# طراحی، ساخت و ارزیابی بیورآکتور هوشمند کمپوست

احسان گوگونانی[۱*]، محمد حسین کیانمهر[۲]، بهزاد آزادگان[۳]، فرشید آقاجانی[۴]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران Googoonani@ut.ac.ir
۲- استاد گروه مهندسی فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران
۳- دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران
۴- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

**چکیده**

مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و اثرات منفی کاربرد این نوع کودها بر محیط زیست و سلامت موجودات زنده و به ویژه انسان‌ها، نیاز به جایگزینی کودهای زیستی مانند کمپوست را به یک الزام و نه یک انتخاب تبدیل کرده است. به همین دلیل، لزوم ساخت بیورآکتورهای تحقیقاتی برای انجام آزمایشات بر روی فرایند تولید کمپوست ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق، با توجه به هزینه‌های نیروی انسانی سعی بر آن شده است یک بیورآکتور هوشمند و بی‌نیاز به انسان طراحی و ساخته شود. دستگاه ساخته شده دارای مخزن درونی، مخزن بیرونی، حسگر دما، واحد کنترل و نشان‌دهنده دما، کمپرسور هوا، شیر قطع و وصل جریان هوا، دبی‌سنج و لوله‌ها و شیلنگ‌های اتصال بود. در این پروژه، تاثیر رطوبت اولیه بر طول دوره ترموفیلیک مواد زیست توده مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد با افزایش رطوبت اولیه از ۴۰٪ به ۵۰٪، طول دوره ترموفیلیک از کمتر از ۱۰ روز به بیشتر از ۱۵ روز افزایش پیدا کرد.

**واژه‌های کلیدی:** بیورآکتور، ترموفیلیک، کمپوست.

## مقدمه

استفاده از کود شمیایی سبب ابقاء مواد معدنی مضر در خاک و فرآورده‌های کشاورزی شده و جایگزینی کودهای شیمیایی با کودهای ارگانیک (کود آلی) به منظور حفظ سلامتی انسان ضروری به نظر می‌رسد. از میان کودهای آلی می‌توان به کمپوست حاصل از ضایعات کشاورزی اشاره کرد که هم از جنبه بازیافت این ضایعات و تبدیل آن به کالایی سودمند دارای اهمیت است و هم در زمینه کشاورزی ارگانیک می‌توان از آن به عنوان راه-گشای مشکلات کشاورزی مانند تخریب ساختمان خاک، شوری خاک، کمبود مواد آلی و افزایش بیماری های ناشی از مصرف کودهای شیمیایی یاد کرد. برای رسیدن به کمپوست با بالاترین کیفیت و صرف کمترین هزینه و انرژی لازم است فرایند تولید این ماده توسط محققان به طور عملی مورد مطالعه قرار گیرد. از این رو، لزوم ساخت بیورآکتور تحقیقاتی تولید کمپوست به طور محسوسی مشاهده می‌شود. فعالیت باکتری‌ها در توده‌های کمپوست به عوامل مختلفی همچون رطوبت، هوا، نسبت کربن به نیتروژن و ... بستگی دارد. رطوبت یکی از عوامل مهم است که تاثیر زیادی در فرایند تولید کمپوست ایفا می‌کند. رطوبت خیلی زیاد و یا خیلی کم باعث کاهش عملکرد فرایند تولید کمپوست می‌شود. بنابراین، کنترل رطوبت عاملی کلیدی در تولید کمپوست به شمار

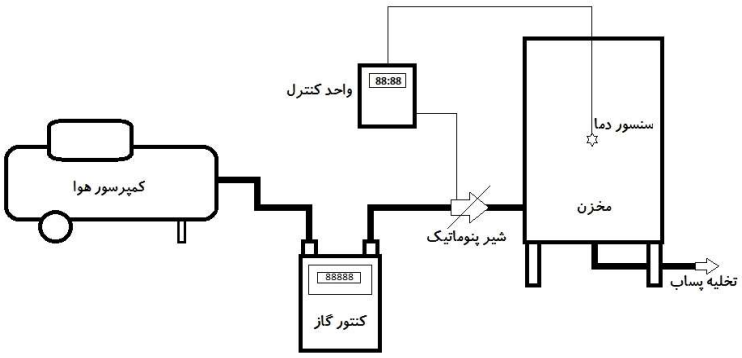
می‌رود (Luo *et al.*, 2004). یکی دیگر از فاکتورهای مهم در فرایند تولید کمپوست دما است. دما یکی از ساده-ترین و در عین حال مهم‌ترین پارامترهای نشان‌دهنده نرخ تولید کمپوست و رسیدگی آن می‌باشد (Tiquia *et al.*, 1996؛ Zhong *et al.*, 2013). دمای بالای مواد داخل بیوراکتور حاصل فرایند ترموفیلیک درون توده کمپوست بوده و طولانی‌تر شدن این مرحله نشان دهنده فراهم بودن همه شرایط مورد نیاز می‌باشد. در این تحقیق، با توجه به هزینه‌های نیروی انسانی سعی بر آن شده است یک بیوراکتور هوشمند و بی‌نیاز به انسان طراحی و ساخته شود.

## مواد و روش‌ها

### طراحی و ساخت بیوراکتور

در این مطالعه، جهت انجام آزمایشات اقدام به طراحی و ساخت بیوراکتور تحقیقاتی شد. به این منظور، دستگاهی ساخته شد که با وجود داشتن حجمی کوچک در مقیاس آزمایشگاهی بتواند همه شرایط فرایند در مقیاس واقعی را در آزمایشگاه شبیه‌سازی کند. با توجه به هزینه‌های زیاد نیروی انسانی سعی بر آن بود دستگاه تا حد ممکن هوشمند طراحی شده و نیاز زیادی به کنترل به وسیله انسان نداشته باشد. این دستگاه شامل مخزن درونی، مخزن بیرونی، سنسور دما، واحد کنترل و نشان‌دهنده دما، کمپرسور هوا، شیر قطع و وصل جریان هوا، دبی‌سنج و لوله‌ها و شیلنگ‌ها بود (شکل ۱).

**شکل ۱.** نمای کلی بیوراکتور



**شکل ۲.** شماتیک کلی دستگاه

### طراحی و ساخت مخازن

دستگاه از دو مخزن درونی و بیرونی ساخته شد. مخزن درونی به حجم 60 L که به منظور جلوگیری از خوردگی، جنس آن پلاستیک پلی‌اتیلن در نظر گرفته شد. مخزن بیرونی به حجم 220 L از جنس ورق فلزی ساخته شد تا استحکام سازه حفظ شود. مخزن درونی به ارتفاع 130 mm از کف و فاصله 85 mm از دو طرف مخزن بیرونی درون آن قرار داده شد. برای جلوگیری از تبادل گرما بین مواد و فضای خارج، فاصله بین دو مخزن با مواد عایق پر شد. صفحه‌ای مشبک داخل و به ارتفاع 50 mm از کف مخزن درونی قرار داده شد. لوله-های فلزی به قطر 20 mm برای انتقال هوا به مخزن درونی و خروج پساب به خارج قرار داده شد ( شکل ۳).

**شکل ۳.** شماتیک مخزن بیوراکتور و قسمت‌های داخلی آن

### سامانه هوا رسانی

به منظور تأمین هوای مورد نیاز بیوراکتور از یک کمپرسور باد استفاده شد. هوا از کمپرسور به وسیله شیلنگ‌ها به یک کنتور گاز (G4 HD 4-110، ایران) با حداکثر ظرفیت $6m^3/h$ و حداقل ظرفیت $0.04m^3/h$ که به عنوان دبی‌سنج استفاده می‌شد، انتقال می یافت و از آنجا به بیوراکتور می‌رسید. به منظور قطع و وصل جریان هوا از یک شیر الکتریکی پنوماتیک استفاده گردید (شکل ۴).

(الف) (ب) (ج)

**شکل ۴.** بخش‌های واحد هوا رسانی (الف) کمپرسور هوا (ب) دبی‌سنج (ج) شیر الکتریکی پنوماتیک

**واحد کنترل و نمایشگر دما**

به منظور پایش دمای درون توده از ترموکوپل نوع K به عنوان حسگر استفاده شد. واحد کنترل وظیفه دریافت اطلاعات سنسور، پردازش و در نهایت ارسال دستور لازم به شیر الکتریکی برای قطع و وصل جریان هوا را به عهده داشت. هم‌چنین، یک سامانه زمانی تعبیه شد که بوسیله آن شیر الکتریکی به فاصله‌های زمانی و مدت زمان مشخص باز و بسته می‌شد. برای نمایش لحظه به لحظه دمای درونی مخزن یک نمایشگر در این واحد قرار داده شد (شکل ۵).

**شکل ۵.** واحد کنترل و مانیتورینگ

**روش ارزیابی دستگاه**

برای تامین مواد اولیه کمپوست از کود تازه گاو شیری گاوداری پردیس ابوریحان، چمن، برگ خشک و شاخه خشک جمع آوری شده از محوطه پردیس ابوریحان استفاده شد. برگ و شاخه‌ها بوسیله یک کوبنده پشت تراکتوری به اندازه‌های 1-2cm خرد شدند. برای بدست آوردن نسبت کربن به نیتروژن مورد نیاز مواد به نسبت-های مشخص با هم مخلوط شدند (جدول ۱). مواد به دو گروه با رطوبت اولیه ۴۰٪ و با رطوبت اولیه ۵۰٪ تقسیم شدند. بیشترین مقدار تجزیه مواد و بالاترین درجه حرارت با نرخ هوادهی $0.4l\ air\ min^{-1}\ kg^{-1}$ میسر می-شود (Kulcu *et al*., 2003). بنابراین، مقدار هوادهی و زمان بندی بر این اساس تنظیم شد. بالاترین درجه حرارت واحد کنترل روی 65°C تنظیم شد به طوری که به محض رسیدن دمای مخزن به این دما شیر الکتریکی عمل کرده، هوا وارد مخزن شده و دما کاهش می یافت. دمای مخزن تا روزی که دمای آن به دمای محیط رسید با فاصله های زمانی ۱۲ ساعت اندازه‌گیری شد.

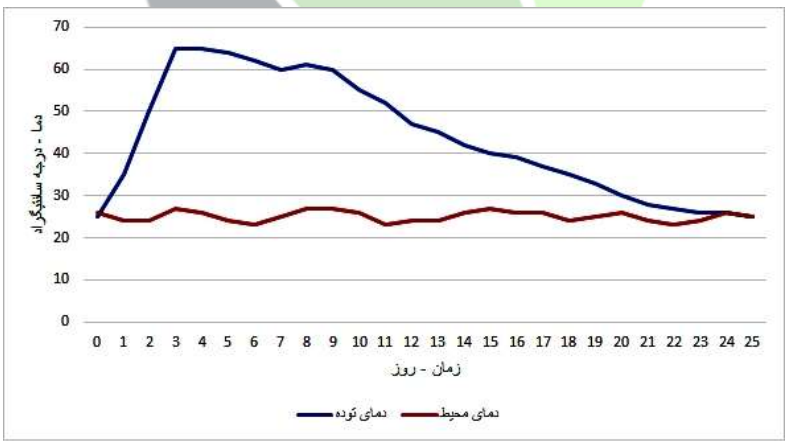
**جدول ۱.** نسبت‌های مواد به کار رفته در آزمایش بیوراکتور ساخته شده

| ماده | کود گاو شیری | چمن | برگ خشک | شاخه | مجموع |
|---|---|---|---|---|---|
| نسبت ( kg ) | ۸.۱ | ۱۱ | ۷.۴ | ۱.۵ | ۲۸ |
| نسبت کربن به نیتروژن | ۱۳:۱ | ۱۵:۱ | ۴۷:۱ | ۲۲۶:۱ | ۲۶:۱ |

**نتایج و بحث**

دستگاه ساخته شده بدون نیاز به نیروی انسانی همه وظایف نمایش و کنترل دما، زمان‌بندی و قطع و وصل جریان هوا را از ابتدا تا انتهای فرایند به طور خودکار و شبانه‌روزی انجام داد. حجم دستگاه به اندازه‌ای بود که بتوان آن را درون آزمایشگاه قرار داد. مقادیر دمای ثبت شده به صورت نمودار در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در رطوبت اولیه ۴۰٪ افزایش دما در ۳ روز اول با سرعت کمتری نسبت به مواد با رطوبت اولیه ۵۰٪ افزایش یافت. در ادامه مشاهده می‌شود دمای مواد با رطوبت اولیه کمتر بلافاصله پس از یک روز بطور ناگهانی افت کرد، اما مواد با رطوبت اولیه بیشتر تا روز نهم دمای بالای 60°C را حفظ کرد و پس از آن به مرور شروع به از دست دادن دما نمود. بدین ترتیب نتایج حاصل از مقایسه میانگین دماهای ثبت شده در هر روز برای دو گروه نشان داد با افزایش رطوبت اولیه از ۴۰٪ به ۵۰٪ طول دوره ترموفیلیک از کمتر از ۱۰ روز به بیشتر از ۱۵ روز افزایش پیدا کرد.

**شکل ۶.** دمای زیست‌توده با رطوبت ۴۰٪




**شکل ۷.** دمای زیست‌توده با رطوبت ۵۰٪

## منابع

1- Kulcu, R., and O. Yaldiz. 2003. Determination of aeration rate and kinetics of composting some agricultural wastes. Bioresource Technology 93: 49–57.

2- Luo, W., and T. B. Chen. 2004. Effects of moisture content of compost on its physical and chemical properties. Acta Ecology Sinica 24: 2656–2663.

3- Tiquia, S. M., Tam, N. F. Y., and I. J. Hodgkiss. 1996. Effects of composting on phytotoxicity of spent pig-manure sawdust litter. Environmental Pollution 93: 249–256.

4- Zhong, J., Wei, Y., Wan, H., Wu, Y., Zheng, J., Han, S., and B. Zheng. 2013. Greenhouse gas emission from the total process of swine manure composting and land application of compost. Atmospheric Environment 81: 348–355.

# Design, Development and Performance Evaluation of an Intelligent Compost Bioreactor

Ehsan Googoonani[1*], Mohammad Hossein Kianmehr[2], Behzad Azadegan[3], Farshid Aghajani[4]

1- MSc Student, Department of Agrotechnology, College of Abouraihan, University of Tehran
googoonani@ut.ac.ir
2- Professor, Department of Agrotechnology, College of Abouraihan, University of Tehran
3- Associate Professor, Department of Irrigation and Drainage, College of Abouraihan, University of Tehran
4- MSc Student, Department of Agrotechnology, College of Abouraihan, University of Tehran

## Abstract

Irregular using of chemical fertilizers and negative effects of these compounds on environment make organic fertilizers such as compost necessary in modern agriculture. Therefore, development of bioreactors is important to study on the compost processing. In this study, an intelligent bioreactor that did not need to human to utilize was designed and constructed. Constructed system included: outer tank, inner tank, temperature sensor, temperature display, air compressor, air flow valve, flow-meter, pipes and connection hoses. In this research, effects of initially moisture on the thermophilic period of biomass were studied. Results showed that thermophilic period increased form less than 10 days to more than 15 day with increase of initially moisture from 40% to 50%.

**Keywords:** Bioreactor, Compost, Thermophilic period.