

Original article

Evaluation of Ciprofloxacin Degradation during Composting Process**Ahmad Jonidi Jafari¹****Mahdi Farzadkia¹****Mitra Gholami¹****Mina Mohagheghi^{2*}**

- 1- Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
 2- M.Sc. Student of Environmental Health Engineering, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

***Corresponding author:** Mina Mohagheghi, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Email: minamohagheghi23@gmail.com

Received: 20 January 2018

Accepted: 19 March 2018

ABSTRACT

Introduction and purpose: The growing trend of using antibiotics to control human and animal diseases and lack of attention to the disposal of medical, hospital, and pharmaceutical industry wastes have led to the emergence of environmental problems. regarding this, the present study was conducted to determine the antibiotic degradation of ciprofloxacin during the composting process.

Methods: The present experimental study was conducted using a mixture of livestock manure, fruit residue, straw, and sludge to prepare compost over 40 days. Ciprofloxacin was added to the compost reactors at three concentrations of 20, 50, and 100 mg/kg. The temperature, humidity, carbon to nitrogen ratio, and pH of the compost were monitored, and reactor sampling was performed weekly. The analysis of antibiotics was accomplished using a high-performance liquid chromatography. The data were analyzed through the one-way ANOVA in the SPSS software (version 22).

Results: According to the results, the rates of ciprofloxacin degradation at day 21 and end of the thermophilic phase were 89.47, 88.81, and 86.46% in reactors 20, 50, and 100 mg/kg, respectively. At the end of the process, all three reactors had the removal rate of 99.99%. Moreover, the physio-chemical properties of the final compost were within the national standard.

Conclusion: As the findings indicated, the use of aerobic composting process to degrade ciprofloxacin is an economical, effective, and environmentally friendly method. Accordingly, at the end of the process, 99.99% of ciprofloxacin was degraded.

Keywords: Antibiotic, Ciprofloxacin, Compost, Pharmaceutical waste

► **Citation:** Jonidi Jafari A, Farzadkia M, Gholami M, Mohagheghi M. Evaluation of Ciprofloxacin Degradation during Composting Process. Journal of Health Research in Community. Winter 2018;3(4): 1-11.

مقاله پژوهشی

بررسی میزان حذف آنتی بیوتیک سپروفلو کسائین در طول فرایند کمپوست مشترک

چکیده

مقدمه و هدف: امروزه گسترش روزافزون استفاده از آنتی بیوتیک‌ها جهت کنترل بیماری‌های انسان و حیوانات و نیز عدم توجه به دفع پسماندهای دارویی، فاضلاب‌های بیمارستانی و صنایع دارویی موجب بروز معضلات زیست محیطی شده است. در این ارتباط، پژوهش حاضر با هدف بررسی کارایی حذف آنتی بیوتیک سپروفلو کسائین به عنوان پسماند دارویی در طول فرایند کمپوست‌سازی انجام شد.

روش کار: در این مطالعه تجربی و کاربردی برای تهیه کمپوست از فضولات دامی، زائدات میوه، کاه و لجن استفاده گردید. مدت فرایند ۴۰ روز بود. سپروفلو کسائین در سه غلظت ۵۰، ۲۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر کیلو گرم به راکتورهای کمپوست اضافه گردید. شرایط دما، رطوبت، pH (Carbon to Nitrogen) C/N و kHPLC (High Performance Liquid) استفاده گردید. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS 22 و براساس آزمون آماری واریانس یک‌طرفه (ANOVA) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

یافته‌ها: میزان حذف سپروفلو کسائین پس از ۲۱ روز و در انتهای فاز ترموفیلیک در راکتورهای حاوی ۵۰، ۲۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر کیلو گرم آنتی بیوتیک به ترتیب برابر با ۸۹/۴۷، ۸۸/۸۱ و ۸۶/۴۶ درصد بود. همچنین در انتهای فرایند، میزان حذف برای هر سه راکتور ۹۹/۹۹ درصد بوده است. شایان ذکر می‌باشد که ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی کمپوست نهایی در محدوده استاندارد ملی بود.

نتیجه‌گیری: استفاده از فرایند کمپوست هوایی جهت حذف آنتی بیوتیک سپروفلو کسائین، اثربخش و سازگار با محیط زیست می‌باشد؛ به طوری که در پایان فرایند ۹۹/۹۹ درصد سپروفلو کسائین حذف شد.

کلمات کلیدی: آنتی بیوتیک، پسماند دارویی، سپروفلو کسائین، کمپوست

احمد جنیدی جعفری^۱
مهردی فرزاد کیا^۱
میترا غلامی^۱
مینا محققی^۲

۱. استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

* نویسنده مسئول: مینا محققی، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

Email: minamohaghegh23@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۲۸

◀ استناد: جنیدی جعفری، احمد؛ فرزاد کیا، مهدی؛ غلامی، میترا؛ محققی، مینا. بررسی میزان حذف آنتی بیوتیک سپروفلو کسائین در طول فرایند کمپوست مشترک. مجله تحقیقات سلامت در جامعه، زمستان ۱۳۹۶، دوره ۳، شماره ۴، ۱۱-۱.

مقدمه

در سال‌های اخیر با توجه به توسعه علوم پزشکی و همچنین شیوع و بروز بیماری‌های مختلف، استفاده از داروها به ویژه

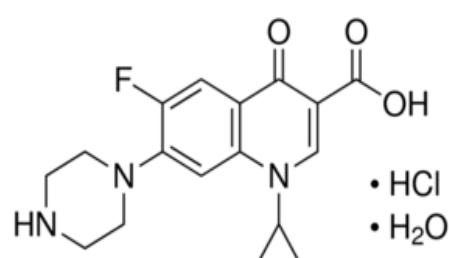
میلی گرم بر لیتر می باشد [۱، ۱۱-۱۳]. وجود این آنتی بیوتیک در آب آشامیدنی باعث سردرد، تهوع، استفراغ، اسهال و واکنش های آلرژیک در انسان شده و موجب تداخل در فتوسترن گیاهان آبری و ایجاد ناهنجاری مورفولوژیکی در گیاهان می گردد و در گیاهان زراعی وارد می شود [۱، ۱۴]. با توجه به موارد بیان شده و گسترش روزافزون استفاده از داروی سپروفلوکساسین و از سوی دیگر خطرات زیست محیطی و عوارض فراوان این دارو برای انسان، کنترل و حذف این آلاینده قبل از ورود به محیط زیست بسیاری ضروری می باشد.

تاکنون روش های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی مختلفی برای حذف آنتی بیوتیک ها مورد بررسی و استفاده قرار گرفته است که از آن جمله می توان به استفاده از پرتو گاما، اشعه ماوراء بخش، اشعه مایکروویو، حرارت، اکسیداسیون و فرایند کمپوست اشاره کرد [۱۵-۱۹]. فرایند کمپوست از جمله روش های اصلاح زیستی بوده و یک رویکرد اقتصادی و سازگار با محیط زیست می باشد که به منظور تخریب آنتی بیوتیک ها استفاده می شود [۱۱]. این فرایند تجزیه بیولوژیکی مواد آلی تحت شرایط کنترل می باشد که منجر به تولید مواد تثبیت شده و سازگار با محیط زیست می گردد. هزینه پایین سرمایه گذاری، راهبری، طراحی و بهره برداری آسان و راندمان بالا از مزیت های کمپوست است [۲۰]. در این زمینه، Mitchell و همکاران میزان حذف آنتی بیوتیک های سولفادیمتوكسین، سولفاتامتازین و فلورفینیکان از فضولات دامی در طول فرایند کمپوست را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در طول ۲۱ روز، بیش از ۹۵ درصد از داروها حذف شدند [۵]. در مطالعه دیگری Caitlin و همکاران در سال ۲۰۱۴ در مورد تجزیه بیولوژیکی سپروفلوکساسین در فرایند کمپوست به این نتیجه دست یافتند که پس از ۲۸ روز، ۸۰ درصد تخریب رخ داده است [۲۱].

کمپوست هوایی یکی از روش های متداول تولید کمپوست بوده و به طور گسترده ای برای اصلاح آلاینده های محیطی به

آنتی بیوتیک ها افزایش یافته است [۱]. مصرف سالیانه آنتی بیوتیک ها در جهان ۱۰۰ تا ۲۰۰ هزار تن برآورد شده است [۲]. آنتی بیوتیک ها در محیط طبیعی از قبیل آب های زیرزمینی و سطحی و خاک حضور دارند و وجود این ترکیبات در محیط موجب برهمندان تعادل اکولوژیکی، ایجاد مقاومت باکتریایی، تغییر جمعیت میکروبی خاک، نفوذ به آب های زیرزمینی و ایجاد بیماری های مختلف در انسان می گردد [۳-۶]. فلورو کینولون ها دسته مهمی از آنتی بیوتیک ها هستند که کاربرد گسترده ای در پزشکی و دامپزشکی دارند [۷]. سپروفلوکساسین یکی از مهم ترین آنتی بیوتیک های این گروه می باشد که در برایر طیف گسترده ای از باکتری های گرم مثبت و منفی فعال است [۸]. این دارو برای درمان عفونت های دستگاه ادراری، تنفسی و گوارشی با عملکرد بالا به کار C₁₇H₁₈FN₃O₃.HCl می رود [۹]. فرمول شیمیایی این دارو بوده و وزن مولکولی آن ۳۶۷/۸۲ گرم بر مول می باشد [۸]. حضور اتم فلوئور در ترکیب این دارو باعث ثبات و پایداری آن در محیط می باشد؛ به همین دلیل به عنوان یک آلاینده در محیط مطرح است [۱۰].

غلظت سپروفلوکساسین در فضولات گاوی ۲۹/۵۹ میلی گرم بر کیلو گرم، در فضولات خوک ۳۳/۹۸ میلی گرم بر کیلو گرم، در فاضلاب و لجن کارخانه داروسازی به ترتیب ۳۰ میلی گرم بر لیتر و ۲/۴ میلی گرم بر کیلو گرم و در پساب بیمارستان ۱۵۰



شکل ۱: ساختار شیمیایی Cip HeL

گردید. Cip HCl با خلوص ۹۹ درصد از کارخانه داروپخش تهیه شد و در سه غلظت ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم به راکتورها اضافه گردید. برای اینکه دارو به طور یکنواخت در کمپوست توزیع شود، در آب و متابول حل گشته و سپس اسپری گردید. شایان ذکر است که یک راکتور به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. علاوه براین، میزان رطوبت توده‌ها در حدود ۵۵-۶۰ درصد تنظیم گردید و در طول فرایند به صورت روزانه اندازه گیری شد. باید خاطرنشان ساخت که در صورت کاهش رطوبت، با اضافه کردن آب میزان آن تنظیم می‌گردید. شیرابه تولیدی در طول فرایند به بستر کمپوست برگشت داده می‌شد و به منظور تأمین اکسیژن، شرایط هوایی و یکنواخت کردن بسترها کمپوست، هم‌زدن به صورت دستی ۲-۳ بار در روز انجام می‌شد. میزان دما نیز به صورت روزانه اندازه گیری می‌گردید؛ اما میزان pH هر چهار روز یک بار اندازه گرفته شد. در مجموع، فرایند کمپوست ۴۰ روز طول کشید.

روش انجام آزمایش و آنالیز نمونه‌ها
آزمایش نیتروژن کل، فسفر کل و کربن آلی به روش ازت کجدال، رنگ‌سنجدی و سوزاندن نمونه‌ها صورت گرفت [۲۴].
نمونه‌ها پس از آماده سازی سوسپانسیون ۱ به ۱۰ وزنی از کمپوست به آب مقطر با استفاده از pH متر (HQ_{40d}-HACH) سنجیده شد.
در ادامه، درصد رطوبت کمپوست از طریق خشک کردن نمونه در دمای ۱۰۳-۱۰۵ درجه سانتی گراد به دست آمد [۲۰]. هدایت الکتریکی نمونه نیز در رقت ۱ به ۱۰ وزنی با استفاده از کنداکتیومتر (HI-8733) اندازه گیری شد [۲۴].

سنجهش غلظت سپروفلوکساسین

غلظت Cip با استفاده از کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (UV/Vis mode I4200) مجهز به دکتور (ECIL, 4100) و ستون C_{18} (۵ میکرومتر، ۲۵۰ در ۴/۶ میلی‌متر) در طول موج

کار می‌رود. مطالعات نشان می‌دهند که تخریب آنتی بیوتیک‌ها در فاز ترموفیلیک کمپوست هوایی یک روش کارآمد می‌باشد [۲۲]. در سال‌های اخیر استفاده از این روش جهت تجزیه و حذف آنتی بیوتیک‌ها در فضولات دامی و لجن روبه افزایش بوده است [۲۱].

بررسی مطالعات انجام شده حاکی از آن هستند که آنتی بیوتیک‌ها تأثیر نامطلوبی در محیط زیست بر جای می‌گذارند. از سوی دیگر با توجه به مزایای فرایند کمپوست‌سازی، امکان توسعه این روش در کاهش آنتی بیوتیک‌ها وجود دارد؛ بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی میزان حذف آنتی بیوتیک سپروفلوکساسین موجود در فضولات دامی و لجن فاضلاب داروپسازی در طول فرایند کمپوست انجام شد.

روش کار

آماده سازی راکتور

در پژوهش تجربی و کاربردی حاضر به منظور تهیه کمپوست از چهار ظرف پلاستیکی ۲۰ لیتری استفاده گردید و کف ظروف برای جریان پیدا کردن هوا و جهت جمع آوری شیرابه سوراخ شد. برای حفظ دمای بسترها کمپوست از عایق حرارتی در اطراف راکتورها استفاده گردید و سطح بستر برای حفظ دما و رطوبت با پوشال پوشانده شد. در این مطالعه به دلیل حضور سپروفلوکساسین در فضولات دامی و لجن فاضلاب کارخانه‌های تولید دارو و همچنین به منظور تنظیم نسبت N/C و بهبود فرایند از کاه و زائدات سبزیجات به صورت مخلوط استفاده گردید [۲۳]. نسبت ترکیب زائدات سبزیجات، فضولات گاوی، کاه و لجن تغییل‌شده کارخانه داروپسازی به ترتیب ۱/۲/۲/۱۰ بود. زائدات سبزیجات پس از انتقال به آزمایشگاه خرد شدند تا اندازه ذرات آن‌ها برای فرایند کمپوست مناسب باشد. وزن نهایی توده کمپوست در هر راکتور ۱۰ کیلوگرم بود. در ابتدا نسبت N/C معادل ۲۰ تنظیم

آماری واریانس یک طرفه (ANOVA) استفاده شد. همچنین برای رسم نمودارها، نرم افزار Excel به کار رفت.

یافته ها

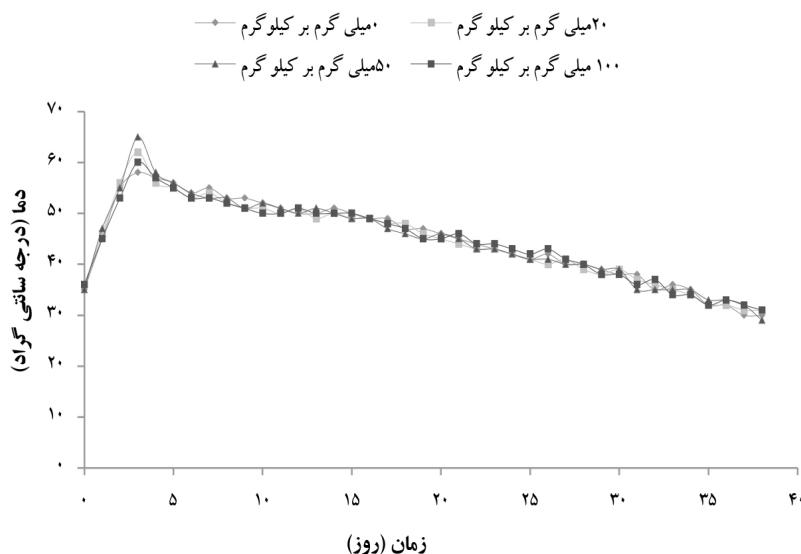
در جدول ۱ نتایج آنالیز فیزیکی-شیمیایی کمپوست در ابتداء و انتهای فرایند نشان داده شده است. در ابتدای فرایند نسبت C/N/P حدود ۱/۵/۱ بود. با گذشت زمان و مصرف مواد آلی این مقدار کاهش یافت و نسبت C/N به ۱۴/۹ و مقدار فسفر به ۰/۸۳ رسید. در نمودار ۱ روند تغییرات دما در طول فرایند نشان داده شده است که در چهار راکتور تقریباً یکسان می‌باشد. دمای راکتورها در ابتدا ۳۵ درجه سانتی گراد بود و از روز دوم وارد فاز ترموفیل شد. در روز سوم به بالاترین میزان یعنی ۶۰ درجه سانتی گراد رسید. لازم به ذکر است که فاز ترموفیل ۱۶ روز طول کشید. در ادامه، دما کاهش یافت و وارد فاز مزووفیل شد. تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که بین تغییرات دما در بارگذاری‌های مختلف تفاوت معناداری وجود ندارد ($P < 0.05$).

نمودار ۲ روند تغییرات pH را در طول فرایند نشان می‌دهد.

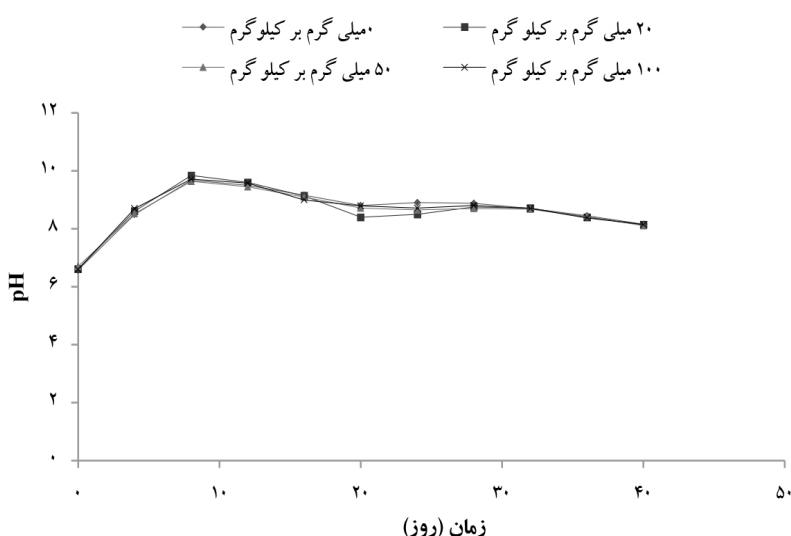
۳۲۰ نانومتر قرائت شد. فاز متحرک ترکیبی با درصد حجمی ۴۰ به ۶۰ مтанول و بافر (فسفات ۲۵ میلی مولار و ۱۵ درصد حجمی تری‌اتیل‌آمین) با دبی ۱ میلی لیتر بر دقیقه و حجم تزریق ۲۰ میکرو لیتر بود [۲۵]. در ابتدا محلول‌های استاندارد با غلظت‌های ۰/۵، ۰/۲۰، ۰/۳۰ و ۰/۵۰ میلی گرم بر لیتر جهت رسم منحنی کالیبراسیون تهیه گردید. نمونه‌برداری از راکتورها هر هفت روز صورت گرفت. برای استخراج Cip از نمونه کمپوست از روش استاندارد EPA Method 1694 استفاده گردید [۲۶]. در این روش نمونه در محلول متابولو، بافر فسفات ۱ درصد و اسید کلریدریک ۰/۱ مولار ریخته شد و به مدت ۱۰ دقیقه در شیکر جای گرفت و به مدت ۱۵ دقیقه سونولیز گردید. در ادامه به مدت ۱۵ دقیقه در سانتریفیوژ با دور ۳۵۰۰ قرار داده شد و در آخر به حجم ۰/۴۵ میلی لیتر رسیده و توسط فیلتر ۰/۴۵ میکرون صاف گردید. برنامه زمانی دستگاه HPLC ۱۵ دقیقه بود. در ادامه با تزریق نمونه به دستگاه، غلظت Cip مشخص شد و راندمان تخریب در زمان‌های مختلف به دست آمد. جهت تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده از نرم افزار آماری SPSS 22 براساس آزمون

جدول ۱: ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی کمپوست

پارامتر	واحد	ابتدای فرایند	انتهای فرایند
کربن آلی	درصد	۵۷/۳	۲۸/۴۸
ازت کجدال	درصد	۲/۸۴	۱/۹۵
فسفر کل	درصد	۰/۶۸	۰/۸۲
پتانسیم کل	درصد	۰/۳۹	۰/۳۲
هدایت الکتریکی	دسي سيمين	۰/۷۶	۱/۰۲
C/N	-	۲۰/۱۷	۱۴/۹
pH	-	۶/۶۲	۸/۱۵
رطوبت	درصد	۶۱	۵۳



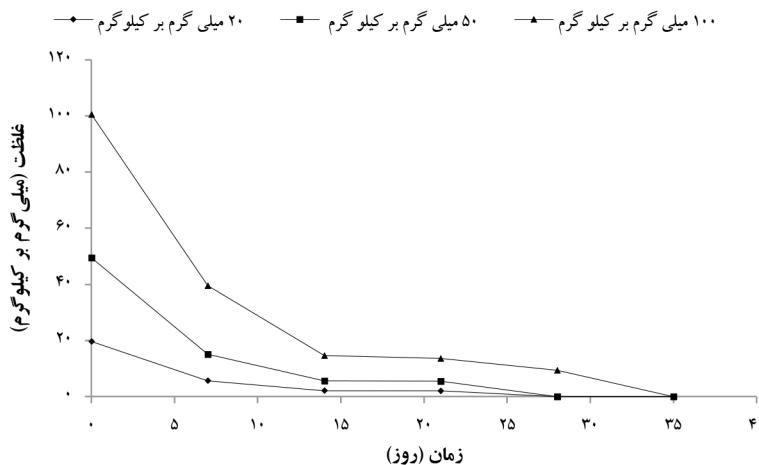
نمودار ۱: تغییرات دما در طول فرایند کمپوست



نمودار ۲: تغییرات pH در طول فرایند کمپوست

ندارد ($P < 0.05$). در نمودار ۳ روند تغییرات غلظت سیپروفلوکساین در طول فرایند در سه راکتور مشاهده می شود. بر مبنای نمودار در ۱۴ روز ابتدایی به روند کاهش بیشتر بوده است. بررسی آماری داده ها

بر مبنای این نمودار تغییرات pH در چهار راکتور تقریباً یکسان می باشد. میزان pH در ابتدای فرایند معادل ۶/۶۲ بوده و در روزهای ابتدایی به سرعت افزایش یافته است. براساس تحلیل آماری داده ها بین تغییرات pH در بارگذاری های مختلف تفاوت معناداری وجود



نمودار ۳: تغییرات غلظت Cip در طول فرایند کمپوستسازی

اشاره کرد. بهترین روش برای کنترل آنتی بیوتیک ها این است که از ورود آن ها به محیط جلوگیری گردد [۲۷]. مطالعات مختلف در این زمینه بیانگر آن هستند که فرایند کمپوست در کاهش غلظت آنتی بیوتیک ها مؤثر می باشد. علاوه بر این، برخی از مطالعات بر این باور هستند که این تخریب می تواند تحت تأثیر دما، pH، سینتیک جذب و تجزیه بیولوژیکی باشد [۲۱].

نتایج آنالیز فیزیکی-شیمیابی کمپوست در ابتدای فرایند نشان داد که نسبت N/C معادل ۲۰/۱۷ بوده و این میزان برای انجام فرایند کمپوست مناسب است؛ اما در انتهای فرایند این میزان کاهش یافته و برابر با ۱۴/۹ می باشد. باید عنوان نمود که این مقدار در محدوده استاندارد ملی قرار دارد. علاوه بر این، بر مبنای نتایج مشاهده گردید که میزان هدایت الکتریکی از ۰/۷۶ به ۱/۰۲ دسی سیمن افزایش یافته است. این هدایت الکتریکی در پایان فرایند در محدوده استاندارد قرار داشت. از سوی دیگر، میزان پتانسیم کاهش یافته و از ۰/۳۹ به ۰/۳۲ درصد رسید که این مقدار کمتر از حد مجاز استاندارد ملی می باشد. مقدار فسفر نیز در ابتدا ۰/۶۸ درصد و در انتهای فرایند ۰/۸۳ درصد بود که نشان از افزایش جزئی آن دارد و این مقدار در محدوده استاندارد ملی می باشد. با توجه به موارد

از وجود تفاوت معنادار بین میزان حذف سپروفلوکساسین در بازگذاری های مختلف می باشد ($P < 0.05$).

مطابق با نتایج تحلیل داده ها بین دما، زمان و pH با درصد حذف سپروفلوکساسین رابطه معناداری وجود دارد ($P < 0.05$). باید عنوان نمود که راکتور شاهد در ابتدای فرایند مورد آزمایش قرار گرفت و مشخص گردید که فاقد سپروفلوکساسین بوده و تداخلی در طول مطالعه نداشته است.

بحث و نتیجه گیری

گسترش مصرف آنتی بیوتیک در درمان انسان و دام باعث افزایش بیش از حد این آلاینده ها در محیط شده است. درصد از آنتی بیوتیک های تجویز شده برای انسان و حیوانات از طریق ادرار و مدفوع دفع می شوند [۵]. یکی از منابع اصلی ورود آنتی بیوتیک ها به محیط، استفاده از کود دامی به روش سنتی در کشاورزی است. همچنین می توان به منابع دیگری چون تخلیه فاضلاب و پساب کارخانه های داروسازی، بیمارستانی و لجن فاضلاب صنایع دارویی و دفع نامناسب زباله های دارویی در محیط

شرایط انجام آزمایش‌ها از جمله نوع ماده خام، نسبت اختلاط، ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی کمپوست، غلظت دارو و مدت زمان فرایند در مطالعات ذکر شده می‌تواند به عنوان علت اصلی بروز نتایج مختلف در نظر گرفته شود.

pH یکی از عوامل مؤثر بر فعالیت بیولوژیکی می‌باشد. براساس نتایج پژوهش حاضر، افزودن سپروفلوکساسین تأثیری بر pH نداشته و نمودار تغییرات pH برای چهار راکتور تقریباً یکسان بوده است. تحقیقات Zhenhu و همکاران در سال ۲۰۱۱ در مورد تغییرات pH در طول فرایند کمپوست کود- کاه نیز نشان داد که تراسایکلین تأثیر معناداری بر تغییرات pH ندارد [۳۰]. pH کمپوست به ترکیب بستر بستگی دارد و می‌تواند متفاوت باشد. در روز اول pH بسترها به طور میانگین معادل ۶/۶۲ بود؛ اما در چند روز اول به سرعت افزایش پیدا کرد و به ۹/۶۸ رسید. این افزایش می‌تواند منجر به تخرب پروتئین موجود در بستر و در نتیجه تولید آمونیاک شود. آمونیاک با آب واکنش داده و به NH_4 و OH تبدیل می‌شود که باعث افزایش pH می‌گردد. با تکامل کمپوست، نیتروژن آلی تقریباً به طور کامل به NH_4N تبدیل می‌شود و تا حدودی به هوا منتقل می‌گردد. شایان ذکر است که حذف NH_4N منجر به کاهش جزئی pH در انتهای کمپوست می‌شود [۳۱]. باید خاطرنشان ساخت که pH در انتهای فرایند حدود ۸/۱۵ بود.

از سوی دیگر، در پایان فرایند (۴۰ روز) تخرب دارو موافقیت آمیز بوده و میزان حذف در سه راکتور یادشده ۹۹/۹۹ درصد بوده است. نتایج تحقیقات Hu در سال ۲۰۱۱ نشان داد ۹۳ که برای غلظت ۶۰ میلی گرم بر کیلوگرم تراسایکلین حدود ۸۵ درصد تخرب رخ داده است که این امر با یافته‌های پژوهش حاضر همخوانی دارد [۳۲]. نتایج نشان می‌دهند که بیشترین حذف در ۱۴ روز اول رخ داده و غلظت راکتور ۲، ۱ و ۳ به ترتیب به ۱۴/۶۲، ۱۴/۶ و ۲/۱۲ میلی گرم بر کیلوگرم کاهش یافته است. این حذف در هفت روز اول با سرعت بیشتری رخ داده و تا آخر

ذکر شده، کمپوست نهایی به سطح استانداردهای کمپوست رسیده است [۲۸، ۲۹]. از سوی دیگر، نمودار تغییرات دما در طول فرایند کمپوست حاکی از آن بود که افزودن سپروفلوکساسین به بسترها کمپوست تأثیری بر درجه حرارت ندارد. همان‌طور که در نمودار مشاهده می‌شود، تغییرات دمایی در چهار راکتور تقریباً یکسان است. Zhenhu و همکاران در سال ۲۰۱۱ تغییرات دمایی را در طول فرایند کمپوست کود- کاه بررسی کردند و به این نتیجه دست یافتند که تراسایکلین تأثیر معناداری در تغییرات دما ندارد [۳۰].

در پژوهش حاضر دمای بسترها در ابتدای فرایند ۳۵ درجه سانتی گراد بود و همان‌طور که نمودار ۱ نشان می‌دهد، بسترها کمپوست از روز دوم وارد فاز ترموفیلیک گردیدند (< 50 درجه سانتی گراد)، در روز سوم به بالاترین دما رسیدند و به مدت ۱۴ الی ۱۶ روز در فاز ترموفیلیک باقی ماندند. باید خاطرنشان ساخت که حفظ درجه حرارت جهت ازین‌بردن میکرووارگانیسم‌های بیماری‌زا مؤثر می‌باشد. تغییرات دمایی در طول کمپوست حاکی از آن هستند که فرایند به چهار مرحله شامل: فاز مزو菲尔، فاز ترموفیل، فاز مزو菲尔 (خنک‌سازی) و مرحله بلوغ تقسیم می‌شود. این تغییرات نشان می‌دهند که فرایند کمپوست به طور کامل انجام شده است. مطالعات بیانگر آن هستند که دلیل اصلی تخرب آنتی بیوتیک، دما بوده و فاز ترموفیلیک کمپوست در غیرفعال کردن آنتی بیوتیک مؤثر می‌باشد. همان‌طور که Metchell و همکاران نیز در سال ۲۰۱۵ نشان دادند، فاز ترموفیلیک نقش مؤثری در تخرب آنتی بیوتیک دارد [۵] که این مهم با نتایج مطالعه حاضر همخوان می‌باشد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که پس از پایان فاز ترموفیلیک، بیشتر از ۸۵ درصد از سپروفلوکساسین در طول ۲۱ روز تخرب شده است. همچنین در پژوهشی که توسط Selvam در سال ۲۰۱۲ صورت گرفت، گزارش گردید که در هفت روز اول فرایند، ۹۵ درصد از سپروفلوکساسین حذف شده است [۱۱]. تفاوت در

در این راستا، نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر بیانگر آن بود که فرایند کمپوست به ویژه فاز ترموفیلیک، یک رویکرد مناسب برای تخریب آنتی بیوتیک سپروفلوکساسین بوده و سازگار با محیط زیست می باشد.

قدرتانی

این مقاله حاصل بخشی از پایان نامه مقطع کارشناسی ارشد با عنوان "بررسی میزان تخریب آنتی بیوتیک مترونیدازول و سپروفلوکساسین با روش های کمپوستینگ، اتوکلاو و مایکروویو" با کد اخلاق REC.IR.IUMS.1395.9411388008 می باشد که با حمایت دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی ایران انجام شده است. بدین وسیله از کلیه کارکنان و پرسنل محترم گروه مهندسی بهداشت محیط و تمامی افرادی که ما را در انجام این مطالعه یاری نمودند، تشکر و قدردانی می گردد.

فرایند با شبیه ملایم تری کاهش پیدا کرده است. در این ارتباط، Selvam در سال ۲۰۱۲ نشان داد که سپروفلوکساسین در هفت روز اول حدود ۹۵ درصد حذف شد و این حذف در غلظت های بالاتر معادل ۷۴ درصد بود [۱۱]. در مطالعه دیگری Caitlin در سال ۲۰۱۴ در ارتباط با تعزیز بیولوژیکی سپروفلوکساسین در فرایند کمپوست به این نتیجه دست یافت که پس از ۲۸ روز، ۸۰ درصد تخریب رخ داده است [۲۱].

با توجه به نتایج به دست آمده در این مطالعه مشاهده شد که در پایان فرایند، ۹۹/۹۹ درصد حذف برای تمامی غلظت ها رخ داده است. مطالعات اخیر حاکی از آن هستند که فرایند کمپوست در مقیاس وسیع در کاهش آنتی بیوتیک ها مؤثر می باشد و کمپوست نیمه عمر آنتی بیوتیک را کاهش داده و سرعت تخریب را افزایش می بخشد. همچنین، پژوهشگران در مطالعات دیگر با کاربرد کمپوست در خاک آلوه نشان داده اند که کمپوست می تواند آنتی بیوتیک موجود در خاک را تخریب کرده و به عنوان اصلاح کننده به کار رود [۵].

References

- Alidadi H, Dolatabadi M, Mehrabpour M, Dehghan A. The efficacy of ciprofloxacin removal by Chitosan/Zeolite composite from aqueous solution: Response surface methodology, kinetic and isotherm studies. *J Health Field* 2017; 5(1):1-12 (Persian).
- Kümmerer K. Significance of antibiotics in the environment. *J Antimicrob Chemother* 2003; 52(1):5-7.
- Zhang H, Liu P, Feng Y, Yang F. Fate of antibiotics during wastewater treatment and antibiotic distribution in the effluent-receiving waters of the Yellow Sea, northern China. *Mar Pollut Bull* 2013; 73(1):282-90.
- Klavarioti M, Mantzavinos D, Kassinos D. Removal of residual pharmaceuticals from aqueous systems by advanced oxidation processes. *Environ Int* 2009; 35(2):402-17.
- Mitchell SM, Ullman JL, Bary A, Cogger CG, Teel AL, Watts RJ. Antibiotic degradation during thermophilic composting. *Water Air Soil Poll* 2015; 226(2):13.
- Seidmohammadi A, Asgari G, Torabi L. Removal of metronidazole using ozone activated persulfate from aqua solutions in presence of ultrasound. *J Mazandaran Univ Med Sci* 2016; 26(143):160-73 (Persian).
- Anderson L. *Antibiotics Guide*. New York: Medically Reviewed; 2016.
- Sani A, Mmuo CC, Abdulraheem RO, Abdulkareem SS, Alemika ET, Sani MA, et al. High Performance Liquid Chromatography (HPLC) method development and validation indicating assay for ciprofloxacin hydrochloride. *J Appl Pharm Sci* 2011;

- 1(8):239-43.
9. Bushra MU, Huda MN, Mostafa M, Sultan MZ, Rahman A. Study of forced degradation of ciprofloxacin HCl indicating stability using RP-HPLC method. *Der. Pharm Chem* 2013; 5:132-7.
 10. Peng H, Pan B, Wu M, Liu Y, Zhang D, Xing B. Adsorption of ofloxacin and norfloxacin on carbon nanotubes: hydrophobicity- and structure-controlled process. *J Hazard Mater* 2012; 233-234:89-96.
 11. Selvam A, Zhao Z, Wong JW. Composting of swine manure spiked with sulfadiazine, chlortetracycline and ciprofloxacin. *Bioresour Technol* 2012; 126:412-7.
 12. Samadi M, Shokohi R, Harati R. Comparison of heterogeneous fenton process and adsorption process on magnetic nanocomposite for ciprofloxacin removal from aqueous solutions. *J Qazvin Univ Med Sci* 2016; 20(1):4-13 (Persian).
 13. Arbab M, Golshani N, Sedehi M. Optimization removal of ciprofloxacin with photo Fenton process using response surface methodology and determination the kinetics of the reaction. *J Shahrekord Univ Med Sci* 2017; 19(2):17-31 (Persian).
 14. Lin AY, Lin CF, Chiou JM, Hong PK. O₃ and O₃/H₂O₂ treatment of sulfonamide and macrolide antibiotics in wastewater. *J Hazard Mater* 2009; 171(1):452-8.
 15. Rahmani A, Mehralipour J, Shabanlo A, Majidi S. Efficiency of ciprofloxacin removal by ozonation process with calcium peroxide from aqueous solutions. *J Qazvin Univ Med Sci* 2015; 19(2):55-64 (Persian).
 16. Nascimento UM, Azevedo EB. Microwaves and their coupling to advanced oxidation processes: Enhanced performance in pollutants degradation. *J Environ Sci Health Part A* 2013; 48(9):1056-72.
 17. Wang P, Liu HL, Fu H, Cheng XW, Wang B, Cheng QH, et al. Effect of heat treatments on stability of penicillin in waste *Penicillium chrysogenum*. *Adv Chem Sci* 2013; 2(3):78-81.
 18. Eskicioglu C, Prorot A, Marin J, Droste RL, Kennedy KJ. Synergetic pretreatment of sewage sludge by microwave irradiation in presence of H₂O₂ for enhanced anaerobic digestion. *Water Res* 2008; 42(18):4674-82.
 19. Ray P, Chen C, Knowlton KF, Pruden A, Xia K. Fate and effect of antibiotics in beef and dairy manure during static and turned composting. *J Environ Qual* 2017; 46(1):45-54.
 20. Naddafi K, Nabizadeh R, Nasseri S, Yaghmaeian K, Koolivand A. Efficiency of in-vessel composting process in removal of petroleum hydrocarbons from bottom sludge of crude oil storage tanks. *Iran J Health Environ* 2015; 8(3):263-74 (Persian).
 21. Youngquist CP, Liu J, Orfe LH, Jones SS, Call DR. Ciprofloxacin residues in municipal biosolid compost do not selectively enrich populations of resistant bacteria. *Appl Environ Microbiol* 2014; 80(24):7521-6.
 22. Shi H, Wang XC, Li Q, Jiang S. Degradation of typical antibiotics during human feces aerobic composting under different temperatures. *Environ Sci Poll Res* 2016; 23(15):15076-87.
 23. Kord MF, Bazrafshan E, Belarak D, Khoshnamvand N. Survey of photo-catalytic degradation of ciprofloxacin antibiotic using copper oxide nanoparticles (UV/CuO) in aqueous environment. *J Rafsanjan Univ Med Sci* 2016; 15(4):307-18 (Persian).
 24. Majlessi M, Zamani AA, Mahdipoor F, Shamsaei V, Sharifi-Maleksari H, Darvar P. Solid waste collection and transportation cost analysis of region 1 of Bandar-Abbas city. *J Health Field* 2017; 1(1):37-45 (Persian).
 25. Khadabadi SS, Devkar MG. A validated RP-HPLC method for simultaneous estimation of metronidazole and ciprofloxacin hydrochloride in pharmaceutical dosage form. *Int J Pharm Sci Res* 2013; 4(12):4736.
 26. Englert B. Method 1694: pharmaceuticals and personal care products in water, soil, sediment, and biosolids by HPLC/MS/MS. New York: US Environmental Protection Agency (EPA); 2007.
 27. Kim KR, Owens G, Ok YS, Park WK, Lee DB, Kwon SI. Decline in extractable antibiotics in manure-based composts during composting. *Waste Manag* 2012; 32(1):110-6.
 28. Zazouli MA, Ardebillian MB, Ghahramani E, Alahabad GM. Principles of compost production technology. Tehran: Khaniran Publication; 2010 (Persian).
 29. Beirouti Z, Pourzamani HR, Samani MS, Vahdatpoor AR, Safari MR. A review of compost quality standards and guidelines. *Health Syst Res* 2011; 6(4):810-20 (Persian).
 30. Hu Z, Liu Y, Chen G, Gui X, Chen T, Zhan X. Characterization of organic matter degradation

- during composting of manure-straw mixtures spiked with tetracyclines. *Biores Technol* 2011; 102(15):7329-34.
31. Tiquia SM, Tam NF. Fate of nitrogen during composting of chicken litter. *Environ Poll* 2000; 110(3):535-41.
32. Hu Z, Liu Y, Chen G, Gui X, Chen T, Zhan X. Characterization of organic matter degradation during composting of manure-straw mixtures spiked with tetracyclines. *Biores Technol* 2011; 102(15):7329-34.