

ضوابط بهداشتی جهت استفاده و یا دفع لجن فاضلاب

ترجمه و تلخیص: حسین موحدیان عطار* . افشین تکدستان**

چکیده

لجن فاضلاب، باقیمانده حاصل از تصفیه فاضلاب است که بعد از تصفیه در زمین‌های گوناگون کشاورزی مصرف می‌شود. گرچه لجن فاضلاب به دلیل دارا بودن مواد مغذی برای گیاه مفید بوده و می‌تواند باعث اصلاح و بهبود خاک گردد، لیکن به دلیل احتمال وجود انواع میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا در آن می‌تواند موجب بیماری در انسان و دام شود. جهت حفظ بهداشت عمومی در حال حاضر بسیاری از کشورها مقرراتی را جهت استفاده و دفع لجن فاضلاب وضع نموده‌اند. در این مقاله مقررات وضع شده به منظور کاهش عوامل بیماری‌زا و هم‌چنین کنترل کاهش جذب ناقلین در لجن فاضلاب مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

مقدمه

اصلاح و بهبود خاک گردد لیکن به دلیل این که حاوی انواع باکتری‌ها، ویروس‌ها، پروتوزورها، انگلها و سایر میکروارگانیسم‌ها می‌باشد، می‌تواند موجب بیماری در انسان و دام شود. کاربرد لجن در زمین و یا دفع سطحی آن پتانسیل تماس مستقیم و یا غیرمستقیم انسان با این میکروارگانیسم‌ها را افزایش می‌دهد. جهت حفظ بهداشت عمومی، در حال حاضر بسیاری از کشورها مقرراتی را جهت استفاده و دفع لجن فاضلاب وضع نموده‌اند. سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا اولین مؤسسه مسئول مدیریت لجن فاضلاب است که تشویق به استفاده مطلوب از لجن فاضلاب می‌کند. استفاده و دفع لجن

اهداف تصفیه فاضلاب با غلیظ کردن ناخالصی‌ها به فرم جامد و سپس جداکردن این جامدات از مایع حاصل می‌شود. این جامدات غلیظ موسوم به "لجن" محتوی بسیاری از مواد فاضلاب بوده و باید به طور صحیح تصفیه، استفاده و یا دفع شوند [۱، ۲]. شکل ۱ فرایند تولید، تصفیه، استفاده و دفع لجن فاضلاب شهری را نشان می‌دهد. لجن فاضلاب را می‌توان در زمین‌های کشاورزی، مراتع، جنگل‌ها، زمین‌های بازی، نواحی تفریحی (پارک‌ها، میدان‌گلف) و باغچه‌های خانگی و... به کار برد. در یک بررسی که در سال ۱۹۸۸ انجام گرفت نشان داد که بیش از ۳۳٪ لجن فاضلاب تولیدی در آمریکا جهت حاصلخیزکردن زمین به کار می‌رود. گرچه لجن فاضلاب به دلیل دارا بودن مواد مغذی برای گیاه مفید بوده و می‌تواند باعث

* عضو میات علمی دانشکده بهداشت اصفهان

** دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط - دانشکده بهداشت اصفهان

سطحی و یا کاربرد زمینی لجن ... چرا می کنند.

چه مدت پاتوژن ها در محیط زنده می مانند

کاهش مدت زمان در معرض قرار گرفتن پاتوژن ها بستگی به فاکتورهای محیطی همچون درجه حرارت، خشکی، نورخورشید و ارگانسیم های دیگر که پاتوژن ها را تخریب می کنند، دارد. جدول ۲ خلاصه ای از سرعت زنده ماندن چهار نوع ارگانسیم پاتوژن در خاک و گیاهان را نشان می دهد.

با توجه به جدول ۲ چون کیست پروتوزوئرها بر روی خاک و گیاهان سریعاً به وسیله فاکتورهای محیطی کشته می شوند، خطر پروتوزوئرها در لجن فاضلاب برای بهداشت عمومی و آلوده شدن حیوانات به حداقل می رسد. بدین منظور مقررات بخش ۵۰۳ جهت کاهش باکتری ها و ویروس ها و تخم انگل ها در لجن فاضلاب می باشد و برای کاهش پروتوزوئرها در نظر گرفته نشده است.

چگونه می توان مردم و حیوانات را در برابر پاتوژن های موجود در لجن محافظت کرد

حفظ سلامتی مردم و حیوانات از پاتوژن های موجود در لجن فاضلاب به چند صورت انجام می پذیرد:

- ۱- کاهش پاتوژن های موجود در لجن فاضلاب به وسیله تصفیه لجن یا زریق سازی به وسیله عوامل محیطی.
- ۲- کاهش انتقال پاتوژن ها، به وسیله کاهش جذب به لجن فاضلاب به وسیله ناقلین بیماری مانند حشرات، پرندهگان، موش ها و دیگر ارگانسیم های زنده که می توانند پاتوژن ها را انتقال دهند.
- ۳- محدود کردن تماس انسان و حیوانات با لجن فاضلاب از طریق انحصاری کردن محل تا تعداد پاتوژن ها بتوانند از طریق مرگ طبیعی به حداقل برسند.

مقررات جهت کاهش جذب ناقل

یکی از راه های اصلی انتقال پاتوژن ها از لجن فاضلاب به انسان یا حیوان، انتقال به وسیله ناقلین است. ناقلین به ارگانسیم های زنده ای گفته می شوند که توانایی انتقال پاتوژن از

پاتوژن ها قرار گیرند. حشرات، پرندهگان، موش ها و حتی کارگران مزارع هم می توانند در انتقال این پاتوژن ها از لجن فاضلاب به مکان دیگر کمک کنند.

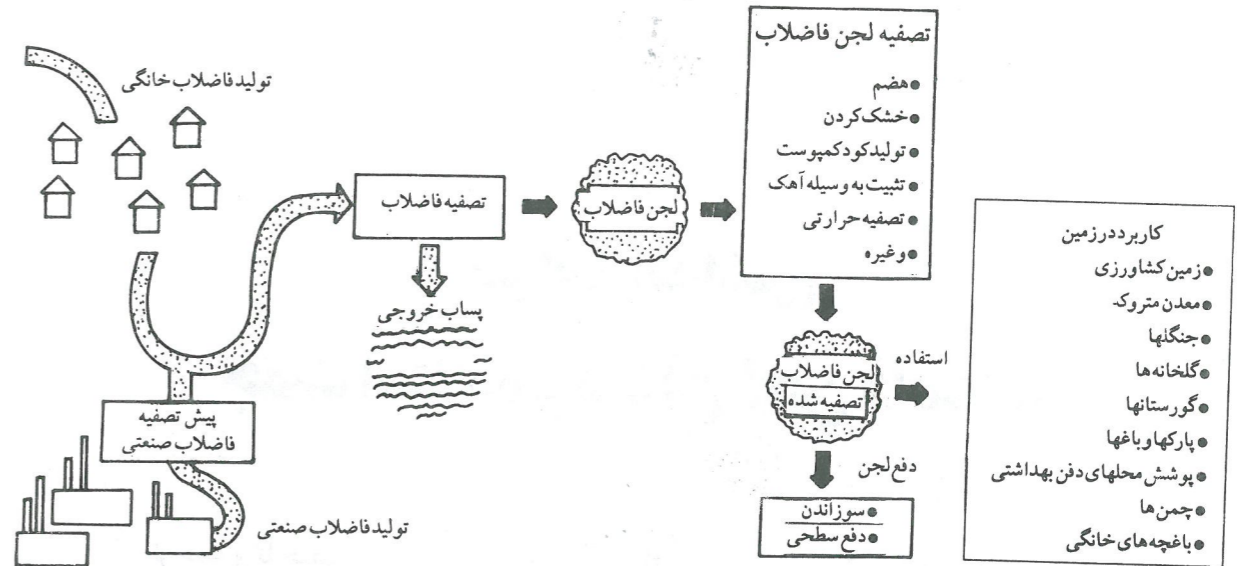
تماس های مستقیم که موجب آلودگی می شوند عبارتند از:

- ۱- تماس غیر عمده با لجن فاضلاب.
- ۲- پیاده روی در میان نواحی مانند کشتزارها، جنگل ها یا مناطقی که لجن را به کار برده اند بلافاصله بعد از کاربرد لجن فاضلاب.
- ۳- جابه جایی خاک و محصولات خام حاصل از کشتزارها و باغچه های خانگی که لجن فاضلاب در آن به کار برده شده است.
- ۴- استنشاق میکروب هایی که به وسیله هوا منتقل می شوند (آئروسول ویروسی، گرد و غبار و ...) در هنگامی که لجن فاضلاب به وسیله بادهای قوی و شخم زدن خاک بعد از کاربرد لجن پخش می شود.

آلودگی های ناشی از تماس غیر مستقیم به شرح زیر می باشند:

- ۱- مصرف محصولات آلوده به پاتوژن که بر روی خاک اصلاح شده با لجن فاضلاب کاشته شده اند و یا دیگر محصولات غذایی که به وسیله تماس با این محصولات، آلوده می شوند.
- ۲- مصرف شیر آلوده و یا دیگر محصولات غذایی آلوده حیواناتی که در مراتع یا محصولات علوفه ای که بر روی زمین های اصلاح شده با لجن فاضلاب رشد کرده اند، می چرند.
- ۳- آب آشامیدنی یا آب های تفریحی آلوده شده به وسیله رواناب هایی که از نزدیکی محل کاربرد زمینی لجن فاضلاب می گذرند و یا پاتوژن هایی که از لجن فاضلاب به داخل سفره های آب زیرزمینی انتقال می یابند.
- ۴- مصرف ماهی آلوده به پاتوژن که به مقدار کافی پخته نشده است (ماهی هایی که در آب های آلوده شده به وسیله رواناب هایی که از نزدیکی محل کاربرد لجن فاضلاب عبور می کنند، صید می شوند).

۵- تماس با لجن فاضلاب یا پاتوژن های منتقل شده به وسیله موشها، حشرات و سایر حیواناتی که در محل های دفع



شکل ۱- تولید، تصفیه، استفاده و دفع لجن فاضلاب شهری

- مسئولین محلی، منطقه ای و یا ایالتی که عهده دار اجرای ضوابط مقررات تصویبی جهت استفاده و دفع لجن فاضلاب هستند.
- مشاوران گروه های فوق.
- کسانی که مایلند راجع به مقررات کنترل پاتوژن ها در لجن فاضلاب اطلاعاتی داشته باشند.

انسان چگونه در معرض پاتوژن ها قرار می گیرد

فاضلاب شهری، معمولاً شامل ۴ نوع پاتوژن انسانی است که سبب بیماری می شوند. این پاتوژن ها عبارتند از باکتری ها، ویروس ها، پروتوزوئرها و تخم انگل ها. جدول ۱ پاتوژن های موجود در لجن فاضلاب را نشان می دهد.

هنگامی که لجن فاضلاب در زمین استفاده می شود و یا به یک محل دفع سطحی منتقل می شود، انسان و حیوانات می توانند به طور مستقیم به وسیله تماس با لجن فاضلاب و یا به طور غیر مستقیم از طریق مصرف آب یا مواد غذایی که به پاتوژن های لجن فاضلاب آلوده شده اند در معرض این

فاضلاب خانگی و لجن سپتیک تانک ها در آمریکا باید تحت مقررات CER ۴۰ بخش ۱۵۰۳^۱ انجام گیرد. این ضوابط و مقررات در سال ۱۹۹۳ وضع گردید و حدود آن تحت اجازه قانون اصلاح آب پاک (CWA)^۲ است که شامل دو بخش است:

- ۱- مقررات وضع شده به منظور کاهش کنترل پاتوژن ها در لجن فاضلاب.
 - ۲- مقررات وضع شده به منظور کاهش جذب ناقل در لجن فاضلاب (حشرات و سایر ارگانسیم هایی که می توانند پاتوژن های موجود در لجن فاضلاب را از قسمت کاربرد زمینی لجن و یا محل دفع سطحی به مکان دیگر منتقل کنند).
- در این مقاله ضوابط وضع شده زیست محیطی آمریکا جهت استفاده و دفع لجن (لجن فاضلاب شهری و لجن حاصل از سپتیک تانک ها) و رهنمودهای مورد نیاز برای گروه های زیر شرح داده شده است:

- صاحبان و اپراتورهای تصفیه خانه فاضلاب خانگی.
- آماده کنندگان، فروشندگان و توزیع کنندگان محصولات لجن فاضلاب.
- اشخاصی که لجن فاضلاب را در زمین به کار می برند.

1- Center for Environmental Research
2- Clean Water Act

جدول ۱ - پاتوژن‌های اصلی موجود در فاضلاب شهری و لجن فاضلاب

ارگانیزم	بیماری / علائم بیماری
باکتری‌ها:	
گونه سالمونلا	سالمونلازیس (مسمومیت غذایی)، تب تیفوئید
گونه شیگلا	اسهال خونی باسیلی
گونه یرسینیا	گاستروانتریت حاد (شامل اسهال، درد شکم)
ویبریوکلا	وبا
کامپیلو باکتر ژرونی	گاستروانتریت
اشرشیا کلی (گونه‌های بیماری‌زا)	گاستروانتریت
ویروس‌های روده‌ای:	
ویروس هپاتیت A	هپاتیت عفونی
ویروس‌های نواک و شبیه نواک	گاستروانتریت اپیدمیک همراه با اسهال شدید
روتاویروس	گاستروانتریت حاد همراه با اسهال شدید
انترو ویروس	
پولیو ویروس	فلج اطفال
کوکساکی ویروس	مننژیت، ذات‌الریه، هپاتیت، تب، علائم شبه سرماخوردگی و غیره
اکو ویروس	مننژیت، فلج، آنسفالیت، تب، اسهال، علائم شبیه سرماخوردگی و غیره
رئو ویروس	عفونت‌های تنفسی، گاستروانتریت
استرو ویروس	گاستروانتریت اپیدمیک
کالیسی ویروس	گاستروانتریت اپیدمیک
پروتوزوئا:	
کریپتوسپوریدیوم	گاستروانتریت
انتامبا هستیتولیتیکا	التهاب حاد روده‌ای
ژیاردیا لامبلیا	ژیاردیازیس (شامل اسهال، گرفتگی شکم، کاهش وزن)
بالانتیدیوم کلی	اسهال و اسهال خونی
توکسوپلازما گاندی	توکسوپلاسموزیس
کرم‌های پهن:	
آسکاریس لومبرکوئیدس	اختلالات گوارشی و تغذیه‌ای، درد شکم، استفراغ، بی‌قراری
آسکاریس سوم	ممکن است سبب علائمی همچون سرفه، درد سینه و تب شود
تریکورس تریکورا	درد شکم، اسهال، کم‌خونی، کاهش وزن
توکسوکارا کانینس	تب، ناراحتی شکم، دردهای عضلانی، علائم عصبی
تیاسارویناتا (کرم کدوی گاو)	حالت عصبی، بی‌خوابی، بی‌اشتهایی، درد شکم، اختلالات گوارشی
تیاسولوم (کرم کدوی خوک)	حالت عصبی، بی‌خوابی، بی‌اشتهایی، درد شکم، اختلالات گوارشی
نکاتور آمریکانوس	بیماری کرم قلابدار
هیمنولپیس نانا	تینازیس

منبع: کوال (۱۹۸۵) و سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (۱۹۸۹)

جدول ۲ - مدت زنده ماندن پاتوژن‌ها در خاک و سطح گیاهان

پاتوژن	گیاهان		خاک	
	ماکزیمم عادی	ماکزیمم مطلق	ماکزیمم عادی	ماکزیمم مطلق
باکتری‌ها	۱ ماه	۶ ماه	۲ ماه	۱ سال
ویروس‌ها	۱ ماه	۲ ماه	۳ ماه	۱ سال
کیست پروتوزوئاها	۲ روز	۵ روز	۲ روز	۱۰ روز
تخم کرم‌ها	۱ ماه	۵ ماه	۲ سال	۷ سال

یک ارگانیزم به ارگانیزم‌های دیگر را از طریق مکانیکی (به وسیله آن فقط پاتوژن انتقال می‌یابد) و یا از طریق بیولوژیکی (به علت نقش مهمی که در یک دوره زندگی پاتوژن‌ها بازی می‌کنند) دارند. ناقلین مهم جهت انتقال پاتوژن‌های موجود در لجن فاضلاب، بیشتر حشرات، موش‌ها و پرندگان هستند.

بخش ۱۵۰۳ این مقررات به منظور اثبات کاهش جذب ناقل به لجن فاضلاب از ۱۲ انتخاب استفاده کرده که به طور خلاصه در جدول ۳ آمده است و این مقررات به شرح زیر است:

الف - کاهش از طریق تصفیه

ب - کاهش از طریق ایجاد موانع

الف - کاهش از طریق تصفیه: انتخاب‌های ۱ تا ۸ برای لجن فاضلابی کاربرد دارد که کاهش جذب ناقل به وسیله برخی از روش‌های تصفیه انجام می‌گیرد (هضم هوازی و بی‌هوازی، کودسازی، اضافه کردن مواد قلیایی، خشک کردن). از انتخاب ۱۲ این مقررات به منظور کاهش حذف ناقل از طریق بالابردن PH در لجن سپتیک خانگی^۱ استفاده می‌شود.

ب - کاهش از طریق ایجاد موانع: انتخاب ۹ تا ۱۱ مربوط به روش‌های موانع می‌باشد. در این انتخاب‌ها از خاک به عنوان مانع فیزیکی و به منظور جلوگیری از تماس مستقیم ناقلین با لجن فاضلاب استفاده می‌شود (از روش تزریق، ترکیب یا پوشش با خاک)، که شامل تزریق لجن فاضلاب به پایین سطح زمین، ترکیب لجن فاضلاب در خاک و استفاده از یک پوشش بر روی لجن می‌باشد. انتخاب ۹ تا ۱۱ هم در لجن فاضلاب شهری و هم در لجن سپتیک خانگی کاربرد دارد. انتخاب ۱۱ ممکن است به تنهایی در محل‌های دفع سطحی استفاده شود.

مقررات پاتوژن در سطح A

هدف کلی مقررات سطح A، کاهش پاتوژن‌ها در لجن فاضلاب (شامل ویروس‌های روده‌ای، باکتری‌های بیماری‌زا و تخم فعال کرم‌ها) به پایین سطوح تعیین شده می‌باشد. لجن فاضلابی که به فروش می‌رسد یا این که در یک کیسه یا ظروف دیگر به منظور مصرف در زمین بسته‌بندی می‌شود، بایستی این مقررات را برآورده کند. همچنین لجن فاضلاب حجیم^۲ که در چمن یا باغچه‌های خانگی به کار می‌رود بایستی این مقررات را برآورده کند. برای شرح مقررات کاهش پاتوژن در سطح A، ۶ گزینه وجود دارد. هدف اصلی در تمام این مقررات کاهش تراکم پاتوژن‌ها به پایین‌تر از حدود تعیین شده می‌باشد. این حدود عبارتند از:

- ۱- گونه سالمونلا کمتر از 3 MPN در 4 گرم کل جامدات لجن فاضلاب باشد.
- ۲- ویروس‌های روده‌ای کمتر از 1 PFU در 4 گرم از کل جامدات لجن فاضلاب باشد.
- ۳- تخم فعال کرم کمتر از ۱ عدد در 4 گرم از کل جامدات لجن فاضلاب باشد.

هم‌چنین باید مقررات کاهش جذب ناقل هم در هنگامی که لجن فاضلاب در زمین استفاده می‌شود و هم در زمانی که به مکان دفع سطحی انتقال می‌یابد، در نظر گرفته شود. به طور کلی مقررات پاتوژن در سطح A شامل موارد زیر است:

بخش ۱: شامل مقررات در باره نسبت پاتوژن به کاهش جذب ناقل.

بخش ۲: شامل ۶ گزینه به منظور کاهش پاتوژن در کلاس A.

1- Domestic Septage 2- Bulk
3- Most Probable Number 4- Plaque - Forming Units

مقررات	موارد مورد نیاز	بیشتر اختصاص دارد برای
انتخاب ۱	حداقل به ۳۸٪ کاهش جامدات فرار در طول تصفیه لجن فاضلاب نیاز دارد.	لجن فاضلابی که فرایند می شود به وسیله: ● تصفیه بیولوژیکی به روش بی هوازی ● تصفیه بیولوژیکی به روش هوازی ● اکسیداسیون شیمیایی
انتخاب ۲	حداقل ۱۷٪ جامدات فرار اضافی در طول مقیاس آزمایشگاهی در راکتور ناپیوسته بی هوازی برای مدت ۴۰ روز اضافی در دمای ۳۰°C تا ۳۷°C از بین برود.	تنها برای لجن فاضلاب هضم شده به طریقه بی هوازی کاربرد دارد که نمی تواند مقررات انتخاب ۱ را بر آورده کند.
انتخاب ۳	حداقل ۱۵٪ جامدات فرار اضافی در طول مقیاس آزمایشگاهی در راکتور ناپیوسته بی هوازی در مدت ۳۰ روز اضافی در دمای ۲۰°C کاهش می یابد.	تنها برای لجن فاضلاب هضم شده به طریقه هوازی با ۲٪ یا کمتر جامدات که نمی تواند مقررات انتخاب ۱ را بر آورده کند کاربرد دارد. مانند تصفیه لجن فاضلاب در واحدهای هوادهی ممتد.
انتخاب ۴	SOUR (سرعت جذب اکسیژن ویژه) در دمای ۲۰°C با یستی کمتر یا مساوی ۱/۵ میلی گرم اکسیژن در ساعت در هر گرم از کل جامدات لجن فاضلاب باشد.	لجن های فاضلاب حاصل از فرایندهای هوازی (برای لجن های کمپوست شده کاربرد ندارد).
انتخاب ۵	تصفیه هوازی لجن فاضلاب برای حداقل ۱۴ روز در دمای بیش از ۴۰°C با یک درجه حرارت متوسط بیش از ۴۵°C	لجن فاضلاب کمپوست شده (انتخاب ۳ و ۱۴ احتمالاً به آسانی لجن های دیگر فرایندهای هوازی را بر آورده می کنند).
انتخاب ۶	افزایش مواد قلیایی به مقدار کافی جهت بالا بردن pH به حداقل ۱۲ در درجه حرارت ۲۵°C و باقی ماندن ۱۲ pH برای مدت ۲ ساعت و یا ۱۱ pH برای مدت ۲۲ ساعت	لجن فاضلاب تصفیه شده به وسیله مواد قلیایی (مواد قلیایی شامل آهک، خاکستر فرار، گرد و غبار کوره و خاکستر چوب).
انتخاب ۷	درصد جامدات قبل از اختلاط با دیگر ترکیبات بیشتر یا مساوی ۷۵٪	تصفیه لجن فاضلاب به وسیله یک فرایند هوازی یا بی هوازی (لجن فاضلابی که شامل جامدات تثبیت نشده حاصل از فرایند اولیه تصفیه فاضلاب نباشد).
انتخاب ۸	درصد جامدات قبل از اختلاط با دیگر ترکیبات بیشتر یا مساوی ۹۰٪	لجن های فاضلابی که شامل جامدات تثبیت نشده در تصفیه اولیه فاضلاب باشند (هر گرمایی که لجن فاضلاب را خشک کند).
انتخاب ۹	لجن فاضلاب در داخل خاک تزریق می شود به طوری که هیچ مقدار از لجن فاضلاب بعد از یک ساعت تزریق بر روی سطح زمین نباشد. به استثنای لجن فاضلاب در کلاس A که با یستی بعد از ۸ ساعت فرایند کاهش پاتوژن به داخل خاک تزریق شود.	لجن فاضلابی که در زمین استفاده می شوند یا به یک مکان دفع سطحی انتقال می یابند. لجن سپتیک خانگی که جهت زمین کشاورزی، جنگل و یا اصلاح محل به کار می رود یا بر روی یک مکان دفع سطحی انتقال می یابد.
انتخاب ۱۰	لجن فاضلاب در داخل خاک در حدود ۶ ساعت بعد از استفاده بر روی زمین یا انتقال بر روی یک مکان دفع سطحی ترکیب می شود به جز لجن فاضلاب در کلاس A که با یستی در ظرف ۸ ساعت بعد از فرایند کاهش پاتوژن بر روی سطح زمین به کار رود یا انتقال یابد.	لجن های فاضلابی که در زمین استفاده می شوند یا به یک مکان دفع سطحی انتقال می یابند. لجن سپتیک خانگی که در زمین کشاورزی، جنگل و یا اصلاح محل به کار می رود یا بر روی یک مکان دفع سطحی انتقال می یابد.
انتخاب ۱۱	لجن فاضلابی که بر روی یک محل دفع سطحی به کار می رود می باید به وسیله خاک یا مواد دیگر در پان روز بهره برداری پوشیده شود.	لجن سپتیک خانگی که در زمین کشاورزی، جنگل یا اصلاح محل به کار می رود یا بر روی یک محل دفع سطحی انتقال می یابد.
انتخاب ۱۲	pH لجن سپتیک خانگی می باید با افزایش مواد قلیایی در دمای ۲۵°C به ۱۲ یا بیشتر از آن بالا رود. یا در pH > ۱۲ برای مدت زمان ۳۰ دقیقه بدون افزایش مواد قلیایی اضافی باقی بماند.	لجن سپتیک خانگی که در زمین کشاورزی، جنگل یا اصلاح محل به کار می رود یا بر روی یک محل دفع سطحی انتقال می یابد.

1- Specific Oxygen Uptake Rate

بخش ۳ تا ۷: هر یک شامل مقررات جهت پایش رشد مجدد پاتوژن ها می باشد.

بخش ۱- کاهش حذف ناقل به همراه یا بعد از کاهش پاتوژن در سطح A

نسبت کاهش پاتوژن در سطح A به کاهش جذب ناقل در هنگامی اهمیت دارد که از انتخاب های مشخصی برای کاهش جذب ناقل استفاده شود. لازم است که کاهش پاتوژن در سطح A قبل یا هم زمان با کاهش جذب ناقل صورت گیرد به جز در مواردی همچون افزایش مواد قلیایی به لجن یا خشک کردن آن که برای کاهش جذب ناقل انجام می گیرد.

بخش ۲- تشخیص سالمونلا یا فیکال کلیفرم (کلیفرم مدفوعی) به منظور تعیین رشد مجدد آنها

پتانسیل رشد مجدد با کتری های لجن های فاضلاب سطح A از اهمیت به سزایی برخوردار است که نباید رشد مجدد با کتری ها در لجن فاضلاب رخ دهد. تمام گزینه های این مقررات به موارد زیر احتیاج دارند:

● تراکم فیکال کلیفرم در لجن فاضلاب کمتر از MPN ۱۰۰۰ در هر گرم از کل جامدات (بر حسب وزن خشک) باشد.

● تراکم با کتری های گونه سالمونلا در لجن فاضلاب کمتر از MPN ۳ در ۴ گرم از کل جامدات (بر حسب وزن خشک) باشد. این مقررات جهت موارد زیر به کار می روند:

۱- در زمانی که لجن فاضلاب در زمین مورد استفاده قرار می گیرد یا دفع می شود.

۲- در زمانی که لجن به فروش می رسد و یا در یک کیسه یا ظروف دیگر جهت مصرف در زمین بسته بندی می شود.

بخش ۳- گزینه ۱: لجن فاضلابی که به وسیله حرارت تصفیه می شود

این گزینه ممکن است در هنگامی استفاده شود که فرایند کاهش پاتوژن با استفاده از رژیم های مخصوص درجه حرارت - زمان انجام می گیرد که باید مورد زیر را بر آورده نماید:

در زمانی که لجن فاضلاب مورد استفاده قرار می گیرد یا دفع می شود و یا در زمانی که لجن فاضلاب را آماده می کنند و یا به فروش می رسانند یا این که در داخل کیسه یا ظروف دیگر

جهت مصرف در زمین بسته بندی می کنند، تراکم فیکال کلیفرم باید پایین تر از MPN ۱۰۰۰ در هر گرم از کل جامدات یا با کتری های گونه سالمونلا پایین تر از حدود تعیین شده (MPN ۳ در ۴ گرم از کل جامدات بر حسب وزن خشک) باشد.

● رژیم های مخصوص درجه حرارت - زمان باید بر آورده شود.

بخش ۴- گزینه ۲: تصفیه لجن فاضلاب به وسیله فرایند pH بالا - درجه حرارت بالا (تصفیه قلیایی):

این گزینه شرایط ویژه یک فرایند با درجه حرارت و pH بالا را شرح می دهد که در کاهش پاتوژن ها به پایین تر از حدود تعیین شده مؤثر است. شرایط مورد نیاز برای این گزینه به شرح زیر است:

● بالا بردن pH به بالای ۱۲ برای مدت زمان بیش از ۷۲ ساعت.

● حفظ درجه حرارت به بالای ۵۲°C برای مدت زمان کمتر از ۷۲ ساعت در طول مدتی که pH بالای ۱۲ است.

● خشک کردن به وسیله هوا به منظور این که غلظت جامدات را بعد از ۷۲ ساعت در زمانی که pH بالاست به بالای ۵۰٪ برساند.

در این گزینه پایش میکروبیولوژیکی سالمونلاها و فیکال کلیفرم برای کل گزینه سطح A ضروری است، تا این که پاتوژن ها کاهش یابند و از رشد مجدد آنها جلوگیری به عمل آید.

بخش ۵- گزینه ۳: تصفیه لجن فاضلاب به وسیله دیگر فرایندها.

این گزینه برای لجن فاضلاب حاصل از فرایندهایی که شرایط مورد نیاز آن به وسیله گزینه ۱ و ۲ بر آورده نمی شود، کاربرد دارد. این امر مستلزم این است که پایش وسیعی در مورد با کتری ها، ویروس های روده ای و تخم فعال کرم ها انجام گیرد تا این که پاتوژن ها به مقدار کافی کاهش یابند. به این منظور:

● تراکم فیکال کلیفرم در لجن فاضلاب می باید کمتر از MPN ۱۰۰۰ در هر گرم از کل جامدات (بر حسب وزن خشک) و

یا این که تراکم با کتری گونه سالمونلا در لجن فاضلاب کمتر از MPN ۳ در ۴ گرم از کل جامدات (بر حسب وزن خشک) در موارد زیر باشد: در زمانی که لجن فاضلاب مورد استفاده قرار

می‌گیرد یا دفع می‌شود و یا در زمانی که لجن فاضلاب را آماده می‌کنند و یا به فروش می‌رسانند یا این که در داخل کیسه یا ظروف دیگر جهت مصرف در زمین بسته‌بندی می‌کنند.

● تراکم ویروس‌های روده‌ای در لجن فاضلاب بعد از تصفیه باید کمتر از ۱ PFU در ۴ گرم از کل جامدات (بر حسب وزن خشک) باشد.

● تراکم تخم فعال کرم در لجن فاضلاب بعد از تصفیه باید کمتر از ۱ عدد در ۴ گرم از کل جامدات (بر حسب وزن خشک) باشد.

بخش ۶- گزینه ۴: تصفیه لجن فاضلاب به وسیله فرایندهای ناشناخته

این گزینه شبیه به گزینه ۳ است یعنی:

● تراکم فیکال کلیفرم در لجن فاضلاب باید کمتر از ۱۰۰۰ MPN در هر گرم از کل جامدات (بر حسب وزن خشک) و یا تراکم باکتری‌های گونه سالمونلا در لجن باید کمتر از ۳ MPN در هر ۴ گرم از کل جامدات (بر حسب وزن خشک) در موارد ذکر شده در گزینه ۳ باشد.

● تراکم تخم فعال کرم در لجن فاضلاب باید کمتر از ۱ عدد در هر ۴ گرم از کل جامدات (بر حسب وزن خشک) باشد. این مقررات در موارد زیر کاربرد دارد:

● در مواقعی که یک فرایند تصفیه لجن فاضلاب ناشناخته باشد.

● فرایند بهره‌برداری لجن فاضلاب در شرایط با سختی کمتر از شرایط بهره‌برداری لجن فاضلابی که تحت گزینه سطح A است، باشد.

بخش ۷- گزینه ۵: استفاده از فرایندهایی که اکثر پاتوژن‌ها را کاهش می‌دهند (PFRP).

مشخصات این گزینه در سطح A لجن فاضلاب عبارت است از:

● لجن فاضلاب به وسیله یکی از فرایندهایی که بیشتر پاتوژن‌ها را کاهش می‌دهند (PFRP) تصفیه می‌شود.

● تراکم فیکال کلیفرم در لجن فاضلاب کمتر از ۱۰۰۰ MPN در هر گرم از کل جامدات بر حسب وزن خشک و یا تراکم باکتری‌های گونه سالمونلا در لجن فاضلاب کمتر از

۳ MPN در هر ۴ گرم از کل جامدات بر حسب وزن خشک در موارد زیر باشد: در زمانی که لجن فاضلاب مورد استفاده قرار می‌گیرد یا دفع می‌شود یا در زمانی که لجن فاضلاب را آماده می‌کنند و یا به فروش می‌رسانند یا این که در داخل کیسه و یا ظروف دیگر جهت مصرف در زمین بسته‌بندی می‌کنند.

فرایندهایی که تحت بخش ۳ CFR ۵۰۴ به منظور کاهش بیشتر پاتوژن‌ها به کار می‌رود عبارتند از:

۱- کودسازی: استفاده از روش کودسازی به طریقه مخزنی^۳ یا روش کمپوست کردن به طریقی توده ساکن هوادهی شده^۴ که درجه حرارت لجن فاضلاب را برای مدت ۳ روز تا ۵۵C یا بالاتر حفظ کند. در روش کودسازی به طریقه ویندرو^۵ درجه حرارت لجن فاضلاب برای مدت ۱۵ روز یا بیشتر حدود ۵۵C یا بالاتر حفظ شود. توده ویندرو در طول مدتی که درجه حرارت کمپوست ۵۵C یا بالاتر است، حداقل نیاز به ۵ برگشت دارد.

۲- خشک کردن به وسیله حرارت^۶:

لجن فاضلاب به وسیله تماس مستقیم یا غیر مستقیم با گازهای داغ خشک می‌شود تا رطوبت لجن فاضلاب به ۱۰٪ یا کمتر کاهش یابد. درجه حرارت ذرات لجن فاضلاب به بالاتر از ۸۰C می‌رسد.

۳- تصفیه حرارتی^۷: لجن فاضلاب در یک درجه حرارت ۱۸۰C یا بالاتر برای مدت ۳۰ دقیقه گرم می‌شود.

۴- هضم هوازی ترموفیلیک^۸: لجن مایع فاضلاب به منظور حفظ شرایط هوازی با هوا یا اکسیژن مخلوط می‌شود و متوسط زمان ماند سلولی (زمان ماند جامدات) لجن فاضلاب در دمای ۵۵C تا ۶۰C به ۱۵ روز می‌رسد.

۵- تابش پرتوی بتا^۹: اشعه‌های بتا ناشی از شتاب دهنده‌های الکترون در دُز حداقل ۱ مگاراد در دمای معمولی اتاق ۲۰C به لجن فاضلاب تأیید می‌شود.

- 1- Processes to Further Reduce Pathogens
- 2- Composting
- 3- Whithin - Vessel
- 4- Static Aerated Pille
- 5- Windrow
- 6- Heat Drying
- 7- Heat Treatment
- 8- Thermophilic Aerobic Digestion
- 9- Beta Ray Irradiation

۶- تابش پرتوی گاما: اشعه گاما که ایزوتوپ مخصوص از کبالت ۶۰ و سزیم ۱۳۷ است در دُز حداقل ۱ مگاراد در دمای معمولی اتاق ۲۰C به لجن فاضلاب تأیید می‌شود.

۷- پاستوریزاسیون: لجن فاضلاب را در دمای ۷۰C یا بالاتر برای مدت زمان ۳۰ دقیقه یا بیشتر نگه می‌دارند.

مقررات پاتوژن در سطح B و مقررات لجن سپتیک خانگی که در زمین کشاورزی، جنگل یا اصلاح یک مکان به کار می‌رود

مقررات پاتوژن در سطح B را می‌توان از طریق ۲ نوع گزینه اثبات کرد. موضوع این ۲ نوع گزینه این است که تراکم باکتری‌های بیماری‌زا و ویروس‌های روده‌ای به مقدار کافی کاهش یابند. همچنین تراکم فیکال کلیفرم در لجن تصفیه شده به ۲ میلیون MPN یا CFU^۳ در هر گرم از کل جامدات لجن فاضلاب (بر حسب وزن خشک) برسد. فارل^۴ در سال ۱۹۸۵ نشان داد که یک فرایند لجن فاضلاب اگر تراکم فیکال کلیفرم را به ۲ میلیون MPN یا CFU در هر گرم از کل جامدات برساند باکتری‌ها و ویروس‌های بیماری‌زا در لجن فاضلاب کاهش می‌یابند. مثلاً اگر تراکم فیکال کلیفرم ۱۰۰ برابر (۲log) کاهش یابد می‌توان انتظار داشت که سالمونلا تقریباً ۳۲ برابر (۱/۵log) و ویروس‌های روده‌ای تقریباً ۲۰ برابر (۱/۳log) کاهش یابند. در لجن فاضلاب در سطح B محدودیت محل (انحصاری کردن مکان) وجود دارد، به همین دلیل برداشت محصول، چراگاه حیوانات و تماس عمومی را برای یک مدت زمان محدود می‌کنند تا فاکتورهای محیطی بیشتر پاتوژن‌ها را کاهش دهند. این محدودیت‌ها جهت اطمینان کافی در کاهش تخم فعال کرم‌ها، پاتوژن‌های مقاوم در زمانی که این پاتوژن‌ها در طول تصفیه کاهش نمی‌یابند در نظر گرفته شده است. مقررات پاتوژن برای لجن سپتیک خانگی که بر روی یک محل دفع سطحی انتقال می‌یابند وجود ندارد. هم‌چنین لجن فاضلاب در سطح B و لجن سپتیک خانگی باید مقررات کاهش جذب ناقل را برآورده کنند.

۲ نوع گزینه مقررات پاتوژن در سطح B عبارتند از:

گزینه ۱: پایش فیکال کلیفرم:

در گزینه ۱ ضروری است که نمونه‌های هفت تایی از لجن

فاضلاب تصفیه شده، در زمانی که لجن مورد استفاده قرار می‌گیرد یا دفع می‌شود جمع‌آوری شود و یا این که متوسط هندسی تراکم فیکال کلیفرم این نمونه‌ها کمتر از ۲ میلیون MPN یا CFU در هر گرم از کل جامدات لجن فاضلاب (بر حسب وزن خشک) باشد. استفاده از این تراکم فیکال کلیفرم به عنوان شاخصی جهت باکتری‌ها و ویروس‌های بیماری‌زا می‌باشد.

گزینه ۲: استفاده از فرایندهایی که در کاهش پاتوژن مهم‌اند (PSRPs)^۵:

PSRPs شامل ۵ روش می‌باشد که عبارتند از: هضم هوازی، هضم بی‌هوازی، خشک کردن به وسیله هوا، فرایند کودسازی و تثبیت به وسیله آهک که تصفیه لجن فاضلاب در این فرایند در سطح A نسبت به پاتوژن‌ها قرار دارد. هنگامی که تحت شرایط ویژه‌ای از PSRPs بهره‌برداری می‌شود تراکم فیکال کلیفرم باید کمتر از ۲ میلیون MPN یا CFU در هر گرم از کل جامدات (بر حسب وزن خشک) کاهش یابد و غلظت سالمونلا و ویروس‌های روده‌ای را در لجن فاضلاب تقریباً با یک فاکتور ۱۰ کاهش دهد [۳]. تحت این گزینه لجن فاضلاب به وسیله یکی از روش‌های PSRPs فهرست شده در بخش ۵۰۳ تصفیه می‌شود. مهمترین فرایندهای کاهش پاتوژن عبارتند از:

۱- هضم هوازی^۶: لجن فاضلاب به منظور حفظ شرایط هوازی برای یک مدت زمان ماند متوسط سلول مشخص (زمان ماند جامدات) در یک درجه حرارت مشخص با هوا یا اکسیژن مخلوط می‌شود. میزان زمان ماند متوسط سلولی و درجه حرارت بین ۴۰ روز در دمای ۲۰C و ۶۰ روز در دمای ۱۵C می‌باشد.

۲- خشک کردن به وسیله هوا^۷: لجن فاضلاب بر روی بسترهای ماسه‌ای یا حوضچه‌های فرش شده یا فرش نشده برای حداقل ۳ ماه خشک می‌شود. در طول این ۲ تا ۳ ماه درجه حرارت متوسط روزانه محیط بایستی بالای صفر درجه سانتی‌گراد باشد.

- 1 Gamma Ray Irradiation
- 2- Pasteurization
- 3- Colony - Forming Units
- 4- Farrell
- 5- Processes to Significantly Reduce Pathogens
- 6- Aerobic Digestion
- 7- Air Drying

۳- هضم بی‌هوازی^۱: لجن فاضلاب در غیاب هوا برای یک مدت زمان متوسط سلولی (زمان ماند جامدات) در یک درجه حرارت مشخص تصفیه می‌شود. میزان متوسط زمان ماند سلولی و درجه حرارت بین ۱۵ روز در دمای ۳۵°C تا ۵۵°C و ۶۰ روز در دمای ۲۰°C می‌باشد.

۴- فرایند کودسازی: استفاده از هر یک از روشهای کمپوست کردن به طریقه مخزنی، توده ساکن هوادهی شده و یا ویندروکه درجه حرارت لجن فاضلاب را تا ۴۰°C یا بیشتر بالا ببرد و در این درجه حرارت برای مدت ۵ روز باقی بماند. برای ۴ ساعت در طول ۵ روز، درجه حرارت توده کمپوست بیش از ۵۵°C می‌رسد.

۵- تثبیت به وسیله آهک^۲: آهک به مقدار کافی به لجن فاضلاب اضافه می‌شود تا pH لجن فاضلاب را بعد از ۲ ساعت تماس به بالای ۱۲ برساند.

محدودیت محل یا انحصاری کردن مکان

لجن فاضلاب به منظور برآورد مقررات سطح B نیاز به کاهش قابل ملاحظه در تراکم باکتری‌ها و ویروس‌های بیماری‌زا و تخم کرم‌ها دارد. بنابراین محدودیت محل ضروری است تا این که پاتوژن‌های بیشتری را در لجن فاضلاب در صورتی که در زمین به کار رود، کاهش دهد. محدودیت محل برای مکان‌هایی که لجن‌های فاضلاب سطح B به کار می‌رود، به شرح زیر می‌باشد:

الف - محصولات غذایی با قسمت‌های جمع‌آوری شده که با خاک مخلوط با لجن فاضلاب در تماس است

این محصولات به طور کامل در سطح بالای زمین قرار دارند که برای مدت ۱۴ ماه بعد از کاربرد لجن فاضلاب در زمین جمع‌آوری نمی‌شوند مانند خربزه، خیار یا توت‌فرنگی. در قالب این زمان، شرایط محیطی مانند نور خورشید، درجه حرارت، خشکی به مقدار کافی پاتوژن‌ها را بر روی سطح زمین به پایین‌تر از حدود تعیین شده کاهش می‌دهد.

ب - محصولات غذایی با قسمت‌های جمع‌آوری شده که در زیر سطح زمین وجود دارند

این محصولات برای مدت ۲۰ ماه بعد از کاربرد لجن

فاضلاب جمع‌آوری نمی‌شوند. در این مورد لجن فاضلاب برای مدت ۴ ماه یا بیشتر قبل از ترکیب در داخل خاک بر روی سطح زمین قرار می‌گیرند مانند سیب‌زمینی، ترب، هویج.

یا این که این محصولات را برای مدت ۳۸ ماه بعد از کاربرد لجن فاضلاب جمع‌آوری و برداشت نمی‌کنند. در این مورد لجن فاضلاب برای مدت کمتر از ۴ ماه بر روی سطح زمین، قبل از ترکیب در داخل خاک قرار می‌گیرد. در این صورت مشکل عمده، آلودگی سطحی محصولات ریشه‌ای ایجاد با تخم فعال کرم‌هاست. حداقل زمانی که برای فاکتورهای محیطی در نظر می‌گیرند ۴ ماه است تا این که تخم زنده کرم‌ها را در لجن فاضلابی که بر روی سطح زمین است کاهش دهد.

ج - محصولات غذایی، محصولات فیبری

این محصولات برای مدت ۳۰ روز بعد از کاربرد لجن فاضلاب برداشت نمی‌شوند. این محدودیت محصولات غذایی را شامل می‌شود که به وسیله قسمت "الف" و "ب" پوشش داده نمی‌شوند. این محصولات ممکن است در هنگامی که لجن فاضلاب در زمین به کار می‌رود آلوده شوند. بعد از ۳۰ روز هر پاتوژن موجود در لجن فاضلاب که در طول کاربرد ممکن است چسبیده به محصول باشد به احتمال زیاد به میزان ناچیزی کاهش می‌یابد.

د - چراگاه حیوانات

به حیوانات برای مدت ۳۰ روز بعد از کاربرد لجن فاضلاب اجازه چرا بر روی زمین داده نمی‌شود. لجن فاضلاب می‌تواند به حیواناتی که بر روی زمین اصلاح شده با لجن فاضلاب قدم می‌زنند بچسبد و بدین طریق به افرادی که در تماس با این حیوانات هستند منتقل شود. به عنوان مثال رهاسازی اسب‌ها و گاوهای شیرده به چراگاهی که با لجن فاضلاب اصلاح شده است. در طول ۳۰ روز پاتوژن‌ها به مقدار کافی در سطوحی که لجن فاضلاب به کار می‌روند کاهش می‌یابند بنابراین خطر آلودگی انسان و حیوان کاهش می‌یابد.

ه - تماس عموم

بعد از کاربرد لجن فاضلاب، برای تماس عموم به زمین با یک پتانسیل تماس بالا، زمانی حدود یک سال محدودیت قائل

می‌شوند مثل زمین بیس‌بال و فوتبال. استفاده زیاد از زمین و تماس با خاک (بازی کردن، افتادن بر روی خاک، بلند شدن گرد و خاک و استنشاق و بلع آن) راه اصلی انتقال است. تماس عموم به زمین با یک پتانسیل تماس پایین، بعد از

منابع و مراجع

- 1- Peavy, H.S., Rowe, D.R., and Tchobanoglous, G. (1986). "Environmental Engineering", McGraw - Hill International Editions.
- 2- McGhee, T.J. (1991). "Water Supply and Sewerage", 6th Edition, McGraw - Hill, New York.
- 3- EPA. (1992). "Environmental Regulations Technology", Control of Pathogens & Vector Attraction in Sewage Sludge, EPA/625/R - 92/013.

توضیح:

به اطلاع می‌رساند در مجله آب و فاضلاب شماره ۲۶ - تابستان ۱۳۷۷، در مقاله "کاربرد آنزیم‌ها در تصفیه فاضلاب" نام آقای مهندس مهرداد فرهادیان به عنوان یکی از نویسندگان مقاله سهواً از قلم افتاده است که بدین وسیله از ایشان پوزش می‌طلبیم.

1- Anaerobic Digestion

2- Lime Stabilization