

A Simple and Rapid Method to Evaluate Potentially Mineralizable Nitrogen in Sewage Sludge Amended Calcareous Soils

Yazdan Lotfi¹, Farshid Nqurbakhsh²,
Majid Afyuni³

یک روش آسان و سریع جهت سنجش پتانسیل معدنی شدن نیتروژن در زمینهای تیمار شده با لجن فاضلاب

یزدان لطفی^۱ فرشید نوربخش^۲
مجید افیونی^۳

(دریافت ۸۴/۱/۱۵ پذیرش ۸۴/۴/۲۷)

چکیده

Abstract

Potentially mineralizable nitrogen (PMN) can be usually considered as labile nitrogen. Measurement of PMN is expensive and time consuming; therefore, a simpler and more rapid alternative may facilitate routine laboratory analysis. The objective of this study was to determine the relationship between PMN and biological index of nitrogen availability (BINA). The studied soil was previously treated with 0, 25, and 100 tons ha⁻¹ of sewage sludge with 0, 1, 2 and 3 consecutive years of application. Soil samples were taken 6 months after the latest application. PMN was measured according to Stanford and Smith procedure (20 weeks of aerobic incubation with 2 weeks leaching intervals) and BINA measured as described by Bundy and Meisinger (7 days of anaerobic incubation at 40° C followed by extraction of NH₄⁺). Results showed that PMN was significantly correlated with BINA ($r = 0.938$, $P < 0.001$) in sewage sludge treated plots and that BINA can be considered as a more reliable index for estimation of PMN. The results showed that BINA might be used as a simple and rapid method to evaluate PMN in sludge amended calcareous soils.

Key words: Nitrogen Mineralization Potential, Biological Index of Nitrogen Availability, Sewage Sludge.

پتانسیل معدنی شدن نیتروژن را می توان معیار مهمی جهت ارزیابی نیتروژن لیبایل (Laibile) خاک در نظر گرفت. تعیین پتانسیل معدنی شدن نیتروژن بسیار وقت گیر و پرهزینه است، لذا جایگزینی روشی آسان تر ارجحیت دارد. هدف از این تحقیق بررسی امکان تخمین پتانسیل معدنی شدن نیتروژن از روی شاخص بیولوژیکی قابلیت جذب نیتروژن در یک خاک آهکی تیمار شده با لجن فاضلاب است. آزمایش در قالب طرح کرت های خرد شده و در سه تکرار انجام گردید. هر کرت اصلی به سه کرت خرد شده تقسیم شد و اعمال تیمارها در سه سال متوالی به گونه ای بود که بخشی از کرت تنها در سال اول، بخشی دیگر در دو سال پیاپی و بخش سوم در سه سال متوالی تیمار کودی مشابه دریافت کردند. برای انجام این تحقیق نمونه های خاک، شش ماه پس از آخرین کوددهی و از عمق ۰ تا ۱۵ سانتی متری مزرعه لورک که قبلاً تیمارهای لجن فاضلاب در آن اعمال گردیده بود، برداشت گردید. تیمارها شامل سطوح لجن فاضلاب (۰، ۲۵، ۱۰۰ تن در هکتار) و سال های کوددهی (۰، ۱، ۲، ۳ سال) بود. پس از آماده سازی اولیه نمونه ها، پتانسیل معدنی شدن نیتروژن به روش استانفورد و اسمیت (انکوباسیون به مدت ۲۲ هفته و آبشویی متناوب هر دو هفته یک بار) اندازه گیری شد. شاخص بیولوژیکی قابلیت جذب نیتروژن، BINA، نیز با اندازه گیری آمونیوم حاصل از انکوباسیون یک هفته ای خاک در شرایط بی هوازی و در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد اندازه گیری شد. نتایج نشان داد بین شاخص BINA و پتانسیل معدنی شدن نیتروژن همبستگی بالایی ($r = 0.938^{***}$) وجود دارد. همچنین بین شاخص BINA و عملکرد ($r = 0.701^{***}$) و جذب نیتروژن توسط گیاه ذرت ($r = 0.788^{***}$) همبستگی های معنی داری مشاهده گردید. نتیجه این که می توان از شاخص BINA به عنوان شاخصی جهت تخمین پتانسیل معدنی شدن نیتروژن در اراضی تیمار شده با لجن فاضلاب استفاده کرد.

واژه های کلیدی: پتانسیل معدنی شدن نیتروژن، شاخص بیولوژیکی قابلیت جذب نیتروژن، لجن فاضلاب.

1- Former Graduate Student, of Soil Science, Isfahan University of Technology

2- Assistant Professor of Soil Science, Isfahan University of Technology

3- Associate Professor of Soil Science, Isfahan University of Technology

۱- دانش آموزانه کارشناسی ارشد خاک شناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲- استادیار گروه خاک شناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳- دانشیار گروه خاک شناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان

بیش از ۹۷ درصد نیتروژن خاک به شکل آلی است [۲۱]. نیتروژن موجود در ترکیبات آلی پیش از آن که به شکل‌های معدنی مانند آمونیوم و نیترات تبدیل شوند، غیر قابل جذب برای گیاهان، می‌باشند. تبدیل ترکیبات آلی نیتروژن‌دار به شکل‌های معدنی در خاک، فرآیندی بیولوژیکی است که به وسیله آنزیم‌های موجود در محیط خاک صورت می‌گیرد. اغلب این آنزیم‌ها (که عمدتاً به وسیله جمعیت‌های میکروبی تولید می‌شوند) از گروه هیدرولازها می‌باشند و از مهم‌ترین آنها می‌توان به ال-آسپاراژیناز، ال-گلوتامیناز، آمیداز، اوره آز و آریل آمیداز اشاره کرد. نخستین محصول معدنی این فرآیندهای آنزیمی، آمونیوم است که خود می‌تواند به عنوان مواد مغذی فرآیند بیولوژیکی دیگری به نام نیتریفیکاسیون مورد استفاده قرار گرفته و به نیترات تبدیل شود [۳]. فرآیند نیتریفیکاسیون عمدتاً حاصل عمل جمعیت باکتری‌های شیمیواتروفی چون نیتروزوموناس و نیتروباکتر است [۳].

اطلاع از حداکثر نیتروژن قابل معدنی شدن در یک دوره زمانی طولانی به دو دلیل مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. نخست آن که، شدت تولید نیتروژن معدنی از منابع آلی خاک جهت تخمین کود نیتروژن‌دار ضروری است، زیرا بدون اطلاع از آن ممکن است کوددهی به مقادیر نامناسب صورت گیرد [۴] و دوم آنکه اطلاع از حداکثر (پتانسیل) نیتروژن معدنی که می‌تواند در یک دوره زمانی معین تولید شود می‌تواند در سنجش خطر زیست‌محیطی تولید نیترات مورد استفاده قرار گیرد [۵]. از طرف دیگر در بسیاری از مدل‌ها و شبیه‌سازی‌های کامپیوتری که جهت برآورد پتانسیل تولید محصول به کار می‌رود، امکان استفاده از پتانسیل معدنی شدن نیتروژن به عنوان ورودی وجود دارد.

برای سنجش پتانسیل معدنی شدن نیتروژن نخستین بار در سال ۱۹۷۲ استانفورد و اسمیت اقدام به ابداع روشی نمودند که در آن نمونه‌های خاک در شرایط هوازی به مدت طولانی انکوباسیون گردیده و مقدار نیتروژن معدنی تولید شده در فواصل زمانی معین عصاره‌گیری و اندازه‌گیری می‌شد [۶]. در پایان دوره انکوباسیون که اغلب ممکن بود بیش از پانزده هفته به طول انجامد، مقادیر پتانسیل معدنی شدن نیتروژن با استفاده از مدل‌های سینتیکی برآورد می‌گردید [۷]. اگر چه این روش هنوز هم معتبرترین روش تخمین پتانسیل معدنی شدن نیتروژن است، لکن استفاده از آن نیازمند صرف زمان و هزینه‌های زیادی است که بهره‌برداری از آن را در بیشتر موارد با مشکل مواجه می‌نماید [۸]. امکان جایگزینی این روش پرهزینه و وقت‌گیر با روش‌های دیگری که از سهولت بیشتری برخوردار باشند پیش از این مدنظر بوده و روش‌های انکوباسیون بیست و چهار روزه هوازی [۹] و یا روش‌های هفت روزه بی‌هوازی

[۸] مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از روش‌های سریع و گران قیمت از قبیل استفاده از طیف سنجی نیز مورد استفاده قرار گرفته است [۱۰].

با توجه به اهمیت روز افزون مدیریت پایدار کوددهی آلی در اراضی کشاورزی و اهمیت و سنجش دقیق مشکلات زیست‌محیطی این اراضی، داشتن روشی دقیق و آسان جهت سنجش پتانسیل معدنی شدن نیتروژن ضروری است. لجن فاضلاب، کودی سرشار از ترکیبات آلی نیتروژن‌دار است که استفاده از آن در خاک‌های آهکی و تحت آبیاری امکان تولید مقادیر زیاد نیترات را فراهم می‌آورد [۱۱]. لذا با توجه به وقت‌گیر و پرهزینه بودن روش استانفورد و اسمیت در سنجش نیتروژن معدنی تولید شده، لازم است امکان استفاده از روشی آسان و معتبر جهت سنجش پتانسیل معدنی شدن نیتروژن در اراضی تیمار شده با لجن فاضلاب بررسی شود. هدف از این مطالعه بررسی امکان استفاده از روش بانندی و میسینگر به عنوان یک روش آسان و ارزان به جای روش استانفورد و اسمیت جهت تخمین پتانسیل معدنی شدن نیتروژن است [۸].

۲- مواد و روشها

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان (واقع در لورک نجف‌آباد)، ۴۰ کیلومتری جنوب غربی اصفهان، صورت گرفت. متوسط بارندگی و دمای سالانه محل بر اساس آمار سالهای ۱۳۳۹ تا ۱۳۸۰ به ترتیب ۱۴۰ میلی‌متر و ۱۴/۵ درجه سانتی‌گراد است. این خاک بر روی تراس‌های فوقانی رودخانه زاینده‌رود واقع شده و دارای افق اکریک و افق مشخصه تحت الارضی آرچلیک است. این خاک متعلق به فامیل فاین لومی میکسد^۱، ترمیک^۲ و تیپیک هاپل آرچید^۳ می‌باشد.

۲-۱- تیمارهای مزرعه‌ای

این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی شامل تیمارهای ۰، ۲۵ و ۱۰۰ تن در هکتار لجن فاضلاب با سه تکرار صورت گرفت. نخستین کوددهی در پاییز سال ۱۳۷۸ و در کرت‌هایی به ابعاد ۳×۱۵ متر صورت گرفت. در پاییز سال ۱۳۷۹ (سال دوم کوددهی) هریک از کرت‌ها به دو قسمت نامساوی ۳×۳ و ۳×۱۲ تقسیم شد و قسمت بزرگ‌تر با مقادیر مساوی با سال اول، کوددهی شد. در پاییز سال ۱۳۸۰ (سال سوم کوددهی) نیز کرت ۳×۱۲ به دو قسمت ۳×۳ و ۳×۹ تقسیم گردید و مجدداً قسمت

¹ Fine Loamy Mixed

² Thermic

³ Typic Haplargid

بزرگ‌تر، به میزان مساوی با سالهای قبل کوددهی گردید. مقادیر کودی بر اساس وزن خشک کودها محاسبه و تا عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک مزرعه مخلوط گردید. از سال ۱۳۷۸ (شروع آزمایش) به طور متناوب در کرت‌ها گندم (کشت پاییزه) و ذرت (کشت بهاره) کاشته شد.

۲-۲- نمونه برداری از خاک و گیاه ذرت

مجموعاً ۲۱ نمونه خاک از عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری کرت‌ها و شش ماه پس از آخرین کوددهی (پاییز ۸۰) برداشت گردید. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه، هوا خشک گردید و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد.

برای تعیین عملکرد و جذب نیتروژن در گیاه ذرت نیز با احتساب یک متر حاشیه از کناره‌های کرت‌ها، نمونه‌هایی از فاصله یک سانتی‌متری سطوح خاک برداشت شدند. نمونه‌های گیاهی به آزمایشگاه منتقل و در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس آسیاب گردیدند.

۲-۳- تجزیه‌های آزمایشگاهی خاک و گیاه

الف- تعیین پتانسیل معدنی شدن نیتروژن: این آزمایش به روش انکوباسیون-آبشویی متناوب صورت گرفت. در این روش ۳۰ گرم خاک هوا خشک و الک شده با شن ۲۰ مش اسیدشویی شده به نسبت ۱:۲ (شن:خاک) به طور کامل مخلوط گردید. سپس مخلوط حاصله به لوله‌های آبشویی انتقال یافت [۱۲]. پیش از شروع انکوباسیون، نیتروژن معدنی موجود در نمونه‌های خاک به وسیله ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول ۰/۰۱ مولار کلرور کلسیم که در مقادیر ۱۰ میلی‌لیتری به لوله آبشویی اضافه گردید، از سیستم خارج شد. در ادامه ۲۵ میلی‌لیتر محلول غذایی بدون نیتروژن (محلولی که شامل ۰/۰۰۲ مولار سولفات کلسیم، ۰/۰۰۲ مولار فسفات دی‌هیدروژن کلسیم و ۰/۰۰۲۵ مولار سولفات پتاسیم بود) برای جبران عناصر پر مصرف خارج شده در آبشویی به خاک اضافه گردید و محلول اضافی به وسیله مکش ۰/۸ بار خارج گردید. لوله‌های آبشویی در داخل انکوباتور در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد، به مدت بیست و دو هفته نگهداری شدند. هر روز به مدت ۵ دقیقه برای انجام تهویه، درپوش بالایی برداشته شد [۱۲]. آبشویی در ۰،۲، ۰،۴، ۰،۶، ۰،۸، ۱،۰، ۱،۳، ۱،۶، ۱۹ و ۲۲ هفته پس از شروع آزمایش انجام گرفت و نیتروژن معدنی عصاره‌گیری شده با استفاده از روش تقطیر با بخار آب اندازه‌گیری شد [۱۳].

مدل سینتیک مرتبه اول جهت تعیین پتانسیل معدنی شدن نیتروژن مورد استفاده قرار گرفت [۱۲و۷]

$$N_{min} = N_0 (1 - e^{-kt}) \quad (1)$$

که در این معادله، N_{min} نیتروژن معدنی شده در زمان t و N_0 و K به ترتیب پتانسیل معدنی شدن نیتروژن و ثابت سرعت معدنی شدن می‌باشند.

ب- شاخص بیولوژیکی قابلیت جذب نیتروژن^۱ (BINA): برای اندازه‌گیری شاخص BINA، مقدار آمونیوم تولیدی از انکوباسیون یک هفته‌ای خاک در شرایط بی‌هوازی و در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد [۱۳].

ج- کربن آلی نمونه‌های خاک: برای اندازه‌گیری کربن آلی از روش اکسیداسیون تر استفاده شد [۱۴]. نیتروژن کل نمونه‌های خاک، نمونه‌های گیاهی و لجن فاضلاب نیز پس از هضم، با استفاده از دستگاه کلدال اتوماتیک اندازه‌گیری شد [۱۵].

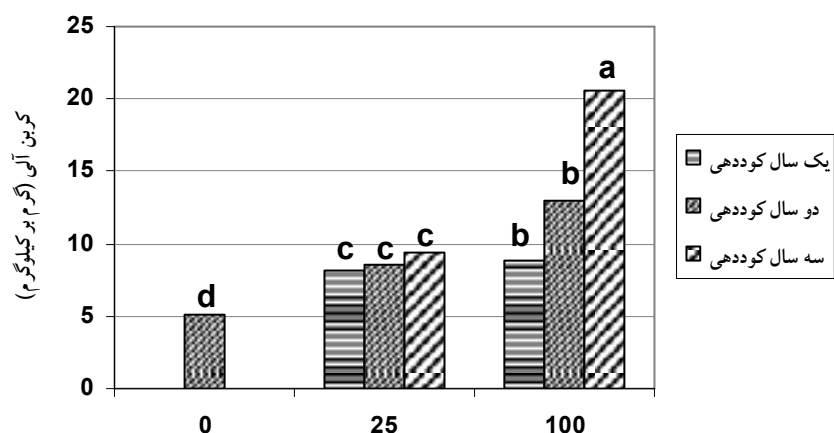
۳- نتایج و بحث

لجن فاضلاب مورد استفاده در این آزمایش حاوی حدود ۱۸۰ گرم بر کیلوگرم کربن و ۱۹ گرم بر کیلوگرم نیتروژن کل می‌باشد. با توجه به محتوای غنای این ماده از کربن و نیتروژن، انتظار افزایش ذخائر این دو عنصر در زمینهایی که به ویژه به دفعات با لجن فاضلاب تیمار شده‌اند وجود دارد. در مطالعه حاضر، الگوهای تأثیرپذیری کربن آلی و نیتروژن کل خاک شباهت زیادی دارند (شکل‌های ۱ و ۲). این مقادیر در تیمار شاهد کمترین مقدار را به خود اختصاص داده است. افزایش دفعات کوددهی در سطح ۲۵ تن در هکتار افزایش معنی‌داری در سطوح کربن آلی و نیتروژن کل خاک ایجاد نکرده است؛ اگرچه روند عمومی افزایشی، کمابیش مشاهده می‌شود. اما در سطح ۱۰۰ تن در هکتار با افزایش دفعات کوددهی، روند افزایش به گونه‌ای بود که در تیماری که سه سال متوالی، سالانه ۱۰۰ تن لجن فاضلاب دریافت کرده بود، نسبت به تیمارهایی که دو سال متوالی یا یک سال لجن فاضلاب دریافت کرده بودند، اختلاف معنی‌دار مشاهده گردید.

۳-۱- پتانسیل معدنی شدن نیتروژن

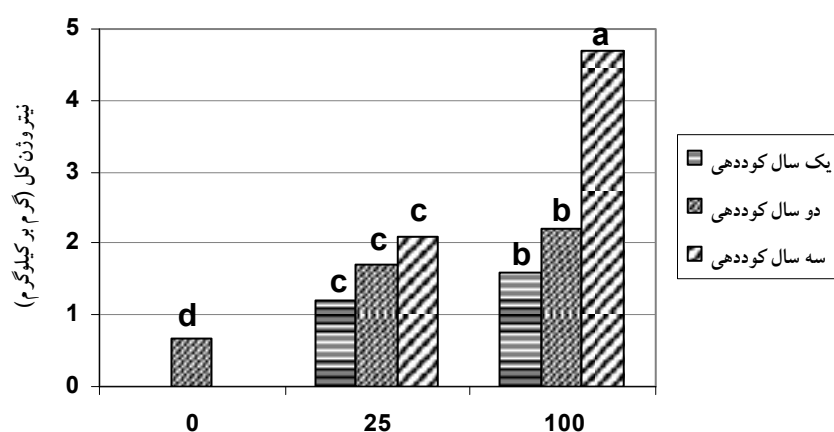
روند زمانی معدنی شدن نیتروژن برای هر یک از تیمارهای مورد مطالعه، در شکل ۳ نشان داده شده است. مدل نمایی (رابطه ۱) به طور موفقیت‌آمیز (در تمام موارد، $P < 0/001$) در نمودارها برازش گردید و با استفاده از روش آماری کمترین مجذور خطا، مقادیر N_0 و K برای هر یک از تیمارها تعیین گردید. مقدار N_0 به عنوان پتانسیل معدنی شدن نیتروژن در نظر گرفته شد، به عبارت دیگر N_0 برای هر یک از تیمارها حداکثر مقدار نیتروژنی است که ممکن است به طور طبیعی در اثر فرآیند معدنی شدن از شکل آلی به

¹ Biological Index of Nitrogen Availability (BINA)



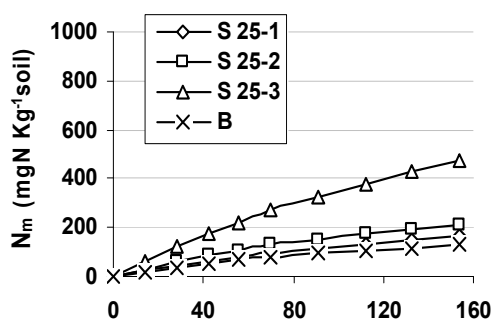
لجن فاضلاب (تن در هکتار)

شکل ۱- اثر سطوح مختلف و تعداد سال اضافه کردن لجن فاضلاب بر کربن آلی خاک

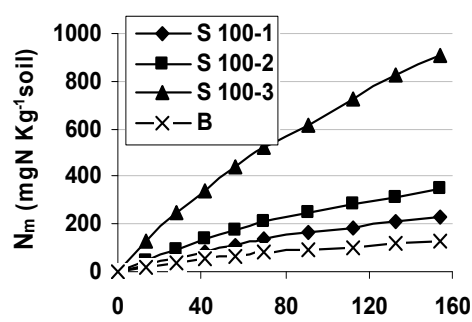


لجن فاضلاب (تن در هکتار)

شکل ۲- اثر سطوح مختلف و تعداد سال اضافه کردن لجن فاضلاب بر نیتروژن کل خاک



زمان (روز)



زمان (روز)

شکل ۳- اثر سطوح کوددهی و تعداد سال اضافه کردن لجن فاضلاب بر مقدار تجمع نیتروژن معدنی شده (N_{min})

B: شاهد

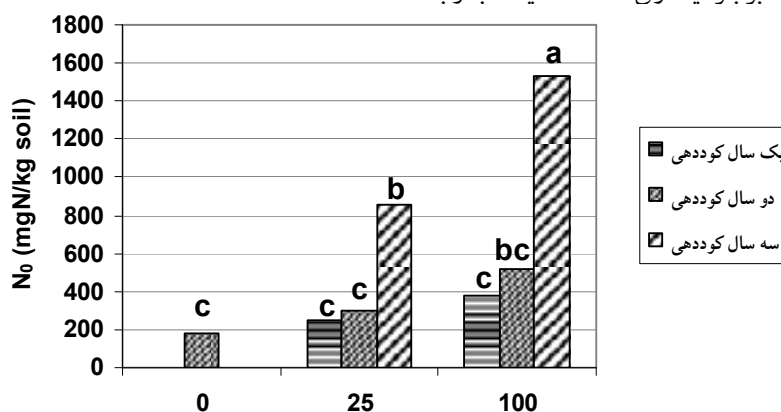
سطوح کوددهی (تن در هکتار) = ۱۰۰ و ۲۵

S: لجن فاضلاب

تعداد سال کوددهی: ۱، ۲ و ۳

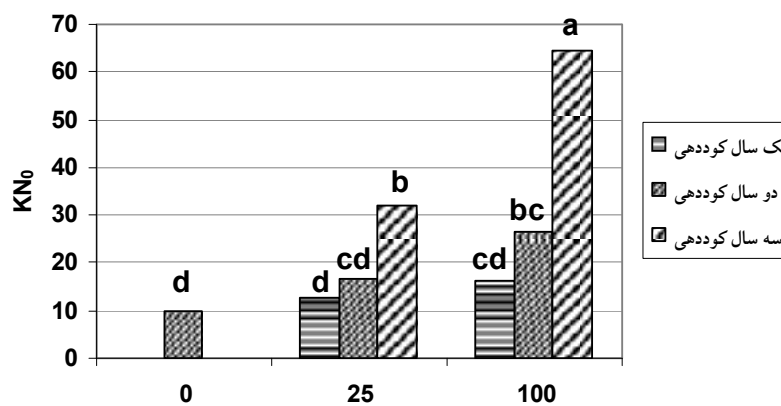
میزان ۱۰۰ تن در هکتار کوددهی شده و نزدیک به ۸/۵ برابر مقدار N_0 در تیمار شاهد است (شکل ۴). این روند به طور مشابه برای شاخص KN_0 مشاهده می شود (شکل ۵). کمترین مقدار KN_0 در تیمار شاهد (۱۰/۳) ملاحظه گردید و با افزایش دفعات کوددهی در هر دو سطح ۲۵ و ۱۰۰ تن در هکتار لجن فاضلاب، تعداد KN_0 افزایش یافت. این افزایش به گونه ای بود که در تیمارهایی که سه سال متوالی به میزان ۲۵ و ۱۰۰ تن در هکتار لجن فاضلاب دریافت کرده بودند تعداد KN_0 به ترتیب ۳/۱ و ۶/۳ برابر مقدار تیمار شاهد بود. این یافته ها همگی دلالت بر آن دارد که شاخصهای N_0 و KN_0 نسبت به افزودن لجن فاضلاب به خاک حساس بوده و به شدت افزایش می یابند. از سوی دیگر بین مقادیر N_0 و KN_0 تعیین شده در تیمارهای فوق و عملکرد گیاه ذرت (تن در هکتار) ارتباط خطی معنی داری مشاهده شد (جدول ۱). مقدار نیتروژن جذب شده به وسیله گیاه ذرت نیز با مقادیر N_0 و KN_0 همبستگی معنی داری نشان داد (جدول ۱). یافته های اخیر نشانگر آن است که N_0 و KN_0 توانسته اند نیاز گیاه ذرت به نیتروژن را تخمین بزنند.

شکل معدنی تبدیل شود [۱۲]. بسیاری از محققان حاصل ضرب N_0 در K را به عنوان شاخص تجزیه پذیری ترکیبات آلی نیتروژن دار معرفی نموده اند؛ زیرا این حاصل ضرب علاوه بر آن که اطلاعات مربوط به مقادیر نیتروژن قابل معدنی شدن را نشان می دهد، به دلیل داشتن پارامتر K ، اطلاعاتی نیز در مورد سرعت رهاسازی نیتروژن فراهم می نماید. به طوری که برخی محققان معتقدند، KN_0 نسبت به N_0 شاخص بهتری برای تعیین نیتروژن خاک است [۱۶ و ۱۷]. مقادیر N_0 و KN_0 تیمارهای مورد مطالعه، در شکل های ۴ و ۵ نشان داده شده است. کمترین مقدار N_0 (180 mgN kg^{-1}) در تیمار شاهد مشاهده می شود و با افزایش دفعات کوددهی در سطح ۲۵ تن در هکتار، تعداد N_0 افزایش یافته، تا آنجا که در تیماری که سه سال متوالی لجن فاضلاب دریافت کرده است، این مقدار به ۴/۷ برابر تیمار شاهد بالغ گردیده است. روند افزایشی مشابهی نیز در سطح کودی ۱۰۰ تن در هکتار مشاهده می شود، به گونه ای که با افزایش دفعات کوددهی، تعداد N_0 افزایش می یابد. مقدار N_0 در تیماری که سه سال متوالی، سالانه ۱۰۰ تن لجن فاضلاب دریافت کرده بود (1530 mgN kg^{-1})، تقریباً ۴ برابر تیماری است که یک بار به



لجن فاضلاب (تن در هکتار)

شکل ۴- اثر سطوح مختلف و تعداد سال اضافه کردن لجن فاضلاب بر پتانسیل معدنی شدن نیتروژن (N_0)



لجن فاضلاب (تن در هکتار)

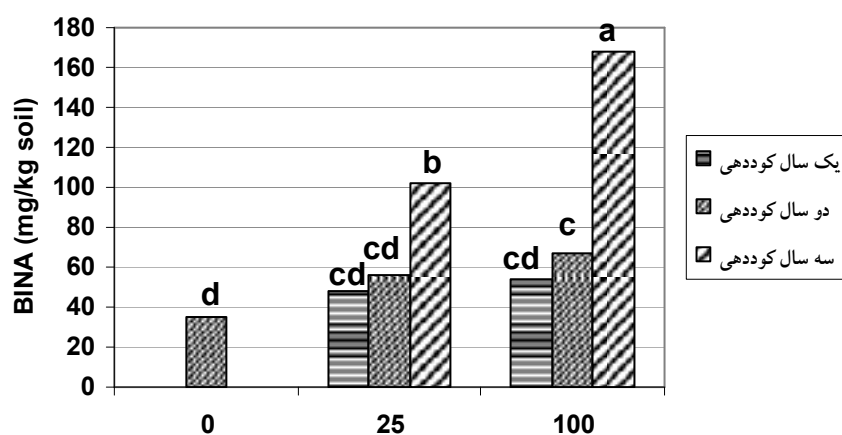
شکل ۵- اثر سطوح مختلف و تعداد سال اضافه کردن لجن فاضلاب بر حاصل ضرب پتانسیل معدنی شدن نیتروژن در ثابت سرعت معدنی شدن (KN_0)

جدول ۱- ماتریس همبستگی پارامترهای مربوط به رهاسازی نیتروژن، خاک و گیاه

پارامتر	۱	۲	۳	۴	۵
۱ پتانسیل معدنی شدن (N ₀)					
نیتروژن					
۲ N ₀ K	۰/۸۸۱***				
۳ BINA شاخص	۰/۹۳۸***	۰/۹۷۳***			
۴ عملکرد گیاه ذرت	۰/۶۳۷**	۰/۶۸۲***	۰/۷۰۱***		
۵ جذب نیتروژن توسط گیاه	۰/۷۶۹***	۰/۷۵۸***	۰/۷۸۸***	۰/۹۷۳***	

** - در سطح ۰/۰۱ معنی دار است.

*** - در سطح ۰/۰۰۱ معنی دار است.



لجن فاضلاب (تن در هکتار)

شکل ۶- اثر سطوح مختلف و تعداد سال اضافه کردن لجن فاضلاب بر شاخص بیولوژیکی قابلیت جذب نیتروژن (BINA)

کردن دوره انکوباسیون جهت سنجش دقیق نیتروژن قابل جذب می‌تواند مفید و با ارزش قلمداد گردد. در این ارتباط روش ارائه شده به وسیله باندی و میسینگر مورد ارزیابی قرار گرفت. این روش که طول مدت آن به یک هفته می‌انجامد امکان سنجش نسبتاً سریع‌تر وضعیت نیتروژن قابل جذب در خاک را فراهم می‌نماید [۸]. برای جبران کاهش طول مدت انکوباسیون، دمای انکوباسیون، ۴۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته می‌شود تا در محدوده دمای بهینه فرآیند معدنی شدن نیتروژن قرار گرفته و سرعت معدنی شدن افزایش یابد [۳]. از این روش پیش از این نیز جهت تخمین معدنی شدن نیتروژن استفاده شده است [۸]. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد الگوی تأثیرپذیری شاخص BINA بر اساس افزودن لجن فاضلاب به خاک، مشابه با شاخص‌های N₀ و KN₀ می‌باشد (شکل ۶). کمترین مقدار BINA (۳۵ mgN kg⁻¹) در تیمار شاهد مشاهده می‌شود و با افزایش دفعات کوددهی در سطوح ۲۵ و ۱۰۰ تن در هکتار، مقادیر این شاخص افزایش می‌یابد. مقدار شاخص BINA در

از این رو مقادیر N₀ و KN₀ را می‌توان به عنوان شاخصهای مناسب برای آزمون خاک به منظور تعیین نیاز به نیتروژن قلمداد کرد. هانی و همکاران^۱ نیز بین جذب نیتروژن به وسیله گیاه گندم و معدنی شدن نیتروژن همبستگی معنی‌داری یافتند [۹]. به‌طور کلی شاخصهای دقیق آزمون نیتروژن خاک بر خلاف شاخص آزمون عناصری چون فسفر، پتاسیم و ریز مغذی‌ها، بر اساس انکوباسیون‌های بلند مدت طراحی شده‌اند زیرا ماهیت نیتروژن خاک به گونه‌ای است که تبدیل شکل‌های آلی نیتروژن به شکل‌های معدنی قابل جذب نیازمند زمان است [۳]. بنابراین به منظور تعیین نیتروژن قابل جذب، روشهای متکی به عصاره‌گیری در مقایسه با روشهایی که یک دوره انکوباسیون در آنها طراحی شده موفقیت کمتری دارند [۱۸].

نیاز به یک دوره انکوباسیون باعث شده است که آزمون نیتروژن خاک یک فرآیند وقت‌گیر و پرهزینه باشد، لذا امکان کوتاه

¹ Haney et al.

$$N_0 = 10/363 \text{ BINA} - 210/316 \quad (4)$$

$$r = 0/938 \quad (P < 0/001)$$

$$KN_0 = 0/412 \text{ BINA} - 5/643 \quad (5)$$

$$r = 0/973 \quad (P < 0/001)$$

به طور کلی چنین به نظر می‌رسد که افزودن لجن فاضلاب به خاک مورد آزمایش باعث افزایش معنی‌دار کربن آلی و نیتروژن کل آن شده و پتانسیل معدنی شدن نیتروژن را نیز در این خاک افزایش داده است. چنین افزایشی متناسب با سطح و دفعات کوددهی صورت گرفته و عملکرد و جذب نیتروژن به وسیله گیاه ذرت را نیز تحت تأثیر قرار داده است. الگوی تأثیر پذیری گیاه ذرت از مقادیر پتانسیل معدنی شدن نیتروژن، الگویی خطی است و چنین الگویی برای شاخص BINA نیز یافت می‌شود. بنابراین، با توجه به وجود چنین تشابه رفتاری ای که بین دو شاخص فوق‌الذکر و همبستگی قوی‌ای که هر دو آنها با پاسخ گیاه دارند، می‌توان از شاخص سریع و آسان‌تر BINA به جای پتانسیل معدنی شدن نیتروژن استفاده نمود.

۴- سپاسگزاری

هزینه انجام این تحقیق از محل اعتبارات پژوهشی دانشگاه صنعتی اصفهان تامین شده که به این وسیله قدردانی می‌گردد. از جناب آقای مهندس صدر ارحامی نیز به دلیل همکاری ایشان در آزمایشگاه سپاسگزاری می‌شود.

تیماری که سه سال متوالی، سالانه ۲۵ و ۱۰۰ تن در هکتار لجن فاضلاب دریافت کرده است، به ترتیب حدود ۲/۵ و ۴/۶ برابر تیمار شاهد است. از سوی دیگر بین مقادیر این شاخص و عملکرد گیاه ذرت ارتباط معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۱). به طور مشابه، روابط معنی‌داری نیز بین مقادیر این شاخص و جذب نیتروژن به وسیله گیاه ذرت مشاهده شد (جدول ۱). وجود چنین روابط معنی‌داری بین مقادیر شاخص BINA با عملکرد گیاه ذرت و جذب نیتروژن به وسیله این گیاه حاکی از آن است که این شاخص توانسته است تخمین مناسبی از قابلیت جذب نیتروژن برای گیاه ذرت فراهم نماید (روابط ۲ و ۳).

$$KN_0 = 0/361 \text{ BINA} - 4/679 \quad (2)$$

$$r = 0/701 \quad (P < 0/001)$$

$$KN_0 = 3/183 \text{ BINA} - 59/783 \quad (3)$$

$$r = 0/788 \quad (P < 0/001)$$

لذا این شاخص نیز مانند N_0 و KN_0 می‌تواند در آزمون نیتروژن خاکهای تیمار شده با لجن فاضلاب کمک نماید. به علاوه، بر خلاف مقادیر N_0 و KN_0 ، سنجش این شاخص تنها در مدت یک هفته امکان‌پذیر است، حال آن که تعیین N_0 و KN_0 در یک انکوباسیون ۲۰ هفته‌ای تعیین گردیدند.

همبستگی معنی‌داری نیز بین مقادیر BINA و N_0 و همین‌طور KN_0 مشاهده گردید (جدول ۱). وجود این همبستگی امکان تخمین مقادیر N_0 و KN_0 را که از یک فرآیند طولانی ۲۰ هفته‌ای حاصل می‌شوند از روی شاخص BINA فراهم می‌سازد (روابط ۴ و ۵)

۵- مراجع

- 1- Paul, E. A., and Clark, F. E. (1989). "Soil microbiology and biochemistry." *Academic Press*, New York, USA, 400.
- 2- Wood, M. (1995). "Environmental soil biology." *Chapman and Hall*, London, UK, 500.
- 3- Tate, R. L. (2000). "Soil microbiology." *John Wiley and Sons*, New York, USA, 450.
- 4- Rogers, B. F., Krogmann, U., and Boyles, L. S. (2001). "Nitrogen mineralization rates of soils amended with nontraditional organic waste." *J. Soil Sci.*, 166, 353-363.
- 5- Benbi, D. K., Biswas, C. R., and Kalkat, J. S. (1991). "Nitrate distribution and accumulation in a ustochrept soil profile in a long-term fertilizer experiment." *J. Fert. Res.*, 28, 173-177.
- 6- Stanford, G., and Smith, S. J. (1972). "Nitrogen mineralization potential of soils." *J. Soil Sci. Soc. Am. J. Proc.*, 36, 465-472.
- 7- Benbi, D. K., and Richter, J. (2002). "A critical review of some approaches to modeling nitrogen mineralization." *J. Biol. Fertil. Soils.*, 35, 168-183.

- 8- Bundy, L. G., and Meisinger, J. J. (1994). "Nitrogen availability indices." 951-984. Methods of soil analysis. In: Weaver et al., (eds.), part 2, *In: Soil Sci. Soc. Am.*, Madison WI. 1121.
- 9- Haney, R. L., Hons, F. M., Sanderson, M. A., and Franzluebbers, A. J. (2001). "A rapid procedure for estimating nitrogen mineralization in manured soil." *J. Biol. Fertil. Soils*, 33, 100-104.
- 10- Qafoku, O. S., Cabrera, M. L., Windham, W. R., and Hill, N. S. (2001). "Rapid methods to determine potentially mineralizable nitrogen in broiler litter." *J. Environ. Qual.*, 30, 217-221.
- ۱۱- سالک گیلانی، س.، نوربخش، ف.، افیونی، م.، رضایی نژاد، ی. (۱۳۸۳). تاثیر افزودن لجن فاضلاب بر شدت نیتریفیکاسیون و جذب نیتروژن به وسیله گیاه ذرت. *م. آب و فاضلاب شماره، ۵۲، ۳۰-۲۰.*
- 12- Campbell, C. A., Ellert, B. H., and James, Y. W. (1993). "Nitrogen mineralization potential in soils." 340-349. In : Carter. M.R. (ed.), "Soil sampling and methods of analysis." *Can. Soc. Soil Sci.*, Ottawa, Canada.
- 13- Keeney, D. R., and Nelson, D. W. (1982). "Nitrogen-inorganic forms." 643-698., dans : Page, A.L. (ed). "Methods of soil analysis, part2. chemical and microbiological properties." *SSSA. Madison (WI) USA.*
- 14- Nelson, D. W., and Sommers, L. P. (1986). "Total carbon, organic carbon and organic matter." 359-579. Page, A. L. (eds.), "Methods of soil analysis. part 2." *In: Am. Soc. of Agron.*, Madison, WI.
- 15- Bremner, J. M., and Mulvany, C. S. (1982). "Nitrogen-Total." *Methods of soil analysis. part 2*, A. C. Page, eds., Am. Soc. of Agron., Madison, WI., 595-624.
- 16- Campbell, C. A., Lafond, G. P., Leyshon, A. J., Zenter, R. P., and Janzen, H. H. (1991). "Effect of cropping practices on the initial potential rate of N mineralization in a thin chernozem." *J.Can. Soil Sci.*, 71 , 43-53.
- 17- Serna, M. D., and Pomares, F. (1992). "Nitrogen mineralization of sludge amended soil." *J. Bioresour. Technol.*, 39, 285-290.
- 18- Westerman, R. L. (1990). "Soil testing and plant analysis." *Soil Science Society of America.* Madison, WI., USA.784.