

پیامد کاربرد گچ و آمیزه‌ی باکتری‌ها و قارچ‌ها بر برخی از شناسه‌های رسیدگی کمپوست 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، اهواز، ایران
۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

تاریخچه مقاله	چکیده
دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۳۰ پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۱۱/۳۰	سالانه مقادیر قابل توجهی پسماندهای جانبی صنایع نیشکر پدید آمده که بدون بهره‌گیری باقی می‌مانند. هدف از این پژوهش کوتاه کردن زمان رسیدگی کمپوست و نسبت C/N برای کاربرد آن‌ها در کشاورزی بود. این تحقیق در شرایط آزمایشگاهی با دو فاکتور کاربرد گچ (به مقدار ۱، ۵ و ۱۰ درصد وزنی گچ) و فاکتور میکروبی (بدون تلقیح میکروبی، مایه‌زنی با آمیزه باکتری، مایه‌زنی با آمیزه قارچ همچنین مایه‌زنی هم‌زمان آمیزه قارچ و باکتری) به گونه آزمایش فاکتوریل در چهارچوب طرح پایه کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام شد. یافته‌های این پژوهش نشان داد که بیشترین مقدار هدر رفت ماده آلی در مایه‌زنی آمیزه قارچ و باکتری به همراه گچ ۱۰ درصد (۲۷/۵۷ درصد) بود و کمترین میزان آن در تیمارهای بدون تلقیح میکروبی در هر سه سطح گچ مشاهده گردید. همچنین این ترکیب تیماری مایه کاهش ۴/۷۴ برابر C/N نسبت به تیمار بدون مایه‌زنی میکروبی با ۱۰ درصد گچ شد. کاهش نسبت‌های C/N، H/O، H/C و افزایش نسبت O/C با تیمار یادشده نشان از رسیدگی کمپوست پست نیشکر در زمان فرآیند سه‌ماهه بود. نتایج این پژوهش نشان داد که مایه‌زنی هم‌زمان آمیزه قارچ و باکتری همراه با ۱۰ درصد گچ منجر به تسریع تجزیه پست نیشکر و کوتاه شدن زمان کمپوست شده است.
کلمات کلیدی: باسیلوس، پست نیشکر، قارچ، فانروکت کریزوسپوریم، فوزاریوم، کمپوست، گچ	
* عهده دار مکاتبات Email: moezzi151@scu.ac.ir	

بدون بهره‌گیری می‌مانند. بیشتر آن‌ها با آتش‌سوزی مایه آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌شوند (۱۲، ۲۸).
برای گشودن این دشواری کمپوست کردن یک روش سودمند و ارزان است که دید کارشناسان محیط‌زیست را نیز به خود معطوف کرده است (۹). ولی بالا بودن مقادیر ترکیبات لیگنینی در این مانده‌های گیاهی، سبب طولانی شدن زمان کمپوست شدن می‌گردد. در فرآیند کمپوست،

مقدمه

یکی از فرآورده‌های مهم و استراتژیک که در صنعت نیشکر استفاده فراوان می‌شود، نیشکر است. بسته به بالا بودن رویه زیر کشت نیشکر در جهان و همچنین ایران سالانه مقدار بسیار بالایی از پسماندهای صنعت پدید می‌آید (۱۴، ۱۷) که هر ساله با مدیریت ناشایست مقدارهای بالایی از این پسماندها

در ساختار گچ می‌تواند در ساختار دیواره سلولی ریز جانداران بهره‌گیری گردد (۲۷).

گو و همکاران^۲ (۱۳) در پژوهشی کاهش نسبت کربن به نیتروژن پسماندهای کشاورزی تحت تأثیر مایه‌زنی میکروبی همراه با افزودن گچ را گزارش کردند؛ همچنین بیان کردند کاربرد گچ مایه کاهش تصاعد آمونیاک در فرآیند کمپوست شدن و افزایش مقدار نیتروژن گردید.

پژوهش تیان و همکاران^۳ (۳۴) نشان داد که افزوده نمودن گچ در طول فرآیند کمپوست شدن مایه کاهش وزن توده کمپوست نسبت به شروع فرآیند و همچنین افزایش سرعت تجزیه گردید. همچنین مطالعه فبری‌سانتر و همکاران (۱۱) حاکی از تأثیر مثبت کاربرد گچ بر فرآیند کمپوست شدن دارد. ایشان گزارش دادند که افزودن گچ مایه کاهش pH و تصاعد نیتروژن و افزایش هدایت الکتریکی در انتهای فرآیند کمپوست شده است. لی و همکاران^۴ (۲۴) کاهش ماده آلی و تصاعد نیتروژن در انتهای فرآیند کمپوست حاصل از کاربرد گچ را گزارش دادند.

با نگاه به بررسی‌های صورت گرفته و زمان‌بر بودن فرآیند کمپوست ضایعات نیشکر (باگاس و پیت نیشکر) هدف از این پژوهش بهبود و تسریع فرآیند کمپوست شدن پیت نیشکر و همچنین سامان‌دهی پسماندهای تولید شده است.

مواد و روش‌ها

تهیه و آماده‌سازی پیت نیشکر

در این پژوهش برای آماده‌سازی کمپوست از پیت نیشکر تهیه‌شده از شرکت کشت و صنعت نیشکر دهخدا در اهواز استفاده گردید. نمونه‌های پیت پس از رساندن به آزمایشگاه گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز در آغاز جهت سست شدن پیوند کربنی ترکیبات، ۲ ساعت جوشانده و سپس هوا خشک

ماده آلی در یک فرآیند زیستی به کمک ریز جانداران به مواد ساده و پایدار دگرگون می‌شوند (۸). ریز جانداران معمولاً در مواد خام آغازین هستند که در فرآیند کمپوست شدن رشد و تکثیر می‌شوند (۲۳). در آغاز فرآیند کمپوست شدن، مقدار ماده آلی بالا بوده ولی فراوانی ریز جانداران کم است؛ بنابراین مایه‌زنی میکروبی می‌تواند مایه بهبود فراوانی ریز جانداران گردد (۳۶، ۲۹، ۲۵).

در این باره بررسی‌های پرشماری انجام شده است که می‌توان از پژوهش وی و همکاران (۳۸) یاد نمود که نشان داد مایه‌زنی میکروبی برای کاهش زمان فرآیند کمپوست کارا است. همچنین آوستی و همکاران (۶) اثر آمیزه قارچ را بر روی کمپوست کردن پسماندهای ارگانیک ارزیابی کردند که یافته‌های آن‌ها نشان‌دهنده بهبود رسیدگی کمپوست و سرعت بخشیدن به آن در اثر کاربرد آمیزه قارچ بود.

وارما و همکاران^۱ (۳۷) تأثیر مایه‌زنی قارچ *فانروکت کرزیوسپوریوم* بر کمپوست را بررسی کردند و نشان دادند که مایه‌زنی توانایی کاهش فرآیند رسیدگی کمپوست را دارد.

با تأثیر مثبتی که مایه‌زنی میکروبی بر فرآیند کمپوست دارد ولی برای پیشینه کردن کارایی مایه‌زنی میکروبی و بهبود فعالیت ریز جانداران همچنین بهبود ویژگی‌های بستر کمپوست و تنظیم عملکرد آن نیاز به کاربرد مواد افزودنی است، که یکی از این موارد کاربرد گچ است (۱۹).

افزودن گچ مایه تسریع فرآیند کمپوست شدن و بالا رفتن کیفیت کمپوست تولیدی می‌گردد (۳۴). گچ به دلیل تأثیر بر ویژگی‌های بستر کمپوست مایه دانه‌بندی، افزایش تخلخل و تهویه کمپوست و همچنین مایه افزایش نگهداری آب و کاهش خطرات رطوبت اضافی می‌گردد (۱۱). گچ به‌عنوان منبع غنی از کلسیم و گوگرد است؛ که سبب کاهش اثرات سوء سدیم می‌شود (۳۴، ۱۱). همچنین کاربرد گچ مایه کاهش pH و تصاعد نیتروژن، افزایش فراوانی ریز جانداران و درصد تجزیه می‌گردد (۲۷، ۲۴، ۱۱). همچنین کلسیم موجود

2- Gao et al.

3- Tian et al.

4- Li et al.

1- Varma et al.

ساخت هاله در محیط دارای کربو کسی متیل سلولوز و قارچ فوزاریوم از کلکسیون میکروبی گروه خاکشناسی دانشگاه شهید چمران اهواز آماده گردید. در پایان دوره انکوباسیون از هر یک از تیمارها نمونه برداری برای انجام آزمایش ها انجام شد.

اندازه گیری مقدار هدر رفت ماده آلی که افزایش این شاخص بیان گر افزایش میزان تخریب و تجزیه نمونه ها است؛ با بهره گیری از مقدار خاکستر در آغاز کمپوست شدن (X1) و مقدار خاکستر در هر زمان در طول کمپوست شدن (X2) با بهره گیری از فرمول زیر برآورد گردید (۳۰).

رابطه (۱):

$$OM\ LOSS(\%) = 100 - \left(100 * \frac{X1 \times (100 - X2)}{X2 \times (100 - X1)} \right)$$

ترکیبات عنصری N، H، C و S در نمونه های کمپوست پیت با دستگاه CHNS آنالیز آزمایشگاه مرکزی دانشگاه شهید چمران اندازه گیری شد. اندوخته ی اکسیژن نیز از اختلاف درصد بقیه عناصر همراه با درصد خاکستر بر پایه فرمول زیر برآورد گردید.

رابطه (۲):

$$\% O = 100 - (C + H + N + S + \text{درصد خاکستر})$$

مقدار خاکستر نیز برای نمونه ها برحسب درصد پس از سوزاندن نمونه ها در کوره الکتریکی در دمایی ۵۵۰ درجه سلسیوس برای ۲ ساعت برآورد شد (۳۵).

تحلیل آماری داده ها

این پژوهش به گونه فاکتوریل در چهارچوب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل چهار سطح ریزجانداران (آمیخته دو باکتری، آمیخته دو قارچ، آمیخته قارچ ها و باکتری ها، بدون مایه زنی میکروبی) و سه سطح کاربرد گچ (۱، ۵ و ۱۰ درصد) بود. برای تجزیه و تحلیل آماری داده ها از نرم افزار SAS نسخه 9.4 بهره گیری شد. مقایسه میانگین - ها با بهره گیری از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت و نمودارها با بهره گیری

شدند. پس از آن نمونه های پیت برای سترون شدن برای ۲۰ دقیقه در دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس و فشار ۱۰ بار اتوکلاو شدند. برای پایین آوردن نسبت کربن به نیتروژن، به مقدار ۰/۱ درصد وزنی اوره به هر یک از تیمارها افزوده شد. در این پژوهش برای کاربرد تیمارها پیت نیشکر در مقادیرهای ۱۰۰ گرمی وزن شده و در ظروف پلاستیکی درب دار دارای منفذ برای تبادلات گازی، گذاشته شد.

کاربرد تیمارها

پس از انتقال نمونه ها به ظروف، گچ سترون شده در سه سطح ۱، ۵ و ۱۰ درصد وزنی به آن ها اضافه گردید. مایه زنی میکروبی در چهار تیمار آزمایشی بدون مایه زنی میکروبی، آمیزه باکتری های *Bacillus subtilis* strain M2F50 و *Bacillus firmus* strain ZF10، آمیزه قارچ های *Fusarium* و *Phanerochaete chrysosporium* و sp. هم زمان آمیزه های قارچ و باکتری باهم، بود. بدین گونه که از قارچ تازه کشت شده در پلیت دارای کشتگاه PDA سوسپانسیون اسپور آماده گردید. از سوسپانسیون اسپور قارچ به هر یک از واحدهای آزمایشی به مقداری افزوده شد که ۱۰^۵ اسپور در هر گرم توده داشته باشد. برای آماده سازی زادمایه باکتری به گونه کشت شبانه هر یک از باکتری ها در کشتگاه مایع مغذی (NB) آماده گردید. از کشت شبانه باکتری به مقداری به هر توده پیت نیشکر افزوده شد که فراوانی باکتری ها ۱۰^۶ cfu/g باشد.

نمونه ها در دمای ثابت (۲۵ ± ۲) برای ۹۰ روز نگهداری شدند. در طول انکوباسیون، رطوبت نمونه ها با افزودن آب مقطر استریل شده در حد ۶۵ تا ۷۰٪ وزن زیتوده نگهداری شد. برای هفته نخست هر ۲-۳ روز یک بار و پس از آن هفته - ای یک بار برای هوادهی توده ها زیرورو شدند. قارچ *Phanerochaete chrysosporium* بهره گیری شده در این پژوهش توسط دکتر دان کولن از آزمایشگاه فرآورده های کشاورزی مدیسون آمریکا آماده شد. همچنین باکتری های مورد استفاده *Bacillus subtilis* strain M2F50 و *Bacillus firmus* strain ZF10 به ترتیب با کد دسترسی MG766127 و MG766131 جداسازی شده از فیلترکیک با توانایی

سرخه و همکاران: پیامد کاربرد گچ و آمیزه‌ی باکتری‌ها...

هوانگ و همکاران^۲ (۱۷) افزایش مقدار هدر رفت ماده آلی و کاهش حجم توده کمپوست پسماند کشاورزی را تحت تاثیر کاربرد *P.chryso sporium* را گزارش دادند.

اثر تیمارها بر مقدار کربن، نیتروژن و نسبت C/N

نسبت C/N پارامتر مهم برای نشان دادن بلوغ کمپوست بوده که به‌طور کلی می‌تواند تحت تاثیر تغییرات ماده آلی و ویژگی‌های آن قرار گیرد (۱۱). کاهش این نسبت به‌عنوان شاخص پایداری و بلوغ کمپوست مورداستفاده قرار می‌گیرد (۱۱، ۱۷). در اثر افزایش درصد گچ مقدار کربن و نسبت C/N کاهش و درصد نیتروژن کمپوست آماده‌شده 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: آمیزه قارچ و باکتری < آمیزه قارچ < آمیزه باکتری < تیمارهای بدون مایه‌زنی (جدول ۳ و شکل ۲). یافته‌های به‌دست آمده از بررسی دگرگونی‌های نسبت کربن به نیتروژن (شکل ۲) نشان داد که اعمال مایه‌زنی میکروبی همراه با کاربرد گچ مایه کاهش نسبت C/N گردید. کمترین مقدار نسبت C/N در تیمار آمیزه قارچ و باکتری همراه با کاربرد ۱۰ درصد گچ (۱۹/۲) دیده‌شده که اختلاف معنی‌داری با تیمار دارای قارچ در تیمار ۱۰ درصد گچ (۲۳/۵۳) داشت. بیشترین مقدار این شاخص در تیمارهای حاصل از گچ یک درصد و بدون مایه‌زنی (۱۰۷/۳) دیده شد.

گچ می‌تواند باعث کاهش pH مواد کمپوست شونده شده و از تبدیل آمونیوم به آمونیاک و تصاعد آمونیاک جلوگیری کند. همچنین کاربرد گچ احتمالاً از طریق افزایش زیتوده میکروبی منجر به جذب بیشتر نیتروژن و

از برنامه Excel و بر اساس یافته‌های به‌دست آمده از آزمون میانگین‌ها رسم شدند.

نتایج و بحث

بر پایه جدول ۱ پیت آزمایش شده دارای مقدار کربن بالا و نیتروژن پایینی بوده، همچنین دارای شوری پایین و pH نسبتاً خنثی بود.

اثر تیمارها بر مقدار هدر رفت ماده آلی

یافته‌های تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان می‌دهد که اثرات اصلی تیمارها بر مقدار هدر رفت ماده آلی نمونه‌ها ($P < 0.05$) چشم‌گیر بود. مایه‌زنی میکروبی و کاربرد گچ مایه افزایش هدر رفت ماده آلی نمونه گردید (شکل ۱). بیشترین مقدار هدر رفت ماده آلی در مایه‌زنی پیت نیشکر با آمیزه قارچ و باکتری همراه با کاربرد گچ ۱۰ درصد (۲۷/۵۷ درصد) مشاهده گردید. پس از آن بیشترین مقدار هدر رفت ماده آلی در سطح ۱۰ درصد گچ و مایه‌زنی با آمیزه قارچ (۲۵/۶۲ درصد) دیده شد. کمترین مقدار در تیمارهای بدون مایه‌زنی میکروبی در هر سه سطح کاربرد گچ مشاهده گردید.

گچ می‌تواند مواد معدنی بیشتری برای رشد میکروبی فراهم نماید که مایه افزایش تجزیه ترکیبات آلی و کاهش حجم آن‌ها می‌گردد. فبری‌سانتر و همکاران^۱ (۱۱) و گو و همکاران (۱۵) یافته‌های مشابهی را گزارش کردند. توجه به اینکه کاهش ماده آلی نشانگر افزایش فعالیت ریز جانداران است، این کاهش در تیمارهای مایه‌زنی شده با ریز جانداران بیشتر بود که نشان از تاثیر فعالیت ریز جانداران دارد. در واقع کاربرد آمیزه قارچ و باکتری مایه افزایش فراوانی و شدت فعالیت میکروبی و کاهش ماده آلی شد. گو و همکاران (۱۶) گزارش کردند که کاربرد گچ مایه افزایش مقدار هدر رفت ماده آلی در انتهای فرآیند کمپوست سازی شده است.

جلوگیری از هدر رفت آن و افزایش درصد نیتروژن در نمونه‌ها می‌گردد (۱۶،۳۶). کاهش تصاعد نیتروژن و افزایش معدنی کردن آن، مایه فراهم نمودن شرایط مناسب برای فعالیت ریز جانداران شد (۱۱).

جدول (۱) برخی ویژگی‌های شیمیایی پیت نیشکر بهره‌گیری شده در آزمایش
Table (1) Some of the chemical properties of sugarcane pith used in the experiment

مقدار Amount	واحد Unit	ویژگی Property
45.6	%	C
0.418	%	N
109.1	-	C/N
5.323	%	H
1.276	%	S
40.353	%	O
0.885	-	O/C
0.117	-	H/C
0.132	-	H/O

جدول (۲) میانگین مربعات تأثیر تیمارها بر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده
Table (2) Mean square of treatments effect on measured parameters

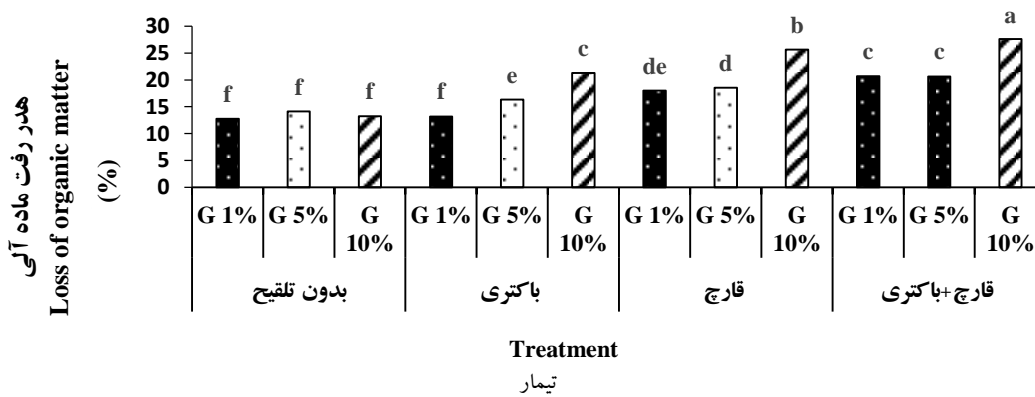
میانگین مربعات Mean square										درجه آزادی df	منبع تغییرات SOV
H/O										هدر رفت ماده آلی Loos OM	
H/O	H/C	O/C	C/N	O	S	H	N	C	(%)		
0.00538 ^{**}	0.00012 [*]	0.007 ^{ns}	933 ^{**}	152.753 [*]	5.715 ^{**}	1.727 ^{***}	0.161 ^{**}	48 ^{**}	173.8 ^{***}	2	G
0.02998 [*]	0.00030 [*]	1.313 ^{**}	1156 [*]	301.674 [*]	0.497 ^{**}	16.870 ^{***}	0.851 ^{**}	635 ^{**}	112.7 ^{***}	3	B
0.00007 ^{ns}	0.00001 ^{ns}	0.003 ^{ns}	20.1 ^{**}	3.438 ^{ns}	0.004 ^{ns}	0.027 ^{**}	0.024 ^{**}	1.120 ^{ns}	2.246 ^{ns}	6	G×B
0.00003	0.00001	0.008	5.109	2.159	0.016	0.006	0.001	0.703	1.086	24	خطا Error
4.173	2.658	8.744	3.810	3.884	5.629	1.596	3.200	2.40	5.498	-	ضریب تغییرات C.V.

G: سطوح گچ (Levels Gypsum) ؛ B: مایه‌زنی میکروبی (Microbial inoculation)

ns, ***, ** و * به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۰۱، ۰/۰۱ و ۰/۰۵ درصد

ns, ***, ** and * It is non-significant and statistically significant at the probability level of 0.001, 0.01 and 0.05%

سرخه و همکاران: پیامد کاربرد گچ و آمیزه‌ی باکتری‌ها...



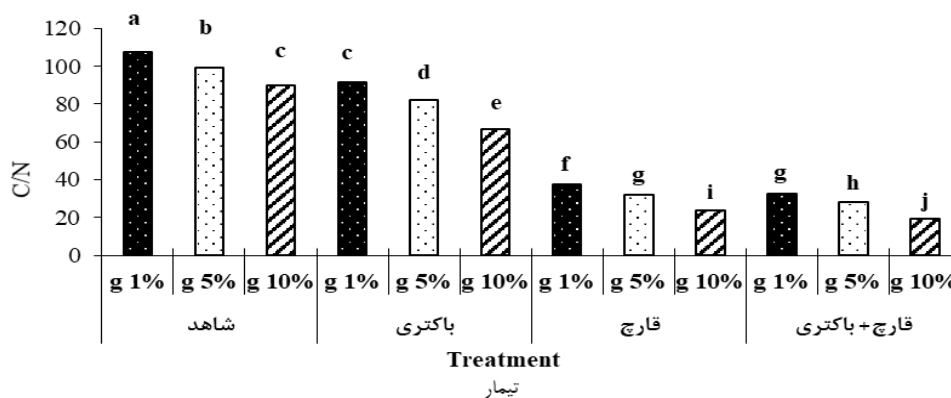
G: سطوح گچ (Gypsum levels)

شکل (۱) مقایسه میانگین تاثیر تیمارها بر هدر رفت ماده آلی نمونه‌ها

Figure (1) Mean comparison of the treatments effect on the loss of organic carbon of samples

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) نمی‌باشند

Means with the same letter are not significantly different ($P < 0.05$)



G: سطوح گچ (Gypsum levels)

شکل (۲) مقایسه میانگین تاثیر تیمارها بر C/N نمونه‌ها

Figure (2) Mean comparison of treatments effect on C/N of samples

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) نمی‌باشند

Means with the same letter are not significantly different ($P < 0.05$)

شدن CO_2 حاصل از تجزیه و حفظ نیتروژن به دلیل کاربرد گچ مایه کاهش نسبت C/N در کمپوست گردید. همچنین گو و همکاران (۱۳) افزایش مقدار نیتروژن در اثر مایه‌زنی میکروبی را مشاهده کردند. یافته‌های مشاهده‌شده در این آزمایش با بررسی‌های مهران و بیسواس (۲۶) و همچنین زینگ و همکاران^۱ (۳۹) هم-خوانی داشت.

از طرف دیگر مایه‌زنی میکروبی سبب افزایش زیتوده میکروبی و در نتیجه افزایش ترشحات برون سلولی و فعالیت آن‌ها شد که این امر مایه بالا رفتن سرعت تجزیه زیستی مواد آلی و کاهش دوره کمپوست شدن می‌شود (۳۳). کاهش نسبت C/N نشان‌دهنده فرآیند تجزیه ماده آلی و رسیدگی کمپوست بوده و با کربن و نیتروژن کمپوست در ارتباط است و به‌عنوان پارامتر مهم در کمپوست در نظر گرفته می‌شود (۱۸). تیان و همکاران (۳۴) گزارش کردند که کاهش کربن از طریق آزاد

1- Zeng et al.

جدول (۳) مقایسه میانگین تاثیر تیمارها بر درصد کربن و نیتروژن نمونه‌ها

Table (3) Mean comparison of the treatments effect on carbon and nitrogen ratio of samples

میانگین	سطوح گچ (درصد وزنی) Levels Gypsum (% Wt)			تیمار میکروبی Microbial treatment
	10	5	1	
کربن (%) Carbon (%)				
43.749	42.183 ^b	44.22 ^a	44.845 ^a	بدون تلقیح میکروبی
41.395	39.028 ^c	41.320 ^b	43.837 ^a	کنسرسیوم باکتری
29.405	27.040 ^f	30.415 ^{de}	30.760 ^d	کنسرسیوم قارچ
27.035	24.556 ^g	27.525 ^f	29.025 ^e	کنسرسیوم قارچ و باکتری
	26.001	20.862	37.116	میانگین
نیتروژن (%) Nitrogen (%)				
0.445	0.471 ^{gh}	0.445 ^{hi}	0.418 ⁱ	بدون تلقیح میکروبی
0.523	0.587 ^f	0.502 ^g	0.479 ^{gh}	کنسرسیوم باکتری
0.975	1.162 ^b	0.947 ^c	0.816 ^e	کنسرسیوم قارچ
1.047	1.281 ^a	0.975 ^c	0.884 ^d	کنسرسیوم قارچ و باکتری
	0.862	0.717	0.650	میانگین

بدون تلقیح میکروبی: Control؛ کنسرسیوم باکتری: Bacterial consortium؛ کنسرسیوم قارچ: Fungus consortium؛ کنسرسیوم قارچ و

باکتری: Fungus and bacterial consortium؛ میانگین: Average

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی دار ($P < 0.05$) نمی‌باشند

Means with the same letter are not significantly different $P < 0.05$

اثر تیمارها بر مقدار هیدروژن

یافته‌های تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثرات اصلی تیمارها و اثر متقابل کاربرد گچ و مایه‌زنی میکروبی بر مقدار هیدروژن نمونه‌ها معنی دار ($P < 0.05$) بود.

بررسی تاثیر کاربرد توأم تیمارهای شیمیایی × میکروبی بر کاهش هیدروژن نمونه‌ها برتری تیمارهای کاربرد گچ و مایه‌زنی میکروبی را نشان داد (جدول ۴). بیشترین کاهش غلظت هیدروژن در اثر کاربرد توأم ۱۰ درصد گچ و مایه‌زنی با آمیزه قارچ و باکتری حاصل شد. کاربرد توأم آمیزه قارچ و باکتری همراه با ۱۰ درصد گچ در مقایسه با تیمار بدون مایه-زنی میکروبی مایه ۲۹/۹۱ درصد کاهش هیدروژن نمونه‌ها

گردید. این کاهش در تیمارهای متناظر نسبت به شاهد آزمایش خود در سطح ۵ و یک درصد گچ کاربردی به ترتیب ۲۱/۴۲ و ۱۹/۵۱ درصد بود. همان‌گونه که جدول ۴ نشان می‌دهد کاهش هیدروژن حاصل از مایه‌زنی کنسرسیوم قارچ بسیار فراتر از کاهش هیدروژن در اثر مایه‌کوبی باکتریایی در هر یک از سطوح گچ کاربردی بود، که احتمالاً به دلیل سهم بالای قارچ‌ها در فرآیند تجزیه ترکیبات لیگنینی باشد که مایه کاهش بیشتر غلظت هیدروژن نسبت به مایه‌زنی با باکتری‌ها است.

دلیل کاهش میزان هیدروژن نمونه‌ها، تجزیه ترکیبات آلفاتیك و تشکیل گروه‌های آروماتیک است. این یافته‌ها با

سرخه و همکاران: پیامد کاربرد گچ و آمیزه‌ی باکتری‌ها...

همکاران (۱۹) گزارش دادند که افزایش اکسیژن نشان‌دهنده افزایش گروه‌های دارای اکسیژن شامل گروه‌های کربوکسیلیک (C-O) و گروه‌های فنولی (OH) است. همچنین امیر و همکاران^۲ (۵) احتمال افزایش اکسیژن در زمان فرآیند تجزیه پلی‌ساکاریدهای غنی از اکسیژن را گزارش کردند. هانگ و همکاران (۲۰) در بررسی تأثیر گچ و جامعه میکروبی بر مقدار ماده آلی محلول در زمان کمپوست افزایش مقدار اکسیژن را گزارش دادند.

اثر تیمارها بر نسبت O/C

یافته‌های تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثرات اصلی مایه‌زنی میکروبی بر نسبت O/C نمونه‌ها معنی‌دار ($P < 0.05$) بود. بررسی شکل (۳) افزایش سطح گچ در کلیه سطوح میکروبی مایه افزایش نسبت O/C نمونه گردید. نسبت O/C به گونه معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای میکروبی است و تیمار آمیزه قارچ و باکتری با برتری معنی‌دار نسبت به آمیزه‌های هر یک از قارچ و باکتری به‌تنهایی و تیمار شاهد آزمایش به ترتیب مایه ۱۲، ۹۰ و ۱۱۳ درصد افزایش گردید. کلیه تیمارهای دارای قارچ در مقایسه با دیگر تیمارها O/C را به گونه معنی‌داری افزایش دادند؛ که حاکی از برتری این ریزجانداران در تجزیه مواد آلی است. تیمار ۱۰ درصد گچ و آمیزه توأم قارچ و باکتری بیشترین O/C را به خود اختصاص داد و نسبت O/C در این تیمار در مقایسه با تیمار ۵ و یک درصد گچ در تیمارهای متناظر اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید. علت افزایش و کاهش O/C در اثر کاربرد تیمارها، احتمالاً به دلیل تأثیر این تیمارها بر غلظت اکسیژن و یا غلظت کربن در نمونه‌های حاصل از همان تیمارها باشد. چراکه تیمارهایی که مایه کاهش درصد کربن در نمونه‌ها شده‌اند غلظت اکسیژن را در این نمونه‌ها افزایش داده‌اند که مایه افزایش نسبت O/C گردیده است. بالا بودن مقدار نسبت اکسیژن به کربن حاکی از کاهش میزان کربن و افزایش اکسیژن در تیمارها می‌تواند باشد. این افزایش می‌تواند به دلیل تجزیه فعال ترکیبات آلیفاتیک و ساختار پیتیدی باشد؛ که با

بررسی‌های هوانگ و همکاران (۲۰) و امیر و همکاران (۵) و هانگ و همکاران (۱۹) هم‌خوانی داشت.

اثر تیمارها بر مقدار گوگرد

یافته‌های تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثرات اصلی کاربرد گچ و مایه‌زنی میکروبی بر مقدار گوگرد نمونه‌ها معنی‌دار ($P < 0.05$) بود. مایه‌زنی میکروبی همراه با کاربرد گچ مایه افزایش مقدار گوگرد نمونه‌ها پس از ۹۰ روز انکوباسیون گردید (جدول ۵). بیشترین کاهش گوگرد در نمونه‌های ۱۰ درصد گچ دیده شد. به ازای افزایش سطح کاربرد گچ مقدار گوگرد نمونه‌ها حدوداً ۱۴ درصد افزایش یافت. همچنین آمیزه قارچ و باکتری به ترتیب نسبت به کنسرسیوم قارچ و باکتری به‌تنهایی و نمونه‌های بدون مایه‌زنی میکروبی مایه افزایش ۲/۰۴، ۱۹ و ۲۲/۵۴ درصد در اندوخته‌ی گوگرد گردید. فبری‌ساتز و همکاران (۱۱) در زمان کمپوست کردن کود دامی افزایش غلظت گوگرد در اثر کاربرد گچ در انتهای فرایند کمپوست را گزارش دادند. فعالیت ریزجانداران در فرآیند تولید کمپوست می‌تواند مایه اکسیداسیون مواد آلی، آزاد شدن عناصر و افزایش غلظت پتاسیم در کمپوست تولیدی شود. که یافته‌های پرباکن و مانی‌وامن (۳۱)، آل‌براکا و همکاران^۱ (۱) نیز این واقعیت را تأیید می‌کنند.

اثر تیمارها بر مقدار اکسیژن

یافته‌های تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثرات اصلی کاربرد گچ و مایه‌زنی میکروبی بر مقدار اکسیژن نمونه‌ها معنی‌دار ($P < 0.05$) بود. جدول ۶ تأثیر هم‌افزایی معنی‌دار تیمارهای شیمیایی و میکروبی بر غلظت اکسیژن در نمونه‌ها را نشان داد به نحوی که افزایش کاربرد گچ در سطوح متناظر مایه کوبی باکتریایی مایه افزایش مقدار اکسیژن در نمونه‌ها گردید. بیشترین غلظت اکسیژن با اختلاط سطح بالاتر گچ کاربرد و مایه کوبی توأم قارچ و باکتری حاصل شد که از لحاظ آماری با غلظت اکسیژن حاصل از تیمار ۱۰ درصد گچ و مایه کوبی قارچ تفاوت معنی‌داری نداشت. هانگ و

اکسیژن به کربن حاصل از کاربرد تیمارهای یادشده افزایش یافت. همچنین این یافته‌ها با بررسی‌های امیر و همکاران (۴) همخوانی داشت. آن‌ها نیز افزایش O/C را در انتهای کمپوست شدن گزارش دادند.

پیدایش سازه‌های اکسیده هومیکی در فرآیند غنی‌سازی باعث افزایش این نسبت می‌گردد (۳). علیخانی و همتی (۲) طی پژوهش تأثیر غنی‌سازی ورمی کمپوست با تیمارهای کودی و باکتریایی بر هموسی شدن و ویژگی‌های اسید هومیک، گزارش کردند که در فرآیند کمپوست شدن نسبت

جدول (۴) مقایسه میانگین تاثیر تیمارها بر درصد هیدروژن نمونه‌ها

Table (4) Mean comparison of the treatments effect on hydrogen ratio of samples

میانگین Average	سطوح گچ (درصد وزنی) Gypsum levels (% Wt)			تیمار میکروبی Microbial treatment
	10	5	1	
	هیدروژن (%) Hydrogen (%)			
6.38	6.10 ^c	6.44 ^b	6.61 ^a	بدون تلقیح میکروبی Control
5.92	5.44 ^e	5.96 ^d	6.37 ^b	کنسرسیوم باکتری Bacterial consortium
4.03	3.62 ⁱ	4.14 ^g	4.32 ^f	کنسرسیوم قارچ Fungus consortium
3.62	3.15 ^j	3.69 ⁱ	4.00 ^h	کنسرسیوم قارچ و باکتری Fungus and bacterial consortium
	4.58	5.06	5.32	میانگین Average

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) نمی‌باشند
Means with by the same letter are not significantly differentns ($P < 0.05$)

جدول (۵) مقایسه میانگین تاثیر تیمارها بر درصد گوگرد نمونه‌ها

Table (5) Mean comparison of the treatments effect on sulfur ratio of samples

میانگین Average	سطوح گچ (درصد وزنی) Gypsum levels (% Wt)			تیمار میکروبی Microbial treatment
	10	5	1	
	گوگرد (%) Sulfur (%)			
2.04	2.75 ^b	1.96 ^{de}	1.43 ^f	بدون تلقیح میکروبی Control
2.10	2.80 ^b	2.05 ^d	1.47 ^f	کنسرسیوم باکتری Bacterial consortium
2.45	3.20 ^a	2.35 ^c	1.81 ^e	کنسرسیوم قارچ Fungus consortium
2.50	3.26 ^a	2.43 ^c	1.81 ^e	کنسرسیوم قارچ و باکتری Fungus and bacterial consortium
	3.00	2.20	1.63	میانگین Average

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) نمی‌باشند
Means with the same letter are not significantly different ($P < 0.05$).

سرخه و همکاران: پیامد کاربرد گچ و آمیزه‌ی باکتری‌ها...

جدول (۶) مقایسه میانگین تاثیر تیمارها بر درصد اکسیژن نمونه‌ها

Table (6) Mean comparison of the treatments effect on oxygen ratio of samples

میانگین Average	سطوح گچ (درصد وزنی) Gypsum levels (% Wt)			تیمار میکروبی Microbial treatment
	10	5	1	
	اکسیژن (%) Oxygen (%)			
32.02	35.029 ^c	30.608 ^d	30.427 ^d	بدون تلقیح میکروبی Control
33.69	36.889 ^c	32.138 ^d	32.038 ^d	کنسرسیوم باکتری Bacterial consortium
42.46	47.135 ^a	40.483 ^b	39.748 ^b	کنسرسیوم قارچ Fungus consortium
43.15	48.718 ^a	40.55 ^b	40.172 ^b	کنسرسیوم قارچ و باکتری Fungus and bacterial consortium
	41.94	35.94	35.60	میانگین Average

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) نمی‌باشند

Means with by the same letter are not significantly different ($P < 0.05$)

اثر تیمارها بر نسبت H/C

نسبت H/C برای بیان درجه مقدار آروماتیک بودن ترکیبات و رسیدگی مورد بهره‌گیری قرار می‌گیرد (۳۲). یافته‌های تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثرات اصلی کاربرد گچ و مایه‌زنی میکروبی بر نسبت H/C نمونه‌ها معنی‌دار ($P < 0.05$) بود. بررسی تیمارهای شیمیایی بر نسبت H/C (شکل ۴) روند کاهشی نسبت H/C در اثر کاربرد گچ در فرآیند کمپوست در ۹۰ روز انکوباسیون را نشان داد. کمترین مقدار H/C حاصل تیماردهی ۱۰ درصد گچ بود که اختلاف معنی‌داری با یک درصد داشت. تأثیر تیمارهای میکروبی بر نسبت H/C در کمپوست پس از یک دوره ۹۰ روزه انکوباسیون نشان داد تأثیر آمیزه قارچ و باکتری نسبت به آمیزه قارچ به تنهایی اختلاف معنی‌داری نداشت و هر دو سطح نسبت به آمیزه باکتری و شاهد آزمایش به گونه معنی‌دار مایه کاهش H/C شدند. کمترین نسب H/C در کمپوست حاصل از تعامل گچ ۱۰ درصد با آمیزه قارچ و باکتری بود؛ که اختلاف معنی‌دار با تعامل تیمار متناظر میکروبی در سطح ۵ درصد گچ مشاهده نگردید. کاهش

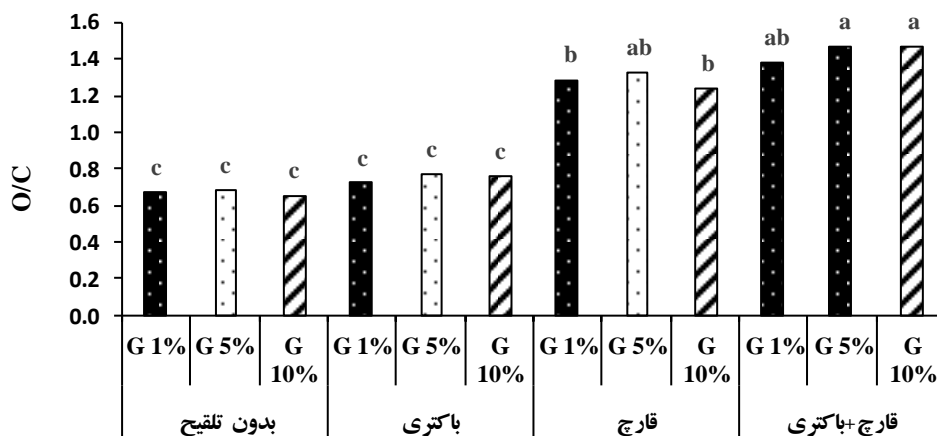
نسبت H/C بیانگر افزایش ترکیبات آروماتیک و کاهش ترکیبات آلفاتیک است (۵،۳). یافته‌های این پژوهش با بررسی‌های علی‌خانی و هم‌تیمی (۲) در یک راستا بود.

اثر تیمارها بر نسبت H/O

یافته‌های تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثرات اصلی کاربرد گچ و مایه‌زنی میکروبی بر نسبت H/O نمونه‌ها معنی‌دار ($P < 0.05$) بود. بررسی شکل (۵) کاهش H/O در اثر افزایش سطح گچ کاربردی متعامل با هر یک از تیمارهای زیستی متناظر بود. به‌نحوی که H/O حاصل از کاربرد ۱۰ درصد گچ در مقایسه با کاربرد ۵ و یک درصد گچ منجر به ۲۱ و ۲۵/۶ درصد کاهش در این مقدار گردید. تیمارهای دارای قارچ در هر یک از سطح گچ کاربردی در مقایسه با مایه کوبی با باکتری به‌تنهایی تأثیر چشم‌گیری در کاهش H/O داشتند. تیمارهای میکروبی در هر یک از سطوح گچ متناظر نسبت به تیمارهای شاهد آزمایش باعث کاهش معنی‌دار نسبت H/O گردیدند. مایه کوبی هم‌زمان آمیزه قارچ و باکتری در مقایسه با آمیزه قارچ و باکتری به‌تنهایی و تیمار شاهد آزمایش به ترتیب مایه ۱۱/۰۴، ۵۱/۸ و ۵۷/۳ درصد

پژوهش بارچ و همکاران، (۷) و اینبار و همکاران، (۲۱) در یک راستا بود. نسبت اتمی اغلب برای بررسی دگرگونی‌های ساختار مواد هومیکی و ترکیبات آن مورد بهره‌گیری قرار می‌گیرد (۱۰).

کاهش نسبت H/O گردید. پیت مایه‌زنی شده با آمیزه قارچ و باکتری در تعامل با گچ ۱۰ درصد به گونه معنی - داری مایه کاهش H/O نسبت به سایر تیمارها گردید. پس از آن، کمترین نسبت H/O در کمپوست حاصل از تعامل آمیزه قارچ و گچ ۱۰ درصد بود. این نتایج با



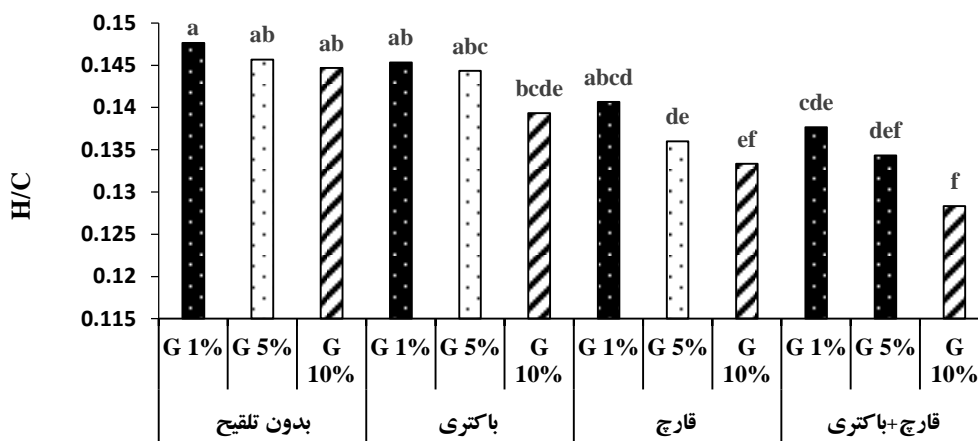
Treatment

تیمار

G: سطوح گچ (Gypsum levels)

شکل (۳) مقایسه میانگین تاثیر تیمارها بر نسبت O/C نمونه‌ها

Figure (3) Means comparison of the treatments effect on O/C ratio of samples
میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) نمی‌باشند
Means with the same letter are not significantly different ($P < 0.05$)



Treatment

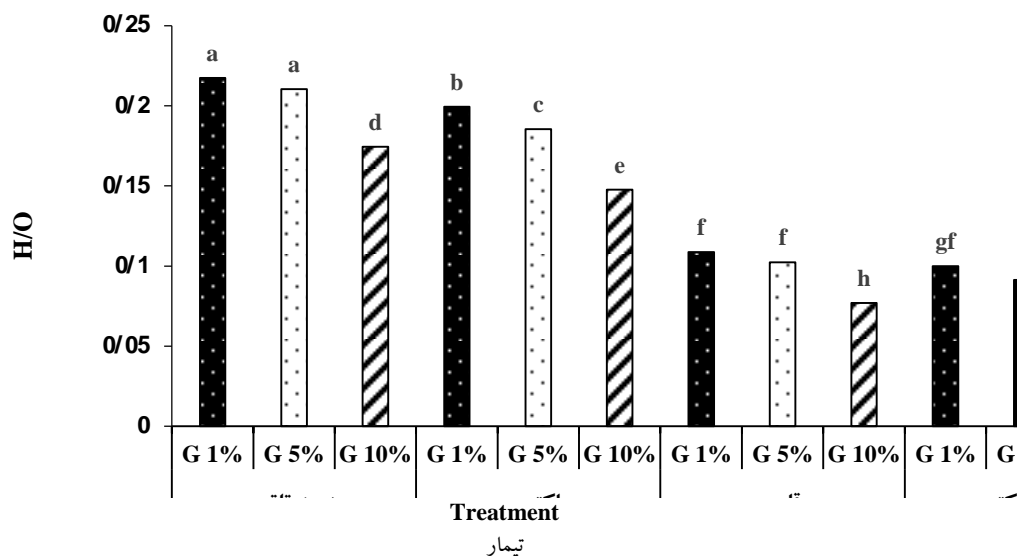
تیمار

G: سطوح گچ (Gypsum levels)

شکل (۴) مقایسه میانگین تاثیر تیمارها بر نسبت H/C نمونه‌ها

Figure (4) Mean comparison of the treatments effect on H/C ratio of samples
میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) نمی‌باشند
Means with the same letter are not significantly different ($P < 0.05$)

سرخه و همکاران: پیامد کاربرد گچ و آمیزه‌ی باکتری‌ها...



G: سطوح گچ (Gypsum levels)

شکل (۵) مقایسه میانگین تاثیر تیمارها بر نسبت H/O نمونه‌ها

Figure (5) Mean comparison of treatments effect on H/O ratio of samples
میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) نمی‌باشند
Means with the same letter are not significantly differentns ($P < 0.05$)

نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان داد که مایه‌زنی ریز جانداران و بهره‌گیری گچ مایه پوسیدگی و رسیدگی کمپوست شده است. همچنین سبب کوتاه‌شدن زمان رسیدگی کمپوست پیت نیشکر گردید. بهترین تیمار کاربرد گچ ۱۰ درصد به همراه مایه‌زنی با آمیزه قارچ و باکتری بود؛ به‌نحوی که سبب افزایش هدررفت ماده آلی، افزایش نیتروژن و کاهش مقدار کربن و نسبت C/N نمونه‌ها گردید. همچنین مایه افزایش غلظت گوگرد، اکسیژن و کاهش هیدروژن نمونه‌ها نسبت به سایر نمونه‌های مورد مطالعه گردید. کمترین مقدار نسبت‌های H/O و H/C و همچنین بیشترین مقدار O/C در تیماردهی گچ ۱۰ درصد و مایه‌زنی با آمیزه قارچ و باکتری بود. همچنین با توجه به این که نسبت‌های اتمی بیانگر ساختار و وضعیت مواد هومیکی است می‌توان با بررسی این نسبت‌ها روند پوسیدگی و رسیدگی کمپوست را بررسی کرد.

منابع

1. 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.
2. Alikhani, H., Hemati, H. 2014. Effect of Vermicompost Enrichment with Chemical Fertilizer and Bacterial Treatments on Humification and Acid Humic Properties. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 24 (1): 113-125.
3. Amir, S., Benlboukht, F., Cancian, N., Winterton, P., and Hafidi, M. 2008. Physico-chemical analysis of tannery solid waste and structural characterization of its isolated humic acids after composting. *Journal of Hazardous Materials*, 160(2-3): 448-455.
4. Amir, S., Hafidi, M., Merlina, G., and Revel, J. C. 2005. Structural changes in lipid-free humic acids during composting of sewage sludge. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 55(4): 239-246.
5. Amir, S., Jouraiphy, A., Meddich, A., El Gharous, M., Winterton, P., and Hafidi, M. 2010. Structural study of humic acids during composting of activated sludge-green waste: elemental analysis, FTIR and ¹³C NMR. *Journal of Hazardous Materials*, 177(1-3): 524-529.
6. Awasthi, M.K., Pandey, A.K., Khan, J., Bundela, P.S., Wong, J. W., and Selvam, A. 2014. Evaluation of thermophilic fungal consortium for organic municipal solid waste composting. *Bioresource Technology*, 168: 214-221.
7. Barje, F., El Fels, L., El Hajjouji, H., Amir, S., Winterton, P., and Hafidi, M. 2012. Molecular behaviour of humic acid-like substances during co-composting of olive mill waste and the organic part of municipal solid waste. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 74: 17-23.
8. Barrena, R., Pagans, E., Faltys, G., and Sánchez, A. 2006. Effect of inoculation dosing on the composting of source-selected organic fraction of municipal solid wastes. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 81(3): 420-425.
9. Benjawan, L., Sihawong, S., Chayaprasert, W., and Liamlaem, W. 2015. Composting of biodegradable organic waste from Thai household in a semi-continuous composter. *Compost Science and Utilization*, 23(1): 11-17.
10. Da-Bing, X., Qiu-Jun, W.A.N.G., Yun-Cheng, W.U., Guang-Hui, Y.U., Qi-Rong, S. H.E.N., and HUANG, Q.W. 2012. Humic-like substances from different compost extracts could significantly promote cucumber growth. *Pedosphere*, 22(6): 815-824.
11. Febrisiantosa, A., Ravindran, B., and Choi, H. 2018. The effect of co-additives (Biochar and FGD Gypsum) on ammonia volatilization during the composting of livestock waste. *Sustainability*, 10(3): 795.

12. Gadde, B., Bonnet, C., Menke, C., Garivait, S., 2009. Air pollutant emissions from rice straw open field burning in India, Thailand and the Philippines. *Environmental Pollution*, 157: 1554–1558.
13. Gao, Y., Yu, H., Liu, P., Ma, C., Li, Q., and Jiang, W. 2018. Ending composting during the thermophilic phase improves cultivation substrate properties and increasing winter cucumber yield. *Waste Management*, 79: 260-272.
14. Gómez-Brandón, M., Lores, M., and Domínguez, J. 2013. Changes in chemical and microbiological properties of rabbit manure in a continuous-feeding vermicomposting system. *Bioresource Technology*, 128: 310-316 .
15. Guo, X., Huang, J., Lu, Y., Shan, G., and Li, Q. 2016. The influence of flue gas desulphurization gypsum additive on characteristics and evolution of humic substance during co-composting of dairy manure and sugarcane pressmud. *Bioresource Technology*, 219: 169-174.
16. Guo, X., Lu, Y., and Li, Q. 2016. Effect of adding flue gas desulphurization gypsum on the transformation and fate of nitrogen during composting. *Compost Science and Utilization*, 24(4): 230-237.
17. Sarkamarian, F., Salehi Jouzani, G., and Moradi, F. 2015. Fast production of enriched biocompost from sugarcane baggase using biotechnological process. *Iranian Journal of Crop Biotechnology*, 9: 49-64. (in Persian with English abstract).
18. Huang, C., Zeng, G., Huang, D., Lai, C., Xu, P., Zhang, C. and 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.
19. Huang, G.F., Wu, Q.T., Wong, J.W.C., and Nagar, B.B. 2006. Transformation of organic matter during co-composting of pig manure with sawdust. *Bioresource Technology*, 97(15): 1834-1842.
20. Huang, J., Guo, X., Zeng, Y., Lu, Y., Shan, G., Xu, J., and Li, Q. 2018. The Effects of Flue Gas Desulphurization Gypsum on the Properties of Dissolved Organic Matter and Bacterial Community During Composting. *Waste and Biomass Valorization*, 1-8.
21. Inbar, Y., Chen, Y., and Hadar, Y. 1990. Humic substances formed during the composting of organic matter. *Soil Science Society of America Journal*, 54(5): 1316-1323.
22. Jiang, Y. 2007. Effect of inoculating microbes in municipal solid waste composting on characteristics of humic acid. *Chemosphere*, 68(2): 368-374.
23. Karnchanawong, S., and Nissaikla, S. 2014. Effects of microbial inoculation on composting of household organic waste using passive aeration bin. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 3(4): 113-119.

24. Li, Q., Guo, X., Lu, Y., Shan, G., and 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.
25. Ming, L., Xuya, P., Youcai, Z., Wenchuan, D., Huashuai, C., Guotao, L., and Zhengsong, W. 2008. Microbial inoculum with leachate recirculated cultivation for the enhancement of OFMSW composting. *Journal of Hazardous Materials*, 153(1-2): 885-891.
26. Moharana, P.C., and Biswas, D. R. 2016. Assessment of maturity indices of rock phosphate enriched composts using variable crop residues. *Bioresource Technology*, 222: 1-13.
27. Mouthier, T.M.B, Kilic, B., Vervoort, P., Gruppen, H., and Kabel, M.A. 2017. Potential of a gypsum-free composting process of wheat straw for mushroom production. *Plos One*, 12(10): e0185901. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185901>
28. Nakhshinieiev, B., Biddinika, M.K., Gonzales, H.B., Sumida, H., and Yoshikawa, K. 2014. Evaluation of hydrothermal treatment in enhancing rice straw compost stability and maturity. *Bioresource Technology*, 151: 306-313.
29. Nair, J., and Okamitsu, K. 2010. Microbial inoculants for small scale composting of putrescible kitchen wastes. *Waste Management*, 30(6): 977-982.
30. Paredes, C., Bernal, M.P., Cegarra, J., Roig, A., Novarro, A.F., 1996. Nitrogen transformation during the composting of different organic wastes. *Developments in Plant and Soil Sciences*. 68: 121-125.
31. 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.
32. Ravichandran, P., Sugumaran, P., Seshadri, S., and Basta, A.H. 2018. Optimizing the route for production of activated carbon from *Casuarina equisetifolia* fruit waste. *Royal Society Open Science*, 5(7): 171578.
33. Sluiter, A., Hames, B., Ruiz, R., Scarlata, C., Sluiter, J., Templeton, D., and Crocker, D. 2010. Determination of structural carbohydrates and lignin in biomass. *Laboratory Analytical Procedure*, (TP-510-42618).
34. Tian, Y., Chen, L., Gao, L., Michel Jr, F. C., Wan, C., Li, Y., and 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.
35. Tiquia, S.M., Tam N.F.Y., 2000. Spent pig litter in turned and forced aeration piles. *Process Biochemistry*. 37: 869-880.

36. Tubail, K., Chen, L., Michel Jr, F. C., Keener, H. M., Rigot, J. F., Klingman, M. 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.
37. Varma, V.S., Ramu, K., and Kalamdhad, A.S. 2015. Carbon decomposition by inoculating *Phanerochaete chrysosporium* during drum composting of agricultural waste. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(10): 7851-7858.
38. Wei, Z., Xi, B., Zhao, Y., Wang, S., Liu, H., and Jiang, Y. 2007. Effect of inoculating microbes in municipal solid waste composting on characteristics of humic acid. *Chemosphere*, 68(2): 368-374.
39. Zeng, G., Yu, M., Chen, Y., Huang, D., Zhang, J., Huang, H., 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.