مجله تازه های بیوتکنولوژی سلولی- مولکولی
دوره چهارم، شماره سیزدهم، زمستان ۱۳۹۲

NCMBJ
Research Article
مقاله تحقیقی

# بررسی کارایی شاخص دینامیک میکروبی و فعالیت آنزیمی نسبت به روش های متداول و استفاده از آن به منظور تعیین میزان رسیدگی کود کمپوست

فاطمه نجات زاده[۱]، فتح الله غلامی بروجنی[۲*]

[۱] استادیار گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی خوی، آذربایجان غربی، خوی، ایران
[۲] عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی موثر برسلامت و استادیار گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ارومیه، ارومیه، ایران

## چکیده

**سابقه و هدف:** در این مطالعه به بررسی آزمایشگاهی دینامیک میکروبی و فعالیت آنزیمی به منظور بررسی میزان تجزیه مواد آلی در طول انجام فرایند کمپوست سازی سریع و متداول مواد زائد شهری پرداخته شده است.

**مواد و روش ها:** با استفاده از شاخص دینامیک میکروبی و فعالیت آنزیمی آنزیمهای آمیلاز، پروتئاز، فسفاتاز و سلولاز به بررسی رسیدگی کمپوست پرداخته شده است. همچنین پارامتر های مختلف مثل سرعت هوادهی، افزودن مواد شیمیایی مثل گلوکز(G) و اسید استیک (AA) و کاربرد بیومس میکروبی (M) به منظور تسریع در تجزیه مواد زائد شهری مورد مطالعه قرار گرفت.

**یافته ها:** نتایج نشان داد که تجزیه مواد آلی با سرعت بالایی (در طول ۹ تا ۱۲ روز) در فرایند کمپوستینگ سریع کنترل شده نسبت کربن به ازت C/N)) را به کمتر از ۱۵ رسانده است که این نسبت تاکنون به عنوان یکی از شاخص های رسیدگی کود تلقی میشد. در صورتی که در فرایند کمپوستینگ معمولی در مدت زمان ۲۰ روز نسبت C/N به زیر ۲۰ رسیده است. تولید آنزیم های انتخاب شده ( آمیلاز، پروتئاز، فسفاتاز و سلولاز) نشانگر سرعت تجزیه ویژه مواد آلی ناپایدار موجود در مواد زائد شهری می باشد.

**نتیجه گیری:** بنابراین میتوان از این مطالعه استنباط نمود که فرایند کنترل شده کمپوستینگ مواد زائد شهری در مقایسه با روش متداول با سرعت بیشتری انجام می شود و روشهای استفاده از شاخص دینامیک میکروبی و فعالیت آنزیمی به جای روشهای سنتی در تعیین میزان رسیدگی کود، شاخصهای دقیقتری می باشند.

**کلمات کلیدی:** کمپوست، فعالیت آنزیمی، دینامیک میکروبی، مواد زائد شهری، بیومس میکروبی

## مقدمه

اخیراً کاربرد روش کمپوست به منظور بازیافت مواد آلی مواد زائد شهری به دلیل بالا بودن مواد آلی در پسماند شهری و همچنین راهبری آسان فرایند مورد توجه زیادی قرار گرفت. تبدیل مواد آلی به واحدهای ساده تر کربن آلی و نیتروژن هدف اولیه تبدیل مواد آلی به کود کمپوست است. در ایران نیز به دلیل اینکه بین ۷۰٪-۵۰٪ پسماند شهری را مواد آلی تشکیل می دهد(۵). این فرایند در بسیاری از شهرهای کشور مانند تهران، مشهد، شیراز، همدان مورد استفاده قرار می گیرد. بدون شک کمپوست مواد آلی پسماند شهری روش مناسبی برای بازیافت این مواد می باشد ولی این فرایند به خاطر معایبی مثل زمان زیاد و فضای مورد نیاز، همچنین نیروی انسانی مورد نیاز کاربرد این تکنولوژی مناسب را با مشکلاتی مواجه ساخته است. کاهش زمان مورد نیاز برای فرایند کمپوست سازی با کاهش قابل توجه در نسبت C/N به عنوان یکی از گزینه های مناسب تولید کمپوست محسوب می شود (۲). دیگر مشکل سرراه فرایند تولید کمپوست ارزیابی میزان رسیدگی کمپوست است. پارامترهای مختلفی برای این ارزیابی وجود دارد از جمله این روشها می توان به موارد زیر اشاره نمود (۷).

۱- تغییر در ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی کود کمپوست ۲- روشهای رنگ سنجی و اسپکتروسکوپی ۳- تست رویش یا جوانه زنی ۴- فعالیت آنزیمی

همچنین Hue در سال ۱۹۹۵ استفاده از نسبت کربن آلی قابل

آدرس نویسنده مسئول : دانشگاه علوم پزشکی ارومیه، دانشکده بهداشت، گروه بهداشت محیط
Email :gholami_b_f@yahoo.com
تاریخ دریافت مقاله: ۹۱/۱۲/۱۹
تاریخ پذیرش: ۹۲/۳/۱۲

Archive of SID
www.SID.ir

حل در آب به کل نیتروژن آلی را به عنوان روش مناسب تست رسیدگی کمپوست اشاره کرده است و همچنین این نسبت را ۷۰٪> به عنوان پایداری کود اشاره کرد (۴). با این وجود فراوانی تغییرات شیمیایی و بیولوژیکی که در طی فرایند کمپوست سازی رخ می دهد و روشهای به کار رفته برای پایش این تغییرات دارای مشکلات فراوانی می باشد (۱). بنابراین سهولت و کاربرد آسان تکنیک های آزمایشی برای پایش و بررسی ویژگی های کمپوست امری ضروری به نظر می رسد. در یک سیستم عمومی مواد زائد، راندمان کلی شکستن مواد آلی وابسته به فعالیت میکروبی می باشد. میکرو ارگانیسم ها در بین انواع مختلف سوبستراهای موجود در پسماند عمدتاً با استفاده از آنزیم های هیدرولیتیک عمل تجزیه مواد آلی را انجام می دهند (۳). آنزیم های آزاد شده به وسیله میکروارگانیسم ها در طی فرایند کمپوست سازی موجب شکستن انواع ترکیبات آلی دارای ساختار پیچیده می شود و منجر به ایجاد ترکیبات ساده و قابل حل در آب می شوند (۵). تجزیه سوبستراهای ناپایدار موجود در مواد آلی را می توان با مطالعه هیدرولازهای ویژه که قابلیت اندازه گیری ساده ای دارند و همچنین برای سوبسترای اختصاصی می باشند مورد بررسی قرار داد (۶). آنزیم های مختلف هیدرولیتیک سرعت تجزیه سوبسترا را کنترل می کنند.آنزیم های مهم تجزیه مواد آلی در فرایند کمپوست شامل:سلولاز (که تجزیه ترکیبات سلولزی را کاتالیز می کنند) بتا گلوکوزیدازها (که هیدرولیز گلوکزها را انجام می دهند)،اوره آز (که معدنی سازی ترکیبات ازتی را انجام می دهند)، فسفاتازها و آریل سولفاتازها (که حذف گروه فسفات و سولفات را از ترکیبات آلی انجام می دهند) می باشند (۶). شناسایی فعالیت های آنزیمی در طی فرایند کمپوست سازی می تواند بازتاب مناسبی از دینامیک فرایند کمپوست باشد و همچنین میزان رسیدگی کمپوست را نشان دهد. همچنین تجزیه مناسب ترکیبات آلی ارتباط زیادی با فعالیت آنزیمی و کمیت و کیفیت مواد آلی دارد و می تواند اطلاعات خوبی از پایداری کمپوست تولید شده به ما بدهد. این روشها نسبت به سایر روشهای بررسی پایداری کمپوست آسانتر، سریعتر و نسبتاً ارزانتر می باشد. با توجه به مسائل ارائه شده در بالا در این مطالعه به بررسی آزمایشگاهی دینامیک میکروبی و فعالیت آنزیمی به منظور بررسی میزان تجزیه مواد آلی در طول انجام فرایند کمپوست سازی سریع و متداول مواد زائد شهری پرداخته شده است. تا بتوان استفاده از شاخص دینامیک میکروبی و فعالیت آنزیمی به جای روشهای سنتی در تعیین میزان رسیدگی کود کمپوست را مورد بررسی قرار داد.

## مواد و روش ها

### جمع آوری و فراوری مواد زائد شهری

مواد زائد شهری در شرایط مناسب جمع آوری و به آزمایشگاه پژوهشگاه ملی مهندسی ژنتیک و زیست فناوری منتقل شده و بعد از غربال کردن اولیه مواد زائد با استفاده از روش Air clas-sification، سایر مواد زباله مثل شیشه، پلاستیک و سایر مواد جداسازی شدند. مواد باقیمانده درآون آزمایشگاهی در دمای ۶۰ درجه به مدت ۲ روز خشک شدند و سپس با استفاده از خردکن تا اندازه ۱/mm۵ -۰/۵ خرد شدند و ویژگیهای فیزیکو-شیمیایی این مواد با استفاده از پروتکلهای استاندارد (Standard Meth-ods for Analysis of Solid Waste) مورد بررسی قرار گرفتند.

### انجام آزمایشات

کمپوست سازی سریع ( R.C ) در یک راکتور با ظرفیت kg۵ انجام شد. هوای مورد نیاز با استفاده از دو پمپ آکواریومی (۱۲ساعت در روز با میزان۱/۲ min / kg OM/l)تامین شد. یک لایه سنگ ریزه با ضخامت ۵cm-۳ درکف راکتور ایجاد شد که شیرابه تولیدی را در طی فرایند جمع آوری کند. همچنین یک راکتور شاهد با همین ویژگی ولی بدون هوادهی به عنوان کمپوست ساز معمولی (N.C ) ساخته شد. ۲ کیلوگرم از مواد خشک شده و خرد شده فوق در راکتور ریخته شده و آب پاشی روی آن انجام شد و سپس مواد بیولوژیکی و شیمیایی مثل گلوکز (G ) (۱۰گرم به ازای هر ۲kgمواد) اسید استیک ( AA) (۴۰-۳۵ میلی لیتر به ازای هر۲کیلوگرم تا pH به ۵/۵ برسد) و همچنین تلقیح میکروبی(M) سلولولیتیک (۱۰۰میلی لیتر بیومس حاوی کریزوسپوریوم (chrysosporium) (/ ml CFU/)۱۰$^{۶}$*CFU/۵۱)و همچنین تریکودرما (Trichoderma) (CFU/ ml ۱۰$^{۶}$*۰/۶) در سه راکتور مشابه اضافه شدند و راکتور شاهد بدون هوادهی و افزودن عوامل فوق که به عنوان کمپوست سازی معمولی (N.C) مشخص می شود. تمامی راکتورها در ۵۵٪ رطوبت انجام شده است.

بطورکلی چهار راکتور به شکل زیر مورد مطالعه قرار گرفتند.



Archive of SID

www.SID.ir

۱- N.C(کمپوست سازی معمولی بدون هوادهی) ۲- هوادهی+گلوکز(A+G ) ۳- هوادهی +گلوکز +استیک اسید( A+G+AA)

۴-هوادهی +گلوکز+استیک اسید+بیومس میکروبی ( A+G+AA+M)

تمامی راکتورها همزمان راه اندازی شدند و به مدت ۲۱ روز پایش شدند. تمامی آزمایشات در دمای اتاق ۲۵ درجه و رطوبت نسبی ۴۵٪ انجام شد.

**آنالیز فیزیکو شیمیایی کمپوست**

نمونه های کمپوست در تمامی راکتورها هر دو روز یکبار به منظور آنالیز ویژگیهای فیزیکو شیمیایی و بیولوژیکی مورد بررسی قرار گرفت. نمونه ها درهوای خشک ċ ۲۹-۲۷ تا ۴ روز قابل نگهداری بود. pH نمونه ها پس از حل کردن (W/V) (۱ به ۵) در آب مقطر اندازه گیری شد.تغییرات دمایی در طی فرایند با استفاده از دماسنج جیوه ای که در وسط توده قرار گرفته پایش شده است. کربن آلی کمپوست با استفاده ازروش سوزاندن در کوره اندازه گیری شد. نیتروژن کل با استفاده از روش کجلدال KJeldahl سنجش شد. (باکتریها و قارچها) بیومس با استفاده از کشت در محیط کشت ویژه میکروارگانیسم در پلیت و واحد تشکیل کلونی (CFU) و انکوباسیون در ۳۷ درجه سنجش شد. فعالیت آنزیم های انتخابی با روش های زیر سنجش شد (۸و۷و ۲). فعالیت آنزیم آمیلاز در pH=۵/۲ با استات سدیم استیک اسید و از نشاسته به عنوان سوبسترا استفاده شد (روش Nal-son-Somogyi) (۹)، فعالیت آنزیم فسفاتاز با استفاده از روش Alef و همکاران (۱۹۹۵)، فعالیت آنزیم پروتئاز با استفاده از اندازه گیری هیدرولیز کازئین طبق روش Ladd، فعالیت سلولاز با استفاده از کربوکسی متیل سلولز به عنوان سوبسترا طبق روش Alef انجام شد(۹و۱).

## یافته ها

**ویژگی های فیزیکو شیمیایی مواد زائد شهری**

ویژگی های فیزیکو شیمیایی مواد زائد شهری نشان می دهد مواد زائد شهری دارای ۶۳/۱۳٪ مواد قابل کمپوست ،۴۵٪ رطوبت و pH=۷/۴ ، کربن آلی ۴۵/۶٪، نسبت اولیه ۳۳/۵۳= C/N و ارزش حرارتی Kcal/kg۲۴۰۰ بود. تغییرات پارامترهای فیزیکو شیمیایی در طی فرایند کمپوست سازی نرمال (N.C) و سریع (R.C) نتایج جالب توجهی را نشان داد. افزایش دمای توده در فرایند R.C بیشتر از N.C بوده است. حداکثر دمای C° ۴۱ در راکتور A+G در سومین روز فرایند ایجاد شد و پس از آن در راکتور(A+G+AA+M) و بعد از آن در A+G+AA و در انتها در روش N.C دمای C۳۰° در ۹-۶ روز از شروع فرایند ایجاد شده است. در جدول ۱نسبت C/N در راکتورهای مختلف آورده شده است. نتایج نشان می دهد کاهش C/N در راکتورهای R.C نسبت به N.C بیشتر بوده است. حداقل C/Nدر راکتورA+G (۱۱/۶۵)دیده شده است و پس از آن A+G+AA (۱۲/۴۴)و A+G+AA+M (۱۴/۶) و در انتها در N.C این مقدار ۱۸/۴ بوده است. نتایج نشان می دهد حداقل C/ N در پایان ۲۱ روز دیده شده است. در طی ۹-۰ روز اولیه سرعت کاهش C/N بیشتر بوده است. نسبت C/ Nکمتر از ۲۰ نشان دهنده رسیدگی قابل قبول در توده کمپوست است که این کاهش در اثر تجزیه مواد آلی و معدنی شدن ایجاد می شود.

جدول ۱- تغییرات C/N در طول فرایند در راکتورهای مختلف

| روز | راکتورها | | | |
|---|---|---|---|---|
| | N.C | A+G | A+G+AA | A+G+AA+M |
| ۰ | ۳۳/۵۳ | ۳۳/۵۳ | ۳۳/۵۳ | ۳۳/۵۳ |
| ۳ | ۳۰/۱۲ | ۲۸/۶۶ | ۲۸/۳۷ | ۲۶/۳۷ |
| ۶ | ۲۶/۵۴ | ۲۱/۹۲ | ۱۸/۳۴ | ۱۸/۴۳ |
| ۹ | ۲۳/۲۹ | ۱۹/۲۶ | ۱۸/۵۵ | ۱۷/۵۰ |
| ۱۲ | ۲۲/۱۳ | ۱۸/۳۱ | ۱۷/۳۹ | ۱۷/۰۴ |
| ۱۵ | ۲۱/۱۷ | ۱۵/۱۷ | ۱۵/۶۳ | ۱۶/۳۵ |
| ۱۸ | ۲۰/۱۷ | ۱۳/۰۶ | ۱۴/۴۴ | ۱۵/۱۳ |
| ۲۱ | ۱۹/۶۴ | ۱۱/۶۵ | ۱۲/۴۵ | ۱۴/۶۱ |

**تغییر در بیومس میکروبی**

جدول ۲ و شکل ۱و۲ تغییرات بیومس میکروبی رادر R.C مواد زائد شهری نشان می دهد. نتایج نشان می دهد بیومس میکروبی R.C تا روز ۱۵ فرایند به سرعت افزایش یافته و پس از آن بطور جزئی کاهش یافته است. در صورتی که در N.C کاهش بیومس میکروبی در طی فرایند دیده شده است. مقایسه راکتورهای R.C نشان می دهد راکتورA+G+AA بیشترین رشد بیومس میکروبی و پیش از آن A+G+AA+M و A+G قرار گرفتند.



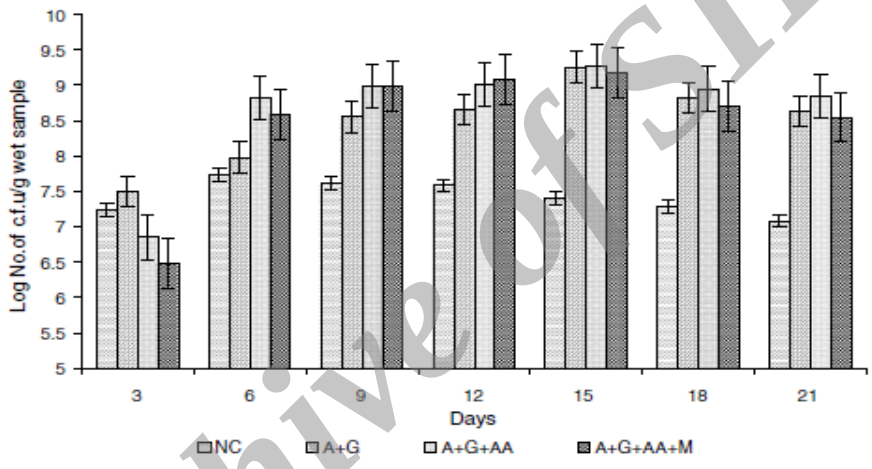
Archive of SID

www.SID.ir

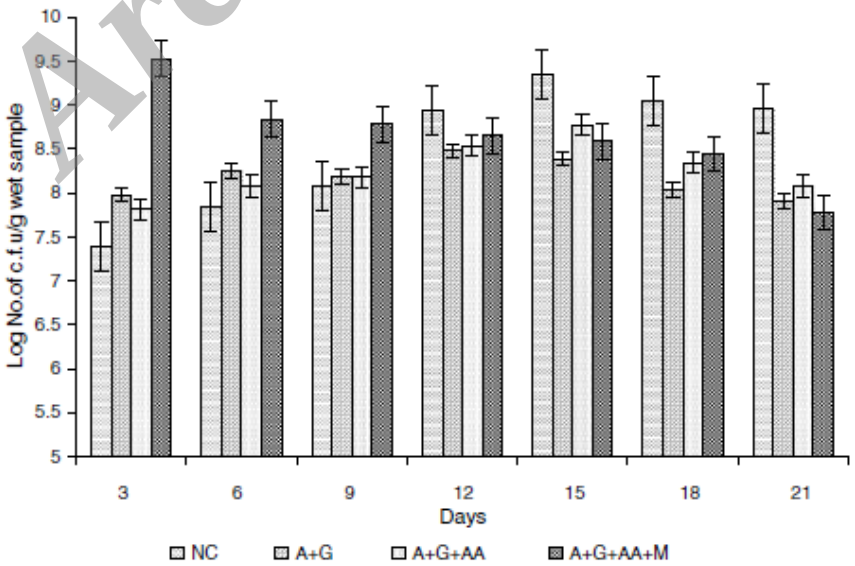
جدول ۲- تغییرات بیومس باکتریایی و قارچی در راکتورها (برحسب LogNo-CFU/ g)

| زمان | راکتورشاهد | | A+G | | A+G+AA | | A+G+AA+M | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| روز | باکتری | قارچ | باکتری | قارچ | باکتری | قارچ | باکتری | قارچ |
| ۳ | ۷/۲۳ | ۷/۳۹ | ۷/۵۱ | ۷/۹۸ | ۶/۸۴ | ۷/۸۱ | ۶/۴۷ | ۹/۵۳ |
| ۶ | ۷/۷۳ | ۷/۸۴ | ۷/۹۸ | ۸/۲۵ | ۸/۸۳ | ۸/۰۸ | ۸/۵۹ | ۸/۸۴ |
| ۹ | ۷/۶۲ | ۸/۰۸ | ۸/۵۶ | ۸/۱۸ | ۸/۹۹ | ۸/۱۸ | ۸/۹۸ | ۸/۷۸ |
| ۱۲ | ۷/۵۸ | ۸/۹۵ | ۸/۶۵ | ۸/۴۸ | ۹ | ۸/۵۴ | ۹/۰۷ | ۸/۶۵ |
| ۱۵ | ۷/۴ | ۹/۳۶ | ۹/۲۵ | ۸/۳۹ | ۹/۲۸ | ۸/۷۷ | ۹/۱۷ | ۸/۵۹ |
| ۱۸ | ۷/۲۸ | ۹/۰۴ | ۸/۸۲ | ۸/۰۴ | ۸/۹۵ | ۸/۳۴ | ۸/۶۹ | ۸/۴۵ |
| ۲۱ | ۷/۰۸ | ۸/۹۷ | ۸/۶۳ | ۷/۹ | ۸/۸۴ | ۸/۰۸ | ۸/۵۴ | ۷/۷۸ |

بیومس قارچی در روزهای ۲۱-۱۵ روز رشد زیادی نداشته است و در راکتور چهارم کاهش بیومس قارچی دیده شده است. ولی در این راکتور با توجه به اینکه بیومس قارچی به آن اضافه شده است بیشترین بیومس قارچی را داشته است.




شکل ۱- تغییرات بیومس باکتریایی در طول دوره کمپوست سازی در راکتورهای مختلف




شکل ۲- تغییرات بیومس قارچی در طول دوره کمپوست سازی در راکتورهای مختلف



Archive of SID
www.SID.ir

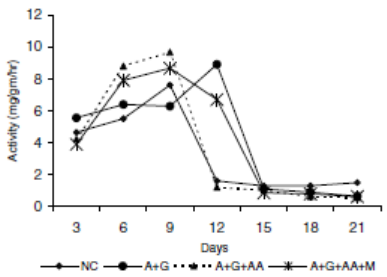
## نتایج فعالیت آنزیمی

### فعالیت آنزیم آمیلاز

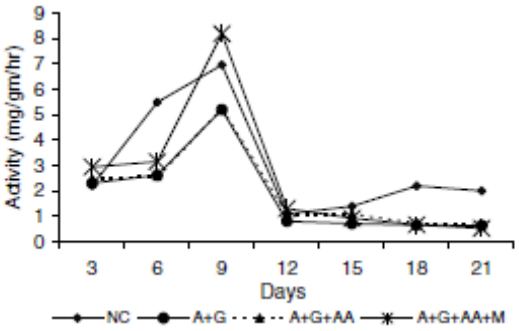
نتایج این مطالعه در شکل ۳ آورده شده است. نتایج نشان می دهد فعالیت آمیلاز در تمامی راکتورها تا روز ۹ فرایند افزایش یافته است. در راکتورهای R.C افزایش فعالیت آمیلاز قابل ملاحظه بوده است. بیشترین رشد فعالیت در راکتور A+G+AA بعد ازآن A+G+AA+M و سپس در A+G دیده شده است ودر راکتور N.C حداقل فعالیت آمیلاز دیده شده است. از نتایج این مطالعه می توان استنباط نمود که حداکثر تجزیه گلوکز در ۹ روز اول ایجاد شده است. به همین دلیل در این زمان فعالیت آمیلاز افزایش داشته است. تولید آنزیم وابسته به بیومس میکروبی می باشد و زمانی که این بیومس تجزیه می شود فعالیت آنزیمی نیز کاهش می یابد. حداکثر فعالیت آمیلاز زمانی بوده که استیک اسید و گلوکز به محیط اضافه شده است. گلوکز به عنوان منبع مهم انرژی میکروارگانیسم هاست و استیک اسید نیز به عنوان منبع کربن سهل الوصول برای بیومس است (۳و ۱۰).

### فعالیت فسفاتاز

نتایج این مطالعه در شکل ۴ آورده شده است این نتایج نیز مشابه فعالیت آنزیم آمیلاز است. یعنی در ۹ روز اولیه فعالیت آنزیمی افزایش یافته است و پس از آن به شدت کاهش یافته است. فسفاتاز یک آنزیم باارزش در زمینه کشاورزی می باشد به دلیل اینکه ترکیبات آلی فسفردار را به فرمهای مختلف فسفر غیر آلی قابل جذب توسط گیاهان تبدیل می کند. این آنزیم در سیکل فسفر یک آنزیم بسیار مهم می باشد. نتایج این مطالعه نشان می دهد فعالیت آنزیم فسفاتاز در فاز اولیه فرایند بالا بوده است و در انتهای روز ۹ به حداکثر خود می رسد و سپس کاهش می یابد. که به خاطر کاهش مقدار فسفات آلی در توده کمپوست می باشد.




شکل ۳- تغییرات فعالیت آنزیم آمیلاز در طی فرایند کمپوست در راکتورهای مختلف



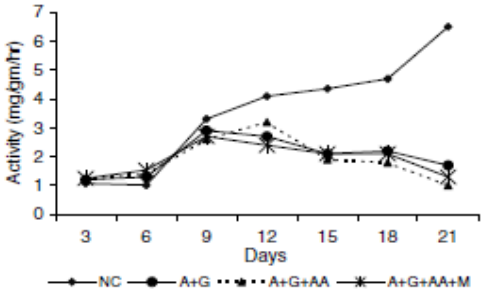

شکل ۴- تغییرات فعالیت آنزیم فسفاتاز در طی فرایند کمپوست در راکتورهای مختلف

### فعالیت آنزیم پروتئاز

نتایج این بخش در شکل ۵ آورده شده است. نتایج نشان می دهد فعالیت پروتئاز نیز مانند دو آنزیم قبلی در ابتدای فرایند افزایش یافته ولی بعداز ۹ روز کاهش فعالیت آنزیم پروتئازجزئی در فرایند R.C دیده شده است. ولی در فرایند N.C فعالیت آنزیم همچنان تا پایان فرایند رو به افزایش بوده است و نشان می دهد همچنان بعد از ۲۱ روز تجزیه پروتئین ها اتفاق می افتد ولی در R.Cکاهش فعالیت بعد از ۹ روز دیده شده است. در فرایند N.C با توجه به اینکه کمپوست سازی کامل انجام نشده است بعد از ۲۱ روز همچنان موادآلی قابل تجزیه وجود دارد.

### فعالیت آنزیم سلولاز

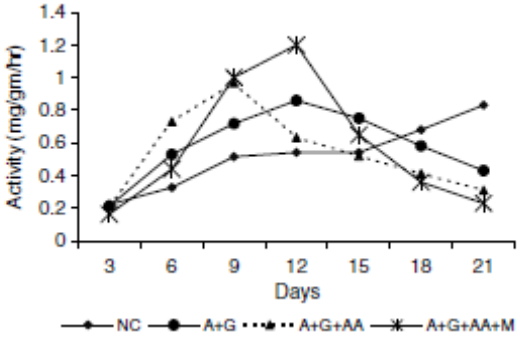
شکل ۶ فعالیت آنزیم سلولاز را در راکتورهای مورد مطالعه نشان می دهد. نتایج این مطالعه نشان می دهد فعالیت آنزیم سلولاز تا روز۱۲ فرایند های R.C افزایش یافته است و سپس کاهش یافته است ولی در مورد N.C همچنان فعالیت این آنزیم رو به افزایش بوده است واین به دلیل نارس بودن توده در طول دوره ۲۱ روزه بوده است. با توجه به این نتایج می توان گفت در طول ۱۲ روز در فرایند R.C حداکثر مقدار سلولاز موجود در توده تجزیه می شود و در پایان دوره کمپوست کاهش می یابد.




شکل ۵- تغییرات فعالیت آنزیم پروتئاز در طی فرایند کمپوست در راکتورهای مختلف



Archive of SID
www.SID.ir




شکل ۶- تغییرات فعالیت آنزیم سلولاز در طی فرایند کمپوست در راکتورهای مختلف

## بحث

دما یکی از پارامترهای مهم در فرایند کمپوست می باشد. افزایش دما در هر مرحله از کمپوست در نتیجه رسیدن به فاز ترموفیلیک می باشد. دمای توده در طی فرایند در نتیجه تجزیه سریع مواد آلی سریع تجزیه پذیر و ترکیبات نیتروژنه توسط میکروارگانیسم ها ایجاد می شود. و پس از تجزیه مواد دمای توده کاهش می یابد و به دمای محیط نزدیک می شود. مطالعات نشان می دهد دمای توده کمپوست در فاز ترموفیلیک به ۶۵-۶۰ می رسد(۷) ولی در این مطالعه حداکثر دما ۴۵-۳۶در راکتور ها ثبت شده است که ممکن است در اثر هوادهی ایجاد شده باشد. راندمان کمپوست سازی سریع R.C با تغییردرپارامترهای فیزیکی (هوادهی)، شیمیایی (اسیداستیک) و بیولوژیکی (بیومس میکروبی) منجر به افزایش سرعت تولید کود می شود. pH در فرایندR.C باگذشت زمان تا ۲۱ روز رو به افزایش بود و در پایان فرایند حداکثر pH گزارش شده است. ولی در فرایند N.C با گذشت زمان pHکاهش یافته که ممکن است در اثر بی هوازی شدن توده ایجاد شده باشد. همچنین افزایش pH در فرایند R.C ممکن است در اثر آمونیفیکاسیون ایجاد شده باشد که این خود نشان می دهد در R.C فرایند سریعتر انجام می شود. نتایج این مطالعه نشان می دهد R.C با استفاده از مواد شیمیایی و آنزیمها به سرعت می تواند نسبت C/N را کاهش دهد. در نتیجه سرعت کمپوست نسبت به N.C بیشتر است. حداکثر فعالیت فسفاتاز در راکتور A+G+AA+M دیده شده است. که می تواند ناشی از شرایط و منبع کربن و انرژی که توسط میکروارگانیسم ها سریعاً قابل دسترس است می باشد. حداکثر فعالیت سلولاز در راکتور A+G+AA+M دیده شده است و می تواند به خاطر افزودن محیط قارچی به توده در ابتدای فرایند کمپوست سازی باشد. فعالیت سلولاز در ابتدای شروع فرایند در راکتور N.C به این خاطر است که بیومس قارچی در توده موجود نبوده است ولی در فازهای بعدی تولید کمپوست قارچها رشد کرده و فعالیت سلولاز شروع شده است دلیل دیگر می تواند این باشد که به دلیل کاهش نسبت C/N در فازهای بعدی فرایند N.C که منجر به افزایش نیتروژن در دسترس شده و رشد قارچها تشدید یافته است. همچنین می توان استنباط نمود که روشهای فیزیکی و شیمیایی نمی تواند شاخص مناسبی برای رسیدگی کمپوست باشد چراکه همچنان در حال تجزیه می باشد ولی C/N کاهش پیدا نمی کند. اغلب قارچها مسئول تجزیه سلولز در توده می باشند. Hirari در سال ۱۹۸۳ گزارش کرد که نسبت C/N نمی تواند به عنوان یک شاخص برای رسیدگی کمپوست مطرح شود به خاطر اینکه این نسبت به شدت وابسته به طبیعت مواد آلی موجود در کمپوست است. از نتایج مشخص است سرعت تجزیه مواد پایدار در توده کمپوست مثل سلولز در فرایند R.C بیشتر از فرایند N.C بوده است. همچنین می توان نتیجه گیری کرد که پارامترهای فیزیکو شیمیایی مثل نسبت C/N نمی تواند به عنوان شاخص مناسبی برای تعیین میزان رسیدگی توده باشد و از این پارامترها به منظور تعیین میزان تجزیه سوبستراهای مختلف نمی توان استفاده کرد بنابراین پارامترهای مختلفی مثل دینامیک های میکروبی و فعالیت آنزیمی می توانند شاخص مناسبی برای بررسی وضعیت توده کمپوست باشند.

## تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از صندوق حمایت از پژوهشگران کشور و همچنین از کارشناسان پژوهشگاه ملی مهندسی ژنتیک و زیست فناوری تهران به جهت مساعدت در انجام این کار تحقیقاتی تشکر می نمایند.



Archive of SID
www.SID.ir

## منابع

(1) Alef K, Nannipieri P. Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry. Academic Press, London 2005.
(2) Benitez E, Nogales R, Elvira C, Masciandaro G, Ceccanti B. Enzyme activities as indicators of the stabilization of sewage sludges composting with Eisenia foetida. Bioresource Technol, 2008; 67: 297–303.
(3) Castaldi P, Alberti G, Melis A, Melis P. Evolution of carbon compounds during composting process. Humic substances Environ, 2003; 3 (1): 13–19.
(4) Castaldi P, Garau G, Melis P. Maturity assessment of compost from municipal solid waste through the study of enzyme activities and water soluble fractions. Waste Manag, 2008; 28(3):534-40.
(5) De Oliveira SC, Provenzano MR, Silva MRS, Senesi N. Maturity degree of composts from municipal solid wastes evaluated by differential scanning calorimetry. Environ Technol, 2002; 23: 1099–1105.
(6) Diaz MJ, Madejon E, Lopez F, Lopez R, Cabrera F. Optimization of the rate vinasse/grape marc for co-composting process. Process Biochem, 2002; 37: 1143–1150.
(7) Goyal S, Dhull SK, Kapoor KK. Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity. Bioresource Technol, 2005; 96: 1584–1591.
(8) Keener HM, Elwell DL, Ekinci K, Hoitink HAJ. Composting and value-added utilization of manure from a high-rise swine finishing facility. Compost Sci Util, 2009; 9: 312–321.
(9) Margesin R, Cimadom J, Schinner F. Biological activity during composting of sewage sludge at low temperatures. Int Biodeteriorat Biodegrad, 2006; 57: 88–92.
(10) Vining MA. Bench-scale compost reactors system and the self heating capabilities, Master of Science Thesis, Texas A&M University Department of Civil and Environmental Engineering 2008.

Archive of SID



www.SID.ir