

## اثر نوع بقایای گیاهی بر معدنی‌شدن نیتروژن در شرایط تنش خشکی در یک خاک آهکی

\* محمد خراسانی<sup>۱</sup>، فرشید نوربخش<sup>۲</sup> و محمدرضا مصدقی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان،

<sup>۲</sup> استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۰/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۹/۲۱

### چکیده

**سابقه و هدف:** برگرداندن بقایای گیاهی به خاک یک عمل مدیریتی توصیه‌شده برای حفظ یا افزایش سطح ماده آلی خاک است. هر چند، میزان اثر آن ممکن است وابسته به نوع خاک، اقلیم و کیفیت اولیه بقایای گیاهی باشد. از سوی دیگر اقلیم در مقیاس جهانی در حال تغییر است و افزایش تنش خشکی در مقیاس وسیعی پیش‌بینی شده است. در نتیجه این تغییرات، تمام فرآیندهای خاک که با دما و رطوبت خاک در ارتباط هستند، از جمله معدنی‌شدن عناصر، تحت تأثیر قرار می‌گیرند. این پژوهش با هدف بررسی اثر برهم‌کنش تنش خشکی و کیفیت بقایای گیاهی بر معدنی‌شدن نیتروژن در خاک تیمار شده با بقایای گیاهی مختلف انجام شد.

**مواد و روش‌ها:** بدین منظور چهار نوع بقایای گیاهی شامل اندام هوایی یونجه، شبدر، ذرت و گندم نمونه‌برداری شد. بقایای گیاهی با یک خاک آهکی مخلوط و به همراه خاک شاهد (بدون افزودن بقایای گیاهی) در سه سطح ثابت رطوبتی ۲۵، ۳۵ و ۵۵ درصد گنجایش نگهداشت آب (WHC) به مدت ۱۵۰ روز در دمای ۲۵ درجه سلسیوس انکوباسیون شدند و در پایان دوره انکوباسیون فرآیندهای نیتریفیکاسیون خالص، آمونیفیکاسیون خالص، معدنی‌شدن خالص نیتروژن، تغییرات خالص نیتروژن آلی محلول اندازه‌گیری شد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که بیش‌ترین مقدار نیتریفیکاسیون خالص ( $282/33 \text{ mg NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$ )، آمونیفیکاسیون خالص ( $52/11 \text{ mg NH}_4^+ \text{ kg}^{-1}$ )، معدنی‌شدن خالص نیتروژن ( $334/44 \text{ mg NO}_3^- + \text{NH}_4^+ \text{ kg}^{-1}$ ) و تغییرات خالص نیتروژن آلی محلول ( $141/43 \text{ mg N kg}^{-1}$ ) مربوط به تیمار بقایای گیاهی یونجه بود. شاخص‌های اندازه‌گیری شده به‌طور معنی‌داری با افزایش مقدار آب خاک در طول انکوباسیون افزایش یافتند. نیتریفیکاسیون خالص ( $r=0/798^{***}$ )، معدنی‌شدن خالص نیتروژن ( $r=0/816^{***}$ ) و تغییرات خالص نیتروژن آلی محلول ( $r=0/803^{***}$ ) همبستگی مثبت و معنی‌داری با غلظت نیتروژن بقایا داشتند. در شرایط تنش خشکی، نیتریفیکاسیون خالص همبستگی قوی‌تری با معدنی‌شدن نیتروژن ( $r=0/998^{***}$ ) نسبت به آمونیفیکاسیون خالص ( $r=-0/007$ ) داشت. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) نشان داد که معدنی‌شدن خالص نیتروژن با مقدار نیتروژن بقایا رابطه مثبت و با مقدار کربن، لیگنین و نسبت‌های C/N و LG/N رابطه منفی دارد؛ پس از تعیین رابطه مناسب بین پارامترهای بیوشیمیایی بقایای گیاهی و معدنی‌شدن خالص نیتروژن، حد بحرانی معدنی‌شدن خالص نیتروژن برای نیتروژن ۳۳/۶، کربن ۵۷۵/۳۸، لیگنین ۲۰۵/۹۵ گرم بر کیلوگرم و برای نسبت‌های C/N و LG/N به‌ترتیب ۲۳/۹۸ و ۸/۵۸ به‌دست آمد.

**نتیجه‌گیری:** اثر تنش خشکی بر شاخص‌های تحول نیتروژن در بین خاک‌های تیمار شده با بقایای گیاهی مختلف مشابه نیست. بقایای گیاهی با محتوای نیتروژن بیش‌تر مانند یونجه و شبدر نسبت به بقایای حاوی مقادیر کم نیتروژن اولیه یا نسبت‌های زیاد کربن به نیتروژن و لیگنین به نیتروژن مانند گندم و ذرت بیش‌تر تحت‌تأثیر تنش خشکی قرار گرفتند.

**واژه‌های کلیدی:** آمونیفیکاسیون، نیتریفیکاسیون، نیتروژن آلی محلول، تجزیه‌پذیری بقایای گیاهی

### مقدمه

آلودگی آب‌های زیرزمینی و هوا از آثار اصلی استفاده بیش از حد کودهای آلی در کشاورزی است. تعیین مقدار نیتروژن ورودی و خروجی در سیستم‌های کشت برای جلوگیری از تشدید تلفات نیتروژن به شکل نترات و/یا انتشار اکسید نیتروژن ضروری است (۱۹). نترات به‌دلیل تأثیر مستقیم بر آب آشامیدنی، پتانسیل انباشت در منابع آب و همچنین اثر غیرمستقیم بر آلودگی اتمسفر از طریق آزادسازی آمونیاک یا اکسیدهای نیتروژن به‌عنوان یک منبع اصلی در آلودگی محیط‌زیست محسوب می‌شود (۲). معدنی‌شدن نیتروژن خاک، به‌همراه نیتریفیکاسیون، عامل کنترل‌کننده فراهمی نترات خاک برای آبشویی و انتشار نیتروژن اکسید (اکسید نیترو) است. این امر منجر به افزایش اهمیت پیش‌بینی دقیق معدنی‌شدن نیتروژن در خاک‌های کشاورزی شده است (۸). ارزیابی دقیق معدنی‌شدن نیتروژن خاک در خاک‌های کشاورزی بسیار مهم است، چرا که این فرآیند عملکرد محصول، پایداری خاک و آلودگی‌های زیست‌محیطی را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (۱).

اصلاح‌کننده‌های آلی باعث افزایش رشد گیاه می‌شوند و ممکن است نیاز به کودهای معدنی را کاهش دهند که خود منجر به کاهش هزینه برای کشاورزان می‌شود. اصلاح‌کننده‌های آلی می‌توانند کمپوست و یا تنها مخلوطی از ضایعات آلی کشاورزی، بقایای گیاهی، جلبک دریایی، ضایعات صنعت، عملیات شهری یا خون و استخوان باشند

(۲۱). بقایای گیاهی به‌عنوان یک جزء اصلی از مواد آلی خاک می‌توانند پویایی نیتروژن در خاک را بسته به مقدار نیتروژن معدنی‌شده و یا غیرمتحرک‌شده در طول تجزیه بقایا تحت‌تأثیر قرار دهند (۱۰). معدنی‌شدن نیتروژن در خاک توسط ویژگی‌های خاک و عوامل زیست‌محیطی کنترل می‌شود. با وجود کنترل‌های پیچیده در این فرآیند و دخالت گروه وسیعی از میکروب‌ها، سرعت معدنی‌شدن تا حد زیادی وابسته به کمیت و کیفیت (ترکیب اولیه) مواد آلی وارد شده به خاک و تأثیر عوامل محیطی بر فعالیت بیولوژیک جامعه هتروتروف خاک است. به‌طور خاص رطوبت یک عامل مهم کنترل‌کننده معدنی‌شدن نیتروژن است، چرا که واکنش‌های شیمیایی و آنزیمی که در طول تجزیه زیستی بقایای گیاهی و سایر مواد آلی در خاک رخ می‌دهند، به رطوبت وابسته هستند (۸).

از طرفی اقلیم در مقیاس جهانی در حال تغییر است و افزایش تنش خشکی در مناطق وسیعی از جهان پیش‌بینی شده است. نه تنها کاهش بارندگی، بلکه تشدید کلی چرخه آب، با دوره‌های خشکسالی و تنش آبی برای گیاهان و ریزجانداران خاک پیش‌بینی شده است؛ که در آن رطوبت یکی از تنظیم‌کننده‌های اصلی فعالیت‌های ریزجانداران است. هم‌زمان با کاهش محتوای آب خاک، بخشی از منافذ خاک که با هوا پر شده‌اند، افزایش یافته و تحرک عناصر غذایی و دسترسی جانداران به سوبسترا کاهش می‌یابد (۶). هنگامی که شرایط زیست‌محیطی ثابت نگه داشته شود، تغییرات فرآیند تجزیه و سرعت

معدنی شدن نیتروژن به طور عمده به دلیل تفاوت در ویژگی‌های شیمیایی بقایا است (۲۷). کیفیت اولیه بقایای گیاهی (به عنوان مثال، محتوای نیتروژن، نسبت کربن به نیتروژن (C/N)، سلولز، لیگنین و محتوای پلی فنل) پتانسیل معدنی شدن بقایا را تعیین می‌کند. برخی پژوهش‌ها نشان داده است که پویایی معدنی شدن/ غیرمتحرک شدن نیتروژن پس از اختلاط بقایای گیاهی با خاک عمدتاً توسط محتوای نیتروژن و یا نسبت C/N بقایای گیاهی کنترل می‌شود (۲۷).

گولریوز و همکاران (۲۰۰۸) گزارش دادند که معدنی شدن و نیتریفیکاسیون خالص نیتروژن در مقیاس مزرعه، در فصولی که رطوبت بیش تر باشد، افزون تر است. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که تفاوت در سرعت معدنی شدن خالص نیتروژن را می‌توان به کربن آلی، نیتروژن کل و رطوبت خاک نسبت داد (۱۲). گوتیناس و همکاران (۲۰۱۲) درصد رطوبت بهینه برای معدنی شدن نیتروژن را بین ۸۰ تا ۱۰۰ درصد گنجایش زراعی گزارش کردند (۱۳). جین و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی اثر نوع خاک، کیفیت بقایا و رژیم رطوبتی بر معدنی شدن نیتروژن و کربن گزارش کردند که کل دی‌اکسید کربن تولید شده در اثر تجزیه بقایای گیاهی با افزایش درصد گنجایش نگهداری آب خاک افزایش می‌یابد (۱۶). ژونگلو و همکاران (۲۰۱۵) معدنی شدن خالص نیتروژن را در محدوده گسترده بین ۱۲۰/۳-۵/۱ میلی گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک گزارش کرده و بیان کردند که معدنی شدن خالص نیتروژن با مقدار نیتروژن، محتوای لیگنین و نسبت فسفر به نیتروژن بقایا در ارتباط است (۲۷).

شاخص‌های زیستی و اکولوژیک در بسیاری از اکوسیستم‌ها به طور مستقیم به فراهمی نیتروژن به دست آمده از تجزیه بقایای آلی بستگی دارد. بنابراین معقول است فرض کنیم که هر گونه عمل

اصلاحی که میزان تجزیه مواد آلی را تحت تأثیر قرار دهد فراهمی نیتروژن را نیز می‌تواند تحت تأثیر قرار داده و در نتیجه پیامدهای مهمی بر عملکرد اکوسیستم داشته باشد (۱۳). از سوی دیگر، رطوبت عامل عمده زیست محیطی کنترل فعالیت ریزجانداران در خاک است که به نوبه خود بر میزان تغییر شکل خالص نیتروژن (نیتریفیکاسیون و آمونیفیکاسیون) اثر می‌گذارد. در همین راستا، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر برهمکنش تنش خشکی و نوع بقایای گیاهی بر معدنی شدن خالص نیتروژن، آمونیفیکاسیون و نیتریفیکاسیون خالص و همچنین اندازه ذخایر نیتروژن آلی محلول خاک انجام شد.

### مواد و روش‌ها

نمونه برداری خاک در مردادماه سال ۱۳۹۴ از عمق ۰-۱۵ سانتی متری خاک مزرعه لورک در ۴۰ کیلومتری جنوب غربی شهر اصفهان انجام گرفت (E ۳۲° ۳۲' ۰۴/۹۸" و N ۳۳° ۳۰' ۴۸" ۵۱). در این مزرعه میانگین دمای سالانه ۱۴/۵ درجه سلسیوس و میانگین بارش سالانه ۱۴۰ میلی متر است. نمونه‌های خاک از یک ترانسکت در سه نقطه با فاصله طولی ۵۰ متر از یکدیگر برداشت گردید. از هر نقطه تعداد ۱۵ نمونه برداشت و با یکدیگر مخلوط شدند تا یک نمونه مرکب حاصل شود.

نمونه‌های گیاهی شامل اندام هوایی ذرت سینگل کراس ۷۰۴ در مرحله پس از گلدهی (محمدشهر، کرج- تیر ۹۴) و نمونه‌های شبدر قرمز (مزرعه لورک، اصفهان- اردیبهشت ۹۴) و گندم الوند و یونجه همدانی (روستای وانان، استان چهارمحال و بختیاری- مرداد ۹۴) پیش از مرحله برداشت، نمونه برداری شدند. نمونه‌های گیاهی ابتدا با آب شیر و سپس با آب مقطر شسته شده و به مدت ۷۲ ساعت در آون با دمای ۶۵ درجه سلسیوس قرار داده شدند. پس از

انکوباسیون میزان نیتروژن آمونیومی و نیتراتی معدنی شده و نیتروژن آلی محلول اندازه‌گیری شد. همین اندازه‌گیری‌ها پیش از شروع انکوباسیون نیز انجام شده بود.

**الف) مجموع نیتروژن معدنی:** قبل و بعد از انکوباسیون نمونه‌های مورد آزمایش توسط کلریدپتاسیم ۲ مولار عصاره‌گیری شدند و مجموع آمونیوم و نترات از روش تقطیر با بخار آب اندازه‌گیری شد. بر این اساس، مجموع نیتروژن معدنی، نیتروژن آمونیومی و نیتروژن نیتراتی قبل و بعد از انکوباسیون اندازه‌گیری گردید (۱۸). برای محاسبه معدنی شدن خالص نیتروژن، آمونیفیکاسیون خالص و نیتریفیکاسیون خالص به ترتیب از رابطه‌های زیر استفاده شد.

$$N_{m/i} = (NH_4^+ + NO_3^-)_f - (NH_4^+ + NO_3^-)_i \quad (1)$$

که در آن،  $N_{m/i}$  معدنی شدن خالص نیتروژن،  $(NH_4^+ + NO_3^-)_f$  مجموع غلظت نیتروژن آمونیومی و نیتراتی در پایان ۵ ماه انکوباسیون و  $(NH_4^+ + NO_3^-)_i$  مجموع غلظت نیتروژن آمونیومی و نیتراتی پیش از انکوباسیون است.

$$N_{amu} = (NH_4^+)_f - (NH_4^+)_i \quad (2)$$

که در آن،  $N_{amu}$  آمونیفیکاسیون خالص،  $(NH_4^+)_f$  مجموع غلظت نیتروژن آمونیومی در پایان ۵ ماه انکوباسیون و  $(NH_4^+)_i$  مجموع غلظت نیتروژن آمونیومی پیش از انکوباسیون است.

$$N_{nit} = (NO_3^-)_f - (NO_3^-)_i \quad (3)$$

که در آن،  $N_{nit}$  نیتریفیکاسیون خالص،  $(NO_3^-)_f$  مجموع غلظت نیتروژن نیتراتی در پایان ۵ ماه انکوباسیون و  $(NO_3^-)_i$  مجموع غلظت نیتروژن نیتراتی پیش از انکوباسیون است.

خشک‌شدن، نمونه‌ها آسیاب‌شده و از الک ۱ میلی‌متری عبور داده شدند تا اندازه تقریباً همگن و یکنواختی پیدا کنند. نمونه‌ها تا شروع آزمایش در ظروف شیشه‌ای در بسته و در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شدند.

ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک و بقایا به روش‌های معمول آزمایشگاهی اندازه‌گیری شد. گنجایش نگهداشت آب (WHC) به روش وزنی و از طریق دستگاه صفحات فشاری اندازه‌گیری شد. بافت خاک به روش هیدرومتر، رطوبت خاک به روش وزنی، pH و رسانایی الکتریکی (EC) خاک در عصاره اشباع به وسیله pH متر و دستگاه رسانایی سنج، کربنات کلسیم معادل خاک به روش تیتراسیون برگشتی، کربن آلی خاک و بقایای گیاهی به روش سوزاندن تر و نیتروژن کل خاک و بقایای گیاهی نیز پس از هضم به وسیله اسید سولفوریک غلیظ با دستگاه تقطیر با بخار آب اندازه‌گیری شد (۳). لیگنین به روش گوئرینگ و ونسوست اندازه‌گیری شد (۱۱).

**انکوباسیون آزمایشگاهی:** مقدار ۱۰۰ گرم خاک توزین شد؛ سپس از هر یک از بقایای گیاهی معادل  $10 \text{ g C kg}^{-1}$  (۱ درصد افزایش کربن آلی) به خاک مورد مطالعه افزوده شد و به صورت کامل با یکدیگر مخلوط گردیدند. رطوبت خاک با پاشیدن آب مقطر در سطوح رطوبتی ثابت ۲۵، ۳۵ و ۵۵ درصد گنجایش نگهداشت آب (WHC) تنظیم شد. مخلوط خاک و بقایا به درون لیوان‌های پلی‌اتیلنی که کف آن‌ها دارای منافذی برای تهویه بود منتقل شد و برای جلوگیری از تبخیر، درب لیوان‌ها با نایلون بسته شد. به منظور تسریع تهویه و تبادل گازی بر روی نایلون‌ها تعدادی مساوی منفذ ریز ایجاد شد. نمونه‌ها به مدت ۱۵۰ روز در دمای ۲۵ درجه سلسیوس انکوباسیون شدند و در این مدت مقدار رطوبت از دست رفته از طریق افزودن آب مقطر جبران شد. در پایان دوره

و در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت. تجزیه واریانس داده‌ها و بررسی‌های رگرسیونی و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) توسط نرم‌افزار SAS 9.0 صورت گرفت و برای ترسیم نمودارها از نرم‌افزار Excel 2013 استفاده شد.

### نتایج و بحث

**ویژگی‌های خاک و بقایای گیاهی:** برخی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک مورد مطالعه در جدول ۱ و برخی از ویژگی‌های شیمیایی و بیوشیمیایی اندازه‌گیری شده بقایای گیاهی در جدول ۲ نشان داده شده است. خاک مورد آزمایش یک خاک آهکی و غیرشور بوده که دارای بافت رس سیلتی است (جدول ۱). بیش‌ترین میزان کربن آلی، نیتروژن و لیگنین به ترتیب در بقایای گندم، یونجه و ذرت دیده شد. کم‌ترین مقدار نسبت کربن به نیتروژن (C/N) و لیگنین به نیتروژن (LG/N) در بقایای یونجه و بیش‌ترین مقدار این نسبت‌ها در بقایای گندم دیده شد (جدول ۲).

ب) نیتروژن آلی محلول: نمونه‌ها با سولفات پتاسیم ۰/۵ نرمال عصاره‌گیری شدند و کل نیتروژن آلی محلول در عصاره پس از هضم با دستگاه تقطیر بخار اندازه‌گیری شد. بر این اساس از تفاضل مجموع نیتروژن معدنی از کل نیتروژن محلول، میزان نیتروژن آلی محلول به دست آمد (۵) و برای محاسبه تغییرات خالص نیتروژن آلی محلول از رابطه زیر استفاده شد:

$$N_{SON} = (SON)_f - (SON)_i \quad (4)$$

که در آن،  $N_{SON}$  تغییرات خالص نیتروژن آلی محلول،  $(SON)_f$  غلظت نیتروژن آلی محلول در پایان ۵ ماه انکوباسیون و  $(SON)_i$  غلظت نیتروژن آلی محلول پیش از انکوباسیون است.

**تجزیه و تحلیل داده‌ها:** این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی و به صورت فاکتوریل انجام شد. این آزمایش با ۵ تیمار بقایای گیاهی (شامل یک تیمار شاهد و ۴ تیمار بقایای گیاهی و ۳ سطح رطوبتی (۲۵، ۳۵ و ۵۵ درصد گنجایش نگهداشت آب) در ۳ تکرار انجام شد. مقایسه میانگین‌ها به روش LSD

جدول ۱- برخی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک مورد مطالعه.

Table 1. Some physical and chemical properties of the studied soil.

نسبت کربن به نیتروژن C/N ratio	بافت خاک Soil texture	کربنات کلسیم معادل (گرم بر کیلوگرم) Calcium carbonate equivalent (g kg <sup>-1</sup> )	شن (گرم بر کیلوگرم) Sand (g kg <sup>-1</sup> )	سیلت (گرم بر کیلوگرم) Silt (g kg <sup>-1</sup> )	رس (گرم بر کیلوگرم) Clay (g kg <sup>-1</sup> )	کربن آلی (گرم بر کیلوگرم) Organic carbon (g kg <sup>-1</sup> )	نیتروژن کل (گرم بر کیلوگرم) Total nitrogen (g kg <sup>-1</sup> )	pH <sub>e</sub>	EC <sub>e</sub> (dS m <sup>-1</sup> )
7.29	رس سیلتی Silty clay	371.30	85	468	447	12.83	1.76	8.29	3.63

جدول ۲- برخی ویژگی‌های شیمیایی و بیوشیمیایی بقایای گیاهی.

Table 2. Some biochemical and chemical properties of crop residues.

بقایای گیاهی Crop residues	کربن آلی (گرم بر کیلوگرم) Organic carbon (g kg <sup>-1</sup> )	نیتروژن کل (گرم بر کیلوگرم) Total nitrogen (g kg <sup>-1</sup> )	لیگنین (گرم بر کیلوگرم) Lignin (g kg <sup>-1</sup> )	نسبت کربن به نیتروژن C/N ratio	نسبت لیگنین به نیتروژن LG/N ratio
یونجه alfalfa	449.3	78.09	173.7	5.75	2.22
شبدر clover	440.4	61.65	160.0	7.14	2.59
ذرت corn	442.3	39.56	262.3	11.18	6.63
گندم wheat	644.0	11.04	202.7	58.33	18.36

اثر نوع بقایای گیاهی بر شاخص‌های اندازه‌گیری شده: بیش‌ترین میزان شاخص‌های آمونیفیکاسیون خالص، نیتریفیکاسیون خالص، معدنی‌شدن خالص نیتروژن و تغییرات خالص نیتروژن آلی محلول در بقایای یونجه و کم‌ترین مقدار این شاخص‌ها در بقایای گندم (به‌جز آمونیفیکاسیون خالص) و شاهد دیده شد (جدول ۳). این وضعیت با توجه به غنی‌بودن بقایای یونجه از نیتروژن و نسبت‌های C/N و LG/N کم در این بقایا و محتوای نیتروژن کم و نسبت C/N بالای بقایای گندم قابل پیش‌بینی بود (جدول ۲). ترنسورات و همکاران (۲۰۰۰) و ژونگلو و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند که میزان بیش‌تری فرآیندهای آمونیفیکاسیون، نیتریفیکاسیون و معدنی‌شدن نیتروژن در بقایای با نسبت C/N و LG/N کم‌تر اتفاق می‌افتد (۲۰ و ۲۷). بیش‌ترین میزان معدنی‌شدن خالص نیتروژن پس از بقایای یونجه ( $334/44 \text{ mg NO}_3^- + \text{NH}_4^+ \text{ kg}^{-1}$ ) در بقایای شبدر ( $141/56 \text{ mg NO}_3^- + \text{NH}_4^+ \text{ kg}^{-1}$ ) دیده شد. هرچه مقدار لیگنین و C/N در بقایا کم‌تر باشد ممکن است تجزیه بقایا توسط میکروب‌ها و آزادسازی نیتروژن به محیط خاک از بقایای گیاهی بیش‌تر انجام پذیرد (۲۶).

اختلاف بقایای گیاهی با خاک باعث تحریک فعالیت میکروبی می‌شود و ممکن است باعث افزایش اولیه در اندازه ذخایر نیتروژن آلی محلول شود. مقدار و ترکیب نیتروژن آلی محلول خاک توسط عوامل غیرجاندار و جاندار از جمله نوع خاک، نوع بقایا، کمیّت و کیفیت ماده آلی، جوامع میکروبی، شیوه مدیریت و شرایط محیطی مانند رطوبت و دما تحت تأثیر قرار می‌گیرد (۴). به‌طورکلی میزان نیتروژن آلی خاک با کاهش نسبت C/N و مقدار نیتروژن در بقایای گیاهی، افزایش می‌یابد (۱۷). نتایج حاصل از این پژوهش هم‌گویای آن است که با کاهش نسبت C/N در بقایای گیاهی میزان تغییرات خالص نیتروژن آلی محلول افزایش می‌یابد، چنان‌که بیش‌ترین میزان تغییرات خالص نیتروژن آلی محلول به‌ترتیب در تیمارهای حاوی بقایای یونجه ( $141/43 \text{ mg N kg}^{-1}$ )، شبدر ( $61/46 \text{ mg N kg}^{-1}$ )، ذرت ( $38/23 \text{ mg N kg}^{-1}$ ) و گندم ( $28/72 \text{ mg N kg}^{-1}$ ) دیده شد (جدول‌های ۲ و ۳). لوسی و همکاران (۲۰۱۴) بیان نمودند که میزان آزادسازی نیتروژن از منبع نیتروژن آلی بقایای گیاهی به خاک با میزان C/N بقایای گیاهی رابطه منفی دارد (۱۷).

جدول ۳- اثر نوع (کیفیت) بقایای گیاهی و سطوح رطوبتی بر شاخص‌های تحولات نیتروژن خاک.

**Table 3. The effect of crop residues type (quality) and soil moisture levels on measured N transformation indices.**

تغییرات خالص نیتروژن آلی محلول (میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم)	معدنی‌شدن خالص نیتروژن (میلی‌گرم آمونیوم و نیترات بر کیلوگرم)	نیتریفیکاسیون خالص (میلی‌گرم نیترات بر کیلوگرم)	آمونیفیکاسیون خالص (میلی‌گرم آمونیوم بر کیلوگرم)	عامل Factor	تیمار Treatment
Net soluble organic nitrogen (mg N kg <sup>-1</sup> )	Net nitrogen mineralization (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> +NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup> )	Net nitrification (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> kg <sup>-1</sup> )	Net ammonification (mg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup> )		
141.43 <sup>a</sup>	334.44 <sup>a</sup>	282.33 <sup>a</sup>	52.11 <sup>a</sup>	یونجه alfalfa	نوع بقایای گیاهی Type of crops residues
61.46 <sup>b</sup>	141.56 <sup>b</sup>	98.87 <sup>b</sup>	42.87 <sup>bc</sup>	شیدر clover	
-28.72 <sup>c</sup>	-52.89 <sup>c</sup>	-93.33 <sup>c</sup>	40.44 <sup>cd</sup>	ذرت corn	
-38.23 <sup>c</sup>	-74.67 <sup>d</sup>	-121.3 <sup>d</sup>	46.63 <sup>b</sup>	گندم wheat	
-32.13 <sup>d</sup>	-74.67 <sup>d</sup>	-111.22 <sup>d</sup>	36.55 <sup>d</sup>	شاهد control	
52.49 <sup>a</sup>	125.06 <sup>a</sup>	86.8 <sup>a</sup>	38.26 <sup>b</sup>	55% WHC	سطح رطوبتی Moisture levels
17.42 <sup>b</sup>	51.8 <sup>b</sup>	11.66 <sup>b</sup>	40.13 <sup>b</sup>	35% WHC	
-7.63 <sup>c</sup>	-12.6 <sup>c</sup>	-65.31 <sup>c</sup>	52.71 <sup>a</sup>	25% WHC	

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر گروه و در هر ستون از نظر آماری در سطح ۵ درصد آزمون LSD معنی‌دار نیستند.

Numbers followed by same letters in each group and each column are not significantly different (LSD test,  $P < 0.05$ ).

سویسترا و کاهش تحرک میکروبی کم شده و این امر احتمالاً دلیل کاهش نیتریفیکاسیون خالص، تغییرات خالص نیتروژن آلی محلول و معدنی‌شدن خالص نیتروژن با کاهش رطوبت خاک از ۵۵ به ۲۵ درصد گنجایش نگهداشت آب است. تیان و همکاران (۲۰۱۰) گزارش دادند که میزان نیتریفیکاسیون با افزایش رطوبت خاک از رطوبت هوا- خشک به ۵۰٪ رطوبت اشباع افزایش یافته، اما این روند افزایشی با رفتن به سمت رطوبت اشباع کاهش می‌یابد (۲۳). از طرف دیگر، افزایش فعالیت نیتریفیکاتورها با افزایش رطوبت خاک می‌تواند یکی از دلایل افزایش مصرف آمونیوم در نتیجه کاهش غلظت آمونیوم و آمونیفیکاسیون خالص باشد. به‌طور کلی تنش خشکی موجب کاهش

اثر سطوح رطوبتی خاک بر شاخص‌های اندازه‌گیری شده: بیش‌ترین میزان شاخص‌های نیتریفیکاسیون خالص، معدنی‌شدن خالص نیتروژن و تغییرات خالص نیتروژن آلی محلول در سطح رطوبتی ۵۵ درصد گنجایش نگهداشت آب و کم‌ترین مقدار این شاخص‌ها در سطح رطوبتی ۲۵ درصد گنجایش نگهداشت آب خاک دیده شد که اختلاف آن‌ها معنی‌دار بود (جدول ۳). این وضعیت برای آمونیفیکاسیون خالص بر عکس بود، چنان‌که بیش‌ترین مقدار این شاخص در سطح رطوبتی ۲۵ درصد گنجایش نگهداشت آب خاک دیده شد (جدول ۳). هم‌زمان با کاهش رطوبت خاک، دسترسی ریزجانداران به سویسترا به‌علت کاهش پخشیدگی

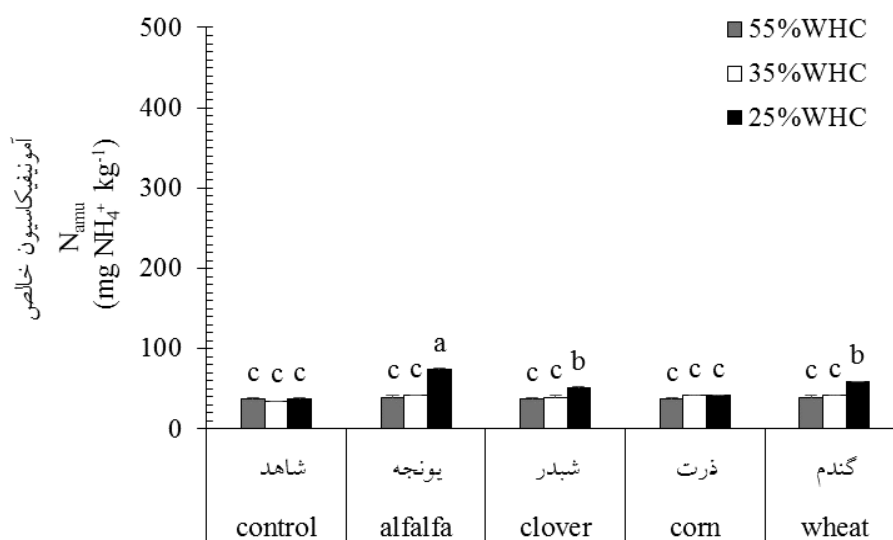
خالص در همه بقایای گیاهی به صورت مشابه و تقریباً افزایشی بود.

کمترین مقدار نیتروفیکاسیون خالص در تیمار گندم در سطح رطوبتی ۲۵ درصد گنجایش نگهداشت آب ( $135/23 \text{ mg NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$ ) و بیشترین مقدار نیتروفیکاسیون خالص در بقایای یونجه در سطح رطوبتی ۵۵ درصد گنجایش نگهداشت آب ( $\text{mg NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$ ) (۴۳۴) دیده شد (شکل ۲). اثر برهم‌کنش نوع بقایای گیاهی و تیمارهای رطوبتی بر شاخص‌های نیتروفیکاسیون خالص، تغییرات خالص نیتروژن آلی محلول و معدنی‌شدن خالص نیتروژن از الگوی مشابه‌ای پیروی می‌کند. این تشابه نشان‌دهنده آن است که نیتروفیکاسیون خالص نسبت به آمونیفیکاسیون خالص سهم بیش‌تری در توجیه تغییرات معدنی‌شدن خالص نیتروژن دارد که با نتایج چن و همکاران (۲۰۱۲) هم‌خوانی دارد (شکل‌های ۲، ۳ و ۴) (۷). تاکنون پژوهش‌های اندکی در مورد تغییرات نیتروژن آلی محلول خاک در شرایط تنش خشکی انجام شده است. میزان تغییرات خالص نیتروژن آلی محلول با کاهش رطوبت خاک از ۵۵ به ۲۵ درصد گنجایش نگهداشت آب تنها در بقایای یونجه و شبدر کاهش معنی‌داری یافت و در سایر تیمارها این کاهش معنی‌دار نبود (شکل ۳). الگوی مشابه با معدنی‌شدن خالص نیتروژن و نیز همبستگی قوی بین تغییرات خالص نیتروژن آلی محلول با معدنی‌شدن خالص نیتروژن ( $r=0/992^{***}$ ) و نتایج حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) بیانگر این موضوع است که تغییرات نیتروژن آلی محلول شاخص خوبی برای تغییرات معدنی‌شدن نیتروژن خاک است (شکل‌های ۳، ۴ و ۵ و جدول ۴).

فعالیت ریزجانداران خاک (به‌عنوان مثال نیتروفیکاتورها) می‌شود، اما برخی از گزارش‌ها بیانگر آن است که برخی از ریزجانداران (به‌عنوان مثال آمونیفیکاتورها) قادرند در دوره خشکی زنده بمانند (۹). بنابراین دلیل افزایش آمونیفیکاسیون خالص با افزایش تنش خشکی می‌تواند این امر باشد (جدول ۳). چن و همکاران (۲۰۱۲) افزایش آمونیفیکاسیون و کاهش نیتروفیکاسیون با کاهش رطوبت از ۷۵ به ۳۵ درصد WHC را در دو خاک با بافت سیلتی و لوم‌سیلت گزارش داده و بیان کردند که در شرایط تنش خشکی فرم عمده معدنی‌شدن نیتروژن نیتروفیکاسیون است و آمونیفیکاسیون تنها ۱۵٪ معدنی‌شدن نیتروژن را به خود اختصاص می‌دهد (۷).

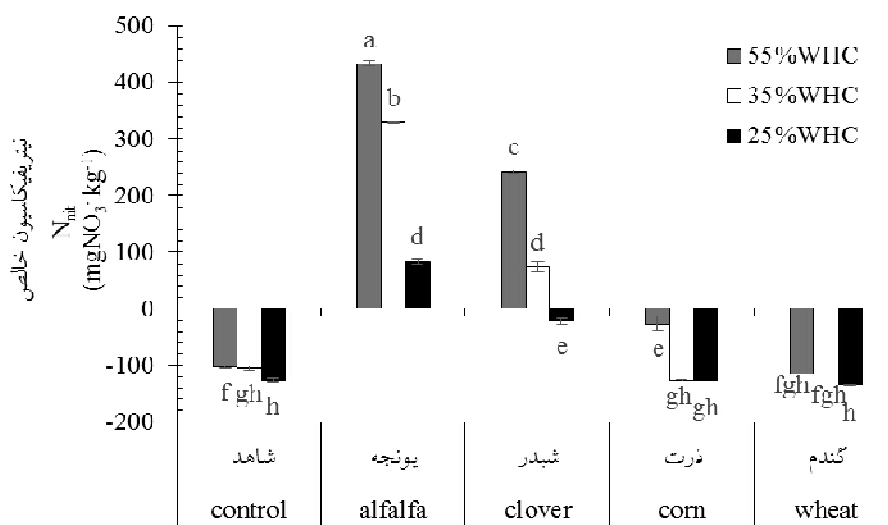
**اثر برهم‌کنش نوع بقایای گیاهی و سطوح رطوبتی خاک بر شاخص‌های اندازه‌گیری‌شده: کمترین مقدار آمونیفیکاسیون خالص در تیمار شاهد در سطح رطوبتی ۳۵ درصد گنجایش نگهداشت آب ( $35 \text{ mg NH}_4^+ \text{ kg}^{-1}$ ) و بیشترین مقدار آمونیفیکاسیون خالص در بقایای یونجه در سطح رطوبتی ۲۵ درصد گنجایش نگهداشت آب ( $42 \text{ mg NH}_4^+ \text{ kg}^{-1}$ ) دیده شد (شکل ۱). با افزایش تنش خشکی مقدار آمونیفیکاسیون خالص در تیمارهای بقایای گیاهی افزایش یافت که این افزایش در بین سطح ۵۵ و ۳۵ درصد گنجایش نگهداشت آب معنی‌دار نبود، اما در سطح ۲۵ درصد گنجایش نگهداشت تنها برای تیمارهای بقایای ذرت و شاهد افزایش معنی‌داری با افزایش تنش خشکی تا سطح ۲۵ درصد گنجایش نگهداشت آب دیده نشد (شکل ۱). اثر برهم‌کنش تنش خشکی و نوع بقایای گیاهی بر آمونیفیکاسیون خالص متفاوت از سایر شاخص‌های اندازه‌گیری‌شده بود و اثر تنش خشکی بر فرآیند آمونیفیکاسیون**





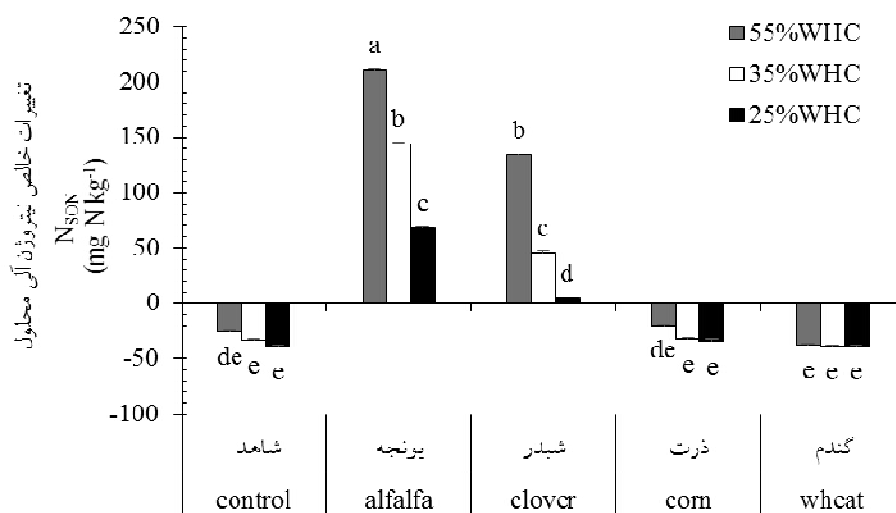
شکل ۱- آمونیفیکاسیون خالص در بقایای گیاهی مختلف در شرایط تنش خشکی.

Figure 1. Net ammonification of different crop residues in drought stress conditions.



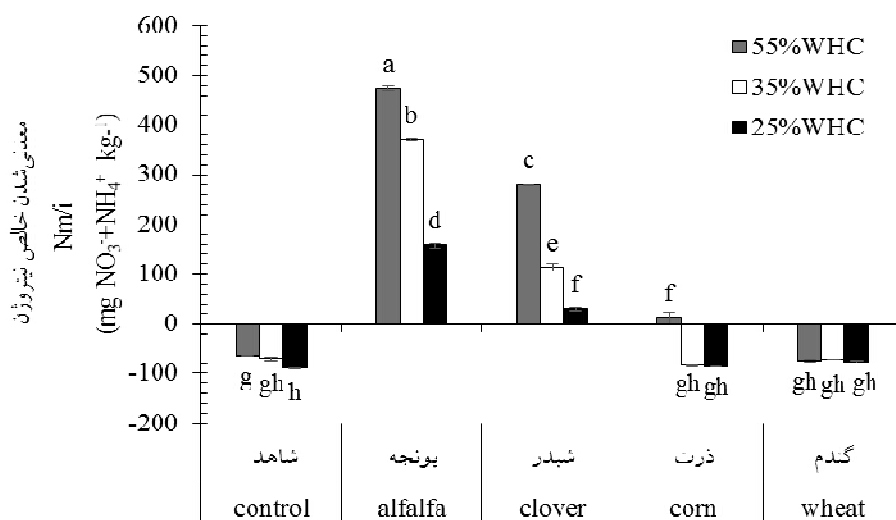
شکل ۲- نیتریفیکاسیون خالص در بقایای گیاهی مختلف در شرایط تنش خشکی.

Figure 2. Net nitrification of different crop residues in drought stress conditions.



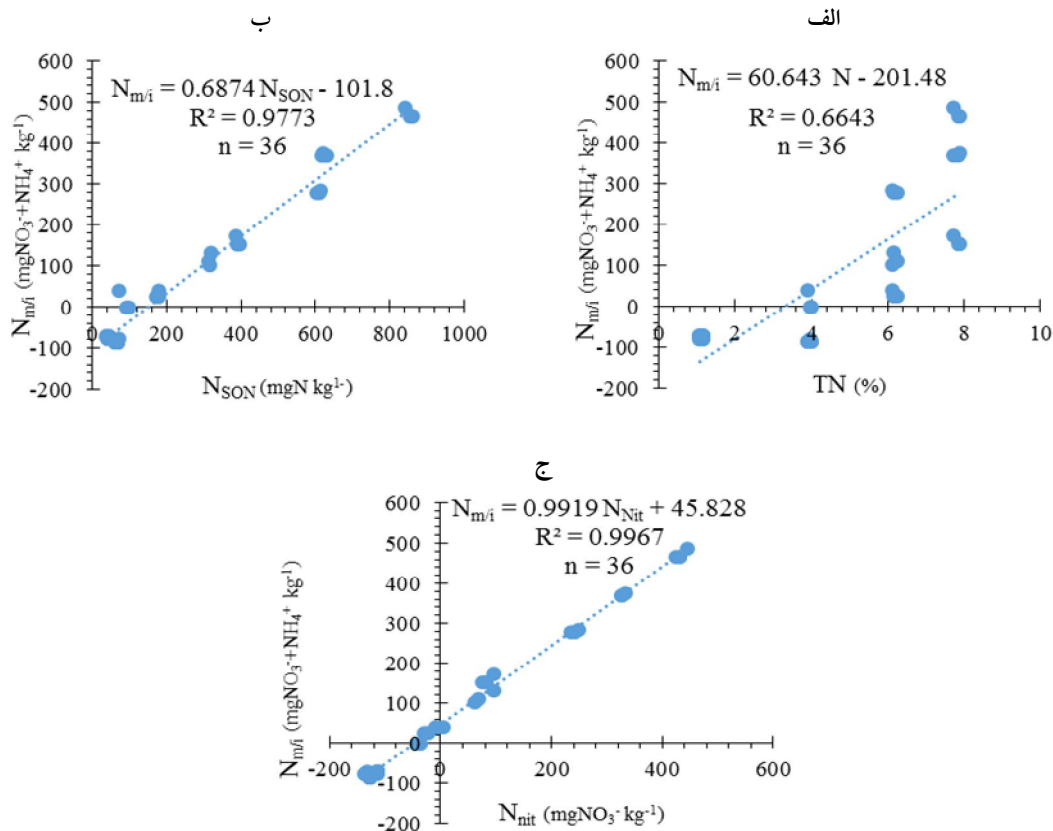
شکل ۳- تغییرات خالص نیتروژن آلی محلول در بقایای گیاهی مختلف در شرایط تنش خشکی.

Figure 3. Net changes of soluble organic nitrogen of different crop residues in drought stress conditions.



شکل ۴- معدنی شدن خالص نیتروژن در بقایای گیاهی مختلف در شرایط تنش خشکی.

Figure 4. Net nitrogen mineralization of different crop residues in drought stress conditions.



شکل ۵- رابطه رگرسیون خطی بین معدنی‌شدن خالص نیتروژن با نیتروژن بقایا (الف)، تغییرات خالص نیتروژن آلی محلول (ب) و نیتریفیکاسیون خالص (ج).

Figure 5. Linear relationships between net nitrogen mineralization with nitrogen content (TN) of residues (a), net changes soluble organic nitrogen (b) and net nitrification (c).

جدول ۴- ضرایب همبستگی پیرسون بین فرآیندهای معدنی‌شدن نیتروژن و ویژگی‌های بیوشیمیایی بقایای گیاهی در خاک تیمار شده با بقایای گیاهی.

Table 4. Pearson's correlation coefficients between N mineralization processes and biochemical characteristics of crop residue in the soil treated with crop residues.

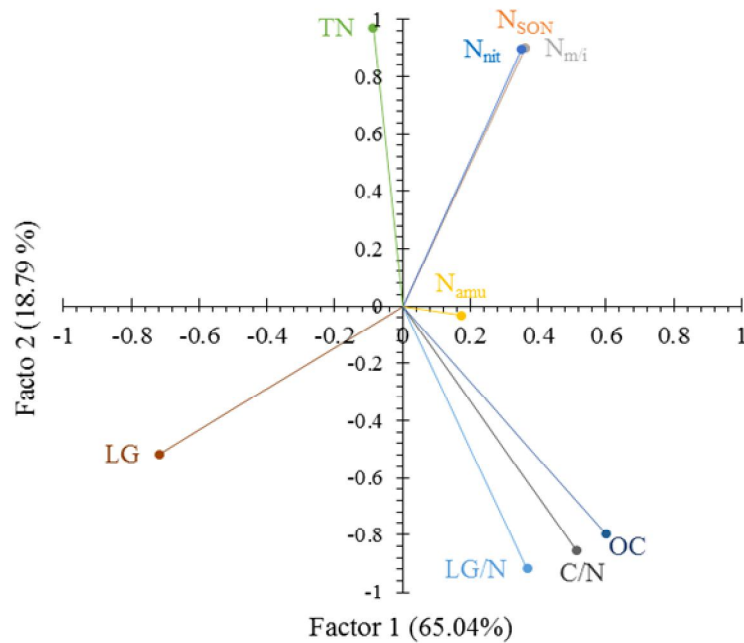
LG/N	C/N	LG	OC	TN	N <sub>SON</sub>	N <sub>nit</sub>	N <sub>amu</sub>	N <sub>m/i</sub>	ویژگی‌ها
								1	N <sub>m/i</sub>
							1	0.051	N <sub>amu</sub>
						1	-0.007	0.998***	N <sub>nit</sub>
					1	0.991***	0.048	0.992***	N <sub>SON</sub>
				1	0.803***	0.798***	0.323*	0.816***	TN
			1	-0.829***	0.138	0.145	0.342*	0.164	OC
		1	-0.020	-0.479**	-0.612***	-0.589***	-0.219	-0.605***	LG
	1	-0.110	-0.993***	-0.887***	-0.424**	-0.418**	0.117	-0.410**	C/N
1	-0.985***	-0.278	-0.962***	-0.944***	-0.657***	-0.650***	-0.016	-0.655***	LG/N

معدنی شدن خالص نیتروژن و ویژگی‌های بیوشیمیایی بقایای گیاهی همبستگی معناداری وجود دارد (جدول ۴)، نتایج تجزیه و تحلیل PCA نشان داد که دو مؤلفه اول (PC) ۸۳/۸۳ درصد از تغییرات کل واریانس داده‌ها را توجیه می‌کنند. معدنی شدن خالص نیتروژن با مقدار نیتروژن بقایا رابطه مثبت و با مقدار کربن، لیگنین، C/N و LG/N رابطه منفی دارد (شکل ۶ و جدول ۴).

معدنی شدن خالص نیتروژن با ویژگی‌های بیوشیمیایی بقایای گیاهی دارای روابط خطی، لگاریتمی و درجه دوم بود (جدول ۵). مقدار آستانه (بحرانی) ویژگی‌های بیوشیمیایی مختلف بقایا برای معدنی شدن یا ایموبیلیزاسیون خالص نیتروژن را می‌توان از معادله پیش‌بینی شده معدنی شدن خالص نیتروژن با ویژگی‌های بیوشیمیایی مختلف بقایا و با قرار دادن Y برابر با صفر و حل عددی معادله تعیین کرد (۱۵ و ۲۵). با توجه به روش توضیح داده شده مقادیر آستانه بین معدنی شدن و ایموبیلیزاسیون خالص نیتروژن برای مقدار نیتروژن بقایا ۳۳/۶ گرم بر کیلوگرم، کربن آلی ۵۷۵/۳۸ گرم بر کیلوگرم، لیگنین ۲۰۵/۹۵ گرم بر کیلوگرم و برای نسبت‌های C/N و LG/N به ترتیب ۲۳/۹۸ و ۸/۵۸ به دست آمد (جدول ۵). نتایج تجزیه و تحلیل رگرسیون چندگانه گام‌به‌گام نشان داد که مقدار نیتروژن بقایا بهترین صفت برای پیش‌بینی اثر خالص بقایای گیاهی بر پویایی نیتروژن معدنی شده در خاک است که می‌تواند ۶۶/۷۳ درصد از تغییرات معدنی شدن خالص نیتروژن را توجیه کند. این امر نشان می‌دهد که مقدار نیتروژن بقایا، پویایی نیتروژن خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد و یک متغیر کلیدی در روند معدنی شدن خالص نیتروژن بقایای گیاهی است.

اثر تنش خشکی بر شاخص‌های نیتریفیکاسیون خالص، تغییرات خالص نیتروژن آلی محلول و معدنی شدن خالص نیتروژن در بقایای تجزیه‌پذیر یونجه و شبدر نسبت به بقایای گندم و ذرت که تجزیه‌پذیری کمتری نسبت به بقایای یونجه و شبدر دارند متفاوت است (شکل‌های ۲، ۳ و ۴). به گونه‌ای که در مورد بقایای ذرت و گندم، ایموبیلیزاسیون خالص (مقادیر منفی) اتفاق افتاده است و در بقایای یونجه و شبدر (مقادیر مثبت) با افزایش رطوبت، معدنی شدن بر ایموبیلیزاسیون غالب شده و موجب آزادسازی و در دسترس قرار گرفتن نیتروژن در خاک شده است. در مورد تغییرات خالص نیتروژن آلی محلول، مقادیر منفی نشان‌دهنده مصرف شدن نیتروژن آلی توسط ریزجانداران در طول دوره انکوباسیون است که می‌تواند به دلیل استفاده از این منبع برای تامین انرژی و نیتروژن مورد نیاز جمعیت میکروبی برای انجام فرآیند تجزیه بقایای گیاهی و معدنی شدن عناصر غذایی از جمله نیتروژن باشد. همچنین این یافته نشان می‌دهد که ایموبیلیزاسیون علاوه بر منابع معدنی مانند آمونیوم و نترات در منابع آلی مانند نیتروژن آلی محلول نیز رخ می‌دهد.

چین و همکاران (۲۰۱۳) افزایش معدنی شدن نیتروژن را با افزایش رطوبت خاک از ۲۵ به ۳۵ و ۵۵ درصد گنجایش نگهداشت آب گزارش داده و بیان کردند که میزان نیتروژن بقایا یک عامل مهم در میزان تجزیه بقایا و معدنی شدن نیتروژن در خاک است (۱۶). رابطه رگرسیونی خطی معنی‌دار بین معدنی شدن خالص نیتروژن با مقدار نیتروژن بقایا  $(R^2=0/6643^{***})$  و شاخص‌های نیتریفیکاسیون خالص  $(R^2=0/9967^{***})$  و تغییرات خالص نیتروژن آلی محلول  $(R^2=0/9773^{***})$  در این پژوهش نیز نتایج این پژوهشگران را تأیید می‌کند (شکل ۵). بین



شکل ۶- نمودار آنالیز فاکتورها برای شاخص‌های اندازه‌گیری شده و ویژگی‌های بیوشیمیایی بقایای گیاهی. TN: نیتروژن کل، OC: کربن آلی، LG: لیگنین، C/N: نسبت کربن به نیتروژن، LG/N: نسبت لیگنین به نیتروژن،  $N_{m/i}$ : معدنی شدن خالص نیتروژن،  $N_{amu}$ : آمونیفیکاسیون خالص،  $N_{nit}$ : نیتریفیکاسیون خالص و  $N_{SON}$ : تغییرات خالص نیتروژن آلی محلول.

**Figure 6.** Factor analysis to the measured indexes and biochemical properties of crop residues. TN: total nitrogen, OC: organic carbon, LG: lignin, C/N: carbon to nitrogen ratio, LG/N: lignin to nitrogen ratio,  $N_{m/i}$ : net nitrogen mineralization,  $N_{amu}$ : net ammonification,  $N_{nit}$ : net nitrification and  $N_{SON}$ : net soluble organic nitrogen.

پویایی معدنی شدن نیتروژن خاک است (۲۲). در پژوهش حاضر، معدنی شدن خالص نیتروژن با محتوای اولیه نیتروژن بقایای گیاهی رابطه معنی‌داری دارد. این یافته نشان می‌دهد که محتوای نیتروژن بقایا یک عامل بسیار مهم در پیش‌بینی معدنی شدن خالص نیتروژن بقایای گیاهی در این پژوهش می‌باشد. در پژوهش حاضر، رابطه معدنی شدن خالص نیتروژن با مقدار نیتروژن بقایای گیاهی به‌طور قابل‌توجهی بیش‌تر از مقدار کربن و لیگنین و یا نسبت‌های C/N و LG/N بود (جدول ۳).

ترکیبی از مقدار نیتروژن و کربن آلی ۷۸/۸۵ درصد از تنوع معدنی شدن خالص نیتروژن را توجیه می‌نماید (نتایج نشان داده نشده است). گزارش شده است که مقدار نیتروژن اولیه بقایای گیاهی شاخص خوبی برای پیش‌بینی تجزیه بقایای گیاهی و معدنی شدن یا ایتموبیلیزاسیون نیتروژن (۲۰) است. همچنین گزارش شده است که محتوای نیتروژن و یا نسبت C/N بقایا برای پیش‌بینی اثر خالص بقایای گیاهی بر پویایی نیتروژن معدنی شده خاک کافی بوده و مقدار نیتروژن بقایای گیاهی مهم‌ترین عامل مؤثر بر

جدول ۵- معادلات رگرسیون برای تخمین معدنی شدن خالص نیتروژن با استفاده از ویژگی‌های بیوشیمیایی مختلف بقایای گیاهی.

**Table 5. Regression equations for prediction of net N mineralization using different biochemical properties of crop residues.**

حد آستانه Critical Level	F	ضریب تبیین ( $R^2$ ) Coefficient of determination ( $R^2$ )	مدل رگرسیون Regression model	متغیر کیفی Qualitative variable
33.36*	58.4	0.7797***	درجه دوم $y = 12.99 x^2 - 53.686 x - 33.733$	نیتروژن کل Total Nitrogen
575.38	10.87	0.2422**	خطی $y = -10.751 x + 618.6$	کربن آلی Organic Carbon
205.95	11.93	0.4195***	درجه دوم $y = 4.1064 x^2 - 203.82 x + 2456.1$	لیگنین Lignin
23.98	28.11	0.4526***	لگاریتمی $y = -138.8 \ln(x) + 441.01$	نسبت کربن به نیتروژن C/N ratio
8.58	48.85	0.5896***	لگاریتمی $y = -170.2 \ln(x) + 365.95$	نسبت لیگنین به نیتروژن LG/N ratio

\* حد آستانه برای نیتروژن کل، کربن آلی و لیگنین بر حسب گرم بر کیلوگرم است.

خالص نیتروژن با مقدار نیتروژن بقایا رابطه مثبت معنی‌دار و با مقدار کربن آلی، لیگنین، C/N و LG/N رابطه منفی دارد. مقدار نیتروژن در بقایای گیاهی ممکن است مهم‌ترین عامل مؤثر بر پویایی نیتروژن در خاک باشد. در نهایت، باید تاکید کرد که آزمایش ما در شرایط آزمایشگاهی، که در آن بقایای گیاهی به خوبی با خاک مخلوط شده بودند، انجام شده است، در نتیجه ممکن است نتایج آن با شرایط مزرعه متفاوت باشد. بنابراین، نتیجه‌گیری‌های این پژوهش نیاز به بررسی‌های بیشتر تحت شرایط مزرعه برای تطبیق با شرایط مزرعه دارد.

### نتیجه‌گیری کلی

با توجه به مقادیر C/N و LG/N در بقایای گیاهی می‌توان انتظار داشت که تجزیه‌پذیری در بقایای مورد مطالعه به صورت یونجه < شبدر < ذرت < گندم باشد. نوع بقایای گیاهی و تنش خشکی بر شاخص‌های معدنی شدن خالص نیتروژن، آمونیفیکاسیون خالص، نیتریفیکاسیون خالص و تغییرات خالص نیتروژن آلی محلول تأثیر معنی‌داری داشتند. اثر تنش خشکی در بقایای تجزیه‌پذیرتر یونجه و شبدر نسبت به بقایای کم‌تر تجزیه‌پذیر ذرت و گندم بر معدنی شدن خالص نیتروژن، نیتریفیکاسیون خالص و تغییرات خالص نیتروژن آلی محلول بیشتر مشهود بود. معدنی شدن

### منابع

1. Aber, J., and Melillo, J. 2001. Terrestrial Ecosystems, second ed. Harcourt Academic Press, San Diego, California, USA, 560p.
2. Bouwman, A.F., Beusen, A.H.W., Griffioen, J., Van Groenigen, J.W., Hefting, M.M., Oenema, O., Van Puijenbroek, P.J.T.M., Seitzinger, S., Slomp, C.P., and Stehfest, E. 2013. Global trends and uncertainties in terrestrial denitrification and N<sub>2</sub>O emissions. Philos. Trans. Royal Soc. Biol. Sci. 368: 1-11.
3. Burt, R. 2011. Soil Survey Laboratory Information Manual, second ed. National Soil Survey Center, Lincoln, Nebraska, USA, 530p.

4. Burtona, J., Chen, C., Xu, Z., and Ghadiria, H. 2007. Soluble organic nitrogen pools in adjacent native and plantation forests of subtropical Australia. *Soil Biol. Biochem.* 39: 2723-2734.
5. Cabrera, M.L., and Beare, M.H. 1993. Alkaline persulphate oxidation for determining total nitrogen in microbial biomass extracts. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 1007-1012.
6. Canarini, A., and Dijkstra, F.A. 2015. Dry-rewetting cycles regulate wheat carbon rhizodeposition, stabilization and nitrogen cycling. *Soil Biol. Biochem.* 81: 195-203.
7. Chen, Q.H., Feng, Y., Zhang, Y.P., Zhang, Q.C., Shamsi, I.H., Zhang, Y.S., and Lin, X.Y. 2012. Short-term responses of nitrogen mineralization and microbial community to moisture regimes in greenhouse vegetable soils. *Pedosphere.* 22: 263-272.
8. Dessureault-Romppe, J., Bernie, J., Georgallas, A., Burton, D.L., and Grant, C.A. 2011. A biophysical water function to predict the response of soil nitrogen mineralization to soil water content. *Geoderma.* 167: 214-227.
9. Fierer, N., and Schimel, J.P. 2001. Effects of drying-wetting frequency on soil carbon and nitrogen transformations. *Soil Biol. Biochem.* 34: 777-787.
10. Finn, D., Page, K., Catton, K., Strounina, E., Kienzle, M., Robertson, F., Armstrong, R., and Dalal, R. 2015. Effect of added nitrogen on plant litter decomposition depends on initial soil carbon and nitrogen stoichiometry. *Soil Biol. Biochem.* 91: 160-168.
11. Goering, H.K., and Van Soest, P.J. 1970. Forage fiber analyses (apparatus, reagents, procedures and some applications). *Agriculture Handbook no. 379*, Agriculture Research Service USDA, Washington (DC), USA, 20p.
12. Guleryuz, G., Titrek, E., and Arsalan, H. 2008. Nitrogen mineralization in the ruderal sub-alpine communities in Mount Uludag, Turkey. *Eur. J. Soil Biol.* 44: 408-418.
13. Guntinas, M.E., Leiros, M.C., Trasar-Cepeda, C., and Gil-Sotres, F. 2012. Effects of moisture and temperature on net soil nitrogen mineralization: A laboratory study. *Eur. J. Soil Biol.* 48: 73-80.
14. Hobbie, S.E. 2005. Contrasting effects of substrate and fertilizer nitrogen on the early stages of litter decomposition. *Ecosystem.* 8: 644-656.
15. Janssen, B.H. 1996. Nitrogen mineralization in relation to C/N ratio and decomposability of organic materials. *Plant Soil.* 181: 39-45.
16. Jin, V.L.R., Haney, L.A., Philip, H., and Wayne, P. 2013. Soil type and moisture regime control microbial C and N mineralization in grassland soils more than atmospheric CO<sub>2</sub>-induced changes in litter quality. *Soil Biol. Biochem.* 58: 172-180.
17. Luce, M.S., Whalen, J.K., Ziadi, N., Zebarth, B.J., and Chantigny, M.H. 2014. Labile organic nitrogen transformations in clay and sandy-loam soils amended with <sup>15</sup>N-labelled faba bean and wheat residues. *Soil Biol. Biochem.* 68: 208-218.
18. Mulvaney, R.L. 1982. Determination of ammonium, nitrate and nitrite in soil extraction- Steam distillation methods. P 1131-1139. In: D.L. Sparks, A.L. Page, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Sumner (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical methods*. American Society of Agronomy, Madison WI, USA.
19. Nemecek, T., von Richthofen, J.S., Dubois, G., Casta, P., Charles, R., and Pahl, H. 2008. Environmental impacts of introducing grain legumes into European crop rotations. *Eur. J. Agron.* 28: 380-393.
20. Nourbakhsh, F., and Dick, R.P. 2005. Net nitrogen mineralization or immobilization potential in a residue-amended calcareous soil. *Arid Land Res. Manage.* 19: 299-306.
21. Quilty, J.R., and Cattle, S.R. 2011. Use and understanding of organic amendments in Australian agriculture: a review. *Soil Res.* 49: 1-26.
22. Seneviratne, G. 2000. Litter quality and nitrogen release in tropical agriculture: a synthesis, *Biol. Fertil. Soils.* 31: 60-64.
23. Tian, Y., Ouyang, H., Gao, Q., Xu, X., Song, M., and Xu, X. 2010. Responses of soil nitrogen mineralization to temperature and moisture in alpine ecosystems on the Tibetan Plateau. *Procedia Environ. Sci.* 2: 218-224.

24. Trinsoutrot, I., Recous, S., Bentz, B., Lineres, M., Cheneby, D., and Nicolardot, B. 2000. Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetics under non-limiting nitrogen conditions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 918-926.
25. Vahdat, E., Nourbakhsh, F., and Basiri, M. 2011. Lignin content of range plant residues controls N mineralization in soil. *Eur. J. Soil Biol.* 47: 243-246.
26. Yu, Z., Huang, Z., Wang, M., Liu, R., Zheng, L., Wan, X., Hu, Z., Davis, M.R., and Lin, T.C. 2015. Nitrogen addition enhances home-field advantage during litter decomposition in subtropical forest plantations. *Soil Biol. Biochem.* 90: 188-196.
27. Zhonglu, G., Shuhua, Z., Juan, J., and Chongfa, C. 2015. Nitrogen mineralization controlled by N/P ratio of plant residues from riparian buffer strip. *Eur. J. Soil Biol.* 67: 5-11.





## The effect of crop residues quality on N mineralization under drought stress in a calcareous soil

\*M. Khorasani<sup>1</sup>, F. Nourbakhsh<sup>2</sup> and M.R. Mosaddeghi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology,

<sup>2</sup>Professor, Dept. of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology

Received: 01.16.2017; Accepted: 12.12.2017

### Abstract

**Background and Objectives:** The incorporation of plant residues into soil is a recommended management practice for maintaining or increasing the level of soil organic matter. Although, its effect may be controlled by the soil type, climate and the initial quality of the plant residues. On the other hand, climate on a global scale is changing and the increase of drought stress is predicted in a large scale. As a result of these changes, all soil processes that are related to soil moisture and temperature, including mineralization of nutrients are being affected. This study was conducted to investigate the interactive effects of drought stress and plant residues quality on N mineralization in soils treated with different plant residues.

**Materials and Methods:** For this purpose, four types of plant residues including alfalfa, clover, corn and wheat shoots were collected. Plant residues-treated soils along with a control (without plant residue application) were incubated under three soil moisture levels 25, 35 and 55% of water holding capacity at 25 °C for 150 days. At the end of incubation period, net nitrification, net ammonification, net nitrogen mineralization and net production of soluble organic nitrogen were measured.

**Results:** The results indicated that the maximum amount of net nitrification (282.33 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup> kg<sup>-1</sup>), net ammonification (52.11 mg NH<sub>4</sub><sup>+</sup> kg<sup>-1</sup>), net nitrogen mineralization (334.44 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + NH<sub>4</sub><sup>+</sup> kg<sup>-1</sup>) and net changes of soluble organic nitrogen (141.43 mg N kg<sup>-1</sup>) were observed in the alfalfa-treated soils. The measured indices were significantly increased as the level of soil water during the incubation increased. Net nitrification ( $r=0.798^{***}$ ), net nitrogen mineralization ( $r=0.816^{***}$ ) and net changes of soluble organic nitrogen ( $r=0.803^{***}$ ) had a positive and significant correlation with nitrogen concentration of the plant residues. In drought stress conditions, net nitrification ( $r=0.998^{***}$ ) is strongly correlated with net nitrogen mineralization than net ammonification ( $r=-0.007$ ). The result of principal component analysis (PCA) showed that net nitrogen mineralization had a positive relation with nitrogen amount of residues and a negative relation with the amount of carbon, lignin and ratios of C:N and LG:N; After determining the appropriate relationships among the biochemical parameters of the crop residue and net nitrogen mineralization, the critical level of net nitrogen mineralization was as follows: nitrogen 6.33, organic carbon 565.385, lignin 205.95 g kg<sup>-1</sup> and ratios of C:N and LG:N, 23.98 and 8.58 of crop residues, respectively.

**Conclusions:** In conclusion, the effect of drought stress on the N transformation indices were not similarly observed among the plant residue-treated soils. The soils treated with plant residues with greater N content (alfalfa and clover) showed to be more negatively affected by the drought stress compared to those treatments contained less initial N or greater C:N or lignin:N ratios (corn and wheat).

**Keywords:** Ammonification, Nitrification, Soluble organic nitrogen, Plant residues degradation

\* Corresponding Author; Email: mohammadkhorasani369@gmail.com

