



جمهوری اسلامی ایران

Islamic Republic of Iran

سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization

INSO  
21421

1st.Edition  
2017



استاندارد ملی ایران  
۲۱۴۲۱

چاپ اول  
۱۳۹۵

پسماندها - اندازه‌گیری تجزیه‌زیستی هوایی  
مواد پلاستیکی در خاک - روش آزمون

Wastes- Determining aerobic  
biodegradation of plastic materials in  
soil-Test Methods

ICS: 13.030.10

سازمان ملی استاندارد ایران

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

صندوق پستی: ۱۴۱۵۵ - ۶۱۳۹ - تهران - ایران

تلفن: ۰۵-۸۸۸۷۹۴۶۱-۵

دورنگار: ۸۸۸۸۷۱۰۳ و ۸۸۸۸۷۰۸۰

کرج - شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی ۳۱۵۸۵-۱۶۳ کرج - ایران

تلفن: (۰۲۶) ۳۲۸۰۶۰۳۱-۸

دورنگار: (۰۲۶) ۳۲۸۰۸۱۱۴

رایانامه: standard@isiri.gov.ir

وبگاه: <http://www.isiri.org>

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.org>

## 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 حوضه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان صاحب نظران 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 غیر دولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی نفع و اعضای کمیسیون‌های فنی 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 علاقه مند و ذیصلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند در کمیتهٔ ملی طرح و بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که سازمان استاندارد تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)<sup>۱</sup> کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)<sup>۲</sup> و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)<sup>۳</sup> است و به عنوان تنها رابط<sup>۴</sup> کمیسیون کدکس غذایی (CAC)<sup>۵</sup> 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 بین المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و / یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری نماید. هم چنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرگانی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی، آزمایشگاهها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، سازمان استاندارد این گونه 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 بین المللی یکاه، واسنجی (کالیبراسیون) 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 Electro technical Commission

3- International Organization for Legal Metrology (Organization Internationale de Métrologie Legale)

4 - Contact point

5 - Codex Alimentarius Commission

## کمیسیون فنی تدوین استاندارد

((پسماندها - اندازه‌گیری تجزیه‌زیستی هوایی مواد پلاستیکی در خاک - روش آزمون))

### سمت و / یا محل اشتغال:

رئیس:

عضو هیئت علمی دانشگاه گیلان

فرهنگی، محمدباقر

(دکتری بیولوژی خاک)

### دبیر:

کارشناس تدوین - اداره کل استاندارد گیلان

فرحنگ شهرستانی، لحیا

(کارشناسی ارشد شیمی آلی)

### اعضاء: (به ترتیب حروف الفبا)

مدیر عامل - شرکت پویندگان بهبود کیفیت

آبادیان، محمدرضا

(کارشناسی شیمی)

مسئول کنترل کیفیت - شرکت کامپوره خزر

ابراهیمی، سیده مریم

(کارشناسی ارشد صنایع غذایی)

دانشجوی دانشگاه گیلان

ابراهیمی، عیسی

(دانشجوی دکتری خاک‌شناسی)

مدیر دفتر محیط زیست و کیفیت منابع آب شرکت آب منطقه

باقرزاده، آسان

استان گیلان

(دکتری محیط زیست و توسعه پایدار)

کارشناس معاونت بهداشتی دانشگاه علوم پزشکی گیلان

باقری، محمد باقر

(لیسانس بهداشت محیط)

مدیر کنترل کیفیت - واحد تولیدی لویه

زبده فلاحتی، نسیم

( فوق لیسانس شیمی )

کارشناس - مرکز ملی تحقیقات آبزیان استان گیلان

زلفی نژاد، کامران

(کارشناسی ارشد شیلات)

سمت و / یا محل اشتغال:

عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان  
رئیس اداره هماهنگی و تدوین استاندارد- اداره کل استاندارد  
گیلان

اعضاء: (به ترتیب حروف الفبا)

شریعتی، فاطمه  
(دکتری بیولوژی دریا)

صادقی پور شیجانی، معصومه  
(کارشناسی ارشد علوم محیط زیست)

مدرس- دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان

قمامش پسند، مریم

(دانشجوی دکتری شیمی)

کارشناس پیگیری امور تدوین- اداره کل استاندارد استان  
گیلان

مقبلی کهن‌زاد، فاطمه  
(لیسانس مهندسی فن آوری اطلاعات (IT))

کارشناس - شرکت آب و فاضلاب شهری استان گیلان

موقر حسنی، فرخناز  
(کارشناسی مهندسی مکانیک)

کارشناس- شرکت پویندگان بهبود کیفیت

مهرزاد، حسن  
(کارشناسی فیزیک)

کارشناس استاندارد

میر باقری، سیده خورشید  
(لیسانس شیمی)

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

میر روشندرل، اعظم السادات  
(کارشناسی ارشد شیمی تجزیه)

کارشناس- شرکت پویندگان بهبود کیفیت

بیلاق‌بیکی، وحید  
(کارشناسی ارشد فیزیک ذرات بنیادی)

ویراستار:

رئیس اداره هماهنگی و تدوین استاندارد- اداره کل استاندارد  
گیلان

صادقی پور شیجانی، معصومه  
(کارشناسی ارشد علوم محیط زیست)

## فهرست مندرجات

عنوان	صفحه
پیش‌گفتار	ز
مقدمه	ح
۱ دامنه کاربرد	۱
۲ مراجع الزامی	۱
۳ اصطلاحات و تعاریف	۲
۴ خلاصه روش آزمون	۲
۵ وسایل	۲
۱-۱-۵ مخازن	۳
۲-۱-۵ بشر	۳
۳-۱-۵ صفحات سوراخ دار یا سایر نگهدارندها	۳
۴-۱-۵ محفظه یا آتاقک تاریک	۳
۲-۵ تجهیزات تجزیه	۳
۶ واکنشگرها و مواد	۴
۱-۶ درجه خلوص واکنشگرها	۴
۷ مخاطرات	۵
۸ خاک	۵
۹ نمونه‌ها	۶
۱۰ روش کار	۶
۹-۱۰ آنالیز دی اکسید کربن	۷
۱۱ محاسبات	۸
۱۱-۶ درصد زیست تخریب‌پذیری از مقادیر اکسیژن مصرفی	۱۰
۱۲ تفسیر نتایج و معیارهای اعتبار	۱۰
۱۳ گزارش	۱۱
۱۴ دقت و انحراف	۱۱

## پیش گفتار

استاندارد " پسماندها- اندازه‌گیری تجزیه‌زیستی هوایی مواد پلاستیکی در خاک- روش آزمون " که پیش-نویس آن در کمیسیون‌های مربوط تهیه و تدوین شده است، در یکصدو شصت و پنجمین اجلاسیه کمیته ملی استاندارد ملی محیط زیست مورخ ۹۵/۱۲/۱۱ تصویب شد، این استاندارد به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

استانداردهای ملی ایران براساس استاندارد 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 خواهد 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 مأخذی که برای تهیه و تدوین این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:  
ASTM D5988:2012, Standard Test Method for Determining Aerobic Biodegradation of Plastic Materials in Soil

**مقدمه**

خاک یک منبع بسیار غنی - ویژه مواد تلقیحی برای ارزیابی قابلیت تجزیه‌زیستی مواد پلاستیکی در محیط زیست است. خاک با توجه به مقدار رطوبت و دستری اکسیژن، دارای فعالیت زیستی قابل توجهی است هر چند از سایر محیط‌های فعال‌زیستی، مانند لجن فعال فاضلاب یا کمپوست کمتر است.

درجه و میزان قابلیت تجزیه‌زیستی هوازی یک ماده پلاستیکی در محیط، میزان و مدت زمان لازم برای معدنی‌شدن آن توسط ریزجانداران موجود در خاک را تعیین می‌کند. با افزایش استفاده از مواد پلاستیکی، دفع آن‌ها به موضوع مهمی تبدیل می‌شود و نتایج حاصل از این روش آزمون، امکان برآورده درجه قابلیت تجزیه‌زیستی و مدت زمان باقی‌ماندن مواد پلاستیکی در محیط هوازی خاک را، فراهم می‌نماید. این روش آزمون درجه تجزیه‌زیستی هوازی را از طریق اندازه‌گیری دی اکسیدکربن خارج شده از خاک(تنفسی) و به صورت تابعی از زمان که پلاستیک در معرض خاک قرار می‌گیرد، تعیین می‌کند.

# پسماندها - اندازه‌گیری تجزیه‌زیستی مواد پلاستیکی در خاک - 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، تعیین میزان و نرخ تجزیه‌زیستی هوازی مواد پلاستیکی، بانضمام فرمول‌بندی مواد افزودنی، در تماس با خاک تحت شرایط آزمایشگاهی است.

۱-۱-۱ خواسته‌های اجرایی باید به نتایج عددی به دست آمده در روش آزمون محدود شود و برای ادعاهای «قابل تجزیه بهوسیله منابع زیستی» فاقد شرایط لازم استفاده نشود. گزارش‌ها باید درصد تولید کربن گازی خالص را در نمونه آزمون و/یا مرجع، به صورت واضح پس از اتمام آزمون تعیین کند. نتایج نباید فراتر از مدت زمان واقعی آزمون، برونویابی شود.

۲-۱ این استاندارد در موارد زیر کاربرد دارد:

۲-۱-۱ اندازه‌گیری قابلیت تجزیه‌زیستی مواد پلاستیکی نسبت به ماده مرجع در محیط هوازی؛

۲-۱-۲ قابل استفاده برای تمام مواد پلاستیکی که بازدارنده باکتری‌ها و فارچه‌ای موجود در خاک نباشد.

## 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.

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 D425 Test Method for Centrifuge Moisture Equivalent of Soils**

**2-2 ASTM D618 Practice for Conditioning Plastics for Testing**

**2-3 ASTM D883 Terminology Relating to Plastics**

**2-4 ASTM D1193 Specification for Reagent Water**

**2-5 ASTM D1293 Test Methods for pH of Water**

**2-6 ASTM D2980 Test Method for Volume Mass, Moisture-Holding Capacity, and Porosity of Saturated Peat Materials**

**2-7** ASTM D2989 Test Method for Acidity-Alkalinity of Halogenated Organic Solvents and Their Admixtures

**2-8** ASTM D4129 Test Method for Total and Organic Carbon in Water by High Temperature Oxidation and by Coulometric Detection

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۱۷۸۹۱، با استفاده از استاندارد ASTM D4129، تدوین شده است.

**2-9** ASTM D4972 Test Method for pH of Soils

**2-10** ASTM D5338 Test Method for Determining Aerobic Biodegradation of Plastic Materials Under Controlled Composting Conditions, Incorporating Thermophilic Temperatures

**2-11** ASTM D5511 Test Method for Determining Anaerobic Biodegradation of Plastic Materials Under High-Solids Anaerobic Digestion Conditions

### ۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف ارائه شده در استاندارد ASTM D883، به کار می‌روند.

### ۴ خلاصه روش آزمون

**۴-۱** این روش آزمون شامل انتخاب مواد پلاستیکی برای اندازه‌گیری قابلیت تجزیه‌زیستی هوازی، آماده-سازی خاک و استفاده از آن به عنوان بستر و منبع مایه‌زنی، قراردادن مواد پلاستیکی در خاک (مخلوط کردن) و اندازه‌گیری دی‌اکسیدکربن خارج شده از خاک توسط میکروارگانیسم‌ها است. در این آزمون  $\text{CO}_2$  خارج شده به صورت تابعی از زمان برآورد می‌شود و میزان قابلیت تجزیه‌زیستی ماده پلاستیکی ارزیابی می‌گردد.

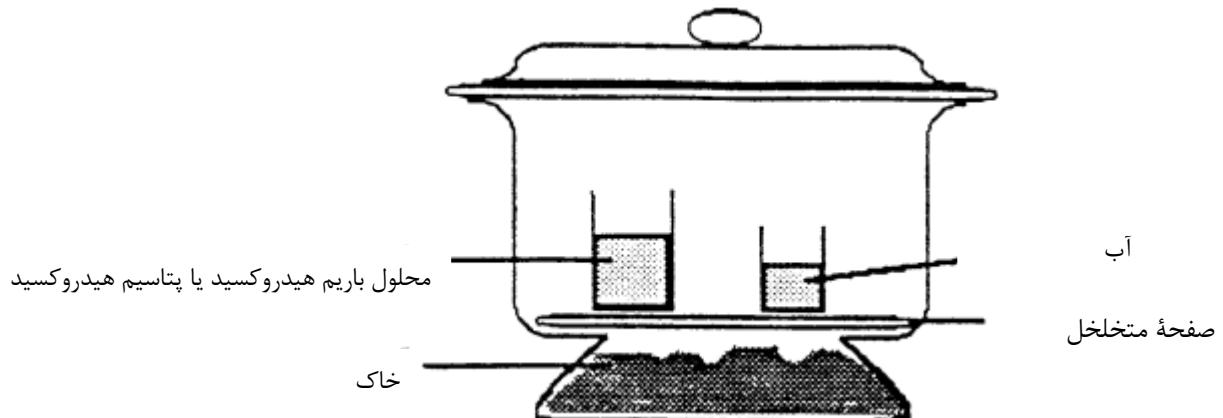
**۴-۲** اندازه‌گیری  $\text{CO}_2$  تولید شده در یک ماده، به صورت کسر مقدار کربن اندازه‌گیری یا محاسبه شده با توجه به زمان گزارش می‌شود، که در نتیجه آن میزان قابلیت تجزیه‌زیستی ارزیابی می‌شود.

**۴-۳** روش جایگزین، اندازه‌گیری مصرف اکسیژن یا اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD) است. این کار، با اندازه‌گیری میزان اکسیژن مورد نیاز برای حفظ حجم ثابت گاز در بالنهای تنفس‌سنچ یا با اندازه‌گیری خودکار یا دستی میزان تغییر در حجم یا فشار گاز اکسیژن (یا ترکیبی از هر دو)، امکان‌پذیر است. سطح تجزیه‌زیستی بیان شده بر حسب درصد، از طریق مقایسه BOD با اکسیژن مورد نیاز ثوری (ThOD)، تعیین می‌شود. با این حال، در استفاده از این روش جایگزین، تاثیر فرآیندهای احتمالی شوره‌زایی<sup>۱</sup> در BOD، باید در نظر گرفته شود.

### ۵ وسائل

1- Nitrification

۱-۵ دسیکاتور برای انکوباسیون خاک (به شکل ۱ مراجعه شود، بالنهای بیومتر نیز مناسب هستند). اطمینان حاصل کنید که تمام ظروف شیشه‌ای به طور کامل تمیز و به ویژه، عاری از مواد آلی یا سمی، باشند.



شکل ۱ دسیکاتور برای انکوباسیون خاک

### ۱-۱-۵ مخازن

مجموعه‌ای از ظروف دارای حجم داخلی حدود ۲۱ تا ۴۱ با درپوشی که قابلیت هوابندی داشته باشد، مانند دسیکاتور ۱۵۰ mm. سه ظرف برای خاک (خاک تنها: به عنوان "شاهد" یا "کنترل" مشخص شود، این ظروف نشان‌دهنده فعالیت بستر خاک است)، سه ظرف برای ماده مرجع مثبت (خاک با گلوکز یا نشاسته: این ظروف نشان دهنده زنده بودن جمعیت میکروبی خاک است)، سه ظرف برای ماده مورد آزمون (خاک با پلاستیک یا ماده‌ای که بناسنست تجزیه آن بررسی شود) و سه ظرف (ظرف خالی بدون خاک ولی با محلول جاذب و آب) بهمنظور کنترل‌های فنی، آماده کنید. در ظروف کنترل فنی فقط محلول جاذب قرار داده می‌شود و در آن خاک وجود ندارد. هوای درون ظروف دارای دی اکسید کربن است که این دی اکسید کربن با گاز دی اکسید کربنی که از خاک بیرون خواهد آمد، مخلوط می‌شود. کنترل‌های فنی (ظرفی که در آن خاک نیست) امکان محاسبه و کم کردن دی اکسید کربن وارد شده را میسر می‌نماید. علاوه بر این، کنترل‌های فنی، هوابندی شدن سیستم ظرف را با نشان دادن نفوذ احتمالی دی اکسید کربن به ظرف هوابندی شده، نشان می‌دهند.

### ۲-۱-۵ بشر

مجموعه‌ای از ۱۵۰ ml و ۱۰۰ ml که با تعداد ظروف انکوباسیون خاک، برابر است.

### ۳-۱-۵ صفحات متخلخل یا سایر نگه‌دارنده‌ها

مجموعه‌ای برای نگه‌داری بشر بالای خاک داخل هر ظرف. نگه‌دارنده باید از جنس ماده‌ای باشد که دی اکسید کربن را جذب نکند.

#### ۴-۱-۵ محفظه یا اتفاقک تاریک

با قابلیت انتخاب درجه حرارت بین  $20^{\circ}\text{C}$  تا  $28^{\circ}\text{C}$  و حفظ درجه حرارت انتخاب شده  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ .

#### ۲-۵ تجهیزات تجزیه

۱-۲-۵ ابزار لازم برای اندازه‌گیری میزان کل کربن نمونه آزمون؛

۲-۲-۵ ترازوی برای توزین نمونه آزمون؛

۳-۲-۵ بورت، ml؛ ۱۰۰

۴-۲-۵ سانتریفوژ رومیزی، برای اندازه‌گیری گنجایش نگهداری رطوبت (MHC)<sup>۱</sup>؛

۵-۲-۵ آون، با قابلیت تنظیم دمای  $10^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  برای اندازه‌گیری رطوبت؛

۶-۲-۵ کوره با حرارت غیرمستقیم، با قابلیت تنظیم دمای  $55^{\circ}\text{C}$  برای اندازه‌گیری خاکستر؛

۷-۲-۵ pH متر.

۸-۳ در روش جایگزین (تشریح شده در بند ۴-۳)، از دستگاه عبور جریان<sup>۲</sup> یا فشارسنج<sup>۳</sup> تشریح شده در استاندارد ISO 17566 استفاده می‌شود.

### ۶ واکنشگرها و مواد

#### ۱-۶ درجه خلوص واکنشگرها

در کلیه آزمون‌ها، مواد شیمیایی با درجه خلوص شیمیایی واکنشگر باید به کار برده شوند و درجه خلوص آنها به تایید مرجع رسد. امکان استفاده از درجه‌های خلوص دیگر نیز وجود دارد، مشروط بر این که محرز شود که درجه خلوص آنها به اندازه کافی بالا است، به نحوی که باعث کاهش دقت اندازه‌گیری نشود.

۲-۶ آمونیوم هیدروژن فسفات،  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ، ۴/۷۲ g/l.

۳-۶ محلول باریم هیدروکسید (N ۰/۰۲۵)، که با حل کردن ۴۰ g باریم هیدروکسید بی‌آب در یک لیتر آب م قطر، تهیه می‌شود. مواد جامد را پالایه کرده و نرمалیته را از طریق تیتراسیون با اسید استاندارد تایید نمایید و برای جلوگیری جذب  $\text{CO}_2$  از هوا، به صورت محلول روشن مهر و موم شده ذخیره کنید. توصیه می‌شود هنگام اجرای یک سری از آزمون‌ها، ۱ تا ۵ در یک زمان آماده شود. هنگام استفاده از باریم

1 - Moisture-holding capacity

2 - Flow-through

3 - Manometric

هیدروکسید  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ ، باید دقیق شود که پوشش  $\text{BaCO}_3$  روی سطح محلول در بشر تشکیل نشود، که مانع انتشار  $\text{CO}_2$  به محلول جاذب خواهد شد. در روش دیگر، از محلول پتاسیم هیدروکسید ( $\text{KOH}, ۰,۵ \text{ N}$ ) استفاده می‌شود، این محلول از حل کردن  $28 \text{ g}$  پتاسیم هیدروکسید بی‌آب در یک لیتر آب مقطر و به روش مشابه باریم هیدروکسید  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ ، تهیه می‌شود.

#### ۴-۶ هیدروکلریک اسید

اگر از باریم هیدروکسید  $\text{N}_{0,25}$  استفاده می‌کنید غلظت  $\text{HCl}$ ،  $\text{N}_{0,05}$  باشد و اگر از پتاسیم هیدروکسید  $\text{N}_{0,5}$  استفاده می‌کنید، غلظت  $\text{HCl}$ ،  $\text{N}_{0,25}$  باشد.

### ۷ مخاطرات

۱-۷ در این روش آزمون از مواد شیمیایی خطرناک استفاده می‌شود. از تماس با مواد شیمیایی اجتناب کرده و از رویه‌های سازنده و برگه‌های اطلاعات ایمنی مواد، پیروی کنید.

### ۸ خاک

۱-۸ از خاک طبیعی و حاصل‌خیز جمع‌آوری شده از لایه‌های سطحی مزارع و جنگل‌ها، استفاده کنید. یک مخلوط آرمونگاهی با بخش‌های مساوی (برحسب وزن) نمونه‌های خاک به دست آمده از حداقل سه مکان مختلف (به عنوان مثال، مزرعه کشاورزی، جنگل و مرتع یا علفزار)، درست کنید. برداشت خاک از مکان‌های مختلف و متنوع، تنوع زیستی را افزایش خواهد داد. بهتر است از خاک‌هایی که در معرض آلینده‌هایی که باعث آشفتگی قابل توجهی در جمعیت میکروبی می‌شوند، اجتناب شود. برای اطمینان از میکروب‌های فعال، از خاک به صورت تازه استفاده شود. خاک‌های هوا خشک یا یخزده باید قبل از استفاده در این آزمون، دوباره فعال شوند. بهتر است از خاک حاصل‌خیز با بافت "لوم شنی" مطابق با طبقه‌بندی USDA یا "شن سیلتی" مطابق با طبقه‌بندی DIN آلمان، استفاده شود.

۲-۸ منابع خاک باید گزارش شود (به بند ۱-۱-۱۳ مراجعه شود). محل نمونه‌برداری، موقعیت آن، وجود گیاهان یا محصولات، تاریخ نمونه‌برداری، عمق نمونه‌برداری و در صورت امکان، سوابقی مانند جزئیات استفاده از کود و آفت‌کش‌ها را، ثبت کنید.

۳-۸ خاک با اندازه ذرات کمتر از  $2 \text{ mm}$  را الک کنید و مواد گیاهی، سنگ یا سایر مواد بی‌اثر مشهود را بردارید. خاک را در یک ظرف هوابندی شده در دمای  $(4 \pm 1)^\circ\text{C}$  به مدت حداقل یک ماه، ذخیره کنید.

۴-۸ خاک را از طریق روش آزمون استانداردهای ASTM D425، ASTM D2980 و سایر روش‌های آزمون مشابه، برای MHC یا رطوبت گنجایش زراعی آنالیز کنید.

۵-۸ pH خاک را در سوپیانسیون با نسبت ۵ : ۱ (آب مقطر: خاک) و با استفاده از الکترود شیشه‌ای کالیبره شده با بافرهای استاندارد، مطابق روش کار استاندارد ASTM D1293، تعیین کنید. در روش دیگر، تعیین pH خاک با روش آزمون استاندارد ASTM D4972، انجام می‌شود. pH باید بین ۶/۰ تا ۸/۰ باشد. خاک با pH بالای ۸/۰ نسبت به خاک خنثی، بخشی از  $\text{CO}_2$  ناشی از تنفس موجودات ذره‌بینی را در خود حفظ می‌کند (وارد واکنش‌های کربنات می‌شود)، و در خاک با pH زیر ۶/۰ هم ممکن است جمعیت میکروبی غیرمعمول وجود داشته باشد.

۶-۸ مقدار رطوبت (مواد جامد کل - مواد جامد خشک) و خاکستر (مواد جامد کل - مواد جامد فرار) خاک را به ترتیب مطابق D 2540 APHA-AWWA-WPCF و G، تعیین کنید.

۷-۸ بهتر است که بستر مورد آزمون مخلوطی از خاک طبیعی، همان‌گونه که در بند ۱-۸ توصیف شده است و کمپوست کامل، مانند همان چیزی که در پایان روش آزمون استاندارد ASTM D5338 به دست می‌آید، به نسبت ۱ g کمپوست به ۲۵ g خاک باشد که نظیر کاربرد حدود ۱۲۰ تن کمپوست در هر هکتار زمین کشاورزی است (با فرض عمق خاک ۲۰ cm و جرم مخصوص ظاهری  $1.5 \text{ Mg m}^{-3}$ ).

## ۹ نمونه‌ها

۱-۹ نمونه‌ها باید دارای وزن معلوم و مقدار کربن کافی باشند تا با ایجاد دی اکسید کربن کافی برای رسوب در محلول جاذب تشریح شده در این روش آزمون (به بند ۷-۱۰ و ۹-۱۰ مراجعه شود) بتوان اندازه-گیری را با دقت انجام داد. مقدار کربن نمونه را با محاسبه یا آنالیز عنصری، مطابق روش آزمون استاندارد ASTM D4129، تعیین کنید.

۲-۹ بهتر است نمونه‌ها تا حد ممکن ریز یا پودری شوند یا به صورت مواد شکل‌داده شده یا در محلول آیی، مطابق روش استاندارد ASTM D618، باشد. توصیه می‌شود، اما لازم نیست، هر نمونه پودری دارای توزیع اندازه ذره مشخصی (ذرات با قطر مشخص) باشد.

## ۱۰ روش کار

۱-۱۰ آزمون باید در سه تکرار برای هر یک از کنترل فنی، شاهد خاک، مواد مرجع مثبت و مواد آزمون (سه تکرار برای هر مواد آزمون)، انجام شود.

۲-۱۰ بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ g از خاک را در انتهای ظرف، قرار دهید.

۳-۱۰ خاک را با حجم مناسبی از محلول فسفات آمونیوم اصلاح کنید تا نیتروژن آن افزایش یافته و بسته به کربن اضافه شده در نمونه آزمون نسبت N : C بین ۱ : ۱۰ و ۱ : ۲۰ (بر حسب وزن) برسد. مقدار یکسانی از نیتروژن را به نمونه، ظرف شاهد، شاهد خاک و مرجع مثبت اضافه کنید.

**۴-۱۰ آب مقطر تهیه شده مطابق استاندارد ASTM D1193 را اضافه کنید، تا مقدار رطوبت به ۸۰٪ تا ۱۰۰٪ MHC خاک برسد (در صورتی که MHC مطابق روش آزمون استاندارد ASTM D425 تعیین می شود و اگر مطابق با روش آزمون استاندارد ASTM D2989 تعیین شود، آن‌گاه ۵۰٪ تا ۷۰٪ MHC، مناسب است).**

**۵-۱۰ وزن ظرف و درپوش (اگر برای هوابندی ظرف از روغن استفاده کردید، وزن روغن هم لحاظ شود) با خاک درون آن را، ثبت کنید.**

**۶-۱۰ مواد آزمون یا مواد مرجع مثبت را به خاک اضافه کنید (حدود mg ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ کربن برای ۵۰۰g خاک) و به صورت کامل با خاک مخلوط کنید.**

**۷-۱۰ ۱۰۰ml محلول باریم هیدروکسید N ۰,۰۲۵ را در یک بشر ۱۵۰ ml (یا ۲۰ ml پتاسیم هیدروکسید N ۰,۵ در یک بشر ۱۰۰ ml) و ۵۰ ml آب مقطر را در یک بشر ۱۰۰ ml روی صفحه سوراخ دار در داخل ظرف قرار دهید؛ ظرف را مهر و موم کرده و آن را در محفظه یا اتاقک تاریک، بگذارید.**

**۸-۱۰ درجه حرارت بین °C ۲۰ تا °C ۲۸ را انتخاب کرده و تا دمای °C ۲ ± حفظ کنید.**

#### **۹-۱۰ آنالیز دی اکسیدکربن**

**۱۰-۹-۱ دی اکسیدکربن تولید شده در هر ظرف با باریم هیدروکسید واکنش می‌دهد و به صورت کربنات باریم ( $BaCO_3$ )، رسوب می‌کند. مقدار دی اکسیدکربن تولید شده را از طریق تیتراسیون باریم هیدروکسید باقی‌مانده با اسید هیدروکلریک N ۰,۰۵ تا نقطه پایانی فنول فتالیین یا با تیتر کننده خودکار، تعیین کنید. به علت ثابت بودن ظرف انکوباسیون، رسوب کربنات باریم روی سطح مایع تشکیل می‌شود و باید به منظور حصول اطمینان از جذب پیوسته دی اکسیدکربن خارج شده از خاک با تکان دادن آرام ظرف به صورت دوره‌ای شکسته شود. (باتوجه به عدم رسوب‌دهی پتاسیم هیدروکسید، می‌توان با استفاده از KOH به جای Ba(OH)<sub>2</sub> این مشکل را رفع کرد).**

**۱۰-۹-۲ پیش از این‌که همه محلول باریم هیدروکسید به باریم کربنات تبدیل شود، باید آنرا از ظرف تنفس برداشته و، تیتر کرد. با توجه به این‌که یک ظرف دسیکاتور ml ۱۵۰ حدود  $2000\text{ cm}^3$  فضای آزاد دارد، تحت شرایط استاندارد در این فضای داخل ظرف حدود mmol ۱۸/۷  $O_2$  وجود خواهد داشت و از آنجا که ml ۱۰۰ Ba(OH)<sub>2</sub> گنجایش جذب حدود mmol ۲/۵  $CO_2$  را دارد. بنابراین با فرض نسبت تنفسی ۱/۰، اگر پیش از اشباع شدن باریوم هیدروکسید آزمون متوقف شود، مقدار  $O_2$  بالای ظرف هرگز به کمتر از ۱۸٪ نخواهد رسید. مدت زمان آزمون بسته به خاک و مواد آزمون متفاوت خواهد بود و با کم شدن مقدار کربن خاک می‌توان مدت زمان آزمون را به آرامی افزایش داد. تناوب توصیه شده هر ۳ تا ۴ روز برای ۲ تا ۳ هفته اول و هر ۱ تا ۳ هفته پس از آن، است. در زمان برداشتن تله‌ها (محلول جاذب)، به منظور پایش از دست رفتن رطوبت خاک، ظرف را وزن کنید و قبل از جایگزین نمودن ml ۱۰۰ باریم هیدروکسید تازه و**

مهر و موم کردن ظرف، اجازه دهید آن به صورت باز قار گیرد تا هوای تازه در ظرف جریان یابد. اجازه دهید که ظروف به مدت حداقل ۱۵ min و حداقل ۱ h باز بمانند. آب مقطر یا آب یون‌زدایی شده را به صورت دوره‌ای به خاک اضافه کنید تا وزن اولیه ظرف حفظ شود.

۱۰-۱۰ زمانی که همه کربن قابل دسترس اکسیده شود، مقدار تجمعی دی اکسید کربن بیرون آمده از خاک به شرایط پایا می‌رسد. در این حالت انکوباسیون را تا زمانی ادامه دهید که مقدار دی اکسید کربن خالص اندازه‌گیری شده در ظروف مرجع مثبت و/یا ظرف آزمون در چهار هفته متوالی یکسان باشد. در پایان آزمون، pH و مقدار رطوبت و خاکستر خاک را اندازه‌گیری و ثبت کنید. با یک حلال مناسب، هرگونه ماده آزمون باقی‌مانده را از خاک استخراج کنید (اختیاری).

۱۰-۱۱ در مراحل تشریح شده در بندهای ۷-۱۰ و ۹-۱۰، دی اکسید کربن از طریق KOH به دام می‌افتد و از طریق تیتراسیون دی اکسید کربن تولید شده، اندازه‌گیری می‌شود.

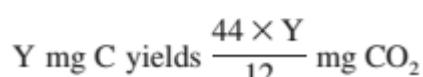
۱۲-۱۰ در روش دیگر، برای اندازه‌گیری مصرف اکسیژن، قرائتها لازم را روی فشارسنج (در سیستم دستی) انجام دهید یا کنترل کنید که ثبت‌کننده مصرف اکسیژن به درستی کار می‌کند (در تنفس‌سنج خودکار).

## ۱۱ محاسبات

۱-۱۱ مقدار کل کربن آلی مواد آزمون را از طریق محاسبه (اگر فرمول شیمیایی آن مشخص باشد) یا با تجزیه عنصری، تعیین کنید. این کار امکان محاسبه مقدار نظری دی اکسید کربن بیرون آمده از ماده آزمون را فراهم می‌کند، همان‌طور که در زیر نشان داده شده است:

مواد = (۱۰۰ / درصد وزنی کربن) × میلی‌گرم ماده افزوده شده به ظرف = Y میلی‌گرم کربن افزوده شده به ظرف :

(1)



۲-۱۱ مقدار دی اکسید کربن خالص تولید شده:

۲-۱۱ تصحیحات لازم را برای دی اکسید کربن تولید شده در محلول شاهد با کم کردن تیتراسیون از تیتراسیون مواد آزمون، انجام دهید.

$$(2) \quad Z_n = Z_b - Z_t$$

که در آن:

$Z_n$  = محاسبه میلی لیتر اسید کلریدریک موردنیاز برای تیتراسیون  $\text{CO}_2$  تولید شده در ظرف آزمون،

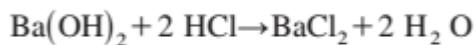
$Z_b$  = میلی لیتر اسید کلریدریک مورد استفاده برای تیتراسیون ظروف شاهد با خاک،

و

$Z_t$  = میلی لیتر اسید کلریدریک مورد استفاده برای تیتراسیون ظروف حاوی خاک به علاوه مواد آزمون.

پس:

(3)



$$\text{m moles of CO}_2 = \frac{\text{m moles HCl}}{2}$$

$Z_t$  کل تولید شده با استفاده از کنترل های فنی همانند  $Z_b$  و مواد آزمون یا محلول شاهد همانند  $\text{CO}_2$  تعیین می شود).

#### ۲-۲-۱۱ تصحیح نرمالیتۀ HCl:

(4)

$$\text{m moles CO}_2 = \frac{(0.05 \text{ N} \times \text{mL HCl})}{2}$$

$$\text{mg of CO}_2 = \frac{(0.05 \text{ N}) \times \text{mL HCl} \times 44}{2}$$

از این رو، مقدار دی اکسید کربن تنفس برحسب میلی گرم از ضرب کردن تیتراسیون اسید کلریدریک در ۱/۱ به دست می آید.

۳-۱۱ درصد دی اکسید کربن نیز به صورت زیر محاسبه می شود:

(5)

$$= \frac{\text{mg CO}_2 \text{ produced}}{\text{mg CO}_2 \text{ theoretical}} \times 100$$

$$= \frac{1.1 w \text{ mL HCl} \times 12}{44 \times Y} \times 100$$

۴-۱۱ خطای استاندارد،  $S_e$  درصد تجزیه‌زیستی را به صورت زیر محاسبه کنید:

(۶)

$$S_e = \text{SQRT}((s^2_{\text{test}}/n_1) + (s^2_{\text{blank}}/n_2)) \times 100/C_i$$

که در آن:

$n_1$  و  $n_2$  = به ترتیب تعداد تکرار مواد آزمون و ظروف شاهد؛  
 $S$  = انحراف استاندارد کربن گازی کل تولیدشده (بر حسب mg)؛

$C_i$  = مقدار کربن اولیه (بر حسب mg) اضافه شده به ظرف.

۵-۱۱ حدود اطمینان٪ ۹۵ (CL) را به صورت زیر محاسبه کنید:

(۷)

$$95\% \text{ CL} = \% \text{ biodegradation} \pm (t \times s_e)$$

که در آن:

$t$  = مقدار توزیع  $t$  برای احتمال ۹۵٪ با درجات آزادی  $(n_1 + n_2 - 2)$ ، در نتیجه  $t = 3 + 3-2 = 4$

۶-۱۱ درصد زیست تخریب‌پذیری از مقادیر اکسیژن مصرفی

مقدار اکسیژن مصرفی را در هر بالن، با استفاده از روش ارائه شده توسط تولیدکننده برای نوع مناسب از تنفس‌سنجد بخوانید. اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی ویژه ( $BOD_s$ ) ترکیب آزمون را به صورت زیر محاسبه کنید:

(۸)

$$= \frac{B_t - B_{bt}}{C_T}$$

که در آن:

$B_t$  = اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی بالنهای حاوی مواد آزمون در زمان  $t$ ، بر حسب میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک آزمون (mg/kg)؛

$B_{bt}$  = اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی بالنهای حاوی خاک در زمان  $t$ ، بر حسب میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک آزمون (mg/kg)؛

$C_T$  = غلظت مواد آزمون در بالنهای آزمون، بر حسب میلی‌گرم در هر کیلوگرم (mg/kg) خاک آزمون.  
درصد تجزیه‌زیستی را به صورت نسبت اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی ویژه به اکسیژن مورد نیاز تئوری ( $ThOD$ )، بر حسب (mg/g) مواد آزمون، همانند زیر محاسبه کنید:

(۹)

$$= \frac{BOD_s}{ThOD} \times 100$$

## ۱۲ تفسیر نتایج و معیارهای اعتبار

۱-۱۲ اطلاعات مربوط به سمیت مواد پلاستیکی در تفسیر نتایج ضعیف، مفید است.

۲-۱۲ در این روش آزمون به منظور بررسی فعالیت خاک، از یک ماده مرجع مشخص برای تجزیه‌زیستی (برای مثال، نشاسته یا سلولز)، استفاده می‌شود. اگر پس از شش ماه، برای این ماده مرجع، تجزیه‌زیستی محدود (کمتر از ۷۰٪  $\text{CO}_2$  نظری) مشاهده شود، آزمون نامعتبر است و آزمون باید با استفاده از خاک تازه تکرار گردد.

۳-۱۲ مقادیر دی‌اکسید کربن محلول شاهد (یا مقادیر BOD برای اندازه‌گیری جایگزین مصرف اکسیژن) باید حدود ۲۰٪ میانگین فاز شرایط پایا یا در پایان آزمون، باشد. در غیر این صورت، آزمون نامعتبر است و باید با استفاده از خاک تازه تکرار گردد.

۴-۱۲ سطح فاز شرایط پایا کربن دی اکسید خارج شده در این روش آزمون و در صورت تمایل، مواد آزمون باقی مانده کمی، درجه(میزان) قابلیت تجزیه‌زیستی مواد پلاستیکی را نشان می‌دهد.

### ۱۳ گزارش

۱-۱۳ داده‌ها و اطلاعات زیر را گزارش کنید:

۱-۱-۱۳ اطلاعات مربوط به خاک، از جمله منبع، pH، درصد رطوبت (و روش اندازه‌گیری مورد استفاده)، (روش اندازه‌گیری مورد استفاده)، مقدار خاکستر، نسبت N:C، تاریخ جمع‌آوری، شرایط ذخیره-سازی، جابجایی و سازگاری بالقوه به مواد آزمون.

۲-۱-۱۳ مقدار کربن یا اکسیژن مورد نیاز نظری مواد پلاستیکی.

۳-۱-۱۳ شکل یا توزیع اندازه ذرات (اگر برای پودر تعیین شود) مواد پلاستیکی.

۴-۱-۱۳ به دلیل اهمیت فاز تاخیری و نمایی، میانگین دی اکسید کربن تا مدت زمان شرایط پایا، به صورت تجمعی گزارش و به صورت گرافیکی نمایش داده شود.

۵-۱-۱۳ درصد تجزیه‌زیستی هوازی تئوری برای هر یک از مواد پلاستیکی آزمون شده و مواد مرجع مثبت.

۶-۱-۱۳ محدوده دمایی آزمون.

۷-۱-۱۳ pH خاک، در ابتدا و انتهای.

۸-۱-۱۳ داده‌ها و اطلاعات اختیاری زیر را در صورت تعیین شدن گزارش کنید:

۹-۲-۱-۱۳ وزن باقی‌مانده مواد آزمون؛

۲-۱۳ میکروارگانیسم‌ها در هر گرم خاک اولیه؛

۲-۱۳ وزن مولکولی مواد پلاستیکی؛

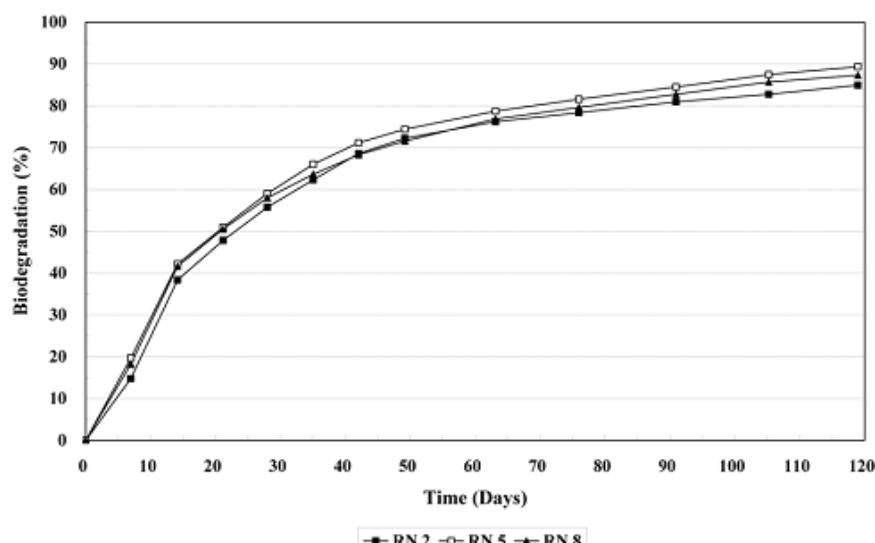
۲-۱۳ وزن مولکولی مواد پلیمری باقیمانده پس از آزمون.

## ۱۴ دقت و اربیتی

۱-۱۴ نتایج برای آزمون تکرارپذیر درون آزمایشگاهی در جدول ۱ ارائه شده است. این داده‌ها نتایج سه اندازه‌گیری مختلف تجزیه‌زیستی سلولز را به صورت یک مرجع مثبت، نشان می‌دهد. میانگین تجزیه‌زیستی سلولز پس از چهار ماه تماس با خاک در تاریکی و در دمای ثابت  $21^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 2^{\circ}\text{C}$ )  $89.4\%$  با میانگین انحراف استاندارد  $2.4\%$  بود. شکل ۲ یک نمایش گرافیکی از اولین اجرا با قابلیت تجزیه‌زیستی  $87.2\%$  به صورت میانگین سه تکرار، با انحراف استاندارد  $2.2\%$  را نشان می‌دهد.

جدول ۱ نتایج آزمون آزمایشگاهی قابلیت تجزیه‌زیستی هوایی مرجع مثبت سلولز افزوده شده به خاک

انحراف استاندارد	میانگین	تجزیه زیستی (%)	$\text{CO}_2$ خالص ماده آزمون (mg/g)	تکرار
۲/۲	۸۷/۲	۱۳۵۹	۱	
۲/۴	۹۴/۳	۱۴۶۹	۲	
۲/۵	۸۶/۶	۱۳۲۲	۳	
۲/۴	۸۹/۴	۱۳۸۳	میانگین سه اجرا	



شکل ۲ - نمایش گرافیکی قابلیت تجزیه‌زیستی بر حسب زمان