

Original article

Evaluation of Ciprofloxacin Degradation during Composting Process

Ahmad Jonidi Jafari¹Mahdi Farzadkia¹Mitra Gholami¹Mina 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: minamohaghegh23@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.

بررسی میزان حذف آنتی بیوتیک سیپروفلوکساسین در طول فرایند کمپوست مشترک

چکیده

احمد جنیدی جعفری^۱
 مهدی فرزاد کیا^۱
 میترا غلامی^۱
 مینا محقی^{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 محقی، 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

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 سیپروفلوکساسین به عنوان پسماند دارویی در طول فرایند کمپوست‌سازی انجام شد.

روش کار: در این مطالعه تجربی و کاربردی برای تهیه کمپوست از مخلوطی از فضولات دامی، زائدات میوه، کاه و لجن استفاده گردید. مدت فرایند ۴۰ روز بود. سیپروفلوکساسین در سه غلظت ۵۰، ۲۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم به راکتورهای کمپوست اضافه گردید. شرایط دما، رطوبت، C/N (Carbon to Nitrogen) و pH کمپوست تحت کنترل بود. نمونه برداری از راکتورها به صورت هفتگی صورت گرفت و جهت آنالیز آنتی بیوتیک‌ها از دستگاه HPLC (High Performance Liquid Chromatography) استفاده گردید. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS 22 و براساس آزمون آماری واریانس یک طرفه (ANOVA) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

یافته‌ها: میزان حذف سیپروفلوکساسین پس از ۲۱ روز و در انتهای فاز ترموفیلیک در راکتورهای حاوی ۵۰، ۲۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم 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.

نتیجه گیری: استفاده از فرایند کمپوست هوازی جهت حذف آنتی بیوتیک سیپروفلوکساسین، اثربخش و سازگار با محیط زیست می‌باشد؛ به طوری که در پایان فرایند ۹۹/۹۹ درصد سیپروفلوکساسین حذف شد.

کلمات کلیدی: آنتی بیوتیک، پسماند دارویی، سیپروفلوکساسین، کمپوست

◀ **استناد:** جنیدی جعفری، احمد؛ فرزاد کیا، مهدی؛ غلامی، میترا؛ محقی، مینا. بررسی میزان حذف آنتی بیوتیک سیپروفلوکساسین در طول فرایند کمپوست مشترک. مجله تحقیقات سلامت در جامعه، زمستان ۱۳۹۶؛ ۳(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

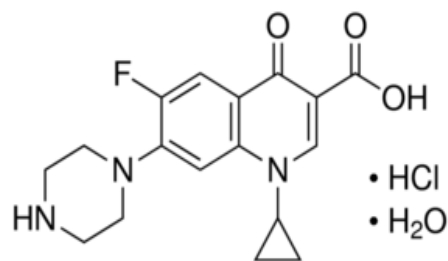
میلی گرم بر لیتر می باشد [۱۳-۱۱، ۱]. وجود این آنتی بیوتیک در آب آشامیدنی باعث سردرد، تهوع، استفراغ، اسهال و واکنش های آلرژیک در انسان شده و موجب تداخل در فتوستنز گیاهان آبی و ایجاد ناهنجاری مورفولوژیکی در گیاهان می گردد و در گیاهان زراعی وارد می شود [۱۴، ۱]. با توجه به موارد بیان شده و گسترش روزافزون استفاده از داروی سیپروفلوکساسین 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.

تاکون 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 ماورابنفش، اشعه مایکروویو، حرارت، اکسیداسیون و فرایند کمپوست اشاره کرد [۱۹-۱۵]. 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 سولفادیمتوکسین، سولفامتازین و فلورفنیکان 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 سیپروفلوکساسین در فرایند کمپوست به این نتیجه دست یافتند که پس از ۲۸ روز، ۸۰ درصد تخریب رخ داده است [۲۱].

کیوست هوازی 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 برهم زدن 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]. فلوروکینولون ها دسته مهمی از آنتی بیوتیک ها هستند که کاربرد گسترده ای در پزشکی و دامپزشکی دارند [۷]. سیپروفلوکساسین یکی از مهم ترین آنتی بیوتیک های این گروه می باشد که در برابر 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 می رود [۹]. فرمول شیمیایی این دارو $C_{17}H_{18}FN_3O_3 \cdot HCl$ بوده و وزن مولکولی آن ۳۶۷/۸۲ گرم بر مول می باشد [۸]. حضور اتم فلور 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 سیپروفلوکساسین در فضولات گاوی ۲۹/۵۹ میلی گرم بر کیلوگرم، در فضولات خوک ۳۳/۹۸ میلی گرم بر کیلوگرم، در فاضلاب و لجن کارخانه داروسازی به ترتیب ۳۰ میلی گرم بر لیتر و ۲/۴ میلی گرم بر کیلوگرم و در پساب بیمارستان ۱۵۰



شکل ۱: ساختار شیمیایی Cip HCl

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

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

روش کار

آماده‌سازی 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 بسترهای 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 سیپروفلوکساسین در فضولات دامی و لجن فاضلاب کارخانه‌های تولید دارو و همچنین به منظور تنظیم نسبت C/N و بهبود فرایند از کاه و زائدات سبزیجات به صورت مخلوط استفاده گردید [۲۳]. نسبت ترکیب زائدات سبزیجات، فضولات گاوی، کاه و لجن تغلیظ شده کارخانه داروسازی 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 C/N معادل ۲۰ تنظیم

گردید. Cip HCl با خلوص ۹۹ درصد از کارخانه داروپخش تهیه شد و در سه غلظت ۵۰، ۲۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم به راکتورها اضافه گردید. برای اینکه دارو به‌طور یکنواخت در کمپوست توزیع شود، در آب و متانول حل گشته و سپس اسپری گردید. شایان ذکر است که یک راکتور به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد. علاوه‌براین، میزان رطوبت توده‌ها در حدود ۶۰-۵۵ درصد تنظیم گردید و در طول فرایند به‌صورت روزانه اندازه‌گیری شد. باید خاطر نشان 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 به‌منظور تأمین اکسیژن، شرایط هوازی و یکنواخت کردن بسترهای کمپوست، هم‌زدن به‌صورت دستی ۲-۳ بار در روز انجام می‌شد. میزان دما نیز به‌صورت روزانه اندازه‌گیری می‌گردید؛ اما میزان pH هر چهار روز یک‌بار اندازه‌گیری 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، رنگ‌سنجی و سوزاندن نمونه‌ها صورت گرفت [۲۴]. pH نمونه‌ها پس از آماده‌سازی 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 ۱۰۵-۱۰۳ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد [۲۰]. هدایت الکتریکی نمونه نیز در رقت ۱ به ۱۰ وزنی با استفاده از کندانکتیومتر (HI-8733) اندازه‌گیری شد [۲۴].

سنجش غلظت سیپروفلوکساسین

غلظت Cip با استفاده از کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC, ECIL, 4100) مجهز به دکتور (UV/Vis mode l4200) و ستون C₁₈ (۵ میکرومتر، ۲۵۰ در ۴/۶ میلی‌متر) در طول موج

آماري واريانس يک طرفه (ANOVA) استفاده شد. همچنين براي رسم نمودارها، نرم افزار Excel به کار رفت.

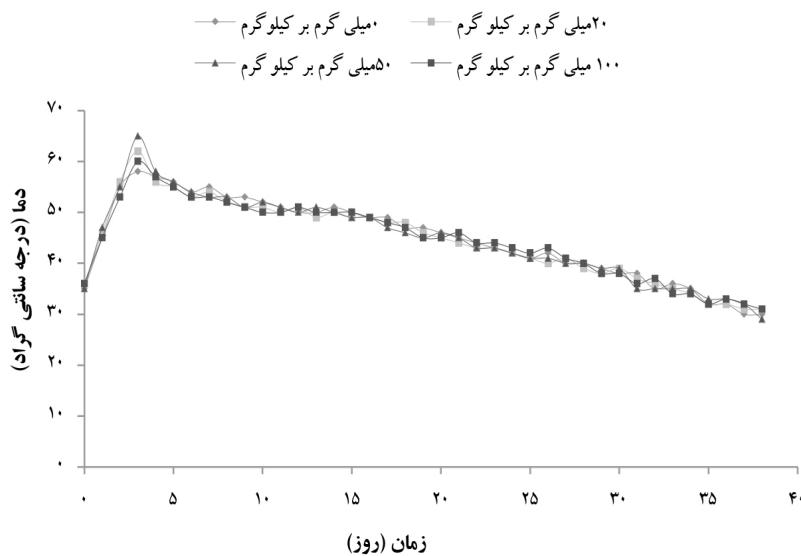
یافته ها

در جدول ۱ نتایج آنالیز فیزیکی- شیمیایی کمپوست در ابتدا و انتهای فرایند نشان داده شده است. در ابتدای فرایند نسبت C/N/P حدود ۱۰/۵/۱ 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 می باشد. 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 ۱۴ تا ۱۶ روز طول کشید. در ادامه، دما کاهش یافت و وارد فاز مزوفیل شد. تحلیل داده ها نشان می دهد که بین تغییرات دما در بارگذاری های مختلف تفاوت معناداری وجود ندارد ($P < 0.05$). نمودار ۲ روند تغییرات pH را در طول فرایند نشان می دهد.

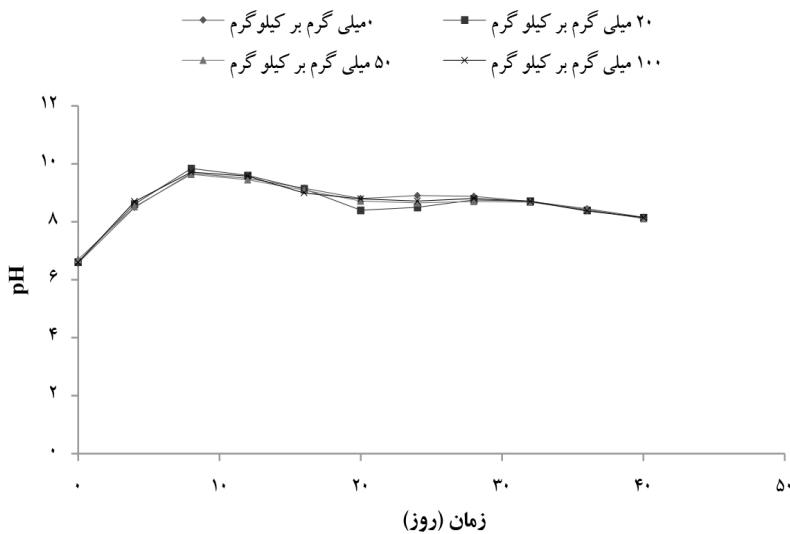
۳۲۰ نانومتر قرائت شد. فاز متحرک ترکیبی با درصد حجمی ۴۰ به ۶۰ متانول و بافر (فسفات ۲۵ میلی مولار و ۱۵ درصد حجمی تری اتیل آمین) با دبی ۱ میلی لیتر بر دقیقه و حجم تزریق ۲۰ میکرو لیتر بود [۲۵]. در ابتدا محلول های استاندارد با غلظت های ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر جهت رسم منحنی کالیبراسیون تهیه گردید. نمونه برداری 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 متانول، 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 ۵۰ 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 زمان های مختلف به دست آمد. جهت تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده از نرم افزار آماری SPSS 22 براساس آزمون

جدول ۱: ویژگی های 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	۰/۸۳
پتاسیم کل	درصد	۰/۳۹	۰/۳۲
هدایت الکتریکی	دسی سیمن	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

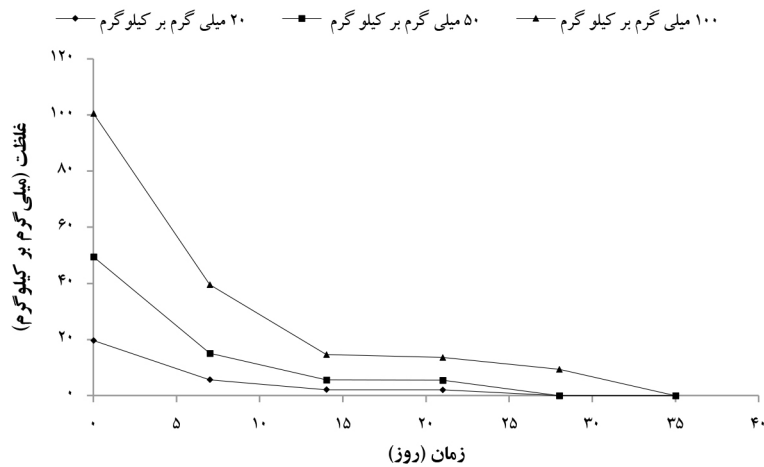


نمودار ۲: تغییرات pH در طول فرایند کمپوست

ندارد ($P < 0.05$).

در نمودار ۳ روند تغییرات غلظت سیپروفلوکساسین در طول فرایند در سه راکتور مشاهده می شود. بر مبنای نمودار در ۱۴ روز ابتدایی روند کاهش بیشتر بوده است. بررسی آماری داده ها حاکی

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. بر اساس 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 آنتی‌بیوتیک‌ها این است که از ورود آن‌ها به محیط جلوگیری گردد [۲۷]. مطالعات مختلف در این زمینه بیانگر آن هستند که فرایند کمپوست در کاهش غلظت آنتی‌بیوتیک‌ها مؤثر می‌باشد. علاوه بر این، برخی از مطالعات بر این باور هستند که این تخریب می‌تواند تحت تأثیر دما، pH، سینتیک جذب و تجزیه بیولوژیکی باشد [۲۱].

نتایج آنالیز فیزیکی - شیمیایی کمپوست در ابتدای فرایند نشان داد که نسبت C/N 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 می‌باشد. 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 دسی‌سیمن افزایش یافته است. این هدایت الکتریکی در پایان فرایند در محدوده استاندارد قرار داشت. از سوی دیگر، میزان پتاسیم کاهش یافته و از ۰/۳۹ به ۰/۳۲ درصد رسید که این مقدار کم‌تر از حد مجاز استاندارد ملی می‌باشد. 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 می‌باشد. با توجه به موارد

از وجود تفاوت معنادار بین میزان حذف سیپروفلوکساسین در بارگذاری‌های مختلف می‌باشد ($P < 0.05$).

مطابق با نتایج تحلیل داده‌ها بین دما، زمان و pH با درصد حذف سیپروفلوکساسین 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 سیپروفلوکساسین بوده و تداخلی در طول مطالعه نداشته است.

بحث و نتیجه‌گیری

گسترش مصرف آنتی‌بیوتیک در درمان انسان و دام باعث افزایش بیش از حد این آلاینده‌ها در محیط شده است. ۹۰ درصد از آنتی‌بیوتیک‌های تجویز شده برای انسان و حیوانات از طریق ادرار و مدفوع دفع می‌شوند [۵]. یکی از منابع اصلی ورود آنتی‌بیوتیک‌ها به محیط، استفاده از کود دامی به روش سنتی در کشاورزی است. همچنین می‌توان به منابع دیگری چون تخلیه فاضلاب و پساب کارخانه‌های داروسازی، بیمارستانی و لجن فاضلاب صنایع دارویی و دفع نامناسب زباله‌های 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 به‌عنوان علت اصلی بروز نتایج مختلف در نظر گرفته شود.

pH یکی از عوامل مؤثر بر فعالیت بیولوژیکی می‌باشد. براساس نتایج پژوهش حاضر، افزودن سیپروفلوکساسین 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 تتراسایکلین تأثیر معناداری بر تغییرات pH ندارد [۳۰]. pH کمپوست به ترکیب بستر بستگی دارد و می‌تواند متفاوت باشد. در روز اول pH بسترها به‌طور میانگین معادل ۶/۶۲ بود؛ اما در چند روز اول به‌سرعت افزایش پیدا کرد و به ۹/۶۸ رسید. این افزایش می‌تواند منجر به تخریب 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 به‌طور کامل به $\text{NH}_4\text{-N}$ تبدیل می‌شود و تا حدودی به هوا منتقل می‌گردد. شایان ذکر است که حذف $\text{NH}_4\text{-N}$ 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) تخریب دارو موفقیت‌آمیز بوده و میزان حذف در سه راکتور یادشده ۹۹/۹۹ درصد بوده است. نتایج تحقیقات Hu در سال ۲۰۱۱ نشان داد که برای غلظت ۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم تتراسایکلین حدود ۹۳ درصد تخریب 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، ۵/۶ و ۲/۱۲ میلی‌گرم 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 سیپروفلوکساسین به بسترهای 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 تتراسایکلین تأثیر معناداری در تغییرات دما ندارد [۳۰].

در پژوهش حاضر دمای بسترها در ابتدای فرایند ۳۵ درجه سانتی‌گراد بود و همان‌طور که نمودار ۱ نشان می‌دهد، بسترهای کمپوست از روز دوم وارد فاز ترموفیلیک گردیدند (< ۵۰ درجه سانتی‌گراد)، 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 از بین بردن میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا مؤثر می‌باشد. تغییرات دمایی در طول کمپوست حاکی از آن هستند که فرایند به چهار مرحله شامل: فاز مزوفیل، فاز ترموفیل، فاز مزوفیل (خنک‌سازی) و مرحله بلوغ تقسیم می‌شود. این تغییرات نشان می‌دهند که فرایند کمپوست به‌طور کامل انجام شده است. مطالعات بیانگر آن هستند که دلیل اصلی تخریب آنتی‌بیوتیک، دما بوده و فاز ترموفیلیک کمپوست در غیرفعال کردن آنتی‌بیوتیک مؤثر می‌باشد. همان‌طور که Metchell و همکاران نیز در سال ۲۰۱۵ نشان دادند، فاز ترموفیلیک نقش مؤثری در تخریب آنتی‌بیوتیک 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 سیپروفلوکساسین در طول ۲۱ روز تخریب شده است. همچنین در پژوهشی که توسط Selvam در سال ۲۰۱۲ صورت گرفت، گزارش گردید که در هفت روز اول فرایند، ۹۵ درصد از سیپروفلوکساسین 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 سیروفلوکساسین بوده و سازگار با محیط زیست می باشد.

قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از پایان نامه مقطع کارشناسی ارشد با عنوان "بررسی میزان تخریب آنتی بیوتیک مترونیدازول و سیروفلوکساسین با روش های کمپوستینگ، اتوکلاو و مایکروویو" با کد اخلاق IR.IUMS.REC.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.

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;

فرایند با شیب ملایم تری کاهش پیدا کرده است. در این ارتباط، Selvam در سال ۲۰۱۲ نشان داد که سیروفلوکساسین 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 تجزیه بیولوژیکی سیروفلوکساسین 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 آلوده نشان داده اند که کمپوست می تواند آنتی بیوتیک موجود در خاک را تخریب کرده و به عنوان اصلاح کننده به کار رود [۵].

- 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. Arbabi 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, Nasser 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, Shamsae 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, Ardebilian MB, Ghahramani E, Alahabad GM. Principles of compost production technology. Tehran: Khaniran Publication; 2010 (Persian).
 29. Beirouti Z, Pourzamani HR, Samani MS, Vahdatpoor AR, Jafari 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.