سینتیک معدنی شدن نیتروژن در یک خاک تیمار شده با کمپوست، ورمی‌کمپوست و کود دامی

صاحب سودایی مشاعی*، ناصر علی‌اصغرزاده و شاهین اوستان[1]

(تاریخ دریافت : ۸۵/۲/۱۲ ؛ تاریخ پذیرش : ۸۶/۲/۱۲)

چکیده

آگاهی بر سرعت معدنی شدن نیتروژن از منابع مختلف آلی یک عامل کلیدی برای تعیین نیاز کودی نیتروژن گیاه با حداقل آثار منفی زیست محیطی است. به منظور بررسی سرعت معدنی شدن نیتروژن کمپوست، ورمی‌کمپوست و کود دامی یک آزمایش انکوباسیون گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار، چهار تیمار (کمپوست، ورمی‌کمپوست، کود دامی و شاهد) در دو سطح دمایی (۸ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد) و دو سطح رطوبتی (۵۰ و ۸۵ درصد ظرفیت مزرعه‌ای) به مدت ۹۰ روز انجام گردید. آمونیم و نیترات حاصل از فرایند معدنی شدن به روش اسپکتروفتومتری اندازه‌گیری شدند. مدل‌های مختلف سینتیکی با داده‌های معدنی شدن نیتروژن برازش داده شد. نتایج نشان داد که مدل سینتیکی ترکیب مرتبهٔ صفر- مرتبهٔ اول بهترین مدل سینتیکی برازش یافته با داده‌هاست. بیشترین مقدار نیتروژن معدنی شده (N_{min}) از کود دامی (۸۷/۷۸ mgN/kg معادل ۱۴/۵۴ درصد نیتروژن کل) در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و کمترین مقدار (۲۲/۶۲ mgN/kg معادل ۴/۶۲ درصد نیتروژن کل) از تیمار کمپوست در دمای ۸ درجه سانتی‌گراد حاصل شد که این محاسبه، فرضیهٔ کمتر بودن تجزیه‌پذیری کود کمپوست را تقویت می‌کند. شاخص قابلیت دسترسی نیتروژن (N_0k) برای تیمارهای کودی به ترتیب کود دامی> ورمی‌کمپوست> کمپوست بود. با افزایش دما و افزایش رطوبت خاک، معدنی شدن نیتروژن افزایش یافت و تأثیر دما بیشتر از تأثیر رطوبت خاک بود. مقدار نیتروژن معدنی شده (N_{min}) با نیتروژن قابل معدنی شدن بالقوه (N_0) ($r=۰/۵۸۳^{*}$) و شاخص قابلیت دسترسی نیتروژن (N_0k) ($r= ۰/۸۳۴^{**}$) هم‌بستگی نشان داد.

واژه‌های کلیدی: معدنی شدن نیتروژن، مدل‌های سینتیکی، کمپوست، ورمی‌کمپوست، کود دامی

مقدمه

سرعت معدنی شدن نیتروژن از منابع مختلف آلی در اراضی زراعی برای حفظ حاصل‌خیزی خاک قابل اغماض نیست. دانستن کمّیت نیتروژن فراهم شده در دورهٔ رشد گیاه از معدنی شدن مواد آلی خاک در بهبود کارایی کودهای نیتروژنی و کاهش خطرات آلودگی منابع آبی و اتمسفر اهمیت فراوانی دارد (۱۷). معدنی شدن (Mineralization) نیتروژن، یکی از مهم‌ترین فرایندهای پیچیدهٔ چرخهٔ نیتروژن در خاک است که در آن انواع مختلفی از میکروارگانیسم‌ها (باکتری‌ها، قارچ‌ها، اکتینومیست‌ها) ترکیبات متنوعی از مواد بستری (بقایای محصول، هوموس خاک، بافت‌های مرده میکروبی و کودهای آلی) را تحت شرایط محیطی مختلف خاک (دما، رطوبت و

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و استادیاران خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: s_soodaie78@yahoo.com

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.42.34.3]

تهویه) تجزیه کرده و آمونیم تولید می‌کنند(۱۱)، سپس آمونیم از طریق نیتریفیکاسیون و فرایندهای بیولوژیک دیگر که در آن باکتری‌های کمولیتوتروف دخیل هستند، به نیترات تبدیل می‌شود. نیترات تولید شده می‌تواند به وسیلهٔ گیاهان استفاده شود، در طی دنیتریفیکاسیون به اتمسفر برگردد، به وسیله میکروارگانیسم‌های خاک غیر متحرک یا آلی شود، در خاک تجمع کند و یا از سیستم خاک- گیاه آبشویی یابد (۱۹). سینتیک فرایندهای شیمیایی خاک یکی از مهم‌ترین و در حین حال پیچیده‌ترین مباحث در شیمی خاک و محیط است. نخستین مطالعه بر روی سینتیک فرایندهای شیمیایی خاک در حدود سال ۱۸۵۰ به وسیله توماس‌وی روی تبادل یونی انجام شد (۲۱). استانفورد و اسمیت (۲۲) نیتروژن بالقوه قابل معدنی شدن (N_0) را به عنوان بخشی از نیتروژن آلی خاک که مستعد معدنی شدن با ثابت سرعت معدنی شدن k، مطابق با سینتیک مرتبهٔ اول است، تعریف کردند.

$$\frac{dN}{dt} = -kN \qquad [۱]$$

که در آن N مقدارمواد بستری (نیتروژن قابل معدنی شدن) و t زمان است. در نهایت با انتگرال‌گیری از این معادله و جانشین کردن N_0-N_m به جای N_t به معادلهٔ زیر رسیدند:

$$N_m = N_\circ[۱ - e^{(-kt)}] \qquad [۲]$$

که در آن N_m نیتروژن معدنی شده در زمان t است با استفاده از معادلهٔ ۲ استانفورد و اسمیت (۲۲) دریافتند که مقادیر $N_\circ$ در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد برای ۳۹ خاک از ایالات متحده آمریکا در دامنه‌ای بین ۱۸ تا ۳۰۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک تخمین‌زده می‌شود و مقادیر k در دامنه‌ای بین ۰/۰۳۵ تا ۰/۰۹۵ ($week^{-1}$) با یک میانگین وزنی ۰/۰۵۴ ($week^{-1}$) است. مدل سینتیک مرتبهٔ اول برای توصیف سینتیک معدنی شدن نیتروژن خاک‌های تحت زمین‌نماهای مختلف، محصول و شرایط اقلیمی مختلف استفاده شدند. در مقایسه، لیندمن و کاردنز (۱۳) دریافتند که مدل سینتیکی مرتبهٔ اول برای توصیف سینتیک معدنی شدن نیتروژن در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب نامناسب است. محققان مختلفی پیشنهاد کرده‌اند که بیش از یک جزء از نیتروژن آلی خاک، هر کدام با سرعت تجزیه ویژه خود، ممکن است به طور مستقیم معدنی شوند (۶). بنابراین با تقسیم کردن نیتروژن آلی قابل معدنی شدن خاک به اجزای مختلف با فرض این که هر کدام طبق سینتیک مرتبهٔ اول معدنی می‌شوند، مدلی توسعه یافته که به صورت معادله زیر بیان می‌شود:

$$N_m = \sum_{i=۱}^{n} N_{oi}\left[۱ - e^{(-k_i t)}\right] \qquad [۳]$$

که در آن i یک جزء ویژه نیتروژن آلی، n تعداد کل اجزاء، N_{oi} نیتروژن بالقوه قابل معدنی شدن در جزء i ام و k_i ثابت سرعت معدنی شدن برای جزء i ام می‌باشد (۶). آدیسکات (۲) دریافت که معدنی شدن نیتروژن در خاک‌های روتامستد با مرطوب نگه‌داشتن قبل از انکوباسیون می‌تواند به وسیله مدل سینتیکی مرتبهٔ صفر توصیف شود. ماری و همکاران (۱۵) نشان دادند که سینتیک معدنی شدن نیتروژن در مزرعه وقتی خطی است که بخش کوچکی از نیتروژن آلی معدنی شود و وقتی غیرخطی است که بخش بزرگ‌تری از نیتروژن آلی معدنی شود. برخی محققین نشان دادند که با آزمایش‌های انکوباسیون ممکن است اندازه‌گیری کمّی معدنی شدن بالقوه نیتروژن خاک ممکن نباشد، زیرا جزء نیتروژنی که به آهستگی معدنی می‌شود، از سینتیک مرتبهٔ صفر پیروی می‌کند (۱۲). این تحقیق استفاده از یک مدل سینتیکی ترکیب مرتبهٔ صفر و مرتبهٔ یک را پیشنهاد کرد که از مدل نمایی دوگانه گرفته شده است:

$$N_m = N_L\left[۱ - \exp(-k_L t)\right] + kt \qquad [۴]$$

که در آن N_L مقدار نیتروژن قابل معدنی شدن از منبع ساده تجزیه‌پذیر در شروع انکوباسیون، k_L ثابت سرعت مرتبهٔ اول و k ثابت سرعت مرتبهٔ صفر است. هاسن و همکاران (۸) معدنی شدن نیتروژن مواد آلی غنی شده از عناصر سنگین Zn، Cu و Cd اضافه شده به خاک را با استفاده از مدل سینتیکی مرتبهٔ اول بررسی نمودند. این محققان، مقدار N_0 را برای کمپوست بین ۸۰ تا ۵۶۸ میلی‌گرم در کیلوگرم، برای کود دامی ۸۷ تا ۵۶۵ میلی‌گرم در کیلوگرم و برای لجن فاضلاب بین ۸۲ تا ۷۸۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم به دست آوردند و مقدار k را بین ۰/۰۰۱

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.42.34.3]

تا ۰/۳۰۳ ($week^{-1}$) برآورد کردند که ترتیب مقدار معدنی شدن نیتروژن در تیمارها به صورت زیر بود:

خاک< کمپوست+خاک< کود دامی+ خاک < لجن فاضلاب+ خاک

کمپل و همکاران (۸) حاصل‌ضرب N_0k در مدل‌های سینتیکی را سرعت بالقوه معدنی شدن نیتروژن نامیدند. اکثر محققان پیشنهاد کرده‌اند که حاصل‌ضرب N_0k نسبت به N_0 تنها، شاخص بهتری از قابلیت دسترسی نیتروژن در خاک می‌باشد، به عبارت دیگر N_0k معیاری از ظرفیت فراهمی نیتروژن خاک (Soil- N-Supplying Capacity) برای گیاه است (۶).

به دلیل تولید روز افزون زباله‌های شهری و از طرفی تضمین استفادهٔ دراز مدت از کمپوست حاصل از زباله‌ها در کشاورزی و فضای سبز و هم‌چنین جایگزینی مناسب برای کود دامی به دلیل کمبود و گران بودن آن، بررسی خصوصیات کیفی کمپوست و ورمی‌کمپوست به مطالعات دقیق و همه جانبه نیاز دارد. این تحقیق اهداف زیر را دنبال می‌کند:

الف) مقایسه کیفیت کمپوست، ورمی‌کمپوست و کود دامی از لحاظ فراهمی نیتروژن برای گیاه

ب) برازش مدل‌های سینتیکی با داده‌ها و انتخاب بهترین مدل

ت) تعیین بیشترین مقدار نیتروژن معدنی شده در طول انکوباسیون

مواد و روش‌ها

کودهای آلی مورد مطالعه در این آزمایش شامل کمپوست (حاصل از زباله شهری)، ورمی‌کمپوست (حاصل از کود دامی) و کود دامی (پوسیده) بودند که از شرکت تولید کود آلی شهرداری تبریز تهیه شدند. این کودها ابتدا هوا خشک شده و پس از خرد شدن به وسیله آسیاب از الک یک میلی‌متری عبور داده شدند تا از نظر اندازه ذرات وضعیت یک‌نواختی حاصل شود (۳). نمونه‌های ۵۰۰ گرمی از عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری خاک مزرعه تحقیقاتی دانشگاه تبریز (ایستگاه تحقیقات خلعت‌پوشان) نمونه‌برداری گردیده و پس از عبور دادن از الک ۲ میلی‌متری با ۱۰ گرم (معادل ۵۰ تن در هکتار) از کودهای آلی مورد مطالعه، در سه تکرار مخلوط گردید. یک تیمار شاهد نیز در سه تکرار، بدون افزودن کود در نظر گرفته شد. ظرفیت مزرعه‌ای خاک با استفاده از دستگاه صفحه فشاری تعیین، سپس با اضافه کردن ۳۳/۸ و ۵۷/۵ میلی‌لیتر آب مقطر به خاک به ترتیب به رطوبت ۵۰٪ و ۸۵٪ ظرفیت مزرعه‌ای رسانده شد، و آنگاه به مدت ۹۰ روز در دو سطح دمایی ۸ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد در انکوباتورهای جداگانه نگه‌داری شدند. گلدان‌های مورد نظر دارای درب سوراخ‌دار از ورق آلومینیمی بودند تا تبادل اکسیژن به خوبی صورت بگیرد و با شرایط محیط به صورت هوازی باقی بماند. در مدت انکوباسیون، هر سه روز یک‌بار گلدان‌ها توزین شده و کاهش وزن حاصل از تبخیر آب با افزودن آب مقطر جبران شد. در زمان‌های صفر (اولیه)، ۲، ۴، ۹، ۱۶، ۲۳، ۳۰، ۴۵، ۶۵ و ۹۰ روز پس از شروع انکوباسیون (۱۲ و ۱۴)، پنج گرم خاک از هر گلدان نمونه‌برداری شده و به آن ۵۰ میلی‌لیتر محلول سولفات پتاسیم یک درصد اضافه گردید و به مدت یک ساعت شیک شد (با سرعت ۱۹۰ دور در دقیقه). بعد از آن سوسپانسیون حاصل به وسیله کاغذ صافی، صاف گردید، مقادیر آمونیم و نیترات موجود در این عصاره‌ها به روش اسپکتروفتومتری (آمونیم در طول موج ۶۳۰ نانومتر و نیترات در طول موج ۴۱۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر) اندازه‌گیری گردید (۲) و معدنی شدن نیتروژن با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

$$N_{min}(mgN/kg) = [(NO_3^-\text{-}N) + (NH_4^+\text{-}N)]_a - [(NO_3^-\text{-}N) + (NH_4^+\text{-}N)]_b \quad [۵]$$

که در آن $[(NO_3^-\text{-}N)+(NH_4^+\text{-}N)]_a$ مقادیر نیترات و آمونیم تیمارهای کودی در هر زمان اندازه‌گیری و $[(NO_3^-\text{-}N)+(NH_4^+\text{-}N)]_b$ مقادیر نیترات و آمونیم تیمار شاهد در همان زمان‌ها و N_{min}، کل نیتروژن معدنی شده است (۳) با محاسبه نیتروژن معدنی شده به صورت تجمعی، نمودارهای مربوط به کمپوست، ورمی‌کمپوست و کود دامی در شرایط مختلف دمایی و رطوبتی و با استفاده از نرم‌افزار Excell و Curve Expert (V. 1.3) رسم شده و پس از برازش معادلات سینتیکی (جدول ۱) ضرایب هم‌بستگی، خطای استاندارد و ضرایب معادلات مربوط محاسبه گردید.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.42.34.3]

جدول ۱. مدل‌های سینتیکی برازش یافته به داده‌ها

شماره	مدل	معادله	منبع
۱	مرتبهٔ صفر (خطی)	$N_{min} = b_0 + k_0 t$	Addiscott(1983)
۲	نمایی	$N_{min} = N_0 e^{kt}$	Ringuelet and Bachmeire (2002)
۳	لگاریتمی	$N_{min} = N_0 + k \ln(t)$	Marion and Black(1987)
۴	توانی	$N_{min} = N_0 t^k$	Broadbent (1986)
۵	مرتبهٔ اول	$N_{min} = N_0[1-e^{-kt}]$	Stanford and smith(1972)
۶	سهموی	$N_{min} = N_0 t/(kN_0+t)$	Juma et al. (1984)
۷	مدل گمپرتز	$N_{min}=N_0 e^{-hexp(-kt)} - N_0 e^{-h}$	Simard and Ndayegamiye (1993)
۸	مدل مرتبهٔ صفر- مرتبهٔ اول	$N_{min} = N_0[1-e^{-kt}] + pt$	Bonde and Rosswall(1987)
۹	مدل الوویچ	$N_{min} = (1/k)\ln(N_0/k)\ln t$	Sparks (1988)

نتایج و بحث

خصوصیات مهم خاک مورد آزمایش در جدول ۲ نشان داده شده است. این خاک غیر شور، دارای بافت لوم شنی بوده، مقدار آمونیم قابل دسترس خاک بیشتر از مقدار نیترات آن است که به نظر می‌رسد نیتریفیکاسیون نسبت به آمونیفیکاسیون درخاک هوا خشک شده کمتر بوده است. شمارش جمعیت میکروبی خاک به روش محتمل‌ترین تعداد (MPN) نشان داد که حداکثر تعداد میکروب $۶/۵۵\times۱۰^{۷}$ و حداقل آن $۲/۹۹\times۱۰^{۶}$ می‌باشد و بین این دو حد محتمل‌ترین تعداد $۱/۴\times۱۰^{۷}$ در هر گرم خاک می‌باشد. نتایج حاصل از تجزیه کودهای مورد مطالعه در جدول ۳ نشان داده شده است. چنانچه ملاحظه می‌شود بیشترین مقدار نیتروژن مربوط به کود دامی و کمترین مقدار مربوط به کود کمپوست است. هم‌چنین نسبت C/N کمپوست کمتر از کود دامی و ورمی‌کمپوست حاصل شد که به نظر می‌رسد کمپوست یک مرحله تجزیه را نسبت به دیگر کودهای آلی طی کرده که سبب کاهش نسبت C/N و به تبع آن افزایش مقدار آمونیم در کمپوست شده است. مقدار نیترات کمپوست نسبت به دو کود دیگر کمتر است که به نظر می‌رسد کمپوست در مرحلهٔ رسیدگی یک مرحلهٔ گرمایی ناشی از فعل و انفعالات میکروارگانیسم‌های گرمادوست (۶۰-۷۰ درجه سانتی‌گراد) را طی کرده که در این دما نیتریفیکاتورها قادر به فعالیت نبودند (۴ و ۲۳).

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد (جدول ۴) که اثر نوع کود، دما و زمان انکوباسیون در سطح احتمال ۰/۱ درصد بر سرعت نیتریفیکاسیون و آمونیفیکاسیون معنی‌دار است. بدین ترتیب که در فرایند نیتریفیکاسیون اثر متقابل کود × دما، کود × رطوبت و دما × رطوبت به ترتیب در سطوح ۰/۱، ۱ و ۵ درصد و در فرایند آمونیفیکاسیون، اثر متقابل تیمارهای ذکر شده به ترتیب در سطوح ۰/۱ ، ۵ و ۵ درصد معنی‌دار بوده است.

مدل‌های سینتیکی ذکر شده در جدول ۱ برای داده‌های نیتروژن معدنی شده برازش یافته و پارامترهای موجود در مدل و ضرایب هم‌بستگی آنها محاسبه شد. مدل‌هایی که دارای ضریب هم‌بستگی بیشتر و خطای استاندارد کمتر بوده شامل سه مدل سینتیکی زیر می‌باشند:

۱- مدل سینتیکی مرتبهٔ اول $N_{min}=N_0[1-e^{-kt}]$

۲- مدل گمپرتز (Gompertz model) $N_{min}=N_0 e^{-hexp(-kt)} - N_0 e^{-h}$

۳- مدل سینتیکی ترکیب مرتبهٔ صفر-مرتبهٔ اول $N_{min}=N_0[1-e^{-kt}]+pt$

پارامترهای مربوط به این سه مدل محاسبه شده و در جداول (۵، ۶ و ۷) ارائه شده‌اند. کل نیتروژن معدنی شده در دامنه‌ای بین ۲۰/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم برای کمپوست تا ۹۸/۷۹ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم برای کود دامی حاصل شد. مقادیر N_0 به دست آمده از مدل سینتیکی مرتبهٔ اول بین ۲۰/۶۶ تا ۹۸/۹۳ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم بوده که به ترتیب N_0 کود

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.42.34.3]

جدول ۲. نتایج تجزیه فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک مورد آزمایش(۲ و ۱۶)

خصوصیات	مقادیر	خصوصیات	مقادیر	
MPN	$۱/۴\times۱۰^{۷}$	آمونیوم اولیه (mgN/kg)	۸/۴۸۱	
رطوبت FC (٪)	۱۳/۵۲	نیتروژن کل (٪)	۰/۰۳۵	
pH (گل اشباع)	۷/۴	کربنات کلسیم معادل (٪)	۸/۸۹	
CEC (me/۱۰۰g)	۱۱/۹۴	کربن آلی (٪)	۰/۳۹۸	
EC_e (mS/cm)	۲/۳	رس (٪)	۱۹/۵	بافت لوم شنی
نسبت C:N	۱۱/۳۴	سیلت (٪)	۱۶/۵	
نیترات اولیه (mgN/kg)	۱/۸۲۳	شن (٪)	۶۴	

*: تعداد کل میکروب‌ها در یک گرم خاک

جدول ۳. نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی کودهای آلی مورد آزمایش (۲ و ۱۶)

خصوصیات	کمپوست	ورمی کمپوست	کود دامی
کربن آلی (درصد)	۱۲/۱۶	۲۲/۰۲	۲۵/۳۹
نیتروژن کل (درصد)	۱/۵۵۱	۱/۶۷۸	۲/۱۸۵
آمونیوم اولیه (mgN/kg)	۲۵/۵۲۳	۱۹/۷۴۳	۲۰/۸۱۲
نیترات اولیه (mgN/kg)	۲/۶۷۱	۳۰/۹۵۱	۹۱/۲۵۱
C:N	۷/۸۵	۱۳/۱۲	۱۱/۴۸
EC_e (mS/cm) (نسبت ۱:۲، آب: کود)	۱۶/۴	۸/۹	۶۲/۵
pH (نسبت ۱:۲، آب: کود)	۷/۸	۸/۰	۸/۱
رطوبت هوا خشک (درصد وزنی)	۱/۴۱	۴/۵۱	۱۲/۹۳

جدول ۴. تجزیه واریانس مقادیر نیترات و آمونیم اندازه‌گیری شده

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		نیتریفیکاسیون	آمونیفیکاسیون			نیتریفیکاسیون	آمونیفیکاسیون
تکرار	۲	۰/۰۰۷	۰/۰۱۷	کود × زمان	۲۷	$۰/۹۰۷^{***}$	$۰/۱۸۸^{***}$
کودهای آلی	۳	$۱۲/۵۴۸^{\times\times\times}$	$۱/۵۷۱^{***}$	دما × زمان	۹	$۱/۷۵۶^{***}$	$۰/۱۷۷^{***}$
دما	۱	$۳/۵۲۴^{***}$	۰/۰۰۰	کود × دما×زمان	۲۷	$۰/۲۸۴^{***}$	$۰/۰۵۰^{***}$
کود × دما	۳	$۰/۵۶۴^{***}$	$۰/۰۷۰^{***}$	رطوبت × زمان	۹	$۰/۲۱۰^{**}$	$۰/۰۶۷^{***}$
رطوبت	۱	$۰/۰۸۲^{n.s}$	۰/۰۰۰	کود × رطوبت × زمان	۲۷	$۰/۰۸۹^{n.s}$	$۰/۰۲۸^{***}$
کود × رطوبت	۳	$۰/۳۲۸^{**}$	$۰/۰۲۵^{*}$	دما × رطوبت × زمان	۹	۰/۰۳۷	۰/۰۰۸
دما × رطوبت	۱	$۰/۲۹۶^{*}$	$۰/۰۴۷^{*}$	کود × دما × رطوبت × زمان	۲۷	۰/۰۵۵	۰/۰۱۹
کود × دما × رطوبت	۳	$۰/۰۶۹^{**}$	$۰/۰۶۱^{**}$	خطا	۳۱۸	۰/۰۷۴	۰/۰۰۹
زمان	۹	$۴/۶۲۲^{***}$	$۱/۵۵۹^{***}$	کل	۴۷۹		

n.s ، *، **و *** : به ترتیب بیانگر غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح ۵٪، معنی دار در سطح۱ ٪ و معنی‌دار در سطح ۰/۱٪

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.42.34.3]

جدول ۵ . فاکتورهای محاسبه معدنی شدن نیتروژن با مدل [$N_{min}=N_0[1-e^{-kt}$

تیمارها			N_{min} (mg/kg)	N_0 (mg/kg)	k (day^{-1})	N_0k mg/(kg day)	r	$T_{1/2}$ (day)	SE
کودهای آلی	دما (^0C)	رطوبت (FC%)							
کمپوست	۸	۵۰	۲۷/۴۰	۲۷/۴۶	۰/۰۸۶	۲/۳۷۵	۰/۹۸۹	۸/۰۶	۰/۱۴
		۸۵	۳۹/۸۰	۳۹/۸۵	۰/۰۷۸	۳/۱۳۶	۰/۹۷۸	۸/۹	۰/۲۸
	۲۵	۵۰	۲۰/۶۰	۲۰/۶۶	۰/۱۱۵	۲/۳۷۶	۰/۹۶۰	۶/۳	۰/۲۳
		۸۵	۴۲/۹۰	۴۲/۹۷	۰/۱۴۴	۶/۱۸۷	۰/۸۴۰	۴/۹۵	۰/۶۵
ورمی‌کمپوست	۸	۵۰	۴۱/۲۰	۴۱/۹۸	۰/۰۴۴	۱/۸۶۴	۰/۹۸۳	۱۵/۸	۰/۳۳
		۸۵	۴۶/۲۳	۴۷/۱۰	۰/۰۴۴	۲/۰۹۱	۰/۹۹۳	۱۵/۸	۰/۲۱
	۲۵	۵۰	۵۲/۱۰	۵۲/۲۵	۰/۰۹۳	۴/۸۸	۰/۹۴۷	۷/۷	۰/۵۳
		۸۵	۵۴/۷۹	۵۴/۹۹	۰/۰۶۸	۳/۷۵	۰/۹۲۸	۱۱/۶	۰/۶۵
کود دامی	۸	۵۰	۷۴/۸۲	۷۵/۸۸	۰/۰۴۷	۳/۶۱	۰/۹۸۳	۱۵/۵	۰/۵۰
		۸۵	۷۰/۲۵	۷۰/۷۹	۰/۰۵۵	۳/۸۹	۰/۹۶۷	۱۲/۷	۰/۶۷
	۲۵	۵۰	۹۸/۷۹	۹۸/۹۳	۰/۰۸۶	۸/۵۲	/۹۵۴	۸/۲	۱/۱۰
		۸۵	۷۵/۸۸	۷۵/۹۵	۰/۱۵۸	۱۱/۹۸	۰/۸۸۹	۴/۷	۱/۳۱

N_0 مقدار نیتروژن قابل معدنی شدن بالقوه برحسب میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم، k ثابت سرعت معدنی شدن بر حسب (day^{-1}) ، N_0k به عنوان سرعت بالقوه اولیه معدنی شدن نیتروژن بر حسب میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم در روز)، h ؛ ثابت تناسب در مدل گمپرتز، r ضریب هم‌بستگی، p ثابت معدنی شدن مدل سینتیکی مرتبهٔ صفر بر حسب میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم در روز، $T_{1/2}$ زمان مربوط به نیمه عمر ($T_{1/2}=0.693/k$) و SE خطای استاندارد مدل.

دامی > N_0 ورمی‌کمپوست > N_0 کمپوست بودند. ثابت سرعت (k) در دامنه‌ای بین ۰/۰۴۴ تا ۰/۱۵۸ (day^{-1}) به دست آمد (جدول۵).

در مدل گمپرتز، مقادیر k دامنه‌ای بین ۰/۰۴۶ تا ۰/۱۶۹ (day^{-1}) داشت ولی N_0 محاسبه شده با این مدل بیشتر از N_0 مدل مرتبه اول تخمین زده شد، که دامنه‌ای بین ۱۰۶/۴۲ میلی‌گرم در کیلوگرم برای تیمار کمپوست در دمای ۸ درجه سانتی‌گراد تا ۵۷۵۷/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم برای تیمار کود دامی در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به دست آمد. شاخص N_0k نیز بین ۹/۰۵ میلی‌گرم در کیلوگرم در روز برای تیمار کمپوست تا ۹۷۳/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم در روز برای تیمار کود دامی به دست آمد (جدول ۶). ضریب تناسب (h) دامنه‌ای بین ۰/۰۱۲ تا ۰/۱۴۵ داشت.

در مدل ترکیب مرتبهٔ صفر- مرتبهٔ اول (جدول ۷)، مقدار N_0 دامنه‌ای بین ۱۶/۸۹ تا ۶۳/۲۳ میلی‌گرم در کیلوگرم به دست آمد که برای سه تیمار به کار رفته مقادیر N_0 به ترتیب کود دامی > ورمی‌کمپوست > کمپوست بود. ثابت سرعت (مرتبهٔ اول) نیز در دامنه‌ای بین ۰/۰۲۵ تا ۰/۰۶۵ (day^{-1}) و شاخص N_0k در دامنه‌ای بین ۲/۰۸ تا ۲۱/۰۶ میلی‌گرم در کیلوگرم در روز و ثابت معدنی شدن مدل مرتبهٔ صفر (p) در دامنه‌ای بین ۰/۰۵۸ تا ۰/۲۹۵ ($mgkg^{-1}day^{-1}$) به دست آمد. بیشترین مقدار N_{min} برای کود دامی (۸۷/۷۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به دست آمد و بیشترین مقدار شاخص N_0k یا قابلیت دسترسی نیتروژن برای کود دامی در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد (۲۱/۰۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز) حاصل شد. با توجه به نتایج فوق، مدل سینتیکی ترکیب مرتبهٔ صفر- مرتبه اول نسبت به مدل‌های دیگر بهتر برازش یافته و دارای ضریب هم‌بستگی بیشتر و خطای استاندارد کمتری بود. هم‌بستگی خطی (پیرسن) (Pearson) بین فاکتورهای معدنی شدن نیتروژن در مدل سینتیکی ترکیب مرتبهٔ صفر- مرتبهٔ اول (بهترین مدل برازش یافته) در جدول ۸ آورده شده است. مقدار نیتروژن معدنی شده (N_{min}) با نیتروژن قابل معدنی شدن

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.42.34.3]

جدول ۶. فاکتورهای محاسبه معدنی شدن نیتروژن با مدل $N_{min}=N_0e^{-hexp(-kt)}-N_0e^{-h}$

تیمارها			N_{min} (mg/kg)	N_0 (mg/kg)	k (day^{-1})	N_0k mg/(kg day)	h	r	$T_{1/2}$ (day)	SE
کودهای آلی	دما (^0C)	رطوبت (FC%)								
کمپوست	۸	۵۰	۲۷/۳۲	۱۰۶/۴۲	۰/۰۹۵	۱۰/۱۱	۰/۲۹۷	۰/۹۸۸	۷/۳	۱/۸
		۸۵	۳۹/۷۵	۲۹۵/۳۲	۰/۰۸۳	۲۴/۵۱	۰/۱۴۵	۰/۹۷۷	۸/۸	۳/۱
	۲۵	۵۰	۲۰/۶۲	۱۳۲۳/۳	۰/۱۱۵	۹/۰۵	۰/۰۱۶	۰/۹۶۱	۶/۱	۲/۰
		۸۵	۴۲/۹۵	۶۲۱/۳۵	۰/۱۴۵	۹۰/۰۹	۰/۰۷۲	۰/۸۵۵	۹/۷	۷/۴
ورمی‌کمپوست	۸	۵۰	۴۲/۵۱	۸۲۲/۱۱	۰/۰۴۹	۴۰/۲۸	۰/۰۵۴	۰/۹۸۸	۱۴/۳	۲/۹
		۸۵	۴۶/۶۷	۱۱۵۱/۱۸	۰/۰۴۶	۵۲/۹۵	۰/۰۴۳	۰/۹۹۴	۱۳/۹	۲/۱
	۲۵	۵۰	۵۲/۰۳	۵۶۰/۶۲	۰/۰۹۷	۵۴/۳۸	۰/۰۹۸	۰/۹۵۰	۷/۲	۵/۷
		۸۵	۵۷/۳۹	۳۹۱۰/۲	۰/۰۷۷	۲۷۳/۷	۰/۰۱۵	۰/۹۲۰	۹/۱	۶/۸
کود دامی	۸	۵۰	۷۴/۹۱	۱۹۹۳/۴۵	۰/۰۵۸	۱۱۵/۶۲	۰/۰۳۸	۰/۹۸۹	۱۳/۷	۵/۶
		۸۵	۷۰/۲۵	۳۰۷۴/۲۳	۰/۰۵۵	۱۶۹/۰۸	۰/۰۲۳	۰/۹۶۱	۱۲/۶	۷/۴
	۲۵	۵۰	۹۸/۸۵	۱۰۸۶/۱	۰/۰۸۶	۹۵/۵۸	۰/۰۹۵	۰/۹۴۱	۷/۹	۱۱/۹
		۸۵	۷۵/۸۴	۵۷۵۷/۸	۰/۱۶۹	۹۷۳/۱	۰/۰۱۲	۰/۹۲۱	۴/۵	۱۴/۲

جدول ۷. فاکتورهای محاسبه معدنی شدن نیتروژن با مدل $N_{min}=N_0[1-e^{-kt}]+pt$

تیمارها			N_{min} (mg/kg)	N_0 (mg/kg)	k (day^{-1})	N_0k mg/(kg.day)	p mg/(kg.day)	r	$T_{1/2}$ (day)	SE
کودهای آلی	دما (^0C)	رطوبت (FC%)								
کمپوست	۸	۵۰	۳۰/۲۶	۲۵/۱۱	۰/۰۵۶	۲/۸۹	۰/۰۵۹	۰/۹۸۸	۱۲/۳۸	۰/۱۷۸
		۸۵	۳۷/۴۷	۲۹/۲۶	۰/۰۳۹	۴/۰۹	۰/۱۰۱	۰/۹۸۶	۱۷/۷۷	۰/۴۲۵
	۲۵	۵۰	۲۲/۶۲	۱۶/۸۹	۰/۰۶۵	۲/۰۸	۰/۰۵۸	۰/۹۷۸	۱۰/۶۷	۰/۳۸۳
		۸۵	۳۴/۸۴	۲۴/۳۱	۰/۰۴۳	۳/۹۷	۰/۱۲۳	۰/۹۷۳	۱۶/۱۲	۰/۳۰۹
ورمی‌کمپوست	۸	۵۰	۵۱/۵۶	۴۱/۵۳	۰/۰۴۴	۶/۸۶	۰/۱۲۱	۰/۹۷۱	۱۵/۷۵	۰/۳۱۴
		۸۵	۴۸/۲۸	۴۱/۲۳	۰/۰۳۱	۵/۷۴	۰/۱۰۸	۰/۹۹۳	۲۲/۳۶	۰/۳۶۸
	۲۵	۵۰	۴۷/۲۲	۳۲/۷۸	۰/۰۴۲	۶/۹۲	۰/۱۶۹	۰/۹۹۴	۱۶/۵۰	۰/۳۶۵
		۸۵	۴۹/۳۴	۳۲/۶۹	۰/۰۳۲	۷/۷۵	۰/۲۰۵	۰/۹۹۱	۲۱/۶۶	۰/۷۶۱
کود دامی	۸	۵۰	۷۱/۵۱	۵۴/۹۷	۰/۰۳۲	۱۳/۶۴	۰/۲۱۶	۰/۹۸۱	۲۱/۶۶	۰/۳۹۵
		۸۵	۵۸/۰۹	۴۴/۵۶	۰/۰۲۵	۹/۹۸	۰/۱۹۹	۰/۹۷۵	۲۷/۷۲	۰/۹۵۲
	۲۵	۵۰	۸۷/۷۸	۶۳/۲۳	۰/۰۳۸	۲۱/۰۶	۰/۲۹۵	۰/۹۷۷	۱۸/۲۴	۱/۳۶۷
		۸۵	۵۷/۴۰	۳۸/۵۲	۰/۰۲۶	۱۰/۹۵	۰/۲۵۸	۰/۹۷۶	۲۶/۶۶	۱/۰۳

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.42.34.3]

جدول ۸ . ضرایب هم‌بستگی (Pearson) بین فاکتورهای معدنی شدن نیتروژن محاسبه شده مدل سینتیکی ترکیب مرتبهٔ صفر- مرتبهٔ اول

ضرایب	N_{min}	N_0	k	p	N_0k	C/N	٪کل N	٪کل C
N_{min}	۱/۰۰۰							
N_0	۰/۵۸۳*	۱/۰۰۰						
k	۰/۵۰۵	-۰/۲۹۸	۱/۰۰۰					
p	۰/۷۵۱**	-۰/۰۹۸	۰/۸۶۷**	۱/۰۰۰				
N_0k	۰/۸۳۴**	۰/۱۸۳	۰/۸۶۳**	۰/۸۷۹**	۱/۰۰۰			
C/N	-۰/۱۳۵	۰/۵۷۴	-۰/۳۰۴	-۰/۳۰۶	-۰/۰۶۶	۱/۰۰۰		
٪کل N	۰/۶۳۹*	۰/۳۶۶	۰/۵۰۶	۰/۴۹۹	۰/۶۴۹*	-۰/۲۴۲	۱/۰۰۰	
٪کل C	۰/۷۴۴**	۰/۹۲۳**	۰/۰۴۲	۰/۱۶۳	۰/۴۶۸	۰/۵۴۳	۰/۵۵۳	۱/۰۰۰

بالقوه (N_0) (r=۰/۵۸۳*) ، با سرعت معدنی شدن بالقوهٔ اولیه (N_0k) (r= ۰/۸۳۴**) و هم‌چنین کربن کل اولیه (r= ۰/۷۴۴**) و نیتروژن آلی اولیه (r= ۰/۶۹۳*) هم‌بستگی داشت.

در آزمایشی که توسط اسبیا و همکاران (۱۸) در مورد تعیین مقدار کل نیتروژن معدنی شده (N_{min}) در خاک‌هایی که با کود دامی تیمار شده و در مدت ۵۶ هفته در رطوبت ۸۵ ٪ ظرفیت مزرعه‌ای انکوبه شدند مقدار آن بین ۸۸ تا ۲۳۵ میلی‌گرم در کیلوگرم تعیین کردند. و ثابت سرعت نیز در دامنه‌ای بین ۰/۰۳۲ تا ۰/۰۸۸ (day^{-1}) به دست آوردند. هم‌چنین این محققان نشان دادند که معدنی شدن نیتروژن (N_{min}) با معدنی شدن کربن (r=۰/۷۹***)، N_0 (r=۰/۹۰***)، k (r=۰/۴۲**)، نیتروژن کل (r= ۰/۷۴***) و کربن کل (r=۰/۷۷**) هم‌بستگی دارد و با درصد شن هم‌بستگی منفی (r=-۰/۷۱**) و با درصد سیلت (r= ۰/۷۲***) و درصد رس (r=۰/۶۳**) هم‌بستگی مثبت نشان داد.

رینگیولت و بچمیز (۱۷) برای مدل سینتیکی ترکیب مرتبهٔ صفر- مرتبهٔ اول مقادیر N_0 را بین ۲۰ تا ۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و مقادیر k را بین ۰/۰۳۹ تا ۰/۱۵۷ (day^{-1})، مقدار p را در دامنه‌ای بین ۰/۱۵ تا ۰/۵۷ ($mgkg^{-1}day^{-1}$) و نیتروژن معدنی شده برای خاک را بین ۴۴ تا ۱۸۷ میلی‌گرم در کیلوگرم به دست آوردند. سیمارد و اندیگامی (۲۰) مدل گمپرتز را برای خاک‌های مرتعی استفاده کردند و N_0 را در دامنهٔ ۱۲۹ تا ۱۰۹۸ میلی‌گرم در کیلوگرم برآورد کردند و ثابت تناسب (h) را نیز در دامنه‌ای بین ۲/۱۲ تا ۷/۷۷ به دست آوردند.

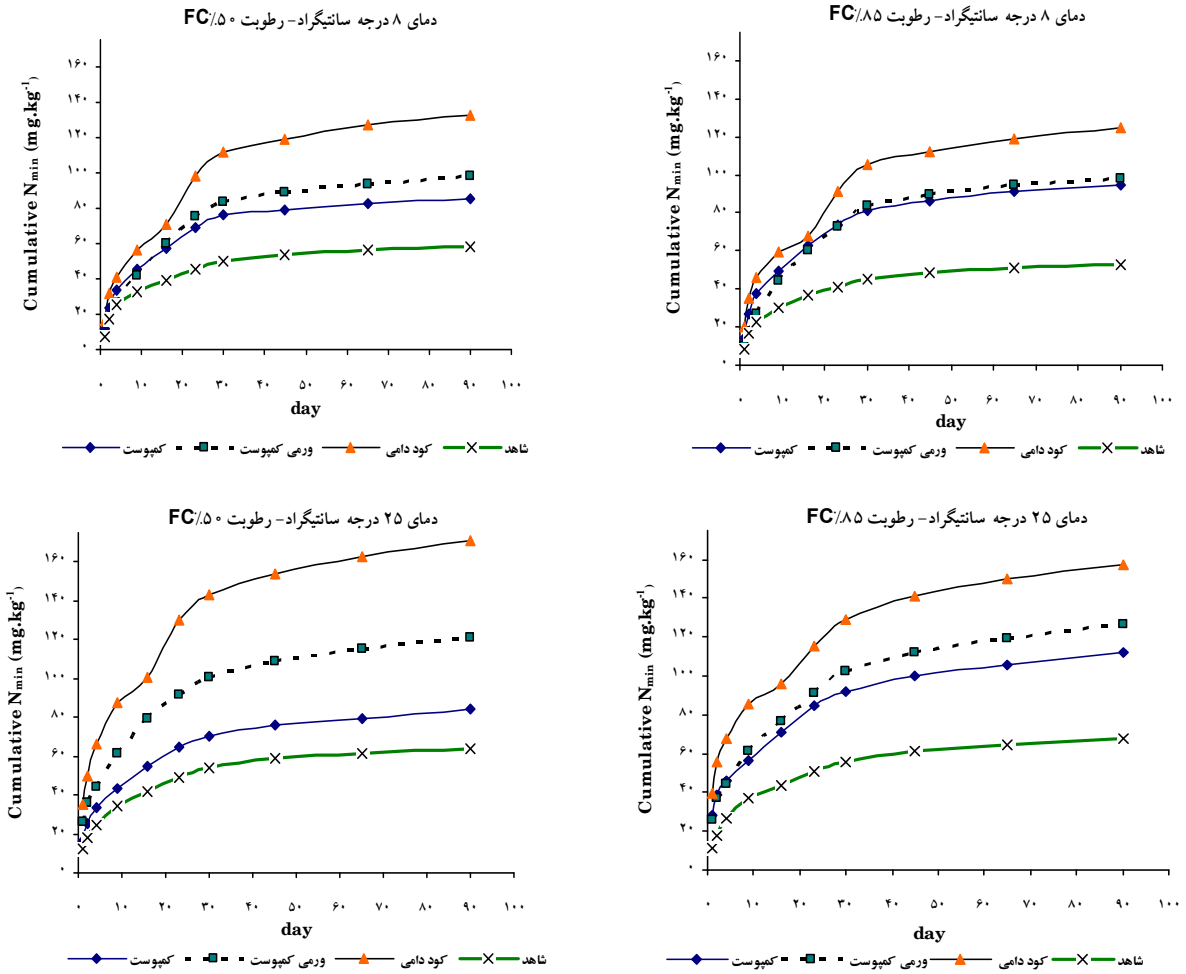
باربایکا و همکاران (۵) با بررسی عوامل موثر بر معدنی شدن نیتروژن در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب نشان دادند که عواملی نظیر درصد نیتروژن کود، دما و طول دوره انکوباسیون با سرعت معدنی شدن نیتروژن هم‌بستگی مثبت و با نسبت کربن به نیتروژن خاک و کود هم‌بستگی منفی دارد. جدیدی و همکاران (۱۰) اظهار نمودند که فرایندهای معدنی شدن و غیرمتحرک (آلی) شدن نیتروژن به طبیعت مواد آلی، درجه پایداری و مقدار نیتروژن آنها بستگی دارد.

نمودار معدنی شدن تجمعی نیتروژن در تیمارهای مختلف نیز نشان می‌دهد (شکل ۱) که مقادیر نیتروژن معدنی شده به ترتیب مربوط به تیمارهای کود دامی، ورمی‌کمپوست و کمپوست می‌باشد که در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد مقادیر بیشتر را نسبت به دمای ۸ درجه سانتی‌گراد نشان دادند. در ۳۰ روز اول انکوباسیون شیب منحنی زیاد بوده که بیشترین مقدار معدنی شدن در این مدت رخ داده است.

در آزمایش حاضر بیشترین مقدار نیتروژن معدنی شده برای تیمار کود دامی معادل ۱۴/۵۴ درصد نیتروژن کل و کمترین مقدار معادل ۴/۶۲ درصد نیتروژن کل برای تیمار کمپوست، برای تیمار ورمی‌کمپوست مقدار نیتروژن معدنی شده معادل ۹/۷۳ درصد نیتروژن کل حاصل شد که این محاسبه، فرضیهٔ کمتر بودن تجزیه‌پذیری کود کمپوست را تقویت می‌کند. مقدار کل نیتروژن نیز در کمپوست کمتر از دو کود آلی دیگر بود (جدول۳). چون کود کمپوست قبل از افزوده شدن به خاک مراحل مقدماتی تجزیه

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.42.34.3]



شکل ۱. مقادیر تجمعی معدنی شدن نیتروژن در طول انکوباسیون برای همه تیمارها

را در زمان کمپوست شدن طی کرده است، به نظر می‌رسد بخش قابل توجهی از نیتروژن قابل معدنی شدن آن پیش از اضافه شدن به خاک معدنی شده است و لذا نیتروژن آلی باقی مانده در کمپوست پس از افزوده شدن به خاک با سرعت کمتری معدنی می‌شود، لذا اگر چه نسبت کربن به نیتروژن کود کمپوست کمتر از ورمی‌کمپوست و کود دامی است، ولی ترکیبات آلی پایدارتر و مقاوم‌تر آلی که نیتروژن را در بر گرفته است، مانع از آزاد شدن سریع نیتروژن می‌گردد (۱). تحقیقات بالکوم و همکاران (۴) و توریس و همکاران (۲۳) این نتایج را نیز تأیید می‌کند.

نتیجه‌گیری

بهترین مدل برازش یافته با داده‌های معدنی شدن نیتروژن، مدل سینتیکی ترکیب مرتبهٔ صفر – مرتبهٔ اول می‌باشد. تیمارهای کودی دمای ۸ درجه سانتی‌گراد برازش بهتری نسبت به دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نشان دادند. N_0k که معیاری از کیفیت و مرغوبیت ماده آلی می‌باشد برای کود دامی بیشترین مقدار را نشان داد که به نظر می‌رسد به دلیل نیتروژن آلی بالاتر در آن نسبت به بقیه کودهای آلی به کار رفته می‌باشد، با توجه به این‌که تحقیق حاضر نشان داد که سرعت معدنی شدن نیتروژن در کمپوست کمتر است و نمی‌تواند همانند کود دامی در تأمین نیتروژن گیاه، عمل کند لذا پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آینده مقدار کمی کود شیمیایی نیتروژن برای غنی‌سازی کمپوست و یا روش‌های دیگر برای بهینه‌سازی تهیه کمپوست حاصل از زباله شهری مورد بررسی قرار گیرد.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.42.34.3]

منابع مورد استفاده

۱. نوربخش، ف. ۱۳۸۲. اثر مقادیر مختلف لجن فاضلاب بر معدنی شدن خالص نیتروژن در خاک. آب و فاضلاب ۴۸: ۳۳-۳۸.

2. Addiscott, T.M. 1983. Kinetics and temperature relationships of mineralization and nitrification in Rothamsted soils with differing histories. Soil Sci. 34: 343-353.
3. Alef, K. and P. Nannipieri 1995. Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry. Academic Press., Harcourt Brace and Company Pub., London.
4. Balkcom, K.S., J.F. Adams, D.L. Hartzog and C.W. Woodm. 2001. Mineralization of composted municipal sludge under field conditions. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 32: 1589-1605.
5. Barbarika, A., L.J. Sikara and D. Colacicco. 1985. Factors affecting the mineralization of nitrogen in sewage sludge applied to soils. Soil Sci. Soc. Amer. J. 49: 1403-1410.
6. Benbi, D. K. and J. Richter. 2002. A critical review of some approaches to modeling nitrogen mineralization. Biol. Fertil. Soils 35:168-183.
7. Bonde, T.A. and T. Rosswall. 1987. Seasonal variation of potentially mineralizable nitrogen in four cropping systems. Soil Sci. Soc. Amer. J. 15: 1508-1514
8. Campbell, C.A., G.P. Lafond, A.J. Leyshon, R.P.Zentner and H.H. Janzen. 1991. Effect of cropping practices on the initial potential rate of nitrogen mineralizationin a thin black chernozem. Can. J. Soil Sci. 71: 43-53.
9. Hassen, A., N. Jedidi, M. Cherif, A. Mhiri, A. Boudabous and O. Van Cleemput. 1998. Mineralization of nitrogen in a clayey loamy soil amended with organic wastes enriched with Zn, Cu and Cd. Biores. Technol. 64: 39-45.
10. Jadidi, N., O.V. Cleemput, M.A. Hiri and O. Van Cleemput. 1995. Quantification of nitrogen mineralization and immobilization in soil in the presence of organic amendments. Can. J. Soil Sci. 75: 85-91.
11. Juma, N.G., E.A. Paul and B. Mary. 1984. Kinetic analysis of net nitrogen mineralization in soil. Soil Sci. Soc. Amer. J. 48: 753-757.
12. Kumar, K., C. J. Rosen and S. C. Gupta 2002. Kinetics of nitrogen mineralization in soils amended with sugar beet processing by-products. Commun. Soil. Sci. Plant Anal. 33: 3635-3651.
13. Lindemann W. C. and M. Cardenas. 1984. Nitrogen mineralization potential and nitrogen transformations of sludge-amended soils. Soil Sci. Soc. Amer. J. 50: 325-326.
14. Marion, G.M. and C.H. Black. 1987. The effect of time and temperature on nitrogen mineralization in Arctic Tundra soils. Soil Sci. Soc. Amer. J. 51: 1501-1508.
15. Mary, B., N. Beaudion, E. Justes and J.M. Machet. 1999. Calculation of nitrogen mineralization and leaching in fallow soils using simple dynamic model. Eur. J. Soil Sci. 50: 549-566.
16. Page, A.L., R.H. Miller and D.R. Keeney. 1982. Methods of Soil Analysis. Part 2, Chemical and Microbiological Properties. 2nd edition., Madison, Wisconsin. USA.
17. Ringuelet, A. and O.A. Bachmeier. 2002. Kinetics of soil nitrogen mineralization in soil. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 33: 3703-3721.
18. Sbih, M., A. N'Dayegamiye and A. Karam. 2003. Evaluation of carbon and nitrogen mineralization rates in meadow soils from dairy farms under transit to biological cropping systems. Can. J. Soil Sci. 83: 25-33.
19. Shukla, S., S. Mostaghimi and J. A. Burger. 2000. Laboratory measurements and modeling nitrogen mineralization potential in Virginia Coastal plain agricultureal, fallow and forest soils. Amer. Soc. Agric. Engin. 43: 315-325.
20. Simard, R.R. and A. N'Dayegamiye.1993. Nitrogen mineralization potential of meadow soils. Can. J. Soil Sci. 73: 27-38.
21. Sparks, D. L. 1988. Kinetics of Soil Chemical Process. Academic Press, INC.
22. Stanford, G. and S. J. Smith. 1972. Nitrogen mineralization potentials of soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 36: 465-472.
23. Thuries, L., M. Pansu, C. Feller, J.C. Herrmann and J.C. Remy. 2001. Kinetics of added organic matter decomposition in a Mediterranean sandy soil. Soil Biol. Biochem. 33: 997-1010.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.42.34.3]