تولید شده از فاضلاب‌های کارخانه پلی‌اکریل در کشاورزی، اثر پساب‌ها و لجن مذکور بر غلظت عناصر مختلف و عملکرد وزن خشک در سه گیاه زراعی گندم، جو و ذرت که

حاصل از مصرف آب در زندگی روزمره انسان (مصرف صنعتی، کشاورزی و خانگی) گفته می‌شود که دارای ترکیبی حدود ۹۹/۹ درصد آب و ۰/۱ درصد مواد جامد می‌باشد (۲). بخش جامد، لجن فاضلاب و بخش مایع تحت عنوان پساب شناخته می‌شود.

پساب دارای مقادیر زیادی از عناصر غذایی است که می‌تواند در کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته و سبب افزایش عملکرد محصول نیز گردد. عزیزاده طی بررسی آثار فاضلاب بر رشد کاهو، هویج و گوجه فرنگی نشان داد که استفاده از پساب سبب افزایش عملکرد شد (۴). هم‌چنین در پژوهش دیگری که روی گندم، باقلا، برنج، سیب‌زمینی و پنبه صورت گرفت مشاهده شد که بهره‌گیری از فاضلاب برای آبیاری در مقایسه با آب شربی که حاوی کودهای نیتروژنی، پتاسیم و فسفر بود عملکرد بیشتری را سبب شده است (۱). در آزمایشی که روی ذرت، سورگوم و آفتابگردان انجام شد، مشخص گردید مقدار عملکرد محصولات آبیاری شده با پساب در مقایسه با آبیاری با آب شیرین همراه با کود، بیشتر است (۱۸). در مطالعه‌ای که در هندوستان برای بررسی تأثیر کاربرد فاضلاب و پساب بر عملکرد چند محصول زراعی صورت گرفت، گزارش شد عملکرد گیاهان تحت آبیاری با انواع پساب و فاضلاب بیشتر از گیاهان تحت آبیاری با آب شیرین + کود بود. در بسیاری از این پژوهش‌ها اشاره شده که علاوه بر اضافه شدن عناصر غذایی خاک توسط آبیاری با پساب‌ها و فاضلاب‌ها، مواد آلی موجود در آنها نیز پس از ورود به وسیله میکروارگانیسم‌ها تجزیه شده و باعث افزایش هوموس خاک و در نهایت بهبود خواص فیزیکی-شیمیایی و حاصلخیزی خاک می‌شود (۷ و ۸). البته مواردی از کاهش عملکرد محصول درختان میوه هسته دار و مرکبات در اثر آبیاری با پساب نسبت به آبیاری با آب چاه + کود گزارش شده است. کاهش عملکرد نیز می‌تواند در اثر افزایش غلظت املاح موجد شوری و یا تجمع عناصر سمی در خاک و گیاه باشد (۳ و ۲۱).

جدول ۱. تعدادی از ویژگی‌های شیمیایی خاک مورد آزمایش

مقدار	واحد	ویژگی
۸/۲	—	pH (عصاره اشباع)
۲/۱۶	dS/m	ECe
۱/۲۱	%	OM
۰/۱۵	%	N کل
۲/۷	%	K قابل جذب
۳۵	mg/kg	P قابل جذب
۲۱	"	Fe عصاره‌گیری با DTPA
۲/۵	"	Zn
۲۳	"	Mn
۲/۷	"	Cu
۰/۴۸	"	Co
۰/۹۸	"	Ni
۳/۱	"	Pb

سمسون در ۱۵ کیلومتری جنوب غربی کارخانه پلی‌اکریل برداشت شد. برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک مورد استفاده در جدول ۱ نشان داده شده است.

خاک مذکور در گلدان‌های سه کیلوگرمی برای کشت گندم، جو و ذرت مورد استفاده قرار گرفت. آزمایش گلدانی به صورت طرح آماری کاملاً تصادفی در چهار تکرار و پنج تیمار برای هر گیاه در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد. با استفاده از آبیاری سطحی رطوبت خاک گلدان‌ها در طول دوره رشد گیاه در حدود ظرفیت زراعی تأمین شد. نمونه برداری از گندم و ذرت ۵۵ روز و از جو ۸۷ روز بعد از کاشت انجام گرفت. پس از برداشت گیاهان، اندام هوایی و ریشه از هم جدا شدند. سپس نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد در آون خشک شده و وزن آنها اندازه‌گیری شد. نمونه‌های خشک شده به وسیله آسیاب به صورت پودر درآمده و یک گرم از آن در کوره الکتریکی به مدت چهار ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد خاکستر شد. سپس خاکستر به دست آمده به وسیله ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک دو مولار عصاره‌گیری شد و جهت

در منطقه از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشند مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

پساب‌ها و لجن مورد استفاده در این طرح مربوط به کارخانه پلی‌اکریل ایران واقع در ۴۵ کیلومتری جنوب غربی شهر اصفهان می‌باشند. پساب‌ها شامل پساب خروجی هوادم‌ها مربوط به برج‌های خنک‌کننده (Colling tower) با دبی ۶ تا ۱۰ مترمکعب در ساعت، پساب سرریز تصفیه پساب بادبی ۸۰ تا ۱۰۰ مترمکعب در ساعت و پساب خروجی به رودخانه بادبی ۱۰۰ مترمکعب در ساعت بودند. لجن فاضلاب نیز از نوع صنعتی و هضم شده به روش هوازی است. در این طرح آب چاه دستگرد به عنوان آب کشاورزی منطقه جهت تیمار شاهد مورد استفاده قرار گرفت. تیمارهای اعمال شده شامل آب چاه، آب چاه + لجن (۵۰ تن در هکتار)، پساب‌های خروجی هوادم‌ها، سرریز تصفیه پساب و خروجی به رودخانه بود. خاک مورد استفاده از نظر رده بندی فلوونتییک هاپلوکمبیدز (Fluentic haplocambids) می‌باشد و از منطقه‌ای به نام

تصفیه و هم‌چنین خروجی به رودخانه دارای محدودیت می‌باشند که در استفاده از آنها به عنوان آبیاری باید به مشکلات ناشی از تجمع املاح در خاک توجه داشت. غلظت عناصر غذایی اصلی مانند فسفر، کلسیم، منیزیم و پتاسیم در پساب‌ها قابل توجه بوده، ضمن این که برطبق استاندارد سازمان محیط زیست ایران در محدوده مجاز جهت استفاده آبیاری و کشاورزی قرار دارد (۵). غلظت نیترات و سولفات در پساب‌های خروجی به رودخانه و سرریز تصفیه پساب نسبتاً بالا بوده و در گیاهان حساس می‌تواند ایجاد محدودیت نماید (۵ و ۸). غلظت عناصر کم مصرف و سنگین پساب‌ها نیز برطبق استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست ایران و USEPA کمتر از سطح محدود کننده بوده بنابراین پساب‌های مورد بحث برای کشاورزی قابل استفاده می‌باشند (۵ و ۸). به طور کلی غلظت عناصر کم مصرف و سنگین در آب چاه کمترین و در پساب‌های خروجی به رودخانه و سرریز تصفیه پساب مقدار بیشتری را نشان دادند. تنها فلزات روی و مس در پساب خروجی هوادها بیشترین مقدار را داشتند.

ویژگی‌های شیمیایی لجن مورد استفاده

برخی از ویژگی‌های شیمیایی لجن مورد استفاده در جدول ۴ نشان داده شده است. این ترکیب دارای حدود ۲۱ درصد مواد آلی می‌باشد که می‌تواند اثرات مطلوبی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و نهایتاً رشد و عملکرد گیاه داشته باشد (۱۳، ۲۰ و ۲۵). لجن مورد مطالعه به ترتیب دارای ۰/۷، ۲/۴ و ۰/۱۵ درصد نیتروژن کل، فسفر کل و پتاسیم محلول است. بنابراین با اضافه کردن ۵۰ تن لجن در هکتار به ترتیب حدود ۳۵۰، ۱۲۰۰ و ۷۵ کیلوگرم در هکتار از این عناصر به خاک اضافه می‌گردد که می‌تواند سهم به‌سزایی در تأمین نیاز گیاهان داشته باشد. البته انتظار می‌رود بخش عمده نیتروژن و فسفر لجن به صورت آلی بوده که از طریق فرایندهای زیستی به تدریج معدنی شده و در اختیار گیاه قرار می‌گیرند (۱۷).

در کاربرد لجن فاضلاب به عنوان کود، غلظت عناصر

اندازه‌گیری عناصر کم مصرف و سنگین، فسفر، پتاسیم و سدیم مورد استفاده قرار گرفت (۲۷). جهت اندازه‌گیری ECE، pH، سدیم، کلسیم، منیزیم، پتاسیم، کلروکربنات محلول لجن به دلیل جاذب الرطوبه بودن این ماده از عصاره یک به پنج لجن و آب استفاده شد. به منظور عصاره‌گیری غلظت کل عناصر کم مصرف و سنگین در لجن از مخلوط اسیدپرکلریک ۷۰ درصد و اسید نیتریک غلیظ به نسبت دو به یک استفاده گردید (۱۲). غلظت عناصر کم مصرف و سنگین در گیاه، پساب‌ها و لجن به وسیله دستگاه جذب اتمی پراکین المر ۳۰۳۰، فسفر آنها به وسیله روش رنگ سنجی و با استفاده از دستگاه اسپکترونیک ۲۰ مدل هیتاچی و پتاسیم و سدیم آنها توسط دستگاه فلیم فتومتر کرنیک مدل ۴۱۰/۳۰۳۰ اندازه‌گیری گردید (۱۶). برای اندازه‌گیری مواد آلی لجن از روش اکسیداسیون تر استفاده شد. کلرید پساب‌ها، لجن و خاک از روش تیتراسیون با محلول ۰/۰۲۵ مولار نیترات نقره در مجاورت معرف کرومات پتاسیم و کربنات و بی‌کربنات با تیتراسیون به وسیله اسید سولفوریک ۰/۰۵ مولار در مجاورت معرف فنل فتالئین اندازه‌گیری گردید. سولفات موجود در پساب‌ها به روش کدورت سنجی و نیترات نیز به وسیله الکتروود نیترات اندازه‌گیری شد (۱۱).

نتایج و بحث

ویژگی‌های شیمیایی پساب‌ها

به منظور بررسی کیفیت پساب‌ها جهت پرورش گیاه، برخی از ویژگی‌های شیمیایی مانند ویژگی‌های مربوط به شوری و قلیائیت، برخی از عناصر غذایی اصلی و کم مصرف و هم‌چنین فلزات سنگین آن اندازه‌گیری شد که نتایج آن در جدول‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. از نظر بیشتر ویژگی‌های مربوط به شوری و قلیائیت برطبق استانداردهای USEPA (United States Environmental Protection Agency) و FAO (Food and Agriculture Organization) پساب‌های مورد آزمایش در محدوده‌های مجاز و قابل استفاده قرار دارند (۸ و ۲۵). البته از نظر غلظت کل املاح، پساب‌های سرریز

جدول ۲. برخی از ویژگی های شیمیایی آب و پساب های مورد آزمایش^۱

NO ₃ ⁻	P	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	Cl ⁻	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	TDS	SAR	EC	pH	نوع آب یا پساب
----- (mg/L) -----														
----- (mM) ^{1/2} -----														
۹/۷	۰/۲۶	۱۱۵/۴	۲۱۴/۳	۲۷/۸	۸۹	۱/۴۲	۸۲/۵۴	۲۸/۷	۷۶/۲	۶۶۶	۴/۵	۱	۸/۴	آب چاه
۱۹	۰/۴۴	۷۱۰/۹	۱۹۴	۵۵/۵	۱۳۷	۲/۳۲	۱۳۶/۱	۵۲/۷	۱۳۲/۹	۱۳۰۹	۶/۳	۲/۱	۸/۶	خروجی هوادم ها
۱۶۵/۱	۰/۵۱	۹۷۷/۹	۱۱۰/۶	۴/۵	۱۱۸/۹	۲۷/۸	۳۶۶/۱	۱۷/۹	۲۷۹/۸	۲۰۳۵	۱۳	۳/۲	۷/۹	سرریز تصفیه پساب
۱۴۹/۹	۰/۶۲	۱۰۴۰/۲	۱۲۵/۸	۳	۳۴۶/۳	۲۲/۵۳	۴۶۵/۱	۴۷/۴	۲۸۷/۱	۲۴۸۴	۱۵/۵	۳/۹	۷/۹	خروجی به رودخانه

۱. میانگین چهار نوبت نمونه برداری

جدول ۳. میانگین غلظت عناصر کم مصرف و فلزات سنگین آب چاه و پساب های مورد آزمایش

Co	Cd	Pb	Ni	Zn	Mn	Cu	Fe	نوع آب یا پساب
ND	ND	ND	ND [†]	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	آب چاه
ND	ND	۰/۰۱	ND	۱/۲۱	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۶	خروجی هوادم ها
۰/۰۲	ND	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۴۵	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۳۴	سرریز تصفیه پساب
۰/۰۶	ND	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۷	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۳	خروجی به رودخانه

†: کمتر از حد تشخیص دستگاه

جدول ۴. ترکیب شیمیایی لجن فاضلاب کارخانه پلی اکریل ایران

مقدار	واحد	ویژگی
۶/۷	-	pH (عصاره ۱:۵)
۸/۳	dS/m	EC (عصاره ۱:۵)
۰/۷	%	نیترژن کل
۲/۴	"	فسفر
۰/۱۵	"	پتاسیم
۰/۲۵	"	سدیم
۰/۲۰	"	کلسیم
۰/۲۰	"	منیزیم
۰/۱۸	"	کلر
۰	"	کربنات
۱/۱۲	"	بی کربنات
۲۱/۱۲	"	مواد آلی
۲۸۴۰	mg/kg	آهن کل
۳۴۰	"	روی کل
۳۳۵	"	منگنز کل
۵۵	"	کبالت کل
۱۰	"	کادمیوم کل
۵	"	نیکل کل
۹۵	"	سرب کل
۸۵	"	مس کل

غلظت عناصر در گیاه

الف) نیترژن

غلظت نیترژن کل ماده خشک اندام هوایی گیاهان گندم، جو و ذرت به ترتیب در جدول‌های ۵، ۶ و ۷ نشان داده شده است. حد بحرانی کمبود نیترژن در گندم و جو حدوداً ۲/۶ و در ذرت ۳ درصد پیشنهاد شده است (۶). غلظت نیترژن کل در گندم برای تیمار پساب‌های خروجی هوادها و خروجی به رودخانه کمی پایین‌تر از حد بحرانی آن است ولی در سه تیمار دیگر بالاتر از حد بحرانی می‌باشد (جدول ۵). در جو فقط تیمار پساب خروجی هوادها از لحاظ میزان نیترژن کمی پایین‌تر از حد بحرانی است، ولی در ذرت در تمام تیمارها

سنگین و کم مصرف مورد توجه بیشتری قرار دارد، زیرا استفاده دراز مدت از این ماده می‌تواند موجب تجمع این عناصر و در نهایت آلودگی خاک و سرایت آن به زنجیره غذایی انسان و حیوان گردد. مقایسه غلظت عناصر مذکور در لجن مورد آزمایش (جدول ۴) با استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (۹) نشان می‌دهد که غلظت این عناصر در لجن فاضلاب مورد آزمایش در محدوده مجاز بوده و کاربرد آن مشکل‌زا نخواهد بود. از طرفی با اضافه کردن ۵۰ تن لجن در هکتار به ترتیب حدود ۱۴۲، ۱۷، ۱۶/۷ و ۴ کیلوگرم از عناصر آهن، روی، منگنز و مس به خاک اضافه خواهد شد که انتظار می‌رود حداقل بخشی از نیاز گیاه را تأمین نماید.

جدول ۵. غلظت (%) برخی عناصر پر مصرف و سدیم در ماده خشک اندام هوایی گندم

تیما	N	P	K	Na
آب چاه	۲/۹ ^{b*}	۰/۳ ^a	۲/۲۶ ^a	۰/۲۷ ^a
آب چاه + لجن	۳/۱ ^b	۰/۳۱ ^a	۲/۶ ^b	۰/۵۸ ^b
خروجی هوادها	۲/۴ ^a	۰/۲۷ ^a	۲/۳ ^a	۰/۵۴ ^{ab}
سرریز تصفیه پساب	۳/۱ ^b	۰/۲۳ ^a	۲/۵ ^{ab}	۱/۴ ^c
خروجی به رودخانه	۲/۵ ^a	۰/۲۵ ^a	۲/۲۷ ^a	۲ ^d

*: میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند در سطح ۵٪ آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول ۶. غلظت (%) برخی عناصر پر مصرف و سدیم در ماده خشک اندام هوایی جو

تیما	N	P	K	Na
آب چاه	۲/۶ ^{a*}	۰/۲۳ ^a	۳/۵ ^a	۰/۷ ^a
آب چاه + لجن	۳/۲ ^b	۰/۴۳ ^a	۳/۳۸ ^a	۰/۹۸ ^b
خروجی هوادها	۲/۵ ^a	۰/۱۸ ^a	۴/۲۸ ^b	۰/۷ ^a
سرریز تصفیه پساب	۳/۲ ^b	۰/۱۸ ^a	۳/۹۷ ^{ab}	۱/۲ ^b
خروجی به رودخانه	۳/۱ ^b	۰/۱۸ ^a	۳/۷ ^{ab}	۱/۰۶ ^b

*: میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند در سطح ۵٪ آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار ندارند.

جدول ۷. غلظت (%) برخی عناصر پر مصرف و سدیم در ماده خشک اندام هوایی ذرت

تیما	N	P	K	Na
آب چاه	۱/۱ ^{a*}	۰/۲۱ ^a	۲/۱۱ ^b	۰/۰۷ ^a
آب چاه + لجن	۱/۴ ^a	۰/۲۱ ^a	۱/۸۹ ^a	۰/۱۰ ^a
خروجی هوادها	۱/۲ ^a	۰/۱۹ ^a	۲/۱۷ ^b	۰/۱۴ ^a
سرریز تصفیه پساب	۲/۷ ^b	۰/۲۳ ^a	۲/۵۳ ^c	۰/۶ ^b
خروجی به رودخانه	۲/۴ ^b	۰/۲۴ ^a	۲/۱۹ ^b	۰/۷ ^b

*: میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند در سطح ۵٪ آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار ندارند.

می‌توانند نقش بسزایی در تأمین نیتروژن گیاه داشته باشند (۳، ۴، ۸، ۱۸ و ۲۰). حداقل نیمی از نیتروژن موجود در پساب و لجن به شکل‌های آلی بوده که به صورت تدریجی و پس از معدنی شدن در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. آزاد شدن تدریجی نیتروژن می‌تواند هرزروی این عنصر به شکل‌های مختلف را

غلظت نیتروژن کمتر از حد بحرانی بود (جدول‌های ۶ و ۷). بنابراین به نظر می‌رسد در شرایط آزمایش، کاربرد کودهای شیمیایی جهت تأمین نیاز نیتروژنی ذرت الزامی است. تحقیقات مختلف نیز نشان می‌دهند پساب و لجن فاضلاب به دلیل دارا بودن شکل‌های مختلف نیتروژن به ویژه ترکیبات آلی این عنصر

۷). البته غلظت اولیه پتاسیم خاک (جدول ۱) نیز در حد قابل توجهی زیاد بوده (۶) که می‌تواند دلیل این امر باشد. از نظر غلظت پتاسیم در گندم بین تیمارهای آب چاه، پساب‌های خروجی هوادم‌ها و خروجی به رودخانه با تیمار پساب سرریز تصفیه پساب تفاوتی مشاهده نشد ولی سه تیمار یاد شده با تیمار آب چاه+ لجن تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ نشان دادند. در جو نیز بین تیمارهای آب چاه، آب چاه + لجن با تیمار پساب خروجی هوادم‌ها اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ مشاهده شد ولی دو تیمار یاد شده با تیمارهای پساب سرریز تصفیه و پساب خروجی به رودخانه تفاوت معنی‌داری نشان ندادند. در ذرت سه تیمار آب چاه، خروجی هوادم‌ها و خروجی به رودخانه تفاوت معنی‌داری با همدیگر ندارند ولی دو تیمار دیگر تفاوت معنی‌داری را در سطح ۵٪ با یکدیگر و این سه تیمار نشان می‌دهند. در مجموع به نظر می‌رسد با توجه به غلظت کم پتاسیم در پساب‌ها و لجن مورد استفاده در مقایسه با غلظت این عنصر در خاک، پساب و لجن از نظر تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه نقش چندانی نداشته باشند.

د) سدیم

تیمارهای مختلف پساب و لجن فاضلاب غلظت سدیم گیاه را نسبت به آب چاه افزایش داده‌اند. این افزایش در گیاهان تحت تیمار پساب سرریز تصفیه و نیز پساب خروجی به رودخانه بیشتر از سایر تیمارها بود (جدول‌های ۵، ۶ و ۷) و با بقیه تیمارها در اکثر موارد تفاوت معنی‌دار نشان داد. به طور کلی یک روند مثبت بین غلظت سدیم در پساب‌ها و غلظت آن در گیاهان تحت تیمارهای مختلف مشاهده شد (جدول‌های ۲، ۵، ۶ و ۷). پساب‌ها و لجن فاضلاب به دلیل شوری زیاد عموماً دارای غلظت نسبتاً زیاد سدیم می‌باشند (۲۴). بنابراین در کاربردهای کشاورزی مخصوصاً در پرورش گیاهان حساس، غلظت این عنصر در خاک و گیاه، باید مورد توجه قرار گیرد (۸).

کاهش دهد که این پدیده نیز اهمیت کاربرد پساب و لجن در کشاورزی را بیشتر می‌سازد. البته آنچه مسلم است بسیاری از فاضلاب‌ها نمی‌توانند به تنهایی نیاز غذایی گیاهان را به عناصر پرمصرف از جمله نیتروژن تأمین نمایند. بنابراین در این گونه موارد کاربرد آنها با مقادیر متناسب از کودهای شیمیایی جهت تأمین نیاز غذایی گیاه باید مورد توجه قرار گیرد (۲۴). به طور کلی کاربرد لجن و پساب سبب افزایش میزان نیتروژن کل گیاه گردید. گرچه موارد نیاز گیاه تنها به صورت نسبی تأمین شده است.

ب) فسفر

غلظت فسفر کل اندام هوایی گیاهان در جدول‌های ۵، ۶ و ۷ نشان داده شده است. در سه گیاه مورد کشت اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ بین تیمارها دیده نشد. حدود بحرانی کمبود فسفر در گندم و جو ۰/۲۰ - ۰/۱۵ درصد و در ذرت ۰/۳۲ - ۰/۱۵ درصد پیشنهاد شده است (۶). غلظت فسفر گندم در تمام تیمارها بالاتر از حدود بحرانی و در جو در گیاهان تحت تیمار پساب‌های خروجی هوادم‌ها، سرریز تصفیه پساب و خروجی به رودخانه و در ذرت برای همه تیمارها در محدوده بحرانی قرار دارد. احتمالاً به دلیل زیاد بودن نسبی سطح اولیه فسفر خاک (جدول ۱) تیمارهای پساب و لجن نتوانسته‌اند تأثیری در افزایش غلظت فسفر گیاهان داشته باشند (۶). از طرفی گیاه ذرت با داشتن زیست توده بیشتر، در شرایط کشت گلدانی با محدودیت بیشتری از نظر حجم ریشه و تأمین عناصر غذایی روبه‌رو بوده و غلظت فسفر در این گیاه در محدوده بحرانی می‌باشد.

ج) پتاسیم

غلظت بحرانی پتاسیم در گندم و جو ۱/۸ و ذرت ۱/۹ درصد است (۶). در هر سه گیاه یاد شده در تمام تیمارها غلظت پتاسیم بالاتر از حد بحرانی است و تیمارها نتوانسته‌اند نیاز گیاه را به این عنصر غذایی برآورده کنند (جدول‌های ۵، ۶ و

ه) عناصر کم مصرف و سنگین

غلظت تعدادی از عناصر کم مصرف و فلزات سنگین در ماده خشک اندام هوایی و ریشه گیاهان در جدول های ۸ تا ۱۳ نشان داده شده است. غلظت عناصر کم مصرف و سنگین در گیاهان تحت تیمارهای دارای لجن و پساب های صنعتی در اکثر موارد بیشتر از تیمار آب چاه می باشد (جدول های ۸ تا ۱۳). غلظت عناصر کم مصرف و سنگین در اندام هوایی گندم اکثراً در تیمارهای آب چاه + لجن بیشتر از تیمارهای دیگر بود (جدول ۸). لجن فاضلاب به دلیل دارا بودن ماده آلی فراوان تأثیر بسزایی در افزایش قابلیت جذب فلزات کم مصرف و سنگین در خاک دارد. هم چنین فلزات موجود در لجن نیز عمدتاً به صورت ترکیبات آلی بوده که دارای قابلیت جذب زیادی می باشند و غلظت قابل توجهی را در گیاه ایجاد خواهند نمود (۱۹، ۲۰ و ۲۲). در ریشه گندم غلظت این عناصر به دلیل غیر پویا بودن اکثراً بیش از اندام هوایی بود (مقایسه جداول ۸ و ۹). در اندام هوایی جو به غیر از دو عنصر آهن و روی در بقیه عناصر اختلاف معنی داری در سطح ۵٪ بین تیمارها وجود نداشت (جدول ۱۰). غلظت آهن و روی در اندام هوایی جو و در بیشتر عناصر در ریشه این گیاه معمولاً در تیمار پساب خروجی به رودخانه بالاترین مقدار را نشان داد. در اندام هوایی ذرت نیز عموماً تیمار پساب خروجی به رودخانه بیشترین غلظت عناصر کم مصرف و سنگین را دارا بود و تیمار آب چاه کمترین غلظت را داشت (جدول ۱۲). در ریشه این گیاه نیز تیمارهای پساب خروجی به رودخانه و یا سرریز تصفیه پساب بیشترین غلظت این عناصر را داشت (جدول ۱۳). در مقایسه با حدود پیشنهادی پیس و جونز (۱۹۹۷) (جدول ۱۴) غلظت عناصر کم مصرف و سنگین در اندام هوایی سه گیاه تحت تیمارهای مختلف در محدوده سمی و یا کمبود قرار نداشت (جدول ۱۴).

عملکرد ماده خشک

عملکرد وزن خشک اندام هوایی گندم در تیمار آب چاه + لجن بیشترین مقدار بود و با تیمارهای دیگر تفاوت معنی دار در سطح

۵٪ نشان داد، در حالی که کمترین عملکرد وزن خشک مربوط به تیمار آب چاه بود (جدول ۱۵). در اندام هوایی جو نیز بیشترین عملکرد مربوط به تیمار آب چاه + لجن و کمترین مربوط به آب چاه بود. در ریشه این گیاه بیشترین عملکرد وزن خشک مربوط به تیمار خروجی هوادمها بود. در اندام هوایی ذرت نیز بیشترین وزن خشک مربوط به تیمار آب چاه + لجن و مقادیر کمتری مربوط به تیمارهای آب چاه و خروجی به رودخانه بود.

به طور کلی عملکرد وزن خشک اندام هوایی و ریشه در تیمار آب چاه + لجن تقریباً در بیشتر موارد بالاترین مقدار را نشان داد. این افزایش عملکرد احتمالاً به دلیل نیتروژن و فسفر موجود در لجن و هم چنین وجود مواد آلی لجن که باعث بهبود شرایط خاک جهت رشد بهتر گیاهان می شود می باشد (۳، ۱۷، ۲۰ و ۲۲).

نتیجه گیری

پساب ها و لجن مورد آزمایش حاوی مقادیر قابل توجه تعدادی از عناصر غذایی بوده که می تواند در تأمین نیاز گیاهان زراعی مفید باشد. هم چنین پساب های مورد آزمایش از نظر شوری و قلیائیت بر طبق استانداردهای USEPA و FAO در محدوده های مجاز و قابل استفاده قرار دارند. غلظت عناصر کم مصرف و فلزات سنگین اندازه گیری شده در این مواد نیز بر طبق استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست ایران و USEPA کمتر از سطح محدود کننده بوده بنابراین پساب ها و لجن مورد آزمایش از نظر پارامترهای اندازه گیری شده برای کشاورزی قابل استفاده می باشند.

کاربرد پساب ها و لجن فاضلاب، غلظت نیتروژن گیاهان آزمایشی را افزایش داد به طوری که در گندم و جو در مقایسه با حدود بحرانی معرفی شده، نیاز گیاه به نیتروژن تأمین گردید ولی در مورد ذرت به دلیل نیاز بیشتر گیاه استفاده از کود شیمیایی نیز به همراه این مواد باید توجه قرار گیرد. کاربرد پساب ها و لجن بر غلظت فسفر و پتاسیم گیاهان تأثیری

جدول ۸. غلظت (mg/kg) عناصر کم مصرف و سنگین در ماده خشک اندام هوایی گندم

Pb	Ni	Co	Cu	Mn	Zn	Fe	تیمار
ND	ND	ND [†]	۱۳/۵ ^a	۳۱ ^a	۱۸/۵ ^a	۳۴۴/۳ ^{a*}	آب چاه
۱/۸ ^b	۳ ^b	۰/۲۵	۲۲/۳ ^b	۳۶/۴ ^a	۴۱/۲۵ ^c	۵۷۸ ^c	آب چاه + لجن
۰/۵ ^a	۱ ^a	ND	۱۳ ^a	۳۸/۴ ^a	۲۸ ^b	۳۶۷/۸ ^a	خروجی هوادم‌ها
۱/۸ ^b	۳/۳ ^b	ND	۱۸/۳ ^b	۳۲/۶ ^a	۳۸/۸ ^c	۴۷۸/۸ ^b	سرریز تصفیه پساب
ND	۲/۳ ^{ab}	ND	۲۰/۳ ^b	۳۶/۵ ^a	۳۸ ^c	۳۸۳/۵ ^a	خروجی به رودخانه

*: میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند در سطح ۰/۵٪ آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار ندارند.
†: کمتر از حد تشخیص دستگاه

جدول ۹. غلظت (mg/kg) عناصر کم مصرف و سنگین در ماده خشک ریشه گندم

Pb	Ni	Co	Cu	Mn	Zn	Fe	تیمار
ND	۷ ^{ab}	۰/۵ ^a	۴۲ ^a	۹۴ ^a	۵۶ ^a	۳۲۰۶ ^{b*}	آب چاه
۲/۳	۱۱/۴ ^{bc}	۱ ^a	۵۱ ^a	۱۱۰ ^a	۵۶/۳ ^a	۳۴۹۷/۵ ^c	آب چاه + لجن
ND	۳ ^a	۱/۵ ^a	۳۹/۸ ^a	۸۰/۸ ^a	۷۵ ^b	۲۳۲۳ ^a	خروجی هوادم‌ها
ND	۱۳/۳ ^c	ND [†]	۵۱ ^a	۱۱۶/۳ ^a	۶۸/۸ ^{ab}	۳۸۸۰ ^d	سرریز تصفیه پساب
ND	۱۱/۸ ^{bc}	ND	۵۰ ^a	۹۵ ^a	۷۱/۳ ^{ab}	۴۱۸۷ ^e	خروجی به رودخانه

*: میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند در سطح ۰/۵٪ آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار ندارند.
†: کمتر از حد تشخیص دستگاه

جدول ۱۰. غلظت (mg/kg) عناصر کم مصرف و سنگین در ماده خشک اندام هوایی جو

Pb	Ni	Co	Cu	Mn	Zn	Fe	تیمار
۲/۳ ^a	۲/۵ ^a	ND [†]	۲۱/۵ ^a	۵۸ ^a	۲۴ ^a	۱۱۹۸ ^{a*}	آب چاه
۵ ^a	۵ ^a	۰/۵ ^a	۲۷ ^a	۸۹ ^a	۴۶ ^{bc}	۱۲۶۹ ^a	آب چاه + لجن
۳/۵ ^a	۳ ^a	ND	۲۱ ^a	۶۵ ^a	۳۸ ^b	۱۲۱۰ ^a	خروجی هوادم‌ها
۱/۳ ^a	۴ ^a	۰/۲۵ ^a	۲۶ ^a	۶۹ ^a	۵۱ ^c	۱۱۹۴ ^a	سرریز تصفیه پساب
۲/۵ ^a	۴/۵ ^a	ND	۲۵ ^a	۷۳ ^a	۵۳/۵ ^c	۱۸۷۵ ^b	خروجی به رودخانه

*: میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند در سطح ۰/۵٪ آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار ندارند.
†: کمتر از حد تشخیص دستگاه

جدول ۱۱. غلظت (mg/kg) عناصر کم مصرف و سنگین در ماده خشک ریشه جو

Pb	Ni	Co	Cu	Mn	Zn	Fe	تیمار
۵/۸ ^a	۱۶ ^a	۲/۸ ^{ab}	۳۶ ^a	۹۵ ^a	۳۰/۵ ^a	۵۱۹۰ ^{a*}	آب چاه
۷/۳ ^a	۱۴ ^a	۱/۸ ^a	۳۲/۵ ^a	۱۱۱ ^{ab}	۳۲ ^a	۵۲۷۲ ^a	آب چاه + لجن
۱۲/۵ ^b	۲۰/۵ ^b	۵/۳ ^b	۳۳/۵ ^a	۱۳۱ ^b	۴۰ ^b	۵۸۱۵ ^b	خروجی هوادم‌ها
۷ ^a	۱۶/۵ ^a	۳/۸ ^{ab}	۴۷ ^b	۱۱۴ ^{ab}	۴۹/۵ ^c	۵۴۷۴ ^a	سرریز تصفیه پساب
۱۰/۸ ^{ab}	۲۵ ^c	۴ ^{ab}	۵۹ ^c	۱۵۶ ^c	۵۸ ^d	۸۹۷۲ ^c	خروجی به رودخانه

*: میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند در سطح ۵٪ آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار ندارند.

جدول ۱۲. غلظت (mg/kg) عناصر کم مصرف و سنگین در ماده خشک اندام هوایی ذرت

Pb	Ni	Co	Cu	Mn	Zn	Fe	تیمار
ND	ND	ND [†]	۱۰/۵ ^a	۳۶ ^a	۲۱ ^a	۱۴۲ ^{a*}	آب چاه
ND	ND	ND	۱۲ ^a	۴۱ ^{ab}	۲۲ ^a	۱۴۵ ^a	آب چاه + لجن
ND	ND	ND	۱۱ ^a	۳۸ ^a	۲۶ ^a	۲۱۸ ^b	خروجی هوادم‌ها
ND	۱/۳ ^a	۰/۲۵ ^a	۱۷ ^b	۵۶ ^b	۴۹ ^b	۲۱۵ ^b	سرریز تصفیه پساب
۲/۵	۲/۵ ^a	۰/۵ ^a	۲۰ ^c	۷۴ ^c	۵۳ ^b	۲۸۹/۵ ^c	خروجی به رودخانه

*: میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند در سطح ۵٪ آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار ندارند.

†: کمتر از حد تشخیص دستگاه

جدول ۱۳. غلظت (mg/kg) عناصر کم مصرف و سنگین در ماده خشک ریشه ذرت

Pb	Ni	Co	Cu	Mn	Zn	Fe	تیمار
۲/۵ ^a	۱۱/۸ ^a	۱ ^a	۲۹ ^a	۶۹ ^a	۲۸/۵ ^{ab}	۳۶۳۰ ^{b*}	آب چاه
۱/۳ ^a	۱۴ ^{ab}	۲/۳ ^{ab}	۳۱/۵ ^a	۹۴ ^a	۲۶ ^a	۴۳۷۸ ^c	آب چاه + لجن
۵/۳ ^{ab}	۱۴ ^{ab}	۲/۸ ^{ab}	۳۰ ^a	۸۴ ^a	۳۲ ^{bc}	۳۳۶۰ ^a	خروجی هوادم‌ها
۸ ^b	۱۹/۵ ^c	۳/۸ ^{ab}	۴۰ ^{ab}	۹۳/۵ ^a	۳۴/۵ ^c	۵۳۹۸ ^d	سرریز تصفیه پساب
۴/۸ ^{ab}	۱۶/۵ ^{bc}	۵ ^b	۴۷/۵ ^b	۸۱ ^a	۳۴ ^c	۳۷۲۷ ^b	خروجی به رودخانه

*: میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند در سطح ۵٪ آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار ندارند.

جدول ۱۴. غلظت (mg/kg) معمول بعضی از فلزات در ماده خشک اندام هوایی گیاهان

عنصر	کمبود	کافی یا طبیعی	سمی یا زیاد
Cd	-	۰/۰۵ - ۰/۲	۵ - ۳۰
Co	-	۰/۰۲ - ۱	۱۵ - ۲۰
Cu	۲-۵	۵ - ۳۰	۲۰ - ۱۰۰
Mn	۱۰-۳۰	۳۰ - ۳۰۰	۴۰۰ - ۱۰۰۰
Ni	-	۰/۱ - ۵	۱۰ - ۱۰۰
Pb	-	۵ - ۱۰	۳۰ - ۳۰۰
Zn	۱۰ - ۲۰	۲۷ - ۱۵۰	۱۰۰ - ۴۰۰

برگرفته از منبع شماره ۱۹

جدول ۱۵. اثر تیمارها بر عملکرد وزن خشک (گرم در گلدان)

گیاه تیمار	گندم		جو		ذرت	
	ریشه	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی
آب چاه	۰/۵ ^a	۱/۹ ^{a*}	۲/۷ ^a	۷/۶ ^a	۲/۶ ^a	۱۵/۴ ^a
آب چاه + لجن	۰/۷ ^b	۳/۲ ^d	۳/۴ ^b	۱۳/۲ ^c	۴ ^c	۲۵/۴ ^c
خروجی هوادمها	۰/۵ ^a	۲/۶ ^c	۴/۷ ^c	۹/۹ ^{ab}	۳/۴ ^b	۱۶/۴ ^{ab}
سر ریز تصفیه پساب	۰/۶ ^b	۲/۵ ^{bc}	۳/۸ ^b	۱۱/۳ ^{bc}	۴/۲ ^c	۱۹ ^b
خروجی به رودخانه	۰/۵ ^a	۲/۱ ^{ab}	۳/۸ ^b	۱۱/۴ ^{bc}	۳/۴ ^b	۱۵/۱ ^a

*: میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند در سطح ۵٪ آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار ندارند.

حدودی در اثر کاربرد پساب‌ها و لجن افزایش یافته است گرچه در مقایسه با حدود معرفی شده به محدوده سمیت نرسیده است.

عملکرد وزن خشک گیاهان در اثر کاربرد پساب‌ها و لجن افزایش یافت، گرچه گیاهان متفاوت پاسخ متفاوتی داشتند. تیمار آب چاه + لجن بیشترین عملکرد را در هر سه نوع گیاه آزمایشی تولید نمود که احتمالاً به دلیل وجود عناصر غذایی و هم‌چنین مواد آلی لجن می‌باشد که باعث بهبود شرایط عمومی خاک جهت رشد بهتر گیاهان شده است.

نداشت که احتمالاً به دلیل سطح کافی این عناصر در خاک و هم‌چنین غلظت نسبتاً کم آنها در پساب و لجن مورد آزمایش می‌باشد. کاربرد پساب‌ها غلظت سدیم گیاهان را به طور معنی‌داری افزایش داد که در استفاده از پساب برای آبیاری گیاهان حساس به شوری باید مورد توجه قرار گیرد. غلظت عناصر Fe، Zn، Mn و Cu در گیاهان آزمایشی در اثر کاربرد پساب‌ها و لجن افزایش یافت. بیشترین غلظت این عناصر در تیمار آب چاه + لجن مشاهده شد که احتمالاً به دلیل افزایش قابلیت جذب این فلزات توسط مواد آلی لجن در خاک می‌باشد. غلظت عناصر Ni، Pb و Co نیز تا

سپاسگزاری

فلوریا محمدی برای همکاری در انجام این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌شود.

بدین وسیله از مسئولین محترم کارخانه پلی اکریل ایران برای تأمین بخشی از هزینه‌ها و مواد این پژوهش و نیز خانم مهندس

منابع مورد استفاده

۱. بینا، ب (مترجم). ۱۳۷۲. مطالعه اثر زمان - درجه حرارت بر روی مرگ و میر باکتری‌ها در سیستم تصفیه فاضلاب. آب و فاضلاب ۱۱: ۸-۲.
۲. حسینیان، م. ۱۳۷۵. اصول طراحی تصفیه خانه‌های فاضلاب شهری. انتشارات شهر آب،
۳. صفری سنجانی، ع. ۱۳۷۴. پیامد آبیاری با پساب بر برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک‌های ناحیه برخوار اصفهان و انباشتگی برخی عناصر در گیاه یونجه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۴. علیزاده، ا. ۱۳۷۵. استفاده از پساب تصفیه خانه‌های فاضلاب در آبیاری محصولات کشاورزی. هفته نامه شهر آب. انتشارات شرکت مهندسی آب و فاضلاب، شماره ۴.
۵. معاونت تحقیقاتی سازمان حفاظت محیط زیست. ۱۳۷۱. استاندارد خروجی فاضلاب‌ها. انتشارات دفتر آموزش زیست محیطی،
۶. ملکوتی، م. و نفیسی، م. (مترجم) ۱۳۷۳. مصرف کود در اراضی زراعی. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
۷. وکیلی، ب. (مترجم) ۱۳۷۴. تصفیه فاضلاب و استفاده مجدد آن در کشاورزی. آب و فاضلاب ۱۶: ۴۲-۴۷.
8. Ayers, R. S. and D. E. W. Westcot. 1985. Water Quality for Agriculture. 29 Rev. 1, FAO, Rome.
9. Chaney, R. L. 1989. Scientific analysis of proposed sludge rule. Biocycle. 30: 80-85
10. Chang, A. C., A. L. Page and F. T. Bingham. 1981. Chemical composition of wastewater sludge. J. WPCF.53 (2): 237-243
11. Chapman, H. D and P. F. Praff. 1961. Methods of analysis for soil, plant and water. University of California, Division of Agricultural Science.
12. Clup, P. L. and G. L. Clup. 1978. Advance Wastewater Treatment. 2nd ed., Van - Nostr and Rienhold Pub., New York.
13. Glauser, R., H. E. Doner and E. A. Poul. 1988. Soil aggregate stability as a function of particle size in sludge treated soils. Soil Sci. 146:37-43.
14. Gouin, F. R. 1985. Growth of hardy chrysanthemums in containers of media amended with composted municipal sewage sludge. J. Environ. Hort. 3:53-55
15. Hassan, D. G. and M. Mishra. 1994. Influence of Cd on carbon and nitrogen mineralization in sewage sludge amended soil. Environ. Poll. 84: 285 - 290
16. Knudsen, D. and G. A. Peterson. 1990. Lithium, sodium and potassium. In: Page, A. L. (Ed.), Method of soil analysis. 2nd ed., Agron. Soc. Monger., ASA, Madison, W.I.
17. Mahidia, U. N. 1981. Water pollution and disposal of wastewater on land. Teta - McGrowhill Pub., USA.
18. Monte, H. M. and M. S. Esousa. 1992. Effects on crop of irrigatian with facultative pound effluent. Wat. Sci. Techol. 26 (7-8): 1606-1613.
19. Pais, I. J. and B. J. Jones. 1997. The Hand Book of Trace Elements. St. Luice Press, N. W., Baca, Roton, Florida.
20. Saber, M. S. M. 1986. Prolong effect of land disposal of human wastes on soil conditions. Wat. Sci. Tech. 18: 371-374.
21. Singh, B. R. and E. Steinnes. 1994. Soil and water contamination by heavy metals. PP. 233-271. In: R. Lal and B. A. Stewarts (Eds.), Soil Processes, CRC Press, USA.
22. Skousen, J. and C. Clinger. 1991. Sewage sludge land application program in West Virginia. J. Soil and Water Cons. 48(2): 145 - 151.
23. Smith, S. R. 1992. Sewage sludge and refuse composts as peat alternatives for conditioning impoverished soil. J. Hort. Sci. 67: 703-716.

24. Sommers, L. E., D. W. Nelson and K. J. Yost. 1976. Variable nature of chemical composition of sewage sludge. J. Environ. Qual. 5(3): 303-306.
25. United State Environmental Protection Agency. 1992. Guidline for water reuse. EPA/ 625/ R - 92 /004.
26. Vlamis, J., D. E. William, K. Fong and J. E. Corey. 1978. Metal uptake by barley from field plots fertilized with sludge. Soil Sci. 126 (1): 49-55.
27. Westerman, R. E. L. 1990. Soil Testing and Plant Analysis. SSSA, Madison, Wisconsin, USA.