

بررسی تأثیر کاربرد گچ و تلقیح میکروبی بر زمان رسیدن کمپوست پیت

نیشکر

حسن سرخه^۱؛ عبدالامیر معزی^{۲*} و نعیمه عنایتی ضمیر^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

(تاریخ دریافت ۹۷/۱۱/۲۱-تاریخ پذیرش ۹۷/۱۲/۲۵)

چکیده:

افزایش پسماندها به ویژه پسماندهای کشاورزی در دهه‌های اخیر به عنوان یک چالش مهم در زندگی بشری به‌شمار می‌آید. کمپوست کردن روش مناسبی برای مدیریت و ساماندهی پسماندها می‌باشد. هدف از این پژوهش تأثیر تلقیح میکروبی و کاربرد گچ بر فرآیند تولید کمپوست پیت نیشکر و کوتاه شدن زمان رسیدن آن بود. این پژوهش در شرایط آزمایشگاهی با دو فاکتور کاربرد گچ (شامل سطوح ۱، ۵ و ۱۰ درصد وزنی گچ) و فاکتور میکروبی (شامل چهار سطح شاهد، تلقیح با کنسرسیون باکتری، تلقیح با کنسرسیون قارچ و تلقیح همزمان کنسرسیون قارچ و باکتری) به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام شد. نتایج نشان داد که تلقیح میکروبی همراه با کاربرد گچ موجب افزایش معنی‌دار مقدار EC و درصد تجزیه (به ترتیب $3/89$ و $49/16\%$ حاصل از تلقیح با کنسرسیون قارچ و باکتری و گچ ۱۰ درصد) گردید. همچنین موجب کاهش pH تیمارها پس از ۹۰ روز انکوباسیون گردید. تلقیح میکروبی و کاربرد گچ منجر به کاهش معنی‌دار ($P \leq 0/05$) نسبت C/N پیت نیشکر از $90/93$ در تیمار بدون تلقیح میکروبی همراه با گچ ۱۰ درصد به $19/17$ در گچ ۱۰ درصد همراه با کنسرسیون قارچ و باکتری شد. همچنین موجب غنی شدن کمپوست از عناصر فسفر و پتاسیم گردید. به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که تلقیح پیت نیشکر توسط قارچ فزارایوم و فانروکت کریزوسپوریوم همراه با باکتری *Bacillus subtilis* و *Bacillus firmus* همراه با کاربرد ۱۰ درصد گچ سرعت تجزیه پیت نیشکر را افزایش داد و موجب کاهش زمان کمپوست شدن گردید.

کلید واژگان: *Bacillus subtilis*، فوزاریوم، فانروکت کریزوسپوریوم، *Bacillus firmus*، نسبت C/N

۱. مقدمه

محصولات جانبی بدون استفاده باقی می‌مانند که در اکثر اوقات به دلیل قدرت خود اشتعالی که این پسماندها دارند آتش گرفته و سبب ایجاد آلودگی‌های زیست محیطی و از دست رفتن عناصر غذایی می‌شوند (Gadde *et al.*, 2009; Nakhshiniev *et al.*, 2014). بنابراین، توجیه اقتصادی جهت استفاده بهینه از این ضایعات وجود دارد (Gómez *et al.*, 2013). بقایای نیشکر با دارا بودن مواد مغذی می‌تواند به عنوان یک کود آلی در کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد (Chauhan *et al.*, 2011). که یکی از روش‌های استفاده از این پسماندها کمپوست کردن آن‌ها می‌باشد. کمپوست کردن یک روش کم‌هزینه و سازگار با شرایط زیست‌محیطی است که موجب فرآوری ضایعات آلی و بازگشت عناصر مغذی به چرخه غذایی است (Nakhshiniev *et al.*, 2014). با توجه به مقدار بالای ضایعات حاصل از کشت نیشکر در کشور و مقدار کم مواد آلی خاک‌ها، اضافه نمودن کمپوست حاصل از ضایعات نیشکر می‌تواند راهکاری مؤثر در افزایش مقدار ماده آلی خاک‌های کشاورزی باشد (Mahmoudi *et al.*, 2015). کمپوست یک فرآیند بیوشیمیایی است که در آن مواد آلی به هوموس، CO₂ و H₂O تبدیل شده و در نهایت با کاهش فیتوتوکسین‌ها، مواد سمی و پاتوژن‌ها، سبب تولید محصولی پایدار می‌گردد (Dinal *et al.*, 2017; Onwosi *et al.*, 1996). در این فرآیند مقدار رطوبت، اندازه ذرات، نسبت کربن به نیتروژن (C/N)، هوادهی و دما از پارامترهای تأثیرگذاری می‌باشند که مدیریت و کنترل این ویژگی‌ها موجب تسریع و کوتاه شدن فرآیند کمپوست شدن می‌گردد (Guo *et al.*, 2012). به طور معمول کمپوست شدن ترکیبات لیگنوسلولزی بسیار کند و زمان‌بر بوده و گاهی بیش از چند ماه به طول

گسترش روند صنعتی شدن زندگی بشر و افزایش تولید زباله (پسماندها) یکی از مهم‌ترین چالش‌های موجود در جوامع بشری امروزی است که نگرانی‌هایی در مورد سلامت انسان و محیط زیست را به وجود آورده است. (Salehi *et al.*, 2011; Ebrahimi *et al.*, 2018; Esmailzade and Rashidi, 2018). مدیریت مناسب این پسماندها، به ویژه ضایعات کشاورزی برای سلامت انسان و محیط زیست بسیار حائز اهمیت می‌باشد (Song *et al.*, 2015; Giusti, 2009). از طرف دیگر، حجم زیادی از بقایای محصولات زراعی توانایی تبدیل شدن به کودهای آلی ارزشمند را دارند که به دلیل مدیریت نامناسب، این بقایا در اکثر نقاط جهان، به صورت غیراصولی معدوم می‌گردند (Nakhshiniev *et al.*, 2014).

پسماندهای نیشکر به عنوان یکی از پسماندهای کشاورزی، به دلیل عدم مدیریت مناسب، سبب آلودگی محیط زیست و ایجاد محلی مناسب جهت تکثیر و رشد انواع پاتوژن‌های بیماری‌زا شده است (Jalil *et al.*, 2019). نیشکر حاوی اجزایی از جمله لیگنین، فیبر، پیت و پنتوسان (نوعی هیدروکربن) می‌باشد که دارای کاربرد فراوان در زمینه‌های بیوشیمیایی و میکروبی است (Sardar *et al.*, 2012). از آنجا که کشت نیشکر در ایران قریب بر ۱۰۰ هزار هکتار است (Hemayati *et al.*, 2011)، سالانه مقادیر قابل توجهی از محصولات جانبی حاصل از کشت این صنعت (مانند باگاس، فیلتریک، پیت) ایجاد می‌گردد که مستلزم مدیریت مناسب می‌باشند (Gómez *et al.*, 2013). بخشی از این محصولات جانبی قابل استفاده برای تولیدات ثانویه هستند. با این وجود مقادیر قابل توجهی از این

بالأخص قارچ‌های پوسیدگی سفید به دلیل قدرت بالای ترشح انواع آنزیم‌ها جهت تاثیر بر لیگنین و تخریب آن موجب تسريع در فرآیند کمپوست شدن و زمان رسیدگی آن می‌گردد. (Tabandeh *et al.*, 2009). به منظور بررسی ارتقاء و سرعت بخشیدن به فرآیند تولید کمپوست، Pandey و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعاتی گزارش کردند که جوشاندن باگاس نیشکر با آب داغ همراه با تلقیح توسط قارچ *Pleurotus citrinopileatus* تأثیر مثبت داشته و منجر به کاهش نسبت C/N و تسريع فرآیند تجزیه باگاس گردید. Huang و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی کاهش C/N و ماده آلی بقایای برنج را با استفاده از قارچ *Phanerochaete chrysosporium* را در طول فرآیند تجزیه گزارش کردند. Gao و همکاران (۲۰۱۸) طی پژوهشی کاهش نسبت کربن به نیتروژن پسماند-های کشاورزی تحت تأثیر *Bacillus subtilis* و *Saccharomyces cerevisiae* و *Geotrichum candidum* همراه با اضافه نمودن $CaSO_4$ را گزارش کردند و کاربرد گچ موجب کاهش تصاعد آمونیاک طی فرآیند کمپوست شدن و افزایش مقدار نیتروژن گردید. با توجه به مواد فوق، هدف از اجرای این پژوهش تولید کمپوست غنی شده از پیت نیشکر و کوتاه شدن زمان رسیدن آن با استفاده از ریزجانداران و کاربرد گچ به منظور کنترل و مدیریت پسماندهای حاصل از کشت و صنعت نیشکر بود. Diallo و همکاران (۲۰۱۶) باهدف کمپوست کردن باگاس نیشکر با سویه‌های باسیلوس نشان دادند که استفاده از سویه‌های مختلف باسیلوس سبب افزایش فعالیت‌های آنزیمی نسبت به شاهد شده است. Li و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی تحت عنوان اثر کاربرد

می‌انجامد (Hutasoit and Toharisman., 1994). ضایعات نیشکر و سایر مواد لیگنوسلولزی به دلیل پیچیدگی لیگنین و دارا بودن ساختاری بلورین و سلولزی، در برابر تجزیه میکروبی مقاوم بوده، لذا همین امر موجب طولانی شدن فرآیند کمپوست می‌گردد (Dumitriu *et al.*, 2004). بنابراین اقداماتی از قبیل تجزیه شیمیایی، آنزیمی، و جوشاندن ترکیبات لیگنوسلولزی به منظور بهبود تجزیه‌پذیری و تسريع در فرآیند کمپوست شدن می‌باشد (Salama *et al.*, 2016). همچنین از دیگر کارهایی که می‌توان برای افزایش سرعت تجزیه و کاهش دوره کمپوست انجام داد، استفاده از تلقیح میکروبی است (Salama *et al.*, 2016). ریزجانداران نقش کلیدی در کمپوست شدن دارند؛ و به عنوان نیروی محرک جهت تبدیل و تثبیت ماده آلی در طول فرآیند کمپوست ایفا نقش می‌کنند؛ بنابراین مایه زنی میکروبی موجب تسريع تجزیه‌پذیری پسماندها است (Wei *et al.*, 2016؛ Zhao *et al.*, 2016). اعمال گونه‌های متفاوت ریزجانداران جهت مایه زنی میکروبی بر پسماندهای آلی موجب تسريع فرآیند کمپوست شدن می‌گردد و همچنین منجر به تجزیه سریع ترکیبات مقاوم به تجزیه مانند ترکیبات لیگنوسلولزی می‌گردد (Wei *et al.*, 2019). از مزایای دیگر مایه‌زنی میکروبی توانایی آن‌ها در ترشح آنزیم-های برون سلولی است که این آنزیم‌ها قدرت تجزیه ساختارهای لیگنوسلولزی را دارند و باعث شکسته شدن این ترکیبات و تشکیل ترکیبات ساده می‌گردد (López-González *et al.*, 2017؛ Zhao *et al.*, 2013). با این حال برخی میکروارگانیسم‌ها خصوصاً قارچ‌ها، سیستم‌های آنزیمی خاصی را توسعه داده‌اند تا توانایی تخریب لیگنین را به دست آورند (Tabandeh *et al.*, 2009). واکنش‌هایی که توسط قارچ‌ها،

گج بر فرآیند نیتروفاکسیون کمپوست فیلتر کیک و کود گاوی گزارش کردند که افزودن گج باعث کاهش تصاعد نیتروژن می‌باشد و منجر به کاهش ماده آلی در انتهای فرآیند کمپوست گردید.

۲. مواد و روش ها

۲-۱. تهیه و آماده سازی پیت نیشکر

در این تحقیق برای تهیه کمپوست از پیت نیشکر تهیه شده از شرکت کشت و صنعت نیشکر دهخدا واقع در شهرستان اهواز استفاده گردید. نمونه‌های پیت پس از انتقال به آزمایشگاه گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز ابتدا به مدت ۲ ساعت جوشانده شده و سپس هوا خشک شدند. برای سترون کردن نمونه‌های پیت به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱۰ بار در اتوکلاو قرار داده شدند. همچنین جهت پایین آوردن نسبت کربن به نیتروژن به مقدار ۰/۱ درصد وزنی اوره به هر یک از تیمارها اضافه شد (Pandey et al., 2012). در این پژوهش جهت اعمال تیمارهای پیت نیشکر در مقادیر ۱۰۰ گرمی وزن شده و در ظروف پلاستیکی درب‌دار دارای منافذ (جهت تبادلات گازی) قرار گرفت (Pandey et al., 2012).

۲-۲. اعمال تیمارها

ابتدا مقادیری از گج استریل شده سپس در سه سطح ۱، ۵ و ۱۰ درصد وزنی به نمونه‌های سترون شده اضافه شد. تلقیح میکروبی در چهار سطح شامل شاهد (سطح بدون تلقیح میکروبی)، کنسرسیون باکتری‌های *Bacillus subtilis strain M2F50* و *Bacillus firmus strain ZF10* کنسرسیون قارچ فوزاریوم

و *Phanerochaete chrysosporium* و همچنین تلقیح همزمان کنسرسیون قارچ و باکتری توأم باهم مایه‌زنی شد. بدین ترتیب که از قارچ تازه کشت شده در پلیت حاوی محیط کشت PDA سوسپانسیون اسپور قارچ اسپور تهیه گردید. سپس از سوسپانسیون اسپور قارچ به هر واحد آزمایشی به مقداری اضافه شد که 10^5 اسپور در هر گرم توده داشته باشد. برای تهیه مایه تلقیح باکتری به صورت کشت شبانه هر یک از باکتری‌ها در محیط مایع مغذی تهیه گردید. از کشت شبانه باکتری به مقداری به هر توده پیت نیشکر اضافه شد که جمعیت باکتری‌ها 10^6 cfu/g باشد.

رطوبت نمونه‌ها ابتدا به‌روش وزنی و با افزودن آب مقطر استریل به‌روش اسپری، در حد ۷۰ درصد ظرفیت زراعی تنظیم شد و تا پایان آزمایش نیز به‌صورت وزنی (وزن کردن نمونه‌ها و جبران کاهش وزن آن‌ها از طریق اضافه کردن آب مقطر استریل) کنترل گردید. پس از تلقیح نمونه‌ها در دمای ثابت (25 ± 2) به مدت ۹۰ روز نگهداری شدند. برای هفته اول هر ۲-۳ روز یک بار و پس از آن هفته‌ای یک بار به منظور هوادهی سطح توده‌ها زیر رو شدند. قارچ *Phanerochaete chrysosporium* مورد استفاده در این پژوهش توسط دکتر دان کولن از آزمایشگاه محصولات کشاورزی مدیسون آمریکا تهیه شد. همچنین باکتری‌های *Bacillus subtilis strain M2F50* و *Bacillus firmus strain ZF10* به ترتیب با کد دسترسی MG766127 و MG766131 جداسازی شده از فیلترکیک با توانایی تشکیل هاله در محیط حاوی CMC، موجود در کلکسیون میکروبی گروه خاکشناسی دانشگاه شهید چمران اهواز تهیه گردید. در پایان دوره انکوباسیون از هر یک از تیمارها نمونه‌برداری جهت انجام آزمایشات انجام شد. pH و

EC نمونه‌ها در عصاره ۱:۲۰ (پیت به آب مقطر) توسط دستگاه pH متر و هدایت سنج الکتریکی تعیین گردید (Nengwu *et al.*, 2008). درصد تجزیه نمونه‌ها با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد (Yusoff *et al.*, 2000).

رابطه (۱): $۱۰۰ \times (\text{وزن اولیه سوبسترا} / \text{وزن نهایی سوبسترا} - \text{وزن اولیه سوبسترا}) = \text{درصد تجزیه درصد کربن و نیتروژن نمونه‌ها با استفاده از دستگاه CHNS آنالیزر اندازه‌گیری شد. همچنین نسبت C/N نیز محاسبه گردید. به منظور ارزیابی غنی شدن نمونه‌ها از عناصر غذایی و فسفر و ارزیابی اثر تیمارها غلظت فسفر و پتاسیم در نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. بدین ترتیب که برای اندازه‌گیری فسفر، پس از توزین نمونه‌ها به هر کدام از آن‌ها نیترات منیزیم اضافه شد و در دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس تبخیر گردید. سپس به مدت ۴ ساعت در دمای ۵۵۰ درجه در کوره قرار داده شد. پس از آن اسیدکلریدریک ۲ نرمال اضافه شد و مجدداً روی حمام بن‌ماری قرار گرفت. پس از صاف نمودن عصاره‌ها، غلظت فسفر به روش رنگ سنجی وانادات-مولیبدات با دستگاه اسپکتوفتومتر اندازه‌گیری شد (Jackson *et al.*, 1967). برای اندازه‌گیری پتاسیم نمونه‌ها از هضم خشک استفاده شد و پس از عصاره‌گیری با اسید کلریدریک ۲ نرمال و تهیه عصاره مقدار پتاسیم با دستگاه فلیم فتو متر تعیین شد. (Jackson *et al.*, 1967).$

۳-۲. تحلیل آماری داده‌ها

این پژوهش بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل چهار سطح ریز جاندارن (مخلوط باکتری *Bacillus subtilis* و *Bacillus firmus strain*)

قارچ فانروکت کریزوسپوریوم و فوزاریوم، مخلوط قارچ و باکتری و بدون تلقیح میکروبی) و سه سطح کاربرد گچ (۱، ۵، و ۱۰ درصد) بود. برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از نرم افزار SAS نسخه 9.4 استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت و نمودارها با استفاده از برنامه Excel و براساس نتایج حاصله از مقایسه میانگین‌ها رسم شد.

۳. نتایج

برخی از ویژگی‌های شیمیایی پیت نیشکر استفاده شده در این تحقیق در جدول ۱ آمده است. بر اساس نتایج این جدول پیت مورد آزمایش دارای شوری کم و اسیدیته نسبتاً خنثی بود. بالا بودن مقدار کربن و نسبت C/N آن نشان دهنده مقاومت در برابر تجزیه می‌باشد. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد تأثیر تیمارها بر شاخص EC نمونه‌ها معنی‌دار ($P \leq 0.05$) بود (جدول ۲). نتایج به دست آمده از بررسی تغییرات pH و EC نشان داد که تأثیر مشترک تلقیح میکروبی و افزودن گچ منجر به کاهش pH و افزایش هدایت الکتریکی کمپوست گردید (شکل ۱). بیشترین مقدار کاهش pH در کمپوست حاصل از کنسرسیوم قارچ و باکتری همراه با کاربرد گچ ۱۰ درصد بود، پس از آن بیشترین کاهش pH در تیمار دارای سطح کاربرد گچ ۱۰ درصد همراه با مایه‌زنی با کنسرسیوم قارچی بود که اختلاف معنی‌داری با تیمارهای تلقیح شده با کنسرسیوم قارچ و باکتری همراه با کاربرد ۵ درصد گچ نداشت. بیشترین مقدار pH در تیمار دارای یک درصد گچ و بدون تلقیح میکروبی مشاهده گردید (شکل ۱).

جدول ۱- برخی ویژگی‌های شیمیایی پیت نیشکر استفاده شده در آزمایش

ویژگی	واحد	مقدار
اسیدیته (۱:۲۰)	-	۷/۲۷
هدایت الکتریکی (۱:۲۰)	dS m ⁻¹	۱/۵
کربن	درصد	۴۵/۶
نیتروژن	درصد	۰/۴۱۸
نسبت C/N	-	۱۰۹/۱
فسفر	درصد	۰/۴۷
پتاسیم	درصد	۰/۷۹

جدول ۲- میانگین مربعات تأثیر تیمارها بر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده

میانگین مربعات								
پتاسیم	فسفر	C/N	نیتروژن	کربن	درصد تجزیه	pH	EC	
۰/۸**	۰/۰۱ ^{ns}	۹۳۳**	۰/۱۶**	۴۸**	۱۳۸**	۰/۴۸**	۲/۸**	G
۰/۱۵**	۰/۰۸**	۱۱۵۶۸**	۰/۸۵**	۶۳۵**	۳۲۶۱**	۰/۶۱**	۱/۷۳**	B
۰/۰۲**	۰/۰۰۱ ^{ns}	۲۰/۱**	۰/۰۲**	۱/۱۲ ^{ns}	۱۶/۸**	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۱۰**	G×B
۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۵/۱	۰/۰۰۱	۰/۷۰	۲/۲۷	۰/۰۱	۰/۰۱	خطا
۵/۶۱	۸/۷۲	۳/۸۱	۳/۲۰	۲/۴۰	۶/۸۱	۱/۸۴	۳/۳۰	C.V.

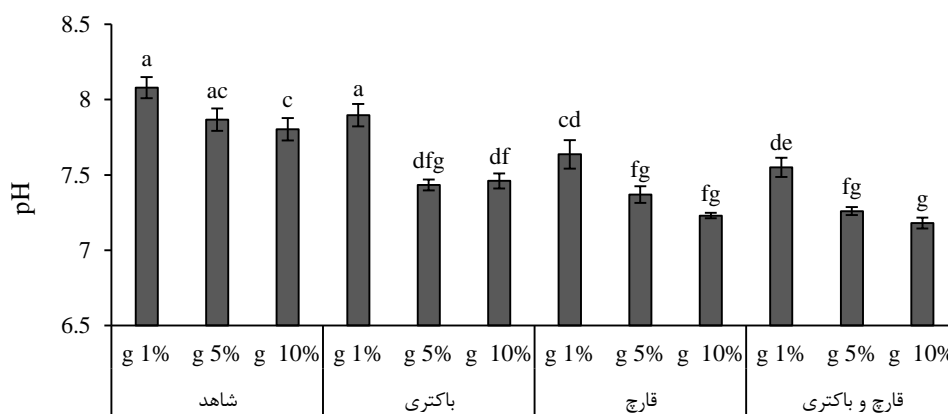
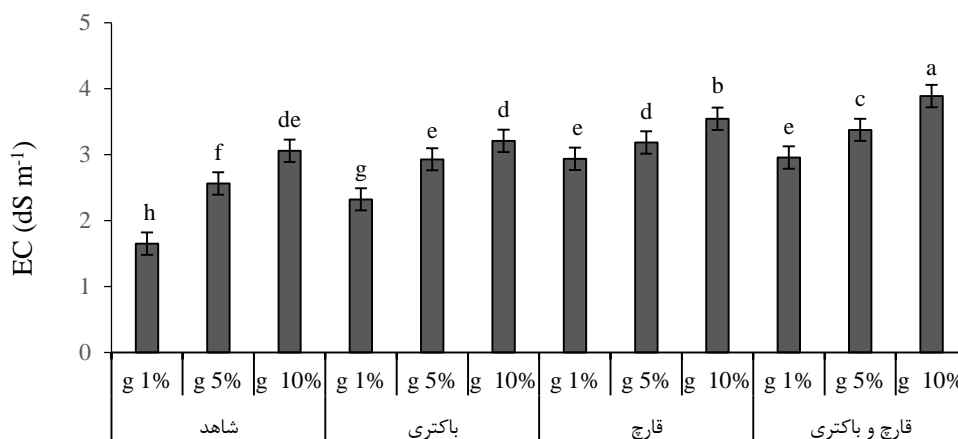
G: کاربرد گچ؛ B: تلقیح میکروبی، C.V.: ضریب تغییرات،

^{ns}، ** و * به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

آن‌ها بر درصد تجزیه نمونه‌ها معنی‌دار ($P \leq 0.05$) بود (جدول ۲). نتایج به دست آمده نشان داد که تأثیر تلقیح میکروبی همراه با افزودن گچ منجر به افزایش درصد تجزیه کمپوست گردید. افزودن گچ ۱۰ درصد نسبت به کاربرد ۵ و یک درصد گچ به ترتیب منجر به افزایش ۲۴/۶۴ و ۳۲/۶ درصدی مقدار تجزیه پیت نیشکر شد. بیشترین درصد تجزیه در کمپوست حاصل از کنسرسیوم قارچ و باکتری همراه با کاربرد گچ ۱۰ درصد مشاهده شد. کمترین مقدار تجزیه در نمونه‌های بدون تلقیح میکروبی در هر سه سطح گچ (۱، ۵ و ۱۰ درصد) است که اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها مشاهده نشد (جدول ۳).

به ازای هر واحد افزودن گچ مقدار هدایت الکتریکی ۰/۱ واحد افزایش یافت. همچنین کمپوست حاصل از تلقیح با کنسرسیوم قارچ و باکتری موجب افزایش EC به مقدار ۵/۷۷، ۲۰/۸ و ۴۰/۵ درصد به ترتیب نسبت به کنسرسیوم قارچ و باکتری به تنهایی و نمونه‌های بدون تلقیح شد. بیشترین EC پس از ۹۰ روز انکوباسیون در کمپوست حاصل از مایه‌زنی کنسرسیوم قارچ و باکتری و کاربرد ۱۰ درصد گچ مشاهده شد. کمترین مقدار این شاخص در نمونه‌های بدون تلقیح و کاربرد گچ یک درصد بود (شکل ۱).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثرات اصلی تیمارهای میکروبی و گچ و همچنین اثرات متقابل



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای میکروبی و گچ بر مقدار EC و pH نمونه‌ها
میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری ($P \leq 0.05$) ندارند.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای میکروبی و گچ بر درصد تجزیه نمونه‌ها

میانگین	سطوح گچ (درصد وزنی)			تیمار میکروبی
	۱۰	۵	۱	
	درصد تجزیه			
۳/۱۹	۴/۵۴ ^{ef}	۲/۱۳ ^f	۲/۹۱ ^{ef}	بدون تلقیح میکروبی
۸/۸۰	۱۱/۸۸ ^d	۹/۳۵ ^d	۵/۱۸ ^e	کنسرسیون باکتری
۳۴/۶۸	۳۸/۴۳ ^b	۳۳/۲۶ ^c	۳۲/۳۵ ^c	کنسرسیون قارچ
۴۱/۹۶	۴۹/۱۶ ^a	۳۸/۷۱ ^b	۳۸/۰۲ ^b	کنسرسیون قارچ و باکتری
	۲۶	۲۰/۸۶	۱۹/۶۱	میانگین

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری ($P \leq 0.05$) ندارند.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای میکروبی و گچ بر درصد تجزیه نمونه‌ها

میانگین	سطوح گچ (درصد وزنی)			تیمار میکروبی
	۱۰	۵	۱	
درصد کربن				
۴۳/۷۵	۴۲/۱۸ ^b	۴۴/۲۲ ^a	۴۴/۸۵ ^a	بدون تلقیح میکروبی
۴۱/۴۰	۳۹/۰۳ ^c	۴۱/۳۲ ^b	۴۳/۸۴ ^a	کنسرسیونم باکتری
۲۹/۴۲	۲۷/۰۴ ^f	۳۰/۴۶ ^{ed}	۳۰/۷۶ ^d	کنسرسیونم قارچ
۲۷/۰۴	۲۴/۵۶ ^g	۲۷/۵۳ ^f	۲۹/۰۳ ^e	کنسرسیونم قارچ و باکتری
	۳۳/۲۰	۳۵/۸۸	۳۷/۱۱	میانگین
درصد نیتروژن				
۰/۴۷	۰/۴۷ ^{gh}	۰/۴۵ ^{hi}	۰/۴۹ ⁱ	بدون تلقیح میکروبی
۰/۵۲	۰/۵۹ ^f	۰/۵۰ ^g	۰/۴۸ ^{gh}	کنسرسیونم باکتری
۰/۹۸	۱/۱۶ ^b	۰/۹۵ ^c	۰/۸۳ ^e	کنسرسیونم قارچ
۱/۰۵	۱/۲۸ ^a	۰/۹۸ ^c	۰/۸۸ ^d	کنسرسیونم قارچ و باکتری
	۰/۸۸	۰/۷۲	۰/۶۷	میانگین

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری ($P \leq 0.05$) ندارند.

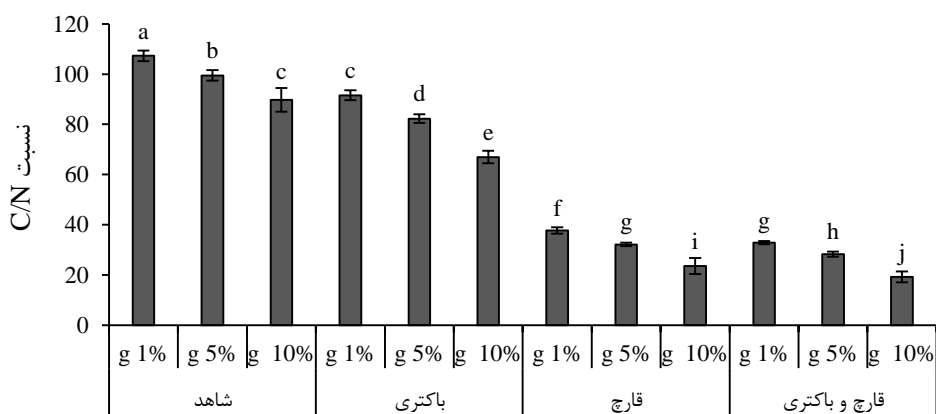
داشت. بیشترین مقدار این شاخص در تیمارهای حاصل از گچ یک درصد و بدون تلقیح (۱۰۷/۳) مشاهده شد. تأثیر تیمارها بر مقدار فسفر نمونه‌ها معنی‌دار ($P \leq 0.05$) بود (جدول ۱). نتایج به دست آمده از بررسی تغییرات فسفر شکل ۳ نشان داد که افزودن ۱۰ درصد گچ مقدار فسفر را در کمپوست تولیدی ۷/۸۱ درصد نسبت به سطح ۵ درصد گچ افزایش داد. همچنین بین سطح ۵ و یک درصد گچ کاربردی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. افزایش مقدار فسفر در پایان فرآیند کمپوست بیشتر متأثر از تلقیح میکروبی بود. بیشترین مقدار فسفر در کمپوست حاصل از کنسرسیونم قارچ و باکتری در هر سه سطح گچ (۱۰، ۵ و یک درصد) بدست آمد که اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها مشاهده نگردید. کمترین مقدار فسفر در تیمارهای بدون تلقیح میکروبی اندازه‌گیری شد. کنسرسیونم قارچ و باکتری منجر به

در اثر افزایش درصد گچ مقدار کربن و نسبت C/N کاهش و درصد نیتروژن کمپوست تهیه شده پس از ۹۰ روز انکوباسیون، افزایش یافت. مایه‌زنی میکروبی نیز سبب افزایش درصد نیتروژن، کاهش درصد کربن و همچنین کاهش نسبت C/N شد. بیشترین کاهش نسبت C/N، درصد کربن و همچنین افزایش نیتروژن در تیمارها بدین ترتیب بود: کنسرسیونم قارچ و باکتری < کنسرسیونم قارچ < کنسرسیونم باکتری < تیمارهای بدون تلقیح (جدول ۴ و شکل ۲).

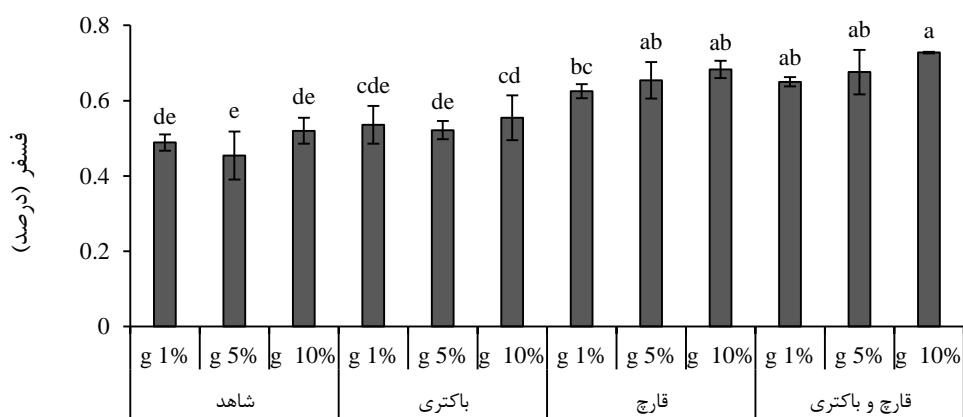
نتایج به دست آمده از بررسی تغییرات نسبت کربن به نیتروژن شکل ۱ نشان داد که اعمال تلقیح میکروبی همراه با کاربرد گچ منجر به کاهش نسبت C/N گردید. کمترین مقدار نسبت C/N در تیمار کنسرسیونم قارچ و باکتری همراه با کاربرد ۱۰ درصد گچ (۱۹/۲) مشاهده شده که اختلاف معنی‌داری با تیمار دارای قارچ در سطح ۱۰ درصد گچ (۲۳/۵۳)

در تیمار کنسرسیوم قارچ و باکتری و سطح ۱۰ درصد گچ بود که اختلاف معنی داری با تیمارهای متناظر با کاربرد گچ ۵ و یک درصد داشت و به ترتیب منجر به افزایش ۱۱/۳۶ و ۴۳/۵ درصدی در مقدار پتاسیم کمپوست گردید.

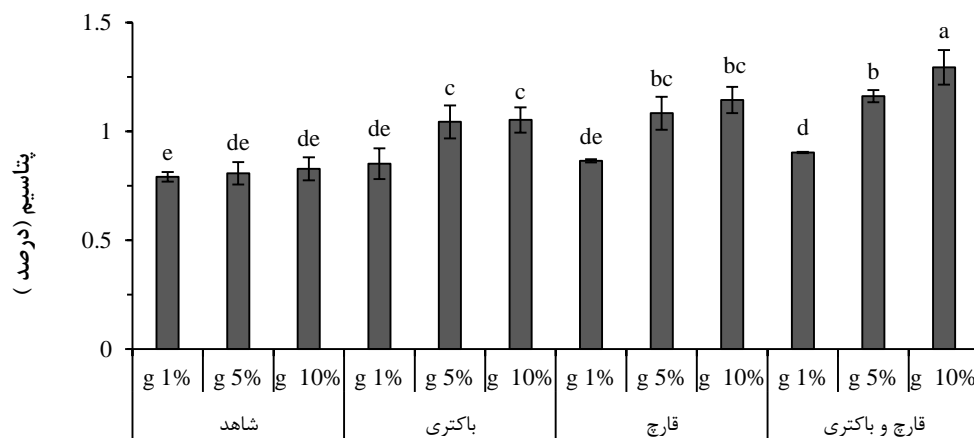
افزایش ۴۰ درصدی فسفر نسبت به تیمارهای بدون تلقیح گردید. نتایج به دست آمده از بررسی تغییرات پتاسیم شکل ۴ نشان داد که کاربرد توأم گچ و تلقیح میکروبی منجر به افزایش مقدار پتاسیم پس از ۹۰ روز دوره انکوباسیون گردید. بیشترین مقدار پتاسیم



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای میکروبی و گچ بر نسبت C/N نمونه‌ها میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی داری ($P \leq 0.05$) ندارند.



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای میکروبی و گچ بر مقدار فسفر نمونه‌ها میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی داری ($P \leq 0.05$) ندارند.



شکل ۴- آزمون میانگین‌ها بر مقدار مقدار پتاسیم نمونه‌ها

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی داری ($P \leq 0.05$) ندارند.

تجزیه‌ی بالای مواد آلی پیت نیشکر باشد، زیرا با افزایش تجزیه، آزادسازی املاح در طی فرآیند تولید کمپوست افزایش می‌یابد. Bustamante و همکاران (۲۰۰۸) افزایش مقدار EC در انتهای فرآیند کمپوست را گزارش دادند. همچنین این نتایج با نتایج Liu و همکاران (۲۰۱۱) هم‌خوانی داشت. آن‌ها افزایش EC در اثر افزایش گچ را گزارش دادند و دلیل آن را ماهیت خود گچ و سهم بالای مواد معدنی موجود در ساختار آن بیان کردند.

گچ منبع مواد معدنی بیشتری را برای رشد میکروبی در اختیار میکروارگانیسم‌ها قرار می‌دهد که منجر به افزایش تجزیه مواد آلی می‌گردد (Febrisiantosa *et al.*, 2018). همچنین تلقیح میکروبی سبب افزایش جمعیت میکروارگانیسم‌های تجزیه کننده پسماندهای آلی می‌گردد و اگر توده کمپوست دارای مقادیر بهینه از رطوبت، تهویه و نیتروژن باشد، این میکروارگانیسم‌ها سریعاً افزایش یافته و منجر به افزایش دما و سرعت تجزیه در کمپوست می‌گردند (Cuevas, 1991). نتایج تحقیق حاضر با نتایج Huang و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی تأثیر قارچ

۴. بحث و نتیجه گیری

کاهش تدریجی pH در اثر تیمارهای میکروبی و گچ می‌تواند به علت تشکیل اسیدهای آلی و انتشار CO₂ حاصل از تجزیه مواد آلی، تصاعد آمونیاک و تثبیت نیتروژن در طول فرآیند کمپوست شدن باشد (Jindo *et al.*, 2012; Guo *et al.*, 2016). نتایج تحقیق Febrisiantosa و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که در اثر افزودن گچ و بیوجار pH کمپوست کاهش یافت. pH نهایی کمپوست شدیداً تحت تأثیر مواد آلی، مراحل تجزیه کمپوست و افزایش مواد اصلاحی است (Pathak *et al.*, 2012). تصور می‌شود کاهش مقدار pH در کمپوست تولید شده با قارچ به دلیل تولید اسیدهای آلی توسط قارچ‌ها باشد.

سهم بالای مواد معدنی موجود در گچ می‌تواند یکی از دلایل افزایش هدایت الکتریکی در سطوح بالاتر گچ باشد (Gao *et al.*, 2010). هدایت الکتریکی (EC) شاخصی برای بیان غلظت کل یون‌های آلی و معدنی محلول و تغییرات آن‌ها در طول فرآیند کمپوست می‌باشد (Zhou *et al.*, 2019). بالا بودن EC در کمپوست حاصل از تلقیح میکروبی می‌تواند به دلیل

معدنی شدن فسفر توسط فعالیت باکتریایی می‌شود (Prabhakaran and Manivannan., 2014).

نتایج این تحقیق با مطالعات Al-Barakah و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت داشت. آن‌ها گزارش کردند که تولید کمپوست از ضایعات کشاورزی با استفاده از کود گوسفندی و فعال‌کننده‌های آلی، سبب افزایش مقدار فسفر در طول فرآیند کمپوست شدن می‌شود. علت افزایش پتاسیم در نمونه‌های کمپوست نسبت به نمونه‌های شاهد احتمالاً به دلیل سرعت بالای معدنی شدن در نتیجه افزایش فعالیت میکروبی متأثر از کاربرد گچ باشد (Nagarajan et al., 1985). فعالیت میکروارگانیسیم‌ها در فرآیند تولید کمپوست می‌تواند منجر به اکسیداسیون مواد آلی، آزاد شدن عناصر و افزایش غلظت پتاسیم در کمپوست تولیدی شود. که نتایج Prabhakaran و Manivannan (۲۰۱۴)، Al-Barakah و همکاران (۲۰۱۳) نیز این واقعیت را تایید می‌کنند.

به‌طور کلی این پژوهش نشان داد که تلقیح میکروبی همراه با افزودن گچ سبب افزایش غلظت عناصر غذایی در کمپوست تولیدی شد. همچنین کاربرد گچ همراه با مایه‌زنی میکروبی موجب کاهش نسبت کربن به نیتروژن، مقدار pH و وزن کمپوست تهیه شده از پیت نیشکر گردید. تلقیح پیت نیشکر توسط قارچ فزاریوم و فانروکت کریزوسپوریوم همراه با باکتری *Bacillus subtilis* و *Bacillus firmus* همراه با کاربرد ۱۰ درصد گچ سرعت تجزیه ترکیبات پیت نیشکر را افزایش داد و موجب کاهش زمان کمپوست شدن گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد گچ همراه با تلقیح میکروبی می‌تواند به عنوان یک راه کار جهت تسریع تجزیه ترکیبات لیگنوسلوزی و کوتاه کردن زمان رسیدن کمپوست به کار گرفته شود.

فانروکت کریزوسپوریوم در کمپوست پسماندهای کشاورزی همخوانی داشت.

گچ به دلیل کاهش pH و همچنین کاهش تصاعد نیتروژن و افزایش معدنی کردن آن موجب فراهم نمودن شرایط مناسب برای فعالیت میکروارگانیسیم‌ها شد (Febrisiantosa et al., 2017). همچنین کاربرد گچ، کربنات آمونیوم را در حضور کربنات کلسیم به سولفات آمونیوم تبدیل می‌کند (Tubail et al., 2008). بنابراین نیتروژن با فرم کربنات آمونیوم نسبت به سولفات آمونیوم راحت‌تر از دست می‌رود (Guo et al., 2016). از طرف دیگر تلقیح میکروبی منجر به افزایش زیتوده میکروبی و در نتیجه افزایش ترشحات برون سلولی و فعالیت آن‌ها شد که این امر منجر به بالا رفتن سرعت تجزیه بیولوژیکی مواد آلی و کاهش دوره کمپوست شدن می‌شود (Sluiter et al., 2010). نسبت C/N نشان‌دهنده فرآیند تجزیه ماده آلی و بلوغ کمپوست است و با کربن و نیتروژن کمپوست در ارتباط است و به عنوان پارامتر مهم در کمپوست در نظر گرفته می‌شود (Huang et al., 2017). Tian و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که کاهش کربن از طریق آزاد شدن CO₂ حاصل از تجزیه و حفظ نیتروژن به دلیل کاربرد گچ منجر به کاهش نسبت C/N در کمپوست گردید. همچنین Gao و همکاران (۲۰۱۸) افزایش مقدار نیتروژن در اثر تلقیح میکروبی را مشاهده کردند. نتایج مشاهده شده در این آزمایش با مطالعات Moharana و Biswas (۲۰۱۶) همچنین Zeng و همکاران (۲۰۱۰) هم‌خوانی داشت.

افزایش مقدار فسفر در طول فرآیند کمپوست شدن زیستی ممکن است به دلیل ترشح اسیدهای آلی در طول تجزیه زیستی ضایعات آلی باشد که منجر به

References

- Al-Barakah, F.N., Radwan, S.M.A. and Abdel-Aziz, R.A., 2013. Using biotechnology in recycling agricultural waste for sustainable agriculture and environmental protection. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences (IJCMAS)*, 2(12): 446-459.
- Bustamante, M.A., Paredes C., Marhuenda- Egea F.C., Perez-Espinosa A., Bernal M.P., and Moral R. 2008. Co composting of distillery wastes with animal manures: carbon and nitrogen transformations in the evaluation of compost stability. *Chemosphere*.72: 551- 557.
- Chauhan, M. K., Chaudhary, S., Kumar, S. 2011. Life cycle assessment of sugar industry: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(7), 3445-3453.
- Cuevas, V.C. 1991. Rapid Composting Technology In The Philippines: Its role in producing good-quality organic fertilizers. Institute of Biological Sciences (IBS), College of Arts and Sciences, University of the Philippines at Los Baños.
- Diallo, N.D., MBengue, M., NGuer, M., Ka, M., Tine, E., Mbaye, C.T. 2017. Composting of sugar cane bagasse by Bacillus strains. *African Journal of Biotechnology*, 16(3), 113-123.
- Dinal, H. and Schnitzer, M.1996, composting maturity: chemical characteristics of extractable lipids, *compost science and utilization*.
- Dumitriu, S. (Ed.). 2004. Polysaccharides: structural diversity and functional versatility. CRC press.
- Ebrahimi, A., Hashemi, H., Eslami, H., Fallahzadeh, R. A., Khosravi, R., Askari, R., Ghahramani, E. 2018. Kinetics of biogas production and chemical oxygen demand removal from compost leachate in an anaerobic migrating blanket reactor. *Journal of environmental management*, 206, 707-714.
- Esmailzade, M., Rashidi, A. 2018. Evaluation of the disintegration of rayon fabric under composting conditions. *Journal of natural environment* 71(4), 425-436. (In Persian)
- Febriantosa, A., Ravindran, B., Choi, H. L. 2018. The Effect of Co-Additives (Biochar and FGD Gypsum) on Ammonia Volatilization during the Composting of Livestock Waste. *Sustainability*, 10(3), 795.
- Gadde, B., Bonnet, C., Menke, C., Garivait, S., 2009. Air pollutant emissions from rice straw open field burning in India, Thailand and the Philippines. *Environ. Pollut.* 157, 1554–1558.
- Gao, M., Li, B., Yu, A., Liang, F., Yang, L., Sun, Y. 2010. The effect of aeration rate on forced-aeration composting of chicken manure and sawdust. *Bioresource Technology*, 101(6), 1899-1903.
- Gao, Y., Yu, H., Liu, P., Ma, C., Li, Q., Jiang, W. 2018. Ending composting during the thermophilic phase improves cultivation substrate properties and increasing winter cucumber yield. *Waste management*, 79, 260-272.
- Giusti, L. 2009. A review of waste management practices and their impact on human health. *Waste management*, 29(8), 2227-2239.
- Gómez-Brandón, M., Lores, M., Domínguez, J. 2013. Changes in chemical and microbiological properties of rabbit manure in a continuous-feeding vermicomposting system. *Bioresource technology*, 128, 310-316.
- Guo, R., Li, G., Jiang, T., Schuchardt, F., Chen, T., Zhao, Y., Shen, Y. 2012. Effect of aeration rate, C/N ratio and moisture content on the stability and maturity of compost. *Bioresource Technology*, 112, 171-178.
- Guo, X., Lu, Y., Li, Q. 2016. Effect of adding flue gas desulfurization gypsum on the transformation and fate of nitrogen during composting. *Compost Science and Utilization*, 24(4), 230-237.
- Hemayati, S., Hamdi, H., Taleghani, D., Amili, H. 2011. National strategic plan of sugarcane research. Sugar beet Seed Institute (SBSI) and Sugarcane and byproducts Research, Education and Development Institute (In Persian).
- Huang, C., Zeng, G., Huang, D., Lai, C., Xu, P., Zhang, C., Zhang, Y. 2017. Effect of Phanerochaete chrysosporium inoculation on bacterial community and metal stabilization in lead-contaminated

- agricultural waste composting. *Bioresource technology*, 243, 294-303.
- Hutasoit, G.F., Toharisman, A. 1994. Composting of sugarcane bagasse. *Berita-Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia*, (11), 85-87.
- Jackson M.L., 1967. *Soil chemical analysis*. Prentice Hall of India Ltd, New Delhi.
- Jalili, M., Mokhtari, M., Eslami, H., Abbasi, F., Ghanbari, R., Ebrahimi, A.A. 2019). Toxicity evaluation and management of co-composting pistachio wastes combined with cattle manure and municipal sewage sludge. *Ecotoxicology and environmental safety*, 171, 798-804.
- Jindo, K., Suto, K., Matsumoto, K., García, C., Sonoki, T., Sanchez-Monedero, M.A. 2012. Chemical and biochemical characterisation of biochar-blended composts prepared from poultry manure. *Bioresource technology*, 110, 396-404.
- Li, Q., Guo, X., Lu, Y., Shan, G., Huang, J. 2016. Impacts of adding FGDG on the abundance of nitrification and denitrification functional genes during dairy manure and sugarcane pressmud co-composting. *Waste Management*, 56, 63-70.
- Liu, K., Price, G. W. (2011). Evaluation of three composting systems for the management of spent coffee grounds. *Bioresource technology*, 102(17), 7966-7974.
- López-González, J. A., López, M. J., Vargas-García, M. C., Suárez-Estrella, F., Jurado, M., Moreno, J. 2013. Tracking organic matter and microbiota dynamics during the stages of lignocellulosic waste composting. *Bioresource technology*, 146, 574-584.
- Mahmoudi, Sh., Najafi, N., Reyhanitabar, A. 2015. Effect of soil moisture and sewage-sludge compost on some soil chemical properties and alfalfa forage macronutrients concentrations in greenhouse conditions *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture Soilless Culture Research Center* 6(2), 37-55. (In Persian).
- Moharana, P. C., Biswas, D. R. 2016. Assessment of maturity indices of rock phosphate enriched composts using variable crop residues. *Bioresource technology*, 222, 1-13.
- Nagarajan, R., Manicham T.S., and Kothandaraman G.V. 1985. Manuarial value of coir pith. *Madras Agriculture Journal*. 72 (9): 533-535.
- Nakhshiniev, B., Biddinika, M.K., Gonzales, H. B., Sumida, H., Yoshikawa, K. 2014. Evaluation of hydrothermal treatment in enhancing rice straw compost stability and maturity. *Bioresource technology*, 151, 306-313.
- Nengwu, Z., 2006. Performance characteristics of three aeration system the swine manure composting. *Bioresource Technology*. 95: 319-326.
- Onwosi, C.O., Igbokwe, V.C., Odimba, J.N., Eke, I. E., Nwankwoala, M.O., Iroh, I.N., Ezeogu, L.I. 2017. Composting technology in waste stabilization: on the methods, challenges and future prospects. *Journal of environmental management*, 190, 140-157.
- Pandey, V.K., Singh, M.P., Srivastava, A.K., Vishwakarma, S.K., and Takshak, S. 2012. Biodegradation of sugarcane bagasse by *pleurotus citrinopileatus*. *Cellular and Molecular Biology*. 58 (1): 8-14.
- Pathak AK, Singh MM, Kumara V, Arya S, Trivedi AK. 2012. Assessment of physico-chemical properties and microbial community during composting of municipal solid waste (Viz. Kitchen waste) at Jhansi City, UP (India). *Recent Research in Science and Technology*. 4: 10-14.
- Prabhakaran, D., and Manivannan, S., 2014. Effect of inoculating lignocellulolytic fungus on nutrient changes during different phases of composting of poultry droppings amended with bagasse. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 3(9): 582-595.
- Salama, Y., Chennaoui, M., El Amraoui, M., Mountadar, M. 2016. A Review of ompost Produced from Biological Wastes: Sugarcane Industry Waste. *International Journal of Food Science and Biotechnology*. 1(1), 24-37.
- Salehi, S., Dehghanifard, E., Jonidi Jafari, A., Atafar, Z., Farzadkia, M., Ameri, A., Nabizadeh, R. 2011. Qualitative assessment of compost products of Tehran and Khomein facilities, Iran. *International*

Journal of Applied Environmental Sciences, 6(1), 81-86.

Sardar, S., Ilyas, S. U., Malik, S. R., Javaid, K. 2012. Compost fertilizer production from sugar press mud (SPM). *Int J Chem Environ Eng*, 3(1), 39-43.

Sluiter, A., Hames, B., Ruiz, R., Scarlata, C., Sluiter, J., Templeton, D., Crocker, D. 2010. Determination of structural carbohydrates and lignin in biomass. Laboratory analytical procedure, (TP-510-42618).

Song, Q., Li, J., Zeng, X. 2015. Minimizing the increasing solid waste through zero waste strategy. *Journal of Cleaner Production*, 104, 199-210.

Tabandeh, F., Roaiaie, M., Bambai, B., Molaie, M., Ghasemi, F. 2009. Isolation and identification of the bagasse degrading microorganisms. 22 (3), 442-451. (In Persian)

Tian, Y., Chen, L., Gao, L., Michel Jr, F. C., Wan, C., Li, Y., Dick, W.A. 2012. Composting of waste paint sludge containing melamine resin as affected by nutrients and gypsum addition and microbial inoculation. *Environmental pollution*, 162, 129-137.

Tubail, K., Chen, L., Michel Jr, F.C., Keener, H.M., Rigot, J.F., Klingman, M., Kost, D. and Dick, W.A., 2008. Gypsum additions reduce ammonia nitrogen losses during composting of dairy manure and biosolids. *Compost science and utilization*, 16(4), 285-293.

Wei, Y., Wei, Z., Cao, Z., Zhao, Y., Zhao, X., Lu, Q., Wang, X. and Zhang, X., 2016. A regulating method for the distribution of phosphorus fractions based on environmental parameters related to the key phosphate-solubilizing bacteria during composting. *Bioresource technology*, 211, 610-617.

Wei, Y., Wu, D., Wei, D., Zhao, Y., Wu, J., Xie, X., Zhang, R. and Wei, Z., 2019. Improved lignocellulose-degrading performance during straw composting from diverse sources with actinomycetes inoculation by regulating the key enzyme activities. *Bioresource technology*, 271, 66-74.

Yusoff, W.M.W., Massadeh, M.I., Omar, O., Kader, J. 2000. Sugar cane bagass degradation by mixed culture of *T. reesei* and *A. terreus* in solid substrate fermentation. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 3 (10), 1758- 1761.

Zeng, G., Yu, M., Chen, Y., Huang, D., Zhang, J., Huang, H., Jiang, R. and Yu, Z., 2010. Effects of inoculation with *Phanerochaete chrysosporium* at various time points on enzyme activities during agricultural waste composting. *Bioresource technology*, 101(1), 222-227.

Zhao, Y., Lu, Q., Wei, Y., Cui, H., Zhang, X., Wang, X., Shan, S., Wei, Z., 2016. Effect of actinobacteria agent inoculation methods on cellulose degradation during composting based on redundancy analysis. *Bioresource technology*, 219, 196-203.

Zhao, Y., Zhao, Y., Zhang, Z., Wei, Y., Wang, H., Lu, Q., Li, Y. and Wei, Z., 2017. Effect of thermo-tolerant actinomycetes inoculation on cellulose degradation and the formation of humic substances during composting. *Waste Management*, 68, 64-73.

Zhou, G., Xu, X., Qiu, X., Zhang, J. 2019. Biochar influences the succession of microbial communities and the metabolic functions during rice straw composting with pig manure. *Bioresource technology*, 272, 10-18.