نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و دوم، شماره دوم، ۱۳۹٤
http://jwsc.gau.ac.ir

مقایسه مدل‌های سینتیکی برای تخمین معدنی‌شدن نیتروژن کودهای آلی در شرایط رطوبتی مختلف

فتح‌اله مدرومی[۱]، *حجت امامی[۲]، رضا خراسانی[۲] و علیرضا آستارایی[۲]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه فردوسی مشهد، [۲]دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۳/۱۳

چکیده

سابقه و هدف: اطلاع و آگاهی از سرعت معدنی شدن نیتروژن مواد آلی عامل بسیار مهمی برای مدیریت و تعیین نیاز کودی نیتروژن مورد نیاز گیاهان می‌باشد. پیش‌بینی فراهمی نیتروژن برای دوره رشد گیاه از منابع مختلف کودی در ارتقاء کارایی کودها و همچنین کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی نقش مهمی دارد (۲٤). عوامل محیطی مانند دما و رطوبت مهم‌ترین عواملی هستند که بر روی فرآیندهای رهاسازی نیتروژن اثر می‌گذارند. رطوبت خاک میزان فراهمی اکسیژن را در خاک تنظیم می‌کند و حداکثر فعالیت هوازی ریزجاندارن در محدوده رطوبتی ۵۰ تا ۷۰ درصد ظرفیت زارعی خاک اتفاق می‌افتد (۹، ۱۵). اکثر پژوهشگران از مدل مرتبه اول برای تخمین پتانسیل رهاسازی نیتروژن استفاده کرده‌اند. لطفی و همکاران (۲۰۰۸) دریافتند که مدل مرتبه اول دارای ضریب همبستگی معنی‌داری ($P>۰/۰۰۱$) برای تخمین میزان و سرعت رهاسازی نیتروژن در یک خاک تیمار شده با کود گاوی و لجن فاضلاب بود (۱٦). شاخص N_0K بیانگر سرعت بالقوه معدنی شدن نیتروژن (۸) و معیاری از فراهمی نیتروژن خاک برای گیاه است (٤). سودایی مشاعی و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی شاخص N_0K در کود دامی، ورمی‌کمپوست و کمپوست دریافتند که این شاخص در کود دامی بیش‌ترین و در کمپوست کم‌ترین مقدار بود (۲٦). هدف از این پژوهش بررسی قابلیت برازش مدل‌های مختلف و انتخاب مناسب‌ترین مدل در تخمین میزان رهاسازی نیتروژن از منابع مختلف آلی بود.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش سرعت و میزان رهاسازی نیتروژن از چهار نوع کود آلی (لجن فاضلاب، کود مرغی، کود گاوی و کاه و کلش گندم) در دو سطح رطوبتی (٤۰ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی) و سه تکرار در مدت ٦۰ روز ارزیابی شد. نیتروژن معدنی شده با روش اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد و مدل‌های مختلف به روش حداقل مربعات خطا با مقادیر اندزه‌گیری شده برازش داده شدند. برای انتخاب بهترین مدل از آماره‌های ضریب تبیین (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطا (ME) استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد با آنکه مدل‌های مرتبه اول، سهموی، لگارتیمی و الوویچ دارای بشترین ضریب تبیین و کمترین ریشه میانگین مربعات خطا بودند، اما مدل مرتبه اول برازش بهتری با داده‌های اندازه‌گیری شده نشان داد. بیش‌ترین مقدار شاخص فراهمی نیتروژن (N_0k) در کود مرغی و کم‌ترین آن در کاه و کلش گندم مشاهده شد و ثابت سرعت معدنی شدن نیتروژن (k) در کاه و کلش گندم نسبت به سایر مواد آلی دارای کم‌ترین مقدار بود. افزایش رطوبت از

* مسئول مکاتبه: hemami@um.ac.ir

٤٠ به ۷۵ درصد ظرفیت زراعی موجب افزایش مقدار نیتروژن معدنی شده (N_{min}) و ثابت سرعت معدنی شدن نیتروژن شد.

نتیجه‌گیری: استفاده از مدل مرتبه اول به‌دلیل انطباق با شرایط واقعی و توجیه پارامترهای آن، برای تخمین میزان نیتروژن رهاسازی شده از کودهای آلی توصیه می‌گردد و بر اساس نتایج این مدل، می‌توان زمان مناسب کاربرد کود در مزرعه را تعیین نمود.

واژه‌های کلیدی: سرعت رهاسازی، ظرفیت زراعی، گرماگذاری، مدل مرتبه اول

مقدمه

آگاهی از سرعت رهاسازی نیتروژن و میزان نیتروژن آزاده شده از مواد آلی برای حفظ حاصلخیزی خاک و مدیریت صحیح خاک ضروری است. پیش‌بینی فراهمی نیتروژن برای دوره رشد گیاه از منابع مختلف کودی در ارتقاء کارایی کودها و همچنین کاهش خطرات یا آلودگی‌های زیست‌محیطی نقش مهمی دارد (٢٤). عوامل محیطی مانند دما و رطوبت مهم‌ترین عواملی هستند که بر روی فرآیندهای رهاسازی نیتروژن اثر می‌گذارند. رطوبت خاک میزان فراهمی اکسیژن را در خاک تنظیم می‌کند و حداکثر فعالیت هوازی ریزجاندارن در محدوده رطوبتی ۵۰ تا ۷۰ درصد ظرفیت زارعی خاک اتفاق می‌افتد (۹، ۱۵).

یکی از مباحث مهم در علم شیمی بررسی و مطالعه سینتیک شیمیایی است و امروزه نیز از آن در شیمی خاک استفاده‌های زیادی می‌شود. ابتدائی‌ترین مطالعه سینتیک شیمیایی در خاک در سال ۱۸۵۰ توسط توماس‌وی بر روی تبادل یونی صورت گرفت و او دریافت که سرعت تبادل کلسیم و آمونیم در یک نوع خاک در بریتانیا خیلی سریع و آنی بود (۲۷). استانفورد و اسمیت (۱۹۷۲) از مدل مرتبه اول ($N_m=N_0[1-e^{(-kt)}]$) برای تخمین پتانسیل بالقوه رهاسازی (N_0) نیتروژن خاک استفاده کردند (۲۸). در این مدل N_m مقدار نیتروژن آزاد شده (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در زمان t، N_0 پتانسیل بالقوه معدنی شدن نیتروژن (میلی‌گرم بر کیلوگرم)، k ثابت سرعت ($week^{-1}$) و t زمان آزمایش (هفته) است. این محققین مقدار N_0 را در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد برای ۳۹ خاک ایالات متحده آمریکا بین ۱۸ تا ۳۰۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش نمودند و مقدار k را نیز در محدوده ۰/۰۳۵ تا ۰/۰۹۵ ($week^{-1}$) بیان کردند (۲۸).

اکثر پژوهشگران از مدل مرتبه اول برای تخمین پتانسیل رهاسازی نیتروژن استفاده کرده‌اند. لطفی و همکاران (۲۰۰۸) فقط از مدل مرتبه اول برای تخمین پتانسیل و سرعت رهاسازی نیتروژن در یک خاک تیمار شده با کود گاوی و لجن فاضلاب استفاده کردند و دریافتند که این مدل دارای ضریب همبستگی معنی‌داری ($P>0/001$) با داده‌های اندازه‌گیری شده بود (١٦). البته در برخی از مطالعات این مدل نامناسب گزارش شده است، به‌عنوان مثال لیندمن و کاردنز (١٩٨٤) بیان نمودند که مدل مرتبه اول برای خاک تیمار شده با لجن فاضلاب نامناسب است (١٤). سودایی‌مشاعی و همکاران (۲۰۰۸) با مطالعه سینتیک معدنی شدن نیتروژن در یک خاک آهکی تیمار شده با کودهای آلی گزارش نمودند که مدل ترکیبی مرتبه اول- صفر بهترین برازش را با داده‌های اندازه‌گیری شده نشان داد (٢٦). آدیسکات (۱۹۸۳) دریافت که می‌توان رهاسازی نیتروژن در خاک‌های روتامستد

انگلستان را با مدل سینتیکی مرتبه صفر توصیف نمود (۱). پریرا و همکاران (۲۰۰۵) از هشت مدل غیرخطی برای تخمین معدنی شدن نیتروژن در یک خاک اکسی سول تیمار شده با آهک استفاده کردند و پارامترهای آماری میانگین مربعات خطا، میانگین خطای پیش‌بینی وضریب تعیین تعدیل‌یافته برای ارزیابی مدل‌ها به کار گرفته شد (۲۱). نتایج آن‌ها نشان داد که مدل مرتبه اول دارای کم‌ترین میانگین مربعات خطا بود و همچنین مدل توانی دارای کم‌ترین ضریب تبیین (R^2) بود. همچنین آن‌ها عنوان کردند که مقادیر پارامتر میانگین خطا در مدل‌های سهموی و توانی منفی بود، بنابراین این دو مدل حالت کم‌برآوردی داشتند (۲۱). کامارگو و همکاران (۲۰۰۲) نیز از بین مدل‌های مختلف تجربی، مدل نمایی ساده را به‌دلیل کم‌ترین میانگین مربعات خطا به‌عنوان بهترین مدل معرفی کردند (۷).

شاخص N_0K اولین بار توسط کمبل و همکاران (۱۹۹۱) را به‌عنوان سرعت بالقوه معدنی شدن نیتروژن به‌کار گرفتند که این ضریب از معادله سینتیکی مرتبه اول مشتق شده است (۸) و معیاری از فراهمی نیتروژن خاک برای گیاه است (٤). سودایی‌مشاعی و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی شاخص N_0K در سه نوع کود دامی، ورمی‌کمپوست و کمپوست دریافتند که این شاخص در کود دامی بیش‌ترین و در کمپوست کم‌ترین مقدار بود (۲٦). رسولی‌صدقیانی و سپهر (۲۰۱۲) با مطالعه معدنی‌شدن نیتروژن لجن فاضلاب و کودهای دامی در ریزوسفر گیاهان ذرت و آفتاب‌گردان دریافتند که مقدار نیتروژن معدنی شده در ریزوسفر این گیاهان در کود مرغی بیش‌ترین و در کود گاوی کم‌ترین مقدار بود و در لجن فاضلاب و کود گوسفندی بیش‌تر از کود گاوی و کم‌تر از کود مرغی بود (۲۳). همچنین مقدار نیتروژن معدنی شده در لجن فاضلاب بیش‌تر از کود گوسفندی بود. آن‌ها بررسی سینتیک معدنی‌شدن نیتروژن کودهای دامی و لجن فاضلاب را برای تعیین زمان مناسب و مقدار اصولی و صحیح این نوع کودها را پیشنهاد نمودند (۲۳).

استفاده از کودهای آلی در بخش کشاورزی به‌منظور تأمین عناصر غذایی خاک به‌ویژه برای تأمین عناصر غذایی مثل نیتروژن و بهبود شرایط فیزیکی خاک برای تقویت رشد و افزایش عملکرد گیاهان از اهمیت خاصی برخوردار است. بنابراین این پژوهش با هدف ارزیابی مدل‌های مختلف سنیتیکی معدنی شدن نیتروژن برای پیش‌بینی و تخمین پتانسیل معدنی شدن نیتروژن و فراهمی نیتروژن در شرایط مختلف رطوبت خاک مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

نمونه‌های خاک از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری از مزرعه دانشگاه فردوسی مشهد تهیه و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن با روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شدند. بافت خاک به روش هیدرومتر (۱۰)، درصد رطوبت وزنی در نقطه ظرفیت زراعی (FC)، pH در گل اشباع، EC در عصاره گل اشباع، درصد کربن آلی (۲۹)، نیتروژن به روش کجلدال، نیترات و آمونیم (مجموع شکل محلول و تبادلی) اولیه اندازه‌گیری شد (۳، ۲۰). همچنین pH و EC کودهای آلی نیز در عصاره ۱ : ۱۰، کود : آب)، درصد کربن آلی، نیتروژن (کجلدال) و نسبت کربن به نیتروژن تعیین گردید (۳، ۲۰). سپس کودهای آلی نیمه‌پوسیده (لجن فاضلاب، کود مرغی، کود گاوی و کاه و کلش گندم) پس از هوا خشک و آسیاب شدن و عبور از

الک یک میلی‌متری به‌طور یکنواخت به‌میزان ۵۰ تن در هکتار به خاک اضافه شدند. پس از تعیین ظرفیت زراعی خاک (اشباع از پایین)، دو سطح رطوبتی ٤۰ (کم) و ۷۵ (زیاد) درصد ظرفیت زراعی به همه تیمارهای کودی اعمال گردید و نمونه‌ها (۳۰ گرمی) در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ٦۰ روز در انکوباتور نگهداری شدندو مقادیر نیتروژن معدنی شده در فواصل زمانی ۱۰ روز اندازه‌گیری شد. به‌منظور فراهمی اکسیژن مورد نیاز ریزجانداران خاک، درب ظروف هر روز به‌مدت چند دقیقه باز و بسته شد و رطوبت خاک به‌صورت هفتگی از طریق وزنی کنترل گردید. برای اندازه‌گیری نیترات خاک، ۵ گرم خاک با اضافه کردن ۵۰ میلی‌لیتر از عصاره‌گیر K_2SO_4 یک درصد به‌مدت یک ساعت با سرعت ۲۰۰ دور در دقیقه تکان داده شد و پس از عبور از کاغذ صافی مقدار نیترات آن به روش اسید سالسیلیک با اسپکتروفتومتر در طول موج ٤۱۰ نانومتر قرائت گردید (۳). برای اندازه‌گیری مقدار آمونیم نیز ۸ گرم از نمونه‌های خاک با اضافه کردن ٤۰ میلی‌لیتر از عصاره‌گیر KCl ۲ مولار به‌مدت یک ساعت با سرعت ۲۰۰ دور در دقیقه تکان و پس از عبور کاغذ صافی مقدار آمونیم آن به روش اندوفنل با اسپکتروفتومتر در طول موج ٦۳٦ نانومتر تعیین گردید (۳). سپس مجموع آمونیم و نیترات به‌عنوان نیتروژن آزاد شده در نظر گرفته شد. به‌دلیل غیرمتحرک شدن نیتروژن در تیمار کاه و کلش گندم مقدار نیتروژن معدنی شده در تمامی تیمارها از مقدار خاک اولیه کسر نگردید، به عبارتی دیگر در زمان صفر مقدار نیتروژن معدنی برابر با مقدار نیتروژن معدنی خاک در نظر گرفته شد و سپس انواع مدل‌های سینتیکی (جدول ۱) به روش حداقل مربعات خطا با مقادیر اندازه‌گیری شده برازش داده شدند. برای انتخاب بهترین مدل از آماره‌های ضریب تبیین (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطا (ME) استفاده شد که این آماره‌ها بر اساس روابط زیر در نرم‌افزار Excel ۲۰۰۷ محاسبه شدند:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{n}(X_i - Y_i)^2}{n}} \qquad (۱)$$

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=0}^{n}(X_i - \dot{X})(Y_i - \overline{Y})\right]^2}{\sum_{i=0}^{n}(X_i - \dot{X})(Y_i - \overline{Y})^2} \qquad (۲)$$

$$ME = \frac{\sum_{i=0}^{n}(X_i - Y_i)}{n} \qquad (۳)$$

که در آن‌ها، X_i و Y_i به‌ترتیب مقدار تجمعی نیتروژن برآورد شده با مدل و اندازه‌گیری شده در آزمایش‌های گرماگذاری و n تعداد اندازه‌گیری‌ها است. هرچه ریشه میانگین مربعات خطا کم‌تر و ضریب همبستگی ریشه میانگین مربعات خطا کم‌تر باشد بیانگر دقت بیش‌تر مدل است (۷، ۲۱).

در این مدل‌ها پارامتر N_{min} مقدار نیتروژن آزاد شده به‌صورت تجمعی بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک، N_0 مقدار نیتروژن قابل معدنی‌شدن یا پتانسیل معدنی‌شدن نیتروژن (میلی‌گرم بر کیلوگرم) است که برابر با مجموع مقدار نیتروژن آزاد شده در پایان دوره آزمایش است، k ثابت سرعت معدنی‌شدن سینتیک مرتبه اول (day^{-1})، N_0k سرعت بالقوه اولیه معدنی شدن نیتروژن (میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز)، b_0 عرض از مبدا، k_0 ثابت سرعت معدنی‌شدن سینتیک مرتبه صفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم بر روز) و t هم‌زمان (روز) آزمایش‌های گرماگذاری است.

جدول ۱- انواع مدل‌های سینتیکی برازش‌یافته به داده‌های نیتروژن رهاسازی.

Table 1. Fitted kintic models on mineralized nitrogen data.

منبع Reference	رابطه ریاضی مدل Mathematic formula of Model	نوع مدل Type of Model
استانفورد و اسمیت (۱۹۷۲) Stanford and Smith (1972)	$N_{min} = N_0(1-exp^{-Kt})$	۱ – مرتبه اول 1. First Order
آدیسکات (۱۹۸۳) Addiscott (1983)	$N_{min} = b_0 + k_0 t$	۲- مرتبه صفر (خطی) 2. Zero Order (Linear)
بروادبنت (۱۹۸٦) Broadbent (1986)	$N_{min} = N_0 t^k$	۳- توانی 3. Power
مارین و بلاک (۱۹۸۷) Marion and Black (1987)	$N_{min} = N_0 + k\ Ln(t)$	٤- لگاریتمی 4. Logarithmic
رینگیولنت و باچمییر (۲۰۰۲) Ringuelet and Bachmeier (2002)	$N_{min} = N_0 e^{kt}$	٥ – نمایی 5. Exponential
جوما و همکاران (۱۹۸٤) Juma (1984)	$N_{min} = N_0 t/(kN_0+t)$	٦- سهموی 6. Parabolic
اسپارک (۱۹۸۸) Sparks (1988)	$N_{min} = (1/k)\ln(N_0/k)\ln(t)$	۷- الوویچ 7. Elovich
بوند و راسول (۱۹۸۷) Bonde and Rosswell (1987)	$N_{min} = N_0(1-exp^{-Kt}) + K_0 t$	۸- مرتبه صفر- اول 8. Zero-first order

نتایج و بحث

نتایج تجزیه خاک نشان داد که خاک مورد مطالعه دارای بافت لوم و مقدار نیترات اولیه آن بیش‌تر از آمونیم (مجموع شکل محلول و تبادلی) است (جدول ۲). تجزیه شیمیایی کودهای آلی نشان داد که لجن فاضلاب دارای بیش‌ترین pH و شوری بود. کود مرغی دارای حداکثر مقدار نیتروژن و کاه و کلش گندم نیز کم‌ترین مقدار نیتروژن را دارا بودند. همچنین کاه و کلش گندم و کود مرغی به‌ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین نسبت کربن به نیتروژن بودند (جدول ۳).

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه.

Table 2. Some physicochemical properties of studied soil.

مقادیر values	ویژگی‌ها Soil properties	مقادیر values	ویژگی‌ها Soil properties
7.63	pH گل اشباع pH of saturated paste	0.25	رطوبت ظرفیت زراعی (گرم بر گرم) F.C. (gg^{-1})
2.8	EC عصاره اشباع (dSm^{-1}) EC (dSm^{-1})	19	رس (٪) Clay (%)
0.05	N (%)	38	شن (٪) Sand (%)
0.5	OC (%)	43	سیلت (٪) Silt (%)
10	C/N	لوم loam	بافت Soil Texture
30	نیترات (میلی‌گرم برکیلوگرم) NO_3^- ($mgkg^{-1}$)	21	آمونیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) NH_4^+ ($mgkg^{-1}$)

جدول ۳- برخی از ویژگی‌های شیمیایی کودهای آلی مورد مطالعه.

Table 3. Some chemical properties of studied organic manures.

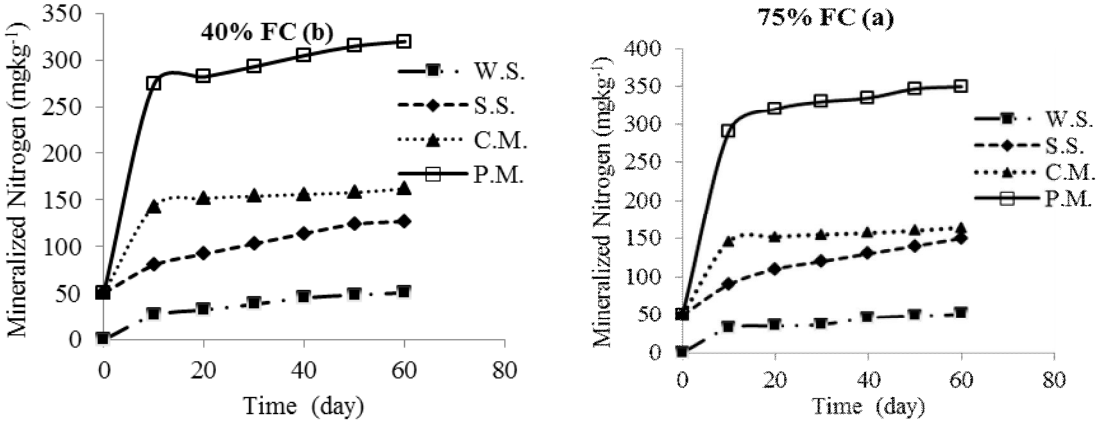
C/N	OC (%)	N (%)	EC*(dSm^{-1})	pH*	ویژگی‌ها Properties
16.7	23.4	1.4	8.5	9.1	لجن فاضلاب Sewage Sludge
12.5	30	2.4	5	8.2	کود مرغی Poultry Manure
18.3	33.9	1.85	6.8	8.2	کود گاوی Cattle Manure
76.6	49.8	0.65	4.5	6.8	کاه و کلش گندم Wheat Straw

* مقادیر pH و EC در نسبت ۱:۱۰ کود به آب اندازه‌گیری شده است.

* The ratio of manure: water was 1:10 for measuring pH and EC.

روند معدنی شدن نیتروژن در کود مرغی نسبت به کود گاوی، لجن فاضلاب و کاه و کلش گندم به‌ویژه در ابتدای دوره گرماگذاری دارای شیب بسیار تندی در هر دو سطح رطوبتی بود. کود گاوی و لجن فاضلاب نیز دارای روند مشابهی در نحوه رهاسازی نیتروژن بودند، ولی میزان رهاسازی نیتروژن در این تیمارها کم‌تر از تیمار کود مرغی بود (شکل ۱). به‌نظر می‌رسد دلیل این امر ناشی از زیاد بودن مقدار نیتروژن در کود مرغی و کم‌ترین میزان نسبت کربن به نیتروژن در این کود آلی نسبت به سایر کودها باشد (جدول ۳). افزایش رطوبت نیز باعث افزایش رهاسازی نیتروژن شده است که در رطوبت ۷۵ درصد ظرفیت زراعی باعث افزایش رهاسازی نیتروژن در کود مرغی، لجن فاضلاب، کود گاوی و کاه و کلش گندم گردیده است.

در تیمار کاه و کلش گندم در رطوبت ٤۰ درصد ظرفیت زراعی حالت غیر متحرک شدن نیتروژن مشاهده شد و این روند تا ٦۰ روز پس از شروع گرماگذاری ادامه داشت، به عبارتی دیگر تا ٦۰ روز گرماگذاری، نیتروژن خاک هنوز به مقدار نیتروژن اولیه خاک (۵۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) نرسیده است (جدول ۲). با افزایش رطوبت، دوره غیر متحرک شدن به‌نسبت کم‌تر شده و در رطوبت ۷۵ درصد ظرفیت زراعی به حدود ۳۰ روز کاهش پیدا کرده است (شکل ۱). زیرا کاه و کلش گندم دارای نسبت کربن به نیتروژن بالاتر و نیتروژن کم‌تری است که نمی‌تواند ضمن تجزیه، نیاز نیتروژن ریزجاندران خاک را فراهم کند، بنابراین از نیتروژن ذخیره خاک استفاده شده و باعث کاهش نیتروژن خاک شده است. بقایای محصولات، با نسبت کربن به نیتروژن بالاتر تمایل به آلی شدن یا غیر متحرک شدن دارند ولی با کاهش نسبت کربن به نیتروژن تمایل برای معدنی شدن بیش‌تر می‌شود (۲۲، ۲٤، ۳۰). در پژوهش‌های محانتی و همکاران (۲۰۱۰) با به‌کار بردن کود سبز و کود دامی در دو سطح ۵ و ۱۰ گرم بر کیلوگرم مشاهده شد که در هر دو سطح کود دامی به‌دلیل بالا بودن نسبت کربن به نیتروژن حالت بی‌تحرکی در فرآیند معدنی شدن نیتروژن اتفاق افتاد و این روند تا ۸۰ روز ادامه پیدا کرد (۱۹).



شکل ۱- مقادیر تجمعی نیتروژن معدنی شده در رطوبت بیش‌تر (الف) و رطوبت کم‌تر (ب) در طول دوره گرماگـذاری (W.S.: لجـن فاضلاب، P.M.: کود مرغی، C.M.: کود گاوی، W.S.: کاه و کلش گندم).

Figure 1. Mineralized nitrogen values at 75% of FC (a) and low 0% of FC moistures (b) during the incubation Period (W.S. Sewage Sludge, P.M. Poultry Manure, C.M. Cattle Manure, W.S. Wheat Straw).

نتایج به‌دست آمده از برازش مدل‌های سنتیکی با داده‌های اندازه‌گیری مقادیر نیتروژن آزاد شـده در هـر دو سطح رطوبتی نشان داد که مـدل‌هـای مرتبـه اول، سهموی، لگارتیمی و الوویچ دارای بیش‌ترین ضـریب تبیین (R^2) و کم‌ترین ریـشه میـانگین مربعـات خطـا بودند (جدول ٤). همچنین بیش‌تـرین ریـشه میـانگین مربعات خطا و کم‌ترین ضریب تبیـین نیـز متعلـق بـه مدل‌های مرتبه صفر- اول، نمایی، توانی و مرتبه صفر بود. مقادیر پارامتر ME در نوع کودهـا در مـدل‌هـای مختلف متفاوت بود، به‌طـوری‌کـه بـرای کـود مرغـی مدل‌های مرتبـه اول، نمـایی، سـهموی، صـفر- اول و الوویچ حالت کـم بـرآوردی را نـشان دادنـد و سـایر مدل‌ها، به‌جز مدل مرتبه صـفر (ME=0) بـرای کـود مرغی حالت بیش برآوردی داشتند. برای کـود گـاوی بـه‌جـز مـدل نمـایی کـه پـارامتر ME مثبـت و بـیش بـرآوردی بـود، بـرای سـایر مـدل‌هـا حالـت کم برآوردی در پارامتر ME مشاهده شد. بـرای لجـن فاضلاب فقط برای دو مـدل تـوانی و نمـایی مقـادیر پارامتر ME حالت بیش برآوردی را نشان داد و سـایر مدل‌ها حالت کم برآوردی داشتند. برای تیمـار کـاه و کلش گندم مدل‌های توانی، لگاریتمی، نمایی و الوویچ حالت بیش برآوردی و مـدل‌هـای مرتبـه اول، مرتبـه صفر، سهموی و صفر- اول حالـت کـم بـرآوردی را نشان دادند. مقادیر پارامتر ME برای همه تیمارهـا در همه مدل‌ها در دامنه ٥١/٧- تا ١/٦+ قرار داشت و در بیش‌تر موارد کم برآورد بودند (جدول ٤). با توجه بـه دقت بالای چهار مدل مرتبه اول، سهموی، لگـاریتمی و الوویچ در ادامه نتایج حاصل از برازش این مدل‌ها با داده‌های اندازه‌گیری شده با جزئیات بـیش‌تـری بیـان می‌شود.

جدول ٤- نتایج ارزیابی مدل‌های مورد مطالعه در برآورد نیتروژن آزاد شده (اعداد بر اساس میانگین هر دو سطح رطوبتی گزارش شده‌اند).

Table 4. Results of studied models for estimating the mineralized nitrogen (mean of two moisture contents).

کاه و کلش	گاوی	مرغی	لجن فاضلاب	معیارها	مدل‌ها
Wheat Straw	Cattle Manure	Poultry Manure	Sewage Sludge	criteria	Models
0.957	0.981	0.992	0.947	R^2	مرتبه اول
4.3	23.61	21.7	20.2	RMSE	
-0.7	-8.6	-10.8	-7.4	ME	First Order
0.83	0.581	0.549	0.891	R^2	مرتبه صفر
6.7	26.8	64.42	11.73	RMSE	
-3.5	-0.4	0	-0.1	ME	Zero Order
0.733	0.523	0.471	0.81	R^2	توانی
9.61	27.92	69.61	14.99	RMSE	
0.6	-0.2	1.4	0.62	ME	Power
0.975	0.912	0.93	0.962	R^2	لگاریتمی
2.96	9.2	24.48	6.83	RMSE	
0.2	-0.2	0.9	-0.28	ME	Logarithmic
0.74	0.52	0.421	0.823	R^2	نمایی
9.8	25.85	86.95	15.07	RMSE	
1.6	0.9	-29.8	1.27	ME	Exponential
0.97	0.986	0.991	0.941	R^2	سهموی
3.37	19.52	20.43	19.6	RMSE	
-0.2	-7	-6.6	-7.6	ME	Parabolic
0.84	0.59	0.562	0.891	R^2	مرتبه صفر- اول
10.7	61.26	113.68	39.85	RMSE	
-2.8	-29.2	-51.7	-21.68	ME	First-Zero Order
0.97	0.95	0.931	0.962	R^2	الوویچ
2.95	26.43	39.75	19.45	RMSE	
0.4	-10.2	-13.1	-7.3	ME	Elovich

مقدار N_0 که نشان‌دهنده پتانسیل قابل معدنی‌شدن نیتروژن است در مدل سهموی در محدوده ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن در کاه و کلش گندم تا ۳٦۲ میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن در کود مرغی متغیر بود و مقدار ثابت سرعت (k) نیز در دامنه ۰/۰۰٦۱ تا ۰/۲۷۹۹ (day^{-1}) بود. بر این اساس سرعت آزادسازی نیتروژن (k) به‌دست آمده از مدل سهموی در کاه و کلش گندم بیش‌ترین و در کود مرغی کم‌ترین میزان بود. همچنین لجن فاضلاب و کود گاوی از نظر سرعت آزادسازی نیتروژن بین دو نوع کود ذکر شده قرار داشتند، ولی میزان آن در لجن فاضلاب بیش‌تر از کود گاوی بود (جدول ۵)، که با توجه به نوع مدل و قرار گرفتن ثابت سرعت در مخرج امری عادی به‌نظر می‌رسد. بنابراین در مدل سهموی هرچه مقدار k کم‌تر باشد، سرعت رهاسازی نیتروژن بیش‌تر خواهد بود. همچنین برای مدل سهموی شاخص N_0K که شاخص فراهمی نیتروژن است در لجن فاضلاب دارای بیش‌ترین و در کاه و کلش گندم کم‌ترین مقدار است.

افزایش رطوبت از ٤۰ به ۷۵ درصد ظرفیت زراعی موجب افزایش در مقادیر پارامترهای N_0 و K شده است که نشان‌دهنده افزایش معدنی‌شدن نیتروژن در رطوبت بیش‌تر است. جوما و همکاران (۱۹۸٤) دامنه سرعت معدنی‌شدن را با مدل سهموی در دامنه ۰/۰۳٦ تا ۰/۱٦٤ ($week^{-1}$) و مقدار N_0 در محدوده ۳۵-۲۵۵ میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن گزارش کردند (۱۳) که تا حدی با این پژوهش مطابقت دارد. تیمار کاه و کلش گندم نسبت به سایر تیمارها برازش بهتری با مدل سهموی نشان داد، به‌طوری‌که کم‌ترین مقدار میانگین مربعات خطا را به خود اختصاص داد و همچنین با توجه مقادیر ME منفی، این مدل برای همه تیمارها حالت کم برآوردی داشت (جدول ۵).

جدول ۵- پارامترهای محاسبه شده در مدل سهموی ($N_{min}=N_0t/(kN_0+t)$) برازش داده شده به مقادیر نیتروژن رهاسازی شده از خاک تحت کاربرد تیمارهای مختلف ماده آلی.

Table 5. The calculated parameters of parabolic model ($N_{min}=N_0t/(kN_0+t)$) which fitted on mineralized nitrogen in different organic treatments.

ME	RMSE	R^2	N_0k (mgN/kg day)	K (day^{-1})	N_0 (mgN/kg)	N_{min} (mgN/kg)	تیمارها Treatments: رطوبت (FC%)	تیمارها Treatments: کودهای آلی Organic manures
-7.05	20.28	0.900	8.34	0.0531	157	137.84	40	لجن فاضلاب
-7.29	19.43	0.960	8.34	0.0531	200	169.87	75	Sewage Sludge
-7.5	19.92	0.996	2.03	0.0061	333	322.09	40	کود مرغی
-6.7	20.03	0.994	2.18	0.0060	362	341.39	75	Poultry Manure
-7.1	19.37	0.996	0.51	0.0031	166	164.59	40	کود گاوی
-5.7	19.42	0.987	3.98	0.0202	197	184.47	75	Cattle Manure
-0.1	1.61	0.988	6.45	0.1291	50	45.14	40	کاه و کلش گندم
-0.3	5.24	0.946	28.27	0.2799	101	68.65	75	Wheat Straw

در مدل مرتبه اول مقدار پتانسیل معدنی‌شدن نیتروژن (N_0) کم‌ترین مقدار با ٤٩/٩ میلی‌گرم در کیلوگرم در کاه و کلش گندم و بیش‌ترین مقدار با ٣٨٨/٤ میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن در کود مرغی به‌دست آمد. همچنین کاهش رطوبت موجب کاهش ١٨، ٢٠، ٣ و ٢٦ درصدی مقدار N_0 به‌ترتیب در کود مرغی، لجن فاضلاب، کود گاوی و کاه و کلش گندم شد (جدول ٦).

ثابت سرعت (k) در مدل مرتبه اول در محدوده ٠/٢٥٠١-٠/٠٤٧١ (day^{-1}) قرار داشت که در کود مرغی حداکثر مقدار بود. سرعت معدنی‌شدن نیتروژن به‌دست آمده از مدل مرتبه اول در کود مرغی نسبت به کود گاوی ١/٧٩، لجن فاضلاب ٣/٢ و کاه و کلش گندم ٥/٣ برابر بود (جدول ٦). شاخص N_0k که بیانگر فراهمی نیتروژن است نیز به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار را در کود مرغی و کاه وکلش گندم داشت (جدول ٦). سبیه و همکاران (٢٠٠٣) با استفاده از مدل مرتبه اول و رطوبت ٨٥ درصد ظرفیت زراعی با گرماگذاری ٥٦ هفته‌ای مقدار نیتروژن معدنی شده را در دامنه بین ٨٨ تا ٢٣٥ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای تیمار کود دامی و ثابت سرعت نیز در دامنه بین ٠/٠٣٢-٠/٠٨٨ (day^{-1}) گزارش کردند (٢٥). هیرزل و همکاران (٢٠١٠) با استفاده از مدل مرتبه اول مقدار نیتروژن معدنی شده در کود مرغی با استفاده از دو سطح ٢٠٠ و ٤٠٠ کیلوگرم در هکتار را به‌ترتیب ٧٤ تا ١٣٦ میلی‌گرم بر کیلوگرم و ثابت سرعت معدنی‌شدن نیتروژن را ٠/٠٧٥٧ و ٠/٠٨٠٧ (day^{-1}) گزارش نمودند (١٢). در پژوهش‌هایی که از مدل مرتبه اول برای پیش‌بینی افزایش میزان رهاسازی نیتروژن استفاده شده است، با افزایش رطوبت تا نزدیکی ظرفیت زراعی، تمامی پارامترهای مدل مرتبه اول افزایش پیدا کرده است. به‌عنوان مثال آگهرا و وارنک (٢٠٠٥) با بررسی معدنی‌شدن نیتروژن کودهای آلی و شیمیایی دریافتند که با افزایش رطوبت از ٥٠ به ٧٠ درصد ظرفیت زراعی مقدار پتانسیل قابل معدنی‌شدن نیتروژن و سرعت معدنی‌شدن نیتروژن افزایش پیدا کرد، ولی در رطوبت ٩٠ درصد ظرفیت زراعی مقدار افزایش در سرعت و مقدار نیتروژن معدنی شده نسبت

به ۷۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی معنی‌دار نبود و علت این امر را به محدود شدن اکسیژن برای فعالیت جوامع میکروبی نسبت دادند (۲). به‌نظر می‌رسد در این پژوهش با افزایش رطوبت از ٤۰ به ۷۵ درصد ظرفیت زراعی، شرایط رطوبتی مناسبی برای فعالیت جامعه میکروبی خاک فراهم شده است و در نتیجه آن نیتروژن بیش‌تری از کودهای آلی مورد مطالعه آزاد شده است، به‌طوری‌که در همه تیمارها افزایش رطوبت از ٤۰ به ۷۵ درصد ظرفیت زراعی موجب افزایش سرعت معدنی‌شدن نیتروژن، شاخص فراهمی نیتروژن، پتانسیل معدنی‌شدن نیتروژن و همچنین افزایش میزان نیتروژن معدنی شده، گردید.

در مدل مرتبه اول نیز کاه و کلش گندم با دارا بودن کم‌ترین مقدار RMSE نسبت به سایر کودهای آلی برازش بهتری با داده‌های اندازه‌گیری شده نشان داد و برای همه تیمارها مدل مرتبه اول کم برآوردی بود.

جدول ٦- پارامترهای مدل مرتبه اول ($N_{min}= N_0 (1-e^{-kt})$) برازش داده شده به مقادیر نیتروژن رهاسازی شده از خاک تحت کاربرد تیمارهای مختلف ماده آلی.

Table 6. The parameters of first order model ($N_{min}= N_0 (1-e^{-kt})$) which fitted on mineralized nitrogen in different organic treatments.

ME	RMSE	R^2	N_0k (mgN/kg day)	K (day^{-1})	N_0 (mgN/kg)	N_{min} (mgN/kg)	تیمارها Treatments: رطوبت (FC%)	تیمارها Treatments: کودهای آلی Organic manures
-7.6	21.1	0.906	11.16	0.081	137.9	136.83	40	لجن فاضلاب
-7.25	19.66	0.964	13.14	0.078	168.1	166.6	75	Sewage Sludge
-10.4	21.53	0.989	74.74	0.241	310	310	40	کود مرغی
-6.8	23.6	0.993	84.63	0.250	388.4	388.4	75	Poultry Manure
-8.9	23.46	0.958	21.21	0.123	172.3	172.2	40	کود گاوی
-7.4	19.97	0.982	25.10	0.140	179.2	179.2	75	Cattle Manure
0	2.40	0.974	4.45	0.099	44.9	48.48	40	کاه و کلش گندم
-0.6	5.93	0.931	3.29	0.047	70	65.9	75	Wheat Straw

در مدل لگاریتمی با افزایش رطوبت از ٤۰ به ۷۵ درصد ظرفیت زراعی به غیر از پتانسیل قابل معدنی‌شدن نیتروژن (N_0)، همه پارامترهای مدل افزایش نشان دادند (جدول ۷). در این مدل با افزایش رطوبت از ٤۰ به ۷۵ درصد ظرفیت زراعی مقدار سرعت معدنی‌شدن نیتروژن در کود مرغی، لجن فاضلاب، کود گاوی و کاه کلش گندم به‌ترتیب ۲٦، ۱۲، ۱۵ و ٤۰ درصد افزایش یافت. همچنین مدل لگاریتمی نسبت به مدل سهموی و مدل مرتبه اول حالت بیش برآوردی داشت. RMSE به‌دست آمده از مدل لگاریتمی در تیمار کود مرغی اختلاف فاحشی نسبت به بقیه تیمارها داشت و دارای بیش‌ترین مقدار بود، اما با توجه به مقدار RMSE و R^2، این مدل در تیمارهای کاه و کلش گندم و لجن فاضلاب برازش بهتری را با داده‌های اندازه‌گیری شده نشان داد (جدول ۷).

در مدل لگاریتمی مقدار N_0 بر خلاف دو مدل قبلی کم‌تر شد که کم‌ترین مقدار آن در کاه و کلش گندم و بیش‌ترین مقدار در کود مرغی به‌دست آمد. در این مدل مقادیر k در دامنه ۱۱/٦ تا ۷۳/۹ (day^{-1})

قرار داشت و همچنین شاخص N_0k در محدوه ۹/۲۸ در کاه و کش گندم تا ۵۷۷۱/۵۹ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم در روز تخمین زده شد که در این مدل مقادیر k و N_0k نسبت به مدل‌های قبلی بیش‌تر بود (جدول ۷). با توجه به مفاهیم k و N_0k که نشان‌دهنده ثابت سرعت و شاخص فراهمی نیتروژن معدنی شده هستند، در مدل لگاریتمی بیش از مقادیر واقعی هستند در نتیجه به‌کارگیری مدل لگاریتمی برای برآورد و تخمین پتانسیل معدنی‌شدن نیتروژن و ثابت سرعت تجزیه نیتروژن علی‌رغم ضریب تبیین بالا (R^2) نمی‌تواند پشنهاد شود.

جدول ۷- پارامترهای مدل لگارتیمی ($N_{min}=N_0+kln(t)$) برازش داده شده به مقادیر نیتروژن رهاسازی شده از خاک تحت کاربرد تیمارهای مختلف ماده آلی.

Table 7. The parameters of logaritmic model ($N_{min}=N_0+kln(t)$) which fitted on mineralized nitrogen in different organic treatments.

ME	RMSE	R^2	N_0k (mgN/kg day)	K (day^{-1})	N_0 (mgN/kg)	N_{min} (mgN/kg)	تیمارها Treatments	
							رطوبت (%FC)	کودهای آلی Organic manures
0.27	7.29	0.942	1017.06	22.11	46	136.53	40	لجن فاضلاب
0	7.81	0.962	1302.90	30.3	43	167.05	75	Sewage Sludge
0.1	26.07	0.919	5389.91	64.7	83.3	348.20	40	کود مرغی
2.8	22.96	0.948	5771.59	73.9	78.1	380.67	75	Poultry Manure
0	13.19	0.886	1811.2	28.3	64	179.87	40	کود گاوی
-0.3	5.12	0.986	1831.2	33.6	54.5	192.07	75	Cattle Manure
-0.1	1.89	0.984	9.28	11.6	0.8	48.29	40	کاه و کلش گندم
1.5	6.25	0.929	15.6	15.6	1	64.87	75	Wheat Straw

برازش داده‌های اندازه‌گیری شده با مدل الوویچ نشان داد که این مدل نیز دارای ضریب تبیین بالاتری است، در همه تیمارها به‌جز کود گاوی در رطوبت ٤٠ درصد ظرفیت زراعی، همه تیمارها دارای ضریب تبیین (R^2) بیش‌تر از ۹۰ درصد بودند. این مدل برای تیمارهای کود مرغی، کود گاوی و لجن فاضلاب حالت کم برآوردی (ME منفی) داشت، ولی برای تیمار کاه و کلش گندم در رطوبت ٤٠ درصد ظرفیت زراعی مقدار پارامتر ME برابر صفر و برای رطوبت ۷۵ ظرفیت زراعی حالت بیش برآوردی نشان داد (جدول ۸). حداکثر ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) در تیمار کود مرغی و کم‌ترین مقدار آن در تیمار کاه و کلش گندم به‌دست آمد. در بین تیمارهای کودی، کاه و کلش گندم به‌دلیل کم‌ترین مقدار RMSE و بیش‌ترین ضریب تبیین (R^2) بهترین برازش را با مدل الوویچ نشان داد (جدول ۸). البته بر اساس شاخص‌های آماری (R^2، ME و RMSE) مشخص شد که کاه و کلش گندم در همه مدل‌ها برازش خوبی با داده‌های اندازه‌گیری شده نیتروژن داشت. شاید علت این امر ناشی از این امر باشد که در زمان صفر مقدار معدنی‌شدن نیتروژن برای تیمار کاه و کلش گندم صفر در نظر گرفته شد، ولی برای سایر تیمارها در زمان صفر مقدار نیتروژن خاک اولیه در نظر گرفته شد.

با توجه به مقادیر پارامترهای N_0 و N_{min} در مدل الوویچ، به‌نظر می‌سد که این مدل N_0 که پتانسیل قابل

معدنی‌شدن نیتروژن استرا کم‌تر از مقادیر واقعی نشان می‌دهد، به‌عبارت دیگر باید مقادیر N_0 و N_{min} نزدیک هم باشند (جدول ۸). این حالت برای مدل لگارتیمی نیز دیده شد ولی برای مدل مرتبه اول و سهموی مقادیر N_0 و N_{min} به‌هم نزدیک‌تر بودند و تطابق بیش‌تری با شرایط واقعی داشتند، البته در بین دو مدل مرتبه اول و سهموی، مدل مرتبه اول بیش‌تر به شرایط واقعی نزدیک‌تر است.

جدول ۸- پارامترهای محاسبه شده در مدل الوویچ ($N_{min}=(1/k)ln(N_0/K)lnt$) برازش داده شده به مقادیر نیتروژن رهاسازی شده از خاک تحت کاربرد تیمارهای مختلف ماده آلی.

Table 8. The parameters of Elovich model ($N_{min}=(1/k)ln(N_0/K)lnt$) which fitted on mineralized nitrogen in different organic treatments.

ME	RMSE	R^2	N_0k (mgN/kg day)	K (day^{-1})	N_0 (mgN/kg)	N_{min} (mgN/kg)	تیمارها Treatments	
							رطوبت (%FC)	کودهای آلی Organic manures
-8.4	19.88	0.94	29.06	0.1912	152	143	40	لجن فاضلاب
-7.7	19.58	0.96	19.14	0.1569	122	173.7	75	Sewage Sludge
-13.2	41.25	0.91	7.75	0.0800	96.9	363.3	40	کود مرغی
-12.6	38.36	0.94	7.13	0.0745	95.8	393.5	75	Poultry Manure
-11	29.7	0.88	18	0.1452	124	190.3	40	کود گاوی
-9.5	23.6	0.98	16.7	0.1379	121	201.2	75	Cattle Manure
0	1.99	0.98	0.0064	0.0572	0.113	48.73	40	کاه و کلش گندم
0.5	6	0.92	0.0087	0.0590	0.148	63.82	75	Wheat Straw

آقهرا و وارنگ (۲۰۰۵)، سرعت معدنی‌شدن نیتروژن کود مرغی در رطوبت ۷۰ درصد ظرفیت زارعی را با استفاده از مدل مرتبه اول برابر با ۰/۹۹ (day^{-1}) تخمین زدند (۲)، در حالی‌که در این پژوهش سرعت معدنی‌شدن نیتروژن برای کود مرغی با مدل مرتبه اول ۰/۲۵ (day^{-1}) بود. علت اختلاف سرعت معدنی شدن نیتروژن در کود مرغی این است که در این پژوهش نسبت کربن به نیتروژن کود مرغی حدود ۱۲/۵ بود (جدول ۳) در حالی‌که در مطالعه آقهرا و وارنک (۲۰۰۵) نسبت کربن به نیتروژن کود مرغی حدود ۷/۲۲ بود (۲). در مدل مرتبه اول کاه و کلش گندم به‌دلیل داشتن نسبت کربن به نیتروژن بالاتر، دارای کم‌ترین سرعت معدنی‌شدن نیتروژن نسبت به کود مرغی، کود گاوی و لجن فاضلاب بود و مقدار آن در محدوده ۰/۰٤۷۱ تا ۰/۰۹۹۱ (day^{-1}) قرار داشت (جدول ٦). در پژوهش میشرا و همکاران (۲۰۰۱) ثابت سرعت معدنی‌شدن کاه و کلش گندم در مزرعه برنج بین ۰/۰۱۱٦ تا ۰/۰۱۳۰ (day^{-1}) قرار داشت، این پژوهشگران فاز غیر متحرک شدن کاه و کلش گندم را بین ۲ تا ۱۰ هفته گزارش نمودند (۱۸). به‌نظر می‌رسد که در مزراع برنج به‌دلیل شرایط احیاء زیاد و کمبود اکسیژن، تجزیه به خوبی صورت نمی‌گیرد در این پژوهش نیز حالت غیر متحرک شدن برای رطوبت ۷۵ درصد ظرفیت زراعی حدود ۳۰ روز بود که نشان‌دهنده شرایط بهتر فراهمی هم زمان رطوبت و اکسیژن مورد نیاز ریزجاندارن خاک است.

با توجه به نوع مواد آلی و مدت زمان گرماگذاری، قابلیت برازش مدل‌ها متفاوت است. گیل و همکاران (۲۰۱۱) با مدل‌سازی رهاسازی نیتروژن در کود گاوی و کمپوست لجن فاضلاب از بین پنج مدل ریاضی

(نمایی ساده، نمایی دوگانه، مدل خاص (مدل ترکیبی مرتبه صفر- اول)، هذلولی و سهموی) بیان نمودند مدل نمایی ساده بهترین برازش را با داده‌ها نشان داد (۱۱). در مطالعه دیگر که ماریون و بلاک (۱۹۸۷) تأثیر دما و زمان بر میزان رهاسازی نیتروژن در خاک توندرا در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد را بررسی کردند، دریافتند که مدل لگاریتمی برازش بهتری با داده‌های اندازه‌گیری شده نشان داد ولی در دماهای پایین، مدل سهموی برازش بهتری داشت (۱۷). پریرا و همکاران (۲۰۰۵) با ارزیابی هشت مدل غیرخطی برای معدنی‌شدن نیتروژن گزارش نمودند که دو مدل مرتبه اول و سهموی به‌دلیل کم‌ترین میزان خطای پیش‌بینی، بهترین برازش را با داده‌های اندازه‌گیری شده داشتند (۲۱) که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. سودایی‌مشاعی و همکاران (۲۰۰۸) از بین مدل‌ها مختلف سینتیک رهاسازی نیتروژن عنوان کردند که مدل ترکیبی مرتبه اول- صفر بهترین برازش را با داده‌ها نشان داد (۲۶).

با توجه به این‌که میزان نیتروژن معدنی شده از کودهای آلی از روابط غیرخطی پیروی نموده است (شکل ۱)، بنابراین انتظار می‌رود مدل‌های غیرخطی قادر به برآورد میزان رها سازی نیتروژن باشند. علاوه بر این با توجه به نیتروژن اولیه موجود در خاک، وجود عرض از مبدأ هم برای در نظر گرفتن آن به‌ویژه در آغاز آزمایش ضروری خواهد بود و در ساختار مدل‌هایی که عرض از مبدأ در نظر گرفته شده است نیتروژن معدنی شده با دقت بیش‌تری تخمین زده خواهد شد. به همین علت در این پژوهش چنین مدل‌هایی توانسته‌اند نیتروژن معدنی شده را با دقت خوبی برآورد نمایند. به‌طورکلی بر اساس معیارهای مورد بررسی (R^2، RMSE و ME) از بین هشت مدل مورد بررسی، با مدل‌های مرتبه اول، سهموی، لگاریتمی و الویچ برتری چندانی نسبت به یکدیگر در برآورد میزان رهاسازی نیتروژن نداشتند. هر چهار مدل برتر در این پژوهش (مدل مرتبه اول، سهموی و لگاریتمی و الوویچ) دارای ضریب تبیین بالاتری (R^2=۰/۹۱-۰/۹۹) و تقریباً تا حدی شبیه هم بودند، بنابراین انتخاب یک مدل به‌عنوان بهترین مدل کار سخت و دشواری است ولی از نظر مفاهیم پارامترها و ضرایب معادلات می‌توان دریافت که چه مدلی کاربرد بهتر و بیش‌تری دارد. همان‌طور که اشاره شد، با این‌که مدل لگارتیمی ضریب تبیین بالاتری داشت ولی پارمتر k و N_0k را نمی‌تواند به خوبی توجیه کند. مثلاً بر اساس این مدل، در کود مرغی تقریباً ۵۷۷۲ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم می‌تواند آزاد شود، در حالی‌که در شرایط واقعی که به‌مدت ۲ ماه رهاسازی صورت گرفت حدود ۳۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن آزاد شد، پس این مدل کاربرد زیادی در شرایط واقعی ندارد، ولی مدل مرتبه اول کاربرد بیش‌تری با شرایط واقعی دارد و مقدار پارامترهای محاسبه شده بیش‌تر به واقعیت نزدیک‌تر است. بنابراین می‌توان گفت از بین هشت مدل مورد بررسی، مدل مرتبه اول برازش بهتری با داده‌های اندازه‌گیری شده داشته و مقادیر نیتروژن معدنی شده، سرعت و شاخص فراهمی نیتروژن را بهتر برآورد نموده است. مطالعاتی که بر روی ارزیابی مدل‌های سینتیکی معدنی شدن نیتروژن صورت گرفته است، نشان می‌دهند عواملی مانند نوع ماده آلی، نوع خاک و شرایط محیطی بر میزان رهاسازی نیتروژن تأثیرگذار هستند (۷، ۱۱).

نتیجه‌گیری

از بین هشت مدل ارزیابی شده مدل مرتبه اول برازش بهتری با داده‌های اندازه‌گیری شده نشان داد. در بین همه تیمارها کود مرغی دارای بالاترین سرعت معدنی‌شدن نیتروژن و حداکثر فراهمی نیتروژن و کاه

و کلش گندم دارای کم‌ترین مقدار و سرعت معدنی‌شدن نیتروژن بود و همچنین افزایش رطوبت باعث افزایش میزان معدنی‌شدن نیتروژن در همه تیمارها شد. با توجه به نتایج این پژوهش استفاده از مدل‌های مرتبه اول، سهموی و لگاریتمی و الوویچ برای پیش‌بینی نیتروژن رهاسازی شده از منابع مختلف کودهای آلی توصیه می‌شود.

منابع

1.Addiscott, T.M. 1983. Kinetics and temperature relationships of mineralization and nitrification in Rothamsted soils with differing histories. Soil Sci. 34: 343-353.

2.Agehara, S., and Warncke, D.D. 2005. Soil moisture and temperature effects on nitrogen release from organic nitrogen Sources. Soil Sci. Soc. Am. J. 69: 1844-1855.

3.Alef, K., and Nannipieri, P. 1995. Methods in applied soil microbiology and biochemistry. Academic Press, London. 567p.

4.Benbi, D.K., and Richter, J. 2002. A critical review of some approaches to modeling nitrogen mineralization. Biol. Fertil. Soils. 35: 168-183.

5.Bonde, T.A., and Rosswell, T. 1987. Seasonal variation of potentially mineralizable nitrogen in four cropping systems. Soil Sci. Soc. Am. J. 51: 1508-1514.

6.Broadbent, C.A. 1986. Empirical modeling of soil nitrogen mineralization. Soil Sci. 141: 208-210.

7.Camargo, F.A.D.O., Tedesco, C.G.M.J., Riboldi, J., Meurer, E.J., and Bissani, C.A. 2002. Empirical models to predict soil nitrogen mineralization. Sci. Rur. Santa. Maria. 32: 3. 393-399.

8.Campbell, C.A., Leyshon, A.J., Zentner, R.P., LaFond, G.P., and Janzen, H.H. 1991. Effect of cropping practices on the initial potential rate of N mineralization in a thin Black Chernozem. Can. J. Soil Sci. 71: 43-53.

9.Franzluebbers, A.J. 1999. Microbial activity in response to water-filled pore space of variably eroded southern Piedmont soils. Appl. Soil Ecol. 11: 91-101.

10.Gee, G.H., and Bauder, J.W. 1986. Particle size analysis, P 383-41. In: A. Klute, (ed.), Methods of Soil Analysis. Physical Properties. SSSA, Madison, WI. USA.

11.Gil, M.V., Carballo, M.T., and Calvo, L.F. 2011. Modelling N mineralization from bovine manure and sewage sludge composts. Biores. Technol. 102: 2. 863-871.

12.Hirzel, J., Unuraga, P., and Walter, I. 2010. Nitrogen mineralization and released nutrients in a volcanic soil amended with poultry litter. Chile. J. Agri. Res. 70: 1. 113-121.

13.Juma, N.G., Paul, E.A., and Mary, B. 1984. Kinetic Analysis of Net Nitrogen Mineralization in Soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 48: 753-757.

14.Lindemann, W.C., and Cardenas, M. 1984. Nitrogen mineralization potential and nitrogen transformations of sludge-amended. Soil Sci. Soc. Am. J. 48: 1072-1077.

15.Linn, D.M., and Doran, J.W. 1984. Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and non tilled soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 48: 1267-1272.

16.Lotfi, Y., Nourbakhsh, F., and Afyuni, M. 2008. Nitrogen mineralization potential in a calcareous soil treated with two organic fertilizers. Sci. Tech. Agric. Natur. Res. 11: 42. 367-377. (In Persian)

17.Marion, G.M., and Black, C.H. 1987. The effect of time and temperature on nitrogen mineralization in arctic tundra Soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 51: 1501-1508.

18.Mishra, B., Sharma, P.K., and Bronson, K.F. 2001. Kinetics of wheat straw decomposition and nitrogen mineralization in rice field soil. Ind. J. Soil Sci. 49: 2. 249-254.

19.Mohanty, M., Probrt, M.E., Reddy, K.S., Dalal, R.C., Subba, R., and Menzies, N.W. 2010. Modelling N mineralization from green manure and farmyard manure from a laboratory incubation study, P 24-27. In: R. Gilkes, and N. Prakongkep. (eds.), Proceedings of the 19th World Congress of Soil Science: Soil solutions for a changing world. Brisbane, Australia, 1-6 August.

20. Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. 1982. Methods of soil analysis part 2, chemical and microbiological properties. SSSA, Madison, WI. USA. Pp: 674-675.
21. Pereira, J.M., Muniz, J.A., and Silva, C.A. 2005. Nonlinear models to predict nitrogen mineralization. Scientia Agricola (Piracicaba, Braz.). 62: 4. 395-400.
22. Qian, P., and Schoenau, J. 2002. Availability of nitrogen in solid manure amendments with different C:N ratios. Soil Sci. 82: 219-225.
23. Rasouli Sadaghiani, M.H., and Sepehr, E. 2012. The effect of sewage sludge and manures application on nitrogen mineralization and rhizospherecharacteristics in corn and sunflower plants. J. Water Soil. 25: 2. 327-337. (In Persian)
24. Ringuelet, A., and Bachmeier, O.A. 2002. Kinetics of soil nitrogen mineralization in soil. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 33: 3703-3721.
25. Sbih, M., Dayegamiye, A.N., and Karam, A. 2003. Evaluation of carbon and nitrogen mineralization rates in meadow soils from dairy farms under transit to biological cropping systems. Soil Sci. 83: 25-33.
26. Soodaee Mashaee, S., Aliasgharzade, N., and Ostan, Sh. 2008. Kinetics of Nitrogen mineralization in soils amended with compost, vermicompost and cattle manure. J. Sci. Tech. Agric. Nat. Res. 11: 42. 404-414. (In Persain)
27. Sparks, D.L. 1998. Kinetics of soil chemical process. Academic Press, INC. Pp: 81-101.
28. Stanford, G., and Smith S.J. 1972.Nitrogen mineralization potentials of soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 36: 465-72.
29. Walkley, A., and Black, I.A. 1934. An examination of digestion method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37: 29-37.
30. Yousif, A.M., and Mobarak, A.A. 2009. Variations in nitrogen mineralization from different manures in semi-arid tropics of Sudan with reference to salt-affected soils. Int. J. Agric. Biol. 11: 515-520.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 22(2), 2015
http://jwsc.gau.ac.ir

Comparison the kinetic models to estimate the nitrogen mineralization from organic manures in different moisture condition

F. Madroomi[1], *H. Emami[2], R. Khorasani[2] and A.R. Astaraei[2]
[1]M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad,
[2]Associate Prof., Dept. of Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad
Received: 10/30/2013; Accepted: 06/03/2014

Abstract

Background and Objectives: Knowledge about the rate of nitrogen mineralization from organic matter is very important factor for land management and nitrogen demand of plants. Predicting the availability of nitrogen during the period of plant growth from different fertilizer sources has an important role to increase the fertilizer's efficiency and to decrease the environmental pollution, too (24). The environmental factors such as temperature and moisture are the most important agents that affect the mineralization processes of nitrogen. Soil moisture regulates the content of oxygen availability and the maximum aerobic activity of micro-organisms is occurred at the range of 50-70% of field capacity soil moisture (9, 15). Most researchers have used the first order model for predicting the nitrogen mineralization potential. Lotfi et al. (2008) fund that the first order model had the significant correlation coefficient ($P>0.001$) for predicting the mineralization of nitrogen rate and content in a treated soil with cattle manure and sewage sludge. N_0K index reflects the potential rate of nitrogen mineralization and is a criterion of nitrogen availability for plants (4). Soodaee Mashaee et al. (2008) investigated the N_0K index in livestock manure, vermi-compost and compost fund that this index was the highest value in livestock manure and the lowest in compost (26). The objective of this research was to study the capability fitting of different models for estimating the content of nitrogen mineralization from different organic sources and to select the best model.

Materials and Methods: In this research, the amount and rate of nitrogen (N) mineralization during 60 days from 4 organic manures (i.e. sewage sludge, poultry manure, cattle manure and wheat straw) at 2 moisture amounts (40 and 75% of field capacity) with 3 replications were evaluated. During the experiment, mineralized N was measured with spectrophotometry method and different models were fitted to measured data with least square error method. For selecting the best model, determination coefficient (R^2), root mean square error (RMSE) and mean error (ME) were used.

Results: The results showed that although first order, parabolic, logarithmic and Elovich models had the highest R^2 and lowest RMSE, but it was demonstrated that the first order model showed the best fitting to measured data. The highest and lowest values of N availability index (N_0k) were observed in poultry manure and wheat straw, respectively. Among the studied treatments, the rate of mineralized nitrogen constant (k) was the lowest value in wheat straw treatment. The mineralized nitrogen (N_{min}) and K were increased by increasing the soil moisture content from 40 to 75 % of field capacity.

Conclusion: Due to the first order model was accordant with real condition and appropriate explanation of its parameters, it's recommended for estimation the N mineralization from organic manures and the suitable time for application of organic manures in the field can be determined according to the results of this models.

Keywords: Field capacity, First order model, Incubation, Mineralized rate

* Corresponding Author; Email: hemami@um.ac.ir