



جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۱۵۸۰۵

چاپ اول

۱۳۹۷

INSO

15805

1st Edition

2019

Modification of
ASTM D5929:
2018

اندازه‌گیری تجزیه‌پذیری زیستی مواد در
معرض شرایط کمپوست‌سازی مزوفیلی با
روش تنفس‌سنجی برای پسماند جامد
شهری آلی با تفکیک از مبدأ - روش
آزمون

**Determining biodegradability of
materials exposed to source-separated
organic municipal solid waste mesophilic
composting conditions by respirometry-
Test method**

ICS: 13.080.30

سازمان ملی استاندارد ایران

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

صندوق پستی: ۱۴۱۵۵-۶۱۳۹ تهران-ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و ۸۸۸۸۷۱۰۳

کرج، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۳۱۵۸۵-۱۶۳ کرج - ایران

تلفن: ۸-۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۸۱۱۴-۳۲۸۰ (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>

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد ایران به موجب بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به 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 باتوجه‌به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانه 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 پیشنهادهای در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب، به‌عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین‌شده تهیه می‌کنند در کمیته ملی طرح، بررسی و در صورت تصویب، به‌عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته 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)^۱، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)^۲ و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)^۳ است و به‌عنوان تنها رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC)^۵ 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 پیش‌بینی‌شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات محیط‌زیستی 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 به‌منظور 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 زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سامانه‌های مدیریت کیفیت و مدیریت محیط‌زیستی، 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، گواهینامه 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 ارتقاء سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization

2- International Electrotechnical Commission

3- International Organization for Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legals)

4- Contact point

5- Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«اندازه‌گیری تجزیه‌پذیری زیستی مواد در معرض شرایط کمپوست‌سازی مزوفیلی با روش تنفس‌سنجی برای پسماند جامد شهری آلی با تفکیک از مبدأ- روش آزمون»

سمت و/یا محل اشتغال:

عضو هیأت علمی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان

رئیس:

شریعتی، فاطمه
(دکتری بیولوژی دریا)

دبیر:

مدیرعامل - شرکت پویندگان بهبود کیفیت

آبادیان، محمدرضا
(کارشناسی شیمی)

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

مسئول کنترل کیفیت - شرکت کامپوره خزر

ابراهیمی، سیده مریم
(کارشناسی ارشد مهندسی صنایع غذایی)

مدیر محیط‌زیست و کیفیت منابع آب - شرکت آب منطقه‌ای
استان گیلان

باقرزاده، آسان
(دکتری محیط‌زیست و توسعه پایدار)

مدیر کنترل کیفیت - واحد تولیدی لویه

زبده فلاحتی، نسیم
(کارشناسی ارشد شیمی)

مشاور رئیس پژوهش‌شده - مرکز ملی تحقیقات آبریزان استان
گیلان

زلفی‌نژاد، کامران
(کارشناسی ارشد مهندسی شیلات)

رئیس اداره هماهنگی و تدوین استاندارد - اداره کل استاندارد
گیلان

صادقی‌پور شیجانی، معصومه
(کارشناسی ارشد علوم محیط زیست)

کارشناس - انجمن کارشناسان استاندارد استان گیلان

فرحناک شهرستانی، لیا
(کارشناسی ارشد شیمی آلی)

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

فرهنگی، محمدباقر
(دکتری بیولوژی خاک)

قماش‌پسند، مریم
(دکتری شیمی معدنی)

کاسبی، شیلا
(کارشناسی علوم تغذیه)

مقبلی کهن‌زاد، فاطمه
(کارشناسی مهندسی فناوری اطلاعات)

موقر حسنی، فرحناز
(کارشناسی مهندسی مکانیک)

میرروشندل، اعظم السادات
(دکتری شیمی تجزیه)

ویراستار:

پاغنده، معصومه
(کارشناسی ارشد مهندسی مواد)

سمت و/یا محل اشتغال:

عضو هیأت علمی - دانشگاه گیلان

مدرس - دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان

مدیر کنترل کیفیت - شرکت چم چمال گوشت

کارشناس پیگیری امور تدوین - اداره کل استاندارد استان گیلان

کارشناس - شرکت آب و فاضلاب شهری استان گیلان

رئیس اداره امور آزمایشگاه‌ها - اداره کل حفاظت محیط زیست
استان گیلان

کارشناس استاندارد

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ز	پیش‌گفتار
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۲	۳ اصطلاحات و تعاریف
۳	۴ روش آزمون
۴	۵ اهمیت و کاربرد
۴	۶ دستگاه
۵	۷ مواد آزمون
۷	۸ واکنش‌گرها و مواد
۸	۹ مخاطرات
۸	۱۰ ماده تلقیحی
۸	۱۱ روش کار
۸	۱۱-۲ پسماند جامد شهری ساختگی
۹	۱۱-۲-۲ تهیه اجزای خشک
۹	۱۱-۲-۳ تهیه ماده تلقیحی
۹	۱۱-۳ آماده‌سازی نمونه
۱۰	۱۱-۴ ریختن در ظرف واکنش
۱۰	۱۱-۵ آماده‌سازی اسکرابر
۱۰	۱۱-۶ اجرای راه‌اندازی
۱۰	۱۱-۷ اجرای عملیات
۱۱	۱۱-۸ پایان اجرا
۱۱	۱۲ محاسبه‌ها
۱۲	۱۳ تفسیر نتایج
۱۳	۱۴ گزارش
۱۳	۱۵ دقت و اریبی
۱۷	پیوست الف (آگاهی‌دهنده) تغییرات اعمال شده در این استاندارد در مقایسه با استاندارد منبع

پیش‌گفتار

استاندارد «اندازه‌گیری تجزیه‌پذیری زیستی مواد در معرض شرایط کمپوست‌سازی مزوفیلی با روش تنفس‌سنجی برای پسماند جامد شهری آلی با تفکیک از مبدأ-روش آزمون» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط تهیه و تدوین شده است، در دویست و بیست و نهمین اجلاسیه کمیته ملی استاندارد محیط زیست مورخ ۹۷/۱۱/۱۰ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به‌عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

استانداردهای ملی ایران بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۵ (استانداردهای ملی ایران- ساختار و شیوه نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه 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 موردتوجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

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

ASTM D5929: 2018, Standard Test Method for Determining Biodegradability of Materials Exposed to Source-Separated Organic Municipal Solid Waste Mesophilic Composting Conditions by Respirometry

اندازه‌گیری تجزیه‌پذیری زیستی مواد در معرض شرایط کمپوست‌سازی مزوفیلی با روش تنفس‌سنجی برای پسماند جامد شهری آلی با تفکیک از مبدأ – روش آزمون

هشدار – در این استاندارد تمام موارد ایمنی و بهداشتی درج نشده است. در صورت مواجهه با چنین مواردی، مسئولیت برقراری شرایط بهداشتی و ایمنی مناسب و اجرای آن بر عهده کاربر این استاندارد است.

۱ هدف و دامنه کاربرد

۱-۱ هدف از تدوین این استاندارد، ارائه ویژگی‌های تجزیه‌پذیری زیستی یک ماده از طریق قرار دادن مواد به صورت تکرارپذیر، در شرایط نوعی کمپوست‌سازی پسماند جامد شهری (MSW)^۱ آلی تفکیک شده از مبدأ است. یک ماده، در شرایط کنترل شده و با استفاده از محیط ساختگی کمپوست می‌شود و زمان سازگاری^۲، جذب اکسیژن تجمعی، تولید دی اکسید کربن تجمعی و درصد تجزیه‌پذیری زیستی نظری در طول دوره آزمون، تعیین می‌شود. این روش آزمون مناسب بودن محصول کمپوست‌شده را برای هر کاربرد تعیین نمی‌کند.

۱-۲ این آزمون در دماهای مزوفیلی^۳ انجام می‌شود. برخی از عملیات کمپوست شهری در طول عملیات به دماهای ترموفیلی می‌رسد. دماهای ترموفیلی^۴ می‌تواند بر تجزیه‌پذیری زیستی برخی مواد تاثیر بگذارد. این آزمون برای شرایط تکراری در عملیات کمپوست شهری که به دماهای ترموفیلی می‌رسد، در نظر گرفته نشده است.

۱-۳ مقادیر بیان شده برحسب واحدهای SI به عنوان استاندارد در نظر گرفته می‌شوند. سایر واحدهای اندازه‌گیری در این استاندارد گنجانده نمی‌شوند. مقادیر آورده شده داخل پرانتز فقط برای آگاهی است.

۱-۴ این استاندارد مطابق با اصول بین‌المللی شناخته شده استانداردسازی برای تصمیم‌گیری در مورد اصول توسعه استانداردهای بین‌المللی، راهنماها و توصیه‌های سازمان تجارت جهانی (TBT) توسعه یافته است.

۲ مراجع الزامی

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

1- Municipal Solid Waste

2- Acclimation time

فرایند سازگار شدن جمعیت‌هایی از موجودات زنده با شرایط محیط‌زیستی معینی، که به منظور آزمایش مهیا شده است.

3- Mesophilic temperatures

4- Thermophilic temperatures

در صورتی که به مرجعی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدید نظرهای 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:

- 2-1 ASTM D513 Test Methods for Total and Dissolved Carbon Dioxide.
- 2-2 ASTM D1129 Terminology Relating to Water.
- 2-3 ASTM D1293 Test Methods for pH of Water.
- 2-4 ASTM D2908 Practice for Measuring Volatile Organic Matter in Water by Aqueous- Injection Gas Chromatography.
- 2-5 ASTM D6247 Test Method for Determination of Elemental Content of Polyolefins by Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry.
- 2-6 ASTM E1621 Guide for Elemental Analysis by Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometry.

۳ اصطلاحات و تعاریف

۱-۳ در این استاندارد علاوه بر اصطلاحات و تعاریف ارائه‌شده در استاندارد ASTM D1129، اصطلاحات و تعاریف زیر نیز به کار می‌رود:

۲-۳

زمان سازگاری

acclimation time

زمان مورد نیاز برای جذب اکسیژن تا رسیدن به ۱۰٪ کل جذب اکسیژن تجمعی اندازه‌گیری شده است.

۳-۳

ماده تلقیحی

inoculum

مخلوطی از مواد آلی با درجات مختلف تجزیه زیستی، به منظور فراهم کردن بستر غنی میکروبی برای انجام آزمون تجزیه زیستی است.

۴-۳

جذب اکسیژن

oxygen uptake

اکسیژن تجمعی مصرف شده توسط موجود زنده در طول آزمون می باشد.

۵-۳

تولید دی اکسید کربن نظری

theoretical carbon dioxide production (ThCO₂P)

بیشینه دی اکسید کربن تولید شده از یک ماده که از مقدار کربن ماده محاسبه می شود.

۶-۳

جذب اکسیژن نظری

theoretical oxygen uptake (ThOU)

بیشینه مصرف اکسیژن مورد نیاز برای اکسایش کامل یک ماده بر اساس محتوای عنصری ماده است.

۷-۳

کاغذ روزنامه خام

virgin newsprint

رول کاغذ روزنامه چاپ نشده می باشد.

۴ روش آزمون

۴-۱ این روش آزمون شامل موارد زیر است:

۴-۱-۱ نمونه ها با برش یا شکل دادن مواد به صورتی که بیشتر در جریان پسماند دیده می شود، تهیه می گردند. بیشینه تولید دی اکسید کربن و جذب اکسیژن نظری از آنالیز عنصری تعیین می شود.

۴-۱-۲ ماده تلقیحی از پسماند جامد شهری آلی تفکیک شده از مبدأ یا تاسیسات کمپوست پسماند باغی به دست می آید. ماده تلقیحی از مخلوط کمپوست شده به مدت حداقل دو ماه، تهیه می شود.

۴-۱-۳ پسماند جامد شهری آلی ساختگی از کاغذ روزنامه خام، پوست درخت کاج یا تراشه های چوب، نشاسته ذرت، روغن ذرت، کازئین شیر گاو و اوره تهیه می شود. یک بافر/ آب رقیق سازی از منیزیم، کلسیم، آهن و یک بافر فسفات تهیه می شود.

۴-۱-۴ مواد آزمون، کمپوست ساختگی، ماده تلقیحی و آب رقیق سازی ترکیب می شوند و در ظرف واکنش با دمای کنترل شده، قرار می گیرند که در آن میزان مصرف اکسیژن و دما پایش شده و کل دی اکسید کربن خارج شده جمع آوری می گردد.

۴-۱-۵ سامانه پایش شده و میزان جذب اکسیژن، نیم رخ های دمایی و کل دی اکسید کربن تولید شده ثبت می شود.

۴-۱-۶ جذب اکسیژن و دی اکسید کربن کل تولید شده با مقادیر نظری حاصل از آنالیز عنصری مقایسه شده و درصد تجزیه زیستی به دست می آید. اثرات منفی احتمالی مواد با مشاهده زمان سازگاری پسماند جامد شهری ساختگی و میزان جذب اکسیژن سنجش می شود.

۵ اهمیت و کاربرد

۵-۱ کمپوست سازی MSW به عنوان یک مولفه مهم در راهبرد مدیریت جامع پسماند جامد مطرح است. کاهش حجم زباله ای که در کمپوست سازی ایجاد می شود، به همراه تولید یک محصول نهایی قابل استفاده (برای مثال کمپوست به عنوان اصلاح کننده خاک)، منجر به افزایش تعداد شهرداری هایی شده که کمپوست سازی MSW آلی جدا شده در مبدأ را به عنوان یک روش جایگزین برای دفع مواد آلی قابل تجزیه زیستی در لندفیل (خاک چال)، انتخاب کرده و مورد بررسی قرار می دهند. این استاندارد روشی را برای آنالیز و تعیین اثر مواد در فرایند کمپوست و اجرا، مطلوبیت و امکان سنجی فرایند کمپوست به عنوان یک روش مدیریت مواد پسماند جامد آلی ارائه می دهد. با استفاده از این روش، پارامترهای کلیدی اجرای فرایند، از جمله جذب اکسیژن نظری (ThOU) و تولید دی اکسید کربن نظری (ThCO₂P) تعیین می شود.

۵-۲ این روش آزمون، شبیه سازی روند کلی کمپوست را ضمن حفظ قابلیت تکرار فراهم می کند. در معرض قرارگیری مواد آزمون با انواع دیگر مواد آلی که به طور معمول در MSW وجود دارند، محیطی را فراهم می کند که ویژگی های کلیدی فرایند کمپوست سازی شامل اندازه گیری مستقیم تنفس موجود زنده را مهیا می سازد.

۶ دستگاه

۶-۱ دستگاه تنفس سنجی کمپوست (به شکل ۱ مراجعه شود):

۶-۱-۱ حداقل ۶ ظرف واکنش، با حجم ۲ l تا ۶ l با مواد آزمون در سه تکرار و کنترل ها در سه تکرار. بهتراست ظروف واکنش با مواد مناسب عایق بندی شوند تا نسبت به گاز، غیر قابل نفوذ باشد و هدررفت گرما به حداقل برسد. بهتراست، مواد عایق فوم یورتان با ضخامت ۸ cm یا معادل آن باشد. از ظرف آب با دمای کنترل شده می توان به عنوان جایگزینی برای عایق سازی مخازن استفاده کرد.

۲-۱-۶ لوله‌گذاری با مقاومت بالا در برابر خروج گاز.

۳-۱-۶ پمپ پریستالتیک، برای کنترل و نگهداری جریان گاز از میان هر ظرف واکنش.

۴-۱-۶ مخزن اسکرابر^۱ ۴ I، برای هر ظرف واکنش دارای درگاه نمونه‌برداری متناسب با محلول اسکرابر.

۵-۱-۶ سوئیچ فشار افتراقی، برای هر ظرف واکنش که در فشار بین ۵۱ mm و ۱۲۷ mm آب فعال شود.

۶-۱-۶ جریان‌سنج جرمی و سلونوئید

برای کنترل و اندازه‌گیری مقدار اکسیژن خالص (۹۹/۹۹۷ +) که به سامانه افزوده می‌شود.

۷-۱-۶ پروب دماسنج، که در وسط کمپوست قرار می‌گیرد.

۸-۱-۶ سامانه داده‌برداری و کنترل داده‌ها

برای اندازه‌گیری دما، کنترل و اندازه‌گیری افزایش اکسیژن به کار می‌رود.

۲-۶ سایر موارد

۱-۲-۶ اتاق کنترل دما، حمام آب یا هود برای حفظ دمای خارجی دستگاه در $20 \pm 40^{\circ}\text{C}$.

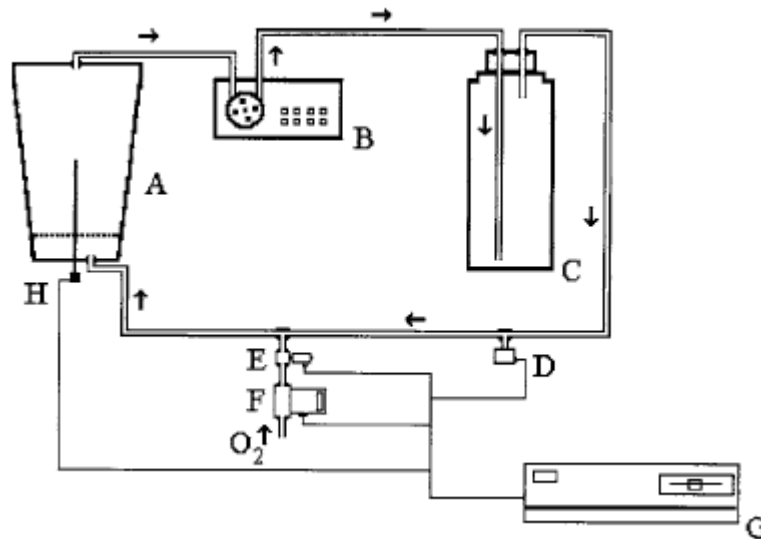
۲-۲-۶ جریان‌سنج، برای اندازه‌گیری گردش مجدد جریان در هر ظرف واکنش (اختیاری).

۳-۲-۶ کنترل رایانه‌ای پمپ پریستالتیک، برای کنترل خودکار گردش جریان (اختیاری).

۳-۶ دستگاه‌های مناسب برای اندازه‌گیری pH، جامدات خشک (105°C)، آنالیز عنصری مواد، محتوای دی‌اکسیدکربن اسکرابرها، وزن و حجم مواد کمپوست نهایی.

یادآوری ۱- توصیه می‌شود، تمامی اجزای دستگاه از مواد واکنش‌ناپذیر و غیرجاذب ساخته شوند.

۷ مواد آزمون



یادآوری - تنفس سنج کمپوست دارای یک مخزن ظرف واکنش ۴ l (A) عایق بندی شده با ۸ cm فوم یورتان است. ظرف آب (A) می تواند برای تنظیم حرارت به عنوان جایگزین عایق بندی به کار رود. هوا از میان ظرف واکنش به وسیله یک پمپ پرستالتیک (B) برای حفظ هوادهی کشیده می شود. گازهای خروجی از کمپوست از مسیر مخزن اسکرابر ۴ l (C) که دارای ۱.۵ l سود ۵ M (NaOH) است، عبور می کند تا دی اکسید کربن آن حذف شود. برای اندازه گیری دی اکسید کربن خارج شده از کمپوست، طی ارزیابی، نمونه ها از محلول اسکرابر بیرون آورده می شود. با گذشت زمان، اکسیژن توسط موجودات زنده ریز موجود در کمپوست مصرف می شود و بنابراین افت فشار رخ می دهد. این افت فشار به وسیله سوئیچ فشار بسیار حساس (D) تشخیص داده می شود. سیگنال افت فشار توسط سامانه کنترل و داده برداری (G) دریافت شده و اکسیژن از دست رفته با اکسیژن خالص از طریق سلونوئید (E)، جایگزین شده و مقدار اکسیژن اضافه شده به وسیله یک جریان سنج جرمی (F) اندازه گیری می شود. سپس گازها به ظرف واکنش برگشت داده می شوند. به منظور پایش دمای کمپوست، ترموکوپل (H) در مرکز ظرف واکنش آزمون قرار می گیرد. برای جلوگیری از تداخل نوسانات فشار هوا، سامانه هوا بندی می شود.

شکل ۱- نمودار عملکردی تنفس سنج کمپوست

۱-۷ مواد آزمون می تواند در هر شکلی باشد تا زمانی که ابعاد آنها از ۳ cm در ۳ cm در ۱۲ cm بیشتر نشود. مواد آزمون باید به شکلی باشد که در جریان پسماند وجود داشته باشند. یک نمونه نمایانگر باید با استفاده از روش های مناسب استانداردهای ASTM یا سایر روش های مستند به دست آید.

۲-۷ مواد آزمون باید از نظر کربن، هیدروژن، نیتروژن، اکسیژن، فسفر، گوگرد و سایر عناصری که مشکوک به حضور در سطحی هستند که بر جذب اکسیژن و متابولیسم میکروبی اثر می گذارند، آنالیز شود. ThOU هر ماده باید محاسبه شود.

۱-۲-۷ می توان از استانداردهای ASTM E1621، ASTM D6247 یا سایر روش های قابل اطمینان برای آنالیز عنصری استفاده کرد.

۳-۷ ThCO₂P را از محتوای کربن مواد آزمون محاسبه کنید. به زیربند ۱۲-۲ مراجعه شود.

۴-۷ اگر نسبت کربن به نیتروژن (C/N) در مخلوط مادر بزرگتر از ۴۰ باشد، بهتر است، محتوای نیتروژن MSW ساختگی افزایش یابد. این کار با افزودن مقداری اوره به MSW ساختگی، انجام می شود.

ساختگی دارای نیتروژن کافی برای اضافه کردن ۳۵ g کربن است و با این کار نسبت C/N بیشتر از ۴۰ نمی‌شود. در صورت تنظیم مقدار اوره، تمام ظروف واکنش شامل کنترل‌ها باید دارای غلظت یکسان اوره باشند.

۸ واکنش‌گرها و مواد

۸-۱ محلول اسکرابر

حاوی سود (NaOH) ۳/۲۵ N در آب مقطر است. آن را در ظرف پلاستیکی هوابندی شده نگه‌داری کنید. ۳۰ mg فنل‌فتالئین به محلول اضافه کنید تا میزان مصرف اسکرابر را نشان دهد.

۸-۲ محلول رقیق‌سازی/بافر

دارای مواد زیر است:

غلظت (g/l)	نقش	ماده شیمیایی
۶/۸	یکی از اجزای بافر فسفات	KH_2PO_4
۵۵/۶	یکی از اجزای بافر فسفات	$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
۰/۰۲۲۵	مواد مغذی	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
۰/۰۲۷۵	مواد مغذی	CaCl_2
۰/۰۰۰۲۵	مواد مغذی	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

۸-۳ پسماند جامد شهری ساختگی (MSW)

دارای اجزای زیر است:

وزن خشک (%)	ماده شیمیایی مورد استفاده	اجزا
۴۱	کاغذ روزنامه خام، خردشده	مواد سلولزی
۳۹	پوست درخت کاج یا تراشه‌های چوب	مواد خنثی
۵/۲	نشاسته ذرت	کربوهیدرات‌ها
۵/۴	روغن ذرت	لیپیدها
۲/۰	کازئین شیر گاو	پروتئین‌ها
۱/۴	اوره	نیتروژن آلی
۵/۸	موارد فهرست شده در جدول ۸-۲	بافر/ مواد مغذی

۴-۸ پلی اتیلن یا یک ماده دیگر غیرقابل تجزیه زیستی، ماده کنترل منفی است که بهتر است به شکل مواد آزمون باشد تا شرایط فیزیکی یکسان در همه ظروف واکنش فراهم شود. MSW ساختگی به عنوان کنترل مثبت عمل می کند، تا زنده مانی^۱ ماده تلقیحی را بررسی کند. به زیربند ۴-۱۳ مراجعه شود.

۹ مخاطرات

۱-۹ در این روش آزمون از مواد شیمیایی مخاطره آمیزی استفاده می شود. از تماس با مواد شیمیایی اجتناب کنید و رویه های تولیدکننده و برگه های داده ایمنی را رعایت کنید.

۲-۹ در این استاندارد تمام موارد ایمنی و بهداشتی درج نشده است. در صورت مواجهه با چنین مواردی، مسئولیت برقراری شرایط بهداشتی و ایمنی مناسب و اجرای آن بر عهده کاربر این استاندارد است.

۳-۹ گازهای با فشار و خلوص بالا در صورت استفاده نامناسب می توانند خطرناک باشند. تمام احتیاط های ایمنی را رعایت کرده و برای اطمینان از کارکرد مناسب، اغلب سامانه را پایش کنید.

۱۰ ماده تلقیحی

۱-۱۰ بهتر است این ماده از MSW یا پسماند باغی که به مدت دو تا چهار ماه به طور مناسب کمپوست شده است، به دست آید. توصیه می شود این کمپوست با الک کوچک تر از ۳ mm غربال شود.

۲-۱۰ این کمپوست می تواند تا ۴۸ h قبل از استفاده در دمای اتاق نگهداری شود. بهتر است این ماده خشک نشود.

۱۱ روش کار

۱-۱۱ این روش برای ۱۲ ظرف واکنش ۴ l با مخازن اسکرابر ۴ l است. سایر پیکربندی ها مستلزم تنظیم وزن و حجم برای حفظ نسبت های متناسب مایع به جامد اجزاء خواهد بود.

۲-۱۱ پسماند جامد شهری ساختگی

۱-۲-۱۱ آب رقیق سازی

مخلوط را برای تهیه ۳۶۰۰ ml آب رقیق سازی، وزن کنید. این مقدار آب رقیق سازی مورد نیاز برای ۱۳ ظرف واکنش را فراهم خواهد کرد:

ترکیب	مقدار در هر ظرف واکنش	در هر ۳۶۰۰ ml
KH_2PO_4	۱/۸۷ g	۲۴/۵ g
$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	۱۵/۲۹ g	۲۰۰ g
MgSO_4	۰/۰۰۳ g	۰/۰۳۹ g
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	۰/۰۰۷۶ g	۰/۰۹۹ g
FeCl_3	۰/۰۰۰۲ g	۰/۰۰۳ g
اوره	۴/۰ g	۵۲ g

۱۱-۲-۲ تهیه اجزای خشک

۱۱-۲-۲-۱ ۱۲۰ g کاغذ روزنامه خام خرد شده را وزن کرده و در یک کیسه پلاستیکی هوابندی شده قرار دهید. هر کیسه را با وزن واقعی روزنامه علامت گذاری کنید.

۱۱-۲-۲-۲ ۱۱۵ g تراشه های چوب تازه یا درخت کاج به ابعاد ۲/۵ cm در ۲/۵ cm در ۰/۶ cm (تقریبی) را در یک بشر پلاستیکی ۱ l با ۱۵/۱ g نشاسته ذرت و ۵/۹۵ g کازئین شیر گاو وزن کنید. از این مخلوط ۱۲ نمونه تهیه شود.

۱۱-۲-۳ تهیه ماده تلقیحی

۱۱-۲-۳-۱ حدود ۱ kg کمپوست کامل حاصل از کمپوست پسماند جامد شهری یا پسماند باغی را جمع آوری کنید.

۱۱-۲-۳-۲ کمپوست را با توری مش سیمی ۳ mm غربال کنید و بخش های کوچکتر از ۳ mm را تا زمانی که به عنوان ماده تلقیحی استفاده می شود، حفظ کنید.

۱۱-۲-۳-۳ ۱۲ g ماده تلقیحی را در هر ۱۲ سینی توزین، وزن کنید.

۱۱-۳ آماده سازی نمونه

۱۱-۳-۱ جامدات خشک مواد آزمون را تعیین کرده و آنالیز عنصری را انجام دهید. مقدار مواد آزمون مورد نیاز برای تولید ۵۰ g ThOU (جذب اکسیژن نظری) را محاسبه کنید.

۱۱-۳-۲ نمونه های کنترل را با استفاده از پلی اتیلن تهیه کنید و آن را به اندازه فیزیکی یکسان شکل یا برش داده و به صورت مواد آزمون شکل دهید.

۴-۱۱ ریختن در ظرف واکنش

۱-۴-۱۱ کاغذ روزنامه خام خرد شده و مواد خشک را مخلوط کرده و آب رقیق‌سازی را به آن‌ها اضافه کنید. سپس مخلوط را به‌طور کامل هم بزنید تا زمانی که هیچ توده کاغذی یا شیمیایی وجود نداشته باشد.

۲-۴-۱۱ ۱۵/۸ g روغن ذرت را مستقیم به مخلوط اضافه کنید و هم بزنید تا روغن در مخلوط، توزیع یکنواخت داشته باشد.

۳-۴-۱۱ محصول کنترلی یا آزمون را اضافه کرده و هم بزنید تا توزیع مخلوط یکنواخت شود.

۴-۴-۱۱ ماده تلقیحی را اضافه کرده و به‌طور کامل با کمپوست مخلوط کنید. هنگام ریختن مخلوط در ظرف واکنش، مراقب باشید تا مخلوط کمپوست را فشرده نکنید.

۵-۱۱ آماده‌سازی اسکرابر

۱-۵-۱۱ مخازن اسکرابر را با ۱/۵ l، محلول ۳/۲۵ N NaOH پر کنید.

۲-۵-۱۱ ۳۰ mg معرف فنل‌فتالین را به محلول اسکرابر اضافه کنید.

۳-۵-۱۱ برای به حداقل رساندن جذب دی‌اکسیدکربن هوا، ظرف اسکرابر را هوابندی کنید.

۶-۱۱ اجرای راه‌اندازی

۱-۶-۱۱ سامانه ظرف واکنش آزمون را هم‌گذاری^۱ کنید، اجازه دهید سامانه به دمای محیط برسد و دمای آن تثبیت شود.

۲-۶-۱۱ از ظروف اسکرابر نمونه‌برداری کرده و مقدار دی‌اکسیدکربن را با استفاده از روش آزمون استاندارد ASTM D513 یا سایر روش‌های مناسب محاسبه کنید.

۳-۶-۱۱ پمپ گردش را در ۱۰۰ ml/min یا تا سرعتی که امکان هوادهی کافی بدون هدررفت گرمای بیش از حد را فراهم کند، تنظیم کنید. اگر دمای ظرف واکنش آزمون به بیش از ۴۲ °C رسید، به‌منظور حفظ دمای ظرف واکنش زیر ۴۲ °C، هوادهی را افزایش دهید.

۷-۱۱ اجرای عملیات

۱-۷-۱۱ واکنش‌گرها به مدت ۴۵ روز در ظروف واکنش عمل خواهند نمود. دمای محیط را در ۴۰ °C حفظ کنید.

۱۱-۷-۲ سامانه جمع‌آوری داده‌های رایانه‌ای را تنظیم کنید و داده‌های دمایی و جذب اکسیژن را حداقل یک بار در هر دو ساعت ذخیره کنید.

۱۱-۷-۳ برای جلوگیری از ایجاد شیار در مواد، ظروف واکنش را یک بار در هفته به‌شدت تکان دهید.

۱۱-۷-۴ نباید در سامانه نشت وجود داشته باشد. لوله و اتصالات باید در ابتدای آزمون و پس از هر تکان دادن با محلول صابون، به‌طور کامل بررسی شود. هرگونه نشت باید بلافاصله گرفته شود. برای اطمینان از عملکرد مناسب، دستگاه آزمون باید روزانه پایش شود.

۱۱-۸ پایان اجرا

۱۱-۸-۱ از ظروف اسکرابر در دو تکرار نمونه‌برداری کرده و مقدار دی‌اکسیدکربن را آنالیز کنید.

۱۱-۸-۲ وزن کل ماده کمپوست و غلظت جامدات خشک را اندازه‌گیری کنید.

۱۱-۸-۳ pH را با رقیق کردن ۱۰g نمونه در ۵۰ ml آب مقطر و پس از تکان دادن مخلوط، بلافاصله اندازه‌گیری کنید (به استاندارد ASTM D1293 مراجعه شود). اگر pH کمپوست زیر ۷ باشد، مقدار اسیدهای چرب فرار^۱ (VFA) کمپوست را تعیین کنید (به استاندارد ASTM D2908 مراجعه شود). اگر $VFA > 2 \text{ g/kg}$ باشد، ظروف واکنش اسیدی شده و نتایج نامعتبر است.

۱۲ محاسباتها

۱۲-۱ جذب اکسیژن نظری (ThOU) را از درصد وزنی هر یک از عناصر محاسبه کنید:

$$\text{ThOU mg O}_2/\text{mg} = C/37.5 + H/12.5 + N/29.2 + P/48.4 + S/66.7 - O/100 \quad (1)$$

۱۲-۲ تولید دی‌اکسیدکربن نظری (ThCO₂P) نیز از آنالیز عنصری تعیین و به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{ThCO}_2\text{P mg CO}_2/\text{mg} = (3.667) (\text{درصد وزن کربن}) \quad (2)$$

۱۲-۳ جذب اکسیژن به‌وسیله مواد آزمون را با کم کردن میانگین اکسیژن جذب شده به‌وسیله مخلوط کنترل از هر مخلوط آزمون در هر نقطه داده محاسبه کنید.

۱۲-۴ دی‌اکسیدکربن کل تولیدشده را از طریق کم کردن میانگین دی‌اکسیدکربن تولیدشده کنترلی از هر یک از مخلوط‌های آزمون محاسبه کنید.

۱۲-۵ درصد جذب اکسیژن و دی اکسید کربن نظری را با تقسیم کردن مقادیر اندازه گیری شده آن ها بر ThOU یا ThCO_2P محاسبه شده و ضرب در ۱۰۰، محاسبه کنید.

۱۲-۶ انحراف معیار (S_d) نمونه های سه تکرار را محاسبه کنید:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2} \quad (3)$$

که در آن:

x_i هر نمونه مجزا؛

N تعداد نمونه ها است.

۱۲-۷ میزان عدم قطعیت را براساس حدود/ دقت معلوم یا مشاهده شده دستگاه آزمون، از جمله تجهیزات اندازه گیری نشان دهید.

۱۲-۸ زمان سازگاری مواد آزمون و محیط کمپوست نقطه ای است که جذب اکسیژن از ۱۰٪ جذب کل اکسیژن برای مخلوط بیشتر شود.

۱۲-۹ اگر منحنی جذب اکسیژن مواد آزمون، در ابتدای منحنی شیب منفی را نشان دهد، زمان سازگاری مواد آزمون در نقطه ای محاسبه می شود که شیب منحنی جذب اکسیژن به مدت حداقل ۲۴ h مثبت شود.

۱۳ تفسیر نتایج

۱۳-۱ زمان سازگاری می تواند اطلاعات ارزشمندی را در مورد اثرات سمیت یا بازدارندگی مواد آزمون ارائه کند.

۱۳-۲ درصد جذب اکسیژن نظری سنجش خوبی برای تجزیه پذیری زیستی مواد آزمون است، زیرا معدنی شدن کربن به همراه تمام واکنش های اکسایش دیگر را نشان می دهد.

۱۳-۳ درصد تولید دی اکسید کربن نظری می تواند برای اندازه گیری تجزیه پذیری زیستی (با محدودیت ها) و نیز هم بستگی با نتایج سایر روش های آزمایش مبتنی بر تولید دی اکسید کربن مورد استفاده قرار گیرد.

۱۳-۴ برای اطمینان از ماده تلقیحی فعال و پایدار، جذب کل اکسیژن برای واکنش گرهای کنترل باید بیشتر از ۸۰ g باشد. اگر طی ۴۵ روز چنین نشد، آن گاه آزمون نامعتبر است و باید با ماده تلقیحی جدید تکرار شود.

۱۳-۵ اگر انحراف معیار شاهد سه تکرار هنگام ارجاع به میانگین سه تکرار نتیجه منفی نشان داد، آزمون نامعتبر است و بهتر است با یک ماده تلقیحی جدید تکرار شود.

۱۴ گزارش

۱-۱۴ در صورت لزوم اطلاعات و داده‌های زیر را با فاصله اطمینان ۹۵٪ و انحراف معیار گزارش کنید:

۱-۱-۱۴ اطلاعات مربوط به منبع، جامدات خشک، شرایط ذخیره‌سازی و عمر ماده تلقیحی؛

۲-۱-۱۴ ThCO_2P و ThOU مواد آزمون با توجه به نتایج آنالیز عنصری؛

۳-۱-۱۴ مشخصات فیزیکی مواد آزمون شامل اندازه، شکل، وزن، وزن خشک، مشاهدات اولیه و نهایی مخلوط و روش نمونه‌برداری مورد استفاده؛

۴-۱-۱۴ درصد ThCO_2P و ThOU برای هر ماده آزمون؛

۵-۱-۱۴ کل اکسیژن جذب شده و منحنی جذب اکسیژن برحسب زمان برای کل مخلوط‌ها و مواد آزمون؛

۶-۱-۱۴ زمان سازگاری مواد آزمون؛

۷-۱-۱۴ کل دی‌اکسیدکربن تولید شده و نمودار دی‌اکسیدکربن تولید شده برحسب زمان، اگر نمونه‌های چندگانه طی آزمون آنالیز شوند؛

۸-۱-۱۴ نمودارهای دمای هر مخلوط؛

۹-۱-۱۴ وزن کل از دست‌رفته محتویات ظرف واکنش و وزن خشک پایانی محتویات ظرف واکنش؛

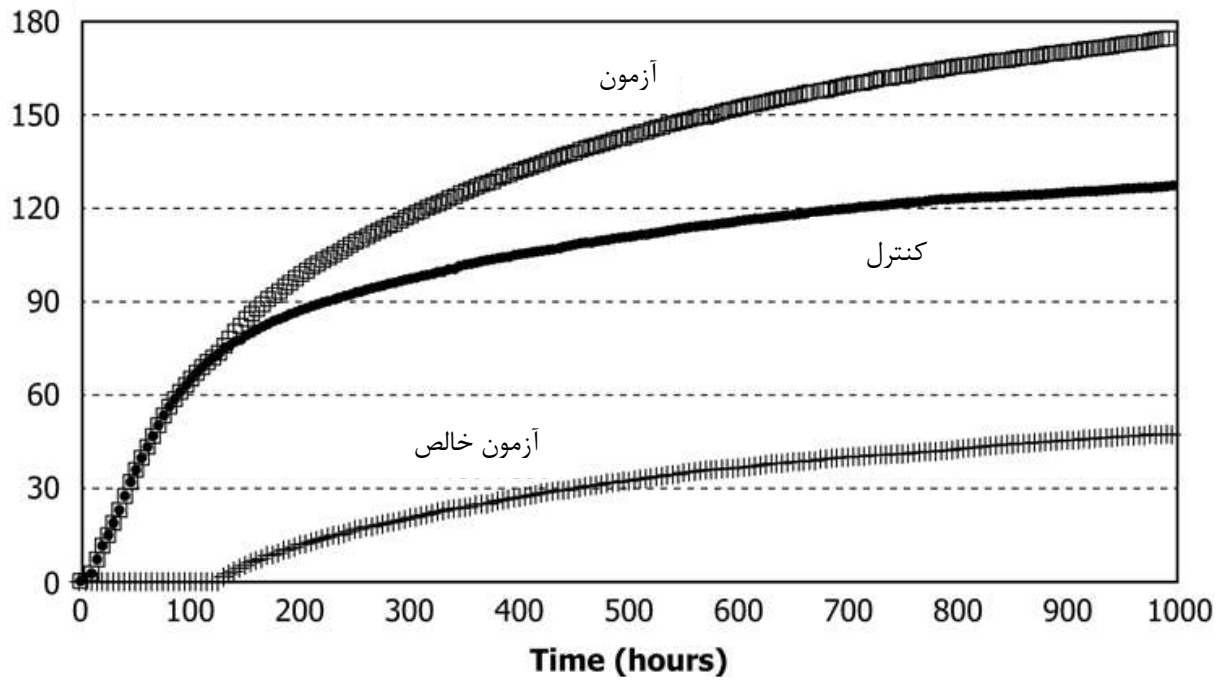
۱۰-۱-۱۴ pH نهایی کمپوست، نتایج بررسی‌های دیگر (غلظت اسیدهای چرب) اگر pH کمتر از ۷ است؛

۱۱-۱-۱۴ توضیحات کامل دستگاه آزمون و مستندات هرگونه تغییر این روش آزمون.

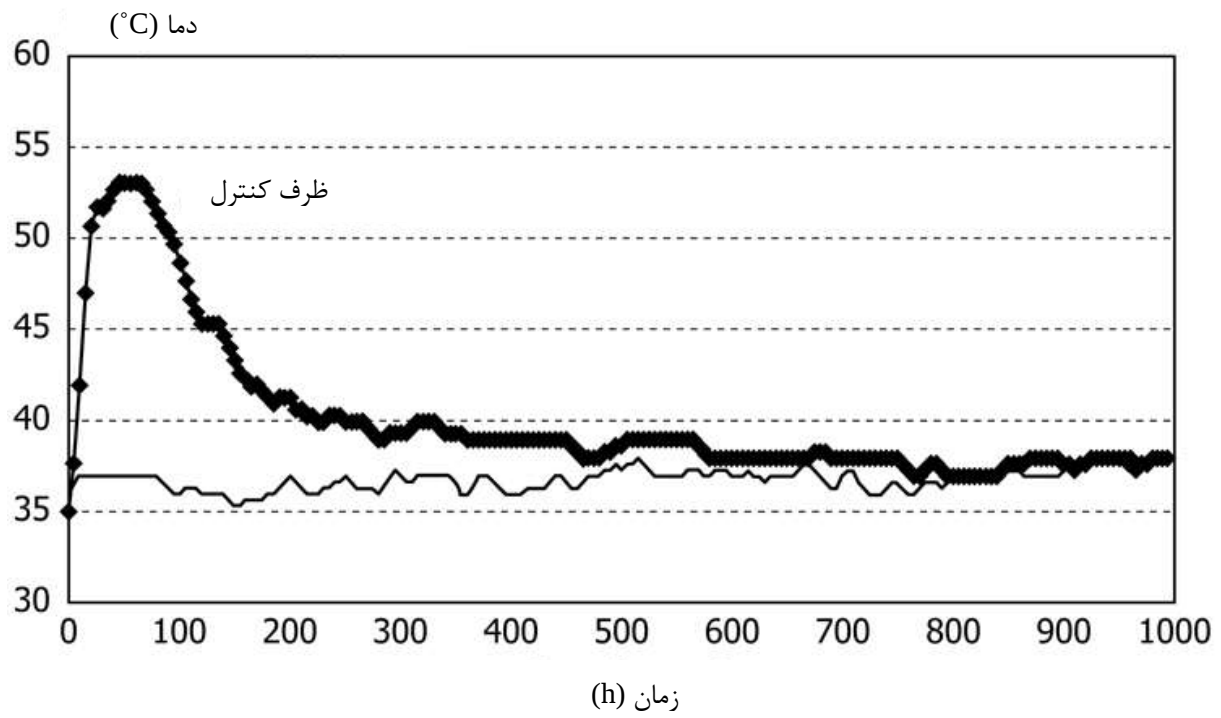
۱۵ دقت و اریبی

۱-۱۵ نمودارهای نوعی جذب اکسیژن و دما در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. تکرارپذیری درون آزمونی حاصل از آزمایش سه ماده آزمون در جدول ۱ ارائه شده است. آزمایش ۱ مخلوط‌های کنترل با پوست درخت کاج، آزمایش ۲ با تراشه‌های تازه چوب و آزمایش ۳ با تراشه‌های چوب از قبل استفاده شده، می‌باشد.

جذب اکسیژن (gm)



شکل ۲- نمودار نوعی جذب اکسیژن برای ظرف کنترل، ظرف آزمون و ظرف آزمون خالص



شکل ۳- نمودار نوعی دما، تنظیم دمای محیط در 37°C

جدول ۱- تکرارپذیری درون آزمونی سه جزء پسماند جامد شهری ساختگی

انحراف معیار (%)	CO ₂ تولیدشده (g)	انحراف معیار (%)	جذب اکسیژن (g)	اجرا
۶٫۲	۱۱۱	۲٫۴	۱۳۱	اجرای ۱، پوست درخت کاج
۴٫۰	۱۱۵	۰٫۸۲	۱۳۴	اجرای ۲، تراشه‌های تازۀ چوب
۳٫۷	۹۱٫۴	۰٫۸۷	۱۱۵	اجرای ۳، تراشه‌های چوب از قبل استفاده شده

پیوست الف
(آگاهی دهنده)

تغییرات اعمال شده در این استاندارد در مقایسه با استاندارد منبع

زیربند ۱-۴: با هشدار پس از عنوان استاندارد ملی در صفحه اول، به منظور برآوردن الزام استاندارد ملی شماره ۵ جایگزین شده است.

زیربند ۳-۲: حذف و با زیربند ۳-۱ ادغام شده است.

در زیربند ۸-۲ عبارت یکی از اجزای.. در ستون وسط برای نقش دو ماده شیمیایی KH_2PO_4 و $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ اضافه شده است.