علوم و تکنولوژی محیط زیست ، دوره شانزدهم، شماره دو ، تابستان ۹۳

بررسی برخی ویژگی‌های کیفی و غلظت عناصر سنگین در لجن فاضلاب خشک شده تصفیه‌خانه شاهین‌شهر اصفهان

حمیدرضا رحمانی[1*]

Rahmani.hrhr@gmail.com

مسعود معیری[2]

زهره مظاهری کوهانستانی[3]

نرجس خدابخش[4]

حسین شریفی[5]

تاریخ دریافت:۹۲/۱۰/۲ تاریخ پذیرش:۹۳/۲/۱۴

چکیده

زمینه و هدف: استفاده از لجن فاضلاب در زمین یکی از مهم‌ترین روش‌های دفع لجن می‌باشد که باعث استفاده بهینه مواد غذایی موجود در لجن می‌شود. اما وجود آلاینده‌ها و ارگانیسم‌های پاتوژن در آن برای سلامت عمومی خطرناک است که بایستی پیش از استفاده مورد ارزیابی قرار بگیرد. این تحقیق، با هدف بررسی کیفیت لجن خشک شده تصفیه‌خانه فاضلاب شاهین‌شهر از نظر غلظت عناصر سنگین انجام گرفت.

روش بررسی: نمونه‌برداری از لجن خشک تصفیه‌خانه فاضلاب شاهین‌شهر (با سه تکرار) به صورت فصلی در سال ۹۲-۱۳۹۱ انجام و غلظت برخی فلزات سنگین در کنار پارامترهای شیمیایی و میکروبی لجن با استفاده از روش‌های DTPA، جذب اتمی و روش معمول اندازه‌گیری شد. نتایج با استفاده از آزمون t با حدود استاندارد مقایسه و تغییرات فصلی با استفاده از آنالیز واریانس یک طرفه و آزمون دانکن برای مقایسه میانگین‌ها بررسی شد.

۱- عضو هیأت علمی موسسه تحقیقات خاک و آب کشور، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، بخش آب و خاک *(مسئول مکاتبات).

۲- دانشیار گروه ژئومرفولوژی دانشکده علوم جغرافیا و برنامه ریزی دانشگاه اصفهان

۳- دانشجوی دکتری بوم‌شناسی آبزیان، دانشکده شیلات، مرتع و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۴- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی همدان و عضو باشگاه پژوهشگران جوان

۵- کارشناس آزمایشگاه بخش تحقیقات آب و خاک مرکز مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، بخش آب و خاک

Archive of SID

www.SID.ir

یافته‌ها: مقادیر کلیفرم مدفوعی و کل در هیچ گروهی از استانداردها واقع نشده و استفاده مجدد با شرایط فعلی از نظر بهداشتی محدودیت دارد. مقادیر pH، جامدات کل، مواد آلی و رطوبت در دامنه مقادیر معمول قرار داشت. تغییرات فصلی ترکیب لجن نشان داد، بهترین وضعیت از نظر کم بودن غلظت قابل جذب عناصر مربوط به فصل زمستان بوده است. بیش‌ترین بارسالیانه عناصر از نظر غلظت قابل جذب مربوط به عنصر آهن و کمترین آن مربوط به عنصرکروم بود. با توجه به نتایج غلظت کل عناصر سنگین، اکثر فلزات اندازه‌گیری شده به استثنای روی، سرب و مس کمترین غلظت را در زمستان و بیشترین غلظت را به استثنای آرسنیک، روی و مس در بهار و تابستان داشتند.
بحث و نتیجه‌گیری: کلیه عناصر مورد بررسی در لجن و بار سالیانه آن‌ها به استثنای آرسنیک دارای غلظت زیر حد مجاز بود. بار سالیانه آرسنیک حدود ۱/۶ کیلوگرم در هکتار می‌باشد که اگر چه از حد مجاز میزان بار سالیانه کم‌تر است، اما به علت نزدیک بودن به آن بایستی مورد توجه قرار بگیرد.

واژه های کلیدی: تصفیه‌خانه شاهین‌شهر، کلیفرم مدفوعی و کل، عناصر سنگین، لجن خشک، محدوده مجاز.

مقدمه

امروزه، مدیریت لجن، با توسعه تصفیه خانه‌های فاضلاب اعم از احداث واحدهای تصفیه‌خانه جدید و یا بهبود تأسیسات موجود، به یکی از بحرانی‌ترین موضوعات زیست‌محیطی، تبدیل شده است (۱). در ایالات متحده سالانه ۷ میلیون تن، در اتحادیه اروپا ۸ میلیون تن، در ژاپن ۳/۵ میلیون تن، در تایوان۰/۲ میلیون تن، در کره ۲/۴۳ میلیون تن جامدات خشک و تنها در یکی از شهرهای ترکیه روزانه ۲۲۰ تا ۳۳۰ مترمکعب لجن تولید می‌شود (۴-۲).

مطالعات انجام یافته توسط فرزادکیا و همکاران (۵) بر روی چهار تصفیه‌خانه فاضلاب در شهر تهران که به روش هوادهی گسترده لجن فعال کار می‌کردند، نشان داد که این لجن‌ها در اکثر موارد، خام و تثبیت نشده به محیط دفع می‌شود. نتایج تحقیقات دیگر در سال ۱۳۷۹ بر روی لجن‌های دفعی از تصفیه خانه‌های فاضلاب اصفهان نیز نشان داد که هاضم‌های بی‌هوازی تصفیه‌خانه شاهین‌شهر تنها قادر به تأمین مقررات کاهش سازمان حفاظت محیط زیست پاتوژن در گروه B هستند، این در حالی است که هاضم‌های بی‌هوازی تصفیه خانه جنوب آمریکا، هیچ یک از معیارهای استفاده مجدد را تامین نمی‌نمایند (۶).

دفع لجن فاضلاب یکی از مشکلات زیست‌محیطی است که جوامع امروزی با آن مواجهند. از طرفی این ماده سرشار از مواد مغذی مورد نیاز گیاهان مثل نیتروزن و فسفر بوده، می‌تواند اثرات مثبتی بر عملکرد گیاهان، خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک داشته باشد (۹-۷). بنابراین پیشنهاد استفاده از لجن فاضلاب در زمین‌های کشاورزی پیشنهاد خوبی به نظر می‌رسد، چرا که از یک طرف مشکل دفع این ماده برطرف شده و از طرف دیگر این ماده به عنوان یک کود آلی ارزشمند مورد استفاده قرار گرفته است (۱۰). اما لجن فاضلاب دارای باکتری‌ها، ویروس‌ها و سایر میکروارگانیزم‌های مولد بیماری و یا فلزات سنگین و ترکیبات آلی سمی نیز می‌باشد که استفاده از آن می‌تواند سبب آلودگی محصولات کشاورزی و تهدید سلامت انسان و حیوان شود (۱۱). لذا لازم است کلیه مقادیر عناصر آن در حد مجاز باشد. یکی از مشکلات یاد شده قابلیت دسترسی فلزات سنگین در خاک و آلودگی آب های زیرزمینی توسط این فلزات می‌باشد که وابسته به غلظت کل آن‌ها در محلول خاک است. اما در غلظت‌های مساوی این فلزات در محلول خاک هم ممکن است قابلیت‌های جذب گیاهی متفاوتی مشاهده شود که این امر به دلیل تفاوت در توزیع گونه‌های فلزات در محلول خاک است (۱۳-۱۲).

غالباً فاضلاب‌های صنعتی و آب‌های باران زهکشی شده از خیابان‌ها و معابر به مجاری جمع‌آوری فاضلاب وارد می‌شود. بنابراین لجن فاضلاب علاوه بر مواد آلی حاوی میزان کمی از آلاینده‌هایی است که در جوامع مدرن استفاده می‌شود (۱۷-۱۴) که این عناصر شیمیایی می‌تواند هم برای گیاهان و

Archive of SID

www.SID.ir

حیوانات هم مفید و هم مضر باشد. بنابر این لازم است که میزان آن‌ها کنترل شود (۱۸). زیرا از عوامل مهم و تعیین کننده کیفیت لجن برای مصارف مختلف هستند (۱۹).

در ایران نیز تا پایان سال ۸۱ تعداد ۵۰ تصفیه خانه شهری در سطح کشور در حال بهره برداری بوده که در پایان سال ۸۲ تعداد آن‌ها به ۷۵ تصفیه‌خانه افزایش پیدا کرده است که به معنی افزایش روز افزون میزان لجن تولیدی است و باید راهکارهایی برای دفع مناسب آن یافت (۲۰). گزینه‌های مختلفی برای دفع نهایی لجن وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها، سوزاندن، دفع در محل‌های دفن بهداشتی و استفاده در کشاورزی است. علاوه بر روش‌های یاد شده، روش‌های جدیدی نیز در سال‌های اخیر گسترش پیدا کرده است که می‌توان استفاده از لجن به عنوان ماده خام برای تولید آفت‌کش‌ها اشاره نمود (۲۱). با وجود این، استفاده در زمین، همچنان یکی از متداول‌ترین روش‌های موجود دفع لجن در بسیاری از کشورها محسوب می‌شود. برای به کارگیری لجن تصفیه‌خانه‌های شهری در کشاورزی مسایل مختلفی مانند نحوه تصفیه لجن، فاصله تصفیه‌خانه از اراضی مورد نظر، عوامل اجتماعی موثر و سایر عوامل باید مورد مطالعه دقیق قرار بگیرد، تا حتی‌الامکان از بروز مسایل بهداشتی و زیست‌محیطی جلوگیری شود (۲۲، ۲۳). بنابراین با توجه به افزایش روزافزون واحدهای تصفیه‌خانه، ارزش مواد مغذی لجن به عنوان کود در کشاورزی و لزوم سنجش ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و میکروبی لجن پیش از استفاده، این مطالعه با هدف بررسی کیفیت لجن خشک شده تصفیه‌خانه فاضلاب شاهین‌شهر از نظر غلظت عناصر سنگین انجام گرفت.

روش بررسی

این تحقیق در سال ۱۳۹۲-۱۳۹۱ در تصفیه‌خانه فاضلاب شاهین‌شهر با ظرفیت ۲۴۸۲۰ هزار متر مکعب انجام یافت. نمونه‌برداری از لجن تولیدی خشک شده به صورت فصلی از پاییز ۱۳۹۱ تا تابستان ۱۳۹۲ صورت گرفت. نمونه‌ها در ظروف استریل ۴۰۰ میلی لیتری برداشت و برای جلوگیری از تغییر وضعیت نمونه‌ها و حفظ شرایط واقعی تا انتقال به آزمایشگاه در شرایط مناسب از نظر درجه حرارت (بین صفر تا ۴ درجه سانتی‌گراد) نگه‌داری شد (۲۵-۲۴).

برای نمونه‌های جمع‌آوری شده در این تحقیق پارامترهای کلیفرم مدفوعی، کلیفرم کل(۲۶)، pH به روش معمول(۲۷)، درصد جامدات کل، مواد آلی(۲۸)، رطوبت و غلظت عناصر سنگین سرب، کادمیم، نیکل، مس، آهن، منگنز، روی، کبالت، کروم و آرسنیک مورد بررسی قرار گرفتند. غلظت قابل جذب عناصر سنگین به روش DTPA (۲۹) و غلظت کل عناصر سنگین پس از عصاره کشی اسید کلریدریک و اسید نیتریک با دستگاه جذب اتمیک به روش کوره گرافیت اندازه-گیری شد (۳۰). برای بالابردن دقت اندازه‌گیری، کلیه آزمایش‌های این تحقیق تکرار و برای هر فصل، ۳ نمونه مورد آزمایش قرار گرفت. در خاتمه داده‌های مورد نظر با استاندارد EPA، با استفاده از نرم افزار آماری SPSS 17 و آزمون t در سطح ۵٪ مقایسه شد. همچنین مقایسه فصلی عناصر سنگین کل و قابل جذب با استفاده از آنالیز واریانس یک طرفه (One Way Anova) و آزمون دانکن برای مقایسه میانگین‌ها انجام گرفت.

یافته‌ها

دامنه مقادیر و میانگین pH، درصد جامدات کل، مواد آلی و رطوبت نمونه‌ها در جدول ۱ ارایه شده است. مطابق جدول، دامنه تغییرات pH برابر ۷-۶/۳، درصد جامدات کل برابر ۶۳/۴ – ۶۱/۸، درصد ماده آلی ۴۵/۸ – ۲۲/۷ و درصد رطوبت برابر ۳۸/۲ – ۳۶/۶ بود. مقایسه مقادیر با مقادیر استاندارد خصوصیات ذکر شده نشان داد، پارامترهای ذکر شده اختلاف معنی‌داری را در سطح ٪۵ نشان نداده و در دامنه مقادیر معمول قرار داشتند. بنابراین کاربرد لجن از این نظر برای مصارف مختلف از جمله مصرف به عنوان کود در کشاورزی محدودیتی ندارد (P>۰/۰۵).

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- میانگین مقادیر پارامترهای فیزیکی لجن در تصفیه‌خانه فاضلاب شاهین‌شهر

پارامتر	pH	درصد جامدات کل	درصد مواد آلی	درصد رطوبت
میانگین مقادیر نمونه ها	۶/۶۶±۰/۲۴	۶۲/۶۲±۰/۶۵	۳۷/۰۵±۹/۵۳	۳۷/۳۸±۰/۶۵
دامنه مقادیر نمونه ها	۶/۳ – ۷	۶۱/۸ – ۶۳/۴	۲۲/۷ – ۴۵/۸	۳۶/۶ – ۳۸/۲
بینا و همکاران (۱۳۸۳)	۶ - ۹	۵۰ -۷۰	۲۵ -۵۰	۳۰- ۵۰
آماره t	-۱/۸۸۹	۰/۵۳۸	-۰/۱۶۸	-۰/۵۳۸
P value	۰/۰۸۸ n.s	۰/۶۱۴ n.s	۰/۸۷۳ n.s	۰/۶۱۴ n.s

n.s نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار میانگین مقادیر با محدوده مجاز می‌باشد (P>۰/۰۵).

میانگین و دامنه مقادیر غلظت قابل جذب عناصر سنگین مختلف در جدول ۲ ارایه شده است. ۲ در لجن مورد بررسی، حداقل میانگین غلظت قابل جذب عناصر سنگین برای سرب، کبالت، کروم، آهن، منگنز، و روی در فصل تابستان، برای نیکل در فصل پاییز و برای مس و کادمیم در فصل زمستان اتفاق افتاده است. در مقابل بیش‌ترین میانگین غلظت قابل جذب عناصر سنگین برای سرب، کبالت، نیکل و آهن در زمستان و برای منگنز، روی، مس، کادمیم و کروم در پاییز اندازه‌گیری شده است.

مقایسه مقادیر غلظت فلزات قابل جذب در فصول مختلف اختلاف معنی‌داری به جز در مقدار آهن مشاهده نشد، به طوری که غلظت قابل جذب آن در در زمستان به طور معنی‌داری بیشتر از دیگر فصول بود (P<۰/۰۵).

میزان بار سالیانه غلظت عناصر سنگین قابل جذب با توجه به کاربرد ۱۵ تن در هکتار لجن در اراضی کشاورزی در سال با توجه به جدول ۲ برابر ۰/۱۰۷، ۰/۰۱، ۰/۰۱۴، ۰/۰۰۷، ۰/۱۰۰، ۴/۴۵، ۰/۶۰۲، ۰/۷۶۵، ۰/۳۷۲ کیلوگرم در هکتار به ترتیب برای سرب، کادمیم، کبالت، کروم، نیکل، آهن، منگنز، روی و مس بوده است. بیش‌ترین بارسالیانه مربوط به عنصر آهن و کم‌ترین آن مربوط به عنصرکروم بود.

جدول ۲- میانگین و دامنه غلظت قابل جذب عناصر سنگین لجن(mg/kg) در تصفیه‌خانه فاضلاب شاهین‌شهر در فصول مختلف

عنصر	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	کل	میزان بار سالیانه با کاربرد ۱۵ تن در هکتار لجن (kg/ha/year)
Pb	۶/۱۰-۱۰/۷ ۸/۵۵ ±۱/۰۴ [a]	۵/۲۵-۶/۱۰ ۵/۶۸ ±۰/۶[a]	۵/۶-۹/۴۵ ۷/۳۵± ۱/۹۵ [a]	۶/۳۵-۹/۷ ۸/۳۲±۱/۷۵ [a]	۵/۲۵-۱۰/۷ ۷/۵۴±۱/۸	۰/۱۰۷
Cd	۰/۵۱-۰/۵۵ ۰/۵۳±۰/۰۳ [a]	۰/۵۵-۰/۶۰ ۰/۵۸±۰/۰۴[a]	۰/۴۵-۰/۷۵ ۰/۵۸±۰/۱۵ [a]	۰/۴۵-۰/۵۰ ۰/۴۸±۰/۰۳ [a]	۰/۴۵-۰/۷۵ ۰/۵۵±۰/۱	۰/۰۱

Archive of SID

www.SID.ir

Co	۰/۸۲-۱/۰۸ ۰/۹۵±۰/۲ a	۰/۸۴-۰/۸۷ ۰/۸۵±۰/۰۰ a	۰/۶۵-۱/۱ ۰/۹۲±۰/۲۳ a	۰/۷-۱/۳ ۰/۹۷±۰/۳۱ a	۰/۶۵-۱/۳ ۰/۹۱±۰/۲۱	۰/۰۱۴
Cr	۰/۵-۰/۵۵ ۰/۵۳±۰/۰۴ a	۰/۳۵-۰/۴۰ ۰/۳۸±۰/۰۴ a	۰/۴-۰/۶۵ ۰/۵۲±۰/۱۲ a	۰/۴۵-۰/۵ ۰/۴۷±۰/۰۳ a	۰/۳۵-۰/۶۵ ۰/۴۸±۰/۰۹	۰/۰۰۷
Ni	۶/۸-۶/۹ ۶/۹±۰/۰۰ a	۶/۳۵-۶/۹۰ ۶/۶۳±۰/۳۹ a	۴/۹-۷/۸ ۶/۲۲±۱/۴۷ a	۶/۵۰-۷/۴۵ ۷/۰۸±۰/۵۲ a	۴/۹-۷/۸ ۶/۶۹±۰/۹۳	۰/۱۰
Fe	۲۰۱/۴-۳۴۰/۸ ۲۷۱/۱±۹۸/۵۸ ab	۱۰۳-۲۱۰ ۱۵۶/۵±۷۵/۶۶ a	۱۸۷/۵-۴۱۰ ۳۳۵±۱۲۷/۷۴ a b	۳۵۷/۵-۴۶۰ ۳۹۷/۵±۵۴/۸۳ b	۱۰۳-۴۶۰ /۲۷±۱۲۸/۸۶ ۳۰۵	۴/۴۵
Mn	۳۵-۴۳/۱ ۳۹/۱±۵/۷۲ a	۳۵/۱-۳۹/۱ ۳۷/۱±۲/۸۳ a	۳۹/۸-۴۷/۵ ۴۳/۲۷±۳/۹ a	۳۴/۵-۴۶ ۳۹/۹۳±۵/۸۶ a	۳۴/۵-۴۷/۵ ۴۰/۲±۴/۷	۰/۶۰۲
Zn	۴۹-۵۱/۴ ۵۰/۲±۱/۷ a	۴۵/۵-۴۷/۸ ۴۶/۶۵±۱/۶۳ a	۵۱/۶-۵۷/۲ ۵۴/۱±۲/۸۵ a	۴۷/۲-۵۷/۷ ۵۲/۲۳±۵/۲۶ a	۴۵/۵-۵۷/۷ ۵۱/۲۷±۴/۵۲	۰/۷۶۵
Cu	۱۲-۳۹ ۲۵/۵±۱۹/۱ a	۱۷/۳-۳۹ ۲۸/۱۵±۱۵/۳۴ a	۸/۱-۶۴/۷ ۳۰/۱۳±۳۰/۲ a	۵/۵-۳۰/۷ ۱۶/۰۷±۱۳/۰۸ a	۵/۵-۶۴/۷ ۲۴/۷۸±۱۹/۷۹	۰/۳۷۲

حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌دار میانگین مقادیر در فصول مختلف می‌باشد (P<۰/۰۵).

جدول ۳ دامنه مقادیر و میانگین غلظت کل عناصر سنگین مختلف را در فصول مختلف ارایه می‌کند. طبق این جدول بیشترین میانگین غلظت کل عناصر سنگین برای کبالت، سرب، نیکل در فصل بهار، برای آهن، منگنز، کادمیم، کروم و نیکل در فصل تابستان و برای آرسنیک در فصل پاییز و برای روی و مس در فصل زمستان در نمونه های لجن اندازه‌گیری شده است. در مقابل کم‌ترین میانگین غلظت برای کبالت، کادمیم، کروم، نیکل، آهن، منگنز و آرسنیک در فصل زمستان، سرب و مس در فصل تابستان و روی در فصل بهار به دست آمده است. با توجه به نتایج بیش‌ترین عناصر به استثنای روی ، سرب و مس کم‌ترین میانگین غلظت خود را در لجن در فصل زمستان و بیش‌ترین عناصر، بیشترین میانگین غلظت خود را به استثنای آرسنیک، روی و مس در بهار و تابستان نشان داده است. این تغییرات برای مقادیر غلظت کل فلزات Cd، Co، Cr، Ni و عنصر آرسنیک به صورت معنی‌دار مشاهده شد (P<۰/۰۵). این عنصر به جز در فصل زمستان در سایر فصول غلظت آن از حد مجاز ۴۱ میلی‌گرم در کیلوگرم بالاتر بوده و آلاینده محسوب می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳- میانگین و دامنه مقادیر غلظت کل (mg/kg)

عناصر سنگین لجن تصفیه‌خانه فاضلاب شاهین‌شهر در فصول مختلف

عنصر	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	کل
Pb	۱۰-۲۰ ۱۵±۶/۰۷ a	۷/۸۸-۸/۰۶ ۷/۹۷±۰/۱۳ a	۵/۴۶-۱۴/۰۹ ۸/۳۶±۴/۹۶ a	۵/۰۷-۱۱/۰۶ ۸/۰۶±۲/۹۹ a	۵/۰۷-۲۰ ۹/۸۵±۴/۶۲
Cd	۰/۷-۰/۹ ۰/۷۵±۰/۱۴ bc	۰/۹۱-۱/۲ ۱/۰۶±۰/۲۱ c	۰/۱۹-۰/۴۸ ۰/۳۱±۰/۱۵ a	۰/۵۲-۰/۷۸ ۰/۶۵±۰/۱۳ ab	۰/۱۹-۱/۲ ۰/۶۹±۰/۳۱
Co	۲۶/۱-۳۰/۵ ۲۹/۴±۳/۱ b	۲۷/۱-۲۷/۵ ۲۷/۲۵±۰/۲۸ ab	۲۲/۹۰-۲۹/۵۴ ۲۶/۳۷±۳/۳۳ ab	۲۲/۰۴-۲۲/۶۹ ۲۲/۳۷±۰/۳۳ a	۲۲/۰۴-۳۰/۵ ۲۶/۳۵±۳/۰۸
Cr	۲-۴ ۳±۱/۴۱ a	۱۲-۱۸ ۱۵±۴/۲۴ c	۹-۱۱ ۱۰±۰/۲۵ b	< LOD a	۰ -۱۸ ۷±۵/۲۱
Ni	۱۶±۰/۰۰ b	۱۶±۰/۷۱ b	< LOD a	< LOD a	۱۶±۰/۷۱
Fe	۵۳۵۲-۶۴۰۰ ۵۸۷۶±۷۴۱/۰۵ a	۵۳۷۲-۶۴۰۰ ۵۸۸۶ a	۵۳۹۸-۶۱۸۸ ۵۷۷۲ a	۵۳۵۲-۵۹۹۰ ۵۵۸۴ a	۵۳۵۲-۶۴۰۰ ۵۷۷۹/۵
Mn	۲۴۰-۴۴۰ ۳۴۰±۳۴۰ a	۲۶۰-۴۴۰ ۳۵۰±۱۲۷/۲۸ a	۲۲۰-۳۳۴ ۲۶۳/۳۳±۶۱/۷۲ a	۲۴۰-۲۹۰ ۲۶۱/۳۳±۲۵/۷۹ a	۲۲۰-۴۴۰ ۳۰۳/۶۵±۸۲/۷۷
Zn	۴۶۴-۶۲۴ ۵۴۴±۱۱۳/۱۴ a	۴۶۴-۶۸۸ ۵۷۶±۱۵۹/۳۹ a	۵۰۶-۷۷۴ ۶۲۷/۳±۱۳۵/۷۸ a	۶۲۴-۷۷۶ ۶۸۱/۳±۸۲/۵۹ a	۵۰۶-۷۷۶ ۶۰۷/۱۵±۱۱۳/۱۲
Cu	۱۴۰-۲۵۰ ۱۹۵±۷۷/۷۸ a	۱۴۰-۲۰۴ ۱۷۲±۴۵/۲۵ a	۱۶۲-۲۳۶ ۱۹۱/۳±۳۹/۳۱ a	۲۳۶-۲۵۰ ۲۴۲/۷±۷/۰۳ a	۱۴۰ -۲۵۰ ۲۰۰/۲۵±۴۵/۲۹
As*	۱/۹-۲ ۱/۹۵±۰/۰۷ ab	۱/۹۵-۲/۰۹ ۲/۰۲±۰/۰۹ b	۱/۹-۲/۵۶ ۲/۲۲±۰/۳۳ b	۰/۶۹-۱/۵۲ ۱/۲۴±۰/۴۵ a	۰/۶۹-۲/۵۶ ۱/۸۳±۰/۵

حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌دار میانگین مقادیر در فصول مختلف می‌باشد($P<۰/۰۵$). * از داده‌های لگاریتم غلظت استفاده شده است.

جدول ۴ حدود مجاز غلظت عناصر سنگین در لجن فاضلاب طبق استاندارد EPA 503 را ارایه می‌کند. در این جدول ستون دوم حد مجاز عنصر در لجن، ستون سوم حد میزان بار سالیانه عنصر در لجن و ستون چهارم حدکثر غلظت آلاینده در اثر استفاده از لجن را نشان می‌دهد.

مقایسه غلظت میانگین داده‌ها با حد مجاز EPA نشان داد کلیه عناصر سنگین مورد بررسی در لجن به استثنای آرسنیک به طور معنی‌داری دارای غلظت زیر حد مجاز بوده و محدودیتی نداشتند ($P<۰/۰۱$). هرچند این مقایسه در سطح ۵٪ برای عنصر آرسنیک نیز به طور غیرمعنی‌دار مشاهده شد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۴- مقایسه غلظت فلزات سنگین در لجن تصفیه‌خانه فاضلاب شاهین‌شهر با حدود مجاز طبق استاندارد EPA 503

عنصر	غلظت درلجن (mg/kg)	غلظت استاندارد (mg/kg)	P value	غلظت بارسالیانه (kg/ha/year)	استاندارد بار سالیانه (kg/ha/year)	P value	استاندارد حداکثر آلاینده در لجن (mg/kg)
Pb	۹/۸۵	۳۰۰	۰/۰۰ **	۰/۱۴۸	۱۵	۰/۰۰ **	۳۰۰
Cd	۰/۶۹	۳۹	۰/۰۰ **	۰/۰۱	۱/۹	۰/۰۰ **	۸۵
Co	۲۶/۳۵	۱۵۰۰	۰/۰۰ **	۰/۴۰	-	-	-
Cr	۷	۱۲۰۰	۰/۰۰ **	۰/۱۱	۱۵۰	۰/۰۰ **	-
Ni	۱۶	۴۲۰	۰/۰۰ **	۰/۱۲	۲۱	۰/۰۰ **	۴۲۰
Fe	۵۷۷۹/۵	-	-	۸۶/۷	-	-	-
Mn	۳۰۳/۶۵	-	-	۴/۵۵	-	-	-
Zn	۶۰۷/۱۵	۲۸۰۰	۰/۰۰ **	۹/۱۱	۱۴۰	۰/۰۰ **	۲۸۰۰
Cu	۲۰۰/۲۵	۱۵۰۰	۰/۰۰ **	۳/۰	۷۵	۰/۰۰ **	۱۵۰۰
As	۱۰۸/۰۳	۴۱	۰/۰۷۱ n.s	۱/۶۲	۲	۰/۰۲۲*	۷۵

n.s نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار میانگین مقادیر با محدوده مجاز و ** نشان دهنده اختلاف معنی‌دار می‌باشد($P<۰/۰۱$).

میانگین جمعیت کلیفرم کل و مدفوعی نمونه‌های لجن در فصول مختلف در جدول ۵ ارایه شده است. با توجه به داده‌ها، در فصل تابستان کم‌ترین مقدار و در فصل زمستان بیش‌ترین کلیفرم کل و مدفوعی دیده شد. استاندارد EPA تعیین می‌کند که برای کاربرد لجن در اراضی کشاورزی اگر تعداد کلیفرم آن زیر ۱۰۰۰ باشد، استفاده از لجن بدون محدودیت (گروه A) است، اما اگر تعداد کلیفرم لجن بین ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰۰۰(گروه B) باشد، کاربرد آن با محدودیت-هایی همراه است. در صورتی‌که تعداد کلیفرم لجن از تعداد ۲۰۰۰۰۰۰ فراتر رود لجن تولیدی با این تعداد کلیفرم نمی‌تواند در اراضی کشاورزی به کار رود.

جدول ۵ - میانگین جمعیت کلیفرم لجن تصفیه‌خانه فاضلاب شاهین‌شهر در فصول بهار، تابستان و زمستان

فصل	کلیفرم کل(MPN/g)	کلیفرم گوارشی(MPN/g)
بهار	۲۴۰×۱۰^{۸}	۹۳×۱۰^{۸}
تابستان	$۱۴۶/۳ \times ۱۰^{۲}$	$۱۴۶/۳ \times ۱۰^{۲}$
زمستان	۴۶۰×۱۰^{۸}	۲۴۰×۱۰^{۸}
میانگین	۲۳۳×۱۰^{۸}	۱۱۱×۱۰^{۸}

در مقایسه نتایج با حدود EPA مشخص شد به جز فصل بهار که تعداد کلیفرم‌های آن بیش از ۱۰۰۰ و کم‌تر از ۲۰۰۰۰۰۰ است و در گروه B قرار گرفته، لجن با اعمال محدودیت‌هایی در اراضی کشاورزی قابل استفاده است، اما در سایر فصول تعداد کلیفرم آن از مرز ۲۰۰۰۰۰۰ گذشته و قابلیت استفاده در کشاورزی را ندارد.

Archive of SID

www.SID.ir

بحث و نتیجه‌گیری

مقایسه داده‌ها در جدول ۱ با مقادیر معمول خصوصیات ذکر شده نشان می‌دهد، پارامترهای ذکر شده در دامنه مقادیر معمول قرار داشته و بنابراین کاربرد لجن از این نظر برای مصارف مختلف از جمله مصرف به عنوان کود در کشاورزی محدودیتی ندارد. این نتایج با داده‌های بینا و همکاران (۳۱) که کیفیت لجن خشک شده تصفیه‌خانه‌های مختلف اصفهان را مورد بررسی قرار داده‌اند، مطابقت دارد.

میانگین درصد مواد آلی لجن در تصفیه‌خانه شاهین‌شهر در این تحقیق در فصول مختلف از نتایج بینا و همکاران (۳۱)کم‌تر است، اما حداکثر مواد آلی ۴۵/۸٪ در لجن اندازه‌گیری شده که نشانگر بالا بودن مواد آلی لجن و ضعیف بودن هضم بی‌هوازی و تثبیت آن است. از طرف دیگر pH زیر ۷ در تحقیق حاضر نیز بیان کننده عدم تثبیت لجن می‌باشد (۳۳ و ۳۲).

خصوصیات لجن بسته به خصوصیات پساب فاضلاب و فرآیندهای تصفیه و آماده‌سازی لجن متغیر است. لجن تولیدی می‌تواند سوسپانسیونی از لجن مایع با مواد جامد کل ۴٪ تا یک ترکیب جامد با درصد مواد جامدات کل ۹۰٪ متغیر باشد. همچنین درصد رطوبت آن در شرایط لجن جامد بین ۲۰ تا ۵۰ باشد. در این بررسی میانگین درصد جامدات کل لجن حدود ۶۲ و میانگین رطوبت لجن حدود ۳۷٪ بوده است که نشانگر یک لجن جامد با درصد غالب مواد جامد بالای ۶۰٪ است و رطوبت آن در حد مقدار معمول لجن است.

pH لجن با اثر بر pH خاک، در جذب عناصر در خاک و گیاه موثر بوده و جمعیت میکروبی خاک را تحت تاثیر قرار می‌دهد. pH کمتر از ۶/۵ در آب‌شویی فلزات سنگین و قابلیت جذب آن‌ها توسط گیاه موثر است (۳۴). لذا با توجه به نتایج حاصل pH لجن مورد بررسی در محدوده معمول بوده و اثر قابل توجهی در خاک نخواهد داشت.

مقایسه عناصر غلظت قابل جذب نشان داد، به جز در عنصر آهن تفاوت معنی‌داری در فصول مختلف مشاهده نشد. غلظت قابل جذب عنصر در لجن بخشی از غلظت کل لجن است که برای گیاه در دسترس بوده و می‌تواند توسط گیاه جذب شود. بنابراین لجن مورد بررسی برای عناصر غذایی مس، روی، منگنز در فصل پاییز و برای عنصر آهن در فصل زمستان دارای بیش‌ترین غلظت قابل جذب بوده و برای کاربرد در کشاورزی وضعیت خوبی را داراست. اما چون در این دو فصل غلظت قابل جذب سرب، کبالت، نیکل، کروم و کادمیم هم بالاست، لذا توصیه‌ای برای کاربرد این لجن در این دو فصل از نظر عناصر سنگین نمی‌توان داشت. اما در مجموع بهترین وضعیت یا کیفیت لجن از نظر کم بودن غلظت قابل جذب عناصر سنگین، لجن مربوط به فصل زمستان است که برای عناصر غذایی روی، آهن و منگنز نیز اختلاف قابل توجهی با سایر فصول وجود ندارد.

مقایسه میزان بار سالیانه عناصر سنگین با کاربرد ۱۵ تن لجن در هکتار در سال با حد مجاز EPA (جداول ۳و ۴) مشخص کرد. به استثنای عناصر کبالت، آهن و منگنز که حد مجاز در این مورد برای آن‌ها ذکر نشده است، سایر عناصر سنگین مورد بررسی دارای میزان غلظت بار سالیانه کم‌تر از حد مجاز بوده و محدودیتی از این نظر ندارند. در اینجا غلظت آرسنیک از نظر بار سالیانه حدود ۱/۶ کیلوگرم در هکتار در سال بوده که اگر چه از حد مجاز میزان بار سالیانه کم‌تر است اما نزدیک به آن بوده و مقدار بالایی است و لازم است به آن توجه شود. در مجموع از نظر میزان بار سالیانه با کاربرد ۱۵ تن در هکتار لجن(kg/ha/year) بیش‌ترین میزان مربوط به عنصر آهن و کم‌ترین میزان مربوط به کادمیم است.

با توجه به این که اضافه کردن عناصر غذایی از طریق لجن به خاک یکی از مزایای استفاده از آن است، بنابراین در مجموع عناصر آهن، مس، روی و منگنز سالانه به ترتیب برابر ۸۶/۷، ۳، ۹/۱۱ و ۴/۵۵ کیلوگرم در هکتار در سال با کاربرد ۱۵ تن لجن در هکتار به خاک اضافه شده که مقادیر بالایی بوده و به تامین این عناصر غذایی در خاک کمک می‌کند. این ارقام در مقایسه با عناصر سنگین خطرناک مورد بررسی بسیار بالاتر بوده و این مقادیر برای عناصر خطرناک

Archive of SID

www.SID.ir

مذکور به استثنای آرسنیک زیر یک کیلوگرم در هکتار در سال است و همان‌طور که گفته شد از حد مجاز کم‌تر می‌باشد.

بررسی محتوای میکروبی لجن مورد بررسی نشان داد در مجموع از نظر بهداشتی لجن مورد بررسی فقط در فصل تابستان با اعمال محدودیت‌های گروه B لجن قابلیت کاربرد در اراضی کشاورزی را داشته و در سایر فصول محدودیت استفاده دارد. این محدودیت‌ها شامل:

۱. محصولات غذایی که محصول آن‌ها با خاک برخورد می‌کند، نباید قبل از ۱۴ماه از تاریخ کاربرد لجن در زمین، درو شوند.
۲. محصولات غذایی که محصول آن‌ها زیر خاک است، نباید قبل از ۲۰ ماه از تاریخ کاربرد لجن در زمین، درو شوند (در حالتی که لجن بیش از چهار ماه در روی سطح خاک باشد).
۳. محصولات غذایی که محصول آن‌ها زیر خاک است، نباید قبل از ۳۸ ماه از تاریخ کاربرد لجن در زمین، درو شوند (در حالتی که لجن کم‌تر از چهار ماه در روی سطح خاک باشد)
۴. در سایر حالات (محصولات غذایی که محصول آنها با خاک تماس ندارد) محصولات باید حداقل ۳۰ روز بعد از کاربرد لجن در زمین، درو شوند.
۵. به حیوانات نباید اجازه داده شود قبل از ۳۰ روز در این زمین‌ها چرا کنند.

لازم به ذکر است برای کاهش آلودگی این لجن طی فرایند تولید آن توسط تصفیه خانه بایستی تدابیری برای کاهش پاتوژن اتخاذ گردد. با توجه به این‌که به صورت کلی جمعیت میکروبی لجن یاد شده در گروه B قرار نگرفته و یا به عبارت دیگر میانگین جمعیت کلیفرم طی فصول مورد بررسی از حد ۲۰۰۰۰۰۰ فراتر است، نمی‌توان در مجموع این لجن‌ها را در هیچ گروهی از استاندارد EPA قرار داد. لذا بهتر است، کلاً دفع یا استفاده مجدد از این لجن‌ها به هر شکلی در محیط که مغایر با اصول حفاظت محیط‌زیست باشد، صورت نگرفته و با این شرایط از این لجن نباید برای کشاورزی استفاده کرد. نتایج به دست آمده با یافته‌های اسدی اردلی و همکاران (۳۵)، فرزادکیا و همکاران (۵)، مصداقی‌نیا و همکاران (۳۶) مطابقت دارد و لجن‌های مورد بررسی همانند این مطالعه در هیچ گروهی قرار نگرفتند. اما تکدستان و همکاران (۶) با بررسی شاخص‌های بهداشتی لجن هضم شده تصفیه‌خانه‌های اصفهان را در گروه B د قراردادند. همچنین در بررسی انجام یافته توسط بینا و همکاران (۳۱)، لجن تصفیه‌خانه‌های جنوب و شاهین‌شهر در گروه B قرار داده شد، اما لجن تصفیه‌خانه جنوب اصفهان در هیچ گروهی قرار نگرفت.

با توجه به این که لجن مورد مطالعه در هیچ گروه استاندارد EPA قرار ندارد، لذا پیشنهاد می‌شود که بازنگری اساسی در فرآیندهای تصفیه و دفع لجن برای بهتر شدن کیفیت لجن این تصفیه‌خانه‌ها انجام شود که به عنوان نمونه می‌توان به افزایش زمان ماند لجن در بسترهای خشک‌کن یا محل‌های انبار آن و رعایت نمودن محدودیت‌های استفاده از کود در محصولاتی که مستقیماً در تماس با کود هستند، از خطرات احتمالی تا حد مناسبی جلوگیری کرد. کارکنان تصفیه‌خانه‌ها، کارگران مزارع و افراد مرتبط نیز باید در مورد نکات بهداشتی، نحوه استفاده از لجن و محدودیت‌های مصرف آن آموزش ببینند. همچنین پیشنهاد می‌شود برای ادامه تحقیقات، موارد اندازه‌گیری شده بالا علاوه بر نمونه‌های کود خارج شده از تصفیه‌خانه‌ها، در خاک‌های مزارعی که این لجن‌ها به عنوان کود در آن‌ها به کار می‌روند و محصولات آن‌ها، اندازه‌گیری شوند تا بتوان اثرات واقعی کاربرد این لجن‌ها را تعیین کرد.

در مجموع ارزش عناصر عذایی لجن از نظر غلظت کل و قابل جذب عناصری نظیر مس، روی، منگنز و آهن نسبتاً بالا بوده و حاوی مقادیر قابل توجهی مواد مغذی ضروری برای رشد گیاه است. بنابراین کاربرد آن در کشاورزی به عنوان کود دارای پتانسیل بالایی می‌باشد. همچنین مقایسه غلطت عناصر غذایی یاد شده با عناصر خطرآفرینی مانند سرب، کادمیوم، کبالت و کروم بخوبی مؤید بالاتر بودن مزایای نسبی لجن در مقابل محدودیت‌های بالقوه آن می‌باشد. با وجود این بهبود

Archive of SID

www.SID.ir

شرایط کیفی لجن از نظر محتوی بار میکروبی و غلظت عنصر آرسنیک از طریق اصلاح فرآیند تصفیه، بایستی مورد توجه مدیران جهت استفاده از این لجن در بخش کشاورزی قرار بگیرد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از آقایان دکتر مصلح‌الدین رضایی و خانم‌ها پریسا مشایخی و نرگس مشگل‌گشا به جهت همکاری‌های آزمایشگاهی در بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان که همکاری‌های لازم را در اجرای این تحقیق داشتند، تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

منابع

1. Ludovico, S., 2007. Sludge management: Current questions and future prospects. Proceedings of IWA special conference on facing sludge diversities, challenges, risks and opportunities. (IWA Antalya 2007), 28-31 March, Belek, Antalya, Turkey.
2. Lee, D. J., 2001. Current status of sludge management and related frontier studies. Department of chemical engineering national Taiwan University. Presented in the University of Tokyo.
3. Cakmakci, M., Ozdemir, O., Kayaalp, N., Ozkan, O., and Kinaci, C., 2007. Evaluation of sludge disposal alternatives: Kayseri case study. Proceedings of IWA special conference on facing sludge diversities, challenges, risks and opportunities. (IWA Antalya 2007), 28-31 March, Belek, Antalya, Turkey.
4. Hwang, E., Zhang, J. X., Lee, Y. O., and Lee H. J., 2007. Improving agricultural value of sludge by batch aerobic digestion. Proceedings of IWA special conference on facing sludge diversities, challenges, risks and opportunities. (IWA Antalya 2007), 28-31 March, Belek, Antalya, Turkey.

۵. فرزادکیا. م، «بررسی وضعیت تثبیت و قابلیت استفاده مجدد لجن در چهار تصفیه خانه کوچک فاضلاب شهر تهران»، مجله علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی همدان، تابستان ۱۳۸۱، شماره ۲۴، صفحات ۹ تا ۲۰.

۶. تکدستان، ا و همکاران، «بررسی شاخص های بهداشتی لجن هضم شده تصفیه خانه های فاضلاب اصفهان و مقایسه آنها با استانداردهای زیست - محیطی برای استفاده مجدد»، مجله آب و فاضلاب، زمستان ۱۳۷۹، شماره ۳۶، صفحات ۲۵ تا ۳۶.

7. Evanylo, G.K. 1999. Agricultural land application of bio-solids in Virginia: risks and concerns, department of crop and soil environmental sciences (Virginia Tech, Virginia Cooperative Extension Publication).
8. McBride, M.B., 1998. Growing food crops on sludge-amended soils problems with the U.S. Environmental Protection Agency method of estimating toxic metal transfer. Environmental Toxicology and Chemistry, Vol. 17, pp. 2274–2281.
9. Kilbride, C. 2006. Application of sewage sludge and composts, Note 6 BPG (Best Practice Guidance for land regeneration), forest research (the research agency of forestry commission), (The Land Regeneration and Urban Greening Research Group, United Kingdom).
10. Stehouwer, R. C., 2003. Land application of sewage sludge in Pennsylvania: Effects of bio-solids on soil and crop quality, (Environmental

Archive of SID

www.SID.ir

Soil Issues, Pen State College of Agricultural Science, University Park).

11. Bolan, N. S., Duraisamy, V. P., 2003. Role of inorganic and organic soil amendments on immobilization and phyto-availability of heavy metals: a review involving specific case studies. Australian Journal of Soil Research, Vol. 41, pp. 533-555.
12. Holam, P. E., Christensen, T. H., Tjell, J. C., McGrath, S. P., 1995. Speciation of cadmium and zinc with application to soil solution. Journal of Environmental Quality, Vol. 24, pp. 183-190.
13. Hirsch, D. Banin, A., 1990. Cadmium speciation in soil solution. Journal of Environmental Quality, Vol. 19, pp. 366-372.

۱۴. اسدی، س .ر. «بررسی شاخص های مهندسی بهداشتی کاربرد پساب و لجن حاصل از تصفیه فاضلاب خانگی در مصارف کشاورزی»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، ۱۳۷۴؛ صفحات ۱ تا ۹۰.

15. Metcalf and Eddy. 1991. Wastewater engineering; treatment, disposal, reuse (McGraw-Hill book Co).
16. Hong, R.T. 1993. The practical hand book of compost engineering, (Lews).
17. Carbitts. R. 1989. Standard hand book of environmental engineering, (McGraw-Hill, Publishing Co).
18. Pescod, M.B. 1992. Wastewater treatment and use in Agriculture, (F.A.O, Rome).
19. Lenores, C. 1977. Standard method for the examination of water and wastewater, (AWWA, A.A.P.HA, AWWA).
20. Shayegan, J., Afshari, A., 2005. Investigation on municipal and Industrial Wastewater in Iran, Water & Wastewater Journal, Vol. 49, pp. 58-70.
21. Yan, S., Bala Subramanian, S., Mohammedi, S., Tyagi, R. D., Surampalli, R. Y., and Lohani, B. N., 2007. Wastewater Sludge as a raw material for Biopesticides Production-Impact of seasonal variations. Proceedings of IWA special conference on facing sludge diversities, challenges, risks an opportunities, (IWA Antalya 2007), 28-31 March, Belek, Antalya, Turkey.
22. U.S.EPA., 1977. Process design manual for land treatment of municipal wastewater. Adopted from www.epa.gov
23. U.S.EPA., 1979. Process design manual for sludge treatment and disposal, EPA- 625/ 1- 79- Oll. Adopted from www.epa.gov.
24. U.S.EPA., 1983. Process design manual for land application of municipal sludge. EPA-625/1- 83 0/6. Adopted from www.epa.gov.
25. Standard methods for the examination of water and wastewater. 1992. (American Public Health Association/ American Water Works Association/ Water Environment Federation, Washington DC, USA. 920 p.
26. U.S.Environmental Protection Agency. 1999. Cotrol of pathogens and vector attraction in sewage sludge. EPA 625/R-92-013.
27. Nelson, R.E. 1982. Carbonate and gypsum. In Methods of Soil Analysis, eds. A.L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeney, Pp: 181-198. American

Archive of SID

www.SID.ir

Society of Agronomy: Madison, Wisconsin.

28. Walkley, A. and Black, L.A. 1934. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. J. Soil Science, 37: 29-38.

29. Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA test for Zinc, Iron, manganese and copper. J. Soil Science Society of American, 42:421-428.

30. Baker, D.E. and Amacher, M.C. 1982. Nickel, copper, zinc and cadmium. In: Page, AL, Miller R.H. and Keeney, D.R. (eds). Methods of soil analysis, Part 2: chemical and microbiological properties, 2nd edn. ASA, SSSA, Madison, WI, Pp: 323-334.

۳۱. بیناب، موحدیان عطار، ح امینی، ا.ع. ۱۳۸۳. بررسی کیفیت لجن خشک شده تصفیه خانه های فاضلاب اصفهان و کاربرد آن برای مصارف کشاورزی، مجله آب و فاضلاب، شماره ۴۹. صفحات ۳۴ تا ۴۳.

32. Bruce, A. M. 1984. Sewage sludge stabilization and disinfection. (Hichester: Water Research Center/Ellis Horwood Limite, Great Britain).

33. Metcalf and Eddy. 2003. Wastewater engineering; treatment, disposal, reuse. (McGraw-Hill book Co)

34. EPA., 1995. Process design manual land application of sewage sludge and domestic Septage, EPA/625/R-95/001. (U.S. Environmental Protection Agency Office of Research and Development National Risk management Research Laboratory Center for Environmental Research Information Cincinnati, Ohio).

۳۵. اسدی اردلی. ح،م و همکاران «امکان سنجی استفاده از لجن خشک شده توسط تصفیه خانه‌های فاضلاب شهری با فرایند لجن فعال»، مجله تحقیقات نظام سلامت، پاییز ۱۳۸۹، سال ۶، شماره ۳، صفحات ۴۰۷ تا ۴۱۶.

36. Mesdaghinia, A. R., Panahi Akhavan, M., Naddafi, K., and Moosavi, G.H. 2004. Waste Sludge Characteristics of a wastewater treatment plant compared with environmental standards. Iranian Journal of Public Health Vol. 33, pp. 5-9.

Archive of SID

www.SID.ir