



آماده سازی لجن حاصل از تصفیه فاضلاب شهری برای مصارف کشاورزی



پیش نویس استاندارد

آماده سازی لجن حاصل از تصفیه فاضلاب شهری

برای مصارف کشاورزی

پیشگفتار

امروزه نقش و اهمیت ضوابط، معیارها و استانداردها و آثار اقتصادی ناشی از بکارگیری مناسب و مستمر آنها در پیشرفت جوامع، تهیه و کاربرد آنها را ضروری و اجتناب‌ناپذیر ساخته است. نظر به وسعت دامنه علوم و فنون در جهان امروز، تهیه ضوابط، معیارها و استانداردها در هر زمینه به مجامع فنی - تخصصی واگذار شده است.

با در نظر گرفتن مراتب فوق و با توجه به شرایط اقلیمی و محدودیت منابع آب در ایران، تهیه استاندارد در بخش آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و از این رو طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور وزارت نیرو در جهت نیل به این هدف با مشخص نمودن رسته‌های اصلی مهندسی آب اقدام به تشکیل مجامع علمی - تخصصی با عنوان کمیته‌ها و زیر کمیته‌های فنی نموده که وظیفه تهیه این استانداردها را به عهده دارند.

استانداردهای مهندسی آب با در نظر داشتن موارد زیر تهیه و تدوین می‌گردد:

- استفاده از تخصص‌ها و تجارب کارشناسان و صاحب‌نظران شاغل در بخش عمومی و خصوصی
- استفاده از منابع و مأخذ معتبر و استانداردهای بین‌المللی
- بهره‌گیری از تجارب دستگاههای اجرایی، سازمانها، نهادها، واحدهای صنعتی، واحدهای مطالعه، طراحی و ساخت
- ایجاد هماهنگی در مراحل تهیه، اجرا، بهره‌برداری و ارزشیابی طرحها
- پرهیز از دوباره کاریها و اتلاف منابع مالی و غیر مالی کشور
- توجه به اصول و موازین مورد عمل مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران و سایر مؤسسات معتبر تهیه‌کننده استاندارد

استانداردها ابتدا بصورت پیش‌نویس برای نظرخواهی منتشر شده و نظرات ارسالی پس از بررسی در کمیته تخصصی در نسخه نهایی منظور خواهد شد.

امید است که کارشناسان و صاحب‌نظرانی که فعالیت آنها با این رشته از مهندسی آب مرتبط می‌باشد، با توجهی که مبذول می‌فرمایند این پیش‌نویس را مورد بررسی دقیق قرار داده و با ارائه نظرات و راهنمایی‌های ارزنده خود کمیته فنی شماره ۵-۱ (تصفیه آب و فاضلاب شهری) را در تنظیم و تدوین متن یاری و راهنمایی فرمایند.

ترکیب اعضای کمیته

اسامی اعضای کمیته فرعی ۱ از کمیته فنی شماره ۵ طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور که در تهیه و تدوین پیش نویس استاندارد حاضر مشارکت داشته‌اند بشرح زیر می‌باشد :

آقای محمد بهاری کیا	شرکت آتی سر (کارشناس آزاد)	فوق لیسانس مهندسی بهداشت
آقای مصطفی بهشتیان	شرکت ماشین سازی ویژه	فوق لیسانس مکانیک
آقای رضا خیراندیش	مهندسین مشاور پژوهاب	فوق لیسانس مهندسی تهیه آب و آبرسانی
آقای علیرضا رادپی	کارشناس آزاد	فوق لیسانس مهندسی بهداشت
آقای جلال شایگان	دانشگاه صنعتی شریف	دکترای مهندسی بیوشیمی
آقای محمد شریفی سیستانی	شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور	فوق لیسانس آب و فاضلاب
آقای دکتر علی اکبر عظیمی	دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران	دکترای مهندسی بهداشت
آقای غازی عیدان	کارشناس آزاد	فوق لیسانس محیط زیست
آقای امیر سعید موسوی حجازی	کارشناس آزاد	فوق لیسانس مهندسی مکانیک

پیش نویس این نشریه توسط آقای دکتر علی اکبر عظیمی تهیه شده است.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	-۱ مقدمه
۲	-۲ مشخصات کمی لجن حاصل از تصفیه فاضلاب شهری
۲	۱-۲ مقدار لجن مقدماتی
۲	۲-۲ مقدار لجن بیولوژیکی
۴	-۳ مشخصات کیفی لجن حاصل از تصفیه فاضلاب شهری
۷	-۴ خطرات کاربرد لجن در کشاورزی بدون آماده‌سازی
۷	۱-۴ تولید بوی مزاحم
۷	۲-۴ انتشار عوامل بیماریزا
۷	۳-۴ آلودگی منابع آب و خاک
۸	-۵ تصفیه لجن
۸	۱-۵ آمایش لجن
۸	۲-۵ تغلیظ لجن
۹	۳-۵ تثبیت لجن
۹	۴-۵ آبگیری لجن
۹	۵-۵ گندزدائی لجن
۹	-۶ انتخاب فرآیند آماده‌سازی لجن برای مصارف کشاورزی
۱۰	۱-۶ استفاده از لجن آبگیری نشده
۱۰	۲-۶ استفاده از لجن آبگیری شده
۱۱	۳-۶ روش‌های آماده‌سازی لجن برای مصارف کشاورزی
۱۱	۱-۳-۶ آماده‌سازی متعارف لجن
۱۲	۲-۳-۶ آماده‌سازی لجن از طریق پوساندن
۱۴	۳-۳-۶ آماده‌سازی لجن با استفاده از آهک
۱۵	۱-۳-۳-۶ تثبیت لجن با آهک قبل از آبگیری
۱۶	۲-۳-۳-۶ تثبیت لجن با آهک بعد از آبگیری
۱۶	۴-۳-۶ آماده‌سازی لجن از طریق خاکچال بهداشتی
۱۷	۱-۴-۳-۶ خاکچال متمرکز لجن
۱۸	۲-۴-۳-۶ خاکچال لجن در ترانشه

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱۸	۷- نرخ مصرف لجن در زمینهای کشاورزی
۱۸	۷-۱ عوامل موثر بر نرخ مصرف لجن در زمینهای کشاورزی
۱۹	۷-۲ تعیین نرخ مصرف لجن در زمینهای کشاورزی
۱۹	۷-۲-۱ زمان، مدت، تناوب و دوره مصرف لجن
۱۹	۷-۲-۲ مقدار مصرف لجن در واحد سطح زمین کشاورزی
۲۲	۷-۲-۳ برآورد حجم لجن در مواردی که وزن مواد خشک لجن و مقدار درصد وزنی آن
۲۲	۸- فهرست منابع و مآخذ

آماده‌سازی لجن حاصل از تصفیه فاضلاب شهری برای مصارف کشاورزی

۱- مقدمه

لجن مواد جامدی است که در واحدهای مختلف تصفیه‌خانه‌های فاضلاب با بهره‌گیری از عملهای فیزیکی نظیر ته‌نشینی، شناورسازی و یا فیلتراسیون از فاضلاب جدا می‌شود.

لجن حاصل از تصفیه فاضلاب ممکن است از یک یا چند نوع زیر تشکیل شده باشد:

- لجن مقدماتی که در حوض‌های ته‌نشینی مقدماتی از فاضلاب خام جدا می‌شود.
- لجن بیولوژیکی که در مرحله تصفیه بیولوژیکی فاضلاب تولید می‌شود.
- لجن حاصل از تغییر شکل شیمیائی یا بیولوژیکی مواد باقیمانده در فاضلاب خروجی از مراحل قبلی که ممکن است در مرحله تصفیه تکمیلی فاضلاب تولید شود.

لجن خام ایجاد شده در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری بعلت حجم زیاد، قابلیت ایجاد بوی مزاحم، بار سنگین مواد آلی و وجود تعداد خیلی زیاد میکروبهای بیماری‌زا و انواع تخم انگلها در آن مسئله سازاست لذا در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری باید حسب نوع لجن حاصل از فرآیند تصفیه فاضلاب، تمهیدات لازم برای بی‌خطر و غیر مزاحم ساختن و دفع بهداشتی لجن پیش‌بینی شود.

در فصل ششم نشریه شماره ۳-۱۲۹ سازمان برنامه و بودجه، ضوابطی درباره جمع‌آوری، تصفیه و دفع لجن منعکس و کلیاتی نیز درباره کاربرد لجن در اراضی مزروعی و اراضی جنگلی ارائه شده است.

نظر بر اینکه شرایط حاکم بر غالب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری در ایران ایجاب می‌نماید که از لجن حاصل از تصفیه فاضلاب در مزارع کشاورزی استفاده شود، لذا نشریه حاضر به منظور راهنمایی طراحان و معریان تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری که در نظر دارند لجن حاصل از تصفیه فاضلاب را در مزارع کشاورزی دفع کنند تهیه شده است.

نظر بر اینکه نشریه حاضر عملاً می‌تواند بعنوان مکمل فصل ششم نشریه شماره ۳-۱۲۹ منظور شود در هر کجا که لازم بوده اطلاعات و ضوابط تکمیلی نیز ارائه شده است.

با توجه به نکات مشروح در فوق نشریه حاضر در هفت بخش زیر تهیه شده است:

- بخش ۱- مشخصات کمی لجن حاصل از تصفیه فاضلاب شهری
- بخش ۲- مشخصات کیفی لجن حاصل از تصفیه فاضلاب شهری

- بخش ۳- خطرات کاربرد لجن در کشاورزی بدون آماده‌سازی
- بخش ۴- تصفیه لجن
- بخش ۵- انتخاب فرآیند آماده‌سازی لجن برای مصارف کشاورزی
- بخش ۶- ضوابط کاربرد لجن آماده شده در زمین‌های کشاورزی
- بخش ۷- مراجع و منابع

۲- مشخصات کمی لجن حاصل از تصفیه فاضلاب شهری :

برای طراحی دقیق و راهبری صحیح واحدهای آماده سازی و دفع لجن، محاسبه مقدار لجنی که در تصفیه خانه فاضلاب تولید می‌شود ضرورت دارد. برای برآورد مقدار تولید لجن می‌توان از محاسبات تئوری و یا اطلاعات تجربی استفاده کرد.

۱-۲ مقدار لجن مقدماتی

برای برآورد مقدار لجن مقدماتی می‌توان از سرانه کل مواد معلق در فاضلاب خام و بازده حوض ته نشینی مقدماتی استفاده کرد.

سرانه کل مواد معلق در فاضلاب شهری به نوع شبکه جمع آوری بستگی دارد. مقدار وزنی کل مواد معلق در شبکه مرکب جمع‌آوری فاضلاب حدود ۲۰ الی ۳۰ درصد بیش از شبکه مجزا می‌باشد. در صورتیکه مقدار وزنی کل مواد معلق در فاضلاب شهری ۴۰ الی ۸۰ گرم مواد خشک به ازاء هر نفر در روز و بازده ته نشینی حدود ۶۰ درصد در نظر گرفته شود، سرانه لجن مقدماتی حدود ۲۵ الی ۵۰ گرم مواد خشک در روز خواهد بود و اگر متوسط غلظت مواد خشک در لجن مقدماتی حدود ۵ درصد منظور شود مقدار لجن مقدماتی حدود نیم تا یک لیتر در روز به ازاء هر نفر خواهد شد.

۲-۲ مقدار لجن بیولوژیکی

مقدار لجن بیولوژیکی به نوع فرآیند بیولوژیکی تصفیه فاضلاب و شرایط حاکم نظیر دما، سن لجن، نسبت غذا به میکروارگانیسم (F/M) زمان ماند هیدرولیکی و بار مواد آلی وارد شده به واحد تصفیه بیولوژیکی بستگی دارد. در فرآیندهای لجن فعال، مقدار تولید لجن بیولوژیکی با استفاده از ثابت‌های بیولوژیکی که میزان رشد و زوال

میکروارگانسیم‌ها را مشخص می‌کند قابل اندازه‌گیری است. در فرمول زیر ارتباط این ثابت‌ها برای محاسبه مقدار مواد خشک لجن بیولوژیکی نشان داده شده است.

$$P_x = FYS_r - K_d M$$

در این رابطه :

P_x = مقدار تولید مواد خشک لجن بیولوژیکی حسب کیلوگرم مواد معلق فرار در روز (kg VSS/d)

Y = نسبت تولید جامدات بیولوژیکی حسب کیلوگرم مواد معلق فرار به کیلوگرم اکسیژن خواهی بیوشیمیایی مصرف شده (kg VSS/kg BOD₅)

S_r = مقدار کاهش اکسیژن خواهی بیوشیمیایی در حوض هوادهی حسب کیلوگرم در روز (kg BOD₅/d)

K_d = ضریب زوال میکروارگانسیم‌ها در روز (d^{-1})

M = جرم جامدات بیولوژیکی در حوض هوادهی حسب کیلوگرم مواد معلق فرار (kgVSS)

f = ضریب ثابت؛ این ضریب به مقدار مواد معلق غیر قابل تجزیه بیولوژیکی ورودی به حوض هوادهی و باقیمانده مواد معلق ناشی از زوال میکروارگانسیم‌ها بستگی دارد و دامنه تغییرات آن ۱/۵ الی ۲/۵ می‌باشد.

مقادیر نمونه‌وار ضرایب Y و K_d به ترتیب ۰/۵۵ کیلوگرم مواد معلق فرار به کیلوگرم اکسیژن خواهی بیوشیمیایی پنج روزه مصرف شده و ۰/۰۶ در روز می‌باشد. مقدار این ضرایب به دما و سایر عوامل محیطی بستگی دارد.

اگر سرانه اکسیژن خواهی بیوشیمیایی پنج روزه معادل ۴۵ گرم در روز و بار لجن (نسبت غذا به میکروارگانسیم F/M) حدود ۰/۱ در روز باشد و به فرض آنکه حدود $\frac{1}{3}$ اکسیژن خواهی بیوشیمیایی در حوض ته نشینی مقدماتی حذف شده باشد سرانه وزن خشک کل مواد معلق لجن بیولوژیکی حدود ۱۵ گرم در روز خواهد بود:

$$P_x = 2 \times 0.55 \times \frac{2}{3} \times 45 - 300 \times 0.06 = 15 \text{ g TSS/c - d}$$

در این محاسبه به فرض آنکه سرانه اکسیژن خواهی بیوشیمیایی پنج روزه ورودی به حوض هوادهی ۳۰ گرم در روز باشد. برای اینکه بار لجن معادل ۰/۱ در روز شود مقدار کل مواد معلق (M) معادل ۳۰۰ گرم در نظر گرفته شده است. اگر غلظت لجن بیولوژیکی به طور متوسط یک درصد باشد سرانه لجن بیولوژیکی حدود ۱/۵ لیتر در روز خواهد بود.

در برآورد مقدار لجن بیولوژیک می‌توان از رابطه تجربی پیشنهادی آقای هنگن (Honken) نیز استفاده نمود. در این رابطه مقدار لجن بیولوژیکی (P_x) حسب کیلوگرم مواد خشک جامدات بیولوژیکی به ازاء هر کیلوگرم اکسیژن خواهی بیوشیمیائی پنج روزه ورودی به حوض هوادهی به صورت تابعی از نسبت غذا به میکروارگانسیم (F/M) بیان شده است.

$$P_x = 1/2 (F/M)^{0.73}$$

در این رابطه F/M عبارتست از نسبت بار وزنی اکسیژن خواهی بیوشیمیائی پنج روزه بر حسب کیلوگرم در روز به وزن مواد معلق حوض هوادهی بر حسب کیلوگرم ($\text{kg BOD}_5/\text{Kg MLVSS-d}$)

شایان ذکر است که در فرآیند نیترا فیکاسیون (تبدیل آمونیاک به نترات توسط میکروارگانسیم‌های نترات ساز) به ازاء هر کیلوگرم نیتروژن آمونیاکی که به نترات تبدیل می‌شود تقریباً معادل ۱۵۰ گرم لجن بیولوژیکی تولید می‌گردد. مقدار لجن بیولوژیکی تولید شده در صافی‌های چکه‌ای به نوع صافی بستگی دارد. در صافی‌های چکه‌ای کم‌بار (صافی چکه‌ای که روزانه حداکثر ۰/۲۵ کیلوگرم اکسیژن خواهی بیوشیمیائی پنج روزه به هر مترمکعب از حجم صافی وارد می‌شود) به ازاء هر کیلوگرم اکسیژن خواهی بیوشیمیائی پنج روزه که از فاضلاب زدوده می‌شود حداکثر حدود ۰/۴ کیلوگرم لجن بیولوژیکی تولید می‌گردد؛ اما در صافی‌های چکه‌ای پر بار (صافی چکه‌ای که روزانه حداقل یک کیلوگرم اکسیژن خواهی بیوشیمیائی پنج روزه به هر متر مکعب از حجم صافی وارد می‌شود) به ازاء زدایش هر کیلوگرم اکسیژن خواهی بیوشیمیائی پنج روزه متجاوز از ۰/۶ کیلوگرم لجن بیولوژیکی تولید می‌شود.

مقدار لجن تولید شده در استخرهای تثبیت نیز به نوع استخر بستگی دارد. سرانه لجن باقی مانده در استخرهای بی‌هوای حدود ۳۰ الی ۸۰ لیتر (به طور متوسط ۴۰ الی ۵۰ لیتر) در سال گزارش شده است. در استخرهای فاکولتاتیو (facultative) سرانه لجن ته‌نشین شده حدود ۳۰ لیتر در سال می‌باشد.

۳- مشخصات کیفی لجن حاصل از تصفیه فاضلاب شهری

بخش اعظم لجن حاصل از تصفیه فاضلاب شهری از آب تشکیل شده است. به طوری که وزن خشک مواد جامد موجود در آن همواره کمتر از ۱۰ درصد وزنی است. در جدول شماره ۲-۱ مقدار درصد این مواد و همچنین خصوصیات ظاهری لجن‌های حاصل از تصفیه فاضلاب ارائه شده است.

جدول شماره ۱-۲- مشخصات فیزیکی انواع لجن حاصل از تصفیه فاضلاب

نوع لجن	مقدار مواد خشک حسب درصد وزنی	خصوصیات ظاهری
مقدماتی	۲ تا ۶	خاکستری رنگ، کمی چسبنده، غالباً بدبو
بیولوژیکی (فرآیند لجن فعال)	۵ تا ۲۰	به رنگ قهوه‌ای روشن، با خاصیت ته‌نشینی متفاوت
بیولوژیکی (صافی چکه‌ای)	۱ تا ۳	قهوه‌ای رنگ، پوک

کیفیت لجن به سیستم جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب بستگی دارد. عوامل تعیین کننده کیفیت لجن عبارت است از:

- مقدار مواد خشک لجن
- مقدار پ هاش (pH) لجن
- غلظت اکسیژن خواهی شیمیایی و بیوشیمیایی لجن
- سهولت آگیری از لجن
- تعداد تخم انگل و سایر عوامل بیماری زا در لجن
- غلظت عناصر و ترکیبات شیمیایی بازدارنده، سمی و خطرزا در لجن
- غلظت مواد مغذی (ترکیبات نیتروژن و فسفر قابل مصرف میکروارگانیسم‌ها) لجن
- ارزش سوختی لجن
- کل خاکستر باقیمانده پس از سوخت لجن

بخش اعظم مواد خشک موجود در لجن اولیه، از مواد آلی تشکیل شده است که در شرایط بی‌هوازی به سرعت متعفن می‌شود. تغلیظ ثقلی و آگیری مکانیکی این لجن نسبتاً آسان است. غلظت فلزات سنگین ممکن است در این لجن زیاد باشد. مثلاً اصلی فلزات سنگین در فاضلاب شهری، ترکیبات سرب حاصل از مصرف بنزین حاوی سرب در خودروها است. در صورت ورود فاضلاب‌های صنعتی به شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهری ممکن است طیف گسترده‌ای از آلاینده‌های گوناگون نیز در لجن مقدماتی وجود داشته باشد.

لجن بیولوژیکی عمدتاً از توده میکروارگانیسم‌ها تشکیل می‌شود که در مرحله تصفیه بیولوژیکی تولید شده است. نظر به اینکه باکتری‌ها در تصفیه بیولوژیکی فاضلاب، نقش اصلی دارند، بخش عمده لجن بیولوژیکی از بدن باکتری‌ها تشکیل شده که فرمول تقریبی شیمیایی آن عبارتست از:



براساس تحقیقاتی که در آفریقای جنوبی انجام شده، مقدار وزنی اکسیژن خواهی شیمیایی هر کیلوگرم از توده باکتری‌های موجود در لجن بیولوژیکی حاصل از فرآیند لجن فعال حدود ۱/۴۸ کیلوگرم می‌باشد.

در لجن بیولوژیکی علاوه بر توده باکتری‌های فعال و غیرفعال، مقداری مواد آلی غیر قابل تجزیه بیولوژیکی نیز وجود دارد که در فاضلاب خام موجود بوده و در مراحل قبلی تصفیه از آن جدا نشده است. علاوه بر این قسمتی از اجساد باکتری‌ها که به طریق بیولوژیکی تجزیه پذیر نیست نیز در لجن ثانویه وجود دارد.

در فرآیندهای هوادهی ممتد و نهرهای اکسیداسیون که زمان توقف لجن در حوض‌های هوادهی آن طولانی بوده و عملاً لجن بیولوژیکی در حوض‌های هوادهی تحت شرایط هوازی هضم می‌شود، قسمت قابل توجهی از لجن بیولوژیکی از بخش غیر قابل تجزیه بیولوژیک اجساد باکتری‌ها تشکیل شده است. این موضوع تا حدی برای لجن تولید شده در فرآیندهای بی‌هوازی، صافی‌های چکه‌ای و صفحات چرخنده بیولوژیکی نیز صادق است.

در جدول شماره ۳-۲ خلاصه ترکیب شیمیایی لجن مقدماتی و لجن بیولوژیکی تولید شده در فرآیند لجن فعال ارائه شده است.

جدول ۳-۲- ترکیب نمونه‌وار لجن مقدماتی و لجن بیولوژیکی حاصل از تصفیه

فاضلاب شهری در فرآیند لجن فعال

عنوان	واحد	لجن مقدماتی	لجن بیولوژیکی
کل مواد خشک	درصد (نسبت به جرم لجن)	۲ تا ۶	۰/۵ تا ۲
مواد آلی	درصد (نسبت به مواد خشک لجن)	۶۰ تا ۸۰	۶۰ تا ۸۵
پروتئین	درصد (نسبت به مواد خشک لجن)	۲۰ تا ۳۰	۳۰ تا ۴۰
چربی و روغن	درصد (نسبت به مواد خشک لجن)	۵ تا ۳۵	۵ تا ۲۰
سلولز	درصد (نسبت به مواد خشک لجن)	۵ تا ۱۵	-
نیتروژن (N)	درصد (نسبت به مواد خشک لجن)	۱/۵ تا ۴	۲ تا ۵
فسفر (P _۲ O _۵)	درصد (نسبت به مواد خشک لجن)	۱ تا ۳	۲ تا ۱۰
پتاسیم (K _۲ O)	درصد (نسبت به مواد خشک لجن)	۰ تا ۱	۰ تا ۱
سیلیس (SiO _۲)	درصد (نسبت به مواد خشک لجن)	۱۵ تا ۲۰	-
قلیائیت (CaCO _۳)	میلی‌گرم در لیتر	۱۵۰۰ تا ۵۰۰	۶۰۰ تا ۱۱۰۰

۴- خطرات کاربرد لجن در کشاورزی بدون آماده‌سازی

لجن حاصل از تصفیه فاضلاب حسب نوع فاضلاب ممکن است حاوی مواد معلق، مواد آلی (نظیر هیدروکربن‌ها، پروتئین‌ها و چربیها)، عوامل بیماریزا، فلزات سنگین و همچنین موادی نظیر فسفر و نیتروژن باشد که کاربرد آن در کشاورزی بدون آماده‌سازی می‌تواند خطرات مشروح زیر را دربرداشته باشد:

۱-۴ تولید بوی مزاحم

تجزیه مواد آلی موجود در لجن خام در شرایط بی‌هوازی، ممکن است بوی مزاحم ایجاد کند. استشمام بوی بد علاوه بر اثرات سوء روانی موجب کم شدن اشتها، مصرف کم آب، تهوع و اختلال حواس نیز می‌گردد.

۲-۴ انتشار عوامل بیماریزا

دفع نسنجیده لجن حاوی عوامل بیماریزا در خاک کشاورزی، موجب انتشار بیماریهای واگیردار از طریق مصرف محصولات کشاورزی آلوده و یا تماس انسان با خاک می‌شود. تمرکز عوامل بیماریزا در لجن خام بمراتب بیش از لجن تثبیت شده است و خطر انتشار بیماری از طریق آن نیز بیشتر است.

۳-۴ آلودگی منابع آب و خاک

آبیاری اراضی که لجن خام در آنها بعنوان اصلاح کننده خاک استفاده شده است موجب انتقال آلودگی به آبهای سطحی و آبهای زیرزمینی می‌گردد.

در گذشته به آلودگی آبهای زیرزمینی توسط میکربهای بیماریزا در مقایسه با آلودگی آبهای سطحی توجه کمتری معطوف می‌داشتند ولیکن امروزه این موضوع مورد توجه است زیرا حسب نوع خاک و عمق آب زیرزمینی خطر آلوده‌شدن آبهای زیرزمینی بسیار جدی است.

توان بیماریزائی میکربها در خاک و لایه‌های زیرزمینی به زمان ماند آنها در خاک، شرایط آب و هوا و نوع میکرب بستگی دارد.

دما و بارندگی در زنده ماندن و حرکت میکربهای بیماریزا در خاک بسیار مؤثرند. مشخصات فیزیکی و شیمیائی خاک نقش عمده‌ای در زنده ماندن میکروارگانیسم‌ها دارد. این مشخصات خاک در ظرفیت نگهداری رطوبت، pH و

مواد آلی خاک مؤثر بوده و این عوامل زنده ماندن باکتری و ویروسها را در خاک کنترل می نمایند. وجود بعضی از مواد مغذی نظیر فسفر و نیتروژن در لجن و آزاد شدن آنها در خاک همراه با آب و تخلیه آنها به رودخانه ها و دریاچه ها موجب بروز پدیده اتریفیکاسیون و آلودگی منابع آبی می گردد. وجود فلزات بویژه فلزات سنگین در لجن خام در حد بیش از مقادیر مجاز و قابل جذب توسط گیاه، موجب مسمومیت و کاهش توان حاصلخیزی خاک می گردد.

دامنه تغییرات غلظت فلزات در لجن بسیار وسیع بوده و حسب نوع لجن، تمرکز فلزات می تواند بسیار کم یا زیاد باشد.

۵- تصفیه لجن

تصفیه لجن عبارت از مجموعه عملیات و فرآیندهایی است که با انجام آن کیفیت لجن با استانداردهای مربوط به مصرف یا دفع لجن در محیط زیست تطبیق پیدا می کند. درجه تصفیه لجن به مشخصات کمی و کیفی لجن و استانداردهای مربوط به نحوه مصرف یا دفع آن در محیط زیست بستگی دارد.

عملیات و فرآیندهایی که در تصفیه لجن ممکن است مورد استفاده قرار گیرد عبارت است از:

- آمایش (conditioning)
- تغلیظ (thickening)
- تثبیت (stabilization)
- آبگیری (dewatering)
- گندزدائی (disinfection)

۵-۱ آمایش لجن

آمایش لجن عبارت از مجموعه عملیات و فرآیندهایی که به منظور جدا شدن آسانتر آب از لجن قبل از عملیات تغلیظ یا آبگیری صورت می گیرد. آمایش لجن ممکن است به روش شیمیایی، حرارتی، پرتوتابی و یا انجماد باشد.

۵-۲ تغلیظ لجن

تغلیظ عبارت از مجموعه عملیاتی است که به منظور کاهش حجم لجن قبل از تثبیت آن انجام می شود. تغلیظ لجن ممکن است به روش ثقلی، شناورسازی و یا مکانیکی صورت پذیرد.

۳-۵ تثبیت لجن

تثبیت عبارت از مجموعه عملیات و فرآیندهایی است که به منظور کاهش ظرفیت تولید بو و فسادپذیری لجن قبل از آبگیری یا مصرف و دفع لجن در محیط زیست انجام می‌شود. تثبیت لجن ممکن است به روش بیوشیمیایی (هضم هوازی، هضم بی‌هوازی، کمپوست)، شیمیایی (آهک‌زنی، اکسیداسیون با کلر) و فیزیکی (گرمادهی، گرمادهی تحت فشار) انجام شود.

۴-۵ آبگیری لجن

آبگیری عبارت از مجموعه عملیاتی است که به منظور کاهش حجم و تغییر شکل فیزیکی لجن قبل از مصرف یا دفع آن در محیط زیست صورت می‌پذیرد. آبگیری از لجن ممکن است با استفاده از بسترهای خشک‌کننده، لاگون و یا وسائل مکانیکی (دستگاه‌گیر از مرکز، فیلتر خلاء، فیلتر تسمه‌ای و فیلتر فشاری) انجام شود.

۵-۵ گندزدائی لجن

گندزدائی لجن عبارت از مجموعه عملیات و فرآیندهایی است که به منظور نابودی میکروب‌های بیماری‌زا و نابارورسازی تخم‌انگل‌ها قبل از مصرف یا دفع لجن در محیط زیست انجام می‌شود. گندزدائی لجن ممکن است به روش نگهداری درازمدت، پاستوریزه کردن، پرتوتابی، آهک‌زنی و تثبیت هوازی در شرایط ترموفیلیک صورت گیرد.

۶- انتخاب فرآیند آماده‌سازی لجن برای مصارف کشاورزی

در بخش ۶-۱-۱ نشریه شماره ۱۲۹-۳ سازمان برنامه و بودجه، نکاتی که باید برای انتخاب روش‌های جمع‌آوری، آماده‌سازی و دفع لجن ارزیابی شود توصیه شده است. در انتخاب فرآیند آماده‌سازی لجن برای استفاده در مزارع علاوه بر رعایت نکات مذکور، توجه به نکات زیر توصیه می‌شود.

- نوع لجن
- مشخصات کمی و کیفی لجن
- نوع و مشخصات خاک
- نوع محصولات زراعی و نحوه مصرف آن
- شیوه آبیاری
- شرایط اقلیمی منطقه

در هر حال، برای آماده سازی لجن به منظور استفاده در مزارع انجام دو فرآیند زیر الزامی است.

- تثبیت لجن
- گندزدائی لجن

البته نحوه به کارگیری این فرآیندها نیز به شیوه تصفیه فاضلاب و شرایط استفاده از لجن در مزارع بستگی دارد. در فرآیندها تصفیه فاضلاب نظیر استخرهای تثبیت، استخرهای هوادهی شده و هوادهی ممتد که امکان تثبیت لجن در حین تصفیه فاضلاب وجود دارد، اگر لجن به طور کامل تثبیت شده باشد، نیازی به تثبیت اضافی آن نیست. همچنین درجه تثبیت و گندزدائی لجن به شرایط کاشت، داشت و برداشت محصول زراعی، نحوه مصرف آن و شیوه استفاده از لجن در مزرعه بستگی دارد.

به طور کلی استفاده از لجن آماده سازی شده در مزارع ممکن است به دو صورت انجام شود.

- لجن آبیگری نشده
- لجن آبیگری شده

۱-۶ استفاده از لجن آبیگری نشده

در لجن حاصل از تصفیه فاضلاب تمام مواد مورد نیاز گیاهان وجود دارد. که بخش بزرگی از این مواد بصورت محلول است. بنابراین آبیگری از لجن ارزش کودی آن برای گیاهان را در حدقابل توجهی کاهش می دهد. علاوه براین، غلظت اکسیژن خواهی بیوشیمیائی و ترکیبات نیتروژن، فسفر و پتاسیم در آب جدا شده از لجن زیاد است و بازگرداندن آن به واحد تصفیه بیولوژیکی تصفیه خانه بار اضافی را به آن تحمیل می کند. لذا می توان بمنظور استفاده هر چه بیشتر از آن ارزش کودی لجن، آنرا بصورت مایع به مزرعه منتقل نمود. مشروط براینکه:

- لجن به طور کامل تثبیت شده باشد.
- گندزدائی لجن در حد لازم صورت گرفته باشد.
- نفوذ آب همراه لجن، آب های زیرزمینی آلوده نکند.
- مقدار لجن اضافه شده به خاک متناسب با شرایط اقلیمی، مشخصات خاک و نیاز گیاهان باشد.
- مقدار عناصر و ترکیبات شیمیائی خطرناک در خاک، زهاب مزرعه و الیاف گیاهان به طور منظم کنترل شود.

۲-۶ استفاده از لجن آبیگری شده

چنانچه به علت حجم زیاد لجن، فاصله طولانی تصفیه خانه فاضلاب تا مزرعه و فراهم نبودن شرایط لازم، استفاده

از لجن مایع توجیه فنی و اقتصادی نداشته باشد، توصیه می‌شود لجن پس از آبیگری و بصورت جامد در مزرعه مصرف شود. آبیگری از لجن ممکن است قبل یا بعد از تثبیت لجن صورت پذیرد. چنانچه تثبیت لجن از طریق پوساندن (کمپوست‌سازی) یا خاکچال بهداشتی^۱ در زمین انجام می‌شود، بهتر است آبیگری از لجن قبل از تثبیت آن باشد. مواردی که آبیگری قبل از تثبیت انجام شود لازم است برای جلوگیری از تولید بو، آبیگری از لجن با استفاده از وسائل مکانیکی انجام شود.

۳-۶ روش‌های آماده‌سازی لجن برای مصارف کشاورزی

آماده‌سازی لجن برای مصارف کشاورزی ممکن است به روش‌های مختلف انجام شود. هر یک از این روش‌ها دارای مزایا، معایب و محدودیت‌هایی است که در هنگام انتخاب مناسبترین فرآیند آماده‌سازی لجن برای یک منطقه خاص باید مورد توجه قرار گیرد.

۱-۳-۶ آماده‌سازی متعارف لجن

در این روش، لجن حاصل از تصفیه فاضلاب را پس از تغلیظ، تثبیت، آبیگری و گندزدایی به اراضی کشاورزی انتقال می‌دهند.

در مواردی که تغلیظ یا آبیگری لجن با استفاده از وسائل مکانیکی انجام می‌شود، ضروری است قبل از تغلیظ یا آبیگری، آمایش لجن انجام شده باشد.

به منظور صرفه‌جویی در هزینه‌های سرمایه‌ای و جاری آماده‌سازی لجن، لازم است با بهره‌گیری از واحدهای تغلیظ کننده، حجم لجن کاهش داده شود. توصیه می‌شود که قبل از تغلیظ از اختلاط لجن مقدماتی و لجن بیولوژیکی اجتناب شده و تغلیظ هر یک به طور جداگانه انجام گردد. استفاده از تغلیظ کننده‌های ثقلی برای لجن تثبیت نشده به دلیل مشکلات ناشی از عفونی شدن لجن و تولید بو توصیه نمی‌شود، مگر آن که تمهیدات لازم برای کنترل بو در واحد تغلیظ کننده ثقلی لجن و سایر واحدهای بعد از آن در نظر گرفته شود. برای کنترل بو در تغلیظ کننده‌های ثقلی لجن روش‌های متعددی وجود دارد. یکی از راه‌های مناسب کنترل بو در این واحدها، این است که بار سطحی تغلیظ کننده را بیشتر از ۵/۰ متر مکعب در ساعت بازاء هر متر مربع در نظر بگیرند. در بار سطحی کمتر از این حد می‌توان با بازگرداندن فاضلاب تصفیه شده به تغلیظ کننده ثقلی لجن، بار سطحی را در حد مطلوب تنظیم نمود.

در مواردی که زدایش بیولوژیکی فسفر در حوض هوادهی صورت می‌گیرد، نباید از تغلیظ کننده ثقلی استفاده شود، زیرا در شرایط بی‌هوازی که در این تغلیظ کننده‌ها ایجاد می‌گردد، فسفر به صورت فسفات از بدن باکتری‌های ذخیره کننده آن آزاد می‌شود و از طریق لجناب مجدداً به مدار تصفیه برگردانده می‌شود. در این موارد می‌توان تغلیظ لجن را با استفاده از دستگاه‌های آبیگری مکانیکی و یا شناورسازی به کمک هوای محلول انجام داد.

اگرچه در حین تثبیت لجن در هاضم‌های هوازی و بی‌هوازی بخشی از عوامل بیماری‌زا نابود می‌شوند ولی نابودی کامل عوامل بیماری‌زا صورت نمی‌گیرد و لازم است لجن قبل از انتقال به اراضی مزروعی گندزدایی شود. درجه گندزدایی لجن به نوع محصول کشاورزی و نحوه مصرف این محصولات بستگی دارد.

در مواردی که لجن با محصولات کشاورزی تماس پیدا می‌کند و مصرف محصول کشاورزی به صورت خام می‌باشد، گندزدایی کامل لجن ضروری است. در این موارد می‌توان لجن آبیگری شده را حداقل برای مدت ۲ سال در فضای آزاد نگهداری کرده و سپس در زمین کشاورزی مورد استفاده قرار داد. چنانچه لجن آبیگری شده قبل از گندزدایی به زمین کشاورزی اضافه شده است لازم است حداقل به مدت سه سال از کاشت محصولاتی که با لجن تماس پیدا می‌کند و به صورت خام مصرف می‌شود در آن زمین اجتناب گردد.

۳-۳-۶ آماده‌سازی لجن از طریق پوساندن

در این روش، لجن حاصل از تصفیه فاضلاب را پس از آمایش، آبیگری مکانیکی و پوساندن^۱ (به منظور تثبیت و گندزدایی لجن) به زمین کشاورزی انتقال می‌دهند.

آبیگری مکانیکی از لجن مقدماتی به سهولت انجام می‌شود و ممکن است برای انجام آن نیازی به آمایش لجن نباشد، ولی آبیگری مکانیکی از لجن بیولوژیکی و بویژه لجن تولید شده در فرآیند لجن فعال به سختی انجام می‌گیرد و قبل از انجام آن، آمایش لجن ضروری است.

با توجه به اینکه اگر غلظت مواد خشک لجن ورودی به دستگاه‌های آبیگری مکانیکی بیش از دو درصد باشد، این دستگاه‌ها عملکرد بهتری دارد، در مواردی که غلظت مواد خشک لجن کمتر از دو درصد است، توصیه می‌شود قبل از آبیگری مکانیکی، نسبت به تغلیظ لجن اقدام گردد.

اگرچه فرآیند پوساندن لجن ممکن است در شرایط هوازی و یا بی‌هوازی صورت گیرد ولی با توجه به اینکه در فرآیند

1- composting

پوساندن هوازی لجن، گرمای بیشتری تولید می‌شود و گندزدائی لجن بهتر انجام می‌گیرد توصیه می‌شود که پوساندن لجن حاصل از تصفیه فاضلاب تحت شرایط هوازی صورت گیرد. البته پوساندن لجن در شرایط هوازی سریعتر انجام شده و خطر تولید بوی مزاحم نیز کمتر است.

پوساندن هوازی لجن ممکن است به صورت پشته‌ای^۱، پشته هوادهی شده^۲ و یا راکتوری انجام گیرد. در سیستم پشته‌ای، شرایط هوازی از طریق زیرو رو کردن لجن تأمین می‌شود. در این سیستم لازم است زیرو رو کردن لجن همه روزه (به استثناء روزهای بارانی) انجام شود. در سیستم پشته هوادهی شده، شرایط هوازی توسط دمیدن یا مکیدن هوا از طریق لوله‌های مشبکی که در زیر پشته لجن قرار دارد بوجود می‌آید. در سیستم‌هایی که شرایط هوازی با دمیدن هوا به داخل پشته لجن تأمین می‌شود، لازم است برای جلوگیری از تولید بو، سطح خارجی پشته‌ها با لایه‌ای از کمپوست به ضخامت ده سانتیمتر اندود شود و در سیستم‌هایی که شرایط هوازی با مکیدن هوا بوجود می‌آید، لازم است برای اجتناب از انتشار بو، هوای مکیده شده قبل از رها شدن در محیط، تصفیه شود. این عمل معمولاً از طریق عبور هوای مکیده شده از صافی‌های بیولوژیکی صورت می‌گیرد.

برای پوساندن لجن معمولاً از لجن خام استفاده می‌شود. در این روش، سرعت تجزیه مواد آلی زیاد است و در نتیجه در هنگام پوساندن لجن نرخ اکسیژن‌گیری^۳ بالائی مطرح خواهد بود که برای اجتناب از تولید بوی مزاحم باید در طراحی به آن توجه شده و اکسیژن مورد نیاز در حد مطلوب تأمین شود.

قبل از پوساندن لجن موادی نظیر کاه، پوسته برنج، پوست پسته، بادام و گردو، خاک اره، پوشال، خورده چوب، زباله و یا لجن پوسیده شده باید به آن اضافه شود تا علاوه بر جلوگیری از چسبیدن لخته‌های لجن به یکدیگر (که باعث انسداد راه عبور هوا می‌شود) نسبت کربن به نیتروژن و رطوبت مخلوط به حد مطلوب رسانده شود. این مواد را مواد حجیم کننده^۴ می‌نامیم. مقدار مواد حجیم کننده مورد نیاز به غلظت مواد خشک قبل از پوساندن، نوع ماده حجیم کننده و نحوه پوساندن لجن بستگی دارد.

برای آنکه فرآیند پوساندن لجن به خوبی صورت پذیرد، لازم است نسبت کربن به نیتروژن در مخلوط اولیه لجن و مواد حجیم کننده در محدوده ۲۵:۱ تا ۳۵:۱ وزنی باشد. معمولاً این نسبت با افزودن مواد حجیم کننده به لجن در حد مناسب، تنظیم می‌گردد. همچنین مقدار مواد حجیم کننده اضافه شده باید در حدی باشد که غلظت مواد خشک در مخلوط اولیه لجن و مواد حجیم کننده، حداقل به چهل درصد برسد.

1- windrow

2- aerated static pile

3- oxygen uptake rate

4- bulking agents

دمای بهینه برای پوساندن لجن ۵۰ تا ۶۰ درجه سلسیوس است. این دما در اثر فعالیت میکروارگانیسم‌های هوازی تأمین می‌شود. برای جلوگیری از بالارفتن دما و همچنین تخلیه رطوبت اضافی تولید شده در فرآیند پوساندن لجن، باید مقدار عبور هوا یا تعداد دفعات زیر و رو کردن لجن در حد مطلوب تنظیم شود. معمولاً هوای لازم برای تنظیم دما یا تخلیه رطوبت بیش از مقداری است که برای تأمین شرایط هوازی مورد نیاز می‌باشد.

زمان لازم برای پوساندن هوازی لجن در روش‌های پشته‌ای و پشته‌ای هوادهی شده حدود یک ماه و در روش راکتوری حدود پانزده روز است. برای اطمینان از نابودی عوامل بیماری‌زا توصیه می‌شود که فرآیند پوساندن لجن حداقل برای سه روز متوالی در دمای ۵۰ الی ۶۰ درجه سلسیوس انجام گیرد. همچنین برای کامل شدن فرآیند پوساندن لجن و نابودی عوامل بیماری‌زا توصیه می‌شود که پس از اتمام مرحله پوساندن لجن، لجن پوسیده شده قبل از مصرف در اراضی کشاورزی دست کم به مدت ۲ الی ۴ ماه در فضای آزاد نگهداری شود.

۳-۳-۶ آماده‌سازی لجن با استفاده از آهک

در این روش، برای تثبیت لجن حاصل از تصفیه فاضلاب، آهک اضافه می‌شود. اختلاط آهک با لجن، مقدار مواد آلی آنرا کاهش نمی‌دهد ولی با نابودی و یا غیرفعال کردن طیف وسیعی از میکروبیها، باعث تثبیت موقت لجن می‌شود. آهک ممکن است به صورت پودر آهک زنده (اکسید کلسیم) و یا شیر آهک (هیدروکسید کلسیم) بکار برد. مقدار آهک مخلوط شده با لجن باید در حدی باشد که دست کم تا دو ساعت pH مخلوط، بالاتر از دوازده نگه داشته شود.

آهک موردنیاز برای تثبیت لجن بستگی به نوع لجن و مقدار مواد خشک آن دارد. مقدار آهکی که برای تثبیت باید با لجن مقدماتی مخلوط شود ۱۵ تا ۳۵ درصد مواد خشک لجن می‌باشد، ولی این مقدار برای لجن بیولوژیکی باید ۴۰ تا ۸۵ درصد مقدار مواد خشک آن باشد.

تثبیت لجن با آهک، تقریباً تمام میکروبیهای بیماری‌زا را نابود می‌کند ولی تاثیر آن بر تخم انگلها زیاد نیست. اگر امکان تماس لجن تثبیت شده با محصولات کشاورزی که بصورت خام مصرف می‌شود، وجود داشته باشد، گندزدایی لجن قبل از مصرف در زمین کشاورزی الزامی است و در این صورت بمنظور اطمینان از تأثیر عمل گندزدایی لازم است شمارش میکروبیهای نشانگر (نظیر کالیفرم مدفوعی) روی نمونه‌های لجن تثبیت شده به طور منظم انجام و با استاندارد مربوط مقایسه شود.

تثبیت لجن با آهک ممکن است شاخص شدت بوی^۱ لجن را تغییر نداده و ظرفیت تولید بو کاهش نیابد، ولی نوع بوی تولید شده تغییر یافته و به جای بوی متعفن و آزاردهنده هیدروژن سولفور، بوی قابل تحمل آمونیاک تولید می‌گردد.

فرآیند تثبیت لجن با آهک باید تحت کنترل دقیق باشد، زیرا معمولاً علائم نامطلوب تثبیت ناقص لجن در ساعتهای اولیه ظاهر نمی‌شود. به عبارت دیگر، عدم تولید بو در هنگام تثبیت لجن در تصفیه‌خانه و خاصیت آبیگری قابل قبول لجن، نشانه‌های کافی برای تثبیت مناسب لجن با آهک نیست و فقط با کنترل دقیق و مداوم pH طی دوره تثبیت می‌توان اطمینان یافت که pH مخلوط آهک و لجن در حد مناسب نگه داشته شده‌است.

توصیه می‌شود برای کنترل pH از الکتروود مخصوص اندازه‌گیری pH بزرگتر از ۱۰ استفاده شده و این الکتروودها به طور مرتب تمیز و طبق برنامه مشخص کالیبره و در صورت نیاز تعویض گردد. استفاده از کاغذهای حساس تعیین pH در عملیات مراقبت از فرآیند بلامانع است.

تثبیت لجن با آهک ممکن است قبل از آبیگری (قبل یا بعد از تغلیظ لجن) و یا بعد از آبیگری از لجن انجام شود.

۱-۳-۳-۶ تثبیت لجن با آهک قبل از آبیگری

لجن تثبیت شده با آهک را ممکن است قبل یا بعد از آبیگری به زمین کشاورزی منتقل کرد. نظر به اینکه مقدار افزایش pH خاک زمین کشاورزی در هنگامی که آبیگری از لجن انجام نشده بیشتر از وقتی است که آبیگری از لجن صورت گرفته باشد، توصیه می‌شود که تثبیت لجن آبیگری نشده با آهک فقط محدود به مناطقی گردد که pH خاک بر اثر بارندگی زیاد مرتباً کاهش یابد و یا محصول کشاورزی نسبت به افزایش pH خاک حساس نباشد.

تثبیت لجن با آهک، آبیگری از لجن در بسترهای خشک کننده و یا لاگون لجن را آسان می‌کند، ولی آبیگری مکانیکی از لجن مشکلتر می‌سازد، زیرا پلی الکترولیتهایی که در آمایش لجن قبل از آبیگری مکانیکی باید با لجن مخلوط شود در pH بزرگتر از ۱۰ عملکرد مطلوب ندارد.

توصیه می‌شود برای تثبیت لجن از شیر آهک استفاده گردد، زیرا استفاده از پودر آهک گرد و غبار تولید می‌کند.

1- odour intensity index (OII)

۲-۳-۳-۶ تثبیت لجن با آهک بعد از آبیگری

در مواردی که از وسائل مکانیکی برای آبیگری لجن استفاده می‌شود، بهتر است مخلوط کردن آهک با لجن بعد از آبیگری مکانیکی انجام گیرد.

مزایای تثبیت لجن بعد از آبیگری در مقایسه با تثبیت لجن آبیگری نشده عبارت است از:

- ۱- برای رساندن pH لجن به حد موردنظر به آهک کمتری نیاز هست.
- ۲- آهک از طریق لجناب به تصفیه‌خانه بر نمی‌گردد.
- ۳- به علت کم شدن حجم لجن بعد از آبیگری، چنانچه پودر آهک زنده با لجن مخلوط شود، بر اثر واکنشهای گرمازا، دمای مخلوط لجن و آهک ممکن است تا حد ۴۰ الی ۸۰ درجه سلسیوس افزایش یابد. بالا رفتن همزمان دما و pH علاوه بر نابودی کامل میکروبهای بیماری زا بخش عمده تخم انگل‌ها را نیز نابود و یا نابارور می‌سازد.

با توجه به مزایای یاد شده توصیه می‌شود:

- تثبیت لجن با آهک بعد از آبیگری لجن انجام گیرد.
 - برای اجتناب از پخش شدن گرد و غبار در هوا، اضافه کردن پودر آهک به لجن در محوطه سرپوشیده انجام شود.
 - به منظور اختلاط یکنواخت پودر آهک با لجن باید از وسائل مناسب استفاده شود.
- مشخصات فیزیکی مخلوط حاصل از تثبیت لجن آبیگری شده با پودر آهک به گونه‌ای است که می‌توان آنرا به وسیله کودپاش‌های معمولی بر سطح زمین کشاورزی پخش کرد و یا برای مدت طولانی در فضای آزاد نگهداری نمود.

۴-۳-۶ آماده‌سازی لجن از طریق خاکچال بهداشتی

در این روش، لجن حاصل از تصفیه فاضلاب را پس از آمایش و آبیگری مکانیکی، برای تثبیت و گندزدائی به صورت بهداشتی در زمین دفن می‌کنند. توصیه می‌شود خاکچال بهداشتی لجن در زمینی خارج از محوطه تصفیه‌خانه فاضلاب انجام شود. در حمل لجن از تصفیه‌خانه تا محل خاکچال نکات زیر باید رعایت گردد:

- برای حمل لجن از تانکرهای مخصوص سر بسته استفاده شود.
- تانکرهای حمل لجن پس از تخلیه و قبل از بارگیری مجدد با آب تحت فشار کاملاً شسته و تمیز گردد.
- لجن مستقیماً در محل دفن تخلیه و با خاک پوشانده شود.
- کارکنان بخش حمل و دفن لجن از لباس و وسائل مخصوص (شامل روپوش، دستکش، چکمه ساقه بلند، ماسک صورت و کلاه) استفاده کنند. توصیه می‌شود این وسائل از مواد مصنوعی ساخته شده و حتی المقدور سفید یا برنگ روشن باشد.

خاکچال بهداشتی لجن ممکن است به صورت متمرکز در یک محل مخصوص و یا به صورت غیرمتمرکز در ترانسه انجام شود.

۱-۴-۳-۶ خاکچال متمرکز لجن

استفاده از این روش در مواردی قابل توصیه است که نزدیک تصفیه‌خانه زمین مناسب به مساحت کافی (حداقل برای خاکچال لجنی که در مدت سه سال تولید می‌شود) وجود داشته باشد. برای جلوگیری از تولید شیرابه زیاد، لازم است قبل از دفن، مقدار مواد خشک در لجن، از طریق آبیگری مکانیکی به بیش از ۲۵ درصد افزایش داده شود. برای تثبیت و گندزدائی کامل لجن، باید لجن لااقل دو سال در محل خاکچال باقی بماند.

در انتخاب محل خاکچال لجن، نکات زیر باید رعایت شود.

- زمین از نظر توپوگرافی، شرایط هیدرولوژیکی و بافت و ساختار خاک برای خاکچال بهداشتی مناسب باشد.
- خاک مناسب برای پوشش روزانه و پوشش نهایی لجن در دسترس باشد.
- فاصله حمل لجن قابل توجیه باشد.
- خاکچال لجن برای ساکنین محل مزاحمت ایجاد نکند.

در طراحی، اجرا و راهبری سیستم‌های خاکچال بهداشتی لجن، نکات زیر باید رعایت شود:

- ۱- برای جلوگیری از ورود شیرابه لجن به منابع آب، پوشش کف و سیستم زهکشی محل خاکچال لجن باید به گونه‌ای باشد که ارتباط بین بستر خاکچال لجن و منابع آب کاملاً مسدود شود.
- ۲- شیرابه لجن به ابتدای تصفیه‌خانه فاضلاب منتقل شده و یا به‌طور جداگانه تصفیه گردد.
- ۳- بیوگاز تولید شده در محل خاکچال لجن به نحو مناسب جمع‌آوری، تخلیه و دفع شود.
- ۴- پخش روزانه لجن باید به گونه‌ای باشد که در پایان هر روز ضخامت لایه لجن از ۶/۰ متر بیشتر نباشد.
- ۵- در پایان هر روز، سطح لایه لجن با خاک مناسب پوشانده و فشرده شود، به طوری که ضخامت لایه خاک فشرده شده از ۱۵ سانتیمتر کمتر نباشد.

معمولاً با گذشت زمان، سطح محل خاکچال لجن معادل ۵ تا ۲۰ درصد ضخامت مواد دفن شده، نشست می‌کند. که باعث ناصافی و شکاف برداشتن سطح محل خاکچال لجن شده و زمینه را برای نفوذ آب باران در آن فراهم می‌سازد. برای جلوگیری از این مشکل توصیه می‌شود:

- ضخامت کل مواد خاکچال شده از ۴ متر بیشتر نباشد
- ضخامت خاک پوشش نهایی محل خاکچال لجن از ۶/۰ متر کمتر نباشد.

- شیب سطح محل خاکچال لجن از ۲ درصد کمتر و از ۳۰ درصد بیشتر نباشد.
- سطح محل خاکچال لجن به طور منظم تسطیح و فشرده شود.

برای جلوگیری از ورود حیوانات، لازم است محوطه محل خاکچال لجن، به نحو مناسب محصور شده و به منظور جلوگیری از تردد غیر مجاز افراد، تابلوهای اخطار و علائم مشخص کننده آن محل می باشد نصب شود.

۶-۳-۴-۲ خاکچال لجن در ترانشه

در باغها و نواحی درختکاری شده می توان از خاکچال لجن در ترانشه استفاده نمود مشروط بر اینکه درختان به صورت ردیفی و با فاصله زیاد کاشته شده باشد. در این روش، لجن حاصل از تصفیه فاضلاب را پس از آبیگری مکانیکی در ترانشه هایی که بین ردیفهای درختان حفر شده دفن می کنند. پهنای ترانشه به فاصله ردیفها و نوع درخت بستگی دارد و باید به اندازه هایی انتخاب شود که دمای حاصل از تجزیه بیوشیمیایی مواد آلی لجن به ریشه گیاهان آسیب نزنند. عمق لجن داخل ترانشه باید در حدی انتخاب شود که شیرابه لجن آبهای زیرزمینی را آلوده نکند. لازم است در پایان هر روز سطح لایه لجن با خاک پوشانده شود. ضخامت خاک پوشش لجن نباید از ۲۵ سانتی متر کمتر باشد. توصیه می شود حداقل یکسال پس از خاکچال لجن در ترانشه، از کاشت محصول کشاورزی روی آن خودداری شود. خاکچال لجن در ترانشه، معمولاً به سیستم جمع آوری، تصفیه و دفع بیوگاز یا شیرابه لجن نیاز ندارد.

۷-۱ نرخ مصرف لجن در زمینهای کشاورزی

در بخش های قبلی این نشریه نحوه آماده کردن لجن حاصل از تصفیه فاضلاب برای مصارف کشاورزی بیان گردید. از آنجا که هر زمین کشاورزی حسب شرایط حاکم بر آن از نظر پذیرش مداوم لجن محدودیتهایی دارد، لذا در کاربرد لجن در کشاورزی نرخ مصرف لجن نیز مطرح است.

منظور از نرخ مصرف لجن، برآورد مقدار لجنی است که چنانچه در یک دوره طولانی (حدود ۵۰ سال یا بیشتر)، همه ساله به خاک کشاورزی اضافه شود، مشکلات زیست محیطی ایجاد نکرده و به گیاه یا مصرف کنندگان محصولات گیاهی آسیبی نرساند.

۷-۱ عوامل موثر بر نرخ مصرف لجن در زمینهای کشاورزی

عوامل موثر بر نرخ مصرف لجن حاصل از تصفیه فاضلاب در زمینهای کشاورزی از جمله عبارتند از:

- خصوصیات لجن
- خصوصیات زمین کشاورزی

- خصوصیات گیاه و محصول گیاهی
- خصوصیات آب آبیاری
- شرایط اقلیمی

پاره‌ای از عوامل موثر بر نرخ مصرف لجن در زمین‌های کشاورزی در جدول شماره ۶-۱ خلاصه شده است.

۲-۷ تعیین نرخ مصرف لجن در زمینهای کشاورزی

نرخ بهینه مصرف لجن در زمینهای کشاورزی باید با توجه به عوامل مذکور در بخش ۶-۱ این راهنما، تعیین شود. پارامترهای اصلی در تعیین نرخ مصرف لجن در زمینهای کشاورزی عبارت است از:

- زمان، مدت، تناوب و دوره مصرف لجن
- مقدار مصرف لجن در واحد سطح زمین کشاورزی

۱-۲-۷ زمان، مدت، تناوب و دوره مصرف لجن

زمان و مدت مصرف لجن در زمین کشاورزی تابع نرخ تولید لجن در تصفیه‌خانه فاضلاب است ولی توصیه می‌شود که لجن بلافاصله بعد از عملیات برداشت هر محصول با خاک مزرعه مخلوط شود تا قبل از شروع عملیات کاشت محصول بعدی فرصت کافی برای تغییر ماهیت لجن در خاک وجود داشته‌باشد. همچنین توصیه می‌شود که حتی المقدور مدت مصرف لجن طولانی باشد و در صورت امکان مقدار لجنی که قرار است در هر دوره کشت مصرف شود، در چند نوبت روی خاک ریخته شده و بعد از آخرین نوبت با خاک مخلوط شود.

معمولاً تناوب مصرف لجن با تناوب عملیات کاشت، داشت و برداشت محصول کشاورزی یکسان است ولی چنانچه لازم باشد می‌توان نکات مندرج در این راهنما، لجن را حین انجام عملیات داشت، نیز به خاک کشاورزی اضافه کرد.

۲-۲-۷ مقدار مصرف لجن در واحد سطح زمین کشاورزی

در برآورد مقدار مصرف لجن در واحد سطح زمین کشاورزی پارامترهای زیر باید با رعایت عوامل موثر بر نرخ مصرف لجن (جدول ۶-۱) تعیین شود:

- نرخ تغییر شکل فیزیکی، شیمیایی و بیوشیمیایی آلاینده‌های لجن در خاک

- نرخ تجمع آلاینده‌ها اولیه^۱ و ثانویه^۲ لجن در خاک.
 - نرخ انتقال آلاینده‌های لجن به آبهای سطحی و زیرزمینی بر اثر آبیاری و بارندگی
 - نرخ جذب و تغییر شکل و تجمع آلاینده‌های لجن در گیاه و محصولات زراعی و اثر آن بر انسان و حیوان مصرف‌کننده محصول زراعی آلوده.
 - اثرات حاد و مزمن آلاینده‌های لجن بر موجودات زنده (اعم از موجودات زنده محیط آب و خاک، گیاهان، حیوانات و انسان‌هایی که به طور مستقیم یا غیرمستقیم در معرض آلاینده‌های اولیه و ثانویه لجن قرار می‌گیرند).
- از آنجایی که برای تعیین این پارامترها به تخصص‌های ویژه نیز نیاز هست، لذا نرخ مصرف لجن در هر طرح باید به طور اختصاصی با مشارکت کارشناسان مجرب مهندسی محیط زیست، مهندسی بهداشت، مهندسی زراعی، گیاه پزشکی، دامپزشکی و پزشکی برآورد شود.

۱- مواد آلاینده لجن

۲- مواد آلاینده‌ای که بر اثر تغییر شکل مواد اولیه لجن در خاک تولید می‌شود.

جدول شماره ۶-۱- پاره‌ای از عوامل موثر بر نرخ مصرف لجن در زمینهای کشاورزی

بیولوژیکی	شیمیایی	فیزیکی	
محتمل ترین شمار عوامل بیماری‌زای زنده در حجم لجن (برای لجن آبیگری نشده) و یا واحد وزن لجن (برای لجن‌گیری شده).	پ‌هاش، قلبائیت، مواد آلی، مواد مغذی ^۲ مواد سلولزی، گریس و چربی‌ها، مواد بازدارنده ^۳ مواد سمی، مواد خطرزا ^۴	دما، کل مواد خشک، کل مواد محلول، شاخصی شدت بو ^۱	الف- خصوصیات لجن
محتمل ترین شمار عوامل بیماری‌زا در واحد وزن خاک و نوع تراکم جمعیت موجودات زنده فعال در واحد حجم خاک	پ‌هاش، قلبائیت، ظرفیت مواد کاتیونی، مواد آلی، مواد مغذی، مواد بازدارنده، مواد سمی و مواد خطرزا	دما، نفوذپذیری، رطوبت نسبی، جرم حجمی ظاهری، ظرفیت نگهداری رطوبت ^۵ و بافت، ساختمان و تخلخل خاک، عمق سفره آب زیرزمینی و توپوگرافی زمین	ب- خصوصیات خاک و زمین کشاورزی
محتمل ترین شمار عوامل بیماری‌زای زنده در واحد حجم آب	پ‌هاش، قلبائیت، سختی، هدایت الکتریکی، نسبت جذب سطحی سدیم ^۷ مواد آلی، مواد مغذی، مواد سمی و مواد خطرزا	دما، کل مواد خشک، مواد محلول، کدورت مواد بازدارنده، مواد سمی و مواد خطرزا	ج - خصوصیات آب آبیاری ^۶
محتمل ترین شمار عوامل بیماری‌زای زنده در واحد حجم آب		هوا (دما و رطوبت نسبی)، وزش باد (سرعت، جهت، مدت و تناوب)، بارندگی (شدت، مدت، تناوب) و تعداد روزهای آفتابی و یخبندان	د- شرایط اقلیمی
محتمل ترین شمار عوامل بیماری‌زای زنده در واحد حجم آب		نوع و گونه گیاه کشاورزی، چگونگی مصرف محصول (صنعتی، غذایی، خام، پخته شده) و نحوه انجام عملیات کاشت، داشت و برداشت محصول	ه- خصوصیات گیاه و محصولات کشاورزی

1- odour intensity index (OII)

2- nutrients (i.e. N,P,K)

3- inhibitors

4- hazardous

5- field capacity

6- sodium adsorption ratio (NAR)

۷- علاوه بر خصوصیات آب آبیاری، سایر مشخصات آماری نظیر نوع، دوره و زمان آبیاری نیز بر نرخ مصرف لجن در زمینهای کشاورزی موثر است.

۸- برآورد حجم لجن در مواردی که وزن مواد خشک لجن و مقدار درصد وزنی آن در اختیار است

با در دست داشتن وزن خشک مواد جامد لجن و نسبت وزنی این مواد به کل لجن و دانستن نسبت درصد مواد آلی و مواد معدنی در مواد جامد خشک، حجم لجن را می‌توان به شرح زیر محاسبه کرد:

$$\rho_{sl} = \frac{\text{وزن کل لجن}}{\text{حجم کل لجن}} = \text{دانسیتة لجن}$$

و از آنجا می‌توانیم فرمول حجم لجن را به صورت زیر بنویسیم.

$$V = \frac{\text{وزن کل لجن}}{\text{دانسیتة لجن}} = \text{حجم لجن}$$

چنانچه نسبت وزنی مواد جامد خشک لجن برابر ۲۰ درصد و وزن مواد جامد لجن ۵۰۰ کیلوگرم بوده و ۴۰ درصد از مواد جامد لجن مواد معدنی با چگالی ۲/۵ و بقیه مواد آلی با چگالی ۱ باشد، برای محاسبه حجم لجن کافی است وزن کل لجن و دانسیته آن را حساب کرد و از تقسیم وزن به دانسیته مقدار حجم لجن را محاسبه نمود.

۱- محاسبه وزن کل لجن

چون نسبت وزنی مواد جامد برابر ۲۰ درصد است پس وزن کل لجن (مجموع آب و مواد خشک) برابر است با:

$$M = \frac{500}{0.2} = 2500 \text{ کیلوگرم}$$

۲- محاسبه دانسیته لجن

دانسیته لجن برابر است با دانسیته آب ضرب در چگالی لجن پس برای بدست آوردن دانسیته لجن باید ابتدا چگالی لجن محاسبه شود.

برای محاسبه چگالی لجن لازم است متوسط چگالی مواد جامد آن محاسبه شده و با احتساب مقدار درصد وزنی این مواد در لجن، چگالی لجن حساب شود. متوسط چگالی مواد جامد از رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$\frac{1}{\text{متوسط چگالی مواد جامد}} = \frac{\text{نسبت وزنی مواد آلی}}{\text{چگالی مواد آلی}} + \frac{\text{نسبت وزنی مواد معدنی}}{\text{چگالی مواد معدنی}}$$

$$\frac{1}{\text{متوسط چگالی مواد جامد}} = \frac{0.4}{2.5} + \frac{0.6}{1} = 0.76$$

$$\text{متوسط چگالی مواد جامد} = \frac{1}{0.76} = 1.32$$

با توجه به اینکه در حجم لجن قسمتی (۲۰ درصد) مواد جامد و بقیه آب است، لذا چگالی لجن را می توان از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$\frac{1}{\text{چگالی لجن}} = \frac{0.2}{1.32} + \frac{0.8}{1} = 0.95$$

$$\text{چگالی لجن} = \frac{1}{0.95} = 1.05$$

$$\text{کیلوگرم در متر مکعب} = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 1.05 = 1050$$

۳- محاسبه حجم لجن

طبق محاسبات فوق، وزن کل لجن برابر ۲۵۰۰ کیلوگرم و دانسیته آن برابر ۱۰۵۰ کیلوگرم در متر مکعب بدست آمده است، پس حجم لجن برابر است با:

$$\text{متر مکعب} = \frac{2500 \text{ kg}}{1050 \text{ kg/m}^3} = 2.38$$

- 1- U.S. Environmental Protection Agency, Process Design Manual for Sludge Treatment and Disposal, EPA 62S/1-79-006, 1979.
- 2- U.S. Environmental Protection Agency, Process Design Manual for Land Application of Municipal Sludge, EPA 625/1-83-016, 1983.
- 3- American Society of Civil Engineers, Land Application of Wastewater Sludge, 1987.
- 4- American Society of Civil Engineers, Sanitary Landfill, Manual and Reports on Engineering Practice - No. 39, 1976.
- 5- Cheremisinoff P.N., Sludge Management and Disposal, PTR Prentice Hall, Inc., 1994.
- 6- World Health Organization and United Nations Environment Programme Guidelines for the Safe Use of Wastewater and Excreta in Agriculture and Aquacultur, WHO, Geneva, 1989.
- 7- Water Pollution Control Federation, Sludge Conditioning, Manual of Practice FD14, 1988.
- 8- Water Pollution Control Federation, Sludge Thickening, Manual of Practice FD-1, 1980.
- 9- Water Pollution Control Federation, Sludge Stabilization Manual of Practice FD-9, 1985.
- 10- Water Pollution Control Federation, Operation and Maintenance of Sludge Dewatering Systems, Manual of Practice OM-8, 1987.

۱۱- نشریه شماره ۱۲۹-۳ دفتر تحقیقات و معیارهای فنی سازمان برنامه و بودجه تحت عنوان «ضوابط بررسی و تصویب طرحهای تصفیه فاضلاب شهری»