INSO
22967
1st Edition
2021

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران
Iranian National Standardization Organization

استاندارد ملی ایران
۲۲۹۶۷
چاپ اول
۱۴۰۰

جامدات زیستی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری- ویژگی‌ها و پایش

Municipal wastewater treatment plant biosolids- Specifications and Monitoring

ICS: 13.060.30;13.030.020

shaghool.ir

استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۲۲۹۶۷ (چاپ اول): سال ۱۴۰۰

سازمان ملی استاندارد ایران

تهران، ضلع جنوب غربی میدان ونک، خیابان ولیعصر، پلاک ۲۵۹۲

صندوق‌پستی: ۶۱۳۹-۱۴۱۵۵ تهران- ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و ۸۸۸۸۷۱۰۳

کرج، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۱۶۳-۳۱۵۸۵ کرج - ایران

تلفن: ۸-۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۳۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

رایانامه: standard@isiri.gov.ir

وبگاه: http://www.isiri.gov.ir

Iranian National Standardization Organization (INSO)

No. 2592 Valiasr Ave., South western corner of Vanak Sq., Tehran, Iran

P. O. Box: 14155-6139, Tehran, Iran

Tel: + 98 (21) 88879461-5

Fax: + 98 (21) 88887080, 88887103

Standard Square, Karaj, Iran

P.O. Box: 31585-163, Karaj, Iran

Tel: + 98 (26) 32806031-8

Fax: + 98 (26) 32808114

Email: standard@isiri.gov.ir

Website: http://www.isiri.gov.ir

shaghool.ir

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد ایران به موجب بند یک مادهٔ ۷ قانون تقویت و توسعه نظام استاندارد ، ابلاغ‌شده در دی ماه ۱۳۹۶، وظیفهٔ تعیین، تدوین، به‌روزرسانی و نشر استانداردهای ملی را بر عهده دارد.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔ ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند درکمیته ملی طرح، بررسی و درصورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که در سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌شود به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)[1]، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری کند. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، واسنجی وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization
2- International Electrotechnical Commission
3- International Organization of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legals)
4- Contact point
5- Codex Alimentarius Commission

shaghool.ir

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«جامدات زیستی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری- ویژگی‌ها و پایش»

رئیس:	**سمت و/یا محل اشتغال:**
فائزی رازی، دادمهر کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط	کارشناس مسئول تأسیسات تصفیه‌خانه فاضلاب، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور
دبیر:	
کنعانی، شهیر کارشناسی ارشد مهندسی عمران- محیط زیست	کارشناس طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور وزارت نیرو
اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
اختیارزاده، زهره کارشناسی ارشد مهندسی عمران- محیط‌زیست	مدیر دفتر ساماندهی جامدات زیستی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب تهران
امیرنژاد، رضا دکتری آلودگی محیط‌زیست	مدیر دفتر توسعه مدیریت و تحقیقات شرکت فاضلاب تهران
انتظاری، صابر کارشناسی ارشد مهندسی عمران- محیط‌زیست	کارشناس دفتر نظارت بر بهره‌برداری فاضلاب- شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور
براتی رشوانلو، رضا دکتری مهندسی بهداشت محیط	مدیر نظارت بر بهره‌برداری از واحدهای ۱ تا ۴ تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب تهران
بیکی، ایوب کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط	کارشناس مرکز سلامت محیط وکار- وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی
حسن‌زاده، ناهید کارشناسی ارشد مهندسی محیط‌زیست- آب و فاضلاب	کارشناس بهداشت محیط مرکز سلامت محیط وکار- وزارت بهداشت درمان و آموزش پزشکی
حسین‌زاده، وحید کارشناسی ارشد مهندسی محیط‌زیست- آب و فاضلاب	کارشناس تأسیسات تصفیه‌خانه فاضلاب- شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور
خاور، سیده‌لیلا کارشناسی ارشد مهندسی محیط‌زیست- آب و فاضلاب	رییس گروه فاضلاب سازمان حفاظت محیط‌زیست
رضی کردمحله، لادن دکتری مدیریت، برنامه ریزی و آموزش محیط‌زیست	رییس گروه خاک سازمان حفاظت محیط‌زیست

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	**سمت و/یا محل اشتغال:**
زارع، بهزاد کارشناسی ارشد مهندسی عمران- محیط‌زیست	مدیر دفتر بهره‌برداری و توسعه تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شرکت آب و فاضلاب شیراز
فتحی، تورج کارشناسی ارشد زمین شناسی- پترولوژی	معاون دفتر حفاظت و مدیریت زیست‌محیطی آب و خاک سازمان حفاظت محیط‌زیست
عبیدی، معصومه کارشناسی ارشد محیط‌زیست- آلودگی‌های محیط‌زیست	کارشناس فاضلاب سازمان حفاظت محیط‌زیست
قاسمی، منصور کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک- سیالات	عضو مستقل- کارشناس تصفیه‌خانه‌های فاضلاب
قاسمیان، محمد دکتری مهندسی محیط‌زیست	مدیر نظارت بر بهره‌برداری واحدهای ۵ و ۶ تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب تهران
قربانی، کریم دکتری مهندسی آب	کارشناس معاونت آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی
شقاقی، غلامرضا کارشناسی ارشد مهندسی عمران- محیط‌زیست	رئیس گروه بهداشت آب و فاضلاب وزارت بهداشت درمان و آموزش پزشکی
کرمی، مریم کارشناسی ارشد مهندسی عمران- رودخانه	رئیس گروه استانداردها، ضوابط و معیارهای فنی شرکت مدیریت منابع آب ایران
کریمی، محمدحسن کارشناسی ارشد مهندسی عمران- مدیریت ساخت	مدیرعامل شرکت فاضلاب تهران
گلستانی عراقی، سعید (کارشناسی مهندسی فن‌آوری الکترونیک صنعتی)	کارشناس دفتر تدوین استانداردهای ملی- سازمان ملی استاندارد ایران
هاشمی، سیدحسین دکتری مهندسی محیط‌زیست	دانشیار دانشگاه شهید بهشتی- پژوهشکده علوم محیطی
یوسفی صدر، سینا کارشناسی ارشد مهندسی برق- کنترل	کارشناس گروه پژوهشی مهندسی پزشکی- پژوهشگاه استاندارد

ویراستار:

شیرالی، لیلا (کارشناسی ارشد شیمی معدنی)	کارشناس تدوین استاندارد- اداره کل استاندارد استان خوزستان

فهرست مندرجات

عنوان **صفحه**

پیش‌گفتار ز
مقدمه ط
۱ هدف و دامنه کاربرد ۱
۲ مراجع الزامی ۱
۳ اصطلاحات و تعاریف ۲
۴ کیفیت و کاربردهای جامدات زیستی ۹
۴-۱ ملاحظات عمومی ۹
۴-۲ کاربردهای جامدات زیستی و ویژگی‌های آن ۱۱
۴-۳ طبقه‌بندی جامدات زیستی ۱۲
۴-۴ طبقه‌بندی جامدات زیستی بر اساس میزان درجه آلایندگی شیمیایی و درجه تثبیت و کاهش عوامل بیماری‌زا ۱۳
۴-۵ روندنما تصمیم‌گیری کاربردهای جامدات زیستی ۲۰
۴-۶ کنترل حشرات و ناقلین بیماری‌ها ۲۳
۴-۷ تحلیل داده‌ها ۲۴
۵ پایش کیفیت جامدات زیستی ۲۶
۵-۱ اهداف پایش جامدات زیستی ۲۶
۵-۲ طراحی برنامه پایش جامدات زیستی ۲۷
پیوست الف (آگاهی‌دهنده) کاربرگ برنامه پایش ۵۵
پیوست ب (آگاهی‌دهنده) مثالی از الزامات آزمایش جامدات زیستی ۵۸
پیوست پ (الزامی) ملاحظات نمونه‌برداری عوامل بیماری‌زا برای جامدات زیستی ۶۰
کتاب‌نامه ۶۳

پیش‌گفتار

استاندارد «جامدات زیستی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری- ویژگی‌ها و پایش» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط تهیه و تدوین شده است، در یکصد و بیست و چهارمین اجلاسیه کمیتهٔ ملی استاندارد آب و آبفا مورخ ۱۴۰۰/۰۸/۳۰ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک مادهٔ ۷ قانون تقویت و توسعه نظام استاندارد، ابلاغ‌شده در دی ماه ۱۳۹۶، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

استانداردهای ملی ایران بر اساس استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ (استانداردهای ملی ایران- ساختار و شیوهٔ نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینهٔ صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدیدنظر خواهند شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون‌های مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

منابع و مآخذی که برای تهیه و تدوین این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

1- Australia, W. (2012). Western Australian Guidelines for Biosolids Management. Department of Environment and Conservation.

2- Bastian, R. K. (2003). Biosolids Management Handbook. Office of Wastewater Management US Environmental Protection Agency, Washington, DC.

3- European Union. (2018). Final Implementation Report for Directive 86/278/EEC on Sewage Sludge: 2013-2015

4- Gaines, Cristina and Safavi, Behzad. (1992). An Addendum to the POTW Sludge Sampling and Analysis Guidance Document. US EPA, Office of Wastewater Enforcement and Compliance.

5- LeBlanc, R. J., Matthews, P., & Richard, R. P. (Eds.). (2009). Global atlas of excreta, wastewater sludge, and biosolids management: moving forward the sustainable and welcome uses of a global resource. Un-habitat.

6- New England Interstate Water Pollution Control Commission. (2016). The Wastewater Treatment Plant Operators Guide to Biosolids Sampling Plans.

7- NRMMC. (2004). Guidelines for sewage systems, biosolids management.

8- Pennsylvania Department of Environmental Protection.. (2000). Sampling Manual for Pollutant Limits, Pathogen and Vector Attraction Reductions in Sewage Sludge. Bureau of Water Quality Protection Division of Wastewater management.3620-BK-DEP2214, Rev. 12/2000.

9- Stein, L., Boulding, R., Helmick, J., & Murphy, P. (1995). Process design manual: land application of sewage sludge and domestic septage. Cincinnati, Ohio: US Environmental Protection Agency.

10- US EPA. (2003). Environmental Regulations and Technology: Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge. Office of Research and Development.EPA/625/R-92/013.

11- US EPA. (1989). POTW Sludge Sampling and Analysis Guidance Document. Permits Division, Office of Water, Washington, DC 20460.

12- US EPA. (1995). Process Design Manual: Land Application of Sewage Sludge and Domestic Septage. Office of Research and Development. EPA/625/R-95/001.

13- US EPA. (1992). SW-846 test method 1311: Toxicity characteristic leaching procedure.

14- US EPA. (1996). The Volunteers Monitor’s Guide to Quality Assurance Project Plans. Office of Wetlands, Oceans, and Watersheds.EPA/841-B-96-003.

مقدمه

جامدات زیستی مواد جامد تثبیت‌شده حاصل از فرایندهای تصفیهٔ زیستی فاضلاب هستند. این مواد در صورت دارا بودن کیفیت مطلوب یا فراوری مناسب می‌توانند کاربردهای متنوع و مفیدی از جمله باروری یا اصلاح خاک داشته باشند. هر چند امروزه در بسیاری از کشورهای دنیا کاربرد این مواد در خاک یک گزینه برتر است، اما نیازمند مدیریت صحیح و رعایت دقیق استانداردها و الزامات تعیین‌شده به‌منظور کاهش مخاطرات بهداشتی و محیط زیستی تا سطح قابل قبول است. در این راستا، تدوین استاندارد کیفیت جامدات زیستی برای کاربری‌های مختلف و تعیین الزامات پایش مرتبط، یک گام اساسی برای استفاده سودمند از آن است.

جامدات زیستی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری- ویژگی‌ها و پایش

۱ هدف و دامنهٔ کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین حدود مجاز عوامل بیماری‌زا و آلاینده‌های شیمیایی در جامدات زیستی تولیدی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری برای کاربرد در زمین و الزامات پایش کیفیت آن به‌منظور سلامت عمومی و محیط زیست و همچنین توسعه کاربرد سودمند جامدات زیستی به عنوان ماده مفید، است.

این استاندارد برای حدود مجاز و الزامات پایش برای استفاده سودمند از جامدات زیستی در زمین شامل کشاورزی، جنگل‌کاری و محوطه‌سازی کاربرد دارد. این استاندارد برای جامدات حاصل از تصفیه فاضلاب‌های صنعتی و سپتاژ[1] کاربرد ندارد.

مهم- هنگام کاربرد جامدات زیستی در خاک علاوه بر ویژگی‌های تعیین‌شده در این استاندارد رعایت حدود مجاز آلودگی خاک و آلاینده‌های ورودی به آن برای کاربردهای مختلف خاک که توسط مرجع ذی‌صلاح قانونی تعیین شده، الزامی است.

۲ مراجع الزامی

در مراجع زیر ضوابطی وجود دارد که در متن این استاندارد به صورت الزامی به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین‌ترتیب، آن ضوابط جزئی از این استاندارد محسوب می‌شوند.

در صورتی که به مرجعی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن برای این استاندارد الزام‌آور نیست. در مورد مراجعی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی برای این استاندارد الزام‌آور است.

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

۲-۱ قانون حفاظت از خاک، مصوب مجلس شورای اسلامی مورخ ۱۳۹۸/۰۳/۰۴

۲-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۳۳۲۱: سال ۱۳۸۹، کمپوست- ویژگی‌های میکروبی و روش‌های آزمون- قسمت ۱: ویژگی‌های عمومی

۲-۳ حدود مجاز آلودگی خاک و آلاینده‌های ورودی به آن برای کاربری‌های مختلف خاک و راهنماهای آن (براساس قانون حفاظت از خاک)، سازمان حفاظت محیط‌زیست

1- Septage

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف زیر به‌کار می‌رود:

۳-۱

تصفیه‌خانه فاضلاب

wastewater treatment plant

مجموعه تاسیساتی که جهت تصفیه فیزیکی، زیستی یا شیمیایی فاضلاب به کار می‌رود.

۳-۲

اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی پنج روزه

BOD_5

5-days biochemical oxygen demand

اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی ۵ روزه در شرایط استاندارد است.

۳-۳

جامدات معلق کل

TSS

total suspended solids

بخشی از جامدات کل که بر روی یک صافی با منافذ مشخص به مقدار ۰٫۴۵ میکرومتر تا ۲ میکرومتر، باقی مانده و پس از خشک کردن در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس اندازه‌گیری می‌شود.

۳-۴

کلیفرم گرماپای

fecal coliform

باسیل‌های گرم منفی، بدون اسپور، هوازی و بی‌هوازی اختیاری است که ساکن روده بزرگ انسان و حیوانات خونگرم بوده و قادر به تخمیر قند لاکتوز و تولید اسید و گاز در دمای ۴۴ درجه سلسیوس تا ۴۵ درجه سلسیوس است و شامل گونه‌های *اشرشیاکلی*، *کلبسیلا*، *آنتروباکتر* و *سیتروباکتر* است.

۳-۵

کلیفرم کل

total coliform

باسیل‌های گرم منفی، بدون اسپور، هوازی و بی‌هوازی اختیاری است که ساکن روده بزرگ انسان و حیوانات خونگرم بوده و قادر به تخمیر قند لاکتوز و تولید اسید و گاز در دمای ۳۵ درجه سلسیوس تا ۳۷ درجه سلسیوس است.

۳-۶

کشاورزی

agriculture

دانش یا عمل آماده‌سازی زمین یا خاک، تهیه نهاده‌های موردنیاز، کشت و زراعت، پرورش حیوانات جهت تهیه غذا و تولید محصولات است.

۳-۷

جامدات زیستی

biosolids

لجن حاصل از فرایندهای تصفیه فاضلاب که مراحل تصفیه را با هدف کاهش قابل‌توجه عوامل بیماری‌زا و ترکیبات آلی فرّار طی کرده است و منجر به یک ماده تثبیت‌شده مناسب برای استفاده‌های سودمند می‌شود. جامدات زیستی شامل لجن حاصل از فرایندهای صنعتی نمی‌شود.

۳-۸

لجن

sludge

مخلوطی از آب و مواد جامد که از انواع مختلف فاضلاب (در این استاندارد منظور فاضلاب شهری) در طی تصفیه مرحله اول، مرحله دوم یا مرحله سوم جدا شده است.

۳-۹

عوامل بیماری‌زا

pathogen

ذره یا موجود زنده‌ای که می‌تواند در انسان و حیوان باعث بیماری شود. موجودات بیماری‌زا شامل باکتری‌ها، ویروس‌ها، پروتوزوئرها و تخم انگل هستند.

۳-۱۰

درجه عوامل بیماری‌زا (درجه تثبیت و کاهش عوامل بیماری‌زا)

pathogen grade

درجه‌بندی که بر اساس آن سطح تصفیه به‌کار گرفته شده برای دستیابی به حدود میکروبی موردنظر، کاهش بو و جذب ناقلین برای جامدات زیستی و محصولات آن تعیین می‌شود.

۳-۱۱

درجه آلایندگی شیمیایی

chemical contaminant grade

درجه‌بندی که بر اساس آن غلظت آلاینده‌های شیمیایی در جامدات زیستی تعیین می‌شود.

۳-۱۲

ناقلین

vectors

موجوداتی مانند مگس، پشه، جوندگان و حیوانات اهلی که جذب لجن فاضلاب به‌عنوان منبع غذایی می‌شوند و می‌توانند سبب انتقال لجن فاضلاب و عوامل بیماری‌زا از لجن به انسان شوند.

۳-۱۳

جذب ناقلین

vector attraction

ویژگی لجن یا جامدات زیستی که می‌تواند باعث جذب جوندگان، مگس و حشراتی شود که توانایی حمل و انتقال عوامل بیماری‌زا را دارند.

۳-۱۴

کاهش جذب ناقلین

vector attraction reduction

فناوری‌ها یا روش‌های مدیریتی برای تصفیه لجن فاضلاب تا حدی که ناقلین دیگر جذب لجن فاضلاب نشوند.

۳-۱۵

هضم هوازی

aerobic digestion

فرایند تثبیت لجن توسط باکتری‌ها در یک محیط هوازی برای هضم ماده آلی لجن خام و در نهایت تولید جامدات زیستی یا لجن تثبیت‌شده است.

۳-۱۶

هضم بی‌هوازی

anaerobic digestion

فرایند تثبیت لجن توسط باکتری‌ها در یک محیط بی‌هوازی (بدون اکسیژن آزاد) برای هضم ماده آلی لجن خام و در نهایت تولید جامدات زیستی یا لجن تثبیت‌شده است.

۳-۱۷

هضم هوازی گرمادوست

aerobic thermophilic digestion

فرایند هضم لجن که در یک محیط هوازی با کمک میکروارگانیسم‌های مقاوم به دمای بالای ۵۵ درجه سلسیوس تا ۶۰ درجه سلسیوس به‌منظور افزایش نرخ فعالیت زیستی انجام می‌شود.

۳-۱۸

هضم بی‌هوازی گرمادوست

anaerobic thermophilic digestion

فرایند هضم لجن که در یک محیط بی‌هوازی با کمک میکروارگانیسم‌های مقاوم به دمای ۳۲ درجه سلسیوس تا ۳۸ درجه سلسیوس به منظور افزایش نرخ فعالیت زیستی انجام می‌شود.

۳-۱۹

نمونهٔ معرف

representative sample

تعداد کم یا زیرمجموعه‌ای از یک چیز بزرگتر به‌طوری که ویژگی‌های مشابه قسمت بزرگتر را نشان دهد.

۲۰-۳

نمونهٔ شاهد

blank sample

نمونهٔ فاقد یا حاوی مقدار کمی از مادهٔ موردسنجش است. هدف اولیه از نمونه‌های شاهد، ردیابی منابع مصنوعی آلودگی است.

۲۱-۳

شاهد تجهیزات

equipment blank

نمونه‌ای از آب فاقد ماده موردسنجش (آب مقطر یا آب بدون یون) که بر روی تجهیزات میدانی نمونه‌برداری بدون آلودگی، پیش از برداشت نمونه‌های واقعی ریخته می‌شود و هدف از آن بررسی آلودگی احتمالی تجهیزات نمونه‌برداری پیش از نمونه‌برداری است.

۲۲-۳

شاهد سفر

trip blank

این نمونه با پُر کردن یک ظرف نمونه‌برداری با آب مقطر در محل نمونه‌برداری در هنگام عملیات نمونه‌برداری تهیه می‌شود. این نمونه به همان شیوه‌ای که سایر نمونه‌ها در محل برداشت شده‌اند، منتقل می‌شود. نمونه‌های شاهد میدانی به‌همراه سایر نمونه‌ها به آزمایشگاه تحویل داده می‌شوند و هر نوع آلاینده‌ای که ممکن است در حین برنامه جمع‌آوری، تثبیت نمونه، نگهداری، سنجش و انتقال وارد نمونه شده باشد، مورد سنجش قرار می‌گیرد.

۲۳-۳

نمونهٔ ساده

grab sample

یک نمونهٔ منفرد که در یک زمان و مکان خاص برداشت می‌شود.

۲۴-۳

نمونهٔ مرکب

composite sample

یک نمونهٔ مرکب می‌تواند از جمع‌آوری نمونه‌های ساده حاصل شود که در فواصل منظمی از زمان یا جریان برداشت می‌شوند یا از نقاط مختلف یک توده ماده مانند بستر جامدات زیستی یا مواد تلمبارشده جمع‌آوری

می‌شوند. هنگامی که این نمونه‌ها مخلوط شدند مواد جمع‌آوری‌شده موردآزمایش قرار می‌گیرد تا شرایط متوسط طی دوره نمونه‌برداری تعیین شود.

۲۵-۳

درستی

accuracy

شاخص کیفیت داده که حد توافق بین یک مقدار مشاهده‌شده (نتیجه نمونه‌برداری) و مقدار پذیرفته‌شدهٔ (یا حقیقی) پارامتر مورد سنجش است. به‌عبارت دیگر، میزان توافق بین یک مقدار مشاهده‌ای (نتیجه نمونه‌برداری) و مقدار قابل‌قبول یا واقعی پارامتر اندازه‌گیری‌شده است. یک روش آزمایشگاهی استاندارد، افزودن مقدار معلومی از یک ماده موردسنجش به نمونه و سپس آزمایش نمونه برای مادهٔ موردسنجش است. نتیجه با مقدار معلوم مقایسه و به‌صورت «درصد بازیافت» گزارش می‌شود. درصد بازیافت نزدیک به ۱۰۰، نشان‌دهنده درستی بیشتر نتایج است.

۲۶-۳

مادهٔ موردسنجش

analyte

یک جزء یا بخش مجزا از یک ماده شیمیایی که از طریق آنالیز شناسایی یا مورد سنجش قرار می‌گیرد.

۲۷-۳

تضمین کیفیت

QA

quality assurance

یک سامانه یکپارچه مدیریت که برای اطمینان از این‌که یک محصول یا خدمت استانداردهای کیفی تعریف‌شده را با یک حدود اطمینان معین برآورده می‌کند، طراحی می‌شود. به بیان دیگر، تضمین کیفیت معادل کنترل فرایند است و استانداردها را برای یک فرایند یا محصول تنظیم می‌کند.

۲۸-۳

کنترل کیفیت

QC

quality control

سامانه کلی از فعالیت‌های فنی که برای سنجش کیفیت و حد خطا در یک محصول یا خدمات، طراحی می‌شود. نمونه‌های شاهد، دوتایی، چک‌های کالیبراسیون و اسپایک ماتریس نمونه، رویه‌های کنترل کیفیت هستند که برای ارزیابی میزان تبعیّت از استانداردهای تضمین کیفیت استفاده می‌شوند.

۲۹-۳

نمونهٔ همتا

replicate sample

دو نمونه‌ای که از یک محل اما در زمان‌های مختلف برداشت می‌شوند و همه رویه‌های آزمایش و ارزیابی به روش مشابه برای آن‌ها انجام می‌شود.

۳۰-۳

نمونهٔ دوتایی

duplicate sample

دو نمونه‌ای که در یک زمان و از یک نقطه برداشت می‌شوند و همه رویه‌های آزمایش و ارزیابی به روش مشابه برای آن‌ها انجام می‌شود. نمونه دوتایی برای سنجش دقت نمونه‌برداری میدانی و روش‌های آزمایشگاهی استفاده می‌شوند.

۳۱-۳

دقت

precision

سنجه تکرارپذیری یک فرایند یا روش آزمایش است. دقت سطح توافق یا تغییرپذیری بین مجموعه‌ای از سنجش‌های تکراری تحت شرایط مشابه را نشان می‌دهد. برای مثال، اگر تکرار آزمایش بر روی یک نمونه دو نتیجه آزمایش متفاوت به دست آید، نتایج با یکدیگر مقایسه حسابی و انحراف مطلق یا نسبی محاسبه می‌شود. انحراف کوچک نشان‌دهنده دقت بیشتر سنجش است.

یادآوری- ممکن است صحت نتایج پایین ولی تکرارپذیری بالا باشد.

۳۲-۳

مقایسه‌پذیری

comparability

درجه توافق یا شباهت روش‌ها، مجموعه داده‌ها و/یا تصمیم‌های مختلف است. مفهوم مقایسه‌پذیری می‌تواند شامل یکسانی فرمت‌ها و یکاها و انطباق با الزامات ناظر هنگام گزارش‌دهی نتایج آزمایش‌ها باشد.

یادآوری- هنگام سنجش یک ماده، روش‌های مختلف آزمایش می‌توانند نتایج کاملا متفاوتی ایجاد کنند. بنابراین، هنگام ارزیابی انطباق کیفیت جامدات زیستی با استاندارد، الزامات نمونه‌برداری و آزمایش استاندارد رعایت شود یا نشان داده شود که روش جایگزین، نتایج قابل‌مقایسه ایجاد می‌کند.

۳۳-۳

کامل‌بودن

completeness

مقدار داده یا نتایج معتبر به‌دست آمده در مقایسه با مقدار داده‌های برنامه‌ریزی‌شده است که به‌طور معمول بر حسب درصد بیان می‌شود. در این استاندارد، منظور از نتایج معتبر، داده‌های آزمایش‌هایی هستند که اهداف دقت و صحت کیفیت داده‌ها را مطابق برنامه تضمین کیفیت و کنترل کیفیت تامین می‌کنند. کامل‌بودن می‌تواند برای یک نمونه ساده یا مجموعه‌ای از نتایج متعدد به‌کار رود.

۳۴-۳

حدهای تشخیص

detection limits

کمترین غلظتی که برای یک ماده موردسنجش با یک روش آزمایش معین با اطمینان می‌توان تشخیص داد یا گزارش کرد. همواره حد تشخیص باید زیر حد استاندارد تعیین شده باشد تا بتوان انطباق با استاندارد و ضوابط را نشان داد.

یادآوری- آزمایشگاه‌ها داده‌های حدهای تشخیص را با نام‌های مختلف مانند حداقل حد تشخیص (MDL)[1]، حد تشخیص گزارش‌شده (RDL)[2] و حد کمّی‌شده عملی (PQL)[3] گزارش می‌کنند. این عبارت‌ها اختلاف اندکی در معنی دارند، اما همگی به کمترین غلظتی که آزمایشگاه برای یک روش آزمایش معین گزارش خواهد کرد، اشاره می‌کنند.

۴ کیفیت و کاربردهای جامدات زیستی

۴-۱ ملاحظات عمومی

۴-۱-۱ ریسک‌های کاربرد جامدات زیستی

به دلیل تنوع منابع خانگی، تجاری، اداری و صنعتی در فاضلاب شهری، جامدات زیستی ممکن است حاوی آلاینده‌های شیمیایی مانند فلزات سنگین، باقیمانده داروها و آفت‌کش‌ها باشند. هم‌چنین، اگر جامدات زیستی به‌خوبی مراحل تصفیه را طی نکرده باشند می‌توانند حاوی مقادیر بالایی از میکروارگانیسم‌ها شامل باکتری‌ها، ویروس‌ها و تخم انگل باشند که برخی از آن‌ها برای انسان بیماری‌زا هستند. ریسک‌های ناشی از کاربرد جامدات زیستی را می‌توان به صورت زیر طبقه‌بندی کرد:

– ریسک‌های محیط زیستی برای زمین، آب و هوا؛

1- Minimum Detection Limit
2- Reporting Detection Limit
3- Practical Quantitation Limit

– ریسک‌های سلامتی برای انسان و جانوران،

– ریسک‌های ایمنی غذایی.

بسته به کاربرد نهایی (مانند کاربرد در جنگل‌کاری در مقایسه با استفاده در زمین برای محصولات کشاورزی که به مصرف انسان می‌رسند)، محل استفاده (مانند نزدیکی به خانه‌های مسکونی یا منابع آب) و ویژگی‌های خاک (مانند اقلیم، نوع خاک و شیب زمین) این ریسک‌ها متفاوت هستند.

۴-۱-۲ ریسک‌های محیط زیستی

هنگام استفاده از جامدات زیستی باید حداقل اهداف عملکردی محیط زیستی زیر برآورده شود:

– حفاظت از منابع آب سطحی و زیرزمینی و خاک؛

– جلوگیری از کاهش حاصل‌خیزی خاک به دلیل آلودگی و تغییر بافت آن؛

– نداشتن اثرات منفی بر زیست بوم؛ و

– نداشتن اثرات منفی بر هوا.

به‌منظور دستیابی به اهداف بالا باید ریسک جامدات زیستی برای آب‌های سطحی و زیرزمینی و خاک از نظر آلاینده‌های آلی و معدنی، مواد مغذی و عوامل بیماری‌زا ارزیابی شود. هرگاه وجود این ریسک‌ها ثابت شود باید اقدامات احتیاطی تکمیلی اجرا شوند.

در این استاندارد، حدود مجاز به‌گونه‌ای تعیین شده‌اند تا از مشکلات محیط زیستی و سلامتی ناشی از کاربرد جامدات زیستی پیشگیری شود. با وجود این، در صورت تخلیه فاضلاب صنعتی به شبکه فاضلاب، به‌منظور مدیریت ریسک باید غلظت آلاینده‌های ورودی کنترل شود و در صورت لزوم، فاضلاب‌های صنعتی، پیش از تخلیه به شبکه تا حدود تعیین‌شده در دستورالعمل‌های مرتبط پیش‌تصفیه شوند. هم‌چنین باید برنامه‌های متنوعی برای کاربرد جامدات زیستی در زمین طراحی کرد، به‌گونه‌ای که استفاده طولانی‌مدت جامدات زیستی در زمین موجب تخریب خاک نشود.

جامدات زیستی حاوی عناصر مغذی نظیر نیتروژن و فسفر هستند که اگر بیش از نیاز خاک به آن افزوده شوند، می‌توانند باعث آلودگی منابع آب و خاک شوند.

۴-۱-۳ ریسک‌های بهداشتی برای انسان و جانوران

فاضلاب خام و لجن، مقادیر بالایی عوامل بیماری‌زا دارند و عدم تصفیه مناسب آن‌ها می‌تواند ریسک بیماری در انسان و جانوران را افزایش دهد. در طی تصفیه لجن، عوامل بیماری‌زای آن به‌میزان زیادی کاهش می‌یابند. با وجود این، پس از تصفیه نیز خطر انتقال میکروارگانیسم‌ها به‌وسیله جامدات زیستی می‌تواند وجود داشته باشد. این میکروارگانیسم‌ها عبارتند از:

– باکتری‌ها (مانند *سالمونلا* و *کامیلوباکتر*)؛

– پروتوزوئرها (مانند *کریپتوسپوردیوم* و *ژیاردیا*)؛

– ویروس‌ها (مانند *آدنوویروس* و *هپاتیت*)؛

– تخم انگل (مانند *کرم قلاب‌دار* و *نماتدهای روده‌ای*).

روش‌های شناخته‌شده‌ای مانند تنفس، بلع و زخم باز برای مواجهه با عوامل بیماری‌زای اشاره‌شده وجود دارد. برای مدیریت این ریسک، روش‌های تصفیه مناسب برای کاهش عوامل بیماری‌زا و هم‌چنین عملیات حمل و نگهداری ایمن توسعه یافته‌اند.

برنامه‌های استفاده از جامدات زیستی نباید ریسک غیرقابل قبول برای عموم مردم، کارگران مزارع، سلامتی جانوران و امنیت غذایی ایجاد کنند. بنابراین، اثرات احتمالی انتقال بیماری از طریق ناقلین باید ارزیابی و کنترل شود. هم‌چنین اثرات بالقوه مستقیم از طریق تماس با جامدات زیستی در محل استفاده و اثرات بالقوه غیرمستقیم از طریق انتقال آلاینده‌ها در زنجیره غذایی و آب شرب باید در نظر گرفته شوند.

۴-۱-۴ ریسک ایمنی غذایی

به‌دلیل منابع متنوع و ترکیب متغیر فاضلاب ممکن است جامدات زیستی، آلاینده‌هایی مانند فلزات و آفت‌کش‌ها داشته باشند. جامدات زیستی باید پیش از استفاده آزمایش شوند تا ریسک هر نوع آلایندهٔ ناخواسته در آن برای خاک شناسایی شود. چرا که این آلاینده‌ها می‌توانند به داخل خاک نشت و نفوذ کرده و موجب آلودگی محیط زیست و زنجیره غذایی شوند.

برای کاهش این ریسک باید جامدات زیستی و خاک محل استفاده به‌طور پیوسته پایش شود تا از عدم تخطی آن‌ها از حدود مجاز تعیین‌شده اطمینان حاصل شود.

۴-۲ کاربردهای جامدات زیستی و ویژگی‌های آن

استفاده سودمند از جامدات زیستی به سازوکارهای کنترل آن بستگی دارد. بدین منظور جامدات زیستی تثبیت‌شده بر اساس شاخص‌های زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

– درجه تثبیت و کاهش عوامل بیماری‌زا جامدات زیستی (شامل میزان کاهش عوامل بیماری‌زا و کنترل جذب ناقلین)؛

– غلظت آلاینده‌های شیمیایی.

اگر جامدات زیستی در طبقه‌های تعیین‌شده قرار نگیرد، باید بر اساس ضوابط مراجع ذی‌صلاح قانونی برای پسماندهای ویژه و عادی بررسی و ارزیابی و در یک خاکچال مناسب، دفن شود.

۳-۴ طبقه‌بندی جامدات زیستی

درجه تصفیه موردنیاز برای کاهش عوامل بیماری‌زا و آلاینده‌های شیمیایی در جامدات زیستی تثبیت‌شده به کاربرد پیشنهادی آن بستگی دارد. جدول ۳ سیستم طبقه‌بندی متناسب با نوع مصرف یا دفع نهایی شامل ۷ طبقه مجزا برای جامدات زیستی را نشان می‌دهد. این طبقه‌ها عبارتند از:

طبقه ۱- مناسب برای استفاده در خاک شامل همه مصارف حتی در مناطق مسکونی: جامدات زیستی قابل فروش و استفاده در جامعه، شامل فروش به عموم مردم و استفاده در منازل است.

طبقه ۲- مناسب برای مصارف کشاورزی و باغداری: جامدات زیستی برای استفاده در زمین برای کشت همه محصولات شامل باغ‌ها، چراگاه‌های دام، محصولاتی که به‌صورت خام یا پخته یا فراوری‌شده، مصرف می‌شوند، مناسب است.

طبقه ۳- مناسب برای استفاده در محوطه‌سازی و فضای سبز- تفریحی (با دسترسی عمومی بدون محدودیت): در صورت مدیریت ویژه (روش کنترل کاربری زمین در جدول ۳) در چگونگی و انتخاب محل مصرف، جامدات زیستی برای استفاده در مصارف شهری با دسترسی عمومی (شامل پارک‌ها و زمین‌های مسابقه و غیره) مناسب است. مصرف جامدات زیستی این طبقه برای مصارف خانگی مجاز نیست.

طبقه ۴- مناسب برای استفاده در محوطه‌سازی و فضای سبز (با محدودیت در دسترسی عمومی): جامدات زیستی برای استفاده در مصارف شهری بدون دسترسی عمومی (مانند فضای سبز بزرگراه‌ها و غیره) مناسب است.

طبقه ۵- مناسب برای جنگل‌کاری و احیای زمین: جامدات زیستی برای جنگل‌کاری، احیای زمین (مانند محل معادن و پوشش نهایی خاکچال‌ها) و غیره مناسب است. در این کاربردها نیاز به مدیریت ویژه محل مصرف و اقداماتی برای حفاظت محیط زیست (در قالب ارزیابی محیط زیستی) است.

طبقه ۶- مناسب برای دفن در خاکچال: جامدات زیستی که برای مصرف مناسب ارزیابی نشده‌اند و باید در خاکچال پسماندهای شهری یا در محل تصفیه‌خانه فاضلاب یا یک خاکچال اختصاصی مناسب دفن شود.

طبقه ۷- مناسب برای دفن بهداشتی کنترل‌شده یا فراوری حرارتی: جامدات زیستی که آزمایش نشده‌اند یا حاوی غلظت بالایی از آلاینده‌هایی هستند (بر اساس ضوابط مرجع ذی‌صلاح قانونی به عنوان پسماند ویژه هستند) باید در یک محل دفن بهداشتی کنترل‌شده دفن یا فراوری حرارتی (مانند سوزاندن) شوند.

جامدات زیستی ارسالی به خاکچال بر اساس ضوابط مرجع ذی‌صلاح قانونی ارزیابی و طبقه‌بندی می‌شوند. جدول ۱ درجه‌بندی مقدار عوامل بیماری‌زا را در نتیجهٔ روش‌های مختلف تثبیت جامدات زیستی نشان می‌دهد. کاهش جذب ناقلین بیماری برای همه سطوح کیفی جامدات زیستی و فرایندهای تثبیت نیاز است.

جدول ۲ درجه‌بندی آلودگی شیمیایی جامدات زیستی را نشان می‌دهد. طبقه‌بندی جامدات زیستی بر اساس ۲ معیار زیر انجام می‌شود:

– درجه تثبیت (شامل میزان کاهش عوامل بیماری‌زا، میزان کنترل جذب ناقلین)؛

– غلظت آلاینده‌های شیمیایی.

۴-۳-۱ درجه تثبیت و کاهش عوامل بیماری‌زا

این درجه‌بندی بر اساس سطح تصفیهٔ به‌کار گرفته‌شده برای دستیابی به حدود میکروبی موردنظر، کاهش بو و جذب ناقلین برای جامدات زیستی و محصولات آن تعیین می‌شود. بنابراین، تثبیت لجن بر دو اصل کاهش عوامل بیماری‌زا و کنترل جذب ناقلین بیماری‌ها استوار است. تثبیت لجن به همراه روش‌های مدیریتی کاربرد جامدات زیستی در زمین می‌تواند از تولید بوهای ناخوشایند جلوگیری کند. جامدات زیستی بر اساس مقادیر جدول ۱ درجه‌بندی می‌شوند.

۴-۳-۲ درجه آلایندگی شیمیایی

این درجه‌بندی بر اساس غلظت آلاینده‌های شیمیایی در جامدات زیستی تعیین می‌شود. تعیین غلظت مجاز آلاینده‌های شیمیایی به‌منظور دستیابی به اهداف زیر انجام می‌شود:

– اطمینان از عدم افزایش غلظت آلاینده در خاک به‌گونه‌ای که ایمنی محصولات کشاورزی و گیاهان به خطر نیفتد؛

– اطمینان از عدم افزایش غلظت آلاینده‌ها در خاک به‌گونه‌ای که اکوسیستم و سلامت انسان تهدید نشود.

فلزات آلاینده مانند آرسنیک، کادمیوم، کروم، مس، سرب، جیوه، نیکل و روی در طبقه‌بندی جامدات زیستی باید در نظر گرفته شود.

۴-۴ طبقه‌بندی جامدات زیستی بر اساس میزان درجهٔ آلایندگی شیمیایی و درجهٔ تثبیت و کاهش عوامل بیماری‌زا

غلظت مواد شیمیایی در جامدات زیستی با حرف C و درجه تثبیت آن با حرف P نشان داده می‌شود. غلظت مواد شیمیایی در جامدات زیستی به دو دسته C1 و C2 و درجه تثبیت به چهار دسته P1، P2، P3 و P4 تقسیم می‌شود.

۴-۴-۱ درجه‌بندی جامدات زیستی بر اساس درجه تثبیت و کاهش عوامل بیماری‌زا (معیار P)

جدول ۱ درجه‌بندی جامدات زیستی را بر اساس درجه تثبیت (کاهش عوامل بیماری‌زا)، به‌ترتیب از سختگیرانه‌ترین (P1) تا سهل‌گیرانه‌ترین (P4) و فرایندها و شرایط دستیابی به حدود مجاز تعیین‌شده را نشان می‌دهد.

جدول ۱- درجه‌بندی جامدات زیستی فاضلاب بر اساس درجه تثبیت (دسته P1)

درجه تثبیت	فرایند	شاخص عوامل بیماری‌زا بر حسب وزن خشک محصول	دیگر شرایط
دسته P1: تعداد بسیار کم عوامل بیماری‌زا با حداقل امکان رشد دوباره آن‌ها	۱- کمپوست‌سازی در راکتور کنترل شده[1] یا روش کمپوست‌سازی با هوادهی به توده ساکن: دمای توده کمپوست باید حداقل در سه روز متوالی بیش از ۵۵ درجه سلسیوس باشد.	- کمتر از یک عدد *سالمونلا*[a] در ۵۰ گرم محصول نهایی؛ یا - کمتر از ۱۰۰ MPN کلیفرم گرماپای[b] در گرم محصول نهایی؛ - بدون تخم انگل زنده.	پیش از استفاده، محصول باید حداقل ۳۰ روز مرحله تکمیل یا رسیدن[2] را طی کند.
	۲- کمپوست‌سازی پشته‌ای[3]: دمای توده کمپوست باید حداقل در ۱۵ روز متوالی بالای ۵۵ درجه سلسیوس حفظ و در طی این مدت توده حداقل ۵ بار زیر و رو شود.		۱- حداقل ۵ بار زیر و رو شود؛ ۲- پیش از استفاده، محصول نیاز به ۳۰ روز زمان برای تکمیل یا رسیدن دارد.
	۳- تغییر pH و افزایش دما: pH لجن به بیش از ۱۲ افزایش یابد و مدت ۷۲ ساعت در این pH بماند. در طی این مدت دما بالای ۵۲ درجه سلسیوس حفظ شود.		۱- در پایان ۷۲ ساعت، محصول باید با هوا خشک شود تا میزان جامدات خشک آن به بیش از ۵۰ درصد وزنی برسد؛ ۲- لجن هضم‌نشده‌ای که به یکی از دو روش زیر تثبیت شده‌اند: - توده کمپوست به مدت ۱۵ روز متوالی هوادهی و در طی این مدت حداقل ۵ بار زیر و رو شود؛ - با آزمایش معلوم شود که پتانسیل رشد دوباره عوامل بیماری‌زا به حداقل رسیده است.
	۴- حرارت‌دهی تا بالای ۸۰ درجه سلسیوس و خشک‌کردن تا درصد وزنی جامدات به حداقل ۹۰ درصد برسد (رطوبت لجن به ۱۰ درصد یا کمتر کاهش یابد).		۱- محصول نهایی تا پیش از مصرف باید خشک باقی بماند؛ ۲- در محصولات تولیدی از لجن هضم‌نشده باید پتانسیل رشد دوباره عوامل بیماری‌زا به حداقل ممکن برسد.

درجه تثبیت	فرایند	شاخص عوامل بیماری‌زا بر حسب وزن خشک محصول	دیگر شرایط
	۵- ذخیره بلندمدت: - لجن هضم می‌شود؛ - سپس تا ۱۰ درصد وزنی آبگیری می‌شود؛ و - برای بیش از ۳ سال ذخیره می‌شود.		۱- ذخیره‌سازی مناسب به منظور جلوگیری از ایجاد آلودگی؛ ۲- گاهی ذخیره‌سازی منجر به رشد دوباره *سالمونلا* می‌شود.
	۶- دیگر فرایندها: فرایندهای دیگری که محدودیت‌های موجود در مورد ۳ و ۴ را تامین می‌کنند (مانند عدم جذب ناقلین و عدم انتشار بوی نامطبوع).		این فرایندها باید موارد زیر را تامین کنند: - حذف ۱۰۰ درصدی تخم انگل؛ - *انتریک‌ویروس* کمتر از ۱ عدد در ۱۰۰ گرم محصول نهایی.

[a] برای اطمینان از حداقل‌شدن رشد دوباره عوامل بیماری‌زا و حفظ درجه P1، تعداد *سالمونلا* باید کمتر از MPN ۳ در هر ۴ گرم وزن خشک جامدات زیستی باشد.

[b] کلیفرم گرماپای گونه‌ای از کلیفرم‌های موجود در سیستم گوارش انسان و دیگر جانوران خونگرم است که می‌تواند لاکتوز را در دمای بین ۴۴ درجه سلسیوس تا ۴۴٫۵ درجه سلسیوس تخمیر و اسید و گاز تولید کند و یک شاخص آلودگی مدفوعی است.

1- In vessel composting
2- Maturation
3- Windrow composting

جدول ۱- درجه‌بندی جامدات زیستی فاضلاب بر اساس درجه تثبیت (دسته P2)

درجه تثبیت	فرایند	شاخص عوامل بیماری‌زا بر حسب وزن خشک محصول	دیگر شرایط
دسته P2: میزان عوامل بیماری‌زای کم، احتمال کم رشد دوباره	۱- کمپوست‌سازی: دمای توده کمپوست برای ۵ روز متوالی بیش از ۵۳ درجه سلسیوس یا برای ۳ روز متوالی بیش از ۵۵ درجه سلسیوس حفظ شود.	- تعداد *سالمونلا*[b] کمتر از ۱۰ عدد در ۵۰ گرم محصول نهایی؛ یا - کلیفرم‌های گرماپای[c] کمتر از MPN ۱۰۰۰ در گرم محصول نهایی؛ - بدون تخم انگل زنده.	۱- ممکن است برای اطمینان از عدم تاثیر ترکیبات آلی سمّی بر رشد گیاه، کمپوست نیاز به طی مرحله تکمیل یا رسیدن داشته باشد؛ ۲- باید بذر علف‌های هرز برای برخی استفاده‌های کشاورزی کنترل شود.
	۲- حرارت‌دهی و خشک کردن: لجن در دمای بیش از ۷۰ درجه سلسیوس حرارت‌دهی شود تا میزان جامدات کل به بیش از ۷۵ درصد وزنی برسد.		۱- لجن هضم‌نشده باید تا بیش از ۹۰ درصد وزنی آبگیری شود؛ ۲- محصول نهایی تا پیش از مصرف باید خشک نگه داشته شود.
	۳- هضم هوازی گرمادوست[a و ۱]		- شرایط هوازی برای ۱۰ روز متوالی در دمای ۵۵ درجه سلسیوس تا ۶۰ درجه سلسیوس نگه داشته شود؛ - کاهش حداقل ۳۸ درصد جامدات فرّار؛ - مقدار جامدات کل در محصول به بیش از ۵۰ درصد وزنی برسد.
	۴- هضم بی‌هوازی و به دنبال آن خشک‌کردن با نور خورشید		لجن در فرایند هضم بی‌هوازی اختلاط کامل دو مرحله‌ای سری در محدوده دمایی ۳۵ درجه سلسیوس تا ۳۷ درجه سلسیوس هضم می‌شود. زمان ماند ۳۰ روز است. لجن پس از آب‌گیری مکانیکی تولید کیک جامدات زیستی بین ۱۵ درصد تا ۲۵ درصد را می‌کند. جامدات زیستی به‌مدت ۳۰ روز روی یک بستر سنگ‌فرش[۲] خشک می‌شود. حداکثر ضخامت لایه جامدات زیستی روی بستر ۴۶ سانتی‌متر است. در ۸ روز اول، یک روز در میان جامدات زیستی باید زیر رو شود. غلظت جامدات آن باید به بیش از ۷۰ درصد برسد.

درجه تثبیت	فرایند	شاخص عوامل بیماری‌زا بر حسب وزن خشک محصول	دیگر شرایط
	۵- تابش پرتو بتا		لجن با پرتوهای بتا که از یک شتاب‌دهنده الکترون با دوز ۱ مگاراد در دمای ۲۰ درجه سلسیوس پرتودهی می‌شود.
	۶- تابش پرتو گاما		لجن با پرتوهای گاما ناشی از ایزوتوپ‌های خاص مانند کبالت۶۰ و سزیوم۱۳۷ با دوز ۱ مگاراد در دمای ۲۰ درجه سلسیوس پرتودهی می‌شود.
	۷- پاستوریزاسیون		لجن برای مدت ۳۰ دقیقه یا بیشتر، در دمای ۷۰ درجه سلسیوس نگهداری می‌شود.
	۸- دیگر فرایندها: فرایندهایی مانند ذخیره‌سازی با رعایت موارد ایمنی		-

[a] هضم هوازی گرمادوست فرایند هضم لجن در یک محیط هوازی که در آن میکروارگانیسم‌های هوازی، مقاوم در برابر دمای بین ۴۹ درجه سلسیوس تا ۵۷ درجه سلسیوس با نرخ بالایی فعالیت زیستی می‌کنند.

[b] برای اطمینان از حداقل‌شدن رشد دوباره عوامل بیماری‌زا و حفظ درجه P2، تعداد سالمونلا باید کمتر از MPN ۳ در هر ۴ گرم وزن خشک جامدات زیستی باشد.

[c] کلیفرم گرماپای گونه‌ای از کلیفرم‌های موجود در سیستم گوارش انسان و دیگر جانوران خونگرم است که می‌تواند لاکتوز را در دمای بین ۴۴ درجه سلسیوس تا ۴۴٫۵ درجه سلسیوس تخمیر و اسید و گاز تولید کند و یک شاخص آلودگی مدفوعی است.

1- Thermophilic
2- Paved bed

جدول ۱- درجه‌بندی جامدات زیستی فاضلاب بر اساس درجه تثبیت (دسته P3)

درجه تثبیت	فرایند	شاخص عوامل بیماری‌زا بر حسب وزن خشک محصول	دیگر شرایط
دسته P3: فرایندهای شناخته‌شده که موجب کاهش قابل‌توجه عوامل بیماری‌زا می‌شوند.	۱- هضم بی‌هوازی	کاهش کلیفرم‌های گرماپای[a] به کمتر از ۲ میلیون MPN در گرم	۱- برای ۱۵ روز در دمای ۳۵ درجه سلسیوس یا ۶۰ روز در دمای ۱۵درجه سلسیوس؛ ۲- بیش از ۳۸ درصد کاهش جامدات فرّار.
	۲- هضم هوازی (شامل فرایند هوادهی گسترده در تصفیه فاضلاب نیز می‌شود)		۱- برای ۴۰ روز در دمای ۲۰ درجه سلسیوس یا ۶۰ روز در دمای ۱۵ درجه سلسیوس؛ ۲- بیش از ۳۸ درصد کاهش جامدات فرّار.
	۳- کمپوست‌سازی		۱- ایجاد شرایط هوازی؛ ۲- پنج روز در دمای بیش از ۴۰ درجه سلسیوس باشد که ۵ ساعت متوالی از آن مدت‌زمان، دما در بیش از ۵۵ درجه سلسیوس حفظ شود.
	۴- تثبیت با آهک		افزودن مقدار کافی آهک به‌طوری که پس از گذشت ۲ ساعت pH به بالای ۱۲ برسد.
	۵- هر فرایند دیگری که میزان کاهش عوامل بیماری‌زا در آن برای درجه استفاده P3 مناسب باشد.	برای هر مورد باید معیارها جداگانه توسط مراجع ذی‌صلاح قانونی مشخص شود.	برای هر مورد باید معیارها جداگانه توسط مراجع ذی‌صلاح قانونی مشخص شود.

[a] کلیفرم گرماپای گونه‌ای از کلیفرم‌های موجود در سیستم گوارش انسان و دیگر جانوران خونگرم است که می‌تواند لاکتوز را در دمای بین ۴۴ درجه سلسیوس تا ۴۴٫۵ درجه سلسیوس تخمیر و اسید و گاز تولید کند و یک شاخص آلودگی مدفوعی است.

جدول ۱- درجه‌بندی جامدات زیستی فاضلاب بر اساس درجه تثبیت (دسته P4)

درجه تثبیت	فرایند	شاخص عوامل بیماری‌زا بر حسب وزن خشک محصول	دیگر شرایط
دسته P4: حداقل کاهش عوامل بیماری‌زا	هر فرایند تثبیت دیگری که معیارهای عوامل بیماری‌زا و شرایط درجه‌های ۱ و ۲ و ۳ را نداشته باشد.	کاربرد ندارد.	

۴-۴-۲ درجه‌بندی جامدات زیستی بر اساس غلظت آلاینده‌های شیمیایی (معیار C)

جدول ۲ درجه‌بندی جامدات زیستی بر اساس غلظت مواد شیمیایی را نشان می‌دهد. حدود مقادیر آلاینده‌ها در درجه C1 به منظور حداکثر حفاظت از خاک، سختگیرانه در نظر گرفته شده است. بدین‌ترتیب، جامدات زیستی با درجه آلودگی C1 و P1 را می‌توان بدون محدودیت در کاربری‌های ذکر شده در زیربند ۴-۳ استفاده کرد.

درجه C2 بیانگر کیفیتی از جامدات زیستی است که غلظت مواد شیمیایی در آن بیش از درجه C1 است و استفاده ایمن آن، نرخ و چگونگی کاربرد جامدات زیستی در زمین باید مدیریت شود. به‌عبارت دیگر استفاده از جامدات زیستی با درجه آلایندگی شیمیایی C2 نیازمند کنترل نرخ مصرف جامدات زیستی، تعداد دفعات استفاده و کیفیت خاک در محل استفاده است.

اگر غلظت مواد شیمیایی در جامدات زیستی بیش از مقادیر تعیین‌شده در درجه آلودگی C2 باشد، استفاده از آن در زمین مجاز نیست.

جدول ۲- راهنمای درجه‌بندی آلودگی شیمیایی جامدات زیستی

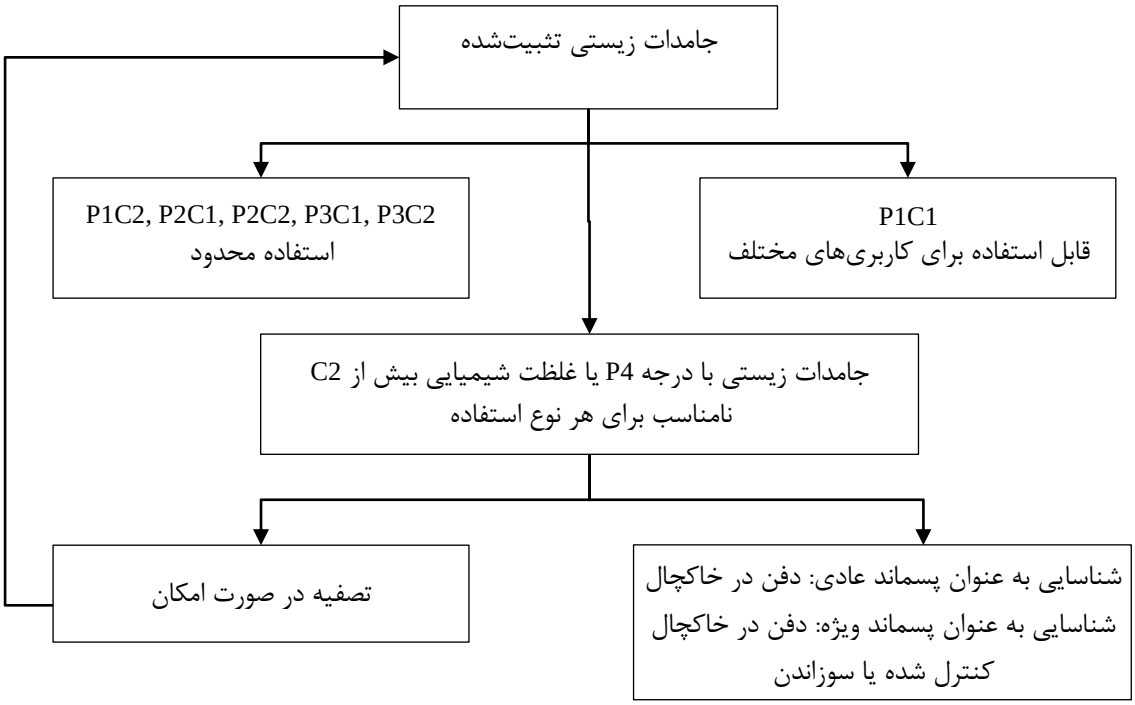
آلاینده	درجه C1 میلی‌گرم بر کیلوگرم جامدات خشک		درجه C2 میلی‌گرم بر کیلوگرم جامدات خشک
	برای کاربرد جامدات زیستی در خاک‌های با $pH \geq 7$	برای کاربرد جامدات زیستی در خاک‌های با $pH < 7$	
آرسنیک	۴۰	۱۸	۶۰
کادمیوم	۵	۱	۲۰
کروم	۱۱۰	۱۱۰	۵۰۰
مس	۲۰۰	۱۰۰	۱۰۰۰
سرب	۷۵	۵۰	۷۵۰
جیوه	۷	۵	۱۶
نیکل	۱۱۰	۵۰	۳۰۰
روی	۵۰۰	۲۰۰	۲۵۰۰

یادآوری- هنگام تعیین درجه آلودگی شیمیایی یک توده جامدات زیستی، با درجه‌های متفاوت آلودگی، درجه نهایی آلودگی توده زیستی، پایین‌ترین درجه کیفیت ثبت‌شده (C1 یا C2) است. برای مثال اگر در یک نمونه توده زیستی، آلاینده‌های شیمیایی این جدول همگی به‌جز یک آلاینده درجه C1 را کسب کنند و آلاینده باقی‌مانده درجه C2 باشد، این توده به‌عنوان درجه C2 درجه‌بندی می‌شود.

۴-۵ روندنما تصمیم‌گیری کاربردهای جامدات زیستی

شکل ۱ روندنما طبقه‌بندی جامدات زیستی و جدول ۳ مصرف مجاز آن را بر اساس طبقه‌بندی عوامل بیماری‌زا و آلاینده‌های شیمیایی نشان می‌دهد. بدین‌ترتیب، بالاترین کیفیت جامدات زیستی (P1C1) برای هر کاربرد در زمین مناسب است. جامدات زیستی با سایر کیفیت‌ها بسته به درجه تثبیت و درجه مواد شیمیایی با محدودیت مصرف مواجه هستند که جزئیات آن‌ها در جدول ۳ ذکر شده است. هم‌چنین،

جامدات زیستی که برای هیچ مصرفی مناسب نیستند باید دفن، سوزانده یا بیشتر تصفیه شوند.



شکل ۱- روندنما تصمیم‌گیری برای مدیریت جامدات زیستی

جدول ۳- طبقه‌بندی، مصرف مجاز و الزامات مدیریت مصرف جامدات زیستی

مصرف مجاز جامدات زیستی	درجه تثبیت جامدات زیستی (طبق جدول ۱)	درجه‌آلایندگی شیمیایی جامدات زیستی (طبق جدول ۲)	روش کنترل کاربری زمین
استفاده در کلیه مصارف	P1	C1	نیاز ندارد
استفاده محدود			
محوطه‌سازی و فضای سبز- تفریحی (با دسترسی عمومی بدون محدودیت) و کشاورزی (محصولاتی که خام مصرف می‌شوند و محصولات ریشه‌ای و سالادی)	P1	C2	ایجاد محدودیت در استفاده از زمین نکند. جامدات زیستی باید حداکثر ۳۶ ساعت پس از پخش با خاک مخلوط شود.
کشاورزی (محصولاتی که خام مصرف می‌شوند و محصولات ریشه‌ای و سالادی و باغ‌ها)	P2	C1	نیاز ندارد

مصرف مجاز جامدات زیستی	درجه تثبیت جامدات زیستی (طبق جدول ۱)	درجه‌آلایندگی شیمیایی جامدات زیستی (طبق جدول ۲)	روش کنترل کاربری زمین
کشاورزی (محصولاتی که خام مصرف می‌شوند و محصولات ریشه‌ای و سالادی و باغ‌ها)	P2	C2	ایجاد محدودیت در استفاده از زمین نکند. جامدات زیستی باید حداکثر ۳۶ ساعت پس از پخش با خاک مخلوط شود. باید فاصله زمانی مناسب بین اختلاط جامدات زیستی با خاک و برداشت محصول یا چرای دام در نظر گرفته شود.
محصولاتی که پخته یا فرآوری‌شده مصرف می‌شوند، مراتع، چراگاه حیوانات و محصولات علوفه‌ای	P3	C2	ایجاد محدودیت در استفاده از زمین نکند. جامدات زیستی باید حداکثر ۳۶ ساعت پس از پخش با خاک مخلوط شود. باید فاصله زمانی مناسب بین اختلاط جامدات زیستی با خاک و برداشت محصول یا چرای دام در نظر گرفته شود.
محوطه‌سازی و فضای سبز (با محدودیت در دسترسی عمومی)	P3	C1 و C2	برای C1 کاربردی ندارد.
جنگل‌کاری و احیای خاک (مثال: خاکچال، معادن) یا استفاده‌های زیرسطحی در زمین			برای C2: ایجاد محدودیت در استفاده از زمین نکند.[a] جامدات زیستی باید حداکثر ۳۶ ساعت پس از پخش با خاک مخلوط شود. اگر جنگل‌کاری به منظور تولید الوار و چوب بوده، یا درخت‌کاری در محلی اختصاصی صورت گرفته یا برای چرای دام استفاده نمی‌شود، نیازی به مخلوط‌کردن نیست.
غیرقابل استفاده: اگر جامدات زیستی در دسته‌بندی مصارف پیشین قرار نگیرد باید دفع شود.			
دفن در خاکچال (به‌جز پوشش نهایی خاکچال)	P4	-	بر اساس ضوابط مراجع ذی‌صلاح قانونی، پسماند عادی محسوب شود.
دفن در خاکچال کنترل‌شده یا دیگر روش‌های دفع پسماند مانند: زباله‌سوز	P4	-	بر اساس ضوابط مراجع ذی‌صلاح قانونی، پسماند ویژه محسوب شود.

[a] هنگام استفاده از جامدات زیستی در مصارف کشاورزی باید شرایط محیطی حاکم بر محل مصرف و ملاحظات مربوط به بیماری‌های واگیر بومی انسان و حیوان و ارتباط این موارد به دقت بررسی شود.

مهم- نرخ و چگونگی مصرف جامدات زیستی در زمین برای کاربری‌های مختلف باید به‌گونه‌ای باشد که غلظت آلاینده‌ها در خاک از «حدود مجاز آلودگی خاک و آلاینده‌های ورودی به آن برای کاربری‌های مختلف خاک» که توسط مرجع ذی‌صلاح قانونی تعیین می‌شود، تخطی نکند.

۴-۶ کنترل حشرات و ناقلین بیماری‌ها

ناقل، حیوان یا حشره‌ای است که نقش مهمی در انتقال عوامل بیماری‌زا از جامدات زیستی به انسان دارد. ناقل می‌تواند مگس، پشه، کک، جوندگان، پرندگان یا حیوان خانگی باشد.

اگر جامدات زیستی به‌میزان مناسبی تثبیت نشود می‌تواند حشرات را به‌خود جذب کند. کنترل جذب ناقلین باید برای کلیه کاربردهای جامدات زیستی و با کمک فرایندهای زیستی تخریب جامدات فرّار، کاهش مواد مغذی و کاهش پتانسیل تولید بو، انجام شود. اقدامات فیزیکی و شیمیایی برای توقف فعالیت‌های عوامل بیماری‌زا همراه با ایجاد موانع فیزیکی بین ناقلین و جامدات زیستی، دیگر راهکارهای کنترل ناقلین هستند.

کاهش جذب ناقلین با روش‌های زیر امکان‌پذیر است:

- کاهش رطوبت جامدات زیستی؛
- کاهش مقدار مواد آلی موجود در جامدات زیستی با کمک فرایندهای هضم هوازی یا بی‌هوازی؛
- افزودن مواد قلیایی مانند آهک و عملیات حرارتی؛
- کمپوست‌سازی؛
- تزریق یا مخلوط‌کردن جامدات زیستی با خاک.

جدول ۴- روش‌های پیشنهادی برای کنترل جذب ناقلین (VAC)[1]

ردیف	روش‌های پیشنهادی برای کنترل جذب ناقلین	جامدات زیستی مناسب برای روش پیشنهادی
۱	فرایندهای تثبیتی که جامدات زیستی در آن با بیش از ۳۸ درصد کاهش جامدات فرّار همراه باشد.	جامدات زیستی حاصل از فرایندهای زیستی هوازی و بی‌هوازی
۲	خشک کردن جامدات زیستی تا بیش از ۷۵ درصد جامدات	جامدات زیستی کاملا تثبیت‌شده با فرایندهای هوازی و بی‌هوازی
۳	خشک کردن لجن تا بیش از ۹۰ درصد جامدات	جامدات زیستی حاصل از روش‌های آبگیری حرارتی
۴	تصفیه هوازی با میانگین دمای بیش از ۴۵ درجه سلسیوس به‌مدت بیش از ۱۴ روز به‌طوری‌که در طی این مدت دما به زیر ۴۰ درجه سلسیوس نرسد.	جامدات زیستی کمپوست‌شده
۵	افزایش pH جامدات زیستی به بیش از ۱۲، نگهداری در این pH برای ۲ ساعت (بدون اضافه کردن قلیای بیشتر) و نگهداری در pH بالای ۱۱٫۵ به‌مدت ۲۲ ساعت دیگر	افزودن قلیا یا آهک برای افزایش pH جامدات زیستی و دما
۶	تزریق یا مخلوط کردن جامدات زیستی با خاک در مدت ۶ ساعت پس از استفاده در زمین	جامدات زیستی کاملا تبیت‌نشده
۷	نرخ ویژه جذب اکسیژن (SOUR)[2] در ۲۰ درجه سلسیوس کمتر از ۱٫۵ میلی‌گرم اکسیژن بر ساعت بر گرم جامدات کل	جامدات زیستی مایع حاصل از فرایندهای هوازی در دمای ۱۰ درجه سلسیوس تا ۳۰ درجه سلسیوس
۸	اقداماتی برای به حداقل رساندن پتانسیل رشد دوباره	جامدات زیستی که هیچ یک از ۵ معیار پیشین را تامین نمی‌کنند.

1- Vector Attraction Control
2- Specific Oxygen Uptake Rate

به منظور جلوگیری از رشد دوباره عوامل بیماری‌زا، به‌ویژه برای تولید جامدات زیستی با کیفیت بالا، باید کلیه فعالیت‌های مربوط به کنترل جذب ناقلین هم‌زمان یا پس از فعالیت‌های کاهش عوامل بیماری‌زا انجام شوند.

۴-۷ تحلیل داده‌ها

۴-۷-۱ تعیین درجهٔ آلودگی شیمیایی (C)

درجهٔ آلایندگی شیمیایی جامدات زیستی بر اساس میانگین آلاینده‌های مورد نظر و مقایسه آن با مقادیر ارائه شده در جدول ۲ (C1 یا C2) به‌دست می‌آید.

تعداد نمونه‌های مورد نیاز باید بر اساس توصیه‌های بند ۵ مشخص شود.

مراحل تعیین درجهٔ آلایندگی شیمیایی جامدات زیستی عبارتند از:

۱- نمونه‌برداری؛

۲- آزمایش نمونه‌ها در یک آزمایشگاه معتبر؛

۳- بررسی آماری نتایج و تهیه خلاصه داده‌ها؛

۴- محاسبه درجهٔ آلایندگی هر ماده برای محاسبه درجهٔ آلودگی شیمیایی نهایی جامدات زیستی (C1 یا C2) برای هر ماده.

پس از تعیین درجهٔ آلایندگی برای هر ماده شیمیایی، درجهٔ آلودگی شیمیایی نهایی جامدات زیستی مشخص می‌شود. درجهٔ آلودگی شیمیایی نهایی یک توده جامدات زیستی (C1 یا C2)، بالاترین درجهٔ آلودگی (پایین‌ترین کیفیت) ثبت‌شده برای آن توده است. برای مثال، اگر در یک نمونه جامدات زیستی، آلاینده‌های شیمیایی مطابق با جدول ۲ همگی به‌جز یک آلاینده درجهٔ C1 را به‌دست آورند و آلاینده باقی‌مانده درجهٔ C2 باشد، این توده جامدات زیستی در رده C2 درجه‌بندی می‌شود.

۴-۷-۲ درجهٔ تثبیت (P)

تصفیه‌خانه‌های فاضلاب با استفاده از فرایندهای هضم هوازی و بی‌هوازی عوامل بیماری‌زای جامدات زیستی را کاهش می‌دهند. این کاهش سطح عوامل بیماری‌زا یا درجهٔ تثبیت با شاخص *سالمونلا* یا کلیفرم گرماپای و با P نشان داده می‌شود که در ۴ سطح P1 تا P4 درجه‌بندی می‌شود. P1 معرف بهترین کیفیت عوامل بیماری‌زا و P4 بدترین کیفیت عوامل بیماری‌زا است. برای تعیین درجه تثبیت جامدات زیستی، میانگین هندسی از رابطه ۱ به‌دست می‌آید و نتیجه با مقادیر جدول ۱ مقایسه می‌شود:

$$GM_X=\sqrt[n]{X_1.X_2.X_3 \dots X_n} \qquad (۱)$$

مثال: یک نمونه جامدات زیستی برای فلزات سنگین آزمایش و نتایج زیر به‌دست آمده است:

جدول ۵- نتایج آزمایش فلزات سنگین برای جامدات زیستی یک تصفیه‌خانه فاضلاب (میلی‌گرم بر کیلوگرم جامدات خشک)

نمونه	کادمیوم	مس	جیوه	نیکل	سرب	روی
۱	۱	۱۸۳	۰٫۰۰۸	۵۳٫۳۸	۵۴٫۶۸	۱٫۰۲۷
۲	۲	۲۳۵	۰٫۰۰۱	۶۹٫۰۵	۷۸٫۲۷	۱٫۳۸۲
۳	۱	۲۴۲	۰٫۰۰۱	۷۰٫۵۵	۷۴٫۳۲	۱٫۲۹۹
۴	۱	۲۵۲	۰٫۰۰۱	۶۴٫۵۸	۹۱٫۲۸	۱٫۵۲۲
۵	۳	۲۶۵	۰٫۰۰۱	۶۶٫۹۳	۹۶٫۰۳	۱٫۵۰۴
۶	۳	۲۷۶	۰٫۰۱۱	۶۲٫۴۲	۱۰۰٫۷	۱٫۴۸۷
۷	۳	۳۲۶	۰٫۰۰۱	۷۳٫۷۷	۱۱۷٫۱	۱٫۴۸۸
میانگین غلظت فلزات سنگین	۲	۲۵۴	۰٫۰۰۳	۶۵٫۸۱	۸۷٫۴۸	۱٫۳۸۷
C1 برای pH بیشتر از ۷	۵	۲۰۰	۷	۱۱۰	۷۵	۵۰۰
C1 برای pH کمتر از ۷	۱	۱۰۰	۵	۵۰	۵۰	۲۰۰
C2	۲۰	۱۰۰۰	۱۶	۳۰۰	۷۵۰	۲۵۰۰
درجه آلایندگی برای pH بیشتر از ۷	C1	C2	C1	C1	C2	C1
درجه آلایندگی برای pH کمتر از ۷	C2	C2	C1	C2	C2	C1

با توجه به دو سطر آخر جدول ۵، درجه C2 به عنوان درجه آلایندگی شیمیایی نهایی توده جامدات زیستی برای هر دو نوع خاک با pH بیشتر و کمتر از ۷ تعیین می‌شود.

جدول ۶- نتایج آزمایش فلزات سنگین برای جامدات زیستی یک تصفیه‌خانه فاضلاب

نمونه	کلیفرم گرماپای (جرم خشک MPN/g)
۱	۸
۲	۸
۳	۲
۴	۱۲
۵	۱۸۸۱
۶	۲۹۳۲
۷	۲
۸	۱۰
۹	۲۷
۱۰	۴۲۹
۱۱	۶۲
۱۲	۱۱
۱۳	۱۲۷
۱۴	۱۷

نمونه	کلیفرم گرماپای (جرم خشک MPN/g)
۱۵	۹

میانگین هندسی ۱۵ نمونه برابر با ۳۱ است که کمتر از ۱۰۰ می‌باشد، بنابراین طبق جدول ۱ درجه آن P1 است. در گام بعد با توجه به جدول ۳، درجه این توده جامدات زیستی P1C2 تعیین شده و کاربری‌های مجاز آن محوطه‌سازی و فضای سبز- تفریحی (با دسترسی عمومی بدون محدودیت) و کشاورزی (محصولاتی که خام مصرف می‌شوند و محصولات ریشه‌ای و سالادی) است.

۵ پایش کیفیت جامدات زیستی

۵-۱ اهداف پایش جامدات زیستی

برنامه پایش جامدات زیستی برای اهداف زیر طراحی می‌شود:

الف- تعیین کیفیت و کمّیت جامدات زیستی: بهره‌بردار تصفیه‌خانه فاضلاب باید تعداد دفعات نمونه‌برداری و میزان تولید و انتقال جامدات زیستی را ثبت کند. مقدار جامدات زیستی (بر حسب وزن خشک)، مقدار رطوبت و درجه‌بندی (بر اساس درجه تثبیت (P) و آلودگی مواد شیمیایی (C)) برای انتقال یا استفاده از جامدات زیستی مهم هستند و باید ثبت شده و در دسترس باشند؛

ب- تامین داده‌های موردنیاز برای تصفیه جامدات زیستی: اطلاعات فرایندی که ممکن است موجب تغییر طبقه‌بندی جامدات زیستی شود باید توسط بهره‌بردار تصفیه‌خانه فاضلاب ثبت شده و در دسترس باشند؛

پ- استفاده یا دفع جامدات زیستی: هنگام استفاده از جامدات زیستی با طبقه‌بندی محدود، مصرف‌کننده باید محل مصرف را پایش و موارد زیر را ثبت کند:

۱- نرخ مصرف و طبقه جامدات زیستی مورد استفاده؛

۲- محل مصرف، مالکیت محل مصرف و کاربری فعلی محل مصرف؛

۳- مساحت محل مصرف، نرخ مصرف و میزان آلاینده‌های جامدات زیستی؛

۴- pH خاک پیش از مصرف جامدات زیستی؛

۵- کیفیت خاک پیش از مصرف جامدات زیستی؛

۶- تخمین کیفیت خاک پس از مصرف جامدات زیستی؛

۷- طبقه و میزان مصرف در هر مرحله، میزان مصرف تجمعی و نحوه مصرف جامدات زیستی؛

۸- روش‌های به‌کار گرفته شده برای جلوگیری از انتشار آلودگی (از طریق انتقال شیرابه، رواناب و غیره) در محل مصرف جامدات زیستی.

۵-۲ طراحی برنامه پایش جامدات زیستی

مواردی که باید در طراحی برنامه پایش جامدات زیستی به آن‌ها توجه کرد، عبارتند از:

- پارامترهای موردنیاز یا موردنظر برای آزمایش؛
- روش‌ها یا شیوه‌نامه‌های آزمایش؛
- استانداردها و رویه‌های تضمین کیفیت و کنترل کیفیت؛
- نوع، اندازه نمونه و تواتر نمونه‌برداری؛
- نگهداری نمونه؛
- ایمنی؛
- هزینه نمونه‌برداری و آزمایش.

۵-۲-۱ پارامترهای موردنیاز یا موردنظر برای آزمایش

اگر هدف برنامه پایش نشان دادن انطباق کیفیت جامدات زیستی با استاندارد باشد، فهرست پارامترهای موردنیاز بر اساس استاندارد تعیین می‌شود.

یادآوری ۱- گزینه‌های دفع جامدات زیستی، تعیین‌کننده استاندارد موردعمل و در نتیجه فهرست آزمایش‌های موردنیاز هستند. به‌طور معمول برای کاربرد جامدات زیستی در زمین این آزمایش‌ها شامل غلظت مواد شیمیایی، عوامل بیماری‌زا و کاهش جذب ناقلین است.

یادآوری ۲- ممکن است روش‌های مختلف دفع جامدات زیستی، الزامات پایش متفاوتی داشته باشند. برای مثال دفن جامدات زیستی در یک خاکچال اختصاصی[1] یا خاکچال عمومی به همراه سایر پسماندها، آزمایش‌های متفاوتی نیاز دارند یا ممکن است برای کاربرد جامدات زیستی در زمین نیاز به سنجش مواد مغذی و فلزات و برای کمپوست‌سازی جامدات زیستی نیاز به اندازه‌گیری مواد مغذی، فلزات و نمک‌ها باشد.

یادآوری ۳- در صورت تغییر ضوابط و استانداردها ممکن است نیاز به اصلاح برنامه پایش و فهرست آزمایش‌های موردنیاز باشد.

به‌طور معمول اگر هدف برنامه پایش به‌جز ارزیابی انطباق با استاندارد و ضوابط باشد، الزامات نمونه‌برداری کمتر سختگیرانه هستند و اغلب بهره‌بردار تصفیه‌خانه بر اساس نیازهای بهره‌برداری و هزینه برنامه پایش را تهیه می‌کند. برای مثال، ممکن است آزمایش‌های بلوغ/ پایداری[2] بر روی کمپوست طبق ضوابط و استاندارد نیاز نباشند، اما کیفیت کمپوست و قابلیت عرضه آن را در بازار[3] نشان می‌دهند.

1- Monofill
2- Maturity/ stability
3- Marketability

۵-۲-۲ روش‌ها یا شیوه‌نامه‌های آزمایش

جامدات زیستی، مخلوطی پیچیده از مواد آلی و غیرآلی است. این مخلوط می‌تواند ناهمگن باشد و ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی آن در طول زمان تغییر کند. ویژگی‌های فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه و نوع فرایندهای تصفیه فاضلاب و جامدات زیستی به‌میزان زیادی تعیین‌کننده ویژگی‌های جامدات زیستی تولیدی هستند. تغییرپذیری[1] و پیچیدگی جامدات زیستی دشواری آزمایش آن را افزایش می‌دهند. مخلوط پیچیده ماتریس جامدات زیستی می‌تواند منجر به تداخل‌های آزمایشی مهمی شود که پایایی[2] داده‌های به‌دست آمده را زیر سوال می‌برند.

برای اطمینان از دستیابی به بهترین کیفیت ممکن داده‌ها، انتخاب روش آزمایش مناسب برای تولید داده‌های با صحت و دقت قابل‌قبول بسیار مهم است.

یادآوری ۱- روش‌های آزمایش موردقبول برای آزمایش جامدات زیستی توسط مراجع ذی‌صلاح قانونی تعیین می‌شود. در صورت عدم تعیین روش توسط مراجع ذی‌صلاح قانونی، استفاده از روش‌های تعیین‌شده توسط سازمان‌های معتبر سطح دنیا (مطابق با پیوست **ب**) یا روش‌های معادل آن توصیه می‌شود.

یادآوری ۲- انتخاب یک رویه آزمایش، بسیار مهم است که برای ارتقای تکرارپذیری و مقایسه‌پذیری داده‌ها همواره همان روش استفاده شود.

۵-۲-۳ استانداردها و رویه‌های تضمین کیفیت و کنترل کیفیت

تعیین و به‌کارگیری رویه‌های مناسب تضمین کیفیت و کنترل کیفیت بسیار مهم است و اغلب دستورالعمل‌های استاندارد این رویه‌ها را در بر می‌گیرند.

۵-۲-۳-۱ کیفیت داده‌ها

تعیین اهداف کیفیت داده‌ها (DQOs)[3] گامی اولیه در طراحی برنامه پایش است و هدف آن بیان شفاف و مستند حداقل استانداردهای کیفیت است که داده‌ها باید به آن دست یابند. برای مثال، ممکن است هنگام ارزیابی انطباق کیفیت جامدات زیستی با استانداردهای تعیین‌شده نسبت به حالتی که داده‌ها برای کنترل فرایند استفاده می‌شوند، به داده‌هایی با وضوح بالاتر و به‌طور قطع مستندتر نیاز باشد.

پس از تعیین استانداردهای کیفیت، باید روش‌های ارزیابی کیفیت داده‌ها و بررسی رعایت این استانداردها مشخص شوند. فرایند تعیین اهداف کیفیت داده‌ها و سنجش دستیابی به آن‌ها، تضمین کیفیت[4] و کنترل کیفیت[5] نیز نامیده می‌شود. فرایندهای تضمین کیفیت و کنترل کیفیت محدود به آزمایش‌های آزمایشگاهی نیستند و سنجش‌های میدانی، نمونه‌برداری و سایر فعالیت‌های مرتبط با پایش را نیز در بر می‌گیرند.

1- Variability
2- Reliability
3- Data quality objectives

۴- تضمین کیفیت به‌معنای انتخاب روش درست انجام کار است.
۵- کنترل کیفیت به معنای انجام درست روش منتخب است.

تعیین و الزام به رعایت رویه‌های تضمین کیفیت و کنترل باید به‌عنوان یک بخش جدایی‌ناپذیر برنامه‌های پایش در نظر گرفته شود.

روش‌های نمونه‌برداری و آزمایش باید به‌گونه‌ای انتخاب شوند که نمونه‌های جمع‌آوری شده معرف توده جامدات زیستی موردنظر باشند و نتایج آزمایش‌ها به‌دقت کیفیت جامدات زیستی مورد نمونه‌برداری را مشخص کنند.

۵-۲-۳-۲ تهیه برنامه تضمین کیفیت و کنترل کیفیت

برنامه تضمین کیفیت و کنترل کیفیت می‌تواند با کمک روش‌های موردتایید مراجع ذی‌صلاح قانونی، استانداردهای بین‌المللی، استانداردهای سازمان‌های معتبر دنیا (به طور مثال سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA)[1] یا انجمن امریکایی مواد و آزمون (ASTM)[2]) و روش‌های استاندارد برای آزمایش‌های آب و فاضلاب[3] تهیه شود.

یادآوری ۱- به‌طور معمول، اگر آزمایشگاه موردتایید مراجع ذی‌صلاح قانونی باشند، نشان‌دهنده آن است که آزمایشگاه به حداقل الزامات تضمین کیفیت و کنترل کیفیت دست یافته است.

یادآوری ۲- اگر هدف، برنامه پایش کنترل انطباق با استاندارد باشد، اطمینان از درستی برنامه تضمین کیفیت و کنترل کیفیت به‌کار گرفته شده توسط آزمایشگاه موضوعی کلیدی است.

یادآوری ۳- برنامه تضمین کیفیت و کنترل کیفیت، به‌ویژه برای آزمایشگاه، به ماده موردسنجش و روش آزمایش مورداستفاده بستگی دارد.

در ادامه خطوط راهنمای عمومی برای برنامه تضمین کیفیت و کنترل کیفیت در بخش‌های میدانی و آزمایشگاهی ارائه می‌شود.

۵-۲-۳-۲-۱ برنامه تضمین کیفیت و کنترل کیفیت میدانی

گاهی در کارهای میدانی برنامه تضمین کیفیت و کنترل کیفیت نادیده گرفته می‌شود. بهره‌برداران تصفیه‌خانه باید آگاه باشند که داده‌های اهداف کیفیت و برنامه تضمین کیفیت و کنترل کیفیت با جمع‌آوری داده‌ها شروع می‌شوند. شاهدهای سفر، شاهدهای تجهیزات، نمونه‌های همتا و نمونه‌های دوتایی میدانی مثال‌هایی از برنامه تضمین کیفیت و کنترل کیفیت میدانی هستند.

الف- شاهدهای سفر و تجهیزات

1- United States Environmental Protection Agency

به‌طور معمول، روش‌های این سازمان از نظر روش‌های کالیبراسیون، تعداد نمونه‌های دوتایی و نمونه‌های افزوده‌شده و سایر کنترل کیفیت‌های الزامی برای مستندسازی کیفیت داده‌ها بسیار سختگیرانه هستند. هم‌چنین روش‌های آزمایش موردتایید این سازمان معیار قبولی فعالیت‌های کنترل کیفیت را ارائه می‌کنند.

2- American Society for Testing and Materials

3- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

شاهدهای سفر و تجهیزات نمونه‌های حمل یا جمع‌آوری شده در میدان برای ارزیابی پتانسیل آلودگی نمونه‌ها طی فرایند نمونه‌برداری هستند. اگر نمونه برای آزمایش ترکیبات آلی فرّار برداشت می‌شود، باید یک شاهد سفر با شرایط مشابه نمونه‌برداری و انتقال نمونه‌های واقعی برداشت شود. فرض می‌شود مواد موردسنجش شناسایی‌شده در شاهد سفر مربوط به محیط واقعی نمونه‌برداری‌شده، نیستند و از منبع متفاوتی منشا گرفته‌اند. بنابراین، هرگونه آلودگی که در هر دو نمونه‌های شاهد سفر و تجهیزات شناسایی شود، نتایج را زیر سئوال می‌برد.

نمونه شاهد تجهیزات[1] موثربودن رویه‌های تمیزکاری تجهیزات و پتانسیل انتقال آلودگی‌ها از یک نمونه به دیگری به‌وسیله تجهیزات نمونه‌برداری را ارزیابی می‌کند.

مهم- نمونه شاهد تجهیزات باید هنگام جمع‌آوری نمونه با «تجهیزات نمونه‌برداری با قابلیت استفاده دوباره[2]» برداشت شود.

برای جمع‌آوری نمونه شاهد تجهیزات، آب مقطر یا بدون یون درون و روی تجهیزات نمونه‌برداری تمیزشده، ریخته می‌شود. سپس اجازه داده می‌شود که آب برای مدت زمانی مشابه با زمان تماس در رویه نمونه‌برداری واقعی با تجهیزات، تماس داشته باشد. با توجه به آزمایش‌هایی که انجام می‌شوند، ممکن است نیاز به جمع‌آوری نمونه‌های شاهد در هر رویداد نمونه‌برداری باشد. اگر آنالیت‌های (مواد موردسنجش) هدف در نمونه شاهد تشخیص داده شوند، آن‌گاه ممکن است نیاز به ارزیابی دوباره رویه‌های تمیزکاری یا تجهیزات نمونه‌برداری باشد.

در روش‌های آزمایشی که به صراحت نیاز به شاهدهای سفر یا تجهیزات دارند، به‌طور معمول رویه میدانی درست جمع‌آوری یک شاهد سفر و/یا شاهد تجهیزات به‌ازای ۲۰ نمونه جمع‌آوری شده است. اگر مواد موردسنجش هدف در نمونه شاهد تشخیص داده شوند، ممکن است نیاز به ارزیابی دوباره رویه‌های تمیزکاری یا نوع تجهیزات نمونه‌برداری مورداستفاده باشد.

ب- نمونه‌های دوتایی و همتای میدانی

نمونه‌های دوتایی، نمونه‌های جمع‌آوری‌شده برای ارزیابی دقت رویه‌های نمونه‌برداری و آزمایش و هم‌چنین ارزیابی تغییرپذیری ماتریس نمونه هستند.

نمونه‌های همتای میدانی، نمونه‌های (دو یا بیشتر) جمع‌آوری‌شده از همان منبع ولی با تفاوت در زمان یا مکان جمع‌آوری هستند. برای مثال، ممکن است بهره‌بردار برای آزمایش درصد جامدات یک نمونه ساده از یک فیلتر نواری برداشت و سپس نمونه دوم ساده را ۶۰ ثانیه بعد برای همان آزمایش برداشت کند. این دو نمونه را همتا در نظر می‌گیرند.

1- Equipment blanks
2- Nondisposable

اگر اولین نمونه ساده به دو نیم تقسیم و هر دو نیمه برای محتوای جامدات جداگانه آزمایش شوند، دو نمونه شکل گرفته از تقسیم نمونه اصلی به‌عنوان نمونه دوتایی در نظر گرفته می‌شوند. گاهی نمونه‌های دوتایی میدانی را نمونه‌های منقسم نیز می‌نامند.

اغلب یک مجموعه نمونه‌های دوتایی یا همتای میدانی به ازای هر ۲۰ نمونه جمع‌آوری شده، برای کنترل کیفیت میدانی قابل‌قبول است.

۵-۲-۳-۲-۲ برنامه تضمین کیفیت و کنترل کیفیت آزمایشگاه

برای ارزیابی کیفیت داده‌های تولیدی توسط آزمایشگاه، باید برنامه تضمین کیفیت و کنترل کیفیت مرور و موارد زیر ارزیابی شوند:

- روش‌های آزمایش مورداستفاده برای تولید داده‌ها؛
- رویه‌ها و استانداردهای برنامه تضمین کیفیت و کنترل کیفیت؛
- حدهای تشخیص؛
- رویه‌های مدیریت داده‌هایی که با استانداردهای کیفیت داده‌ها مطابقت ندارند؛
- رویه‌های گزارش‌دهی داده‌هایی که با استانداردهای کیفیت داده‌ها مطابقت ندارند؛
- عملکرد آزمایشگاه بر اساس وضعیت گواهینامه و نمونه‌های عملکرد آزمایشگاه.

مهم- هنگامی‌که هدف اولیه انطباق کیفیت جامدات زیستی با استاندارد و ضوابط است، تایید تبعیت آزمایشگاه از روش‌های صحیح آزمایش، برنامه تضمین کیفیت و کنترل کیفیت و حدهای تشخیص موردنیاز، ضروری است.

یادآوری ۱- اغلب دستورالعمل‌های آزمایش منتشرشده، حدهای تشخیص و رویه‌های برنامه تضمین کیفیت و کنترل کیفیت را بیان می‌کنند.

یادآوری ۲- مسئولیت بررسی برنامه تضمین کیفیت و کنترل کیفیت آزمایشگاه بر عهده تهیه‌کننده درخواست خدمات آزمایشگاهی است تا اطمینان یابد که حدهای تشخیص و برنامه تضمین کیفیت و کنترل کیفیت با الزامات استاندارد و ضوابط مطابقت دارند.

جنبه دیگر ارزیابی برنامه تضمین کیفیت و کنترل کیفیت آزمایشگاه، فهم چگونگی مدیریت داده‌ها و گزارش‌دهی نتایج مربوط به کنترل کیفیت نتایجی است (مانند مقادیر افزودنی، نمونه‌های دوگانه، کنترل‌های کالیبراسیون) که استانداردهای کنترل را تامین نمی‌کنند که باید توسط آزمایشگاه صورت پذیرد. سوال‌های کلیدی عبارتند از:

- آیا آزمایشگاه داده‌ها را رد و نمونه‌های با کنترل کیفیت غیرقابل پذیرش را دوباره آزمایش می‌کند؟
- اگر داده‌ها گزارش شده‌اند، آیا گزارش به‌وضوح داده‌های با کیفیت مشکوک را مشخص و توضیح کافی ارائه کرده است؟ برای مثال، برخی آزمایشگاه‌ها مقادیر زیر محدوده کالیبراسیون را تنها به‌عنوان برآوردی از

مقدار واقعی گزارش می‌کنند. بسیار مهم است که آزمایشگاه داده مشکوک را به‌عنوان نتیجه انحرافی از کنترل کیفیت قابل‌قبول شناسایی کند.

– اگر آزمایشگاه تاییدیه دارد، برای کدام آزمایش‌ها و محیط‌ها (برای مثال آب شرب، فاضلاب، خاک، جامدات زیستی) تایید شده است؟

– آیا مرجع صدور تاییدیه، ممیزی را در محل انجام داده است؟

– آیا فرایند تایید شامل آزمایش نمونه‌های ارزیابی عملکرد که توانایی آزمایشگاه را برای تولید داده‌های صحیح ارزیابی می‌کند، می‌باشد؟

یادآوری ۳- داشتن تاییدیه از مراجع ذی‌صلاح قانونی تا حدودی اطمینان می‌دهد که آزمایشگاه یک برنامه تضمین کیفیت و کنترل کیفیت معتبر دارد و داده‌هایی به نسبت صحیح و دقیق تولید می‌کند.

۵-۲-۳-۳ صلاحیت آزمایشگاه[۳]

به‌دلیل پتانسیل آشکار تاثیر صلاحیت آزمایشگاه بر کیفیت داده‌ها هنگام ارزیابی آزمایشگاه‌های منتخب باید موارد زیر را در نظر گرفت:

– صلاحیت کارکنانی که آزمایش‌ها را انجام می‌دهند؛

– تجربه در آزمایش جامدات زیستی با توجه به روش موردنیاز؛

– کفایت، تناسب و اجرای مناسب رویه‌های تضمین کیفیت و کنترل کیفیت؛

– مشتریان گذشته و کنونی آزمایشگاه؛

– تاییدیه‌های دریافتی توسط آزمایشگاه از مراجع ذی‌صلاح قانونی.

مهم- ارزیابی صلاحیت آزمایشگاه، به‌ویژه برای نمونه‌برداری و آزمایش عوامل بیماری‌زا، به‌دلیل پیچیدگی ماتریس جامدات زیستی و کمبود آزمایشگاه‌های واجدشرایط این نوع آزمایش‌ها، مهم است. همچنین هنگام انتخاب یک آزمایشگاه، زمان موردنیاز آزمایشگاه برای انجام آزمایش‌ها و رعایت فاصله زمانی استاندارد بین نمونه‌برداری انجام آزمایش‌ها بسیار مهم است. نمونه‌برداری و آزمایش‌ها باید به‌مدت کافی پیش از استفاده یا دفع نهایی جامدات زیستی انجام شود تا از دریافت به‌موقع نتایج آزمایش‌ها و تایید انطباق آن پیش از استفاده یا دفع نهایی، اطمینان حاصل شود.

۵-۲-۳-۴ رویکردهای نمونه‌برداری از جامدات زیستی

رویکردهای نمونه‌برداری از جامدات زیستی عبارتند از:

– رویکرد آماری بر اساس دستیابی به یک سطح اطمینان مشخص برای همه آلاینده‌های ذکرشده در جدول ۲ بر مبنای آزمایش‌های انجام‌شده بر روی جامدات زیستی تولیدی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب؛

– رویکرد ضوابط ثابت که در آن کمینه تواتر نمونه‌برداری و آزمایش با توجه به فرایند و ظرفیت تصفیه جامدات زیستی تعیین می‌شود؛

– تلفیق دو رویکرد قبلی.

به‌منظور کاهش هزینه‌های نمونه‌برداری و آزمایش و به حداقل رساندن ریسک طبقه‌بندی اشتباه جامدات زیستی، باید برنامه‌ریزی دقیقی برای پایش جامدات زیستی انجام شود. پیشنهاد می‌شود که نمونه‌برداری و آزمایش توسط آزمایشگاه‌های موردتایید مراجع ذی‌صلاح قانونی انجام شود.

۵-۲-۴ نوع، اندازه نمونه و تواتر نمونه‌برداری

هدف هر برنامه نمونه‌برداری، جمع‌آوری نمونه‌هایی است که به‌اندازه کافی معرف کل توده جامدات زیستی باشند. به‌عبارت دیگر، نمونه‌بردار می‌خواهد کیفیت فیزیکی، شیمیایی و زیستی نمونه جمع‌آوری شده، معرف ویژگی‌های جامدات زیستی مورداستفاده یا دفعی باشد. همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، جامدات زیستی مخلوطی پیچیده و متغیر دارد که خواص فیزیکی، شیمیایی و زیستی آن به‌میزان قابل توجهی می‌تواند تحت تاثیر نوع فرایندهای تصفیه فاضلاب و تصفیه لجن قرار گیرد. پیچیدگی و تغییرپذیری جامدات زیستی دشواری جمع‌آوری نمونه‌های معرف را افزایش می‌دهد. بنابراین، چالش هر برنامه نمونه‌برداری تولید نمونه‌های معرف با در نظر گرفتن و مدیریت متغیرهای ذاتی در فرایند نمونه‌برداری است.

اگر یک نمونه ویژگی‌های واقعی جامدات زیستی جایی‌که از آن برداشت شده است را منعکس نکند، آن‌گاه نتایج آزمایش معنادار نخواهد بود. تدوین معیارهایی برای متغیرهایی که تولید نمونه معرف می‌کنند، بخشی از فرایند توسعه اهداف کیفیت داده‌ها است. نوع (ساده یا مرکب) و اندازه نمونه‌ها و تواتر نمونه‌برداری متغیرهای قابل کنترلی هستند که می‌توانند بر معرف‌بودن یک نمونه موثر باشند. معرف بودن را، به‌ویژه برای توده‌های ذخیره جامدات زیستی، می‌توان از طریق نمونه‌برداری تصادفی تامین کرد. برای فرایندهای پیوسته، معرف‌بودن از طریق تعداد و اندازه نمونه‌ها و تواتر نمونه‌برداری به‌خوبی کنترل می‌شود.

تهیه فهرست پارامترهای نمونه‌برداری در ابتدا و حفظ آن پارامترها در طول زمان برای ارتقای مقایسه‌پذیری داده‌ها بسیار مهم است. واقعیت این است که یک نمونه ساده که استانداردها را تامین می‌کند نسبت به سال‌ها داده‌هایی که همان چیز را نشان می‌دهند، جذابیت بسیار کمتری برای نشان دادن کیفیت قابل‌قبول جامدات زیستی دارد.

۵-۲-۴-۱ نوع نمونه (ساده و مرکب)

یک نمونه ساده، مقدار مشخصی از جامدات زیستی جمع‌آوری‌شده در یک زمان و محل مشخص است. یک نمونه ساده فقط می‌تواند معرف کیفیت جامدات زیستی در زمان و محل جمع‌آوری آن باشد. برون‌یابی نتایج آزمایش یک نمونه ساده نمی‌تواند معرف یک تودهٔ جامدات زیستی ذخیره‌شده یا جامدات زیستی حاصل از تولید پیوسته باشد.

نمونه‌برداری ساده با جمع‌شدن داده‌های تاریخی اعتبار می‌یابد. ممکن است یک داده لحظه‌ای برای اثبات کیفیت جامدات زیستی متقاعدکننده نباشد، اما یک پایگاه داده‌ها که الگویی یکنواخت را نشان می‌دهد ممکن است به‌درستی کیفیت جامدات زیستی را در طول زمان نشان دهد. در فرایندهای پیوسته، برای بهبود مقایسه‌پذیری داده‌های نیاز به نمونه‌برداری ساده با نمونه‌هایی با اندازه مساوی از همان محل است. زمان‌بندی برداشت نمونه‌های ساده باید تا حدودی تصادفی باشد تا تغییرات زمانی کیفیت جامدات زیستی را نشان دهد.

یادآوری- به‌طور معمول برای آزمایش عوامل بیماری‌زا نمونه‌برداری ساده انجام می‌شود، تا بتوان فاصله زمانِ بین جمع‌آوری نمونه و آزمایش را ثبت کرد. اطلاعات بیشتر درباره نمونه‌برداری عوامل بیماری‌زا در پیوست **پ** آمده است.

یک نمونه مرکب از تعداد زیادی نمونه ساده تشکیل می‌شود که جمع‌آوری و با یکدیگر مخلوط شده‌اند تا یک نمونه مرکب تشکیل دهند. نمونه‌های ساده می‌توانند به‌طور تصادفی از محل‌های ذخیره جامدات زیستی (مانند کانتینرهای روباز[1] یا توده‌های ذخیره[2] جامدات زیستی) جمع‌آوری شوند.

در یک فرایند پیوسته، به‌طور معمول نمونه‌های ساده از همان محل با یک فاصله زمانی مشخص و در طول یک دوره زمانی معین برداشت می‌شوند. برای انعکاس گذر زمان یا جریان می‌توان اندازه نمونه را وزن کرد. برای مثال، فاصله زمانی یا حجم بزرگتر نسبت به فاصله زمان کوتاه‌تر یا حجم کوچکتر، نیاز به نمونه بزرگتر دارد. به‌طور معمول، نمونه‌برداری مرکب با برداشت نمونه‌های با اندازه مساوی انجام می‌شود. در این حالت در فرایندهای پیوسته، به‌طور معمول فاصله زمانی بین نمونه‌های ساده ثابت نگه داشته می‌شود. برای مثال، یک نمونه مرکب ۲۴ ساعته می‌تواند با جمع‌آوری ۱۰۰ میلی‌لیتر نمونه‌های ساعتی از یک نوار نقاله جامدات زیستی بین واحد آبگیری و وسیله حمل تهیه شود. داده‌های به‌دست آمده از آزمایش یک نمونه مرکب تنها معرف میانگین کیفیت جامدات زیستی تولیدی در طی دوره زمانی برداشت نمونه یا توده[3] نمونه‌برداری شده، است.

همانند نمونه‌های ساده، داده‌های تاریخی بهترین معرف کیفیت جامدات زیستی هستند. در نمونه‌برداری مرکب، نمونه‌های ساده تشکیل‌دهنده نمونه مرکب باید به‌طور کامل و به‌شدت مخلوط شوند. در طی فرایند آزمایش فقط بخش کوچکی از کل نمونه برای آزمایش برداشت می‌شود. اگر نمونه مرکب به‌شدت مخلوط نشود، زیرنمونه‌ای که برای آزمایش برداشت می‌شود ممکن است فقط معرف یک نمونه ساده باشد.

یک استثنا بر قاعده اختلاط، نمونه‌هایی هستند که برای آزمایش ترکیبات آلی فرّار (VOC)[4] جمع‌آوری می‌شوند. در این حالت، فرایند اختلاط می‌تواند موجب تسریع فرّار مواد موردسنجش شود به‌گونه‌ای که نمونه جمع‌آوری‌شده دیگر معرف جامدات زیستی نمونه‌برداری شده نباشد. برای نمونه‌های ترکیبات آلی فرّار، می‌توان آزمایش‌های همتا انجام داد. اگر نمونه‌ها استخراج و در متانول نگهداری شوند، نمونه مرکب می‌تواند

1- Roll-off container
2- Stockpile
3- Batch
4- Volatile Organic Compound

از استخراج نمونه‌های ساده با یکدیگر یا با ایجاد یک نمونه مرکب از عصاره استخراج‌شده از نمونه‌های ساده‌ای که جداگانه استخراج شده‌اند، تولید شود.

۵-۲-۴-۲ اندازه نمونه و تواتر نمونه‌برداری

تواتر به تعداد نمونه‌های جمع‌آوری‌شده در یک دوره زمانی اشاره دارد. برای مثال، با توجه به مقدار جامدات زیستی تولیدی در تصفیه‌خانه، ممکن است نمونه‌برداری برای فلزات از یک تا دوازده نوبت در سال انجام شود. به‌طور معمول مراجع ذی‌صلاح قانونی تواتر نمونه‌برداری را بر تعداد دفعات در سال مشخص می‌کنند.

اندازه نمونه به مقدار واقعی (وزنی یا حجمی) نمونه‌ای که جمع‌آوری می‌شود، اشاره دارد. روش‌های آزمایش برای اطمینان از صحت و دقت آزمایش نیاز به یک اندازه کمینه نمونه دارند. پیش از شروع نمونه‌برداری باید با آزمایشگاه برای تعیین کمینه اندازه نمونه موردنیاز برای هر روش آزمایش مشورت شود.

به‌طور ایده‌آل، اندازه یک نمونه باید به اندازه کافی کوچک باشد تا به‌راحتی جابجا، نگهداری و حمل شود، اما به‌قدر کافی بزرگ باشد تا معرف ماده نمونه‌برداری‌شده باشد. به‌طور معمول نمونه بزرگتر معرف‌تر از نمونه کوچک در نظر گرفته می‌شود؛ با وجود این، هنگام تعیین اندازه نمونه بهینه، موازنه بین نیاز به معرف‌بودن با سهولت نگهداری و قابلیت حمل مهم است. به‌طور معمول، اگر آزمایشگاه ظرف‌های نمونه را تامین کند، این ظرف‌ها مقدار کافی مواد برای انجام آزمایش موردنیاز را نگه می‌دارند.

تواتر نمونه‌برداری و اندازه نمونه متغیرهای نمونه‌برداری مرتبط با هم هستند. اگر چندین نمونه‌ها در طول یک سال برداشت شود، به‌معنای مجموعه بزرگتری از نمونه‌ها برای کل تولید سالانه جامدات زیستی است. به‌طور مشابه، اگر یک نمونه مرکب منفرد برداشت شود، هر چه نمونه‌های ساده بیشتری برای تشکیل نمونه مرکب جمع‌آوری شود، اندازه نمونه بزرگتر می‌شود.

یادآوری ۱- تاکید می‌شود که اگر نمونه‌های ساده به‌طور کامل مخلوط نشوند، ممکن است یک نمونه مرکب بیش از یک نمونه ساده معرف نباشد.

یادآوری ۲- تاکید می‌شود که یک نمونه بزرگتر معرف‌تر از یک نمونه کوچکتر است.

متداول‌ترین پرسش‌های مربوط به تواتر نمونه‌برداری، اندازه نمونه و تعداد نمونه‌های ساده برای تشکیل نمونه مرکب عباتند از:

۱- فواصل بین نمونه‌برداری‌های ساده؛

۲- تعداد نمونه‌های ساده.

همان‌طور که اندازه نمونه و تواتر با هم مرتبط هستند، این سئوال‌ها نیز با هم مرتبط هستند. برای هر ماده موردسنجش، با ارزیابی تغییرپذیری داده‌های تاریخی برای آن ماده می‌توان یک تواتر یا اندازه نمونه معرف تعیین کرد. یک سنجه تغییرپذیری، انحراف استاندارد است. این سنجه مقدار تفاوت داده‌های منفرد از متوسط کلی همه داده‌ها را اندازه می‌گیرد. انحراف استاندارد زیاد بیانگر تغییرات زیاد داده‌ها و انحراف زیاد

آن‌ها از مقدار متوسط است. انحراف استاندارد کم، نشان‌دهنده نتایج سازگارتر با اختلاف اندک از مقدار متوسط است. برای تعیین انحراف استاندارد یک مجموعه داده‌های تاریخی از رابطه ۲ استفاده می‌شود:

$$S = \sqrt{\frac{\sum|\bar{X}-x|^2}{N-1}} \qquad (۲)$$

که در آن:

S انحراف استاندارد؛

$\bar{X}$ متوسط یا میانگین همه داده‌ها؛

x داده مستقل؛

$\sum|\bar{X}-x|^2$ مجموع مربع‌های اختلاف بین میانگین و هر داده مستقل؛

N تعداد داده‌ها.

پس از محاسبه میانگین و انحراف استاندارد، اگر مجموع میانگین و انحراف استاندارد از حد استاندارد برای ماده موردسنجش بیشتر باشد، نیاز به نمونه‌های بیشتر یا تواتر نمونه‌برداری کوتاه‌تر است. هم‌چنین این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده دقت ناکافی آزمایش‌ها باشد.

یادآوری ۳- اگر تصفیه‌خانه فاضلاب داده‌های تاریخی در دسترس محدودی داشته باشد، ممکن است بررسی داده‌های کیفیت جامدات زیستی در تصفیه‌خانه‌های با اندازه و تخلیه‌های صنعتی مشابه مفید باشد.

هم‌چنین، تعداد نمونه‌ها را می‌توان از رابطه ۳ محاسبه کرد:

$$N = \frac{T^2S^2}{(RL-\bar{X})^2} \qquad (۳)$$

که در آن:

N کمینه تعداد نمونه‌ها برای مشخصه‌سازی جامدات زیستی؛

T مقدار t استویدنت برای تعداد مناسب داده‌های تاریخی با فاصله اطمینان ۹۰ درصد؛

S انحراف استاندارد؛

RL حد استاندارد برای ماده موردسنجش؛

$\bar{X}$ میانگین داده‌های تاریخی.

۳-۴-۲-۵ سایر عوامل تاثیرگذار

هنگام تعیین تواتر نمونه‌برداری باید دبی ورودی به تصفیه‌خانه فاضلاب و مقدار جامدات زیستی تولیدی را در نظر گرفت. به‌طور معمول در تواتر نمونه‌برداری در تصفیه‌خانه‌های بزرگ کوتاه‌تر باشد. علاوه بر اندازه تصفیه‌خانه، مقدار اختلاط و زمان ماند درون تاسیسات بر قابلیت جمع‌آوری نمونه‌های معرف تاثیر دارد. ممکن است تصفیه‌خانه‌های با زمان ماند طولانی فاضلاب و سن لجن طولانی و/ یا اختلاط قابل‌توجه در

حوض‌های هوادهی یا هاضم‌های لجن نیاز به برداشت تعداد کمتری نمونه‌های ساده در یک دوره زمانی کوتاه‌تر داشته باشند.

هم‌چنین، هنگام تهیه برنامه نمونه‌برداری باید کاربرد نهایی یا گزینه دفع جامدات زیستی در نظر گرفته شود. کاربرد جامدات زیستی در زمین پتانسیل مواجهه زیست محیطی با آلودگی‌های احتمالی موجود در جامدات زیستی را افزایش می‌دهد. برای مثال، افزایش تواتر نمونه‌برداری و آزمایش برای جامدات زیستی مورداستفاده در زمین زیر کشت محصولات غذایی در مقایسه با مواد دفعی در یک خاکچال، مناسب است.

اگر فاضلاب‌های صنعتی یا رواناب سطحی به سامانه‌های جمع‌آوری فاضلاب تخلیه می‌شوند، باید از پتانسیل تغییرپذیری بار آلودگی ورودی به تصفیه‌خانه آگاه بود. افزایش این بارها در نهایت بر کیفیت جامدات زیستی تاثیر می‌گذارند. به‌ویژه در صورت وجود بارهای تصادفی یا دوره‌ای، تغییرپذیری می‌تواند قابل‌مشاهده باشد. برای مثال، هنگام بارندگی ورود سیلاب به سامانه جمع آوری فاضلاب می‌تواند تولید رویداد بار تصادفی کند. هم‌چنین، ممکن است کاربران صنعتی با تخلیه ناپیوسته فاضلاب، خود بار دوره‌ای تولید کنند. بنابراین زمان‌بندی نمونه‌برداری‌ها باید به‌گونه‌ای تنظیم شود که تغییرپذیری احتمالی جامدات زیستی ناشی از تغییرات پیش‌بینی شده در بار آلودگی را در نظر بگیرد.

برای مثال جدول ۷ تعداد نمونه‌های ساده و مرکب به‌دست آمده از ترکیب نمونه‌های ساده را بر اساس دبی فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه نشان می‌دهد.

جدول ۷- تعداد نمونه‌های ساده و مرکب موردنیاز بر اساس دبی فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه

دبی ورودی به تصفیه‌خانه m^3/d	تعداد نمونه‌های ساده	تعداد نمونه‌های مرکب	تواتر پایش در سال
کمتر از ۳۷۰۰	۲۷	۱	۱
بیشتر از ۳۷۰۰ و کمتر از ۳۷۰۰۰	۴۰	۴	۴
بیشتر از ۳۷۰۰۰ و کمتر از ۳۷۰۰۰۰	۴۸	۶	۶
بیشتر از ۳۷۰۰۰۰	۸۴	۱۲	۱۲

۵-۲-۴-۴ انتخاب و توصیف نقاط نمونه‌برداری

در برنامه نمونه‌برداری باید به‌درستی کلیه نقاط نمونه‌برداری را مشخص شوند و به‌خوبی دلایل انتخاب این نقاط برای تولید یک نمونه معرف به‌منظور دستیابی به اهداف برنامه پایش بیان شوند.

اولین گام در انتخاب نقاط نمونه‌برداری، بررسی و مرور اهداف برنامه نمونه‌برداری است. اگر اهداف به‌خوبی تعریف شده باشند، می‌توانند فرایند شناسایی نقاط نمونه‌برداری را تسهیل کنند. به‌طور معمول، اگر هدف، ارزیابی انطباق با استاندارد و ضوابط باشد، محل‌های نمونه‌برداری مناسب تا حدودی توسط مراجع ذی‌صلاح قانونی تعیین می‌شود. اگر هدف، نمونه‌برداری کنترل فرایند باشد، متناسب با نیازهای فرایندی نقاط نمونه‌برداری انتخاب می‌شوند. برای مثال در صورت نیاز به بررسی بازده واحد آبگیری جامدات زیستی،

بهترین نقطه نمونه‌برداری می‌تواند اولین نقطه قابل دسترسی پس از خروج جامدات آبگیری شده از دستگاه باشد.

هنگام انتخاب نقاط نمونه‌برداری باید عوامل زیر را در نظر گرفت:

– معرف بودن نمونه؛

– نوع فرایند (پیوسته یا ناپیوسته)؛

– قابلیت دسترسی؛

– ایمنی در نمونه‌برداری.

۵-۲-۴-۴-۱ معرف‌بودن نمونه

تقریبا در همه اجزای یک برنامه پایش، موضوع معرف‌بودن نمونه مطرح است. به‌طور قطع انتخاب نقاط نمونه‌برداری می‌تواند بر معرف‌بودن یک نمونه اثرگذار باشد. برای مثال، اگر در یک تصفیه‌خانه فاضلاب جامدات زیستی به‌وسیله دستگاه فیلتر پرس نواری تحت فشار آبگیری و سپس به یک مخلوط‌کن آسیابی برای فرایند تثبیت با آهک انتقال یابد، معرف‌ترین نقطه برای برداشت نمونه کجا می‌تواند باشد؟ آیا این نقطه مخزن نگهداری، واحد تغلیظ جامدات زیستی، نوار نقاله جامدات زیستی است؟ آیا نقطه نمونه‌برداری مناسب پیش یا پس از تثبیت با آهک است؟

بهترین انتخاب، محلی است که تولید نمونه معرفی کند که به‌خوبی اهداف برنامه پایش را برآورده کند. اگر قرار است جامدات زیستی در زمین استفاده شوند، نمونه‌برداری جامدات زیستی پس از فرایندهای کاهش عوامل بیماری‌زا و جذب ناقلین، بهترین نمونهٔ معرف را می‌توان به دست آورد. اگر بهره‌بردار می‌خواهد تغییرات کیفیت جامدات زیستی بررسی یا سرنوشت یک آلاینده خاص را در فرایندهای تصفیه جامدات زیستی ردیابی کند، نمونه‌ها باید از مخازن نگهداری جامدات زیستی و جامدات زیستی کاملا تصفیه‌شده برداشت شوند. نمونه‌برداری به‌منظور ارزیابی انطباق با استاندارد و ضوابط باید در انتهای فرایند تصفیه جامدات زیستی، جایی که جامدات زیستی استفاده یا دفع می‌شوند، انجام شود.

۵-۲-۴-۴-۲ نوع فرایند (پیوسته یا ناپیوسته)

در لاگون‌های[1] فاضلاب که جامدات زیستی در فرایندی ناپیوسته ذخیره و نگهداری می‌شود، نمونه‌برداری جامدات زیستی شامل برداشت نمونه‌های ساده از مناطق مختلف لاگون است. نمونه‌برداری از یک توده یا کانتینر جامدات زیستی باید ناپیوسته انجام شود. در همه این شرایط، یک نمونه مرکب با جمع‌آوری تعدادی نمونه ساده در نقاط تصادفی توده ناپیوسته تولید می‌شود. برای حجم‌های بزرگتر مانند لاگون، بهترین کار ایجاد یک شبکه‌بندی مجازی و برداشت نمونه‌های ساده به صورت تصادفی از این شبکه مجازی است.

1- Lagoons

مثالی دیگر از یک فرایند جامدات زیستی ناپیوسته، آبگیری با استفاده از فیلتر پرس صفحه‌ای (صفحات فیلتر غشایی) است. جامدات زیستی به داخل دستگاه فیلتر پرس پمپ می‌شود تا کاملا پر شود و سپس آب آن با کمک فشار از آن جدا می‌شود. پس از اتمام مرحله فشرده‌سازی، دستگاه فیلتر پرس باز و جامدات زیستی از روی صفحات جدا و به داخل مخزن زیر آن ریخته می‌شود. نمونه‌های مرکب از چندین نقطه شامل دستگاه فیلتر پرس یا مخزن آن برای تولید نمونه مرکب جمع‌آوری می‌شوند.

مهم- برای فرایندهای ناپیوسته، نمونه‌های ساده باید از نقاط مختلف یک توده ناپیوسته برداشت شوند.

برای فرایندهای پیوسته چند نمونه ساده از یک نقطه از فرایند در طول زمان برداشت می‌شود. برای مثال فرایند آبگیری جامدات زیستی در یک فیلتر فشاری پیوسته است. اگر جامدات زیستی با دستگاه فیلتر پرس نواری آبگیری می‌شود، نمونه‌ها باید هنگام خروج جامدات زیستی از فیلتر پرس برداشت شوند. بدین منظور تعدادی نمونه ساده از اولین محل در دسترس پس از عبور کامل جامدات زیستی از فیلتر برداشت می‌شود. به‌طور معمول این محل برداشت، نقطهٔ انتقال بین فیلتر پرس نواری و مخزن نگهداری یا کامیونی است که جامدات زیستی در آن ذخیره می‌شود تا به مقصد نهایی انتقال یابد.

برای جمع‌آوری نمونه عوامل بیماری‌زا، نمونه‌ها باید در طول یک زمان کوتاه (برای مثال کمتر از یک ساعت) برداشت و ظرف نمونه باید در دمای بین صفر درجه سلسیوس تا ۱۰ درجه سلسیوس نگهداری شود.

شکل ۲- دستگاه فیلترپرس برای آبگیری جامدات زیستی

۵-۲-۴-۴-۳ قابلیت دسترسی

باید دسترسی ایمن به نقطه نمونه‌برداری وجود داشته باشد. از آنجا که ممکن است بهترین نقطه نمونه‌برداری قابلیت دسترسی نداشته نباشد، بنابراین نمونه‌برداری باید در نقطه قابل دسترس دیگری انجام شود.

۵-۲-۴-۴-۴ ایمنی در نمونه‌برداری

باید ریسک‌های ایمنی محل نمونه‌برداری ارزیابی شوند. اگر در یک نقطه نمونه‌برداری مشخص ریسک آسیب وجود دارد، باید نقطه ایمن دیگری در نظر گرفت. در تمام فرایند نمونه‌برداری باید بر ایمنی تاکید، ریسک‌های محتمل شناسایی، اقدامات ایمنی مناسب را در نظر گرفت و از تجهیزات ایمنی استفاده شود.

مهم- قابلیت دسترسی و ایمنی هم‌زمان باید مورد توجه قرار گیرند. در صورتی که یک نقطه نمونه‌برداری از نظر فیزیکی قابل‌دسترس باشد اما ایمن نباشد، باید نقطه قابل‌دسترس و ایمن دیگری جایگزین آن شود.

۵-۲-۴-۵ نقاط نمونه‌برداری متداول

تصفیه‌خانه‌های فاضلاب فرایندهای تصفیه لجن متنوعی برای تثبیت لجن، کاهش عوامل بیماری‌زا و کاهش جذب ناقلین دارند. این تنوع فرایند به این معنی است که نقاط مناسب نمونه‌برداری می‌تواند از یک تصفیه‌خانه تا تصفیه‌خانه دیگر متفاوت باشند. به‌طور معمول، توصیه‌هایی برای محل نمونه‌برداری در هر فرایند تصفیه لجن وجود دارد. جدول ۸، با توجه به روش‌های تصفیه لجن، نقاط نمونه‌بردار متداول را ارائه می‌کند.

جدول ۸- نقاط نمونه‌برداری متداول برای روش‌های مختلف تصفیه لجن

نوع جامدات زیستی	نقطه نمونه‌برداری
هضم‌شده در فرایند بی‌هوازی	شیرهای خط رانش پمپ‌های جابه‌جایی مثبت
هضم‌شده در فرایند هوازی	**۱-** شیرهای روی خطوط رانش پمپ‌ها؛ **۲-** در صورت تصفیه در فرایند ناپیوسته نمونه مستقیم از هاضم با در نظر گرفتن دو احتیاط زیر برداشت شود: – اگر هنگام هوادهی نمونه‌برداری انجام می‌شود، هوا وارد نمونه می‌شود و کربن‌های آلی فرار ممکن است با هوای خارج‌شده از ظرف نمونه، خارج شوند؛ – اگر هنگام نمونه‌برداری هواده‌ها خاموش باشند، در جامدات زیستی خوب هضم‌شده، مواد جامد به آسانی جدا می‌شوند.
تغلیظ‌شده	شیرهای خط رانش پمپ‌های جابه‌جایی مثبت
حرارت‌دیده	نمونه از شیر تخلیه پمپ جابه‌جایی مثبت پس از دکانته‌کردن با در نظر گرفتن دو احتیاط زیر برداشت شود: – تمایل مواد جامد به جداشدن، – بروز مشکل در برخی ظرف‌های نمونه خاص به دلیل سرد شدن نمونه و انحلال گازهای ورودی در آن (ایجاد فشار منفی در

نوع جامدات زیستی	نقطه نمونه‌برداری
	ظرف و مشکل در باز شدن درِ ظرف)
لاگون‌ها	از داوری مهندسی برای برداشت نمونه‌ها طبق یک الگوی شبکه‌بندی استفاده کنید. سپس نمونه‌های برداشت‌شده را با یکدیگر ترکیب کنید تا یک نمونه مرکب به‌دست آید.
آبگیری شده: ۱- فیلتر پرس نواری، سانتریفیوژ، فیلتر پرس خلأ؛ ۲- فیلتر پرس صفحه‌ای؛ ۳- بسترهای خشک‌کن.	۱- کانال‌های تخلیه یا نوار نقاله‌ها؛ ۲- نقاط تصادفی در دستگاه پرس یا محل‌های تصادفی در مخزن نگهداری؛ ۳- نقاط تصادفی در شبکه‌بندی ایجاد شده بر روی بستر.
توده یا مخازن نگهداری	نقاط تصادفی (در عمق‌ها و محل‌های مختلف) در توده یا مخزن نگهداری جامدات زیستی
کمپوست	نقاط تصادفی (در عمق‌ها و محل‌های مختلف) در توده کمپوست جامدات زیستی رسیده که آماده فروش یا توزیع است.

۵-۲-۴-۶ روش‌های نمونه‌برداری

پس از تعیین اهداف کیفیت داده‌ها و انتخاب نقاط مناسب نمونه‌برداری، گام بعدی، تعیین و تعریف روش نمونه‌برداری است. برای اطمینان از ثبات برنامه، تمام عوامل برنامه نمونه‌برداری باید مدنظر قرار گیرند. پیش از نمونه‌برداری، باید تمام تجهیزات و روش‌های نمونه‌برداری به همراه روش‌های شستشو و آماده‌سازی ظرف‌ها و تجهیزات و اقدامات احتیاطی و تجهیزات ایمنی مورد نیاز مشخص شوند. توجه به این جزئیات به کاهش خطاها کمک می‌کند.

۵-۲-۴-۷ تجهیزات نمونه‌برداری

جامدات زیستی می‌توانند دامنه وسیعی از ویژگی‌های فیزیکی داشته باشند. غلظت جامدات در محدوده یک درصد تا ۹۰ درصد است و در نتیجه حالت این مواد می‌تواند از مایع، خمیری تا جامد گلوله‌ای تغییر کند. تجهیزات موردنیاز برای نمونه‌برداری یک ماده خاص باید متناسب با ویژگی‌های فیزیکی جامدات زیستی باشد.

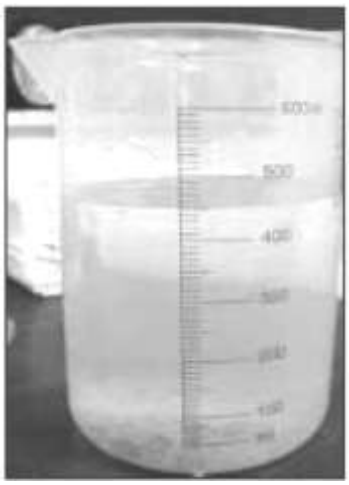
به‌طور کلی تجهیزات نمونه‌برداری به دو دستهٔ نمونه‌بردارهای مایعات و نمونه‌بردارهای جامدات تقسیم می‌شوند. در ادامه برخی تجهیزات نمونه‌برداری متداول و در دسترس برای جامدات زیستی معرفی می‌شوند.

شکل ۳- جامدات زیستی با حالت مایع با غلظت کم (سمت راست) تا حالت جامد با غلظت بالا (سمت چپ)

۵-۲-۴-۷-۱ تجهیزات متداول برای نمونه‌برداری جامدات زیستی مایع یا نیمه‌جامد

الف- ظرف‌های استوانه‌ای یا پارچ‌های مدرج:

ظرف‌های ساخته شده از شیشه، پلاستیک یا فولاد زنگ‌نزن می‌توانند برای نمونه‌برداری جامدات زیستی مایع یا نیمه‌جامد از شیرهای برداشت یا سایر محل‌های نمونه‌برداری استفاده شوند. برای نمونه‌برداری از کانال‌های روباز این ظرف‌ها می‌توانند به دسته‌ای بلند یا دیگر لوازم برای افزایش دسترسی متصل شوند.



شکل ۴- ظرف استوانه‌ای مدرج برای نمونه‌برداری از جامدات زیستی

ب- نمونه‌بردار جامدات زیستی مرکب:

برای نمونه‌برداری جامدات زیستی جریان‌پذیر از لاگون، مخزن یا دیگر محل‌های انباشت می‌توان از نمونه‌بردار جامدات زیستی مایع مرکب یا کولیواسا[1] استفاده کرد. با این دستگاه می‌توان عمل مغزه‌گیری یا نمونه‌برداری از عمق جامدات زیستی را نیز انجام داد. به‌طور معمول دستگاه نمونه‌بردار جامدات زیستی

1- COLIWASA

مایع مرکب از یک لوله یک‌ونیم متری یا بلندتر از مواد فلزی، شیشه یا پلاستیک ساخته می‌شود. انتهای لوله مجهز به یک دریچه قابل باز و بسته‌شدن برای نمونه‌برداری از عمق جامدات زیستی مایع است. پس از باز کردن دریچهٔ انتهایی، لوله به‌آرامی داخل جامدات زیستی وارد و پس از رسیدن به عمق موردنظر، دریچه بسته و نمونه برداشت می‌شود. نمونه برداشته‌شده، نمونهٔ جامدات زیستی در آن نقطه است. لجن‌سنج[1] دستگاهی مشابه برای اندازه‌گیری ضخامت پتوی لجن[2] در یک لاگون یا مخزن است و پس از اندازه‌گیری ضخامت پتوی لجن، می‌توان نمونه جامدات زیستی برای آزمایش نیز برداشت.

شکل ۵- دستگاه لجن‌سنج هنگام برداشت نمونه جامدات زیستی

۵-۲-۴-۷-۲ تجهیزات متداول برای نمونه‌برداری مواد جامد یا نیمه‌جامد

الف- نمونه‌بردار تیف[3]

این تجهیز وسیله مناسبی برای نمونه‌برداری از جامدات زیستی دانه‌ای (کلوخه‌ای) و کمپوست است و می‌تواند از عمق تودهٔ جامدات زیستی مغزه‌گیری کند. به‌طور معمول، نمونه‌بردار تیف از دو لوله شکاف‌دار فلزی تشکیل شده که یکی از آن‌ها داخل دیگری نصب می‌شود. چرخش لوله داخلی باعث بسته شدن نمونه‌بردار می‌شود.

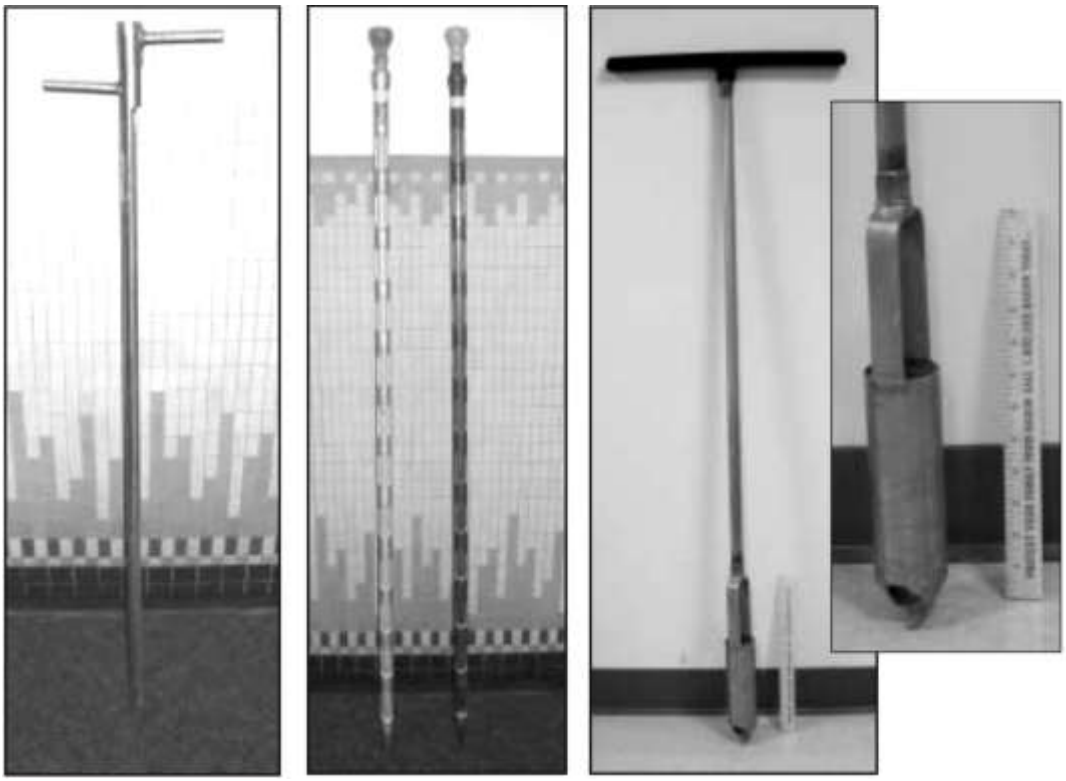
هم‌چنین، برای نمونه‌برداری از جامدات زیستی دانه‌ای خشک می‌توان از یک نمونه‌بردار مشابه با نام کاوند مسیوری‌دی[4] استفاده کرد. برای استفاده از این نمونه‌بردار، به داخل جامدات زیستی فرو می‌شود تا با شکاف‌های باز شده و به‌سمت بالا نمونه‌برداری انجام شود. به‌طور معمول برای سهولت فرورفتن نمونه‌بردار در جامدات زیستی، انتهای این نوع نمونه‌بردار تیز یا مخروطی‌شکل است. هنگامی‌که

1- Sludge judge
2- Sludge blanket
3- Thief
4- Missouri D probe

نمونه‌بردار به نقطه موردنظر می‌رسد، لوله داخلی چرخانده تا شکاف‌ها بسته و نمونه موردنظر برداشته می‌شود.

ب- نمونه‌بردار تری‌یر[1]:

این تجهیز بیشتر برای نمونه‌برداری از جامدات زیستی آبگیری‌شده مانند گل یا کود استفاده می‌شود. همانند نمونه‌بردار تیف، این نمونه‌بردار برای مغزه‌گیری مناسب است و با روشی مشابه آن استفاده می‌شود. نمونه‌بردار تری‌یر به‌طور معمول لوله‌ای فلزی از فولاد زنگ‌نزن یا برنج است که در جهت طول از وسط نصف شده است. برای فرو رفتن راحت نمونه‌بردار به‌داخل جامدات زیستی، انتهای لوله تیز می‌شود.



شکل ۶- به‌ترتیب از راست به چپ: مته خاک، کاتر مته‌ای، آزمایشگر و کاوَند میسوری‌دی

پ- مته خاک

مته خاک برای نمونه‌برداری از جامدات زیستی فشرده یا سفت، به‌ویژه اگر نتوان نمونه‌بردارهای تیف و تری‌یر را داخل جامدات زیستی فرو کرد، استفاده می‌شود. به‌طور معمول، مته از یک دسته فلزی متصل به تیغه‌های فلزی مارپیچی تشکیل می‌شود که برای سوراخ کردن جامدات زیستی و برداشتن نمونه به‌کار می‌رود. برای تهیه نمونه مرکب می‌توان جامدات زیستی را از تمام طول نمونه‌بردار فرورفته برداشت یا از عمق مشخصی از جامدات زیستی نمونه‌برداری کرد.

1- Trier

۵-۲-۴-۷-۳ سایر تجهیزات متداول نمونه‌برداری از جامدات زیستی

بیل و کمچه برای نمونه‌برداری از جامدات زیستی گرانوله یا پودری یا شل، به‌ویژه هنگام حمل جامدات زیستی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مناسب هستند. سایر تجهیزات متداول موردنیاز برای نمونه‌برداری جامدات زیستی در جدول ۹ نشان داده شده است.

جدول ۹- سایر تجهیزات متداول موردنیاز برای نمونه‌برداری جامدات زیستی

تجهیزات حفاظتی	– دستکش یک‌بار مصرف (مانند نیتریل یا لاتکس)؛ – آستین یک‌بار مصرف؛ – محافظ صورت یا محافظ مناسب چشم.
جابجایی نمونه	– سطل (برای نمونه‌های تجمعی و مخلوط)؛ – چوبک معاینه دهان (برداشت جامدات زیستی)؛ – ماله یا بیلچه کوچک از نوع فولاد زنگ‌نزن.
لوازم تمیزکاری	– حوله یک‌بار مصرف؛ – صابون (مانند شوینده‌های آزمایشگاهی کم‌فسفات)؛ – فرچه؛ – آب شستشو؛ – آب مقطر؛ – ورق پلاستیکی یا برزنتی؛ – فویل یا دیگر ورقه‌های محافظ.
شناسه نمونه	– برچسب برای ظرف‌های نمونه؛ – آب‌بندهای محافظ؛ – قلم، مداد و مارکر؛ – فرم‌های مرتبط؛ – دفترچه یادداشت میدانی.
انتقال و نگهداری	– ظرف‌های نمونه‌ها؛ – یخدان؛ – یخ.

شکل ۷- سایر وسایل متداول برای نمونه‌برداری از جامدات زیستی

۵-۲-۴-۸ انتخاب تجهیزات نمونه‌برداری جامدات زیستی

تمام تجهیزات مورداستفاده برای برداشت و آماده‌سازی نمونه‌های جامدات زیستی، باید طوری آماده شوند که با مواد نمونه ترکیب نشوند و آن‌ها را آلوده نکنند. در صورت شستشوی نادرست یا استفاده از تجهیزات ساخته‌شده از مواد قابل آزاد شدن در نمونه، می‌تواند آلودگی رخ دهد.

به‌طور معمول، مواد بی‌اثر مانند تفلون، شیشه و فولاد زنگ‌نزن برای ساخت تجهیزات و ظرف‌های نمونه استفاده می‌شوند، ولی تفلون و فولاد زنگ‌نزن گران هستند و شیشه علاوه بر سنگینی، شکننده است. گاهی می‌توان از تجهیزات نمونه‌برداری ساخته‌شده از پلاستیک، فولاد یا آلومینیوم استفاده کرد، ولی هنگام استفاده از این مواد جایگزین باید دقت شود، چرا که استفاده نادرست از آن‌ها می‌تواند آلودگی نمونه را در پی داشته باشد. برای مثال، در صورت برداشت نمونه جامدات زیستی برای آزمایش فلزات، استفاده از لوازم و ظرف‌های پلاستیکی قابل‌قبول است. ولی تجهیزات و ظرف‌های نمونه پلاستیکی برای اندازه‌گیری ترکیبات نیمه‌فرّار می‌تواند نمونه را آلوده کند. تجهیزات نمونه‌برداری باید بر اساس آزمایش‌های موردنظر و غلظت مواد مورد نمونه‌برداری انتخاب شوند.

مهم- ظرف و تجهیزات گالوانیزه یا با پوشش کروم نباید استفاده شود.

۵-۲-۴-۹ آماده‌سازی و تمیزکردن تجهیزات نمونه‌برداری جامدات زیستی

پیش از به‌کارگیری برای اولین‌بار و پس از هر بار به‌کارگیری، تجهیزات نمونه‌برداری باید کاملا شسته و تمیز شوند. بسته به نوع نمونه‌برداری و آزمایش مدنظر، روش‌های تمیز کردن تجهیزات تفاوت‌های اندکی با هم دارند. برای سهولت شستشو، بهتر است تجهیزات را هرچه سریع‌تر و بلافاصله پس از به‌کارگیری تمیز کرد یا حداقل برای حذف آلودگی‌های بزرگ یک شستشوی اولیه روی آن‌ها انجام داد. جامدات زیستی، به‌ویژه اگر خشک و سفت شده باشد، می‌تواند بسیار چسبنده و جداکردن آن از تجهیزات سخت باشد.

در زیر روش آماده‌سازی تجهیزات نمونه‌برداری جامدات زیستی ارائه شده است:

۱- برای جداسازی بخش بزرگی از جامدات زیستی، تجهیزات با آب گرم شیر شستشو شوند؛

۲- با یک فرچه و شوینده آزمایشگاهی استاندارد، تجهیزات تا حذف تمام مواد باقیمانده شستشو شوند؛

۳- پس از شستشو، سه مرتبه تجهیزات با آب شیر شستشو شوند؛

۴- برای شستشوی نهایی، سه بار تجهیزات با آب بدون یون شسته شوند؛

۵- هنگام نمونه‌برداری برای آزمایش عوامل بیماری‌زا، تجهیزات نمونه‌برداری با قرار دادن در برابر بخار آب با فشار بالا و درجه حرارت ۱۲۱ درجه سلسیوس به مدت حداقل پانزده دقیقه، سترون‌سازی شوند.

بسته به اهداف کیفیت داده‌ها و آزمایش‌های موردنظر، شاید لازم باشد تجهیزات نمونه‌برداری با دیگر محلول‌های شستشو تمیزکاری بیشتری شوند.

چنانچه انجام آزمایش فلزات با دقت بالا در نظر باشد، توصیه می‌شود پیش از شستشوی نهایی با آب بدون یون، تجهیزات با یک اسید رقیق (مانند اسید نیتریک ده درصد با رده مناسب) شستشو شوند.

چنان‌چه هدف ترکیبات آلی باشد، یک حلّال آلی مانند متانول می‌تواند برای شستشو مناسب باشد. بسته به ترکیبات موردنظر و میزان آلودگی در نمونه‌هایی که پیش‌تر برداشته شده‌اند، شاید لازم باشد برای پاکسازی کامل آلودگی‌ها از دیگر حلّال‌های آلی استفاده کرد. بدون توجه به نوع حلّال یا حلّال‌های آلی مصرفی، بهتر است شستشوی نهایی با یک حلّال قابل پخش در آب مانند متانول انجام شود. برای جلوگیری از خرابی تجهیزات نمونه‌برداری، حلّال مورداستفاده باید با نوع مواد تجهیزات سازگار باشد.

هنگام شستشو و پاکسازی تکمیلی تجهیزات، باید اقدامات احتیاطی ویژه‌ای را برای تخلیه آب شستشو مدنظر قرار داد، چرا که این آب جزو فاضلاب‌های خطرناک است و باید با روش مناسب دفع شود.

در صورت نیاز و برای دستیابی به اهداف کیفیت داده‌ها، روش آماده‌سازی و پاکسازی تجهیزات می‌تواند اصلاح شود. پس از اتمام عملیات شستشو، تجهیزات را با هوا خشک کنید و با یک ماده خنثی مانند فویل آلومینیوم تا استفاده بعدی بپوشانید.

چنان‌چه تمیزکاری در محل انجام می‌شود، هر نوبت شستشو باید شامل شستشو با اسید یا حلّال‌های آلی باشد. محلول‌های شستشوی آلی باید جداگانه جمع‌آوری و برای دفع مناسب به آزمایشگاه منتقل شوند.

برای تجهیزات نمونه‌برداری که با مواد نمونه تماس نداشته‌اند، شستشو با شوینده همراه با سه بار شستشو با آب شیر و آب بدون یون، کفایت می‌کند.[۱]

همان‌گونه که قبلاً اشاره شد، برای اطمینان از کفایت روند و روش شستشو، باید شاهد تجهیزات برداشت و برای ماده موردسنجش آزمایش شود. برای تهیه شاهد تجهیزات، لوازم نمونه‌برداری را به‌مدت یک شب در

۱- استاندارد ASTM D5088 [4] راهنمایی‌های دقیقی برای شستشو و پاکسازی تجهیزات نمونه‌برداری فاضلاب‌های غیررادیواکتیو ارائه می‌کند.

آب بدون یون بخیسانید، سپس آب چسبیده به وسیله نمونه‌برداری را جدا و برای امکان وجود آلاینده آزمایش کنید.

ظرف‌های نمونه مانند لوازم نمونه‌برداری نباید آلاینده به نمونه موردآزمایش افزوده یا با آن ترکیب شوند. درستی نمونه نباید با افزایش یا حذف ماده موردسنجش ناشی از ظرف‌ها به خطر بیفتد. به‌طور کلی ظرف‌های نمونه از شیشه یا پلاستیک که خنثی هستند و شستشوی آن‌ها آسان است، ساخته می‌شوند. شیشه انتخاب خوبی برای ظرف‌های نمونه است. مشکل شیشه سنگینی و شکنندگی آن است. ظرف‌های پلاستیکی امتیاز سبکی و ماندگاری بیشتری دارند، ولی به‌طور معمول برای نمونه‌هایی که برای آزمایش مواد آلی استفاده می‌شوند به‌دلیل آلاینده فتالات[1] یا جذب ماده موردسنجش هدف به ظرف نمونه، شیشه بهترین انتخاب برای اجزای آلی است، اما درِ آن‌ها باید با تفلون اندود شود.

روش‌های شستشوی لوازم نمونه‌برداری برای شستشوی ظرف‌های نمونه نیز قابل اجرا است. شیوه‌نامه تمیزکردن باید برای دستیابی به اهداف کیفی داده‌ها و آزمایش مواد مناسب باشد. ارزیابی کنترل کیفی روش‌های شستشو باید انجام شود. این عمل می‌تواند با ذخیره‌سازی آب بدون یون در ظرف‌های از پیش تمیزشده و با آزمایش آب ذخیره‌شده در طی دور بعدی آزمایش انجام شود.

شکل ۸- ظرف‌های دهانه گشاد شیشه‌ای برای نمونه‌های جامدات زیستی

در حالت ایده‌آل، آزمایشگاهی که نمونه را آزمایش می‌کند باید ظرف‌های با درجه آزمایشگاهی تمیز را تامین کند تا نیاز به شستشوی ظرف‌ها توسط نمونه‌برداران حذف شود.

راحت‌ترین حالت، استفاده از بطری‌های دهانه گشاد، به‌ویژه برای نمونه‌های چسبناک است هر چند این موضوع ارتباطی با سازگاری و پاکیزگی ظرف‌ها ندارد. هم‌چنین شستشوی ظرف‌های دهانه گشاد آسان‌تر است. ظرف‌های نمونه باید ظرفیت کافی برای نگهداری جامدات زیستی موردآزمایش داشته باشند. بهتر است ظرف نگهداری نمونه کمی بزرگتر باشد تا ظرفیت کافی برای تکرار آزمایش یا آزمایش‌های کنترل کیفیت نمونه‌ها را داشته باشد.

1- Phthalate

مهم- انتخاب نوع ظرف‌ها و روش آماده سازی آن‌ها باید متناسب با روش آزمایش و اهداف کیفیت داده‌ها انجام شود.

جدول ۱۰ ویژگی‌های ظرف‌های مناسب نمونه برای آزمایش‌های متداول جامدات زیستی را نشان می‌دهد. در پیوست **ب** الزامات آزمایش‌های جامدات زیستی بیان شده است.

جدول ۱۰- ظرف‌های نمونه مناسب برای آزمایش‌های متداول جامدات زیستی

آزمایش	حجم و نوع ظرف مناسب
درجه اسیدی یا بازی	۲۵۰ میلی‌لیتر شیشه یا پلاستیک
جامدات	۲۵۰ میلی‌لیتر شیشه یا پلاستیک
جیوه	۲۵۰ میلی‌لیتر شیشه یا پلاستیک
سایر فلزات	۵۰۰ میلی‌لیتر شیشه یا پلاستیک
فسفر کل	۲۵۰ میلی‌لیتر شیشه یا پلاستیک
نیتروژن (نیترات، آمونیم، نیتروژن کجلدال)	۲۵۰ میلی‌لیتر شیشه یا پلاستیک
پتاسیم	۲۵۰ میلی‌لیتر شیشه یا پلاستیک
ترکیبات آلی فرّار	۴۰ میلی‌لیتر شیشه دارو با درپوش تفلون
ترکیبات نیمه آلی فرّار	۲۵۰ میلی‌لیتر شیشه با درپوش تفلون
آفت‌کش‌ها	۲۵۰ میلی‌لیتر شیشه با درپوش تفلون
دیوکسین	۲۵۰ میلی‌لیتر شیشه با درپوش تفلون
آزمایش‌ها میکروبیولوژی، کلیفرم مدفوعی (کلیفرم گرماپای)، *سالمونلا* و غیره	۲۵۰ میلی‌لیتر شیشه یا پلاستیک سترون‌شده

۵-۲-۴-۱۰ ملاحظات نمونه‌برداری جامدات زیستی

روش نمونه‌برداری باید فرایند واقعی به‌کارگرفته شده در طول مدت‌زمان نمونه‌برداری و پس از آن را تشریح کند. به‌منظور تشریح کامل و ارتقای دقت روش نمونه‌برداری، برنامه پایش باید شامل یک فهرست کنترلی تجهیزات و یک رویه عملیاتی استاندارد مستند و قابل اجرا در محل باشد.

۵-۲-۴-۱۰-۱ فهرست کنترلی تجهیزات

فهرست کنترلی تجهیزات، وسیله‌ای مناسب برای اطمینان از به‌همراه آوردن تمام ملزومات انجام یک نمونه‌برداری موفق توسط نمونه‌برداران است. همراه داشتن تجهیزات لازم و تمیز و در شرایط کاری خوب پیش از ورود به محل نمونه‌برداری موجب صرفه‌جویی در وقت می‌شود و به احتمال زیاد نتایج دقیق و قابل اطمینانی به‌دست می‌دهد.

۵-۲-۴-۱۰-۲ رویه‌های عملیاتی استاندارد

رویه‌های عملیاتی استاندارد مجموعه روش‌های استاندارد برای نمونه‌برداری دقیق و انتقال نمونه است. رویه عملیاتی استاندارد یک سند ایستا نیست و باید همراه با تغییر یا اصلاح روش‌ها بازبینی شود. این رویه باید ویژگی‌های نمونه‌برداری از قبیل چه چیزی، چه موقع، کجا و چگونگی را برای فعالیت‌های نمونه‌برداری

هدایت کند. هم‌چنین، جزئیات مهم دیگر بخش‌های برنامه پایش باید در رویه عملیاتی استاندارد بیان شود. علاوه بر این، باید اقدامات ایمنی لازم برای محافظت کارکنان در برابر خطرات احتمالی موادی که باید نمونه‌برداری شوند و روش‌های نمونه‌برداری در رویه عملیاتی استاندارد ارائه شوند. به‌جز موارد بالا، دستورالعمل‌های مربوط به تضمین کیفیت و کنترل کیفیت نمونه‌ها در محل نیز باید در رویه عملیاتی استاندارد باشند. توصیه می‌شود یک رویه عملیاتی استاندارد بیانگر موارد زیر باشد:

الف- آماده‌سازی نمونه

هنگام آماده شدن برای نمونه‌برداری، ملاحظات کلیدی زیر باید رعایت شوند:

- اطلاع دادن به آزمایشگاه پیش از نمونه‌برداری؛
- آماده‌سازی و تمیز کردن تجهیزات نمونه‌برداری؛
- آماده و تمیز کردن ظرف‌های نمونه؛
- تهیه تجهیزات حمل و انتقال نمونه‌ها (یخدان، برچسب، دفترچه یادداشت، فرم‌های مرتبط و مارکر).

مهم- وجود فهرست کنترلی در این بخش از رویه‌های عملیاتی استاندارد بسیار ضروری است.

ب- انتقال نمونه پس از جمع‌آوری

این بخش از رویه عملیاتی استاندارد باید چگونگی آماده‌سازی و انتقال نمونه پس از برداشت را مشخص کند. هم‌چنین جزئیات فعالیت‌های مربوط به صحت‌سنجی، اعتبارسنجی و مستندسازی نمونه‌برداری باید پوشش داده شود. اطلاعات کلیدی مورد بررسی در این بخش عبارتند از:

- چگونگی برچسب‌زنی و آب‌بندی نمونه؛
- اطلاعاتی که در یادداشت‌برداری‌های مربوط به نمونه‌برداری باید ثبت شود؛
- چگونگی محافظت و انتقال نمونه؛
- چگونگی زنجیره حفظ نمونه و مستندسازی.

پ- مستندسازی

مستندسازی کارهای نمونه‌برداری به‌ویژه برای ارائه به مراجع ذی‌صلاح قانونی مهم است. هم‌چنین تفسیر نتایج آزمایش‌ها با آگاهی از شرایط نمونه‌برداری تسهیل می‌شود. در بیشتر مواقع، مستندسازی به شکل یادداشت‌برداری در محل و برچسب‌زنی نمونه‌ها بیانگر آن است که نمونه‌ها طبق برنامه جمع‌آوری شده‌اند.

ت- سوابق میدانی

یادداشت‌برداری در محل برای مستندسازی نمونه‌برداری باید شامل موارد زیر باشد:

- مشخصات نمونه؛

- محل نمونه‌برداری؛
- نوع نمونه (مرکب یا ساده، تعداد نمونه‌های ساده برای فرایند پیوسته، فاصله زمانی بین نمونه‌های ساده، تعداد نمونه‌های ساده و وزن نسبی آن‌ها برای تهیه نمونه‌های مرکب)؛
- تجهیزات نمونه‌برداری و شرح مختصری از روش نمونه‌برداری؛
- ساعت و تاریخ نمونه‌برداری؛
- شرایط آب و هوایی؛
- آزمایش‌های موردنیاز؛
- یادداشت شرایط غیرمعمول یا انحراف از شیوه‌نامه‌های تنظیمی.

ث- برچسب‌زنی نمونه

پس از نمونه‌برداری، نمونه در یک ظرف معمولی یا ظرف سازگار با آزمایش موردنظر قرار می‌گیرد. شناسایی نمونه‌ها در آزمایشگاه با کمک برگه‌های نمونه‌برداری انجام می‌شود. با توجه به اطلاعات ثبت‌شده، ظرف‌های نمونه باید برچسب‌زنی شوند. هم‌چنین پیشنهاد می‌شود ظرف‌های نمونه‌ها طوری برچسب زده شوند که بدون مراجعه به یادداشت‌ها به‌راحتی قابل شناسایی باشند. برچسب ظرف‌های باید شامل اطلاعات زیر باشند:

- هویت نمونه؛
- ساعت و تاریخ نمونه‌برداری؛
- نوع نمونه (ترکیبی یا ساده)؛
- محل نمونه‌برداری؛
- مشخصات نمونه‌بردار؛
- ماده نگه‌دارنده؛
- آزمایش یا آزمایش‌های موردنیاز.

۵-۲-۵ نگهداری نمونه

۵-۲-۵-۱ کلیات

نگهداری نمونه شامل فرایندهایی برای جلوگیری یا به حداقل رساندن فعالیت‌های شیمیایی و زیستی درون نمونه پس از برداشت است. روش‌های نگهداری نمونه‌های جامدات زیستی و نمونه‌های شاهد متفاوت است. به‌طور معمول نمونه‌های جامدات زیستی در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری می‌شوند. هم‌چنین، با توجه به روش آزمایش، نمونه‌های مایع با کمک ترکیبی از افزودن یک نگه‌دارنده شیمیایی و سرما، نگهداری می‌شوند.

برای نمونه‌های آزمایشگاهی و میدانی، نگهداری در دمای ۴ درجه سلسیوس مناسب‌ترین روش است چرا که در این حالت جامدات زیستی دارای غلظت بالای مواد جامد با مواد نگهدارنده شیمیایی مخلوط نمی‌شود. علاوه بر این، در صورت نیاز به افزودن مواد نگه‌دارنده شیمیایی توسط کارکنان آزمایشگاه، آنان باید در جریان این موضوع باشند.

۵-۲-۵-۲ مدت نگهداری نمونه

برای تمامی نمونه‌های زیست محیطی، مدت نگهداری عبارت است از بیشینه مدت‌زمان نگهداری نمونه پیش از آزمایش به‌طوری‌که از آزمایش آن نتایج معتبر به‌دست آید. جدول ۱۱ مدت مجاز نگهداری نمونه هر ماده را نشان می‌دهد. مدت نگهداری از چند ساعت برای نمونه‌های عوامل بیماری‌زا تا چند ماه یا بیشتر برای نمونه‌های شیمیایی تغییر می‌کند. برای نمونه‌های مرکب، مدت نگهداری از هنگام برداشت آخرین بخش ماده (جامدات زیستی) مورد نمونه‌برداری، آغاز می‌شود.

آزمایش نمونه‌ها پس از گذشت مدت مجاز نگهداری، نتایج سوال برانگیز و غیرمعتبر به دست می‌دهد. بنابراین انجام به‌موقع آزمایش‌ها و در بازه زمانی مجاز نگهداری ضروری است. در پیوست **ب** آزمایش‌های موردنیاز برای جامدات زیستی، مدت نگهداری و مواد شیمیایی افزودنی ارائه شده است.

جدول ۱۱- شرایط و حداکثر مدت نگهداری نمونه پیش از انجام آزمایش

ماده موردسنجش	شرایط نگهداری نمونه	حداکثر مدت نگهداری نمونه
آلومینیوم	دمای کمتر از ۴ درجه سلسیوس	۶ ماه
آرسنیک	دمای کمتر از ۴ درجه سلسیوس	۶ ماه
باریم	دمای کمتر از ۴ درجه سلسیوس	۶ ماه
کادمیم	دمای کمتر از ۴ درجه سلسیوس	۶ ماه
کروم	دمای کمتر از ۴ درجه سلسیوس	۶ ماه
مس	دمای کمتر از ۴ درجه سلسیوس	۶ ماه
سرب	دمای کمتر از ۴ درجه سلسیوس	۶ ماه
جیوه	دمای کمتر از ۴ درجه سلسیوس	۲۸ روز
مولیبدن	دمای کمتر از ۴ درجه سلسیوس	۶ ماه
نیکل	دمای کمتر از ۴ درجه سلسیوس	۶ ماه
سلنیم	دمای کمتر از ۴ درجه سلسیوس	۶ ماه
نقره	دمای کمتر از ۴ درجه سلسیوس	۶ ماه
روی	دمای کمتر از ۴ درجه سلسیوس	۶ ماه
نیتروزن کجدال کل	دمای کمتر از ۴ درجه سلسیوس	۲۸ روز
نیتروزن آمونیاکی	دمای کمتر از ۴ درجه سلسیوس	۲۸ روز
نیتروژن نیترات	دمای کمتر از ۴ درجه سلسیوس	۲۸ روز
فسفر کل	دمای کمتر از ۴ درجه سلسیوس	۲۸ روز
پتاسیم	دمای کمتر از ۴ درجه سلسیوس	۶ ماه

ماده موردسنجش	شرایط نگهداری نمونه	حداکثر مدت نگهداری نمونه
کلرور	دمای کمتر از ۴ درجه سلسیوس	۲۸ روز
سولفان	دمای کمتر از ۴ درجه سلسیوس	۲۸ روز
کربن آلی کل	دمای کمتر از ۴ درجه سلسیوس	۲۸ روز
ترکیبات آلی فرّار و نیمه‌فرّار	دمای کمتر از ۴ درجه سلسیوس	۱۴ روز
پی‌سی‌بی و دی‌اکسین	دمای کمتر از ۴ درجه سلسیوس	۱ سال
جامدات کل	دمای کمتر از ۴ درجه سلسیوس	۷ روز
جامدات فرّار	دمای کمتر از ۴ درجه سلسیوس	۷ روز
کلیفرم گرماپای	دمای کمتر از ۴ درجه سلسیوس	۲۴ ساعت
سالمونلا	دمای کمتر از ۴ درجه سلسیوس	۲۴ ساعت
ویروس روده‌ای	دمای صفر درجه سلسیوس تا ۱۰ درجه سلسیوس	۴۸ساعت
	یا انجماد نمونه و نگهداری در منفی ۷۰ درجه سلسیوس	۲۸ روز
تخم انگل	دمای صفر درجه سلسیوس تا ۱۰ درجه سلسیوس	۲۴ ساعت

۵-۲-۶ ایمنی

یکی از مهم‌ترین مولفه‌های هر برنامه نمونه‌برداری، روش‌های حفاظت نمونه‌برداران در برابر خطرات احتمالی نمونه‌برداری جامدات زیستی است. برخی از این خطرات مشابه همان‌هایی است که متوجه افراد شاغل در تصفیه‌خانه فاضلاب است. تجهیزات، ماشین آلات و محیط کاری هر تصفیه‌خانه فاضلاب خطرات ذاتی دارد که برای سلامتی و ایمنی کارگران باید مورد توجه قرار گیرند. نگرانی‌های ایمنی برای تمام بهره‌برداران تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، بدون توجه به شغل خاص آن‌ها، عبارتند از:

- سوختگی، برق‌گرفتگی یا صدمات ناشی از ماشین‌آلات یا مواد شیمیایی مورداستفاده در فرایندهای تصفیه فاضلاب؛
- انفجار یا خفگی ناشی از گازها در فضاهای محبوس؛
- بیماری ناشی از مواجهه با عوامل بیماری‌زای فاضلاب.

تمام تصفیه‌خانه‌های فاضلاب باید برنامه و پروتکل‌های ایمنی برای تمام تاسیسات داشته باشند. این برنامه باید منابع خطر و روش‌های مقابله با آن‌ها را برای حذف خطر شناسایی می‌کنند. برای کاهش ریسک آسیب باید شیوه‌نامه‌های ایمنی در برنامه پایش بیان کنند. برنامه ایمنی باید شامل موارد زیر باشد:

- شناسایی خطرات بالقوه؛
- شناسایی تجهیزات حفاظتی و کاربرد آن‌ها؛
- روش‌های حفظ بهداشت کارکنان و تمرین‌های استاندارد جهت کاهش ریسک عوامل بیماری‌زا؛
- ملاحظات لازم به ایمن‌سازی در مقابل بیماریهای خاص؛
- دیگر کارهای ویژه موردنیاز برای جلوگیری از آسیب و بیماری.

بهره‌برداران تصفیه‌خانه‌های فاضلاب با خطر آسیب‌دیدگی و بیماری‌های بالقوه گوناگونی روبرو هستند. لغزندگی می‌تواند موجب زمین‌خوردن و آسیب‌دیدگی شود. اعضای بدن می‌توانند در دستگاه‌ها گیر کنند و قطع شوند. حرارت و فشار در برخی فرایندهای تصفیه می‌تواند موجب سوختگی شود. بیشتر این نگرانی‌ها در اغلب کارهای صنعتی متداول هستند. افراد درگیر نمونه‌برداری جامدات زیستی می‌توانند در معرض خطر آسیب‌های متداول به‌علاوه عوامل بیماری‌زای موجود در فاضلاب باشند. تجهیزات حفاظت فردی مانند دستکش و محافظ صورت جهت کاهش مواجهه با عوامل بیماری‌زا ضروری هستند. برای جلوگیری از بیماری‌هایی مانند هپاتیت و کزاز باید واکسینه‌کردن مدنظر باشد. هم‌چنین آموزش بهداشت شخصی به کارکنان در طول مدت‌زمان نمونه‌برداری و پس از آن مهم است.

مهم- اطلاعات بیشتر در مورد اقدامات احتیاطی که باید هنگام نمونه‌برداری و آزمایش نمونه‌ها انجام شود، در کتاب روش‌های استاندارد آزمایش آب و فاضلاب[6] در دسترس است.

۵-۲-۷ هزینه نمونه‌برداری و آزمایش

هر چند هنگام تعیین اهداف کیفیت داده‌ها، به‌طور معمول هزینه‌های نمونه‌برداری و آزمایش‌ها در نظر گرفته نمی‌شود و در صورت عدم کفایت منابع مالی برای نمونه‌برداری و آزمایش‌هایی که اهداف برنامه نمونه‌برداری را تامین کنند نیاز به تخصیص منابع مالی اضافی یا ارزیابی دوباره اهداف برنامه نمونه‌برداری خواهد بود. همواره برای اطمینان از استفاده خردمندانه از منابع محدود، نیاز به ارزیابی هزینه‌ها با توجه به اهداف برنامه پایش و اهداف کیفیت داده‌ها است.

مهم- اگر برنامه پایش برای نشان دادن انطباق کیفیت جامدات زیستی با استاندارد و ضوابط باشد، عدم کفایت منابع مالی ممکن است عواقب قانونی و مالی ناخواسته‌ای به همراه داشته باشد.

پیوست الف

(آگاهی‌دهنده)

کاربرگ برنامه پایش

نمونه کاربرگ زیر می‌تواند برای تهیه برنامه پایش جامدات زیستی برای تصفیه‌خانه‌های فاضلاب استفاده شود. هرجا نیاز بوده است، به متن استاندارد ارجاع داده شده است. هم‌چنین، مثالی از یک برنامه پایش کامل در پیوست **ب** آمده است.

کاربرگ برنامه پایش

۱- اطلاعات عمومی تاسیسات:

- نام تاسیسات:
- تلفن:
- نشانی خیابان:

شهر: استان: کدپستی:

۲- شخص رابط:

- نام: سمت:
- تلفن:
- نشانی خیابان:

شهر: استان: کدپستی:

۳- هدف(های) برنامه نمونه‌برداری (عبارتی برای توصیف اهداف برنامه نمونه‌برداری نوشته شود):

۴- اطلاعات تاسیسات:

الف- توصیفی عمومی و چکیده‌ای از فرایند تصفیه نوشته شود (مثال: تصفیه لجن فعال متداول با هاضم بی‌هوازی).

ب- دبی طراحی (m^3/d): میانگین دبی روزانه (m^3/d):

تولید سالانه جامدات زیستی مربوط به سال قبل (تن جامدات زیستی خشک بر سال):

پ- توصیف خلاصه آشغال‌گیری، دانه‌گیری و فرایند یکنواخت‌سازی جریان مورداستفاده در تصفیه‌خانه:

ت- توصیف برنامه پیش‌تصفیه صنعتی، شامل فهرست واحدهای صنعتی مجوزدار که به شبکه فاضلاب تخلیه می‌کنند، کیفیت تخلیه و محدودیت‌های قانونی حاکم بر آن‌ها:

ث- توصیف هرگونه فرایند تصفیه (مانند تصفیه پیشرفته برای حذف مواد مغذی) که ممکن است کیفیت جامدات زیستی را تحت تاثیر قرار دهد:

ج- توصیف منبع و مولد جامدات زیستی. آیا جامدات زیستی شامل جامدات اولیه است؟ برنامه و منطق دفع جامدات زیستی ثانویه چیست؟ جامدات زیستی چگونه ذخیره می‌شوند؟ روش آبگیری چگونه است و مواد شیمیایی مورد استفاده برای فرایند آبگیری کدامند؟

چ- تصفیه جامدات زیستی برای دستیابی به کاهش عوامل بیماری‌زا و کاهش جذب جانوران موذی چگونه است؟

ح- مواد چگونه استفاده یا دفع خواهند شد؟

۵- اهداف کیفیت داده‌ها (به بند ۵ و پیوست **ب** مراجعه کنید):

الف- فهرست مواد موردسنجش که آزمایش آن‌ها نیاز است؛
ب- چه روش‌های آزمایشی نیاز هستند؟
پ- تضمین کیفیت و کنترل کیفیت موردنیاز برای هر روش آزمایش مورداستفاده مشخص شود؛
ت- چه نوع نمونه‌هایی جمع‌آوری خواهد شد (ساده یا مرکب)؟ اگر یک نمونه مرکب جمع‌آوری می‌شود، چه تعداد نمونه ساده جمع‌آوری خواهد شد و فاصله بین نمونه‌های ساده چقدر خواهد بود؟ اندازه نمونه چقدر خواهد بود؟

۶- نقاط نمونه‌برداری (به بند ۵ مراجعه کنید):

توصیف با جزئیات همه نقاط نمونه‌برداری به همراه منطق هر انتخاب بیان شود.

۷- روش‌های جمع‌آوری نمونه (به بند ۵ مراجعه کنید):

یک دستورالعمل عملیاتی استاندارد (SOP)[1] با جزئیات کافی برای توصیف فرایند مورداستفاده برای جمع‌آوری نمونه‌ها تهیه شود. توصیف گام به‌گام باید شامل همه جزئیات مربوط به جمع‌آوری نمونه، از جمله شرح روش‌های تمیزکاری و آماده‌سازی تجهیزات نمونه‌برداری و ظرف‌های نمونه باشد.

1- Standard Operating Procedure

۸- روش‌های حمل نمونه (به بند ۵ مراجعه کنید):

روش‌های حمل نمونه‌ها پس از جمع‌آوری را به‌منظور یکپارچگی نمونه‌برداری بیان شود.
این توصیف باید شامل چگونگی نگهداری و حمل نمونه‌ها، مدت‌زمان مناسب نگهداری هر ماده موردسنجش و نیاز به زنجیره ثبت اطلاعات[1] باشد.

۹- ارزیابی کامل‌بودن:

توصیف فرایند مورد استفاده برای ارزیابی کامل بودن نمونه‌برداری. معیارهای ارزیابی ممکن است شامل موارد زیر باشد:

- آیا به اهداف برنامه نمونه‌برداری دست یافته شده است؟
- آیا اهداف کیفیت داده‌ها به دست آمده‌اند؟
- آیا نیاز به بازنگری اهداف کیفیت یا رویه‌های عملیاتی استاندارد است؟

۱۰- ثبت سوابق و گزارش‌دهی:

روش‌های ثبت سوابق توصیف شوند. توصیف باید چگونگی و مدت‌زمان نگهداری اطلاعات، چگونگی نگهداری اطلاعات و مواردی که باید گزارش شوند، را توضیح دهد.

1- Chain-of-custody

پیوست ب

(آگاهی‌دهنده)

مثالی از الزامات آزمایش جامدات زیستی

جدول ب-۱ مثالی از الزامات آزمایش جامدات زیستی، شامل ماده موردسنجش، روش آزمایش، حد تشخیص‌های موردنیاز، ظرف مناسب، روش آماده‌سازی، مدت‌زمان نگهداری و یکای گزارش‌دهی برای جامدات زیستی حاصل از تصفیه فاضلاب شهری که قرار است در زمین به‌کار رود، را نشان می‌دهد.

جدول ب-۱- مثالی از الزامات آزمایش جامدات زیستی

ماده موردسنجش	روش‌های آزمایش قابل‌قبول	حد تشخیص‌های موردنیاز	تضمین کیفیت و کنترل کیفیت موردنیاز	حمل نمونه	
				ظرف	نگهداری
آرسنیک	AA Furnace SW-846 Method 7060 AA Gaseous Hydride SW-846 Method 7061 Inductively Coupled Plasma SW-846 Method 6010	حداقل ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، در غیر این‌صورت بر حسب قابلیت آزمایشگاه	بر حسب الزامات SW-846 روش 7000A و روش ویژه مورداستفاده	پلاستیک یا شیشه	۴ درجه سلسیوس زمان نگهداری: ۶ ماه
کادمیوم	AA Furnace SW-846 Method 7131 AA Direct Aspiration SW-846 Method 7130 Inductively Coupled Plasma SW-846 Method 6010	حداقل ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، در غیر این‌صورت بر حسب قابلیت آزمایشگاه	بر حسب الزامات SW-846 روش 7000A و روش ویژه مورداستفاده	پلاستیک یا شیشه	۴ درجه سلسیوس زمان نگهداری: ۶ ماه
مس	AA Furnace SW-846 Method 7211 AA Direct Aspiration SW-846 Method 7210 Inductively Coupled Plasma SW-846 Method 6010	حداقل ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، در غیر این‌صورت بر حسب قابلیت آزمایشگاه	بر حسب الزامات SW-846 روش 7000A و روش ویژه مورداستفاده	پلاستیک یا شیشه	۴ درجه سلسیوس زمان نگهداری: ۶ ماه
سرب	AA Furnace SW-846 Method 7421 AA Direct Aspiration SW-846 Method 7420 Inductively Coupled Plasma SW-846 Method 6010	حداقل ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، در غیر این‌صورت بر حسب قابلیت آزمایشگاه	بر حسب الزامات SW-846 روش 7000A و روش ویژه مورداستفاده	پلاستیک یا شیشه	۴ درجه سلسیوس زمان نگهداری: ۶ ماه
جیوه	Cold Vapor (manual) SW-846 Method 7470 SW-846 Method 7471	حداقل ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم، در غیر این‌صورت بر حسب قابلیت آزمایشگاه	بر حسب الزامات SW-846 روش 7000A و روش ویژه مورد استفاده	پلاستیک یا شیشه	۴ درجه سلسیوس زمان نگهداری: ۶ ماه

ماده موردسنجش	روش‌های آزمایش قابل‌قبول	حد تشخیص‌های موردنیاز	تضمین کیفیت و کنترل کیفیت موردنیاز	حمل نمونه	
				ظرف	نگهداری
مولیبدن	AA Furnace SW-846 Method 7481 AA Direct Aspiration SW-846 Method 7480 Inductively Coupled Plasma SW-846 Method 6010	حداقل ۳۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم، در غیر این‌صورت بر حسب قابلیت آزمایشگاه	بر حسب الزامات SW-846 روش 7000A و روش ویژه مورداستفاده	پلاستیک یا شیشه	۴ درجه سلسیوس زمان نگهداری: ۶ ماه
نیکل	AA Direct Aspiration SW-846 Method 7520 Inductively Coupled Plasma SW-846 Method 6010	حداقل ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، در غیر این صورت بر حسب قابلیت آزمایشگاه	بر حسب الزامات SW-846 روش 7000A و روش ویژه مورداستفاده	پلاستیک یا شیشه	۴ درجه سلسیوس زمان نگهداری: ۶ ماه
سلنیم	AA Furnace SW-846 Method 7740 or 7951 AA Gaseous Hydride SW-846 Method 7741 Inductively Coupled Plasma SW-846 Method 6010	حداقل ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، در غیر این‌صورت بر حسب قابلیت آزمایشگاه	بر حسب الزامات SW-846 روش 7000A و روش ویژه مورداستفاده	پلاستیک یا شیشه	۴ درجه سلسیوس زمان نگهداری: ۶ ماه
روی	AA Direct Aspiration SW-846 Method 7950 Inductively Coupled Plasma SW-846 Method 6010	حداقل ۱۰۰میلی‌گرم بر کیلوگرم، در غیر این‌صورت بر حسب قابلیت آزمایشگاه	بر حسب الزامات SW-846 روش 7000A و روش ویژه مورداستفاده	پلاستیک یا شیشه	۴ درجه سلسیوس زمان نگهداری: ۶ ماه
pH	EPA-9045 SM-4500-H^+	کاربرد ندارد	بر حسب روش مورداستفاده	پلاستیک یا شیشه	۴ درجه سلسیوس زمان نگهداری: ۲۴ ساعت
نیتروژن کجلدال کل (TKN)	SM-4500-Norg EPA-351.3	کاربرد ندارد	بر حسب روش مورداستفاده	پلاستیک یا شیشه	۴ درجه سلسیوس زمان نگهداری: ۲۸ روز
نیتروژن آمونیمی (NH_3-N)	SM-4500-NH_3 SW-846 Method 9200	کاربرد ندارد	بر حسب روش مورداستفاده	پلاستیک یا شیشه	۴ درجه سلسیوس زمان نگهداری: ۲۸ روز
نیتروژن نیتراتی (NO_3-N)	SM-4500	کاربرد ندارد	بر حسب روش مورداستفاده	پلاستیک یا شیشه	۴ درجه سلسیوس زمان نگهداری: ۲۸ روز

پیوست پ

(الزامی)

ملاحظات نمونه‌برداری عوامل بیماری‌زا برای جامدات زیستی

در هر برنامه پایش جامدات زیستیِ در برگیرنده پارامترهای عوامل بیماری‌زا، باید ملاحظات مهم لحاظ شوند.

پ-۱ نمونه‌برداری جامدات زیستی برای آزمایش عوامل بیماری‌زا

در یک برنامه نمونه‌برداری، بدون توجه به نوع مواد موردسنجش، جمع‌آوری نمونه معرف هدفی مشترک است. در اینجا چگونگی جمع‌آوری یک نمونه معرف جامدات زیستی برای آزمایش عوامل بیماری‌زا بیان می‌شود. با وجود این، آزمایش عوامل بیماری‌زای خاص ممکن است نیاز به تغییر یا اصلاح برنامه نمونه‌برداری داشته باشند تا از جمع‌آوری نمونه‌های معرف اطمینان حاصل شود.[6]

در این پیوست تفاوت بین نمونه‌برداری جامدات زیستی برای آزمایش عوامل بیماری‌زا و نمونه‌برداری برای آلاینده‌های شیمیایی بیان شده است. لازم به ذکر است بسیاری از گام‌های نمونه‌برداری جامدات زیستی برای آزمایش عوامل بیماری‌زا هیچ تفاوتی نمونه‌برداری برای آزمایش دیگر مواد ندارند. در حقیقت، بسیاری از برنامه‌های نمونه‌برداری، نمونه‌برداری برای هر دو جزء عوامل بیماری‌زا و مواد شیمیایی را در بر می‌گیرند و رویه‌های بیان‌شده در بند ۵ اهداف نمونه‌برداری، توصیف تاسیسات، کیفیت داده‌ها و نقاط نمونه‌برداری و رویه‌های عملیاتی استاندارد برای هر نوع نمونه‌برداری قابل استفاده هستند. اما توجه شود که هر چند فرایند نمونه‌برداری مشابه است، ممکن است برنامه نمونه‌برداری منتج‌شده با توجه به آزمایش‌هایی که باید انجام شوند، متفاوت باشد.

به‌طور معمول آزمایش عوامل بیماری‌زای جامدات زیستی شامل کلیفرم مدفوعی، *سالمونلا*، ویروس روده‌ای و تخم انگل است. مهم‌ترین تفاوت بین نمونه‌برداری برای عوامل بیماری‌زا و مواد شیمیایی شامل آماده‌سازی ظرف‌های نمونه و تجهیزات نمونه‌برداری و مدت‌زمان نگهداری است. اگر چه تمیزکاری مناسب تجهیزات و ظرف‌ها پیش از هرگونه نمونه‌برداری ضروری است، برای جلوگیری از آلودگی نمونه، آزمایش عوامل بیماری‌زا نیازمند گام تکمیلی سترون‌سازی[1] است. این موضوع به‌ویژه هنگام آزمایش جامدات زیستی روده‌های P1 و P2 که نباید هیچ سطح قابل تشخیصی از عوامل بیماری‌زای معینی را داشته باشند، بسیار مهم است. هم‌چنین، در حالی‌که همواره آزمایش نمونه‌ها در اولین فرصت پس از جمع‌آوری توصیه می‌شود، این موضوع به‌ویژه برای نمونه‌های عوامل بیماری‌زا که مدت‌زمان نگهداری بسیار کوتاه‌تری از مواد شیمیایی دارند، مهم است.

1- Sterilization

پ-۲ آماده‌سازی ظرف‌های نمونه وتجهیزات نمونه‌برداری

بند ۵ شامل اطلاعاتی درباره انتخاب و آماده‌سازی ظرف‌های و تجهیزات مرتبط با نمونه‌برداری عوامل بیماری‌زا است. ظرف نمونه عوامل بیماری‌زا باید از مواد شیشه‌ای، پلی‌کربنات یا پلی‌پروپیلن باشد. کیسه پلاستیکی از پیش سترون‌شده نیز ظرف نمونه مناسبی است. فلزات خنثی[1] مانند فولاد زنگ‌نزن نیز برای تجهیزات نمونه‌برداری مناسب هستند. شیشه و تفلون نیز قابل قبول هستند، اما ممکن است بسیار شکننده یا گران باشند.

رویه‌های عمومی تمیزکاری که در بند ۵ بیان شده‌اند برای تمیزکاری اولیه ظرف‌ها یا تجهیزات کافی هستند. پس از تمیزکاری اولیه، ظرف‌ها و تجهیزات نمونه‌برداری باید سترون‌سازی شوند. سترون‌سازی می‌تواند به یکی از روش‌های زیر انجام شود:

– حرارت‌دادن در یک آون در دمای ۱۷۰ درجه سلسیوس به مدت حداقل ۲ ساعت؛

– سترون‌سازی (اتوکلاو[2] کردن) در دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس به مدت حداقل ۳۰ دقیقه؛

– غوطه‌وری در محلول ۱۰ درصد سفیدکننده به مدت حداقل یک دقیقه.

مهم- اگر این گزینه استفاده شود، تجهیزات پیش از استفاده باید سه بار با آب سترون آبکشی شوند.

پیش از حرارت‌دادن یا اتوکلاو کردن تجهیزات نمونه‌برداری، توصیه می‌شود که آن‌ها در فویل آلومینیمی یا یک کاغذ کرافت[3] پیچانده شوند تا هنگام نگهداری یا حمل از آلودگی آن‌ها جلوگیری شود. هنگام سترون‌سازی بطری‌های شیشه‌ای، پلی‌کربناتی یا پلی‌پروپیلنی در اتوکلاو، درِ آن‌ها باید شل شود تا از شکستن یا تغییر شکل آن‌ها جلوگیری شود. با توجه به هزینه و سهولت، ممکن است استفاده از ظرف‌ها و تجهیزات نمونه‌برداری پیش‌سترون‌شده یک‌بار مصرف گزینه مفیدی باشد. توصیه می‌شود که ظرف‌ها و تجهیزات نمونه‌برداری عوامل بیماری‌زا فقط برای این منظور استفاده شوند.

پ-۳ مدت‌زمان‌های حفظ و نگهداری نمونه‌های عوامل بیماری‌زا

بهترین مرجع برای تعیین مدت‌زمان حفظ و نگهداری نمونه عوامل بیماری‌زا، توصیه‌های روش آزمایش مورداستفاده است. برای جلوگیری از رشد یا زوال جمعیت‌های عوامل بیماری‌زا، مدت‌زمان نگهداری نمونه باید تا حد ممکن کوتاه باشد.

مهم- در صورتی که فاصله زمانی بین نمونه‌برداری تا رسیدن نمونه به آزمایشگاه زیاد باشد، این مدت‌زمان نگهداری نمونه می‌تواند یک چالش باشد. بنابراین، نمونه‌برداران باید کوتاه‌بودن مدت‌زمان نگهداری نمونه‌های عوامل بیماری‌زا را بدانند و برای آن برنامه‌ریزی کنند. جدول پ-۱ حداکثر مدت‌زمان

1- Non-reactive
2- Autoclave
3- Paper kraft

نگهداری با کمک روش‌های نگهداری خاص را برای آزمایش‌های مختلف نشان می‌دهد. توجه شود که حداکثر مدت‌زمان نگهداری و دما، وابسته به روش هستند و در این زمینه باید روش‌های آزمایش موردقبول مراجع ذی‌صلاح قانونی مدنظر قرار گیرند.

جدول پ-۱- روش‌های آزمایش، نگهداری و حداکثر مدت‌زمان نگهداری نمونه‌های عوامل بیماری‌زا

آزمایش	روش	نگهداری	بیشینه مدت نگهداری
ویروس روده‌ای	ASTM D4994[5]	(۱۸-) درجه سلسیوس	۲ هفته
کلیفرم مدفوعی	[1]SM Part 9222 D یا SM Part 9221 E [8]	۴ درجه سلسیوس (منجمد نشود)	۲۴ ساعت
سالمونلا .sp	SM Part 9260 D یا Kenner and Clark [a](1974)	۴ درجه سلسیوس (منجمد نشود)	۲۴ ساعت
تخم انگل	[b]Yanko (1987)	۴ درجه سلسیوس (منجمد نشود)	۱ ماه
[a] به Appendix G مورد [7] کتاب‌نامه مراجعه کنید. [b] به Appendix I مورد [7] کتاب‌نامه مراجعه کنید.			
1- Standard Methods			

برای آزمایش‌های باکتریایی و ویروسی، برای اطمینان از این‌که نمونه‌ها معرف، باقی می‌مانند، سرمادهی سریع لازم است. اگر آزمایش نمونه تا دو ساعت پس از جمع‌آوری شروع نشود، بلافاصله پس از جمع‌آوری، ظرف حاوی نمونه را در حمام آب یخ قرار دهید (حداقل به مدت ۳۰ دقیقه پیش از تبرید/نگهداری در یخچال).

مهم- به‌منظور تعیین مدت‌زمان آزمایش (برنامه زمان‌بندی آزمایش) و اطمینان از شروع به‌موقع کار بر روی نمونه‌ها پس از دریافت آن‌ها، باید از قبل با آزمایشگاه هماهنگ شود.

کتاب‌نامه

[۱] استاندارد ملی ایران شماره ۴۷۲۳، واژه‌نامه اندازه‌شناسی مفاهیم پایه عمومی و اصطلاحات مربوط

[۲] استاندارد ملی ایران-ایزو ۹۰۰۰، سیستم‌های مدیریت کیفیت- مبانی و واژگان

[۳] استاندارد ملی ایران-ایزو ۱۷۰۲۵، الزامات عمومی برای احراز صلاحیت آزمایشگاه‌های آزمون و کالیبراسیون

[4] ASTM D5088, Standard practice for decontamination of field equipment used at waste sites

[5] ASTM D4994, Standard Practice for Recovery of Viruses from Wastewater Sludges

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۲۰۱۴۲: سال ۱۳۹۴، فاضلاب- بازیابی ویروس‌ها از لجن‌های فاضلاب- آئین‌کار با استفاده از استاندارد ASTM D4994: 1989(2014) تدوین شده است.

[6] Baird, R. B. (2017). Standard methods for the examination of water and wastewater, 23rd. Water Environment Federation, American Public Health Association, American Water Works Association

[7] United States Environmental Protection Agency (USEPA), Environmental regulations and technology, Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge (July 2003)

[8] Standards methods for the examination of water and wastewater (APHA, 1992)

shaghool.ir