نشریه دانش آب و خاک / جلد ۲۷ شماره ۱ صفحه‌های ۱۹۹ تا ۲۱۲ / سال ۱۳۹۶

پیامد فشردگی دو نوع خاک مختلف بر غلظت آمونیوم و نیترات قابل‌استخراج و جذب نیتروژن توسط گندم

سحر اخوان[۱]، محمود شعبانپور[۲*]

تاریخ دریافت: ۹٤/۱۰/۲٦ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۹/۲۰

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد خاکشناسی، گروه علوم خاک، دانشگاه گیلان، رشت

۲- دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه گیلان، رشت

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: shabanpour@guilan.ac.ir

چکیده

برای بررسی پیامد فشردگی خاک بر فرایند معدنی‌شدن نیتروژن در خاک و جذب آن توسط گیاه گندم یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان انجام گرفت. پیامد فشردگی خاک در سه سطح (فشردگی طبیعی، ۱۰ و ۲۰ درصد فشردگی)، بافت خاک در دو سطح (بافت شنی و رسی) و پنج زمان نمونه برداری (۱، ۷، ۱٤، ۳۰ و ٦۰ روز پس از کاشت گندم) بر معدنی‌شدن نیتروژن آلی بررسی شد که مجموعاً شامل ۱۸ گلدان شد. غلظت آمونیوم و نیترات خاک در پنج بازه زمانی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که اثر فشردگی خاک، مراحل زمانی و اثر متقابل این دو بر غلظت آمونیوم و نیترات در سطح احتمال یک درصد معنادار بود و غلظت آمونیوم و نیترات در تیمار فشردگی طبیعی به‌ترتیب با میانگین ۳۰ و ۷۹ میلی گرم بر کیلوگرم از تیمارهای فشرده بیشتر بود. بررسی روند تغییرات غلظت آمونیوم و نیترات در مراحل زمانی مختلف نشان داد که با گذشت زمان، نیتروژن آمونیومی در خاک افزایش و نیتروژن نیتراتی کاهش یافت و کاهش معنادار غلظت آمونیوم در نمونه‌های فشرده‌تر مربوط به بازه دوم و سوم اندازه‌گیری (به‌ترتیب با میانگین ۲۰/۷۵ و ۱۳/٦۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار فشردگی ۲۰ درصد) بود. همچنین غلظت نیترات تحت تأثیر نوع خاک و اثر متقابل نوع خاک با مراحل زمانی برای آمونیوم در سطح احتمال پنج درصد معنادار بود. غلظت آمونیوم و نیترات خاک رسی بیشتر از خاک شنی بود. به‌طور کلی، با افزایش فشردگی خاک، نیتروژن کل خاک کاهش یافت. در نمونه‌های فشرده نیتروژن آلی کمتری به شکل آمونیومی در آمد و تشکیل نیترات به دنبال آمونیومی شدن، کاهش پیدا کرد. همچنین در تیمارهای فشرده نسبت به تیمار فشردگی طبیعی نیتروژن کمتری مورد استفاده گیاه قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: آمونیوم، فشردگی خاک، گندم، معدنی‌شدن نیتروژن، ، مواد آلی، نیترات

The Effect of Soil Compaction on Ammonium and Nitrate Concentrations and Wheat Nitrogen Uptake in two Different Soils

S Akhavan[1], M Shabanpour[2*]

Received: 16 January 2016 Accepted: 10 December 2016
[1-] Former Graduate Student, Soil Science Department, University of Guilan, Rasht, Iran
[2-]Assoc. Prof., Soil Science Department, University of Guilan, Rasht, Iran
[*]Corresponding Author, Email: shabanpour@guilan.ac.ir

Abstract

In order to investigate the effect of soil compaction on soil nitrogen mineralization process and its uptake by wheat a factorial experiment in a completely randomized design with three replications was designed. Experiment was conducted with three levels of compaction (normal, 10% and 20% compression), two soil textures (sandy and clay) and five sampling times (1, 7, 14, 30 and 60 days after planting). Ammonium and nitrate concentrations in soil were measured at five time intervals. Results indicated that the effect of soil compaction, time interval and the interaction of soil compaction and time intervals on concentrations of ammonium and nitrate were significant ($p<0.01$). Ammonium and nitrate concentrations in normal compression treatments were higher than those of other treatments (30 and 79 milligrams per kilogram). The temporal trend of concentration changes was increasing for ammonium nitrogen and decreasing for nitrate nitrogen. Results showed significant decrease in ammonium concentration in compressed samples related to the second and third time periods (with an average concentration of 20.75 and 13.68 mg per kg respectively in treatment with 20% compression). Also soil type had significant effect on nitrate concentration ($p<0.05$) and interaction of soil type and time intervals had significant effect on ammonium concentration ($p<0.05$). Ammonium and nitrate concentrations in clay soil were higher than those in the sandy soil. In general, by increasing soil compaction, soil total nitrogen was decreased. Conversion of organic nitrogen to ammonium in compressed samples was lower and the formation of nitrate was decreased, also in the compressed treatments less nitrogen was used.

Keywords: Ammonium, Nitrate, Nitrogen mineralization, Organic matter, Soil compaction, Wheat

مقدمه

امروزه فشردگی خاک به‌عنوان مشکلی جهانی و فرآیندی پیچیده و چند بعدی شامل تأثیر متقابل خاک- ماشین- گیاه- اقلیم شناخته شده که دارای آثار اقتصادی و زیست محیطی قابل توجهی است و به‌عنوان یک معضل پیچیده در برابر کشاورزی پایدار می‌باشد. خاک‌ورزی بیش از اندازه باعث شکسته شدن خاکدانه های خاک و ایجاد ساختمان فقیر، تخریب مواد آلی و افزایش فشردگی خاک می‌شود. در نتیجه باید به فشردگی خاک نسبت به گذشته دقت بیشتری شود (آلمند و همکاران، ۲۰۱۲). فرآیند معدنی‌شدن نیتروژن یکی از مهم‌ترین فرآیندهای چرخه نیتروژن است که نخستین محصول آن، آمونیوم می‌باشد که بخش قابل توجهی از آن در شرایط هوازی به‌شکل نیترات در می‌آید. مجموع دو شکل آمونیوم و نیترات برای گیاهان قابل جذب می‌باشد. تبدیل آمونیوم به نیترات، نیاز مبرمی به اکسیژن دارد وقتی مقدار اکسیژن کاهش یابد، اکسید شدن آمونیاک محدودشده و به صفر می‌رسد. اثر تهویه خاک در معدنی شدن نیتروژن و نیترات سازی بسیار زیاد است و شرایط بی هوازی خاک ممکن است باعث تلفات مقدار زیادی نیتروژن به‌صورت نیترات‌زدایی شود (هتوری و همکاران ۲۰۱۳). شهر آیینی (۱۳۸۵) اثر فشردگی بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و عملکرد گندم در خاک شور و غیرشور را مورد بررسی قرار داد و مشاهده نمود که فشردگی، اثر معناداری بر غلظت عناصر غذایی خاک و گیاه در خاک شور و غیر شور دارد. دی نو و هافمن

(۲۰۰۰) اثر فشردگی خاک را روی معدنی‌شدن نیتروژن و کربن آلی و باقی‌مانده محصول بررسی کردند و مشاهده کردند که بعد از دو هفته دوره آزمایشی غلظت نیترات در نمونه‌هایی با چگالی ظاهری بیشتر به‌طور قابل توجهی پایین‌تر از نمونه‌هایی بود که فشردگی کمتری روی آن‌ها اعمال شده بود و نتیجه گرفتند فرآیند نیترات‌سازی تحت تأثیر فشردگی است. متولی و همکاران (۲۰۰۳) با بررسی اثر فشردگی خاک بر دسترس بودن نیتروژن در گیاه ذرت با شخم عمیق و استفاده از کود دامی در خاک شنی پی بردند که از عوامل مؤثر بر کاهش جذب نیتروژن در خاک‌های فشرده می‌توان به کاهش آب قابل استفاده خاک به علت کاهش نفوذپذیری آب، کاهش رشد ریشه، کاهش خلل و فرج درشت و افزایش نیترات‌زدایی اشاره نمود. بلومفیلد و چن (۲۰۰۵) اثر فشردگی خاک و کشت را بر معدنی‌شدن نیتروژن طی دوره ۱۸ ماهه مورد بررسی قرار دادند و مشاهده کردند که مقدار نیتروژن نیتراتی معدنی شده در دو نوع تیمار بدون کشت و خاک زیر کشت بین ۱۰ تا ٤٠ میلی گرم بر کیلوگرم متغیر بود، در حالی که میزان نیتروژن آمونیومی در تیمارهای فوق کمتر از ۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم گزارش شد. همچنین آنان با اصلاح فشردگی خاک از طریق شخم و دیسک افزایش معناداری در معدنی‌شدن نیتروژن و نیترات سازی مشاهده نمودند. تان و همکاران (۲۰۰۵) با بررسی اثر فشردگی بر ویژگی‌های میکروبی و انتقال نیتروژن خاک دریافتند که فشردگی خاک با افزایش چگالی ظاهری و کاهش تخلخل تهویه ای خاک می تواند مقدار رطوبت و دمای خاک را کاهش دهد. همچنین تن و چنگ (۲۰۰۷) اثر فشردگی خاک و لاشبرگ جنگل اصلاح شده را بر معدنی‌شدن خالص نیتروژن بررسی کردند و دریافتند که فشردگی بر ویژگی‌های میکروبی خاک اثر می‌گذارد. نتایج آنان نشان داد که عملیات مدیریتی با تغییر تخلخل خاک و توزیع مواد آلی در پروفیل خاک می‌تواند به‌طور چشم‌گیری حرکت نیتروژن خاک را تغییر دهد که نتیجه آن تغییر غلظت یا فراهمی نیتروژن خاک است. بیلیچ و همکاران (۲۰۱۰) اثر فشردگی را بر ویژگی‌های زیستی خاک مورد بررسی قرار دادند و مشاهده کردند که در چگالی ظاهری بالاتر از ۱/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب، فشردگی خاک اثرات منفی بر فعالیت میکروبی، تشکیل منافذ درشت، میزان تنفس و معدنی‌شدن نیتروژن دارد. پنگتامکراتی و همکاران (۲۰۱۱) اظهار کردند که فشردگی خاک با تغییر ویژگی‌های فیزیکی می‌تواند ویژگی‌های زیستی خاک را نیز تغییر دهد که علت آن نقش ریزجانداران و فعالیتشان در منافذ خاک می‌باشد. تحقیق حاضر به‌منظور بررسی و مطالعه اثر فشردگی خاک بر فرآیند معدنی‌شدن نیتروژن در شرایط گلخانه‌ای و تاثیر فشردگی خاک بر تولید و تشکیل آمونیوم و نیترات خاک انجام شده است.

مواد و روش‌ها

برای بررسی اثر فشردگی بر فرآیند معدنی‌شدن نیتروژن و جذب آن توسط گیاه، آزمایشی به‌صورت گلخانه‌ای در تابستان سال ۱۳۸۹ در دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان انجام گرفت. به‌دلیل نقش مهم ماده آلی در معدنی‌شدن نیتروژن، یکسان‌بودن مقدار ماده آلی در خاک‌های انتخابی مورد بررسی قرار گرفت. به‌این ترتیب که از مناطق مختلف استان گیلان خاک های رسی و شنی انتخاب و میزان ماده آلی آنها اندازه‌گیری شد.

به‌دلیل نقش مهم ماده آلی در تراکم خاک، خاک‌های انتخاب دارای ماده آلی یکسانی بودند. زیرا ماده آلی مبین ذخیره نیتروژن خاک است و معدنی‌شدن آن ذخیره دایمی ولی محدودی از نیتروژن، فسفر و گوگرد در اختیار گیاه قرار می‌دهد. اندکی پس از وارد شدن ماده آلی در خاک، میکروب‌ها برای تامین مواد غذایی و انرژی خود شروع به تجزیه آنها کرده و تغییراتی را بر روی آنها ایجاد می کنند که در مجموع این تغییر و تحول را می‌توان در دو مرحله هوموسی شدن و معدنی‌شدن خلاصه نمود (ابراهیمی و همکاران ۱۳۸٤). بنابراین نمونه‌های خاک برای انجام آزمایش-های فیزیکی و شیمیایی از دو منطقه آبکنار (از توابع

شهرستان انزلی) با بافت شنی و خاک اطراف دانشکده کشاورزی با بافت رسی تهیه شدند. برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از کاشت (جدول ۱)، مقداری از نمونه خاک‌های مورد مطالعه به آزمایشگاه انتقال یافت، سپس ویژگی‌های فیزیکی اولیه شامل بافت خاک به روش هیدرومتر با قرائت کامل، چگالی ظاهری خاک با روش سیلندر، درصد رطوبت اشباع به روش وزنی و رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای با دستگاه صفحه فشاری اندازه گیری شد (کلوت، ۱۹۸٦). ویژگی‌های شیمیایی اولیه نمونه‌های خاک شامل pH با استفاده از pH متر، ماده آلی با روش والکلی- بلاک و نیتروژن کل به‌روش کجلدال اندازه‌گیری شدند (پیج و همکاران، ۱۹۸۲).

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه های خاک قبل از کاشت.

بافت	رس	سیلت	شن	Bd	SP	FC	OM	TN	pH
	(%)			(g cm-3)	(%)				
رسی	۵۰	۲۹/٤	۲۰/٦	۱/۳	٤۷/٤۱	۲۹/۱۸	۲	۰/۱٤۹	۷/۰٦
شنی	۵	۵	۹۰	۱/٦۵	۲۱/٦٤	۷/٤۳	۱/۹۸	۰/۰۹۲	٦/۹۲

Bd؛ چگالی ظاهری خاک، SP: درصد وزنی رطوبت اشباع، FC؛ درصد وزنی رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای خاک، OM؛ ماده آلی، TN؛ نیتروژن کل

این تحقیق به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد که اثر عامل فشردگی خاک در سه سطح (فشردگی طبیعی، ۱۰ و ۲۰ درصد)، عامل بافت خاک در دو سطح (رسی و شنی) در پنج زمان نمونه‌برداری (۱، ۷، ۱٤، ۳۰ و ٦۰ روز پس از کاشت) اثر تیمارها بر معدنی‌شدن نیتروژن مورد بررسی قرار گرفت که مجموعاً شامل ۱۸ گلدان بود. گلدان‌ها از جنس PVC به شکل استوانه‌ای با ارتفاع ۳۵ سانتی‌متر، قطر ۱٦ سانتی‌متر و حجم ۷۰۳۳ سانتی‌متر مکعب انتخاب شدند. برای اعمال سطوح فشردگی در گلدان‌ها ابتدا Bd دست نخورده به‌روش سیلندر اندازه‌گیری شد و این چگالی به‌عنوان شاهد برای خاک غیر فشرده در نظر گرفته شد. طبق جدول ۲ با مشخص بودن حجم گلدان و چگالی ظاهری، وزن خاک لازم که باید در هر گلدان ریخته شود محاسبه‌گردید. برای تعیین مقدار خاک لازم برای سطوح فشردگی۱۰ درصد و ۲۰ درصد، به‌ترتیب ۱۰ درصد و ۲۰ درصد به وزن خاک شاهد اضافه شد.

جدول ۲- وزن خاک مورد نیاز جهت ایجاد فشردگی.

نوع خاک	فشردگی (%)	Bd ($g\ cm^{-3}$)	وزن خاک لازم هر گلدان(kg)
رسی	۰	۱/۳	٦/۵۳۱۲
	۱۰	۱/٤۳	۷/۱۸٤۳
	۲۰	۱/۵٦	۷/۸۳۷٤
شنی	۰	۱/٦۵	۸/۲۸۹٦
	۱۰	۱/۸۱	۹/۱۱۸۵
	۲۰	۱/۹۸	۹/۹٤۷۵

بعد از تعیین وزن خاک مورد نیاز برای هر گلدان فشرده کردن خاک گلدان‌ها با استفاده از وزنه دو کیلوگرمی انجام شد. خاک در چند مرحله به گلدان افزوده و فشرده گردید تا فشردگی به‌طور یکنواخت در عمق گلدان اعمال شود و در نهایت ارتفاع خاک هر گلدان به ارتفاع گلدان شاهد در رطوبت بهینه رسید. برای تعیین رطوبت بهینه (رطوبتی که در آن بیشینه فشردگی حاصل می‌شود)، از روش پراکتور[1] استفاده شد. در این آزمایش از روش اصلاح شده تراکم خاک با استفاده از چکش پراکتور مدل ASTMD 698-78 Standard استفاده شد. خاک در ۵ لایه در قالب ریخته و هر بار با استفاده از چکش ۲/۵ کیلوگرمی که از ارتفاع ۳۰۰ میلی متری بر روی خاک ضربه می زد، با ۲۵ ضربه متراکم گردید. این آزمایش را ۵ بار تکرار شد و با استفاده از روابط، چگالی خشک خاک محاسبه گردید. رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای خاک با استفاده از صفحات فشاری (کلوت، ۱۹۸٦) تعیین شد و سپس به تمام گلدان‌ها یک درصد وزن خاک، ماده آلی پوسیده گاوی برای تامین نیتروژن آلی اضافه شد، سپس در هر گلدان ٦ عدد بذر گندم رقم شهریار (Triticum aestivum cv. Shahryar) در عمق دو سانتیمتری خاک کاشته شد و پس از جوانه‌زدن تعداد ٤ عدد به مدت دو ماه در محیط گلخانه با دمای متوسط ۲۵ درجه سلسیوس پرورش داده شدند. مقدار آب مورد نیاز جهت آبیاری تا رسیدن خاک به رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای برای هر گلدان به‌روش وزنی محاسبه و به گلدان‌ها افزوده شد. وضعیت رطوبت تیمارها هر هفته بررسی و در صورت نیاز آبیاری شدند. شایان ذکر است که آبیاری برای خاک رسی به مقدار زیاد و فواصل زیاد و برای خاک سنگین به مقدار کم و فواصل کم انجام می‌گرفت به گونه‌ای که آبشویی نداشته باشند. اندازه‌گیری نیتروژن کل خاک و گیاه به روش کجلدال (پیج و همکاران ۱۹۸۲) انجام شد. نیتروژن آمونیومی در خاک به روش رنگ‌سنجی با استفاده از معرف نسلر (باراه و بارتاکور ۱۹۹۷) و نیتروژن نیتراتی در خاک با استفاده از معرف بروسین (بولتز ۱۹۷۸) اندازه‌گیری شد. شدت رنگ برای آمونیوم و نیترات خاک در طول موج ٤۱۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر مورد سنجش قرار گرفت و با مقایسه آن با نتایج به‌دست آمده از منحنی استاندارد، غلظت نیتروژن آمونیومی و نیتراتی در خاک تعیین شد. در نمونه‌های گیاه گندم وزن تر کل اندام های هوایی با دقت ۰/۰۰۱ گرم با ترازوی دقیق و سطح برگ با استفاده از دستگاه اندازه گیری سطح برگ رومیزی اندازه گیری‌شد. در پایان نمونه‌ها برای تعیین وزن خشک در آون (دمای ۷۲ درجه سیلسیوس به مدت ٤۸ ساعت) خشکانده شدند و سپس وزن خشک کل اندام هوایی، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه و وزن خشک ریشه اندازه‌گیری شدند. همچنین نسبت وزن خشک ریشه به اندام‌های هوایی در تیمارهای مختلف محاسبه شد. مقایسه میانگین‌های‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. از نرم‌افزار SAS به منظور تجزیه داده‌ها و از نرم‌افزار Excel برای ترسیم نمودارها استفاده شد.

نتایج و بحث

در نیتروژن کل خاک اثر فشردگی و اثر متقابل فشردگی و مراحل زمانی در سطح احتمال یک درصد و اثر مراحل زمانی، اثر متقابل نوع خاک و مراحل زمانی و اثر متقابل نوع خاک، فشردگی و مراحل زمانی در سطح احتمال پنج درصد معنادار به‌دست آمد. مقایسه میانگین اثر متقابل به‌صورت مقایسه میانگین‌های سطوح فشردگی در دو بازه زمانی نشان داد که بین سطوح مختلف فشردگی در هفته دوم رشد اختلاف معناداری در مقدار نیتروژن کل خاک وجود دارد، به‌گونه‌ای که نمونه‌های با فشردگی طبیعی و میانگین ۰/۱۳۱ درصد بیشترین مقدار نیتروژن را نسبت به نمونه‌های تحت فشردگی بیشتر، به‌خود اختصاص دادند (جدول۳). اگر

[1] Practor

چه در پایان دوره رشد افزایش معناداری در غلظت نیتروژن کل تیمار با فشردگی طبیعی مشاهده نشد. اما تغییر غلظت ها نشان می‌دهد. همچنان میزان غلظت نیتروژن کل در تیمار شاهد بیشتر از نمونه‌های فشرده است و علت این عدم معناداری مصرف کم نیتروژن در نمونه های فشرده است. می‌توان این‌گونه بیان نمود که فشردگی می‌تواند رطوبت و دمای خاک را تغییر دهد که این امر باعث کنترل فعالیت میکروبی خاک شده و عناصر غذایی خاک را کاهش دهد. کاراکا و همکاران (۱۹۹۷) با بررسی تأثیر تراکم بر روی فعالیت آنزیم اوره آز و معدنی‌شدن نیتروژن به این نتیجه رسیدند که تراکم، خاک را به هم فشرده می کند و منافذ بزرگ را کاهش می‌دهد که این کاهش می‌تواند منطقه بومی موجودات زنده‌ای که در چرخه عناصر غذایی خاک نقش دارند، محدود کند و بنابراین می‌تواند باعث کاهش فعالیت میکروبی شود. نتایج فوق با متولی و همکاران (۲۰۰۳) مطابقت داشت. آنان پی بردند که از عوامل مؤثر بر کاهش جذب نیتروژن در خاک‌های فشرده می‌توان به کاهش آب قابل استفاده خاک به علت کاهش نفوذپذیری آب، کاهش رشد ریشه، کاهش خلل و فرج درشت و همچنین کاهش نیتروژن خاک به‌علت فرایند نیترات‌زدایی اشاره نمود و علت کاهش نیتروژن در فشردگی بالا را عدم وجود منافذ درشت برای جریان ترجیحی و فقدان شرایط مناسب برای نیترات‌سازی دانستند.

جدول۳- مقایسه میانگین‌های نیتروژن کل خاک (٪) برای سطوح فشردگی خاک در دو بازه زمانی.

هفته دوم رشد		انتهای دوره رشد	
فشردگی طبیعی	۰/۱۳۱[a]	فشردگی طبیعی	۰/۰۹۳[a]
فشردگی ۱۰٪	۰/۰۸۹[b]	فشردگی ۱۰٪	۰/۰۸٦[a]
فشردگی ۲۰٪	۰/۰۷۷[b]	فشردگی ۲۰٪	۰/۰۸٤[a]

همچنین مقایسه میانگین‌های سطوح فشردگی خاک در دو بازه زمانی برای نسبت C:N نشان داد که میزان آن با افزایش سطح فشردگی افزایش یافت (جدول ٤). قابلیت استفاده نسبی نیتروژن و کربن آلی که به خاک داده شده با نسبت کربن به نیتروژن نمایش داده می‌شود. کاربرد این نسبت دارای مزیت است که وضعیت هر دو عنصر را توأماً بررسی می‌کند. ضمناً می‌توان به‌جای این قسمت مقدار نسبی درصد نیتروژن را نیز به کار برد (جنسن و همکاران، ۲۰۰۰). نسبت کربن به نیتروژن فاکتور مهمی در ارزیابی حاصلخیزی خاک است به‌طوری که بالا بودن C:N نشاندهنده مصرف نیتروژن خاک و کاهش حاصلخیزی خاک می باشد و اگر این نسبت پایین باشد نشاندهنده از دست رفتن نیتروژن به‌صورت آمونیاک است. تحقیقات نشان داده که با افزایش C:N روند معدنی‌شدن ازت آلی کاهش می یابد و اگر C:N کمتر از ۲۵-۲۰ باشد ازت ماده آلی توسط میکروارگانسیم ها تثبیت می گردد و ایموبیله می شود. همچنین در نسبت های C:N کمتر از ۲۰، ازت آلی به فرم معدنی تبدیل می شود. در نمونه های تحت فشردگی نیز میزان نیتروژن کل زیاد و نسبت کربن به نیتروژن پایین بود که همین امر موجب از دست رفتن نیتروژن به‌شکل آمونیاکی شد و به‌علت متناسب نبودن مقدار آن نسبت به ماده آلی فرآیند معدنی‌شدن و نیترات‌سازی به‌کندی صورت گرفت. تغییراتی که در مسیر معدنی‌شدن و آلی شدن اتفاق می‌افتد فقط بستگی به مقدار نیتروژن یا کربن قابل استفاده برای توده میکروبی خاک دارد. اگر مقدار کربن بیش از نیاز باشد نیتروژن آلی می‌شود و برعکس وقتی مقدار مواد نیتروژنی بیش از احتیاج است معدنی‌شدن صورت می‌گیرد (هافتن ۲۰۰۷).

جدول۴- مقایسه میانگین‌های سطوح فشردگی خاک در دو بازه زمانی بر نسبت کربن به نیتروژن.

هفته دوم رشد		انتهای دوره رشد	
فشردگی طبیعی	[a]۰/۱۳۱	فشردگی طبیعی	[a]۰/۰۹۲
فشردگی ۱۰٪	[b]۰/۰۸۹	فشردگی ۱۰٪	[a]۰/۰۸٦
فشردگی ۲۰٪	[b]۰/۰۷۷	فشردگی ۲۰٪	[a]۰/۰۸٤

نتایج تجزیه واریانس نشان داد سطوح فشردگی، نوع خاک و اثر متقابل سطوح فشردگی در نوع خاک برای وزن تر و وزن خشک کل اندام‌های هوایی و وزن خشک برگ (LDW) (در سطح احتمال یک درصد) و وزن خشک ساقه (SDW) (در سطح احتمال پنج درصد) گیاه گندم تفاوت معناداری داشتند (جدول۵).

جدول۵- تجزیه واریانس اثر سطوح فشردگی و نوع خاک بر صفات اندازه گیری شده اندام هوایی گیاه گندم.

		میانگین مربعات				
منابع تغییر	درجه آزادی	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک کل اندام هوایی	وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه	سطح برگ	R/S
فشردگی	۲	۵۷/۹۷**	۲/۷۰**	۱/۵۲**	۰/۰۸۸*	۲٤/۳*	۰/۰۰۱۵ ^{ns}
نوع خاک	۱	۲٤۱/٤۸**	۰/۹۰**	۰/۳۰^{ns}	۰/۰۵۲ ^{ns}	۱۳٤**	۰/۰۰٤۳ ^{ns}
فشردگی × نوع خاک	۲	۷۰/٤۱**	۰/۸۷**	۰/۲۹*	۰/۰۹۲*	۱۸/۷*	۰/۰۰۱۹*
خطا	۱۰	۰/۸۵	۰/۰٦	۰/۰٦	۰/۰۱۸	٤/٤۰	۰/۰۰۲۸
ضریب تغییرات (٪)		۱۸/۵۷	۱۹/۳٤	۲۹/٤۱	٤۲/۹۲	۱۳/٤۵	۲۷/۲۲

R/S: نسبت وزن خشک ریشه به اندام‌های هوایی

مطابق نتایج ارائه شده در جدول ٦ مقایسه میانگین اثر متقابل فشردگی خاک در نوع خاک نشان داد که فشردگی خاک منجر به کاهش وزن تر اندام‌های هوایی در هر دو نوع خاک شد، به‌گونه ای که فشردگی صفر درصد در خاک رسی و شنی (به‌ترتیب با میانگین ۱۵/۸۵و ۷/۳۷ گرم)، بالاترین مقدار وزن تر اندام‌های هوایی را در مقایسه با نمونه‌های فشرده شده خاک داشتند. بالاترین وزن خشک اندام‌های هوایی نیز مربوط به تیمار شاهد (صفر درصد فشردگی) با میانگین ۲/۷٤ گرم گلدان در خاک رسی و با میانگین ۱/٤۱ گرم گلدان در خاک شنی بود که تفاوت معناداری با سایر فشردگی‌ها داشتند. اثر متقابل فشردگی در نوع خاک برای نسبت وزن خشک ریشه به اندام‌های هوایی (Root/Soot) در سطح احتمال پنج درصد معنادار بود، که با افزایش نسبت وزن خشک ریشه به اندام‌های هوایی در نمونه‌های فشرده همراه بود. علت این موضوع را می‌توان ناشی از اثر بیشتر فشردگی خاک بر رشد ساقه نسبت به رشد ریشه دانست. پاندر و همکاران (۲۰۱۲) دریافتند در شرایطی که آب و مواد غذایی به مقدار کافی وجود دارد، گیاهان در خاک‌های متراکم با سرعت کمتری رشد می‌نمایند. رشد اندام های هوایی گیاه در پاسخ به پیغام‌های هورمونی تولید شده در ریشه‌ها کاهش یافت. نتایج مشابهی توسط میرانصاری و همکاران (۲۰۰۸) گزارش شد. تهویه ضعیف، معدنی‌شدن مواد آلی را به تعویق می‌اندازد و این امر می‌تواند معدنی‌شدن نیتروژن و سایر مواد غذایی را کاهش دهد، همچنین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تحتانی بر جذب نیتروژن و سایر عناصر

غذایی تأثیر می‌گذارد، رشد ریشه‌های گیاهان در خاک تحتانی به‌وسیله ویژگی‌های ضعیف خاک محدود می‌شود که باعث تجمع نیتروژن معدنی در خاک تحتانی شده و مانع جذب توسط گیاه می‌شود.

سطوح فشردگی خاک (در سطح احتمال یک درصد) و نوع خاک و اثر متقابل آن‌ها برای سطح برگ تک بوته (LA) (در سطح احتمال پنج درصد) تفاوت معناداری را نشان دادند. بیشترین سطح برگ مربوط به تیمار صفر درصد فشردگی خاک رسی (با میانگین ۲۰/٦٤ سانتی‌متر مربع بر گلدان) بود. فشردگی خاک باعث کاهش سطح برگ شد، به‌گونه ای که فشردگی ۲۰ درصد در خاک رسی و شنی (به‌ترتیب با میانگین ۱۰/٦۸ و ۱۰/۸٦ سانتی متر مربع بر گلدان) کم‌ترین میزان سطح برگ را داشتند (جدول٦).

جدول ۶- مقایسه میانگین‌های سطوح فشردگی در نوع خاک بر صفات اندام هوایی گیاه گندم.

نوع خاک	فشردگی	وزن تر اندام هوایی (g)	وزن خشک اندام هوایی (g)	وزن خشک برگ (g)	وزن خشک ساقه (g)	سطح برگ (cm^2)	R/S
رسی	٪ ۰	۱۵/۸۵ a	۲/۷٤ a	۱/۸۱ a	۰/٦٤ a	۲۰/٦٤ a	۰/۱۰۳ a
	٪۱۰	٦/۸٤ b	۱/۱۸ b	۰/۸۷ b	۰/۲۵ b	۱۸/۹٤ a	۰/۲۳۷ b
	٪۲۰	۳/ ۲۰ c	۰/۷۵ b	۰/۳۹ c	۰/۲۱ b	۱۰/٦۸ b	۰/۲۱۸ b
شنی	٪ ۰	۷/۳۷ a	۱/٤۱ a	۱/۰٦ a	۰/۲۵ a	۱۹/۸۵ a	۰/۲۳۷ a
	٪۱۰	٤/٤۷ b	۱/۱٤ ab	۰/۷۳ ab	۰/۳۲ a	۱۲/۵۸ b	۰/۱٤٦ a
	٪۲۰	۳/۳۵b	۰/۷۸ b	۰/۵۰ b	۰/۲۰ a	۱۰/۸٦ b	۰/۲۳۰ a

R/S: نسبت وزن خشک ریشه به اندام‌های هوایی

هم چنین مقایسه میانگین اثر متقابل فشردگی در مراحل زمانی برای نیتروژن برگ نشان داد که نیتروژن کل اندام‌های هوایی در تیمار صفر درصد فشردگی در هفته دوم رشد با میانگین ۷/٦۷ درصد، از سایر سطوح بیشتر بود، در حالی که میزان نیتروژن اندام‌های هوایی سطوح فشردگی در انتهای دوره رشد تفاوت معناداری از هم نداشتند (جدول۷). از آن جایی که منبع اصلی نیتروژن قابل دسترس گیاه، معدنی‌شدن نیتروژن آلی و کود های معدنی نیتروژن بود، هر عاملی که سبب تغییر معدنی‌شدن نیتروژن خاک شود می‌تواند بر جذب نیتروژن قابل دسترس گیاه اثر بگذارد. آلمد و ویلر (۲۰۱۲) نشان دادند افزایش مقاومت مکانیکی و تهویه ضعیف خاک که در اثر فشردگی خاک حاصل شد رشد ریشه را محدود کرد و این امر خصوصاً بر کاهش جذب نیتروژن اثرگذار بود. همچنین هتوری و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند رشد ریشه‌های گیاهان در خاک تحتانی به‌وسیله ویژگی‌های ضعیف خاک محدود شد که باعث تجمع نیتروژن معدنی در خاک تحتانی شده و مانع جذب توسط گیاه شد.

جدول۷- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل سطوح فشردگی خاک در مراحل زمانی بر نیتروژن کل اندام هوایی.

مرحله زمانی	نیتروژن کل اندام هوایی (٪)		مرحله زمانی	نیتروژن کل اندام هوایی (٪)	
هفته دوم رشد	فشردگی طبیعی	۷/٦۷ a	انتهای دوره رشد	فشردگی طبیعی	۳/۹۰ a
	فشردگی ۱۰٪	٤/٦۸ b		فشردگی ۱۰٪	۳/٦۱ a
	فشردگی ۲۰٪	٤/۰۹ b		فشردگی ۲۰٪	۳/۲۹ a

برای بررسی اثر تراکم خاک بر معدنی‌شدن نیتروژن، داده‌های حاصل مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. قبل از انجام تجزیه واریانس و سایر تجزیه های آماری مفروضات تجزیه واریانس بررسی شد که نتایج این بررسی بیان‌گر برقراری مفروضات بود. بر این اساس تجزیه های آماری انجام شد. نتایج تجزیه واریانس اولیه بر اساس طرح کرت های خردشده نشان داد برای تمامی صفات خطای کرت اصلی غیرمعنادار بود، بنابراین به منظور بالا بردن قدرت آزمون و اجتناب از وقوع اشتباه تیپ دوم در قضاوت های آماری، از ادغام واریانس خطاهای آزمایشی واحد اصلی و فرعی استفاده شد و تجزیه واریانس به‌صورت یک آزمایش فاکتوریل انجام شد. نتایج تجزیه واریانس در جدول ۸ ارائه شد. همان طور که مشاهده می‌شود، اثر تراکم خاک، مراحل زمانی و اثر متقابل این دو برای غلظت آمونیوم و نیترات در سطح احتمال ۱٪ و اثر متقابل نوع خاک، تراکم و مراحل زمانی در سطح احتمال ۵٪ معنادار بود. بنابراین غلظت نیترات تحت تأثیر نوع خاک و تراکم خاک قرار گرفت و با توجه به اثر متقابل تراکم با مراحل زمانی می توان استنباط نمود اختلاف بین سطوح تراکم در مراحل مختلف، متفاوت از هم بوده است. همچنین واکنش مشابهی برای دو نوع بافت خاک مشاهده شد.

جدول۸- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تراکم، بافت و زمان نمونه برداری بر غلظت آمونیوم و نیترات خاک.

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		آمونیوم	نیترات
نوع خاک	۱	۲٤/۹^{ns}	۱۱۳۵*
فشردگی	۲	٦٦۷**	۷۸۰۷**
نوع خاک×فشردگی	۲	۳٤/۲^{ns}	۱٤/۹^{ns}
مراحل زمانی	٤	۳٦۱۵**	۵۵۲۱**
نوع خاک× مراحل زمانی	٤	۷٤/٦*	۳۵۲^{ns}
فشردگی× مراحل زمانی	۸	۱۷۳**	۹۱۰**
نوع خاک× فشردگی× مراحل زمانی	۸	۵۹/۳*	٦۰۲**
خطا	٦۰	۲٦/۹	۲۱۰
ضریب تغییرات (٪)		۲۰/۱	۲۳/۸

*و ** به‌ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد معنادار است.

مقایسه میانگین‌های سطوح مختلف فشردگی برای مقدار آمونیوم نشان داد که معدنی‌شدن نیتروژن در نمونه‌های تحت فشردگی دارای اختلاف معناداری با نمونه‌های فشردگی طبیعی بود، به‌گونه‌ای که سطح فشردگی ۲۰ درصد با میانگین ۲۱ میلی گرم بر کیلوگرم کم‌ترین مقدار نیتروژن آمونیومی را به خود اختصاص داد (شکل۱) و این بیانگر این مطلب است که در نمونه‌های فشرده‌تر نیتروژن آلی کمتری به‌شکل آمونیومی در آمد در نتیجه در نمونه‌های فشرده معدنی‌شدن آمونیوم و همچنین تشکیل نیترات به دنبال آمونیومی شدن، کاهش پیدا کرد. همچنین نتایج فوق با گزارش نیولپریز و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت داشت، آنان گزارش کردند که کاهش نیتروژن در نمونه‌های فشرده مربوط به منافذ پر از آب، قطر منافذ و ساختمان خاک بود، در حالی که پنگتامکراتی و همکاران (۲۰۰٦) تجمع نیتروژن آمونیومی را در نمونه‌های فشرده نسبت به نمونه‌های غیر فشرده گزارش کردند و اظهار نمودند که سرعت نیترات سازی در نمونه‌های فشرده کاهش

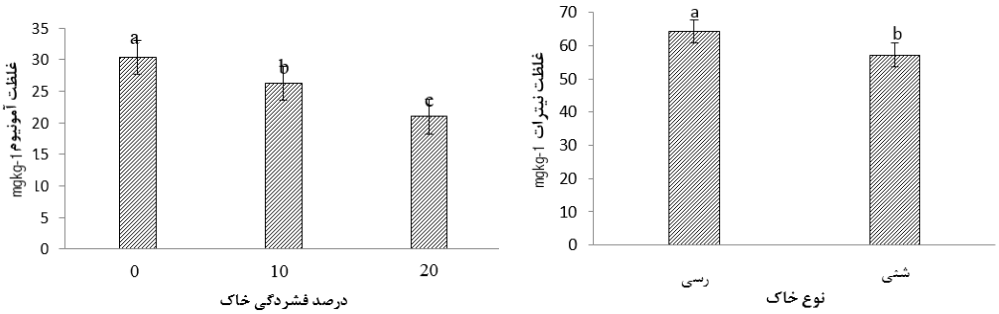
یافت در نتیجه نیتروژن آمونیومی کمتری تحت نیترات سازی قرار گرفت و در خاک تجمع یافت.

مقایسه میانگین‌های نوع خاک برای مقدار نیترات نشان داد که معدنی‌شدن نیتروژن در نمونه‌های خاک رسی دارای اختلاف معناداری با نمونه‌های خاک شنی بود، به‌گونه ای که خاک رسی با میانگین ٦٢/٢٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم مقدار نیتروژن نیتراتی بیشتری را به خود اختصاص داد (شکل۲) و این بیانگر این مطلب است که در نمونه‌های خاک رسی نیتروژن آمونیومی بیشتری به شکل نیتراتی در آمد در نتیجه در نمونه‌های خاک شنی تشکیل نیترات به دنبال آمونیومی شدن، کاهش پیدا کرد. کراوفورد (۱۹۸۱) بیان کرد در خاک‌های با بافت درشت، مقاومت مکانیکی محدود کننده رشد ریشه ممکن است به خاطر سطح ذرات شن باشد که در مقابل جابه‌جا شدن ذرات در اثر لغزیدن مقاومت می‌کنند. یکی از ویژگی‌های مهم دیگر خاک شنی برای نفوذ ریشه، مقدار ذرات ریز، مواد آلی و مواد چسبنده می‌باشد. به علت سطح ویژه کم خاک شنی، درصد کمی از سیلت و رس برای چسباندن مقداری شن نسبت به حجم مشابه از ذرات ریز تر کافی می‌باشد. به نظر می‌رسد که فشار یا مقاومت مکانیکی چنین ترکیبی به اندازه این فشار برای خاک لوم رس سیلتی با ۳۵ درصد رس باشد. اثرات تراکم معمولاً در خاک رسی نسبت به خاک با بافت درشت‌تر و متوسط از پایداری کمتری برخوردار است. اثر تراکمی خاک‌های رسی، به‌خصوص آن‌هایی که دارای کانی‌های ۲:۱ هستند می‌تواند در نتیجه نیروی انبساط و انقباض، کمتر شود، این عمل همراه آبگیری و آبدهی می‌باشد. خاک‌های رده ورتی سول و از نوع مونت موریلونیت ممکن است در طی چند روز این عمل کاهش تراکم را انجام دهند (هینونن ١٩٨٦).

جدول۱۰- مقایسه میانگین‌های سطوح فشردگی در مراحل زمانی مختلف بر آمونیوم و نیترات.

مراحل زمانی/تراکم		آمونیوم ($mg\ kg^{-1}$)	نیترات ($mg\ kg^{-1}$)
۱	فشردگی طبیعی	٤٨/٦٥^{a}	٣٤/٩٤^{a}
	فشردگی ۱۰٪	٤٨/١٦^{a}	٣٢/٥٨^{a}
	فشردگی ۲۰٪	٤٥/٥١^{a}	٢٢/١٨^{a}
۲	فشردگی طبیعی	٤٤/٧٧^{a}	٩٢/١٩^{a}
	فشردگی ۱۰٪	٢٨/٣٥^{b}	٥٧/٤٥^{b}
	فشردگی ۲۰٪	٢٠/٧٥^{c}	٦٤/٣٩^{b}
۳	فشردگی طبیعی	٢٩/٢٤^{a}	١١٢/٠٦^{a}
	فشردگی ۱۰٪	٢٥/٥٩^{a}	٥٨/٤٨^{b}
	فشردگی ۲۰٪	١٣/٦٨^{b}	٤٥/١٤^{b}
٤	فشردگی طبیعی	١٠/٣١^{a}	٧٦/٢٢^{a}
	فشردگی ۱۰٪	١٢/٣٠^{a}	٦٢/٣٢^{ab}
	فشردگی ۲۰٪	١٠/٩٦^{a}	٥٥/٧٨^{b}
٥	فشردگی طبیعی	١٩/١٤^{a}	٨٠/١٤^{a}
	فشردگی ۱۰٪	١٦/٨٤^{a}	٥٨/٤٧^{b}
	فشردگی ۲۰٪	١٤/١٤^{a}	٥٧/٩٦^{b}

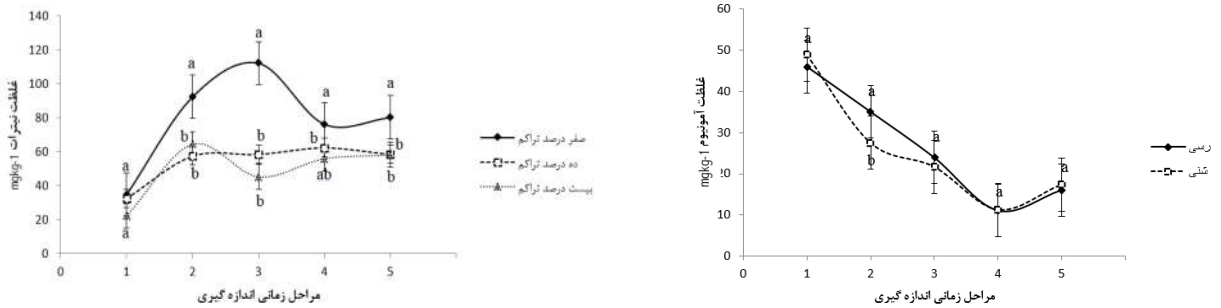
R/S: نسبت وزن خشک ریشه به اندام‌های هوایی



شکل۱ و ۲- مقایسه میانگین‌های اثر نوع خاک بر غلظت آمونیوم و نیترات.

نتایج حاصل از مقایسه میانگین برای غلظت آمونیوم نشان داد که کاهش معنادار غلظت آمونیوم در نمونه‌های فشرده‌تر به‌طور دقیق مربوط به بازه دوم و سوم اندازه‌گیری (یک هفته تا چهارده روز پس از کاشت بذر) بوده است به‌گونه ای که غلظت آمونیوم در سطح فشردگی ۲۰ درصد در بازه دوم اندازه‌گیری با میانگین ۲۰/۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در بازه سوم اندازه‌گیری با میانگین ۱۳/٦۸ میلی گرم بر کیلوگرم کاهش معناداری با سایر سطوح فشردگی خاک در این دو بازه داشت (جدول۱۰). همچنین جدول ۳ نشان داد که اختلاف معناداری در غلظت نیترات بین سطوح فشردگی خاک از بازه دوم اندازه‌گیری به بعد (یک هفته پس از کاشت بذر) وجود داشت، به‌گونه ای که از این بازه به بعد نمونه‌های با فشردگی طبیعی (صفر درصد) بیشترین غلظت نیترات را نسبت به نمونه‌های تحت فشردگی (۱۰ و ۲۰ درصد) به‌خود اختصاص دادند، علت افزایش معنادار غلظت نیترات در نمونه فشردگی طبیعی یک هفته پس از کاشت، شروع نیترات‌سازی در خاک بود که یک تا دو هفته بعد از افزودن کود دامی به خاک هم‌زمان با شروع کشت صورت گرفت. مقایسه میانگین اثر متقابل نوع خاک با مراحل زمانی برای غلظت آمونیوم نشان داد که در بازه دوم اندازه‌گیری (هفت روز پس از کاشت) اختلاف معناداری بین غلظت آمونیوم در دو نوع خاک وجود دارد، به‌گونه ای که غلظت آمونیوم خاک شنی با میانگین ۲۷/٥٤ نسبت به خاک رسی کاهش معناداری داشت اما در سایر مراحل زمانی تفاوت معناداری بین غلظت آمونیوم در دو نوع خاک دیده نشد (شکل۳). نتایج فوق با گزارش تان و چنگ (۲۰۰۵)، مبنی بر تحت تأثیر قرار گرفتن تثبیت نیتروژن از بافت خاک مطابقت داشت، آنها گزارش کردند که بین نوع خاک، منبع نیتروژن و سطوح فشردگی در مقدار نیتروژن تولید شده تفاوت معناداری داشت. مقایسه میانگین‌های سطوح مختلف فشردگی برای مقدار نیترات نشان داد که غلظت نیترات در نمونه‌های با فشردگی طبیعی و با میانگین میلی گرم بر کیلوگرم ۷۹ بیشتر از سطوح فشرده‌تر بود (شکل ٤). به نظر می‌رسد فشردگی خاک می‌تواند تجزیه مواد آلی و معدنی‌شدن نیتروژن را به تعویق بیاندازد و نیترات سازی را کاهش دهد. بریلند و هانسن (۱۹۹٦) نشان دادند که تراکم خاک می‌تواند تجزیه مواد آلی و معدنی‌شدن نیتروژن را به تعویق بیاندازد و تلفات نیتروژن گازی را افزایش دهد. تراکم خاک مقدار منافذ بزرگ‌تر از ۳۰ میلی‌متر را کاهش می‌دهد. در نتیجه منافذ قابل دسترس برای نماتدها از ۳۰/٤ به ۱٤/٦ درصد کاهش پیدا می‌کند، اما مقدار منافذ کوچک‌تر از ۳ میلی متر که غیر قابل دسترس برای ارگانسیم های سلولی است و فقط برای باکتری‌ها و قارچ‌ها قابل دسترس است، از ۱۲/۷ به ۱٥/٦ درصد افزایش پیدا می‌کند. نتایج آن‌ها نشان دهد که معدنی‌شدن نیتروژن در خاک متراکم علی رغم حفاظت فیزیکی و توده میکروبی خاک کاهش می‌یابد که علت آن حمله نماتدها به سایر میکروارگانسیم های خاک است. همچنین نتایج حاصل با گزارش نیولپریز و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت داشت.

مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح فشردگی با مراحل زمانی برای غلظت نیترات نشان داد که این افزایش غلظت نیترات در بازه سوم اندازه‌گیری به‌دلیل افزایش معنادار غلظت نیترات در نمونه‌های با فشردگی طبیعی نسبت به نمونه‌های فشرده بود و برای هر سه سطح فشردگی کم‌ترین مقدار غلظت نیترات مربوط به بازه اول اندازه‌گیری بود که به‌طور معناداری کمتر از سایر مراحل بود (شکل ٤). زیرا نیتریفیکاسیون فرایند زیستی، فیزیکی و شیمیایی است که پیوسته با زمان اثر متقابل دارد و در بازه سوم اندازه گیری (١٤ روز پس از کاشت بذر) به بیشینه مقدار می‌رسد. دی نو و هافمن (۲۰۰۰) عنوان نمودند که غلظت نیترات نمونه‌هایی با چگالی ظاهری ۱/۵ و ۱/٦ گرم بر سانتی متر مکعب به‌طور قابل توجهی پایین‌تر از نمونه‌هایی بود که فشردگی کمتری روی آن‌ها اعمال شد و نتیجه گرفتند فرایند نیترات سازی تحت تأثیر فشردگی بود. همچنین نتایج مشابه ای توسط تان و چنگ (۲۰۰۷) گزارش شد.



شکل۳ و ۴- به ترتیب مقایسه میانگین‌های دو نوع خاک در مراحل زمانی مختلف بر غلظت آمونیوم و مقایسه میانگین‌های سطوح فشردگی در مراحل زمانی مختلف بر نیترات.

نتیجه‌گیری کلی

با گذشت زمان نیتروژن آمونیومی در خاک افزایش و نیتروژن نیتراتی کاهش یافت. فشردگی خاک تأثیری غیر مستقیم بر معدنی‌شدن نیتروژن داشت، با افزایش چگالی ظاهری و کاهش منافذ درشت، مناطق بومی موجودات زنده‌ای که در چرخه نیتروژن نقش داشتند را محدود کرد و با کاهش فعالیت میکروبی (بر اساس آزمایش تنفس و فعالیت آنزیم اوره آز انجام شده) منجر به کاهش معدنی‌شدن نیتروژن شد. در نمونه‌های فشرده نیتروژن آلی کمتری به‌شکل آمونیومی در آمد و تشکیل نیترات به‌دنبال آمونیومی شدن، کاهش پیدا کرد. معدنی‌شدن نیتروژن تحت تأثیر بافت خاک بود، به‌گونه ای که غلظت آمونیوم در بازه دوم اندازه‌گیری (یک هفته پس از کاشت) و غلظت نیترات در کل مراحل زمانی در خاک رسی بیشتر از خاک شنی دیده شد، زیرا خاک رسی علی‌رغم تهویه نامطلوب از حاصلخیزی بیشتری نسبت به خاک شنی برخوردار بود. خاک رسی نسبت به خاک شنی قابلیت فشردگی پذیری بیشتری داشت و با افزایش فشردگی مقاومت مکانیکی آن نیز افزایش پیدا کرد و تهویه نامطلوبی نسبت به خاک شنی داشت اما علت محدود کنندگی ریشه در خاک شنی، سطح ذرات شن بود که در مقابل جا به جا شدن مقاومت کرد. در تیمارهای تحت فشردگی نسبت به تیمار فشردگی طبیعی نیتروژن کمتری مورد استفاده گیاه قرار گرفت. از آن‌جایی‌که منبع اصلی نیتروژن قابل دسترس گیاه، معدنی‌شدن نیتروژن آلی و کود های معدنی نیتروژن بود، هر عاملی که سبب تغییر معدنی‌شدن نیتروژن خاک شود توانست بر جذب نیتروژن قابل دسترس گیاه اثر بگذارد.

منابع مورد استفاده

ابراهیمی س، بهرامی ح و ملکوتی م ج، ۱۳۸٤. اثر مواد آلی در اصلاح فاکتور کربن به ازت (C/N) خاک. موسسه تحقیقات خاک و آب. نشریه شماره ٤٤٨. انتشارات سنا. ۲۱ صفحه.

شهرآیینی ا، ۱۳۸۵. اثر تراکم بر برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و عملکرد گندم در خاک شور و غیر شور. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان.

Alameda D and Villar R, 2012. Linking root traits to plant physiology and growth in Fraxinus angustifolia Vahl. seedlings under soil compaction conditions. Environmental and Experimental Botany 79:49-57.

Alameda D, Villar R and Iriondo J, 2012. Spatial pattern of soil compaction: Trees' footprint on soil physical properties. Forest Ecology and Management 283:128-137.

Barauh TC and Barthakur HP, 1997. A Textbook of Soil Analysis. India.

Beylich A, Oberholzer HR, Schrader S, Hoper H and Wilke BM, 2010. Evaluation of soil compaction effects on soil biota and soil biological processes in soils. Soil and Tillage Research 109: 133-143.

Blumfield TJ and Chen C, 2005. Mineral nitrogen dynamics following soil compaction and cultivation during hoop pine plantation establishment. Forest Ecology and Management 204:131-137.

Bolts F, 1978. Colorimetric determination of nonmetals. Soil Science & Environmental Services 235-242.

Breland, TA and Hansen S, 1996. Nitrogen mineralization and microbial biomass as affected by soil compaction. Soil Biology and Biochemistry 28: 655-663.

Crawford RM, 1981. Biochemical and ecological similarities in marsh plants and diving animals. Botanical Society of Scotland 1(1): 77-82.

Deneve S and Hofman G, 2000. Influence of soil compaction on carbon and nitrogen mineralization of soil organic matter and crop residues. Biology and fertility of soils 30(5): 544–549.

Ponder Jr, Robert L and Fleming SB, 2012. Effects of organic matter removal, soil compaction and vegetation control on10th year biomass and foliar nutrition. Forest Ecology and Management 278: 35-54.

Hattori D, Kenzo T, Okamura k, Irino C, Joseph Jawa Kendawang d, Ikuo Ninomiya E and Katsutoshi S, 2013. Effects of soil compaction on the growth and mortality of planted dipterocarp seedlings in a logged-over tropical rainforest in Sarawak, Malaysia. Forest Ecology and Management 310:770-776.

Houghton RA, 2007. Balancing the global carbon budget. Annual Review of Earth and Planetary Sciences 30(35): 313-347.

Heinonen, R. 1986. Alleviation of soil compaction by natural forces and cultural practices, in Land Clearing and Development in the Tropics 285-297

Jensen LS, Mcqueen DJ and Shepherd TG, 2000. Effects of soil compaction on N mineralization and microbial C and N. I. Field measurements. Soil and Tillage Research 35:56-75.

Karaka A, Baran A and Kaktanir K, 1997. The effect of compaction on urease enzyme activity, carbon dioxide evaluation and nitrogen mineralization. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 24(4):437-442.

Klute A, 1986. Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. Madison, Wisconsin, USA

Miransari M, Bahrami HA, Rejali F and Malakouti MJ, 2009. Effects of soil compaction and arbuscular mycorrhiza on corn (Zea mays L.) nutrient uptake. Soil and Tillage Research 103: 282–290.

Motavalli P, Stevens WE and Hartwing G, 2003. Remediation of subsoil compaction and compaction effects on corn availability by deep tillage and application. Soil and Tillage Research 71: 121-131.

Newell-Price A, Whittingham MJ, Chambers BJ and Peel S, 2013. Visual soil evaluation in relation to measured soil physical properties in a survey of grassland soil compaction in England and Wales. Soil and Tillage Research 127:65-73.

Page AL, Miller RH and Keeney DR, 1982. Methods of soil analysis. Part2. Chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America. 1159-1982

Pengthamkeerati P, Motavalli PP, Kremer RJ and Anderson SH, 2006. Soil compaction and poultry litter effects on factors affecting nitrogen availability in a clay pan soil. Soil and Tillage Research 91:109–119.

Pengthamkeerati P, Motavalli PP and Kremer RJ, 2011. Soil microbial activity and functional diversity changed by compaction, poultry litter and cropping in a clay pan soil. Applied Soil Ecology 48(1):71-80.

Tan X, Chang SX and Kabzems R, 2005. Effects of soil compaction and forest floor removal on soil microbial properties and N transformations in a boreal forest long-term soil productivity study. Forest Ecology and Management 217:158-170.

Tan X and Chang S, 2007. Soil compaction and forest litter amendment affect carbon and net nitrogen mineralization in a boreal forest soil. Soil and Tillage Research 93:77-86.