بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده کشاورزی

پایان نامه کارشناسی ارشد شیمی و حاصلخیزی خاک

بررسی میزان تجمع نیتروژن خاک در بیوچار

نگارنده:نگار گلابتونی

استاد راهنما:

دکتر شاهین شاهسونی

استاد مشاور:

دکتر منوچهر قلی پور

اسفند ۹۶

شماره: ۱۱۳/ت
تاریخ: ۱۳۹۷/۲/۴

باسمه‌تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورت جلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم نگار گلابتونی اصل با شماره دانشجویی ۹۴۱۵۲۶۴ رشته کشاورزی گرایش خاکشناسی تحت عنوان بررسی میزان تجمع نیتروژن خاک در بیوچار که در تاریخ ۱۳۹۶/۱۲/۲۳ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

قبول (با درجه: عالی) ☑ **مردود** ☐

نوع تحقیق: **نظری** ☐ **عملی** ☑

عضو هیأت داوران	نام ونام خانوادگی	مرتبهٔ علمی	امضاء
۱ـ استادراهنمای اول	دکتر شاهین شاهسونی	استاد یار	
۲- استاد مشاور	دکتر منوچهر قلی پور	دانشیار	
۳- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر یاسر صفری	استادیار	
۴- استاد ممتحن اول	دکتر هادی قربانی	دانشیار	
۵ـ استاد ممتحن دوم	دکتر وجیهه درستکار	استاد یار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر محمد رضا عامریان

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تبصره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامهٔ خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

تقدیم به

مقدس ترین واژه ها در لغت نامه دلم، مادر مهربانم که زندگیم را مدیون مهر و عطوفت آن می دانم.

پدر مرحومم که مهربان، مشفق، بردبار و حامی بود.

همسرم که در تمام طول تحصیل همراه و همگام من بوده است.

خواهرم که وجودش شادی بخش و صفایش مایه آرامش من است.

به آنان که در راه کسب دانش راهنمایم بودند.

تعهد نامه

اینجانب **نگار گلابتونی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد **رشته علوم خاک** دانشکده **کشاورزی** دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **بررسی میزان تجمع نیتروژن خاک در بیوچار** تحت راهنمائی **دکتر شاهین شاهسونی**متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- **کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.**
- **استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.**

چکیده

نیتروژن یکی از آلاینده های مهم است که خسارات ناشی از آن منجر به مشکلات منطقه ای، بین المللی و جهانی شده است. در اکثر مناطق، کشاورزی منبع اصلی آلودگی نیتروژنی آب های سطحی و زیرزمینی است. وقتی نیتروژن ورودی از طریق کود ها و نیتروژن خروجی در تولیدات (محصول و کاه و کلش) با هم مقایسه می گردند، معمولا نیتروژن اضافی قابل توجهی وجود دارد که این نیتروژن اضافی یا در خاک ذخیره می شود یا از طریق آبشویی به محیط زیست وارد شده و تلف می شود . نیتروژن اضافی که توسط گیاه جذب نمی شود در معرض تلفات از طریق نیترات زدایی، رواناب، تصعید و آبشویی قرار دارد که باعث آلودگی آب و انتشار گازهای گلخانه ای می شود. بیوچار می تواند از هر زیست توده ای از جمله پسماند های زراعی، جنگلی و خانگی و کود های حیوانی ساخته شود. مواد اولیه تحت یک فرآیند به نام گرماکافت یا تجزیه حرارتی- شیمیایی که نتیجه آن یک بازآرایی در مولکول زیست توده می باشد. طرح آزمایش به صورت فاکتوریل بر اساس طرح کاملا" تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. فاکتور های آزمایش شامل فاکتور نیتروژن در ۴ سطح [سطح ۱: فاقد نیتروژن، سطح ۲: ۸۰کیلوگرم در هکتار نیتروژن، سطح ۳: ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، سطح ۴: ۳۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، و بیوچار در ۲سطح[سطح ۱: فاقد بیوچار و سطح ۲: بیوچار تهیه شده از سبوس برنج به مقدار ۳۰ گرم (۱ درصد وزنی خاک گلدان)]. با توجه به تعدا تیمار و تکرار، تعداد ۸۰ عدد گلدان به عنوان واحد کشت قرار گرفت. به طور کلی کاربرد بیوچار سبوس برنج چه به صورت تنها و چه در ترکیب با سطوح مختلف اوره اثر مثبتی بر ویژگی شیمیایی و فیزیکی خاک مورد مطالعه داشت و توانست حاصلخیزی خاک را بهبود بخشد و همچنین کاربرد بیوچار سبوس برنج موجب افزایش کربن آلی خاک، نیتروژن کل خاک، نیترات خاک، رطوبت خاک و کاهش آمونیوم و وزن مخصوص ظاهری خاک شد. کاهش آمونیوم خاک در اثر کاربرد بیوچار احتمالا به دلیل جذب سطحی آمونیوم روی سطوح بیوچار باشد که می‌تواند به حفظ و نگهداری نیتروژن و کاهش تلفات نیتروژن

خاک کمک کند. با افزایش سطح کاربرد اوره مقدار نیترات، آمونیوم، نیتروژن کل، کربن آلی، وزن مخصوص ظاهری خاک افزایش و pH خاک کاهش یافت. کاربرد همزمان بیوچار سبوس برنج و کود اوره در سطوح مختلف موجب افزایش بیشتر نیترات، نیتروژن کل، کربن آلی و کاهش بیشتر آمونیوم خاک نسبت به کاربرد تنهای اوره شد. این نتایج نشان دهنده اثر سینرژیسمی بیوچار و اوره بر پارامترهای مذکور است کاربرد بیوچار سبوس برنج توانست پارامترهای رشد گیاه لوبیا را به طور معنی‌داری افزایش دهد که این می‌تواند بیان گر کارایی مناسب بیوچار سبوس برنج به عنوان یک کود آلی باشد.

-کلمات کلیدی : بیوچار، آمونیوم، نیترات ، کربن آلی.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه.....۱

۱-۱مقدمه.....۲

فصل دوم:کلیات و بررسی منابع.....۷

۲-۱-لوبیا.....۸

۲-۲-نیتروژن.....۸

۲-۲-۱-اهمیت و نقش نیتروژن درگیاهان.....۸

۲-۳-کودهای شیمیایی.....۱۰

۲-۳-۱-کودهای شیمیایی نیتروژن دار.....۱۰

۲-۳-۲-تاثیر کود نیتروژن بر رشد بقولات.....۱۱

۲-۳-۳-معدنی شدن نیتروژن آلی خاک.....۱۲

۲-۳-۴-فرم های قابل استفاده نیتروژن.....۱۳

۲-۳-۵-اثرات نامطلوب کودهای شیمیایی نیتروژن دار بر حیط زیست.....۱۳

۲-۳-۶-تثبیت زیستی نیتروژن.....۱۴

۲-۳-۷-کود اوره.....۱۵

۲-۳-۸-علل کاهش کارایی مصرف کود های نیتروژنه.....۱۵
۲-۳-۸-۱-شستشوی نیتروژن توسط آب.....۱۶
۲-۳-۸-۲-پدیده دنیتریفیکاسیون.....۱۶
۲-۳-۹-مضرات و زیان های مصرف کود های شیمیایی.....۱۶
۲-۴-بیوچار.....۱۸
۲-۴-۱-ریشه علمی بیوچار.....۱۹
۲-۴-۲-بیوچار چیست.....۲۰
۲-۴-۳-بیوچار چگونه ساخته می شود.....۲۰
۲-۵-محتوی مغذی بیوچار.....۲۱
۲-۶-تاثیر بیوچار بر کیفیت خاک.....۲۲
۲-۶-۱-تاثیر بیوچار بر خصوصیات فیزیکی خاک.....۲۴
۲-۶-۲-تاثیر بیوچار بر pH خاک.....۲۶
۲-۷-تاثیر بیوچار بر عناصر غذایی.....۲۷
۲-۸-مفاهیم حفظ مواد مغذی بیشتر در خاک اصلاح شده با بیوچار.....۲۹
۲-۸-۱-تاثیر بیوچار بر آبشویی عناصر غذایی.....۲۹
۲-۸-۲-تاثیر بیوچار بر راندمان مصرف کود.....۳۰

۲-۹-تاثیرات مستقیم و غیر مستقیم بیوچار روی تغییر شکل مواد مغذی خاک.....۳۱

۲-۹-۱-نیتروژن.....۳۱

۲-۹-۱-۱-آمونیفیکاسیون و نیتریفیکاسیون.....۳۱

۲-۹-۱-۲-ایموبلیزاسیون،تصاعد و دنیتریفیکاسیون.....۳۴

۲-۹-۱-۳-تثبیت بیولوژیکی نیتروژن.....۳۶

فصل سوم: مواد و روش ها.....۳۹

۳-۱-آزمایش گلدانی.....۴۰

۳-۱-۱-خصوصیات خاک.....۴۰

۳-۱-۲-آماده سازی خاک برای آزمایش گلخانه ای.....۴۱

۳-۱-۳-طرح آزمایشی و شرایط رشد.....۴۲

۳-۱-۴-تعیین ظرفیت زراعی خاک گلدان ها و نحوه آبیاری.....۴۲

۳-۱-۵-نحوه کاشت در گلدان ها.....۴۲

۳-۱-۶-نمونه برداری خاک و گیاهی.....۴۳

۳-۲-تهیه بیوچار.....۴۴

۳-۲-۱-بیوچار سبوس برنج.....۴۴

۳-۳-اندازه گیری اسیدیته خاک.....۴۵

۳-۴-اندازه گیری درصد کربن آلی.....۴۵

۳-۵-اندازه گیری ازت کل و آمونیاک به روش کجدال.....۴۶

۳-۶-اندازه گیری ازت نیتراته با روش دیازو.....۴۶

۳-۷- تجزیه و تحلیل آماری.....۴۷

فصل چهارم: نتایج و بحث.....۴۹

۴-۱-بررسی اثرات بیوچار و کود اوره.....۵۰

۴-۱-۱-اثرات بیوچار و کود اوره بر مقدار آمونیوم خاک.....۵۰

۴-۱-۲- اثرات بیوچار و کود اوره بر مقدار نیترات خاک.....۵۳

۴-۱-۳- اثرات بیوچار و کود اوره بر مقدار نیتروژن خاک.....۵۶

۴-۱-۴- اثرات بیوچار و کود اوره بر مقدار کربن آلی خاک.....۶۰

۴-۱-۵- اثرات بیوچار و کود اوره بر مقدار pH.....۶۳

۴-۱-۶- اثرات بیوچار و کود اوره بر مقدار وزن مخصوص ظاهری خاک.....۶۶

۴-۱-۷- اثرات بیوچار و کود اوره بر مقدار رطوبت وزنی خاک.....۷۰

۴-۱-۸- اثرات بیوچار و کود اوره بر مقدار وزن خشک ریشه گیاه.....۷۳

۴-۱-۹- اثرات بیوچار و کود اوره بر مقدار وزن خشک ساقه.....۷۷

۴-۱-۱۰- اثرات بیوچار و کود اوره بر مقدار وزن خشک برگ.....۸۰

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادها.....۸۷

فصل شش: منابع.....۹۱

-فهرست شکل ها

شکل۲-۱- ساقه گندم و بیوچار تهیه شده از آن.....۱۹

شکل۲-۲- اثر بیوچار چوب کاج بر ظرفیت نگهداری آب یک خاک شنی.....۲۵

شکل۲-۳- آنتروسول غنی از بیوچار (Terra preta) برای یک مقدارکربن آلی معین، دارای یک CEC بالاتر از خاک های اصلاح نشده مجاور.....۲۸

شکل۳-۱- رشد گیاه لوبیا در هفته اول.....۴۳

شکل۳-۲- اولین مرحله نمونه گیری خاک و لوبیا.....۴۴

شکل۳-۳- سبوس برنج و بیوچار تهیه شده از آن.....۴۵

فهرست جداول

جدول۳-۱- نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه..... ۴۱

جدول۴-۱- نتایج تجزیه واریانس مقدار آمونیوم خاک..... ۵۰

جدول ۴-۲. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی بیوچار، اثر اصلی کود اوره و اثر متقابل بیوچار و کود اوره بر مقدار آمونیوم خاک در روزهای ۳۰، ۵۰، ۷۰، ۹۰ و ۱۰۰ بعد از کشت گیاه..... ۵۱

جدول ۴-۳. نتایج تجزیه واریانس مقدار نیترات خاک..... ۵۳

جدول ۴-۴. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی بیوچار، اثر اصلی کود اوره و اثر متقابل بیوچار و کود اوره بر مقدار نیترات خاک در روزهای ۳۰، ۵۰، ۷۰، ۹۰ و ۱۰۰ بعد از کشت گیاه..... ۵۴

جدول ۴-۵. نتایج تجزیه واریانس مقدار نیتروژن کل خاک..... ۵۷

جدول ۴-۶. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی بیوچار، اثر اصلی کود اوره و اثر متقابل بیوچار و کود اوره بر مقدار نیتروژن کل خاک در روزهای ۳۰، ۵۰، ۷۰، ۹۰ و ۱۰۰ بعد از کشت گیاه..... ۵۸

جدول-۴-۷. نتایج تجزیه واریانس مقدار کربن آلی خاک..... ۶۰

جدول-۴-۸. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی بیوچار، اثر اصلی کود اوره و اثر متقابل بیوچار و کود اوره بر مقدار کربن آلی خاک در روزهای ۳۰، ۵۰، ۷۰، ۹۰ و ۱۰۰ بعد از کشت گیاه..... ۶۱

جدول ۴-۹. نتایج تجزیه واریانس مقدار *pH* خاک..... ۶۴

جدول ۴-۱۰. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی بیوچار، اثر اصلی کود اوره و اثر متقابل بیوچار و کود اوره بر مقدار pH خاک در روزهای ۳۰، ۵۰، ۷۰، ۹۰ و ۱۰۰ بعد از کشت گیاه..... ۶۵

جدول ۴-۱۱. نتایج تجزیه واریانس مقدار وزن مخصوص ظاهری خاک.....۶۷

جدول ۴-۱۲. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی بیوچار، اثر اصلی کود اوره و اثر متقابل بیوچار و کود اوره بر مقدار وزن مخصوص ظاهری خاک در روزهای ۳۰، ۵۰، ۷۰، ۹۰ و ۱۰۰ بعد از کشت گیاه....۶۸

جدول ۴-۱۳. نتایج تجزیه واریانس درصد رطوبت وزنی خاک.....۷۰

جدول ۴-۱۴. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی بیوچار، اثر اصلی کود اوره و اثر متقابل بیوچار و کود اوره بر درصد رطوبت وزنی خاک در روزهای ۳۰، ۵۰، ۷۰، ۹۰ و ۱۰۰ بعد از کشت گیاه.....۷۱

جدول ۴-۱۵. نتایج تجزیه واریانس مقدار وزن خشک ریشه گیاه لوبیا.....۷۳

جدول ۴-۱۶. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی بیوچار، اثر اصلی کود اوره و اثر متقابل بیوچار و کود اوره بر وزن خشک ریشه گیاه لوبیا در روزهای ۳۰، ۵۰، ۷۰، ۹۰ و ۱۰۰ بعد از کشت گیاه.....۷۵

جدول ۴-۱۷. نتایج تجزیه واریانس مقدار وزن خشک ساقه گیاه لوبیا.....۷۷

جدول ۴-۱۸. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی بیوچار، اثر اصلی کود اوره و اثر متقابل بیوچار و کود اوره بر وزن خشک ساقه گیاه لوبیا در روزهای ۳۰، ۵۰، ۷۰، ۹۰ و ۱۰۰ بعد از کشت گیاه.....۷۹

جدول ۴-۱۹. نتایج تجزیه واریانس مقدار وزن خشک برگ گیاه لوبیا.....۸۰

جدول ۴-۲۰. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی بیوچار، اثر اصلی کود اوره و اثر متقابل بیوچار و کود اوره بر وزن خشک برگ گیاه لوبیا در روزهای ۳۰، ۵۰، ۷۰، ۹۰ و ۱۰۰ بعد از کشت گیاه.....۸۴

فصل اول

مقدمه

۱-۱-مقدمه

نیتروژن یکی از مهمترین عوامل محدودکننده تولید محصولات زراعی است. میانگین مقدار نیتروژن در ماده خشک گیاهان ۲-۱ درصد و گاهی به ۶-۴ درصد نیز می رسد. نیتروژن در بین ۱۶ عنصر مورد نیاز گیاهان از نظر اهمیت در جای چهارم قرار دارد. می توان گفت هیچ جایی نیست که در آن کمبود نیتروژن وجود نداشته باشد (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۸۲).

نیتروژن یکی از ترکیبات اساسی در تغذیه گیاهان زراعی نظیر توتون می باشد، کمبود عنصر نیتروژن عملکرد گیاه را کاهش می دهد (هارت و همکاران، ۱۹۹۵). مدیریت نامناسب استفاده از نیتروژن از اصلی ترین عوامل کاهش دهنده عملکرد گیاه محسوب می شوند و تعیین مقدار مناسب مصرف نیتروژن از مهمترین عوامل موثر در کارایی مصرف این عنصر محسوب می شود (وینهود و همکاران، ۱۹۹۵). مقدار مصرف نیتروژن به عوامل مختلفی چون، فراهمی آب در خاک، تراکم بوته و رقم مورد استفاده بستگی دار. جذب نیتروژن نیز تحت تاثیر عوامل مختلفی چون جذب آب، رطوبت خاک و شرایط آب و هوایی می باشد (نورود و همکاران، ۲۰۰۰). مقادیر بالای نیتروژن مصرفی در زراعت گیاهان مختلف دلالت بر ناکارامدی استفاده و خطر از دست رفتن نیتروژن مصرفی محیط دارد. کارایی انتقال نیتروژن ذخیره شده در ساقه سبز گیاهان به برگ های گیاه ممکن است با افزایش ذخیره نیتروژن در داخل گیاه بهبود یابد (روسیت و همکاران، ۲۰۰۱).

پیشرفت علوم و به کار گیری آن در جوامع بشری و بهره مند شدن از تسهیلات زندگی، ارتقاء بهداشت عمومی، افزایش روز افزون جمعیت و به دنبال آن نیاز های بیشتر که خود موجبات بهره برداری هرچه بیشتر از طبیعت را فراهم می کند، سبب افزایش بار آلاینده ها در طبیعت شده است. هر چند ساز و کار طبیعت به گونه ای است که پس از مدتی بدون تحمل آسیب های غیر قابل برگشت، شرایط پایدار خود را باز می یابد، اما گاهی افزایش مواد زائد به حدی است که باعث به هم

خوردن تعادل طبیعت و عدم امکان بازگشت به حالت اولیه شده و در نتیجه باعث تخریب محیط زیست می شود.

نیتروژن یکی از آلاینده های مهم است که خسارات ناشی از آن منجر به مشکلات منطقه ای، بین المللی و جهانی شده است. در اکثر مناطق، کشاورزی منبع اصلی آلودگی نیتروژنی آب های سطحی و زیرزمینی است (کیلمار و همکاران، ۲۰۰۴). نیتروژن یکی از عناصر اصلی برای گیاهان است که به دو صورت آلی و معدنی وجود دارد. بیشتر از ۹۰ درصد نیتروژن کل خاک، نیتروژن آلی است که توسط گیاه قابل جذب نیست. نیتروژن معدنی شامل نیترات، آمونیوم، نیتریت و آمونیاک است که نیترات و آمونیوم به راحتی جذب گیاه شده ولی آمونیاک و نیتریت برای گیاهان سمی هستند (گالووی و همکاران، ۲۰۰۴؛ هیومن و همکاران، ۲۰۰۲).

وقتی نیتروژن ورودی از طریق کود ها و نیتروژن خروجی در تولیدات (محصول و کاه و کلش) با هم مقایسه می گردند، معمولا نیتروژن اضافی قابل توجهی وجود دارد که این نیتروژن اضافی یا در خاک ذخیره می شود یا از طریق آبشویی به محیط زیست وارد شده و تلف می شود (بچمن و همکاران، ۱۹۹۸؛ ولف و همکاران، ۲۰۰۴). نیتروژن اضافی که توسط گیاه جذب نمی شود در معرض تلفات از طریق نیترات زدایی، رواناب، تصعید و آبشویی قرار دارد که باعث آلودگی آب و انتشار گازهای گلخانه ای می شود (بایلوک و همکاران، ۲۰۰۵). سرنوشت نیتروژن در خاک بستگی به گیاه، اقلیم، خصوصیات (فیزیکی و شیمیایی)، میزان کود شیوه آبیاری دارد (مالهی و همکاران، ۲۰۰۱).

نیترات یکی از آلاینده های منابع آب زیرزمینی است و اگر غلظت آن در آب آشامیدنی از حد مجاز (۵۰ میلی گرم در لیتر) فراتر رود باعث یک سری اثرات منفی مانند نقض مادرزادی ، سرطان، آسیب به سیستم عصبی و بیماری مت هموگلوبینمیا می گردد (جمیسون و همکاران، ۱۹۹۴؛ کنی و همکاران، ۱۹۸۷).

با توجه به اینکه راندمان آبیاری سطحی پایین است و کشاورزان برای افزایش عملکرد محصولات، کود اوره زیادی به زمین اضافه می کنند، آبشویی نیتروژن نیتراتی به آب های زیرزمینی، مخصوصا در خاک های با بافت سبک، حتمی است (جلالی، ۲۰۰۵).

میزان مصرف کودهای شیمیایی در کشور در چهل سال اخیر حدود ۷۵ برابر شده است (حبیبی و همکاران، ۱۳۸۶). کود های شیمیایی نقش موثری در افزایش عملکرد محصولات زراعی داشته و مصرف بی رویه آن باعث بروز مسائل زیست محیطی و به مخاطره افتادن سلامت انسان، تخلیه منابع غیر تجدید شونده و کاهش مقاومت گیاهان به آفات و بیماری ها می شود (براندت، ۲۰۰۸؛ شارما، ۲۰۰۲؛ شیواپور و همکاران، ۲۰۰۴). مصرف کودهای شیمیایی در قاره آسیا از ۱/۵ میلیون تن در سال ۱۹۶۱ به ۴۷ میلیون تن در سال ۱۹۹۶ رسیده است که این مقدار در سال ۲۰۱۰ به ۷۵ میلیون تن رسید است (آمارنامه کشاورزی،۱۳۸۵). استفاده از کود های آلی علاوه بر کمیت، در کیفیت و افزایش پایداری تولید نیز موثرند و از این جهت مورد توجه عام و خاص می باشند. این کودها در بدست آوردن نتایج مطلوب اقتصادی، کاهش آلودگی محیط زیست، حفظ ذخایر ملی و شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک کمک خواهند کرد و در این میان گیاهان دارویی و معطر از جایگاه خاص تحقیقاتی برخوردار شده اند (بروسارد و فررا سناتو، ۱۹۹۷). در یک نظام زراعی، کودهای آلی بتدریج نیتروژن را آزاد می نمایند که این ویژگی اثر بسزایی در افزایش کیفیت خاک، بهره وری اقتصادی و حفظ منابع ملی کشور دارد (کوتالا و همکاران، ۱۹۹۲). استفاده از کودهای آلی سبب تقویت مقدار نیتروژن و در نتیجه افزایش رشد رویشی، عملکرد بذر، تجمع ماده خشک در گیاه، بهبود کمی و کیفی تولید و همچنین افزایش قابلیت جذب بالاترین میزان N.P.K قابل جذب در بخش های سطحی خاک خواهد شد (مارچزینی و همکاران، ۱۹۹۸).

چگونگی تاثیر کودهای کنترل رهش بر کاهش آبشویی در شرایط آبشویی شدید به خوبی شناخته شده نیست ولی استفاده از بیوچار به عنوان افزایش دهنده ی سطوح جاذب می تواند نقش

بسزایی در این زمینه ایفا کند (هالیستر و همکاران، ۲۰۱۳؛ ژانگ و همکاران،۲۰۱۵). بیوچار محصول تجزیه ی حرارتی زیست توده، نظیر چوب، برگ گیاهان، باقیمانده کشاورزی و کود حیوانی در یک فضای بسته ی فاقد اکسیژن یا دارای اکسیژن محدود و تحت حرارت زیاد می باشد. بیوچار مقاومت بالایی در برابر تجزیه داشته و توانایی بسیار بالایی در جذب یون ها در مقایسه با سایر اشکال مواد آلی خاک دارا می باشد (لیانگ و همکاران، ۲۰۰۶؛ لمان، ۲۰۰۷). سطح ذرات خاک، پارامتر فیزیکی مهمی است که نگهداری آب در خاک، ظرفیت نگهداری عناصر غذایی، تهویه و فعالیت میکروبی خاک را کنترل می کند (ون-ژوئیتن و همکاران، ۲۰۰۹؛ برانتلی و همکاران، ۲۰۱۵). تخلخل و توزیع اندازه منافذ خاک در ایجاد فضایی برای حفظ مواد مغذی موثر است. سطح ویژه بالای بیوچار، فضای لازم برای تجمع کاتیون ها و آنیون ها و پیوند آن ها با عناصر و فلزات خاک را فراهم کرده و ظرفیت حفظ مواد غذایی خاک را بهبود می بخشد (لی و همکاران، ۲۰۱۴).

منافذ بسیار ریز بیوچار (<50 nm) با داشتن قابلیت جذب موادی شامل گازها و مواد مغذی درون خاک و همچنین افزایش سطح ویژه کل، زیستگاه مناسبی را برای انواع گسترده ای از ریز جانداران فراهم می کنند (توره و تامپسون، ۲۰۰۵). سطح ویژه بیوچار که عموما"از شن و رس بالاتر است منجر به افزایش سطح ویژه کل خاک در نتیجه ی افزودن آن به خاک می شود. بیوچار میتواند ساختمان و تهویه خاک را در خاک های ریز بافت بهبود دهد (کلب، ۲۰۰۷).

در این تحقیق از بیوچار کاه و کلش به منظور جلوگیری از آبشویی نیترات و بهبود ویژگی های خاک استفاده شده است.

فصل دوم

کلیات و بررسی منابع

۲-۱- لوبیا

نیاز بشر به انرژی به طور متوسط روزانه معادل ۲۸۰۰ کالری است. در کشورهای توسعه یافته مصرف روزانه کالری ۳۵۰۰ و در کشورهای جهان سوم این میزان به ۲۲۰۰ کالری برای هر فرد کاهش می یابد (مجنون حسینی، ۱۳۷۲). کمبود پروتئین نیز در تغذیه میلیون ها نفر انسان در کشورهای رشد نیافته امروزه یکی از مشکلات حاد تغذیه ای محسوب می شود. دانه حبوبات به عنوان یکی از مهمترین منابع گیاهی غنی از پروتئین بعد از غلات و دومین منبع مهم غذایی انسان به شمار می رود (پارسا، و باقری، ۱۳۷۸).

لوبیا چشم بلبلی vigna unguiculata spp. Sinensis یکی از قدیمی ترین گیاهان مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری آفریقاست (کوچکی، و بنایان اول، ۱۳۶۸). بذور بالغ آن حاوی ۲۳٪ پروتئین، ۹٪ نشاسته و ۲٪ چربی می باشد (چابوت و همکاران،۱۹۹۶). لوبیاهای موجود در ایران دارای تنوع بسیار بالایی از نظر صفات کیفی و کمی هستند.

۲-۲- نیتروژن

۲-۲-۱-اهمیت و نقش نیتروژن در گیاهان

نیتروژن یکی از مهمترین عناصر غذایی در تولید گیاهان زراعی است که مقدار آن در گیاهان بعد از کربن اکسیژن و هیدروژن بیش از سایر عناصر غذایی است(ملکوتی و همکاران، ۱۳۷۰). منبع اصلی نیتروژن که به وسیله گیاهان استفاده می شود گاز N2است که ۷۸ درصد هوا را تشکیل می دهد. به دلیل سیکل های پیچیده نیتروژن در محیط گیاه، مدیریت نیتروژن کار مشکلی است. نیتروژن عنصری است که عرضه آن به وسیله انسان قابل تنظیم است. این عنصر نقش اساسی در باروری گیاهان ایفا می کند زیرا یک ترکیب اصلی در اسیدهای آمینه، پروتئینها، اسید های نوکلئیک و کلروفیل می باشد. به علاوه نیتروژن نقش ویژه ای در استقرار گیاه و کسب توانایی های فتوسنتزی و

فیزیولوژیکی متعدد دارد که در نهایت تاثیر مستقیمی بر روی عملکرد خواهد داشت (اندرسون،۱۹۸۴؛ بلوو وجنتری، ۱۹۹۲). جذب کافی نیتروژن به وسیله گیاه موجب افـزایش پـروتئین، درشـتی میـوه و اندازه دانه غلات و حبوبات می شود و هر چه غلظت آن در برگ ها افزایش یابد، شدت کربن گیری را زیادتر می کند. زیرا نیتروژن غیر از آنکه به صورت پروتئین در گیاه وجود دارد عنصـر اصـلی تشـکیل دهنده کلروفیل یا سبزینه گیاه نیز می باشد کـه عامـل اصـلی در کـربن گیـری اسـت (حـاجی زاده، ۱۳۶۹).

وظیفه اصلی نیتروژن تکثیر سلولی، افزایش طول سلول و تمایز سلول است. بـا تـامین نیتـروزن کافی، گیاه بلند تر شده و شاخه ها و برگ های با کلروفیل بیشتری را تولید می نمایـد. بـه عـلاوه بـا تأمین این عنصر سطح فتوسنتز کننده افزایش می یابد که نتیجه این امر، تولید بیشتر ماده خشک در گیاه می باشد. همچنین افزایش نیتروژن درگیاه سبب افزایش بنزیل آدنین می گـردد کـه مـی توانـد پیری را به تاخیر انداخته و شکل میوه را نیز تغییر دهد (صالحی، ۱۳۸۰).

نیتروژن در خاک و گیاه پویا می باشد و کمبود آن در گیاه سبب تجزیه پروتئین در بـرگ هـای مسن و تبدیل آن به اسید های آمینه محلول و انتقال آن به قسمت های جوانتر و مریستم می گـردد. از علایم ظاهری کمبود این عنصر پریدگی رنگ یا زردی برگ ها، ریزش قبل از موعد برگ های مسن، کوچک ماندن و رشد کم گیاه، ساقه های راست و کشیده، کم شـدن شـاخه هـا، کـوچکی گـل هـا و بالاخره افت کمی و کیفی محصول می باشد که معلول تجزیه کلروپلاست ناشی از تجزیـه پـروتئین و کاهش کلروفیل است (منگل و کرکبی، ۱۳۷۶). رشد ریشه نیز متاثر از این کمبـود خواهـد بـود ولـی قسمت های هوایی گیاه بیشتر از ریشه تحت تاثیر قرار می گیرد. گیاهانی که دچـار کمبـود نیتـروژن هستند زودتر به مرحله گلدهی و رسیدگی رسیده و نمو و رویش کمتـری دارنـد. ایـن پیـری زودرس ممکن است مربوط به تاثیر میزان نیتروزن بر ساخته شدن سیتوکینین ها باشد. وقتی تغذیه نیتـروژن کافی نباشد، ساخته شدن سیتوکینین ها کاهش می یابد و کاهش این هورمون سبب پیری می شـود

(حق پرست تنها، ۱۳۷۱). البته افزایش بیش از حد نیتروژن نیز اثرات جانبی و سویی به دنبال دارد، از جمله اینکه زیادی نیتروژن سبب کاهش نشاسته و ساکاروز در برگ ها، پوسیدگی ریشه، کاهش جذب آهن، کاهش میوه، افزایش غلظت آبسزیک اسید در برگ ها و گلبرگ ها و در نتیجه تشدید پیری و ریزش برگ ها و جلوگیری از انتقال یون پتاسیم به روزنه ها می شود (منگل و کرکبی، ۱۳۷۶). منشا اصلی نیتروژن برای تغذیه گیاهان یون های نیترات و آمونیوم می باشد، تغذیه نیتروژنی گیاهان در شرایط طبیعی بوسیله جذب آنیون نیترات(NO_3^-) وکاتیون آمونیوم(NH_4^+) از محلول خاک صورت می گیرد (فرزانه، ۱۳۷۴).

۲-۳-کودهای شیمیایی

۲-۳-۱-کودهای شیمیایی نیتروژن دار

نخستین گام در ساختن کود های نیتروژنه تولید آمونیاک با استفاده از گاز متان و نیتروژن هوا طبق فرآیند شیمیایی هابر بوش بوده است. آمونیاک گازی شکل دارای ۸۲% نیتروژن بوده و رعایت احتیاط های اولیه هنگام تزریق آن در خاک الزامی است. آمونیاک میل ترکیبی شدیدی با اب دارد از این رو برای موجودات زنده ی خاک سمی بوده و سبب خشک شدن بافت هایی که با آن تماس حاصل کنند می گردد. معمولا تلفات ناشی از تصعید آمونیاک از سطح کشتزارها با افزایش دما و تبخیر آب از خاک قابل توجه می گردد. برای کاهش این گونه ضایعات بهتر است کود های نیتروژنی را از طریق پخش و مخلوط کردن در عمق چند سانتیمتری به خاک افزود. آمونیاک ماده حساسی برای تهیه انواع کود های نیتروزنی بوده و کود های مختلف از ترکیب آن با موادی نظیر کربن دی اکسید، اسید سولفوریک و اسید نیتریک بدست می آید کود های نیتروزن به سه گروه آمونیاکی و نیتراتی و کند جذب تقسیم می شوند. که مهمترین آن ها برای خاک های مناطق خشک و نیمه خشک اوره، سولفات آمونیوم و نیترات پتاسیم و همچنین ازکودهای دیگر مثل دی و منو امونیوم فسفات و غیره نیز می توان نام برد (هیگن و تاکر، ۱۳۷۶).

۲-۳-۲تاثیرکود نیتروژن بر رشد بقولات

افزایش عرضه نیتروژن به گیاه باعث افزایش جذب فسفر می شود. اثر مثبت نیتروژن را در جذب فسفر می توان عمدتا ناشی از فزونی رشد (توسعه ریشه) در اثر افزایش نیتروژن دانست. دسترسی بیشتر به نیتروژن، قابلیت جذب، تجمع ماده خشک و انتقال مواد غذایی را در مراحل اولیه رشد به نحو چشمگیری افزایش می دهد که به نوبه خود صفات عملکرد را بهبود می دهد (کومار و همکاران، ۲۰۰۲؛ شارماو همکاران، ۲۰۰۳). رشد رویشی بهتر و در نتیجه استفاده مناسب تر از تشعشع خورشیدی در فتوسنتز متأثر از نیتروزن قابل جذب است (مارشنر، ۱۹۹۵).

کود های نیتروژن، مقدار تخصیص نیتروژن از قسمت های رویشی به دانه را در مقایسه با کربوهیدرات ها افزایش داده و موجب افزایش غلظت نیتروزن دانه و درصد پروتئین آن می گردند (کیم و پالسن، ۱۹۸۶). اما در مقادیر زیاد کود نیتروژن، بخش قابل توجهی از کل محتوی نیتروژن به جای اسید های آمینه یا پروتئین ها به صورت یون های نیترات خواهد بود (امام و نیک نژاد، ۱۳۷۲). دسترسی میزان نیتروژن برای گیاه و اثر مثبت آن در طی پر شدن دانه از طریق افزایش دوام شاخص سطح برگ و تخصیص بیشتر مواد سبب افزایش تعداد دانه در شرایط آزمایش می گردد (گراهام و رنالی، ۱۹۹۷). کاربرد نیتروژن به صورت کود به مقدار کم باعث افزایش کل نیتروژن در گیاه یا در واحد سطح می شود ولی کاربرد زیاد نیتروژن به صورت کود اثرات مهار کنندگی بر روی فعالیت آنزیم تثبیت کننده نیتروژن دارد. تجمع غلظت های منفی نیترات در گرهک ها منتهی به کاهش فعالیت باکتری های تثبیت کننده نیتروژن (کاهش آنزیم نیتروژناز) می شود (مجنون حسینی، ۱۳۷۵).

مصرف غلظت های کم نیتروژن، از طریق تحریک تشکیل گره زایی، تحریک فعالیت نیتروژناز و افزایش رشد گیاه می تواند اثر تشدید کنندگی بر تثبیت نیتروژن داشته باشد (لیند و انسون، ۱۹۹۰). اما افزودن مقدار زیاد نیتروژن باعث کاهش نفوذ باکتری به تارهای کشنده ریشه، کاهش تعداد و توده

گره و کاهش فعالیت تثبیت نیتروژن ریشه های گره دار و مقدار کل نیتروژن تثبیت شـده در بقـولات گردد (اگلیشام و همکاران، ۱۹۸۳).

۲-۳-۳-معدنی شدن نیتروژن آلی خاک

معدنی شدن نیتروژن آلی خاک یک فرآیند میکروبی است که طی آن فرم آلی نیتروژن بـه فـرم های معدنی (آمونیوم، نیتریت و نیترات) تبدیل می گردد. معدنی شدن در سه مرحله متـوالی بـه نـام های آمینیزاسیون، آمونیاک سازی و نیترات سازی صورت می پذیرد. دو واکنش اول به وسیله گروهی از باکتری های اتوتروف اجباری انجام می گیرد. باکتر های نیتروزمونـاس مسـئول مرحلـه اول یعنـی تبدیل آمونیوم به نیتریت می باشد. تبدیل نیتریت به نیترات به وسیله گروه دیگـری از بـاکتری هـای اتوتروف اجباری به نام نیتروباکتر انجام می پذیرد. لازم بـه ذکـر اسـت کـه اگـر چـه نیتروزمونـاس و نیتروباکتر مهمترین ارگانیسم های مسئول برای واکنش فوق الذکر می باشند اما بعضی از هتروتـروف ها نیز می توانند این واکنش ها را با سرعت خیلی کمتری انجام دهند نیترات تولید شده ممکن است :

۱. بوسیله گیاهان جذب شود

۲. بوسیله آبشویی، با افزایش غلظت نیترات در آب های زیرزمینی سلامتی را به خطر اندازد.

۳. تحت شرایط غیر هوازی به وسیله نیترات زدایی تلف گردد که آلودگی هوا را پیش می آورد.

۴. به وسیله میکروارگانیسم ها غیر متحرک گردد.

تبدیل آمونیوم به نیتریت و سپس نیترات به عنوان نیتریفیکاسیون تعریف می شـود. در شـرایط هوازی خاک و در دماهای بالاتر از یخ زدگی همه فرم های نیتروژن به استثنای گاز نیتروژن از طریـق میکروارگانیسم ها به فرم نیترات تبدیل می شوند. نیتریت به عنوان یک تولید واسطه بـین آمونیـوم و نیترات برای گیاه و حیوان یک ماده سمی محسوب می شود. خوشبختانه تحـت اغلـب شـرایط خـاک تبدیل نیتریت به نیترات بسیار سریع رخ می دهد. نیترات شامل یک بار منفی است که مشـابه بـا بـار

الکتریکی ذرات رس است و برخلاف یون آمونیوم یون های نیترات جذب ذرات رس نخواهد شد (معز اردلان و تواقبی فیروز آبادی، ۱۳۸۱).

۲-۳-۴-فرم های قابل استفاده نیتروژن

با وجودی که در حدود ۱۳۳۵۵ تن نیتروژن در بالای هر هکتار زمینی وجود دارد به دلیل اینکه گاز نیتروژن یک ترکیب شیمیایی پایدار است گیاه نمی تواند آن را به عنوان ماده غذایی استفاده نماید. گیاهان هر دو فرم نیتروژن خاک شامل آمونیوم (NH_4^+) و نیترات (NO_3^-) را به آسانی کسب و مصرف می نماید. بنابراین دیگر فرم های نیتروژن چه از طریق طبیعی یا مصنوعی باید تبدیل به دو ترکیب ذکر شده شوند. مولکول های آمونیوم حامل یک بار الکتریکی مثبت هستند و در خاک به وسیله رس و مواد آلی جذب می شوند و به عنوان کاتیون ها از طریق تبادل یون هیدروژن و دریافت یک مولکول با بار مثبت در خاک جذب گیاه می گردد. در واقع می توان بیان نمود فرم آمونیومی نیتروژن کاتیون بوده که در خاک غیر متحرک است اما فرم نیتروژنی نیتراتی به شکل آنیون بوده و در خاک قابلیت تحرک دارد این دو فرم جذبی یون های مختلفی در ترکیبات خود دارند که می توانند روی pH خاک اثر بگذارند. یون آمونیوم باعث اسیدی شدن محیط اطراف ریشه شده در حالی که نیترات باعث قلیایی شدن محیط اطراف ریشه می شود لذا در جذب عناصر دیگر توسط ریشه تاثیر می گذارند (تیسدل و تلسون، ۱۹۸۵).

۲-۳-۵-اثرات نامطلوب کودهای شیمیایی نیتروژن دار بر محیط زیست

کودهای شیمیایی نمک های مقوی و مخربی هستند که خصوصیات فیزیکو شیمیایی خاک را در دراز مدت تخریب، نفوذپذیری خاک را کاهش داده، وزن مخصوص ظاهری را افزایش داده، نفوذ ریشه گیاهان را دچار مشکل ساخته و در نهایت سبب کاهش عملکرد می شوند. بدیهی است که این اثرات تخریبی کودهای شیمیایی یک طرف قضیه را تشکیل می دهند، از طرف دیگر موضوع مسایل مهم

تری است که همانا خصوصیات کیفی تولیدات، مسائل زیست محیطی و آلـودگی آب هـای زیرزمینـی می باشد (ملکوتی، ۱۳۸۴).

کاربرد کودهای شیمیایی به میزان زیاد، به ویژه کود هـای نیتـروژن دار سـبب ایجـاد تغییـرات فیزیولوژیکی در گیاه شده، نشو و نمای بعضی از حشرات، کنه ها و عوامل بیماری زا را گسـترش مـی دهد (ملکوتی، ۱۳۸۴). علاوه بر آن تلفات نیتروژنی و پیامدهای محیطی آن از قبیـل افـزایش مقـادیر نیترات در آب های سطحی و زیرزمینی، سرشارسازی (Eutrophication) منابع آب و کاهش متعاقـب تنوع زیستی در آب های سطحی و بوم نظام های خشکی، اسیدی شدن خاک و آب های سطحی، بـه دلیل ته نشست آمونیاک و اکسید های نیتروژن و افزایش میزان گاز N_2O را در جو بـه عنـوان یـک گاز گلخانه ای به دنبال دارد (جامی الاحمدی و همکاران، ۱۳۸۵).

میزان نیتروژن زیاد در خاک (به صورت نیترات یا آمونیوم)، آلودگی ریشـه توسـط بـاکتری هـا، تشکیل و رشد گرهک ها و تثبیت نیتروزن را مختل و متوقف می سازد. همچنین کـاربرد نیتـرات بـه طور مداوم وزن گره ها را کاهش می دهد (مجنون حسینی، ۱۳۸۷). تحقیقات محققین نشان داد کـه کاربرد نیتروژن معدنی بیش از حد، گره زایی، تارهای کشنده ریشه و سنتز لگ هموگلوبین را کـاهش می دهد و این اثر بازدارندگی برگره زایی سبب کاهش تعداد گره نیـز مـی شـود (الیـاس و همکـاران، ۲۰۰۸).

۲-۳-۶-تثبیت زیستی نیتروژن

وجود ترکیبات نیتروژن در خاک می تواند کاهش یا افزایش دهنده فرآیند تثبیت نیتروژن باشد. تثبیت زیستی نیتروژن بهترین و مهمترین راهی است که خاک به طور طبیعی از نیتروژن سرشار می شود. در طی این فرآیند زیستی که توسط گونه های متعددی از میکروارگانیسم های پروکاریوت و بـه کمک سیستم آنزیمی نیتروژناز صورت می گیـرد. سـالانه بـه طـور طبیعـی مقـادیر زیـادی نیتـروژن اتمسفری (حدود ۱۷۰ میلیون تن) به اکوسیستم های طبیعی وارد می شود. این نیتـروزن عمـدتا بـه

فرم آلی می باشد که هیچ یک از مشکلات اقتصادی و زیست محیطی ناشی از مصرف کودهای شیمیایی نیتروژن دار را به همراه ندارد. در این میان سیستم همزیستی لگوم-ریزوبیوم از اهمیت ویژه ای برخوردار است زیرا حدود ۵۰ درصد کل تثبیت نیتروژن را در سطح جهانی برعهده دارد و ارزش اقتصادی این مقدار نیتروژن سالانه بالغ بر ۸۵ میلیارد تخمین زده اند (پیرولی بیرانوند، ۱۳۷۸).

۲-۳-۷-کود اوره

اوره $CO(NH_2)_2$ حدود ۴۶٪ نیتروژن بوده و بیشترین غلظت را در میان کود های نیتروژنی به خود اختصاص داده است. گرچه اوره با توجه به درصد بالای نیتروژن و بهای کم آن در مقایسه با سایر کودهای نیتروژنی از نظر واحد نیتروژن مناسب ترین کود به شمار می رود لکن خاصیت اسید زایی چندانی ندارد. بیش از ۹۰٪ نیتروژنی که در مزارع ایران مصرف می شود به صورت اوره می باشد. اوره به صورت دانه های کوچک و سفید رنگ عرضه می شود که بدان کود شکری نیز می گویند. اوره بر خلاف نیترات آمونیوم خورنده و جاذب الرطوبه نبوده و به راحتی با فسفات و پتاسیم مخصوصا در شکل دانه ای قابل اختلاط است. اوره به علت استفاده از آن در برگ پاشی بر دیگر کود های نیتروژنی برتری دارد. زیادی مصرف کود های شیمیایی از جمله اوره، پاره ای از خواص فیزیکی خاک را نامطلوب کرده نسبت به C:N خاک را بر هم زده و عملیات کشاورزی را در آن ها با مشکل مواجه می سازد (کلیج و همکاران، ۱۹۹۳).

۲-۳-۸-علل کاهش کارایی مصرف کود های نیتروژنه

کاهش کارایی مصرف نیتروژن به دلیل خروج نیتروژن از دسترس گیاه زراعی اثرات سویی روی عملکرد گیاهان زراعی دارد به طور کلی کودهای نیتروژنه پس از مصرف در خاک، ماندگاری خوبی نداشته و به سادگی از بین می روند. عواملی که باعث هدر روی این عنصر می شود عبارتند از:

۲-۳-۸-۱-شستشوی نیتروژن توسط آب

در این حالت نیترات آماده جذب توسط آب به نقاط غیر قابل دسترسی ریشه منتقل مـی شـود. هنگامی که خاک بیش از ظرفیت نگهداری آب دارد صورت می گیرد. چنانچه آب در نیم رخ خاک جا به جا شود نیترات را جذب خود کرده و آن را جابجا می نماید و این در حالی است که آبشویی در فرم آمونیومی حداقل است.

۲-۳-۸-۲-پدیده دنیتریفیکاسیون

تحت شرایط غیر هوازی (اشباع) خاک، ارگانیسم های نیترات زدا، نیترات را از طریق یک رشـته مراحل واسط به گاز نیتروژن تبدیل می نماید $NO_3^- \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO \rightarrow N_2O \rightarrow N_2$

دو فرم انتهایی برای گیاه قابل استفاده نیستند. گاز نیتروژن خـاک اشـباع را تـرک کـرده و بـه اتمسفر بر می گردد. برخی تحقیقات میزان این تبدیل را تا زمانی که خاک اشباع را ترک کـرده و بـه اتمسفر بر می گردد. برخی تحقیقات میزان این تبدیل را تا زمانی که خاک اشباع است ۴ تا ۵ درصـد نیترات خاک بیان کرده اند. دنیتریفیکاسیون هنگامی رخ می دهد که منبع نیتروژن به فـرم گازهـای آمونیاکی شکسته شود و رطوبت کمی برای جذب آن ها موجود باشد (مصیبی، ۱۳۸۷).

۲-۳-۹-مضرات مصرف کود های شیمیایی (نیتروژنه)

ورود کودهای شیمیایی باعث شده است که چرخه ی عناصر غـذایی مختـل و تولیـد کشـاورزی کاملا وابسته به مصرف کودهای شیمیایی شود که همین وابسـتگی بـه داده هـای خـارجی، پایـداری کشت بوم را به شدت کاهش می دهد (کامکار و مهدوی دامغانی، ۱۳۸۷). شارپلی و اسـمیت (۱۹۸۳) و اسمیت و یانگ (۱۹۷۵) اثر ناشی از ۷۲ سال کشت مصرف کود را از طریق کمی کردن مقادیر نسبی و توزیع و اشکال کربن و ازت در هشت نوع خاک که معـرف منـاطق مختلـف زراعـی ایـالات متحـده هستند را بررسی کردند. نامبردگان با مقایسه خاک های زراعی و خاک های دیگر نشان دادند کـه بـه

طور متوسط غلظت کربی آلی و ازت کل در افق های سطحی خاک زراعی (صفر تا ۱۵ سانتیمتری) به ترتیب ۴۲ و۳۵ درصد کاهش یافت که نشان می دهد مصرف کود در حاصلخیزی ذاتی خاک تغییرات دقیقی حاصل می کند. همچنین مصرف بیش از اندازه این کود ها نه تنها کارایی تولید را کاهش می دهد، بلکه ورود مواد معدنی و ترکیبات زیانبار نیتروژن به آب های سطحی و زیرزمینی موجب آلودگی منابع آب و خاک می شود (کامکار و دامغانی، ۱۳۸۷). در حال حاضر تداوم مصرف کودهای شیمیایی در بعضی مناطق موجب سخت شدن ساختمان مزرعه و مشکل شدن عملیات کشاورزی شده است (کرمی، ۱۳۷۶).

از جمله معایب این کودها می توان هزینه های بالای تولید تخریب و تغییر کیفیت خاک ورود آلودگی به زنجیره های غذایی و کاهش کیفیت محصولات کشاورزی اشاره کرد. ونس (۲۰۰۱) گزارش کرد آلودگی آب های سطحی و زیرزمینی، آلودگی جوی کاهش تنوع زیستی و جلوگیری از عملکرد طبیعی اکوسیستم از دیگر اثرات منفی این کودهاست. به همین منظور در جهت کاهش مصرف کودهای شیمیایی (نیتروژن) و مدیریت صحیح پایدار خاک بایستی به سمت استفاده از منابع جایگزین و کاهش هرچه بیشتر کود های شیمیایی برویم که از آن جمله می توان به استفاده از کود های زیستی اشاره کرد.

غیر متحرک شدن نیتروژن وقتی است که نیتروژن معدنی خاک از طریق فعالیت زیستی به فرم های آلی تبدیل گردد. غیرمتحرک شدن نیتروژن یا کود وقتی اتفاق می افتد که مقادیر زیادی مواد غنی از کربن (برای مثال بقایای گیاهی با نیتروژن کم مثا کاه غلات، قندها، الکل) به خاک اضافه گردد.

نتیجه یک بررسی مزرعه ای با استفاده از اوره نشاندار نشان داد که در حدود ۱۶/۷ و ۲۵/۶ درصد از نیتروژن به کار برده شده بعد از برداشت به فرم های آلی خاک به صورت غیر متحرک باقی می ماند (گاسوان و همکاران، ۱۹۹۸). یافته های آزمایش مزرعه ای نشان داد که مصرف کود های

آمونیومی نسبت به کودهای نیتراتی، مقدار نیتروژن بیشتری را غیر متحرک می کنند (پولسون و همکاران، ۱۹۸۶). بنابراین مقادیر قابل توجه غیر متحرک شدن نیترات وقتی اتفاق می افتد گ ه مقادیر فراوانی کربن در دسترس باشد (تیسدال و همکاران، ۱۹۸۵).

مصرف بیش از حد کودهای ازت دار باعث افزایش غلظت نیترات در اندام های قابل مصرف می شود. بسیاری از محصولات ازت نیتراته را در خود جمع می کنند. ازت نیتراته برای گیاهان سمی نبوده ولی برای اشخاصی که از این گونه محصولات مصرف می کنند مضر است. تجمع نیترات در گیاهان یک پدیده طبیعی بوده و هنگامی رخ می دهد که تجمع نیترات در گیاه بیش ازمصرف آن بر اثر جذب و تحلیل باشد و مقدار ترکیبات ازت آمینه محلول به دلیل نبود آمونیاک برای ساخته شدن اسید آمینه نقصان می یابد (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۳). گیاهان در صورت بالا بودن غلظت نیترات در خاک، قادرند بیش از نیاز متابولیکی خود، آن را جذب کنند و در سیتوپلاسم و واکوئل سلول های خاصی به ویژه در شب تجمع دهند. با مصرف بیش از اندازه ازت در سیب زمینی درصد اسید کلروژنیک و فنل ها افزایش و از میزان اسید سیتریک و ویتامین ث کاسته می شود. سیاه شدن سیب زمینی در اثر ترکیب آهن و اسید کلروژنیک اتفاق می افتد و اسید سیتریک مانع ترکیب فوق می گردد (لزیزینسکی و لیسنیکا، ۱۹۸۹).

۲-۴-بیوچار

بیوچار ماده جامدی است که از کربن سازی توده های زیستی بدست می آید. بیوچار ممکن است که به خاک اضافه شود تا عملکرد خاک بهبود پیدا کند و باعث کاهش برون ریز های توده زیستی شود. همچنین این ماده دارای مقدار با ارزشی کربن است. در طی فرآیند دوهزار ساله مواد آلی درون خاک تبدیل به هوموس کشاورزی می شود که می تواند کربن را حفظ کرده، امنیت تغذیه را افزایش دهد و مانع جنگل زدایی شود. این فرآیند می تواند زغال نیم سوز با منفذ های بسیار و درشت به وجود آورد که به حفظ مواد غذایی و آب کمک می کند. بیوچار در خاک های سرتاسر جهان یافت

می شود که حاصل آتش سوزی گیاهان و اقدامات مدیریتی خاک می باشد. مطالعـات فـراوان دربـاره زمین های سرشار از بیوچار در آمازون نشان داده است که این ماده باعث ارزشمند تر شدن خـاک بـه عنوان یک مگمل خاکی شده است. بیوچار می تواند ابراز مهمی برای افـزایش امنیـت غـذایی و تنـوع کشتزارهای در نواحی با خاک های بسیار فرسوده، منابع آلی کمیاب و منابع کود های شیمیایی و آب نامناسب باشد. همچنین بیوچار با افـزایش حفـظ مـواد غـذایی و شـیمیایی بـرای مصـرف گیاهـان و محصولات، کمیت و کیفیت آب را بهبود می بخشد. به عبارت دیگر مواد غذایی بیشتری در خاک باقی می ماند (به جای اینکه به آب های زیرزمینی وارد شـوند) و در نتیجـه ایـن امـر باعـث جلـوگیری از آلودگی آب های زیرزمینی می شود(ربیعی و همکاران،۱۳۹۲)

۲-۴-۱-ریشه علمی بیوچار

بیوچار یک کلمه جدید برای بسیاری، اما یک فن آوری سـنتی در منـاطق مختلـف جهـان مـی باشد. بیوچار اشاره به یک نوع زغال ساخته شده از زیست توده می کند (شکل ۲-۱). بیوچار یک ماده پایدار غنی از کربن است که بسیار آهسته تجزیه می شود، و هنگامی که به خاک اضافه گردد، به طور قابل توجهی می تواند کیفیت خاک را بهبود بخشد (سوهی و همکـاران، ۲۰۰۹؛ کامیامـا و همکـاران، ۲۰۱۰).

شکل۲-۱-ساقه گندم و بیوچار تولید شده از آن

۲-۴-۲-بیوچار چیست؟

بیوچار می تواند از هر زیست توده ای از جمله پسماند های زراعی، جنگلی و خانگی و کود های حیوانی ساخته شود. مواد اولیه تحت یک فرآیند به نام گرماکافت یا تجزیه حرارتی- شیمیایی که نتیجه آن یک بازآرایی در مولکول زیست توده می باشد، تبدیل به بیوچار سیاه رنگ و سایر محصولات می شوند. بیوچار بسیار متفاوت از زغال سنگ معدنی است. منشأ زغال سنگ معدنی زیست توده است، اما توسط فرآیند های زمین شناسی در طول دوره های زمین شناسی شکل گرفته است. بیوچار همیشه حاوی مقداری خاکستر است، زیرا زیست توده همواره شامل عناصر دیگر از جمله کربن، هیدروژن و اکسیژن می باشد. بیوچار حاوی کربن پایدار در مقادیر مختلف، در حالیکه خاکستر واقعی فاقد آن می باشد.

۲-۴-۳-بیوچار چگونه ساخته می شود؟

بیوچار از سوختن توده در حضور کم یا بدون اکسیژن ساخته می شود. این متفاوت از سوختن واقعی زیست توده می باشد، زیرا در یک آتش باز مقدار زیادی از اکسیژن برای اکسیداسیون کامل کربن در زیست توده به CO_2 در دسترس است، بنابراین عملا تمام کربن زیست توده به CO_2 تبدیل می شود و تنها خاکستر و مقدار کمی از کربن باقی می ماند. محدود کردن دسترسی به اکسیژن منجر به تثبیت بیشتر کربن در زیست توده می شود، با این حال راندمان فرآیند از نظر کربن معمولا ۵۰ ٪ یا کمتر می باشد (لمان ، ۲۰۰۷)، یعنی تنها نصف کربن زیست توده یا کمتر در بیوچار باقی می ماند، زیرا تنها بیوچار نتیجه فرآیند گرماکافت نیست: گاز های قابل احتراق و ترکیبات فرار نیز از زیست توده در حین گرماکافت آزاد می شوند. زمانی که زیست توده از درجه حرارت محیط گرم تر می شود، شروع به خنک شدن می کند. در ابتدا، رطوبت در زیست توده باید رانده شود و از آنجا که ظرفیت گرمایی آب بالا است، این نیاز به تامین انرژی دارد و مقادیر زیادی انرژی برای تبخیر آب مورد نیاز هستند (تایلور و ماسون، ۲۰۱۰). بنابراین مواد اولیه باید قبل از قرار گرفتن در معرض گرماکافت،

رطوبت آن ها به ۱۰-۱۵٪ خشک گردد. پس از خشک کردن زیست توده، روند برشته سازی آغاز می شود. در طی برشته سازی، تغییرات شیمیایی ایجاد و زیست توده برشته و تیره رنگتر و برخی از گازها و ترکیبات فرار از آن خارج می شود. همچنانکه زیست توده بیشتر گرم می شود و دما به حدود ۳۰۰ درجه سانتی گراد می رسد گرماکافت واقعی آغاز و فرآیند گرمازا می شود. زیست توده کاملا خود را به بیوچار جامد، گاز های قابل احتراق و ترکیبات فرار بازسازی می کند (تایلور و ماسون، ۲۰۱۰).

گرماکافت به دو روش تقسیم می شود: سریع و آهسته. گرماکافت آهسته به کار بردن یک میزان حرارت پایین تر و مدت زمان طولانی تر است که از ان برای پیشینه ساختن بازده محصول جامد که به عنوان بیوچار شناخته شده است، استفاده می شود (ماگی و دلمون، ۲۰۰۴؛آورند،۲۰۰۴). خصوصیات بیوچار از جمله: پایداری، نه تنها به نوع مواد اولیه، بلکه به شرایط فن آوری مانند، درجه حرارت، نرخ حرارت دادن، فشار، مدت زمان واکنش و اندازه ذرات بستگی دارد. گرچه تمام این پارامترها در ساختار نهایی بیوچار مشارکت دارند، انتظار می رود که درجه حرارت گرماکافت از مهمترین عوامل باشد (لهمان و همکاران،۲۰۰۹). همچنین نوع مواد اولیه استفاده شده برای تولید بیوچار یک اثر روی کیفیت بیوچار حاصله دارد.

۲-۵-محتوی مواد مغذی بیوچار

قبل از در نظر گرفتن تاثیر بیوچار روی تغییر شکل عناصر غذایی، مواد مغذی افزوده شده همراه با بیوچار باید در نظر گرفته شود. به عبارت دیگر، آیا بیوچار به عنوان یک منبع قابل توجه از مواد مغذی صرف نظر از ورودی های دیگر به کار می رود؟ مهم است بدانید که نیتروژن موجود در بیوچار نسبت به سایر عناصر غذایی سریعتر تخلیه می شود و حرارت کمتری نیاز دارد.

در طی فرآیند گرماکافت یا اکسیداسیون که بیوچار تولید می شود، حرارت سبب تصاعد برخی از عناصر غذایی، به خصوص در سطح ماده می شود، در حالی که سایر مواد مغذی در بیوچار باقیمانده تغلیظ می شود. درجه حرارت، مدت زمان نگهداری و نرخ حرارت دادن به طور مستقیم خصوصیات

شیمیایی بیوچار را تحت تاثیر قرار می دهند. در طی فرآیند حرارت دادن عناصر پتانسیل از دست رفتن به اتمسفر، تثبیت شدن به اشکال مقاوم و یا آزاد شدن به صورت اکسید های محلول را دارا می باشند. در مورد بیوچار چوب شکل گرفته در شرایط طبیعی، کربن در حدود ۱۰۰، نیتروژن بالاتر از ۲۰۰، گوگرد بالای ۳۷۵ و پتاسیم و فسفر بین ۷۰۰ و ۸۰۰ درجه سانتیگراد شروع به تصاعد می کنند. تصاعد منیزیم، کلسیم و منگنز در دمای بالای ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد اتفاق می افتد (نیاری و همکاران، ۱۹۹۹؛ نوپ و همکاران، ۲۰۰۵).

نیتروژن بیشتر از همه عناصر ماکرو به حرارت حساس است، بنابراین، محتوی نیتروژن بیوچار تولید شده در دمای بالا، بسیار پایین می باشد (تیرون، ۱۹۴۸). بر این اساس، به طور کلی با افزایش دمای گرماکافت در طول تولید بیوچار غلظت قابل استخراج NH_4^+ و PO_4^{-3} کاهش می یابد و یک بخشی از NH_4^+ در دماهای بالاتر به یک منبع کوچک NO_3^- قابل تبادل اکسید می شود (دلوکا و گندل، ۲۰۰۶).

افزودن بیوچار به خاک بخشی از مواد مغذی بسته به ماهیت مواد اولیه را فراهم می کند (چوب در مقابل کود) (بریدل و پریچارد، ۲۰۰۴). با این حال، بیوچار احتمالا بیشتر به عنوان یک بهبود دهنده خاک و محرک تغیر شکل مواد مغذی تا یک منبع اصلی مواد مغذی است (گلسر و همکاران، ۲۰۰۲ ؛ لمان و همکاران، ۲۰۰۳).

۲-۶-تاثیر بیوچار بر کیفیت خاک

اثر بیوچار بر کیفیت خاک و بهره وری محصولات کشاورزی متفاوت، اما به طور کلی مثبت است. در اولین آزمایش ها در این زمینه (حدود ۲۰۰۹-۱۹۸۰) که در ان ها بیوچار به کار رفته شده و نایج آن ها نیز منتشر شده، اکثرا در خاک های با حاصلخیزی کم، از جمله خاک های اسیدی مناطق حاره انجام شده است. به طور کلی، هنگامی که بیوچار در این خاک ها استفاده شد، بهبود عملکرد تا ۳۰۰٪ بیش از شاهد، به دست آمد (بلک ول و همکاران، ۲۰۰۹؛ لمان و راندون، ۲۰۰۶؛ پنگ و همکاران،

۲۰۱۱ ؛ زویتن و همکاران، ۲۰۱۰). در خاک های تحت غرقاب کشت برنج در چین، بیوچار عملکـرد را تا ۱۴ درصد بهبود داد (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۰). اثرات مثبت بلند مـدت کـاربرد هـای بیوچـار در چند مطالعه که در طول چندین سال تحت نظر قـرار گرفتنـد، مشـاهده شـد (بلـک ول و همکـاران، ۲۰۰۶؛ ماجور و همکاران، ۲۰۱۰؛ استینر و همکاران، ۲۰۰۷). برخی از محققین اثر برجسته تر بیوچار در خاک های فقیر نسبت به خا کهای حاصلخیز را گزارش کردند.

اخیرا، بیوچار در خاک های مناطق معتدل و با حاصلخیزی بالاتر بـه کـار گرفتـه شـده و سـبب بهبود نسبی در تولید زیست توده در محدوده ۲۰-۴٪ شده است (لارید و همکاران، ۲۰۰۹؛ هاسـک و ماجور، ۲۰۱۰). در مطالعات منتشر شده، ۵۰-۵ تن در هکتار بیوچار بـرای بهبـود رشـد محصـول در آزمایش های گلدانی و مزرعه ای بکار گرفته شده است.

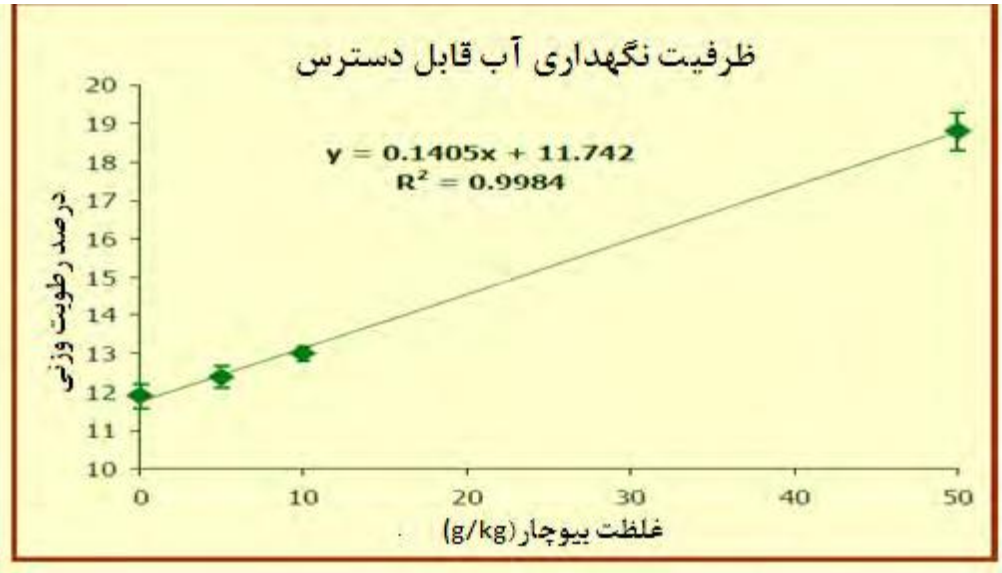
برخی مطالعات گزارش کردند که با کاربرد بیوچار عملکرد نسبت به شاهد کمتر بود. در برخی از موارد محققین کاهش را به غیر متحرک شدن نیتروژن توسط بیوچار نسبت دادند (آسایی و همکاران، ۲۰۰۹؛ بلک ول و همکاران، ۲۰۱۰؛ راندون و همکاران، ۲۰۰۷)، و این پدیده انتظار می رود که مـدت زمان نسبتا کوتاه تا زمانی که جزء ناپایدار بیوچار تجزیه می شود، دوام داشته باشد. با کـاربرد ۵ و ۱۵ تن در هکتار بیوچار عملکرد سویا به ترتیب، ۳۷و ۷۱ درد کاهش یافت و کاهش را به افـزایش در *PH* ناشی از بیوچار نسبت دادند که منجر به کمبود عناصر میکرو شد. چون *PH* خاک در بالاترین محدوده مطلوب برای تولید سویا بود، این اتفاق افتاد(ویژیجین و همکاران،۲۰۱۰؛ جان و همکاران، ۲۰۰۹)

در سال سوم یک آزمایش مزرعه ای بیوچار در منطقه اسـتری اسـتان کبـک (*Quebec*) کانـادا، مقدار علوفه های گونه های مخلوط رشد یافته در خاکی که ۳ سال قبـل ۳/۹ تـن در هکتـار بیوچـار دریافت کرده، به طور قابل توجهی بیشتر از علوفه رشد یافته در خـاک اصـلاح نشـده بـود (هاسـک و ماجور،۲۰۱۱). در حالی که این آزمایش تکرار نشد، افزایش در کیفیت علوفه و شیر گاو تولید شـده از علوفه (۴۴ درصد افزایش) بسیار دلگرم کننده هستند، همچنین ایـن علوفـه تولیـدی سـبب افـزایش

متوسط (۴ درصدی) در تولید زیست توده شده است. بیوچار اصلاح کننده خـاک پایـدار، و یـا حتـی دائمی است. این چیزی است که آن را از سایر اصلاح کننده های خاک به عنـوان مثـال، کمپوسـت و کودهای سبز و حیوانی متمایز می کند.

۲-۶-۱-تاثیر بیوچار بر خصوصیات فیزیکی خاک

بیوچار دارای جرم مخصوص کم و تخلخل بالا است. بسیار شبیه به خزه اسفنگتوم، وقتی خشک است به سختی می توان آن را مرطوب کرد. اما می تواند مقادیر زیادی آب را نگه دارد. بیوچار هنگامی که در خاک شنی استفاده شود، می تواند ظرفیـت نگهـداری آب خـاک را بهبـود ببخشـد (بـریگس و همکاران، ۲۰۰۵؛ تریون،۱۹۴۸) (شکل ۲)، اگرچه مواد بیوچار مختلف توانـایی متفـاوتی را بـرای اثـر مثبت روی نگهداری آب خاک دارند. نواک و همکاران نشان دادند (۲۰۰۹*b*) نشان دادنـد کـه بیوچـار تولید شده از علف سوئیچ (*switch grass*) ظرفیت نگهداری آب یک خـاک سـبک بافـت را بیشـتر از بیوچار های تولید شده از پوسته گردو، پوسته بادام زمینی و بستر طیور بهبود بخشید. مشخص شـده است که بیوچار اعمال شده به خاک های رسی اثر قابـل تـوجهی بـر افـزایش ظرفیـت نگهـداری آب (ماجور، ۲۰۰۹)، و یا کاهش آن ندارد (تریـون، ۱۹۴۸). محققـان در منـاطقی کـه دسترسـی بـه آب کشاورزی کم است به پتانسیل بیوچار برای حفظ رطوبت دریافت شده، از طریـق آبیـاری و یـا بـارش باران، و آزادسازی این رطوبت به محصولات هنگامیکه خاک خشک می شود، علاقه مند هستند.



شکل۲-۲- اثر بیوچار چوب کاج بر ظرفیت نگهداری آب یک خاک شنی.(بریگس و همکاران،۲۰۰۵).

بیوچار با دیگر ترکیبات خاک از جمله مواد معدنی و مواد آلـی پایـدار بـرهمکنش دارد. در خـاک تـرا پرتای (*Terra preta*) قدیم، یک بخش مهمی از بیوچار درون خاکدانه ها یافت شـده اسـت (گلسـر و همکاران، ۲۰۰۰). واکنش بیوچار با دیگر ترکیبات خاک ممکن است در برخـی از مـوارد بـه خاکدانـه سازی بهتر در خاک منجر شود. به عنوان مثال، تخلخل ماکرو خاک ترا پرتای ۱۱-۵ درصد بیشـتر از خاک های مجاور با کانی شناسی مشابه بود (گلسر و وودز، ۲۰۰۴). چنین فرآیند های خاکدانه سازی در دراز مدت رخ می دهد، و می تواند تهویه خاک و جریان آب در داخل و در سـطح خـاک را تغییـر دهد. نفوذ آب های سطحی در خاک اصلاح شده با بیوچار بدون تغییر و یا بهبود یافتـه بـود (آسـی و همکاران، ۲۰۰۹؛ ماجور، ۲۰۰۹؛ هاسک و ماجور، ۲۰۱۰).

یک مسئله جالب مربوط به اثر بیوچار روی رنگ خاک است. خاک تیره تر یـک ضـریب آلبیـدو پایین تر دارد (که نشان دهنده بازتاب کمتر تابش دریافتی و جذب بیشتر است). این افزایش در جذب نور به طور بالقوه می تواند گرم شدن زمین را تشدید کند. مشخص نیست که آیا این مکانیسـم بـرای استفاده گسترده بیوچار یک نگرانی است. اگر خاک اصلاح شده با بیوچار تولید زیست تـوده را بهبـود بخشد، خاک پوشش بهتری داشته و زیست توده باعث خنک شدن آب و هوا خواهد شد (مگر این کـه

خاک به صورت هدفمند بایرنگه داشته شود و یا رشد گیاه به شدت محدود باشد، به عنوان مثال به خاطر فقدان آب قابل دسترس). واقعیت این است که جذب رطوبت بیوچار نیز باید در نظر گرفته شود. به عنوان مثال، ویژیجین و همکاران.(۲۰۱۰) استدلال مس کنند که اگر بیوچار آب بیشتری از خاک اطراف جذب کند، با توجه به ظرفیت گرمایی بالای آب آهسته تر از خاک مجاور گرم خواهد شد. اگر رنگ خاک با کاربرد بیوچار در ارتباط است، در روش های کاربرد و حداکثر مقادیر توصیه شده، این همبستگی باید لحاظ شود. کاربرد نواری بیوچار می تواند اثر آن بر روی رنگ خاک سطحی را کاهش دهد، اگرچه محدودیت مربوط به مقدار بیوچار که می تواند توسط تجهیزات کاربردی اعمال شود، وجود دارد.

۲-۶-۲-تاثیر بیوچار بر *pH* خاک

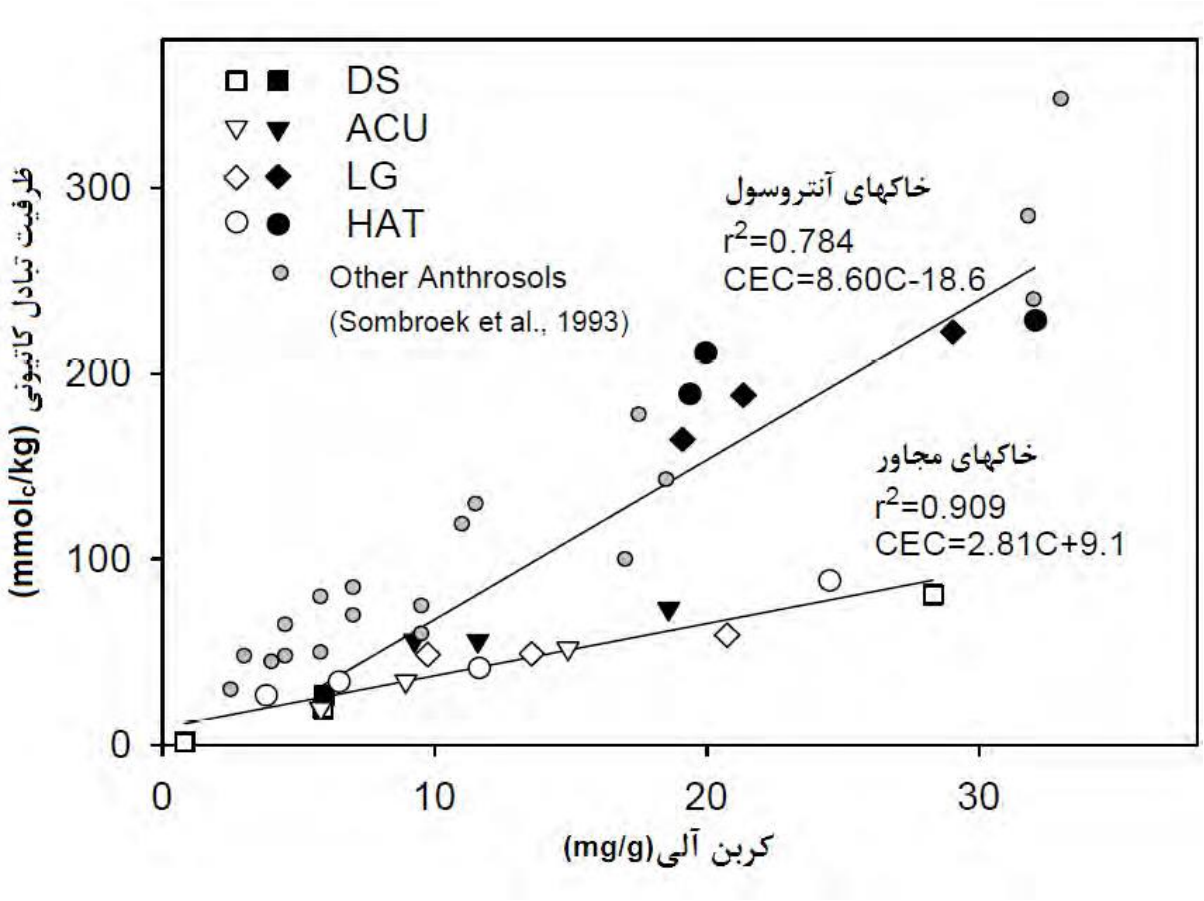
بسیاری از محققین افزایش در *pH* خاک زمانی که بیوچار در خاک مورد استفاده قرار گرفت را گزارش کردند (چان و همکاران ،۲۰۰۸؛ لاریـد و همکاران، ۲۰۱۰ ؛ پنگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ ون زویتین و همکاران، ۲۰۱۰). در مواردی که *pH* خاک زیر حد مطلوب برای استفاده از آن می باشد، یک افزایش در *pH* می تواند طیف گسترده ای از مزایا از نظر کیفیت خاک، به طور قابل ملاحظه از طریق بهبود شیمیایی قابلیت دسترسی به عناصر غذایی گیاه و در برخی موارد با کاهش قابلیت دسترسی به عناصر مضر مانند آلومینیوم را فراهم کند (بردی و ویل، ۲۰۰۸). *pH* بیوچار می تواند متنوع باشد اما اغلب بالاتر از ۹ است. بیوچار می تواند مقداری آهک در حدود چند ده درصد داشته باشد (ون زویتین و همکاران، ۲۰۱۰) با این حال، مشاهده شده است که بیوچار چوب کاج با ۷/۵ = *pH* یک اثر کاهشی روی *pH* خاک با *pH* اولیه ۶/۴ داشت (گسکین و همکاران، ۲۰۱۰). استفاده از یک بیوچار با اثر آهکی در یک خاک که *pH* فعلی آن بالاست می تواند کمبود عناصر میکرو را تشدید و عملکرد محصول را کاهش دهد (چان و خو، ۲۰۰۹).

۲-۷-تاثیر بیوچار بر عناصر غذایی خاک

بیوچار به دو روش کلی بر قابلیت دسترسی عناصر غذایی خاک تاثیر دارد: یکی افزودن و دیگری نگهداری عناصر غذایی. خاکستر در بیوچار حاوی مواد مغذی گیاهی، بیشتر کاتیون های بازی مانند کلسیم، منیزیم و پتاسیم همچنین فسفر و عناصر کم مصرف شامل روی و منگنز می باشد. عناصر معدنی موجود در زیست توده به استثنای نیتروژن عمدتا در خاکستر بیوچار یافت خواهند شد. در طی فرآیند گرماکافت، نسبت قابل توجهی از نیتروژن زیست توده از طریق تصاعد از دست می رود (چان و خو،۲۰۰۹).

نیتروژن باقیمانده در بیوچار برای در دسترس گیاهان قرار گرفتن تمایل کمی دارد (گسکین و همکاران، ۲۰۱۰)، چون یک جزء ی از آن درون ساختارهای کربنی آروماتیک قرار دارد (چان و خو، ۲۰۰۹). نیتروژن در بیوچار های بدست آمده از کود های حیوانی ممکن است یک استثنا باشد(چان و همکاران، ۲۰۰۸؛ تاگو و همکاران، ۲۰۰۸؛). مواد مغذی گیاهی بیوچار همراه با بخش محلول خاکستر آن عموما به سهولت برای جذب گیاه در دسترس هستند (گسکین و همکاران، ۲۰۱۰؛ نواک و همکاران، ۲۰۰۹a). اما مشابه هر عنصر محلول و متحرکی در خاک، این عناصر نیز در معرض آبشویی قرار دارند. اگر کاربرد بیوچار جهت تأمین این مواد مغذی برای محصولات باشد، در این مورد این امر نیاز به کاربرد مجدد با هر دوره کشت، به همراه بیشتر سایر کود ها دارد.

اما بیوچار نیز یک تاثیر بلند مدت روی مواد مغذی گیاهی در خاک دارد. پس از کاربرد، سطوح بیوچار فرسوده و اکسیده تر می شود (چنگ و همکاران، ۲۰۰۶). از آنجا که بیوچار بسیار متخلخل است و سطح ویژه بزرگی دارد، تاثیر آن بر ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CEC) در طول زمان می تواند مهم باشد. لیانگ و همکاران (۲۰۰۶) مشاهده کردند که ذرات بیوچار و مواد آلی جذب شدخ بر روی آن ها در تغییر سطح ویژه خاک های ترا پرتای در مقایسه با خاک اصلاح نشده مجاور، بیشتر مشارکت داشتند (شکل ۳).



شکل۲-۳- آنتروسول غنی از بیوچار (Terra preta) برای مقدارکربن آلی معین، دارای CEC بالاتر از خاک های اصلاح نشده مجاور است. (لیانگ و همکاران، ۲۰۰۶)

در آزمایش های اخیر نیز، CEC بالاتر خاک با افـزودن بیوچـار (لاریـد و همکـاران، ۲۰۱۰؛ مـاجور و همکاران، ۲۰۱۰b؛ پنگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ ون زویتن و همکاران، ۲۰۱۰؛ یاموت و همکاران، ۲۰۰۶)، اما نه همیشه (نواک و همکاران، ۲۰۰۹) مشاهده شده است. مهم است که توجه داشته باشید که مواد مغذی حفظ شده توسط بیوچار در دسترس گیاه باقی می ماند. انتظار مـی رود کـه در خـاک اصـلاح شده با بیوچار با گذشت زمان همانطور که هوازدگی اتفاق می افتد، CEC افزایش یابد و برای دیدن و کمیت این اثر آزمایش های بلند مدت لازم است. برخی از افراد علاقه مند به پیدا کردن راه هایی برای

سرعت بخشیدن به واکنش پذیری بیوچار و افزایش کیفیت خصوصیات آن خـاک مـی باشـند.، بـرای مثال آن را قبل از اعمال به خاک، با پراکسید هیدروژن تیمار می کنند.

۲-۸-مفاهیم حفظ مواد مغذی بیشتر در خاک اصلاح شده با بیوچار

۲-۸-۱-تاثیر بیوچار بر آبشویی عناصر غذایی

این واقعیت که بیوچار عناصر غذایی موجود در منطقه ریشه را حفظ می کند، همچنـین نشـان داده که آبشویی عناصر غذایی را از پروفیل خاک کاهش می دهد. در واقع محققان در مطالعات گلدانی نشان داده اند که وقتی بیوچار به خاک اضافه شـد، آبشـویی عناصـر غـذایی کـاهش یافـت (دینـگ و همکاران، ۲۰۱۰ ؛ لارید و همکاران، ۲۰۱۰؛ لهمان و همکاران، ۲۰۰۳؛ ماجور و همکاران، ۲۰۰۹؛ نواک و همکاران، ۲۰۰۹a؛ ساینگ و همکاران، ۲۰۱۰) و همچنین یک مطالعه مزرعـه ای (مـاجور، ۲۰۰۹). کاهش مشاهده شده در آبشویی آمونیوم و کاتیون ها (Ca^{2+}، Mg^{2+}) وقتی که بیوچار بـه کـار بـرده شده را به CEC بیشترنسبت داد (دینـگ و همکـاران، ۲۰۱۰؛ لهمـان و همکـاران، ۲۰۰۳؛ سـاینگ و همکاران، ۲۰۱۰). بعضی از محققین آبشویی بیشتر پتاسیم را در خاک اصلاح شده با بیوچار مشـاهده کردند و افزایش را به مقادیر نسبتا زیاد پتاسیم اضافه شده همـراه بـا خاکسـتر بیوچـار نسـبت دادنـد (لهمان و همکاران، ۲۰۰۳؛ نواک و همکاران، ۲۰۰۹a). مکانیسم های اساسی نگهداشت یون های با بار منفی شامل ظرفیت تبادل آنیونی بیوچار، برهمکنش بیوچار با دیگر اشکال مـواد آلـی در خـاک و در مورد نیترات، اثرات بر چرخه بیولوژیکی نیتروژن خاک است.

کاهش آبشویی عناصر غذایی از زمین های کشاورزی می تواند حاکی از کاهش ورود مواد مغذی به اب های سطحی و ذخایر آب آشامیدنی باشد. آلودگی نیتروژن و فسفر آب های سطحی بـه جهـت مشارکت در تخریب اکوسیستم های آب شیرین و دریایی شناخته شده است.

۲-۸-۲-تاثیر بیوچار بر راندمان مصرف کود

یک مفهوم دیگر از حفظ مواد مغذی بیشتر در خاک، بهبود راندمان مصرف کود (Fertilizer Use Efficiency) است. به خصوص در مورد نیتروژن، FUE بزرگتر که منجر به کاهش هزینه های اولیه برای کشاورزان و یا بازده بیشتری برای کشاورزان و یا بازده بیشتری برای یک نرخ کاربرد کود می شود. قابلیت دسترسی نیتروژن اغلب رشد محصول را محدود می کند و کود های نیتروژن نشان دهنده یک سرمایه گذاری بزرگ برای کشاورزان می باشند. در آمازون برزیل، اشتاینر و همکاران (۲۰۰۸) راندمان اصتفاده از نیتروژن بزرگتر توسط محصولات زراعی رشد یافته در یک خاک اسیدی اصلاح شده با ۱۱ تن در هکتار بیوچار چوب در مدت ۲ سال را مشاهده کردند. در ۴آزمایش مزرعه ای تحت کشت دیم در استرالیا، بلک ول و همکاران (۲۰۱۰) بهبود راندمان مصرف کود فسفر را مشاهده کردند و آن را به برهمکنش های بهتر گیاه و میکوریزا در خاک اصلاح شده با بیوچار نسبت دادند. با کاربرد ۱ تن در هکتار بیوچار در نوارها، عملکرد گندم می تواند در نرخ های کم کاربرد کود بیشتر بهبود یابد. همچنین در این نرخ کاربرد کم بیوچار، عملکرد گندم بدست امده با نرخ کاربرد بالای کود می تواند با نصف مقدار کود حاصل شود (بلک ول و همکاران، ۲۰۱۰). در این مطالعه این اثر برای نرخ کاربرد بالاتر بیوچار مشاهده نشد، و دلایل این موضوع به خوبی درک نشده است. این محققین همچنین مشاهده کردند که اثر بیوچار بر راندمان مصرف کود در خاک های شنی و لومی بزرگتر از یک خاک لوم رسی بود. این داده ها نشان می دهد که بیوچار ممکن است در زمینه هایی که کمتر برای رشد محصول مطلوب هستند، مزایای بیشتری را فراهم کند.

در یک مطالعه گلدانی ون زویتین و همکاران (۲۰۱۰) مشاهده کردند که در گندم رشد یافته در یک خاک فرالسول اسیدی (اما نه در خاک آهکی) اصلاح شده با ۱۰تن در هکتار بیوچار پسمانده کارخانه کاغذسازی،راندمان جذب نیتروژن بهبود یافت. به طور مشابه و همچنین در یک مطالعه گلدانی چان و همکاران (۲۰۰۷) بهبود رادمان مصرف نیتروژن در تربچه رشد یافته در یک خاک آلفی سول اصلاح شده با ۵۰ و ۱۰۰ تن در هکتار بیوچار بقایای سبز را مشاهده کردند. از آنجا که این خاک

سفت بود، آن ها راندمان بهبود یافته را به اثرات مفید این نرخ های بالای بیوچار بر ویژگی های فیزیکی خاک و در نتیجه رشد ریشه، نسبت دادند. در خاک های غرقاب تحت کشت برنج در چین، یک آزمایش مزرعه ای زمانی که ۴۰ تن در هکتار بیوچار به خاک اضافه شد، افزایش معنی دار ۱۳۰ درصدی در راندمان مصرف کود نیتروژن نسبت به شاهد را در بر داشت. اگر چه راندمان مصرف نیتروژن نیز با کاربرد ۱۰ تن در هکتار بیوچار بیشتر از شاهد از بود اما افزایش از لحاظ آماری معنی دار نبود (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۰).

این مطالعات نشان می دهد که بیوچار دارای پتانسیل برای بهبود راندمان مصرف کود از طریق مکانیسم های مختلف، از جمله شیمیایی، بیولوژیکی و فیزیکی، و با توجه به افزایش قیمت کود ها این دارای پیامدهای مهمی برای کشاورزان می باشد.

۲-۹-تاثیرات مستقیم و غیر مستقیم بیوچار روی تغییر شکل مواد مغذی خاک

۲-۹-۱-نیتروژن

نیتروژن محدود کننده ترین عنصر غذایی گیاه در بیشتر اکوسیستم های خاکی سرد و یا معتدل است (ویتوسک و هوارس، ۱۹۹۱). در خاک، بیشتر نیتروژن در اشکال آلی پیچیده ای حضور دارد که باید قبل از جذب توسط بسیاری از گیاهان زراعی ابتدا به NH_4^+ و سپس به NO_3^- تبدیل شود (استیوسون و کل، ۱۹۹۹). مطالعات اخیر نشان داده اند که افزودن بیوچار به سطح خاک های معدنی ممکن است تغییر شکل نیتروژن را به طور مستقیم تحت تاثیر قرار دهد.

۲-۹-۱-۱-آمونیفیکاسیون و نیتریفیکاسیون

معدنی شدن نیتروژن فرآیندی است که به موجب آن نیتروژن آلی از طریق آمونیفیکاسیون (که در آن NH_4^+ تشکیل می شود) و نیتریفیکاسیون (که در آن NO_3^- تشکیل می شود) به نیتروژن معدنی تبدیل می شود. آمونیفیکاسیون یک فرآیند زنده است که در درجه اول توسط باکتر های هتروتروف و انواع قارچ ها انجام می شود (استیوسون و کل، ۱۹۹۹). نیتریفیکاسیون یک فرآیند به

شدت زنده است که بیشتر تـویط موجـودات اتـوتروف، از جملـه بـاکتری هـا و آرکئاهـای موجـود در خاکهای کشاورزی، مرتعی و جنگلی انجام می شـود (استیوسـون و کـل، ۱۹۹۹؛ گرنـون و همکـاران، ۲۰۰۴؛ لینیگر و همکاران، ۲۰۰۶؛ ایسلم و همکاران، ۲۰۰۷). افزایش میزان خالص نیتریفیکاسیون بـه سبب کاربرد بیوچار در خاک جنگل های معتدل که قبلا نیتریفیکاسیون کمی نشان داده و یـا بـدون نیتریفیکاسیون بودند، مشاهده شده است (برگلوند و همکاران، ۲۰۰۴ ؛ دلوکا و همکاران، ۲۰۰۶). هـر دو کربن فعال (برگلوند و همکاران، ۲۰۰۴؛ دلوکا و همکـاران، ۲۰۰۲) و بیوچـار جمـع آوری شـده از جنگل به تـازگی سـوخته (دلوکـا و همکـاران، ۲۰۰۶؛ مـاکنیز و دلوکـا، ۲۰۰۶) و یـا تولیـد شـده در آزمایشگاه از طریق حرارت دادن زیست توده در یک کوره اسـتردار (گانـدل و دلوکـا، ۲۰۰۶) خـالص نیتریفیکاسیون را در خاک های جنگلی تحریک کردند. در خاک های جنگلی قـدیمی غنـی از فنـول اسیدی، شمال سوئد نیتریفیکاسیون زیر حد تشخیص بود، در حالی که مکان هایی از جنگـل کـه بـه تازگی در معرض آتش سوزی قرار گرفته بود سطوح قابل انـدازه گیـری از نیتریفیکاسـیون در آن هـا مشاهده شد (دلوکا و همکاران، ۲۰۰۲). تزریق گلیسین (یک منبع ناپایدار نیتروژن آلی) به این خـاک های جنگلی قدیمی به آسانی آمونیفیکاسیون را تحریک کرد، اما در تحریک نیتریفیکاسـیون نـاموفق بود. تزریق کربن فعال به لایه هوموسی باعث اندکی تحریک در نیتریفیکاسیون شد، اما تزریق گلیسین همراه با کربن فعال به شدت نیتریفیکاسیون را تحریک کرد، این امر نشان می دهد که آمونیفیکاسیون در این خاک ها به دلیل سوبسترا محدود، در حالی که نیتریفیکاسیون توسط یک عامل که می تواند با اضافه کردن کربن فعال اثر بازدارندگی آن کاهش یابـد، مهـار شـده بـود (دلوکـا و همکـاران، ۲۰۰۲؛ برگلند و همکاران، ۲۰۰۴). این امکان وجود دارد که کربن فعال ترکیبات آلی را جذب کرده است کـه یـا بازدارنـده خـالص نیتریفیکاسـیون هسـتند (وایـت، ۱۹۹۱؛ وارد و همکـاران، ۱۹۹۷؛ پـاوولانین و همکاران، ۱۹۹۸) و یا سبب ایموبلیزاسیون NO_3^- انباشته شده می شوند (مک کارتی و برمنر، ۱۹۸۶ ؛ اچیمل و همکاران، ۱۹۹۶).

بیوچار جمع آوری شده از جنگل های که اخیرا در معرض آتش سوزی قرار گرفتـه بـود، سـبب تحریک خالص نیتریفیکاسیون در خاک جنکل های کاج پوندروسا (ponderosa) کم ارتفـاع شـد کـه قبلا دارای نیتریفیکاسیون کم و یا بدون نیتریفیکاسیون بودنـد (دلوکـا و همکـاران، ۲۰۰۶). فعالیـت نیتریفیکاتور در خاک های جمع آوری شده از مکان هایی که برای حدود ۱۰۰ سال در معـرض آتـش سوزی قرار نگرفته بودند، بسیار پایین و در خاک های در معرض آتش سوزی، نسـبتا بـالا بـوده اسـت (دلوکا و همکاران، ۲۰۰۶). پاسخ سریع جامعه نیتریفیکاتور به افزودن بیوچار در خاک های با فعالیـت کم نیتریفیکاسیون و عدم وجود یک اثر تحریکی روی جوامع نیترات ساز به طور فعال نشان می دهـد که بیوچار ممکن است جاذب ترکیبات بازدارنده در محیط خاک باشد (زاکریسون و همکاران، ۱۹۹۶)، که پس از آن به پیشرفت نیتریفیکاسیون اجازه می دهد. آتش سوزی باعـث تـاثیر کوتـاه مـدت روی قابلیت دسترسی نیتروژن می شود، اما بیوچار ممکن است برای حفظ آن اثر برای ده ها سـال پـس از آتش سوزی عمل کند.

درجه حرارت تشکیل بیوچار و نوع مواد گیاهی که از آن بیوچار تولید می شوند نیز به طور بالقوه آمونیفیکاسیون و نیتریفیکاسیون را تحت تاثیر قرار می دهند (گاندل و دلوکا، ۲۰۰۶). گاندل و دلوکـا (۲۰۰۶) بررسی کردند که چگونه بیوچار تولید شده در دو دمای مختلف (۳۵۰ و ۸۰۰ درجـه سـانتی گراد) از پوست و چوب دو گونه مختلف درخت رایج در شمال غربی آمریکا (کاج پوندروسا و دوگلاس) معدنی شدن نیتروژن و نیتیریفیکاسیون را تحت تاثیر قرار داد. تمام تیمار های بیوچار بـه جـز چـوب دوگلاس، نیتریفیکاسیون را افزایش دادند، که نشان می دهد برای برخی از گونـه هـا، بیوچـار پوسـت ممکن است موثرتر از بیوچار چوب باشد. در این آزمایش ها، افزودن بیوچار به خاک همچنـین باعـث کاهش آمونیفیکاسیون نسبت به شاهد گردید (گاندل و دلوکا، ۲۰۰۶). ایـن حتمـالا بـه دلیـل جـذب NH_4^+ به بیوچار باشد (برگلند و همکاران، ۲۰۰۴). برای بیوچار های تولید شده در ۸۰۰ درجه سـانتی گراد به غیر از پوست درخت کاج پوندروسا، که افزایش قابل توجهی در نیتریفیکاسیون نداشت، نتـایج مشابه بود. روشن است که درجه حرارت تشکیل و نوع مواد آلـی گرماکافـت شـده در هنگـام ارزیـابی

اثرات بیوچار روی فرآیندهای چرخه عناصر غذایی در خاک عوامبل مهمی به نظر می رسند، ولی در مجموع این ۲ عامل نمی تواند نشان دهنده تشابه دو بیوچار باشد.

با افزودن بیوچار به خاک های کشاورزی مناطق استوایی هم کاهش در قابلیت دسترسی نیتروژن (لهمان و همکاران، ۲۰۰۳) و هم افزایش جذب نیتروزن در محصولات گزارش شده است (استاینر و همکاران، ۲۰۰۷Steiner). کاهش قابلیت دسترسی به نیتروژن ممکن است به خاطر نسبت C/N بالای بیوچار، در نتیجه، پتانسیل بزرگتر آن برای ایموبلیزاسیون تلفات آبشویی نیتروژن و تثبیت بیشتر حاصلخیزی آن در طول زمان در خاک های سطحی می گردد (استاینر و همکاران، ۲۰۰۷). لازم به ذکر است که پتانسیل ایموبلیزاسیون مرتبط با افزودن بیوچار به خاک می تواند به واسطه ماهیت مقاوم بیوچار به شدت محدود شود(دلوکا و اپلت، ۲۰۰۷).

به طور خلاصه، افزودن بیوچار به خاک های غنی از فنول اسیدی فاقد خالص نیتریفیکاسیون دارای پتانسیل برای تحریک نیتریفیکاسیون است. افزودن بیوچار به خاک های کشاورزی و مرتعی که قبلا خالص نیتریفیکاسیون نشان دادند احتمالا هیچ تاثیری روی نیتریفیکاسیون نداشته باشد و ممکن است کاهش اندکی در خالص آمونیفیکاسیون به علت جذب NH_4^+ یا افزایش ایموبلیزاسیون را نشان دهد.

۲-۹-۱-۲-ایموبلیزاسیون،تصاعد و دنیتریفیکاسیون

مطالعلت معدودی نشان داده اند که بیوچار می تواند هر دو NH_4^+ و NO_3^- محلول خاک را جذب کند (لهمان و همکاران، ۲۰۰۶)، در نتیجه نیتروژن معدنی محلول حداقل به طور موقت کاهش می یابد، اما ممکن است برای استفاده میکروبی تغلیظ شود. زیرا بیوچار ساکن در خاک باامواد آلی محبوس می شود (واردل و همکاران، ۱۹۹۸؛ زاکریسون و همکاران، ۱۹۹۶)، و یا با هر دو مواد معدنی و آلی با هم به منابع حفاظت شده فیزیکی خاکدانه ای می شود (برودویسکی و همکاران، ۲۰۰۶)، نیتروژن در این منابع ماده آلی ممکن است برای مدت زمانی غیر قابل دسترس باقی بماند.

همانطور که در بالا بحث شد، بیوچار یک ماده تخلیه شده از نیتروژن با یک نسبت C/N بسیار بالا است. اندکی تجزیه زمانیکه بیوچار تازه به خاک اضافه می شود، اتفاق می افتد (لیانگ و همکاران، ۲۰۰۶؛ اسچیونر، ۱۹۹۶)، که می تواند سبب خالص ایموبلیزاسیون نیتروژن معدنی موجود در محلول خاک و یا اعمال شده به عنوان کود شود. بیوچار دمای پایین، هنگامی که در خاک های معدنی استفاده شود در نتیجه تخریب میکروبی باقیمانده روغن زیستی (bio-oil) (استاینر و همکاران، ۲۰۰۷) و یا گروه های عاملی سطح (لیانگ و همکاران، ۲۰۰۶) احتمالا سبب تحریک خالص ایموبلیزاسیون می شود. این فرایند ایموبلیزاسیون می تواند یک مخزن موقت نیتروژن آلی را ایجاد کند که می تواند پتانسیل نیتروژن معدنی برای هدر رفت در خاک های با آبشویی بالا را کاهش دهد (استاینر و همکاران، ۲۰۰۷).

تصاعد آمونیاک در خاک های کشاورزی در pH قلیایی و وقتی غلظت های بالایی از NH_4^+ وجود دارند، قابل توجه است (استوسون و کل، ۲۰۰۲). بیوچار و بیوچار مخلوط شده با خاکستر دارای پتانسیل برای افزایش pH خاک های اسیدی می باشد (گلسر و هکاران، ۲۰۰۲)، اما نه تا یک سطحی که تصاعد را افزایش دهد (استوسون و کل، ۱۹۹۹). افزودن بیوچار به خاک های کشاورزی و همچنین خاک اسیدی جنگلی، سبب کاهش غلظت های NH_4^+ شد، که می تواند ناشی از تصاعد باشد، اما احتمال بیشتر این است که جذب سطحی NH_4^+ (للاچ و باندوسز، ۲۰۰۷) غلظت های NH_4^+ خاک را کاهش می دهد و باعث کاهش پتانسیل تصاعد NH_3 می شود.

دنیتریفیکاسیون یک فرآیند بیولوژیکی است که در آن NO_3^- در غیاب O_2 به N_2 (گاز) احیا می شود. زمانی که شرایط مناسب برای احیای کامل NO_3^- به N_2 نیست چند ترکیب واسطه (از جمله NO و N_2O) در طول این فرآیند احیایی تشکیل و به طور بالقوه در اتمسفر خاک منتشر می شوند. بیوچار دارای پتانسیل برای کاتالیز احیای N_2O به N_2 و به طور بالقوه کاهش انتشار این گاز گلخانه ای مهم به اتمسفر می باشد.

بیوچار می تواند مستقیم یا غیر مستقیم دنیتریفیکاسیون را تحت تاثیر قرار دهد. فرآیند دنیتریفیکاسیون نیاز به حضور سوبسترا (کربن قابل استفاده) و یک پذیرنده نهایی الکترون، مانند NO_3^- دارد (استوسون و کل، ۱۹۹۹). یک افزایش در خالص نیتریفیکاسیون خاک های اسیدی جنگلی زمانی که بیوچار اضافه می شود (دلوکا و همکاران، ۲۰۰۶) می تواند در جایی که کربن قابل استفاده بالاست، سبب افزایش پتانسیل برای دنیتریفیکاسیون تحت شرایط بی هوازی شود. افزودن کود دامی با بیوچار به طور بالقوه می تواند زیست فراهمی کربن در محلول خاک را افزایش دهد (لهمان و همکاران، ۲۰۰۳؛ استاینر و همکاران، ۲۰۰۷). ترکیب این دو عامل می تواند به طور بالقوه دنیتریفیکاسیون را در خاک های معدنی اصلاح شده با مخلوطی از بیوچار و کود دامی افزایش دهد.

۲-۹-۱-۳-تثبیت بیولوژیکی نیتروژن

تثبیت بیولوژیکی N_2 منحصرا در اکوسیستم های خاکی که در آنها سایر ورودی های نیتروژن حداقل هستند، مهم می باشد. بنابراین، دانستن اینکه آیا کاربرد بیوچار دارای ظرفیت برای تغییر موجودات زنده تثبیت کننده N_2 همزیست و یا آزاد زی می باشد، مهم است. روندن و همکاران (۲۰۰۷) اثر افزودن مقادیر مختلف بیوچار روی گره زائی انواع رایج لوبیا (Phaseohus vulgaris) تلقیح شده با سویه های ریزوبیوم را بررسی و تغییرات در جذب نیتروژن را با استفاده از یک روش رقیق سازی ایزوتوپی اندازه گیری کردند. بیوچار تثبیت N_2 را در مقایسه با شاهد به طور قابل توجهی افزایش داد اما بیشترین نرخ استفاده (۹۰گرم بیوچار در ۱ کیلوگرم خاک) بالاترین غلظت نیتروژن در خاک یا زیست توده گیاه را ارائه نکرد. مطالعه بیشتر نشان داد که بیوچار احتمالا تثبیت N_2 را در نتیجه افزایش قابلیت دسترسی فلزات کم مصرف مانند نیکل، آهن، بور، تیتانیوم و مولیبدن تحریک می کند. بیشترین نرخ های کاربرد بیوچار میزا تاثیر را کاهش داد و استفاده بیش از حد، احتمالا مانع تثبیت N_2 شود. همچنین اگر بیوچار مانع ترکیبات علامت دهنده (signaling) در محیط خاک شود، احتمالا گره زایی لگوم تحت تاثیر قرار می گیرد (وارنوک و همکاران، ۲۰۰۷). تشکیل گره های ریشه درگیاهان لگوم از طریق انتشار فلاونوئیدها، که ترکیبات علامت دهندهپلی فنولی هستند، آغاز می

شود (جاین و نایناویت، ۲۰۰۲). بیوچار در جذب ترکیبات فنول از جمله فلاونوئیدها بسیار موثر است (گاندل و دلوکا،۲۰۰۶). بنابراین، نرخ های بالای بیوچار احتمالا مانع دریافت سیگنال و آغاز روند آلودگی ریشه لگوم ها خواهد شد.

فصل سوم

مواد و روش ها

۳-۱-آزمایش گلدانی

این آزمایش در سال زراعی ۹۵-۹۶ در گلخانه فضای سبز شهر نیشابور اجرا شد. شهر نیشابور در بخش مرکزی استان خراسان رضوی است که بین ۵۸ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۵۹درجه و ۳۰ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۹ دقیقه عرض جغرافیایی در حاشیه شرقی کویر مرکزی ایران واقع شده است.

بر اساس تقسیم بندی اقلیمی نیشابور جزو اقلیم فلات مرکزی و نیمه بیابانی است، در زمستان نسبتاً سرد و در تابستان معتدل با میانگین دمای حداقل ۱/۷ و حداکثر ۵/۲۲ درجه سانتی گراد جزو یکی از نقاط سرد استان محسوب می شود. متوسط کل بارندگی سالانه شهر نیشابور (دوره ی سی ساله) ۴/۲۴۷ میلی متر، حداکثر متوسط بارندگی ماهانه در اسفند ۸۷/۵۰ میلی متر و حداقل متوسط بارندگی ماهانه در مرداد ماه ۱۶ میلی متر بوده است.

۳-۱-۱-خصوصیات خاک

به منظور ایجاد محیط کشت در گلدان ها، از خاک شهرستان نیشابور استفاده شد. pH خاک به روش الکترومتریک (pHمتر) بر روی گل اشباع، هدایت الکتریکی با استفاده از دستگاه هدایت سنج بر روی عصاره گل اشباع انجام گرفت. نتایج حاصل از تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول(۳-۱) نشان داده شده است.

جدول ۳-۱-نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

رس (درصد)	۱۴
سیلت (درصد)	۱۵
شن (درصد)	۷۱
$(\mathrm{mS}.cm^{-1})\mathrm{EC}$	۴/۳۱
پ هاش	۷/۳۹
بافت خاک	لوم شنی
کربن آلی (درصد)	۰/۲۷
آهک(درصد)	۱۵/۰۶

۳-۱-۲-آماده سازی خاک برای آزمایش گلخانه ای

جهت آزمایش گلخانه ای نیاز به خاکی بود که ضمن فراهم نمودن شرایط رشد گیاه، در مرحله برداشت، به سهولت بتوان به سیستم ریشه ای گیاه بدون آنکه صدمه ای به ان وارد آید، دسترسی داشت. یعنی انکه بافت خاک حتی الامکان سبک باشد. بدین منظور، پس از الک نمودن مقدار کافی از خاک مزرعه و ماسه آبرفتی شسته شده (با الک دو میلیمتری) و جدا نمودن قطعات سنگ و خار و خاشاک و سایر اضافات، مخلوطی کافی از خاک مزرعه + ماسه آبرفتی شسته شده، تهیه شد. خاک تهیه شده به ستون های کشت انتقال داده شد.

۳-۱-۳-طرح آزمایشی و شرایط رشد

آزمایش در شرایط گلخانه ای و به صورت فاکتوریل بر اساس طرح کاملا" تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. فاکتور های آزمایش شامل فاکتور نیتروژن در ۴ سطح [سطح ۱: فاقد نیتروژن، سطح ۲: ۸۰کیلوگرم در هکتار نیتروژن، سطح ۳: ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، سطح ۴: ۳۲۰ کیلـوگرم در هکتار نیتروژن، و بیوچار در ۲سطح[سطح ۱: فاقد بیوچار و سطح ۲: بیوچار تهیه شده از سبوس برنج به مقدار ۳۰ گرم (۱ درصد وزنی خاک گلدان)]. با توجه به تعدا تیمار و تکرار، تعداد ۶۰ عدد گلدان به عنوان واحد کشت قرار گرفت.

۳-۱-۴-تعیین ظرفیت زراعی خاک گلدان ها و نحوه آبیاری

برای تعیین مقدار آب مورد نیاز در آبیاری گلدان ها در آزمایش گلخانه ای (جلوگیری از آبشویی ناخواسته) از روش تعین ظرفیت زراعی داسیلئا (۱۹۹۴) استفاده شد. میزان آب گلدان ها هر چهار تـا پنج روز با توزین تعدادی از گلدان های کنترل شده و همواره سعی گردید رطوبت خاک آن ها در حد ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه باقی بماند.

۳-۱-۵-نحوه کاشت در گلدان ها

پس از پر کردن گلدان ها از خاک به تعداد ۵ عدد بذر لوبیا، با فاصله مناسب از یکدیگر، در نقطه مرکزی گلدان کاشته شدند. مقدار ۳۰ گرم (ا درصد وزنی خاک گلـدان) از بیوچـار سـبوس بـرنج بـه گلدان ها اضافه شد، سپس مقدار ۰/۲ گرم کود اوره (۸۰کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص) به ۱۵عدد گلدان، مقدار ۰/۴ گرم کود اوره (۱۶۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص) به ۱۵عدد گلـدان و مقـدار ۰/۸ گرم کود اوره (۳۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص) به ۱۵ عـدد گلـدان اضـافه شـد، سـپس گلدان ها آبیاری شده و رطوبت آن ها همواره در حد ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه باقی نگه داشته شد.

شکل۳-۱-رشد گیاه لوبیا در هفته اول

۳-۱-۶-نمونه برداری خاک وگیاهی

از زمان کاشت گلدان ها در دوره های مشخص شده، نمونه گیری از گونه های تحت کشت در تیمار های مختلف خاک و گیاه صورت گرفت، و سپس به آزمایشگاه منتقل شدند. سپس خاک را روی روزنامه پهن کرده و پس از گذشت یک روز نمونه ها را با الک ۲ میلیمتری الک کرده و در ظروف مشخص میریزیم.

در نمونه برداری، اندام هوایی گیاهی از سطح خاک بریده شده و در داخل پاکت کاغذی شماره دار ریخته و به آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه پس از انتقال به دستگاه آون، در حرارت ۷۵ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت نگه داری شدند تا کاملا خشک شوند. پس از این مدت از آون خارج و پس از گذشت مدت زمان بیست دقیقه ای جهت رسیدن به تعادل دمایی با محیط، با ترازوی حساس با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شدند.

شکل۳-۲-اولین مرحله نمونه گیری خاک و گیاه

۳-۲-تهیه بیوچار

در این آزمایش از بیوچار سبوس برنج استفاده شد که به صورت زیر تهیه شد.

۳-۲-۱-بیوچار سبوس برنج

بدین منظور ابتدا، سبوس برنج خریداری و درون ظرف های فلزی درب دار ریخته شد. ظرف ها در دمای ۴۰۰ درجه ساتی گراد به مدت ۶ ساعت در کوره مخصوص تهیه بیوچار حـرارت داده شـد و بعد از دو روز بیوچار از کوره خارج شد(شکل۳-۳)

شکل ۳-۳-سبوس برنج و بیوچار تهیه شده از آن

۳-۳-اندازه گیری اسیدیته خاک

در این آزمایش pH نمونه ها با استفاده از محلول گل اشباع با استفاده از دستگاه pH متر مدل EDT MODEL METERGP353 به دست آمد. بدین صورت پس از تهیه ی محلول گل اشباع و کالیبره کردن دستگاه pH متر الکترود آن را داخل محلول قرار داده و مقدار اسیدیته نشان داده شده قرائت گردید.

۳-۴-اندازه گیری درصد کربن آلی

به منظور اندازه گیری مقدار ماده آلی خاک از روش والکی و بلاک استفاده شد.

۳-۵-اندازه گیری ازت کل و آمونیاک به روش کجلدال

یک گرم خاک کوبیده و از الک پانصد میکرون(۰/۵ میلی متری) عبور داده را توزین در بالن ژوژه صد میلی لیتر پیرکس ریخته و سپس مقدار ۱/۱ گرم مخلوط کاتالیست به آن اضافه و مخلوط نمائید سپس دو میلی لیتر اسید سولفوریک غلیظ به آن بیفزائید (همراه نمونه ها یک بلانک تهیه شود) نمونه ها را روی اجاق برقی قرار داده و حرارت را تا ۳۷۰ درجه سانتیگراد تدریجاً افزایش دهید تا نمونه شفاف شود. پپس به مدت ۳۰ دقیقه اضافه بر حرارت دادن قبلی نمونه ها را حرارت دهید (درجه حرارت نباید از ۴۰۰ درجه سانتیگراد تجاوز نماید) نمونه ها را از روی اجاق بردارید بعد از سرد شدن مقدار ۳۰ میلی لیتر آب مقطر اضافه نمائید سپس مقدار ۲۵ میلی لیتر از اسید بوریک و اندیکاتور را در ارلن مایر ۱۲۵ ریخته زیر مبرد (آب در مبرد جریان داشته باشد) دستگاه قرار دهید. سپس محتویات بالن که نمونه خاک در ان هضم شده به بالن تقطیر انتقال دهید بعد از شستشوی بالن مقدار بیست میلی لیتر سود ده نرمال اضافه نمائید (حجم محتویات داخل بالن تقطیر حداکثر ۸۰ میلی لیتر باشد) بلافاصله شیر قیف را بسته حرارت را در سیستم برقرار نمائید تا حجم اسد بوریک زیر مبرد به ۷۵ میلی لیتر برسد که مدت ۷ دقیقه طول خواهد کشید (باید سیستم حرارتی را طوری تنظیم نمائید که این مقدار مایع تقطیر شده را در مدت ذکر شده داشته باشید). سپس ارلن را از سیستم جدا نموده بعد از شستشوی انتهای مبرد آنرا با اسید سولفوریک ۰/۰۱ نرمال تیتر نمائید تا رنگ از سبز به صورتی تبدیل شود.

۳-۶-اندازه گیری ازت نیتراته با روش دیازو

اندازه گیری ازت نیتراته در این روش با استفاده از روش رنگ سنجی انجام می شود بین صورت یون نیترات بعد از احیا به نیتریت با سولفانیل آمید در محیط اسید کلرئیدریک به Diazonium Salt تبدیل شده، سپس در مجاورت ماده شیمیایی [N-(1-naphty1)-ethylendiamine]، کمپلکس Azo

تشکیل می دهد که شدت رنگ قرمز مایل به ازغوانی در طول موج ۵۴۰ nm (نانومتر) مورد سنجش قرار می گیرد. در این روش برای احیای نیترات به نیتریت از فلز روی استفاده می شود.

مقدار ۱۰ گرم خاک را توزین نموده در ارلن مایر ۲۵۰ میلی لیتر بریزید و مقدار ۰/۱ گرم سولفات کلسیم دو آب و صد میلی لیتر آب مقطر به ان بیفزائید و به مدت یک ساعت با شیکر دورانی آنرا بهم بزنید سپس آن را سانتریفوژ یا با کاغذ صافی صاف نمائید (محلول عصاره باید در یخچال نگهداری شود) مقدار دو میلی لیتر از نمونه های شاهد، استانداردها و عصاره خاک را در شیشه عصاره گیری ۲۵ میلی لیتر بریزید سپس ۰/۵ گرم از پودر مخلوط به آن افزوده و دقیقا به مدت پانزده ثانیه آن را تکان دهید و فوراً صاف نمائید، سپس مقدار جذب نمونه ها را در طول موج ۵۴۰nm (نانومتر) با دستگاه اسپکتروفتومتر مورد سنجش قرار دهید.

۳-۷-تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده های آزمایش با استفاده از نرم افزار SAS انجام شد. و مقایسه میانگین با آزمون حداقل اختلاف معنی دار توکی (HSD) و در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد انجام شد.

فصل چهارم

نتایج و بحث

۴-۱-بررسی اثرات بیوچار و کود اوره

۴-۱-۱-اثر بیوچار و کود اوره برمقدار آمونیوم

نتایج تجزیه واریانس مقدار آمونیوم خاک نشان داد که اثر اصلی بیوچار و کود اوره در هر ۵ زمان مورد آزمایش در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد. همانطور که در جدول (۴-۱) مشاهده می‌شود اثر متقابل بیوچار و کود اوره بر مقدار آمونیوم خاک در روزهای ۳۰، ۷۰ و ۹۰ بعد از کشت گیاه در سطح احتمال ۱ درصد و در روز ۵۰ بعد از کشت در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد ولی در روز ۱۰۰ بعد از کشت معنی‌دار نشد (جدول ۴-۱).

جدول ۴-۱. نتایج تجزیه واریانس مقدار آمونیوم خاک

منابع	درجه	زمان (روز بعد از کشت)				
تغییر	آزادی	۳۰	۵۰	۷۰	۹۰	۱۰۰
بیوچار	۱	۱۶۳۳/۵۰**	۱۰۶۶/۶۷**	۱۳۲۰/۱۶**	۹۶۲/۶۶**	۷۱۵/۰۴**
کود اوره	۳	۱۳۷۳۳/۹۴**	۱۰۵۴۶/۱۱**	۸۳۵۳/۸۳**	۶۹۲۹/۸۳**	۶۷۹۱/۴۸**
بیوچار*اوره	۳	۱۷۲/۶۱**	۵۹/۲۲*	۱۰۲/۰۵**	۵۴/۱۱**	۴۵/۷۰
خطا	۱۶	۱۵/۹۲	۱۲/۲۹	۶/۷۵	۸/۰۸	۲۰/۲۱

** در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است

* در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است

نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی بیوچار و کود اوره بر مقدار آمونیوم خاک در زمان ۱۰۰ روز پس از کاشت در جدول ۴-۲ نشان داده شده است. همانطور که در جدول مشاهده می‌شود افزودن بیوچار به مقدار ۱ درصد وزنی موجب کاهش معنی‌دار مقدار آمونیوم خاک نسبت به تیمار بدون بیوچار در همه

زمان های مورد مطالعه شد. همچنین نتایج نشان داد کاربرد کود اوره موجب افزایش معنی‌دار مقدار آمونیوم خاک نسبت به تیمار شاهد در تمام زمان‌های مورد بررسی شد (جدول ۴-۲).

جدول ۴-۲. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی بیوچار، اثر اصلی کود اوره و اثر متقابل بیوچار و کود اوره بر مقدار آمونیوم خاک(میلی گرم بر کیلوگرم) در روزهای ۳۰، ۵۰، ۷۰، ۹۰ و ۱۰۰ بعد از کشت گیاه

سطوح بیوچار	سطوح کود اوره	زمان (روز بعد از کاشت)				
(درصد وزنی)	(کیلوگرم در هکتار)	۳۰	۵۰	۷۰	۹۰	#۱۰۰
۰	---	۱۳۴/۳^{a}	۱۲۰/۸^{a}	۱۱۷/۳^{a}	۱۱۰/۹^{a}	۱۰۹/۲^{a}
٪۱	---	۱۱۷/۸^{b}	۱۰۷/۵^{b}	۱۰۲/۵^{b}	۹۸/۲^{b}	۹۸/۳^{b}
---	۰	۷۱/۳^{d}	۷۱/۸^{d}	۷۴/۶^{d}	۷۳/۱^{d}	۷۲/۶^{c}
---	۸۰	۱۰۴/۳^{c}	۸۸/۱^{c}	۸۴/۰^{c}	۷۹/۸^{c}	۷۸/۳^{c}
---	۱۶۰	۱۴۹/۰^{b}	۱۳۳/۰^{b}	۱۲۶/۵^{b}	۱۲۰/۶^{b}	۱۱۸/۸^{b}
---	۳۲۰	۱۷۹/۶^{a}	۱۶۳/۶^{a}	۱۵۴/۵^{a}	۱۴۴/۶^{a}	۱۴۲/۷^{a}
۰	۰	۷۴/۳^{f}	۷۵/۶^{fg}	۷۹/۰^{f}	۷۷/۰^{f}	۷۵/۳
۰	۸۰	۱۱۰/۶^{d}	۹۵/۰^{e}	۹۰/۰^{e}	۸۵/۶^{e}	۸۵/۰
۰	۱۶۰	۱۵۷/۰^{b}	۱۳۸/۰^{c}	۱۳۲/۳^{c}	۱۲۵/۶^{c}	۱۲۴/۰
۰	۳۲۰	۱۹۵/۳^{a}	۱۷۴/۶^{a}	۱۶۸/۰^{a}	۱۵۵/۳^{a}	۱۵۲/۶
٪۱	۰	۶۸/۳^{f}	۶۸/۰^{g}	۷۰/۳^{g}	۶۹/۳^{f}	۷۰/۰
٪۱	۸۰	۹۸/۰^{e}	۸۱/۳^{f}	۷۸/۰^{f}	۷۴/۰^{f}	۷۳/۳
٪۱	۱۶۰	۱۴۱/۰^{c}	۱۲۸/۰^{d}	۱۲۰/۶^{d}	۱۱۵/۶^{d}	۱۱۳/۳
٪۱	۳۲۰	۱۶۴/۰^{b}	۱۵۲/۶^{b}	۱۴۱/۰^{b}	۱۳۴/۲^{b}	۱۳۴/۹

ستون‌ها با حروف غیرمشابه دارای تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

#: در جدول تجزیه واریانس، اثرمتقابل معنی‌دار نبود به همین خاطر فقط میانگین‌ها ارایه گردید.

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کاربرد بیوچار و کود اوره بر مقدار آمونیوم خاک در جدول (۴-۲) نشان داده شده است. به طور کلی مقدار آمونیوم خاک در تیمارهای کاربرد همزمان کود اوره و بیوچار کمتر از تیمارهای کاربرد تنهای کود اوره بود. به جز تیمار بیوچار بدون کود اوره (B1N0) و تیمار بدون کاربرد کود اوره و بدون بیوچار (B0N0) که در تمام زمان‌های مورد بررسی تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند در سایر تیمارها مقدار آمونیوم در تیمارهای کاربرد همزمان کود اوره و بیوچار به طور معنی‌داری کمتر از تیمارهای کاربرد تنهای کود اوره در تمام زمان‌های مورد بررسی بود. نتایج تغییرات مقدار آمونیوم خاک با گذشت زمان نشان داد که در تیمارهای B1N0 و B0N0 مقدار آمونیوم خاک با گذشت زمان تقریبا ثابت و بدون تغییر بود. ولی در سایر تیمارهای مقدار آمونیوم خاک با گذشت زمان به طور تدریجی کاهش پیدا کرد ولی همچنان بیشتر از مقدار آمونیوم تیمارهای B0N0 و B1N0 بود (جدول ۴-۲).

بایگا و رجاشخار رئو (۲۰۱۷) گزارش کردند که کاربرد مقدار ۲۰۰ و ۵۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار موجب افزایش معنی‌دار مقدار آمونیوم خاک نسبت به تیمار شاهد شد که در راستای نتایج این پژوهش بود. افزایش مقدار آمونیوم خاک با افزایش سطح کود اوره می‌تواند به دلیل افزودن مقادیر بیشتر نیتروژن به خاک در اثر کاربرد کود اوره باشد. در خاک اوره به وسیله آنزیم‌های اوره‌آز به آمونیوم هیدرولیز می‌شود. هیدرولیز اوره در خاک تابع معادله سینتیکی درجه اول است که میزان این هیدرولیز بین ۱۶ تا ۱۴۵ میکروگرم آمونیوم در گرم خاک در ساعت متغیر است و هیدرولیز کامل اوره تقریبا در ۳ تا ۱۵ روز انجام می‌شود (سوتر و همکاران، ۲۰۱۱). کارتس و همکاران (۲۰۰۹) بیان کردند که میزان هیدرولیز اوره با افزایش مقدار کاربرد اوره تا ۸۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار افزایش می‌یابد. همچنین در راستای نتایج این پژوهش نتایج وانگ و همکاران (۲۰۱۷) و بایگا و رجاشخار رئو (۲۰۱۷) نشان داد که صرف نظر از اینکه کود اوره به خاک اضافه شده باشد یا نه کاربرد بیوچار می‌تواند موجب کاهش مقدار آمونیوم خاک شود. این کاهش می‌تواند به دلیل افزایش تصعید آمونیاک از خاک در اثر افزایش مقدار pH خاک باشد (کلاف و همکاران، ۲۰۱۳؛ ژنگ و همکاران، ۲۰۱۳).

همچنین جذب فیزیکی یا به دام افتادن آمونیوم در حفرات بیوچار می‌تواند دلیلی دیگری بر مقدار کمتر آمونیوم در تیمارهای اصلاح شده با بیوچار باشد (صالح و همکاران، ۲۰۱۲). مشابه با نتایج پژوهش حاضر نتایج بی و همکاران (۲۰۱۷) و بایگا و رجاشخار رئو (۲۰۱۷) نشان داد که مقدار آمونیوم خاک در تیمارهای کود اوره و تیمارهای کاربرد همزمان کود اوره و بیوچار با گذشت زمان کاهش یافت. این کاهش احتمالا به دلیل جذب سطحی آمونیوم به وسیله بیوچار (ماندال و همکاران، ۲۰۱۶) یا به احتمال بیشتر افزایش نیترات‌زایی (نیتریفیکاسیون) باشد (بایگا و رجاشخار رئو، ۲۰۱۷). بیوچار می‌تواند از طریق فرآیند تبادل کاتیونی موجب جذب گونه‌های آمونیوم و آمونیاک شود و همچنین می‌تواند آنها را در معرض آلی شدن یا غیرمتحرک شدن میکروبی قرار دهد (ماندال و همکاران، ۲۰۱۶).

۴-۱-۲-اثرات بیوچار و کود اوره بر مقدار نیترات

نتایج تجزیه واریانس مقدار نیترات خاک نشان داد که اثر اصلی بیوچار و کود اوره در هر ۵ زمان مورد بررسی در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد ولی اثر متقابل بیوچار و کود اوره تنها در روزهای ۳۰ و ۱۰۰ بعد از کاشت گیاه در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۴-۳).

جدول ۴-۳. نتایج تجزیه واریانس مقدار نیترات خاک

منابع تغییر	درجه آزادی	زمان (روز بعد از کشت)				
		۳۰	۵۰	۷۰	۹۰	۱۰۰
بیوچار	۱	۵۶۰/۶۶**	۴۸۶/۰۰**	۵۴۱/۵۰**	۹۷۵/۳۷**	۹۲۵/۰۴**
کود اوره	۳	۴۶۳۵/۶۱**	۵۴۹۶/۶۱**	۷۱۵۳/۱۱**	۸۷۵۵/۱۵**	۸۴۴۳/۷۰**
بیوچار*اوره	۳	۶۲/۵۵**	۳۰/۴۴	۸/۶۱	۸/۲۶	۵۰/۸۱۹**
خطا	۱۶	۶/۱۷	۱۱/۴۲	۱۱/۰۴	۶/۸۸	۸/۷۱

** در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است

* در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است

نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی کاربرد بیوچار و کود اوره در جدول (۴-۴) نشان داده شده است. همانطور که در جدول مشاهده می‌شود برخلاف آمونیوم کاربرد بیوچار موجب افزایش معنی‌دار مقدار نیترات خاک نسبت به تیمار شاهد شد. به طوریکه کاربرد ۱ درصد وزنی بیوچار موجب افزایش ۱۱/۸ ٪ تا ۱۵ ٪ مقدار نیترات خاک شد. ولی مشابه با نتایج به دست آمده برای آمونیوم کاربرد کود اوره موجب افزایش معنی‌دار مقدار نیترات خاک شد (جدول ۴-۴). بر این اساس با افزایش سطح کاربرد اوره مقدار نیترات خاک نیز در تمام زمان‌های مورد بررسی به طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت.

جدول ۴-۴. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی بیوچار، اثر اصلی کود اوره و اثر متقابل بیوچار و کود اوره بر مقدار نیترات خاک(میلی گرم بر کیلوگرم) در روزهای ۳۰، ۵۰، ۷۰، ۹۰ و ۱۰۰ بعد از کشت گیاه

سطوح بیوچار	سطوح کود اوره	زمان (روز بعد از کاشت)				
(درصد وزنی)	(کیلوگرم در هکتار)	۳۰	۵۰	۷۰	۹۰	۱۰۰
۰	---	۶۶/۲^{b}	۷۳/۹^{b}	۸۰/۵^{b}	۸۵/۲^{b}	۸۷/۰^{b}
٪۱	---	۷۵/۹^{a}	۸۲/۹^{a}	۹۰/۰^{a}	۹۸/۰^{a}	۹۹/۴^{a}
---	۰	۴۶/۸^{d}	۴۸/۰^{d}	۴۷/۸^{d}	۴۷/۵^{d}	۴۹/۳^{d}
---	۸۰	۵۳/۰^{c}	۶۱/۶^{c}	۶۸/۵^{c}	۷۶/۰^{c}	۷۸/۵^{c}
---	۱۶۰	۷۶/۳^{b}	۸۷/۳^{b}	۹۸/۱^{b}	۱۰۷/۳^{b}	۱۰۹/۰^{b}
---	۳۲۰	۱۰۸/۱^{a}	۱۱۶/۶^{a}	۱۲۶/۸^{a}	۱۳۵/۶^{a}	۱۳۶/۰^{a}
۰	۰	۴۲/۳^{e}	۴۲/۶	۴۴/۶	۴۲/۶	۴۷/۳^{g}
۰	۸۰	۵۰/۳^{d}	۶۰/۰	۶۴/۰	۶۹/۶	۷۱/۶^{f}
۰	۱۶۰	۷۳/۶^{c}	۸۳/۳	۹۲/۳	۹۹/۶	۱۰۰/۳^{d}
۰	۳۲۰	۹۸/۶^{b}	۱۰۹/۶	۱۲۱/۳	۱۲۹/۰	۱۲۸/۶^{b}
٪۱	۰	۵۱/۳^{d}	۵۳/۳	۵۱/۰	۵۲/۳	۵۱/۸^{g}
٪۱	۸۰	۵۵/۶^{d}	۶۳/۳	۷۳/۰	۸۲/۳	۸۵/۳^{e}
٪۱	۱۶۰	۷۹/۰^{c}	۹۱/۳	۱۰۴/۰	۱۱۵/۰	۱۱۷/۶^{c}
٪۱	۳۲۰	۱۱۷/۶^{a}	۱۲۳/۶	۱۳۲/۳	۱۴۲/۳^{a}	۱۴۳/۵^{a}

ستون‌ها با حروف غیرمشابه دارای تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

جدول (۴-۴) نشان دهنده مقایسه میانگین اثر متقابل کاربرد بیوچار و کود اوره بر مقدار نیترات خاک است. همانطور که در جدول مشاهده می‌شود مقدار نیترات خاک در زمان‌های ۳۰ و ۱۰۰ روز پس از کاشت در تیمارهای کاربرد همزمان کود اوره و بیوچار بیشتر از تیمارهای کاربرد تنهای کود اوره بود. مقدار نیترات در تیمار B1N0 نسبت به تیمار B0N0 در ۳۰ روز بعد از کاشت گیاه به طور معنی‌داری بیشتر بود. اگرچه مقدار نیترات در تیمارهای کاربرد همزمان کود اوره و بیوچار بیشتر از تیمارهای کاربرد تنهای کود اوره بود ولی این افزایش برای تیمارهای کاربرد ۸۰ و ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در ۳۰ روز بعد از کاشت گیاه معنی‌دار نبود. مشابه با نتایج به دست آمده برای آمونیوم، در تیمارهای B1N0 و B0N1 تغییرات مقدار نیترات خاک با گذشت زمان ثابت و تقریبا بدون تغییر معنی‌داری بود. ولی همانطور که نتایج جدول (۴-۴) نشان می‌دهد در تمام تیمارهای کاربرد تنهای اوره و تیمارهای کاربرد همزمان اوره با بیوچار مقدار نیترات خاک با گذشت زمان به طور تدریجی افزایش پیدا کرد.

سروش و همکاران (۱۳۹۰) افزایش مقدار نیترات خاک در اثر کاربرد سطوح مختلف کود اوره را مشاهده کردند. آنها بیان کردند که با افزایش سطح اوره (۱۵۰، ۲۳۵ و ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از منبع اوره) مقدار نیترات خاک نیز افزایش پیدا کرد. این افزایش می‌تواند به دلیل نیترات حاصل از کاربرد کود اوره باشد. علاوه براین پژوهش‌ها نشان داده است که کود نیتروژن می‌تواند موجب افزایش فعالیت ریزجاندارن اکسید کننده آمونیوم در خاک شود (بی و همکاران، ۲۰۱۷). پژوهش‌های متعددی افزایش مقدار نیترات خاک را در اثر کاربرد همزمان کود اوره و بیوچار گزارش کردند (بایگا و رجاشخار رئو، ۲۰۱۷؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۷). بی و همکاران (۲۰۱۷) افزایش مقدار نیترات و نیترات‌زایی را در تیمارهای کاربرد همزمان کود نیتروژن و بیوچار در مقایسه با تیمارهای کاربرد تنهای کود نیتروژن مشاهده کردند. این افزایش می‌تواند به دلیل اثر سینرژیسمی یا هم افزایی کاربرد کود اوره و بیوچار بر فرآیند نیترات‌زایی خاک باشد. زیرا بیوچار می‌تواند از طریق جذب سطحی مواد بازدارنده فرآیند نیترات‌زایی مثل فنول‌ها و ترپن‌ها موجب افزایش و تحریک بیشتر فرآید

نیترات‌زایی شود (بال و همکاران، ۲۰۱۰؛ برگلاند و همکاران، ۲۰۰۴؛ دلوکا و همکاران، ۲۰۰۶). علاوه براین، بیوچار می‌تواند از طریق افزایش قابل توجه مقدار کربن آلی خاک و در نتیجه افزایش نسبت C/N خاک موجب افزایش فرآیند نیترات‌زایی به منظور افزایش فراهمی زیستی نیتروژن شود (کلاف و همکاران، ۲۰۱۳). مشابه با نتایج پژوهش حاضر، نتایج بی و همکاران (۲۰۱۷) و بایگا و رجاشخار رئو (۲۰۱۷) نشان دادند که مقدار نیترات خاک در تیمارهای کود اوره و تیمارهای کاربرد همزمان کود اوره و بیوچار با گذشت زمان افزایش یافت.

به طور کلی نوع کودی که به بیوچار اضافه می‌شود یکی از فاکتورهای کلیدی است که مقدار نیتروژن معدنی خاک را تحت تاثیر قرار می‌دهد (نگوین و همکاران، ۲۰۱۷). نگوین و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهش خود بیان کردند که کاربرد همزمان کود آلی با بیوچار تنها موجب کاهش مقدار نیترات خاک می‌شود، کاربرد همزمان کود اوره و نیترات آمونیوم با بیوچار به ترتیب موجب افزایش و کاهش مقدار نیترات خاک می‌شود، کاربرد همزمان کود نیتروژن با بیوچار موجب کاهش مقدار آمونیوم خاک می‌شود و کاربرد تنهای بیوچار موجب کاهش مقدار نیترات خاک می‌شود. به هرحال در پژوهش حاضر افزایش مقدار نیترات خاک در اثر کاربرد تنهای بیوچار احتمال به خاطر وجود مقادیر بالای نیترات در بیوچار باشد که مشابه با نتایج وانگ و همکاران (۲۰۱۷) بود. در حضور کودهای غیرآلی، بیوچار احتمالا به دلیل تعادل جذب سطحی و نیترات‌زایی موجب کاهش مقدار آمونیوم خاک می‌شود (بوهن و همکاران، ۲۰۰۲).

۴-۱-۳-اثرات بیوچار و کود اوره بر مقدار نیتروژن خاک

نتایج تجزیه واریانس مقدار نیتروژن خاک نشان داد که اثر اصلی بیوچار و کود اوره در تمام زمان‌های مورد بررسی در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل کاربرد کود اوره و بیوچار در تمام زمان‌های مورد بررسی به جز روز ۳۰ بعد از کاشت در سطح احتمال ۱ درصد یا ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۴-۵).

جدول ۴-۵. نتایج تجزیه واریانس مقدار نیتروژن کل خاک

منابع تغییر	درجه آزادی	زمان (روز بعد از کشت)				
		۳۰	۵۰	۷۰	۹۰	۱۰۰
بیوچار	۱	۵۳۲/۰۴**	۹۰۰/۳۸**	۱۶۳۳/۵۰**	۲۵۶۲/۶۷**	۲۶۴۶/۰۰**
کود اوره	۳	/۹۳**	/۹۳**	/۳۳**	/۰۶**	/۷۸**
		۲۴۷۱۴	۲۳۵۰۷	۲۲۸۶۶	۲۰۶۵۷	۲۰۴۴۴
بیوچار*اوره	۳	۳۲/۱۵	۱۴۶/۸۲*	۲۲۳/۱۷**	۳۴۴/۲۲**	۲۳۹/۶۷**
خطا	۱۶	۴۵/۳	۲۸/۱	۹/۱	۷/۵۸	۱۱/۷۵

** در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است

* در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است

جدول (۴-۶) نشان دهنده مقایسه میانگین اثر اصلی بیوچار، اثر اصلی کود اوره و اثر متقابل آنها بر مقدار نیتروژن کل خاک است. همانطور که در جدول مشاهده می‌شود افزودن بیوچار به مقدار ۱ درصد وزنی به خاک موجب افزایش کم ولی معنی‌دار مقدار نیتروژن کل خاک در ۳۰ روز پس از کاشت گردید. همچنین نتایج نشان داد که کاربرد کود اوره به مقدار ۸۰، ۱۶۰ و ۳۲۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب موجب افزایش ۹ ٪ تا ۱۷ ٪، ۳۴ ٪ تا ۴۰ ٪ و ۶۰ ٪ تا ۶۴ ٪ مقدار نیتروژن کل خاک نسبت به تیمار شاهد یا بدون کود اوره شد.

همانطور که در جدول (۴-۶) مشاهده می‌شود کاربرد همزمان کود اوره با بیوچار موجب افزایش مقدار نیتروژن کل خاک نسبت به کاربرد تنهای کود اوره شد. از لحاظ آماری بین مقدار نیتروژن کل خاک

در تیمار B1N0 و تیمار B0N0 در تمام زمان‌های مورد بررسی و معنی‌دار (به جز در روز۹۰ بعد از کاشت) تفاوت معنی‌داری وجود نداشت.

جدول ۴-۶. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی بیوچار، اثر اصلی کود اوره و اثر متقابل بیوچار و کود اوره بر مقدار نیتروژن کل خاک(میلی گرم بر کیلوگرم) در روزهای ۳۰، ۵۰، ۷۰، ۹۰ و ۱۰۰ بعد از کشت گیاه

سطوح بیوچار (درصد وزنی)	سطوح کود اوره (کیلوگرم در هکتار)	زمان (روز بعد از کاشت)				
		۳۰	۵۰	۷۰	۹۰	۱۰۰
۰	---	۳۰۸/۴^{b}	۲۹۷/۰^{b}	۲۸۲/۰^{b}	۲۶۳/۷^{b}	۲۵۳/۸^{b}
٪۱	---	۳۱۷/۸^{a}	۳۰۹/۲^{a}	۲۹۸/۵^{a}	۲۸۴/۴^{a}	۲۷۴/۸^{a}
---	۰	۲۴۵/۱^{d}	۲۳۶/۶^{d}	۲۲۲/۸^{d}	۲۱۳/۵^{d}	۲۰۷/۱^{d}
---	۸۰	۲۸۲/۸^{c}	۲۷۵/۳^{c}	۲۶۱/۶^{c}	۲۴۰/۱^{c}	۲۲۵/۸^{c}
---	۱۶۰	۳۳۰/۶^{b}	۳۱۷/۶^{b}	۳۱۱/۶^{b}	۲۹۸/۵^{b}	۲۹۱/۰^{b}
---	۳۲۰	۳۹۳/۸^{a}	۳۸۲/۸^{a}	۳۶۵/۱^{a}	۳۴۴/۱^{a}	۳۳۳/۳^{a}
۰	۰	۲۴۱/۶	۲۳۳/۰^{e}	۲۱۷/۶^{g}	۲۱۰/۰^{g}	۲۱۰/۰^{g}
۰	۸۰	۲۷۹/۰	۲۷۲/۳^{d}	۲۵۴/۶^{e}	۲۳۱/۶^{f}	۲۱۳/۳^{f}
۰	۱۶۰	۳۲۷/۳	۳۱۳/۳^{c}	۳۰۸/۰^{c}	۲۹۰/۳^{d}	۲۸۳/۶^{d}
۰	۳۲۰	۳۸۵/۶	۳۶۹/۳^{b}	۳۴۸/۰^{b}	۳۲۳/۰^{b}	۳۱۵/۰^{b}
٪۱	۰	۲۴۸/۶	۲۴۰/۳^{e}	۲۲۸/۰^{f}	۲۱۷/۰^{g}	۲۱۱/۰^{fg}

۲۳۸/۳^{e}	۲۴۸/۶^{e}	۲۶۸/۶^{d}	۲۷۸/۳^{d}	۲۸۶/۶	۸۰	٪۱
۲۹۸/۳^{c}	۳۰۶/۶^{c}	۳۱۵/۳^{c}	۳۲۲/۰^{c}	۳۳۴/۰	۱۶۰	٪۱
۳۵۱/۶^{a}	۳۶۵/۷^{a}	۳۸۲/۳^{a}	۳۹۶/۳^{a}	۴۰۲/۰	۳۲۰	٪۱

ستون‌ها با حروف غیرمشابه دارای تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

همچنین این افزایش برای تیمارهای کاربرد ۸۰ و ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در روزهای ۵۰ و ۷۰ بعد از کاشت گیاه معنی‌دار نبود. همچنین بررسی تغییرات مقدار نیتروژن کل خاک با گذشت زمان نشان داد که در تمام تیمارها مقدار نیتروژن کل خاک با گذشت زمان به طور معنی‌داری کاهش یافت. به طوری که بیشترین وکمترین مقدار نیتروژن کل خاک به ترتیب با مقدار ۴۰۲ و ۲۰۳ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک مربوط به تیمار B0N0 در روز ۱۰۰ بود.

پژوهش‌های متعددی نشان داده‌اند که کاربرد بیوچار در خاک موجب افزایش مقدار نیتروژن خاک نسبت به تیمار شاهد می‌شود (دیوبند هفشجانی و همکاران، ۱۳۹۴؛ بیدرمن و هارپل، ۲۰۱۳؛ نعیم و همکاران، ۲۰۱۷). این افزایش احتمالا بخاطر وجود نیتروژن در ساختار بیوچار باشد که موجب افزایش نیتروژن خاک نسبت به تیمار شاهد شده است. به هرحال همانطور که پیشتر بیان شد کاربرد همزمان کود اوره با بیوچار نسبت به کاربرد تنهای کود اوره موجب افزایش بیشتر مقدار نیتروژن خاک شد. مشابه با نتایج این پژوهش سرافراز و همکاران (۲۰۱۷) بیان کردند که بیشترین و کمترین مقدار نیتروژن خاک به ترتیب مربوط به تیمار کاربرد همزمان بیوچار با کود نیتروژن (هر دو در بیشترین مقدار کاربرد) و تیمار شاهد بود. آنها بیان کردند که کاربرد همزمان ۲ درصد وزنی از بیوچار با کود نیتروژن (در حد توصیه کودی) موجب افزایش ۴۴ ٪ مقدار نیتروژن خاک نسبت به تیمار شاهد شد. در پژوهشی دیگر لیو و همکاران (۲۰۱۷) بیان کردند که کاربرد ۲ و ۴ درصد وزنی بیوچار موجب افزایش کارایی مصرف کود نیتروژن به ترتیب به مقدار ۹/۰۶ ٪ و ۸/۸۳ ٪ و همچنین افزایش مقدار نیتروژن خاک به ترتیب به مقدار ۸۱/۵۵ ٪ و ۹۴/۵۹ ٪ شد. همچنین پژوهش لمن و گانت (۲۰۰۶)

نشان داد که کاربرد بیوچار می‌تواند فراهمی نیتروژن خاک را نیز افزایش دهد. سرافراز و همکاران (۲۰۱۷) بیان کردند که ظرفیت تبادل کاتیونی بالای بیوچار ممکن است دلیلی برای افزایش ظرفیت نگهداری نیتروژن در خاک و در نتیجه کاهش تلفات نیتروژن در خاک‌های آهکی به شکل تصعید آمونیاک و دنیتریفیکاسیون باشد.

۴-۱-۴- اثرات بیوچار و کود اوره بر مقدار کربن آلی خاک

جدول (۴-۷) نشان دهنده نتایج تجزیه واریانس مقدار کربن آلی خاک است. براساس این جدول اثر اصلی بیوچار و اثر اصلی کود اوره بر مقدار کربن آلی خاک در تمام ۵ زمان مورد بررسی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل کاربرد بیوچار و کود اوره بر مقدار کربن آلی خاک در روزهای ۵۰، ۷۰ و ۹۰ بعد از کاشت گیاه در سطح احتمال ۱ درصد و در روزهای ۳۰ و ۱۰۰ بعد از کاشت گیاه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۴-۷).

جدول ۴-۷. نتایج تجزیه واریانس مقدار کربن آلی خاک

منابع	درجه	زمان (روز بعد از کشت)				
تغییر	آزادی	۳۰	۵۰	۷۰	۹۰	۱۰۰
بیوچار	۱	۰/۵۲۲**	۰/۴۴۶**	۰/۴۲۷**	۰/۳۸۵**	۰/۳۵۴**
کود اوره	۳	۰/۲۶۳**	۰/۲۵۲**	۰/۲۱۵**	۰/۱۶۰**	۰/۱۷۱**
بیوچار*اوره	۳	۰/۰۰۸*	۰/۰۱۳**	۰/۰۲۰**	۰/۰۲۵**	۰/۰۱۳*
خطا	۱۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱

** در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است

* در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است

همانطور که در جدول (۴-۸) مشاهده می‌شود مقدار کربن آلی خاک در تیمارهای کاربرد همزمان کود اوره با بیوچار سبوس برنج به طور معنی‌داری بیشتر از کاربرد تنهای کود اوره در تمام زمان‌های مورد بررسی بود. به هرحال کاربرد تنهای کود اوره به مقدار ۸۰، ۱۶۰ و ۳۲۰ کیلوگرم در هکتار نیز توانست مقدار کربن آلی خاک را نسبت به تیمار بدون کاربرد کود اوره (B0N0) افزایش دهد. به طوری که تفاوت معنی‌داری بین تیمار بدون بیوچار و با کاربرد ۸۰ کیلوگرم اوره در هکتار و تیمار B1N0 در تمام زمان‌های مورد بررسی وجود نداشت. همچنین در تمام زمان‌های مورد بررسی تفاوت معنی‌داری بین سطح ۱۶۰ و ۳۲۰ کیلوگرم در هکتار اوره در عدم حضور بیوچار وجود نداشت. این نشان دهنده این واقعیت است که می‌توان با کاربرد مقادیر کمتری از کودهای شیمیایی به حداکثر اثر مثبت دست یافت. بررسی تغییرات مقدار کربن آلی خاک با گذشت زمان نشان داد که در تمام تیمارها مقدار کربن آلی خاک به طور تدریجی با گذشت زمان کاهش پیدا کرد. به طوری که بیشترین و کمترین مقدار کربن آلی خاک به ترتیب با مقدار ۱/۷۱ ٪ و ۰/۷۵ ٪ مربوط به تیمار کاربرد همزمان بیوچار با ۳۲۰ کیلوگرم در هکتار اوره در روز ۳۰ و تیمار B0N0 در روز ۱۰۰ بود.

جدول ۴-۸. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی بیوچار، اثر اصلی کود اوره و اثر متقابل بیوچار و کود اوره بر مقداردرصد کربن آلی خاک در روزهای ۳۰، ۵۰، ۷۰، ۹۰ و ۱۰۰ بعد از کشت گیاه

سطوح بیوچار	سطوح کود اوره	زمان (روز بعد از کاشت)				
(درصد وزنی)	(کیلوگرم در هکتار)	۳۰	۵۰	۷۰	۹۰	۱۰۰
۰	---	۱/۱۶^{b}	۱/۱۳^{b}	۱/۱۳^{b}	۱/۰۶^{b}	۰/۹۷^{b}
٪۱	---	۱/۴۵^{a}	۱/۴۰^{a}	۱/۴۰^{a}	۱/۳۱^{a}	۱/۲۱^{a}
---	۰	۱/۰۳^{d}	۱/۰۱^{d}	۱/۰۱^{d}	۰/۹۷^{d}	۰/۸۶^{c}
---	۸۰	۱/۲۵^{c}	۱/۲۱^{c}	۱/۲۴^{c}	۱/۱۶^{c}	۱/۰۸^{b}
---	۱۶۰	۱/۴۱^{b}	۱/۳۸^{b}	۱/۳۷^{b}	۱/۲۷^{b}	۱/۱۹^{a}
---	۳۲۰	۱/۵۱^{a}	۱/۴۷^{a}	۱/۴۴^{a}	۱/۳۵^{a}	۱/۲۴^{a}
۰	۰	۰/۹۲^{f}	۰/۹۱^{e}	۰/۹۲^{f}	۰/۸۷^{f}	۰/۷۵^{d}

۰/۹۹^{c}	۱/۰۸^{e}	۱/۱۲^{de}	۱/۰۹^{d}	۱/۱۲^{e}	۸۰	۰
۱/۰۷^{bc}	۱/۱۷^{d}	۱/۲۷^{cd}	۱/۲۶^{c}	۱/۲۷^{cd}	۱۶۰	۰
۱/۰۶^{bc}	۱/۱۳^{de}	۱/۲۲^{cde}	۱/۲۶^{c}	۱/۳۱^{c}	۳۲۰	۰
۰/۹۶^{c}	۱/۰۸^{e}	۱/۰۹^{e}	۱/۱۰^{d}	۱/۱۵^{de}	۰	٪۱
۱/۱۶^{b}	۱/۲۳^{c}	۱/۳۷^{bc}	۱/۳۳^{c}	۱/۳۸^{c}	۸۰	٪۱
۱/۳۱^{a}	۱/۳۷^{b}	۱/۴۷^{b}	۱/۵۱^{b}	۱/۵۶^{b}	۱۶۰	٪۱
۱/۴۱^{a}	۱/۵۷^{a}	۱/۶۵^{a}	۱/۶۷^{a}	۱/۷۱^{a}	۳۲۰	٪۱

ستون‌ها با حروف غیرمشابه دارای تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

افزایش مقدار کربن آلی خاک در اثر کاربرد بیوچارهای مختلف توسط پژوهش‌های لیانگ و همکاران (۲۰۰۹)، ون زویتن و همکاران (۲۰۱۰) و دیل و همکاران (۲۰۱۴) نشان داده شده است. نعیم و همکاران (۲۰۱۷) بیان کردند که کاربرد همزمان بیوچار بقایای گندم همراه با کمپوست و کودهای شیمیایی NPK موجب افزایش ۱۷۹ ٪ مقدار کربن آلی خاک نسبت به شاهد شد در حالی که کاربرد تنهای بیوچار و کمپوست موجب افزایش ۱۰۴ ٪ و ۱۱۶ ٪ نسبت به تیمار شاهد شد. در پژوهشی دیگر وانگ و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که کاربرد بیوچارهای مختلف (بیوچار پوسته بادام زمینی و بیوچار کمپوست پوسته بادام زمینی) با و بدون کود نیتروژن موجب افزایش مقدار ماده آلی خاک در خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری شد. آنها دلیل این افزایش را وجود مقادیر بالای کربن در ساختار بیوچار عنوان کردند. پژوهش‌ها نشان داده است که افزودن بیوچار فعالیت میکروبی خاک را افزایش داده از این طریق موجب افزایش مقدار کربن آلی خاک می‌شود (آگبیده و همکاران، ۲۰۰۸). بیوچار در خاک پایدار است و اجزاء تشکیل دهنده آن در برابر اکسید شدن بسیار مقاوم هستند (بیرد و گروک، ۱۹۹۹). مقادیر بالای کربن آلی در خاک‌های تیمار شده با بیوچار نشان دهنده حضور کربن پایدار و مقاوم به تجزیه در بیوچار است (سولومون و همکاران، ۲۰۰۷؛ واتانابه و ساتو، ۲۰۱۵). نیگوسیو و همکاران (۲۰۱۲) با انجام یک آزمایش گلدانی در خاک‌های مختلف نشان دادند که کاربرد بیوچار به طور معنی‌داری مقدار کربن آلی خاک را افزایش داد. افزایش مقدار کربن آلی خاک در

تیمارهای اصلاح شده با کود اوره احتمالاً به دلیل افزایش رشد گیاه در اثر مصرف نیتروژن باشد. زیرا با افزایش رشد گیاهان و فعالیت فتوسنتزی آنها کربن آلی موجود در اتمسفر از طریق گیاهان تبدیل به ترکیبات آلی شده و بخشی از این ترکیبات از محل تولید (برگ‌ها) به ریشه‌ها منتقل می‌شوند و به شکل تراوش‌هایی وارد محیط خاک می‌شوند. از این رو با افزایش سطح کود اوره مقدار کربن آلی خاک نیز افزایش یافت.

صدف و همکاران (۲۰۱۷) بیان کردند که مقدار کربن کل خاک در تیمارهای بیوچار یا بیوچار همراه با کود شیمیایی با گذشت زمان کاهش یافت که در راستای نتایج این پژوهش بود. به طور مشابه الناگار و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که مقدار کربن خاک بعد از کاربرد بیوچار با گذشت زمان کاهش پیدا کرد. آنها بیان کردند که حضور ترکیبات قابل تجزیه در بیوچار فعالیت میکروبی خاک را افزایش داده که این امر می‌تواند موجب تجزیه آرام و تدریجی کربن لیبل و در نتیجه ایجاد کربن پایدار در طول زمان شود. پژوهش‌ها نشان داده است که تهیه بیوچار در دماهای پایین مثل دمای استفاده شده در این پژوهش موجب پیرولیز تنها بخشی از مواد اولیه می‌شود و در نتیجه کربن لیبل بیشتری تولید می‌کند که پتانسیل بیشتری برای ذخیره در خاک دارد (بران و همکاران، ۲۰۱۱).

۴-۱-۵-اثرات بیوچار و کود اوره بر مقدارpH

نتایج تجزیه واریانس مقدار pH خاک در جدول (۴-۹) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که اثر اصلی بیوچار و کود اوره در تمام زمان‌های مورد بررسی در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد ولی اثر متقابل کاربرد بیوچار و کود اوره معنی‌دار نشد (جدول ۴-۹).

جدول ۴-۹. نتایج تجزیه واریانس مقدار pH خاک

منابع تغییر	درجه آزادی	زمان (روز بعد از کشت)				
		۳۰	۵۰	۷۰	۹۰	۱۰۰
بیوچار	۱	۴/۷۶۹**	۴/۹۶۰**	۵/۰۳۰**	۴/۰۶۹**	۴/۶۸۸**
کود اوره	۳	۰/۴۴۱**	۰/۳۲۴**	۱/۰۱۵**	۰/۲۲۲**	۰/۸۴۵**
بیوچار*اوره	۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۶۰
خطا	۱۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۷	۰/۰۳۷	۰/۰۳۴	۰/۰۳۴

** در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است

* در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است

نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی کاربرد بیوچار و کود اوره بر مقدار pH خاک در جدول (۴-۱۰) نشان داده شده است. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی بیوچار نشان داد که افزودن ۱ درصد وزنی از بیوچار سبوس برنج مقدار pH خاک را به صورت معنی‌داری در تمام زمان‌های مورد بررسی افزایش داد. همچنین نتایج اثر اصلی کود اوره نشان داد که با افزایش سطح اوره مقدار pH خاک به طور معنی‌دار در تمام زمان‌های مورد بررسی کاهش یافت. برای مثال در روز ۵۰ بعد از کاشت گیاه مقدار pH خاک در تیمارهای کاربرد صفر، ۸۰، ۱۶۰ و ۳۲۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار به ترتیب ۷/۷۷، ۷/۶۳، ۷/۴۸ و ۷/۱۴ بود. به هرحال در روزهای ۷۰، ۹۰ و ۱۰۰ بعد از کاشت گیاه تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای ۸۰ و ۱۶۰ و همچنین ۱۶۰ و ۳۲۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار وجود نداشت که احتمالاً دلیل آن خاصیت بالای بافری خاک باشد که موجب نزدیک شدن مقادیر pH به هم شده است (جدول ۴-۱۰). همانطور که پیشتر بیان شد اثر متقابل کاربرد بیوچار و کود اوره بر مقدار pH خاک معنی‌دار نشد.

جدول ۴-۱۰. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی بیوچار، اثر اصلی کود اوره و اثر متقابل بیوچار و کود اوره بر مقدار pH خاک در روزهای ۳۰، ۵۰، ۷۰، ۹۰ و ۱۰۰ بعد از کشت گیاه

سطوح بیوچار (درصد وزنی)	سطوح کود اوره (کیلوگرم در هکتار)	زمان (روز بعد از کاشت)				
		۳۰	۵۰	۷۰	۹۰	۱۰۰
۰	---	۷/۰۶^{b}	۷/۰۷^{b}	۷/۰۸^{b}	۷/۱۲^{b}	۷/۱۱^{b}
٪۱	---	۷/۹۵^{a}	۷/۹۸^{a}	۷/۹۹^{a}	۷/۹۵^{a}	۸/۰۵^{a}
---	۰	۷/۷۷^{a}	۷/۷۸^{a}	۷/۸۰^{a}	۷/۷۴^{a}	۷/۸۲^{a}
---	۸۰	۷/۶۳^{b}	۷/۶۰^{b}	۷/۶۳^{ab}	۷/۶۱^{a}	۷/۶۳^{ab}
---	۱۶۰	۷/۴۸^{c}	۵۰b	۷/۴۶^{bc}	۷/۴۹^{ab}	۷/۴۶^{bc}
---	۳۲۰	۷/۱۴^{d}	۷/۲۳^{c}	۷/۲۴^{c}	۷/۲۹^{b}	۷/۳۱^{c}

ستون‌ها با حروف غیرمشابه دارای تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

نیگوسی و همکاران (۲۰۱۲) تاثیر بیوچار بر ویژگی‌های خاک و جذب عناصر غذایی توسط کاهو را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد بیوچار موجب افزایش pH، هدایت الکتریکی، کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل دسترس، ظرفیت تبادل کاتیونی و بازهای تبادلی می‌شود. نتایج پژوهش ماستو و همکاران (۲۰۱۳) افزایش pH خاک (۹ ٪)، مقدار مواد آلی خاک (۱/۱۷ ٪)، نیتروژن کل (۱۰ ٪)، فسفر (۶۵ ٪) و پتاسیم (۱۱۸ ٪) را بر اثر کاربرد بیوچار نشان داد. همچنین نتایج پژوهش کویی و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد که استفاده از سطوح ۱۰، ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار بیوچار باعث افزایش ۲ ٪ تا ۵ ٪ pH خاک و ۱۶ ٪ تا ۵۱ ٪ کربن آلی خاک می‌شود. به هرحال در خاک‌های

آهکی مثل خاک مورد بررسی در این پژوهش (مقدار آهک: ۱۵/۰۶ درصد) استفاده از بیوچار باعث تغییر اندک در pH خاک می‌شود که این تغییر به خاصیت بافری شدید این خاک‌ها نسبت داده می‌شود (الزبیر و همکاران، ۲۰۱۶). بیوچارها معمولاً قلیایی هستند (یوئان و همکاران، ۲۰۱۱). بیوچار سبوس برنج مورد استفاده در این پژوهش نیز دارای pH قلیایی بود (۸/۲۸). مقدار pH بیوچار در دماهای مختلف پیرولیز از تقریبا اسیدی (۶/۵~) تا بسیار قلیایی (۱۱/۵~) در انواع مختلف مواد اولیه و مدت زمان پیرولیز متفاوت است (ژی و همکاران، ۲۰۱۵). در برخی پژوهش‌ها بیوچار تولید شده دارای pH نزدیک خنثی بود (روندون و همکاران، ۲۰۰۷). قلیایت و pH بیوچار به طورکلی با افزیش دمای پیرولیز و مدت زمان پیرولیز افزایش پیدا می‌کند (ژی و همکاران، ۲۰۱۵). در پژوهش یوئان و همکاران (۲۰۱۱) طیف پراش اشعه ایکش و مقدار کربنات موجود در بیوچار نشان داد که کربنات‌ها عمده ترکیبات قلیایی موجود در بیوچارهای تولید شده در دماهای بالا هستند. به طورکلی تغییرات pH خاک بعد از کاربرد بیوچار تابع pH اولیه خاک و بیوچار است (ژی و همکاران، ۲۰۱۵).

ژیائو و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که pH خاک با افزایش سطح کود نیتروژن کاهش و با افزایش مقدار بیوچار افزایش پیدا کرد. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که کاربرد کودهای نیتروژنی موجب کاهش pH خاک یا افزایش اسیدیته آن می‌شوند (ژو و همکاران، ۲۰۱۵؛ لیو و همکاران، ۲۰۱۶). چراکه کاربرد کودهای نیتروژنی از طریق افزایش مقدار آمونیوم و متعاقباً اکسیداسیون آمونیوم از طریق باکتری‌های مسئول فرآیند نیتریفیکاسیون یا نیتراتزایی موجب کاهش pH خاک می‌شوند (تامسون و همکاران، ۱۹۹۳).

۴-۱-۶-اثرات بیوچار و کود اوره بر مقدار چگالی ظاهری خاک

جدول (۴-۱۱) نشان دهنده نتایج تجزیه واریانس مقدار چگالی ظاهری خاک است. براساس این جدول اثر اصلی بیوچار در هر ۵ زمان مورد بررسی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. همچنین اثر اصلی کود اوره در روزهای ۳۰، ۷۰ و ۹۰ بعد از کاشت گیاه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار

شد. به هرحال اثر متقابل کاربرد بیوچار و کود اوره بر مقدار چگالی ظاهری خاک معنی‌دار نبود (جدول ۴-۱۱).

جدول ۴-۱۱. نتایج تجزیه واریانس مقدار چگالی ظاهری خاک

منابع تغییر	درجه آزادی	زمان (روز بعد از کشت)				
		۳۰	۵۰	۷۰	۹۰	۱۰۰
بیوچار	۱	۰/۰۷۸۴**	۰/۰۵۶۰**	۰/۰۵۱۳**	۰/۰۷۳۱**	۰/۱۰۴۷**
کود اوره	۳	۰/۰۰۴۶**	۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۹۴**	۰/۰۰۱۵**	۰/۰۰۱۸
بیوچار*اوره	۳	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۸
خطا	۱۶	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۱۸

** در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است

* در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است

نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی کاربرد بیوچار بر چگالی ظاهری خاک در جدول (۴-۱۲) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که کاربرد بیوچار سبوس برنج به مقدار ۱ درصد وزنی موجب کاهش معنی‌دار مقدار چگالی ظاهری خاک نسبت به تیمار بدون بیوچار در تمام زمان‌های مورد بررسی شد. همچنین نتایج مقایسه میانگین اثر کاربرد کود اوره بر مقدار چگالی ظاهری خاک در جدول (۴-۱۲) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در روزهای ۳۰ و ۹۰ بعد از کاشت گیاه کاربرد کود اوره در سطوح ۱۶۰ و ۳۲۰ کیلوگرم در هکتار موجب افزایش کم (۰/۰۳ تا ۰/۰۵ واحد) ولی معنی‌دار مقدار چگالی ظاهری نسبت به تیمار شاهد شدند. به هرحال مقدار چگالی ظاهری خاک تفاوت معنی‌داری بین سطح ۱۶۰ و ۳۲۰ کیلوگرم اوره در هکتار نداشت. همچنین کاربرد ۸۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار اثر معنی‌داری بر مقدار چگالی ظاهری خاک نداشت.

جدول ۴-۱۲. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی بیوچار، اثر اصلی کود اوره و اثر متقابل بیوچار و کود اوره بر مقدار چگالی ظاهری خاک (گرم بر سانتی متر مکعب) در روزهای ۳۰، ۵۰، ۷۰، ۹۰ و ۱۰۰ بعد از کشت گیاه

سطوح بیوچار (درصد وزنی)	سطوح کود اوره (کیلوگرم در هکتار)	زمان (روز بعد از کاشت)				
		۳۰	۵۰	۷۰	۹۰	۱۰۰
۰	---	۱/۲۷^{a}	۱/۲۷^{a}	۱/۲۷^{a}	۱/۲۷^{a}	۱/۲۹^{a}
٪۱	---	۱/۱۶^{b}	۱/۱۷^{b}	۱/۱۷^{b}	۱/۱۶^{b}	۱/۱۴^{b}
---	۰	۱/۱۹^{b}	۱/۲۰	۱/۱۸^{b}	۱/۱۹^{b}	۱/۲۰
---	۸۰	۱/۲۰^{ab}	۱/۲۰	۱/۲۱^{b}	۱/۲۲^{ab}	۱/۲۲
---	۱۶۰	۱/۲۴^{a}	۱/۲۵	۱/۲۱^{b}	۱/۲۲^{ab}	۱/۲۳
---	۳۲۰	۱/۲۴^{a}	۱/۲۲	۱/۲۸^{a}	۱/۲۳^{a}	۱/۲۴

ستون‌ها با حروف غیرمشابه دارای تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

همانطور که در جدول مشاهده می‌شود تغییرات مقدار چگالی ظاهری خاک با زمان در برخی تیمارها تقریبا ثابت و در برخی دیگر دارای نوساناتی بود ولی به طور کلی این تغییرات از روند خاصی پیروی نمی‌کرد. به طورکلی بیشترین و کمترین مقدار وزن مخصوص ظاهری خاک با مقدار ۱/۳۲ و ۱/۱۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب مربوط به تیمارهای کاربرد تنهای ۳۲۰ کیلوگرم در هکتار اوره در روز ۳۰ و B1N0 در روز ۱۰۰ بود.

چگالی ظاهری خاک یکی از پرمطالعه‌ترین ویژگی‌ها بعد از کاربرد بیوچار در خاک است. اوموندی و همکاران (۲۰۱۶) تمام پژوهش‌ها در مورد بیوچار و چگالی ظاهری خاک را تا قبل سال ۲۰۱۶ مورد

بررسی قرار دادند. بررسی‌های اوموندی و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد که کاربرد بیوچار موجب کاهش ۳ ٪ تا ۳۱ ٪ مقدار چگالی ظاهری خاک در ۱۹ خاک از ۲۲ خاک مورد بررسی آنها شده بود. این نتایج نشان داد که به طور کلی چگالی ظاهری خاک با کاربرد بیوچار کاهش پیدا می‌کند. اوموندی و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که کاربرد بیوچار به طور میانگین موجب کاهش ۷/۶ ٪ چگالی ظاهری خاک می‌شود. در پژوهش حاضر نیز کاربرد بیوچار به طور میانگین موجب کاهش ۸/۶ ٪ چگالی ظاهری خاک شد. بلانکوکانکی (۲۰۱۷) بیان کرد که به طور کلی کاربرد بیوچار از طریق ۲ مکانیسم می‌تواند موجب کاهش چگالی ظاهری خاک شود. (۱) به طور کلی بیوچار چگالی ظاهری کمتری نسبت به خاک دارد (چگالی ظاهری بیوچار: ۰/۶> گرم بر سانتی‌متر مکعب، چگالی ظاهری خاک ۱/۲۵~ گرم بر سانتی‌متر مکعب). بنابراین کاربرد بیوچار احتمالاً از طریق اثر مخلوط کردن یا اثر رقت موجب کاهش چگالی ظاهری خاک می‌شود. اگر تفاوت چگالی ظاهری خاک با بیوچار زیاد باشد، اندازه این اثر (اثر مخلوط کردن یا اثر رقت) می‌تواند بیشتر شود. برای مثال اثر کاهشی بیوچار بر چگالی ظاهری خاک‌های رسی خیلی کمتر از خاک‌های شنی است. زیرا تفاوت در چگالی ظاهری بین بیوچار (۰/۶~ گرم بر سانتی‌متر مکعب) و خاک رسی (۱/۱~ گرم بر سانتی‌متر مکعب) کمتر از تفاوت چگالی ظاهری بین بیوچار و خاک شنی (۱/۵~ گرم بر سانتی‌متر مکعب) است. (۲) بیوچار می‌تواند در طولانی مدت از طریق واکنش با ذرات خاک و بهبود خاکدانه‌سازی و تخلخل خاک موجب کاهش چگالی ظاهری خاک شود. که این نیاز به پایش تغییرات چگالی ظاهری خاک در طولانی مدت دارد در حالی که اکثر پژوهش‌ها در مورد بیوچار در بازه‌های زمانی کوتاه (کمتر از ۴ سال) انجام شده‌اند که ممکن است به خوبی اثرات بلند مدت بیوچار را منعکس نکند. در کل کاربرد بیوچار موجب کاهش چگالی ظاهری خاک می‌شود ولی اندازه این تغییرات می‌تواند بسته به نوع خاک و میزان کاربرد بیوچار متغیر باشد (بلانکوکانکی، ۲۰۱۷).

در راستای نتایج این پژوهش، ژانگ و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که کاربرد ۱۳۸ و ۳۴۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار موجب افزایش معنی‌دار مقدار چگالی ظاهری و کاهش تخلخل خاک شد.

در پژوهشی دیگر سرکار (۱۹۹۸) گزارش کرد که با افزایش سطح کود NPK مقدار کربن آلی خاک، چگالی ظاهری و آب قابل استفاده گیاه افزایش پیدا کرد.

۴-۱-۷-اثرات بیوچار و کود اوره بر مقدار رطوبت وزنی خاک

نتایج تجزیه واریانس درصد رطوبت وزنی خاک نشان داد که اثر اصلی کاربرد بیوچار در روزهای ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ بعد از کاشت گیاه در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد. همچنین اثر اصلی کاربرد کود اوره بر مقدار رطوبت خاک در تمام زمان‌های مورد بررسی در سطح ۱ درصد یا ۵ درصد معنی‌دار شد ولی اثر متقابل کاربرد بیوچار و کود اوره معنی‌دار نشد (جدول ۴-۷).

جدول ۴-۱۳. نتایج تجزیه واریانس درصد رطوبت وزنی خاک

منابع	درجه	زمان (روز بعد از کشت)				
تغییر	آزادی	۳۰	۵۰	۷۰	۹۰	۱۰۰
بیوچار	۱	۸/۳۷۲**	۵/۰۴۱**	۲/۵۳۲	۶/۰۰۰	۹/۵۶۲*
کود اوره	۳	۵/۸۳۱**	۸/۶۴۲**	۶/۷۲۴**	۱۵/۲۴۳**	۸/۳۹۹*
بیوچار*اوره	۳	۰/۱۰۰	۰/۲۶۳	۰/۲۵۴	۰/۷۷۷	۰/۳۳۳
خطا	۱۶	۰/۶۰۷	۰/۷۷۸	۲/۷۸۰	۴/۵۴۸	۱/۸۰۹

** در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است

* در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است

جدول (۴-۱۴) نشان دهنده مقایسه میانگین اثر اصلی بیوچار بر درصد رطوبت وزنی خاک است. همانطور که در جدول مشاهده می‌شود کاربرد ۱ درصد وزنی از بیوچار سبوس برنج موجب افزایش درصد رطوبت وزنی خاک در تمام زمان‌های مورد بررسی شد ولی این افزایش تنها در روزهای ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ بعد از کاشت گیاه معنی‌دار بود. همچنین نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی کاربرد کود اوره بر

درصد وزنی رطوبت خاک نشان داد که به طور کلی کاربرد کود اوره موجب کاهش معنی‌دار مقدار رطوبت خاک نسبت به تیمار شاهد شد. براین اساس کاربرد ۸۰، ۱۶۰ و ۳۲۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار به طور میانگین به ترتیب موجب کاهش ۱۷/۷ ٪، ۱۲/۳٪ و ۹/۶ ٪ درصد رطوبت خاک نسبت به تیمار شاهد یا بدون کود اوره شد. به هرحال نتایج آنالیزهای آماری بیان‌گر این است که تفاوت معنی‌داری بین سطوح ۸۰، ۱۶۰ و ۳۲۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره از نظر درصد رطوبت وزنی خاک وجود ندارد.

همانطورکه در جدول (۴-۱۴) مشاهده می‌شود تغییرات درصد رطوبت وزنی خاک با زمان از روند خاصی پیروی نمی‌کرد و دارای نوساناتی بود. به طورکلی بیشترین و کمترین درصد رطوبت وزنی خاک با مقدار ۱۸/۳۸ ٪ و ۱۳/۱۲ ٪ مربوط به تیمار B1N0 در روز ۱۰۰ و تیمار کاربرد تنهای ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در روز ۷۰ بود.

جدول ۴-۱۴. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی بیوچار، اثر اصلی کود اوره و اثر متقابل بیوچار و کود اوره بر درصد رطوبت وزنی خاک در روزهای ۳۰، ۵۰، ۷۰، ۹۰ و ۱۰۰ بعد از کشت گیاه

سطوح بیوچار (درصد وزنی)	سطوح کود اوره (کیلوگرم در هکتار)	زمان (روز بعد از کاشت)				
		۳۰	۵۰	۷۰	۹۰	۱۰۰
۰	---	۱۵/۲^{b}	۱۵/۱^{b}	۱۴/۷	۱۵/۵	۱۵/۷^{b}
٪۱	---	۱۶/۴^{a}	۱۶/۱^{a}	۱۵/۸	۱۶/۲	۱۷/۰^{a}
---	۰	۱۷/۲^{a}	۱۷/۱^{a}	۱۷/۵^{a}	۱۷/۶^{a}	۱۷/۸^{a}
---	۸۰	۱۵/۰^{b}	۱۴/۳^{c}	۱۳/۷^{b}	۱۳/۷^{b}	۱۵/۰^{b}

۱۶/۵^{ab}	۱۵/۷^{b}	۱۳/۹^{b}	۱۵/۲^{bc}	۱۵/۲^{b}	۱۶۰	---
۱۵/۹^{ab}	۱۵/۵^{ab}	۱۵/۹^{ab}	۱۵/۸^{ab}	۱۵/۷^{b}	۳۲۰	---

ستون‌ها با حروف غیرمشابه دارای تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

گیتنجی (۲۰۱۴) و پیستر و ساها (۲۰۱۷) افزایش مقدار رطوبت خاک را در نتیجه افزودن بیوچار به خاک گزارش کردند که در راستای نتایج این پژوهش بود. بلانکوکانکی (۲۰۱۷) بیان کرد که کاربرد بیوچار در ۹۰ ٪ موارد موجب افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک می‌شود. پژوهش‌ها نشان داده است که افزایش مقدار رطوبت خاک در اثر کاربرد بیوچار می‌تواند منجر به افزایش آب قابل استفاده گیاه شود (پیکه و همکاران، ۲۰۱۴؛ نیلسن و همکاران، ۲۰۱۵). بلانکوکانکی (۲۰۱۷) بیان کرد که کاربرد بیوچار در ۷۲ ٪ موارد موجب افزایش آب قابل استفاده گیاه شده است. پیکه و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که کاربرد بیوچار می‌تواند ظرفیت آب قابل استفاده گیاه را تا ۲۲ ٪ افزایش دهد. پژوهش‌ها نشان دادند که افزایش مقدار رطوبت خاک در اثر کاربرد بیوچار احتمالا به دلیل تخلخل و سطح ویژه بالای بیوچار (چنگ و همکاران، ۲۰۰۶) و همچنین وجود مواد هومیکی در بیوچار باشد (پیکولو و همکاران، ۱۹۹۶). علاوه براین وجود گروه‌های قطبی در سطح کربن فعال یا بیوچار به عنوان مراکز جذب آب عمل کرده و تشکیل خوشه‌های آبی در سطح بیوچار را تسهیل می‌کند که این موضوع به نگهداری آب توسط بیوچار کمک می‌کند (ژی و همکاران، ۲۰۱۵). آسایی و همکاران (۲۰۰۹) بیان کردند که بیوچار به دلیل داشتن تخلخل کل زیاد می‌تواند ضمن نگهداری آب در منافذ کوچک و در نتیجه افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک، به نفوذ آب از سطح به داخل خاک از طریق منافذ بزرگتر کمک کند. بیوچار یک ماده متخلخل است که می‌تواند آب را نه فقط در داخل منافذ بلکه به دلیل سطح ویژه بالا در بین ذرات نیز نگهداری کند. به خصوص منافذ ریز موجود در بیوچار می‌توانند آب را با قدرت بیشتری نسبت به منافذ درشت در خود نگهداری کنند. همچنین منافذ متوسط بیوچار می‌توانند از طریق نیروی مویینگی و چسبندگی آب را در خود نگهداری کنند.

بنابراین اضافه کردن بیوچار به خاک چه به صورت تنها چه در ترکیب با سایر کودها می‌تواند تخلخل، توزیع اندازه ذرات، انتقال آب و خصوصیات نکهدارنده آب در خاک را تغییر دهد (بلانکوکانکی، ۲۰۱۷).

ژانگ و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند که کاربرد کودهای نیتروژنی موجب کاهش معنی‌دار تخلخل خاک، رطوبت ظرفیت زراعی و مقدار رطوبت خاک شد که در راستای نتایج این پژوهش بود. کاهش در مقدار رطوبت خاک در اثر کاربرد نیتروژن احتمالاً به دلیل افزایش رشد گیاه و در نتیجه مصرف بیشتر آب به وسیله گیاه در این تیمارها باشد که موجب خارج شدن آب از خاک شده است. ژانگ و شانگویان (۲۰۱۴) گزارش کردند که کاربرد کود نیتروژنی موجب افزایش مصرف آب در لایه‌های مختلف خاک و همچنین افزایش تبخیر و تعرق شد.

۴-۱-۸-اثرات بیوچار و کود اوره بر مقدار وزن خشک ریشه گیاه

نتایج تجزیه واریانس مقدار وزن خشک ریشه گیاه لوبیا در جدول (۴-۱۵) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که اثر اصلی بیوچار، اثر اصلی کود اوره اثر متقابل آنها بر وزن خشک ریشه گیاه لوبیا در هر ۵ زمان مورد بررسی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد.

جدول ۴-۱۵. نتایج تجزیه واریانس مقدار وزن خشک ریشه گیاه لوبیا

منابع	درجه	زمان (روز بعد از کشت)				
تغییر	آزادی	۳۰	۵۰	۷۰	۹۰	۱۰۰
بیوچار	۱	۰/۳۹۷۸**	۰/۴۰۰۴**	۰/۴۸۱۶**	۰/۵۱۰۴**	۰/۵۹۶۳**
کود اوره	۳	۰/۵۱۹۵**	۰/۴۴۴۵**	۰/۴۲۰۲**	۰/۴۹۱۷**	۰/۵۶۹۸**
بیوچار*اوره	۳	۰/۰۴۰۱**	۰/۰۳۵۷**	۰/۰۵۸۱**	۰/۰۶۷۶**	۰/۰۸۲۴**
خطا	۱۶	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۲۰

** در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است

* در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است

نتایج اثر متقابل کاربرد بیوچار و کود اوره در جدول (۴-۱۶) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که در تمام زمان‌های مورد بررسی مقدار وزن خشک ریشه گیاه لوبیا در تیمارهای کاربرد همزمان بیوچار و کود اوره به طور معنی‌داری بیشتر از تیمارهای کاربرد تنهای کود اوره بود. هماطور که مشاهده می‌شود کاربرد کود اوره با بیوچار موجب افزایش کارایی مصرف کود اوره شد. به عنوان مثال در هر ۵ زمان مورد بررسی مقدار وزن خشک ریشه در تیمار کاربرد همزمان بیوچار و ۸۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره تقریبا برابر و مشابه آن در تیمار کاربرد تنهای ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره بود. به طوریکه از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری بین این دو تیمار در زمان‌های مختلف وجود نداشت. حتی مقدار وزن خشک ریشه در تیمار کاربرد تنهای بیوچار (B1N0) مشابه با مقدار آن در تیمار کاربرد تنهای ۸۰ کیلوگرم اوره در هکتار بود. همچنین نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که سطوح ۸۰ و ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار اوره در عدم حضور بیوچار از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند ولی در حضور بیوچار تفاوت معنی‌داری داشتند. این موضوع می‌تواند نشان دهنده نقش مهم بیوچار در افزایش کارایی مصرف کودهای شیمایی باشد. صدف و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که کاربرد همزمان بیوچار کود مرغی با کود شیمیایی موجب افزایش ۷۳ ٪ وزن خشک ریشه گیاه گندم در مقایسه با تیمار شاهد شد در حالی که این افزایش برای کاربرد تنهای کود شیمیایی ۵۸ ٪ بود. کارتر و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که بیشترین و کمترین مقدار وزن خشک ریشه گیاه کاهو و کلم به ترتیب مربوط به تیمارهای کاربرد همزمان بیوچار با کود شیمیایی و تیمار بدون بیوچار و بدون کود شیمیایی بود.

بررسی تغییرات مقدار وزن خشک ریشه گیاه لوبیا با گذشت زمان نشان داد که با افزایش سن گیاه مقدار وزن خشک ریشه به طور معنی‌داری افزایش یافت. درصد افزایش با گذشت زمان در تیمارهای کاربرد تنهای اوره بیشتر از تیمارهای کاربرد همزمان کود اوره و بیوچار بود (جدول ۴-۱۶).

وانگ و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که افزودن ۱/۵ درصد از بیوچار کمپوست پوسته بادام زمینی توانست وزن خشک ریشه، اندام هوایی و وزن خشک کل گیاه کلم چینی را ۱۵۳ ٪، ۲۱۹ ٪ و ۱۸۶ ٪

در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دهد. رزاق و همکاران (۲۰۱۷) بهبود خصوصیات مرفولوژکی ریشه *Acer mono* مثل طول کل ریشه، میانگین قطر ریشه و طول مخصوص ریشه را در اثر کاربرد بیوچار گزارش کردند.

جدول ۴-۱۶. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی بیوچار، اثر اصلی کود اوره و اثر متقابل بیوچار و کود اوره بر وزن خشک ریشه گیاه لوبیا(گرم بر گلدان) در روزهای ۳۰، ۵۰، ۷۰، ۹۰ و ۱۰۰ بعد از کشت گیاه

سطوح بیوچار (درصد وزنی)	سطوح کود اوره (کیلوگرم در هکتار)	زمان (روز بعد از کاشت)				
		۳۰	۵۰	۷۰	۹۰	۱۰۰
۰	---	۰/۳۸^{b}	۰/۵۴^{b}	۰/۶۶^{b}	۰/۷۶^{b}	۰/۸۰^{b}
٪۱	---	۰/۶۴^{a}	۰/۸۰^{a}	۰/۹۴^{a}	۱/۰۵^{a}	۱/۱۱^{a}
---	۰	۰/۲۲^{d}	۰/۳۸^{d}	۰/۵۰^{d}	۰/۵۸^{d}	۰/۶۲^{d}
---	۸۰	۰/۳۷^{c}	۰/۵۷^{c}	۰/۷۱^{c}	۰/۷۹^{c}	۰/۸۲^{c}
---	۱۶۰	۰/۵۴^{b}	۰/۷۱^{b}	۰/۸۶^{b}	۱/۰۱^{b}	۱/۰۵^{b}
---	۳۲۰	۰/۹۱^{a}	۱/۰۳^{a}	۱/۱۲^{a}	۱/۲۵^{a}	۱/۳۴^{a}
۰	۰	۰/۱۵^{d}	۰/۲۷^{f}	۰/۴۱^{e}	۰/۵۱^{e}	۰/۵۵^{g}
۰	۸۰	۰/۳۰^{cd}	۰/۵۲^{de}	۰/۶۲^{d}	۰/۷۴^{de}	۰/۷۶^{ef}
۰	۱۶۰	۰/۴۳^{c}	۰/۶۰^{cd}	۰/۷۵^{c}	۰/۸۷^{cd}	۰/۸۵^{de}

۱/۰۲^{c}	۰/۹۶^{c}	۰/۸۴^{c}	۰/۷۹^{b}	۰/۶۶^{b}	۳۲۰	۰
۰/۷۰^{f}	۰/۶۶^{e}	۰/۵۸^{d}	۰/۵۰^{e}	۰/۳۰^{cd}	۰	٪۱
۰/۹۰^{d}	۰/۸۵^{cd}	۰/۷۹^{c}	۰/۶۲^{c}	۰/۴۵^{c}	۸۰	٪۱
۱/۲۳^{b}	۱/۱۸^{b}	۰/۹۷^{b}	۰/۸۲^{b}	۰/۶۶^{b}	۱۶۰	٪۱
۱/۶۶^{a}	۱/۵۴^{a}	۱/۴۱^{a}	۱/۲۷^{a}	۱/۱۶^{a}	۳۲۰	٪۱

ستون‌ها با حروف غیرمشابه دارای تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

مورفولوژی ریشه تعیین کننده کارایی گیاهان در ارتباط با خاک، سازگاری با محیط اطرافشان و همچنین جذب آب و عناصر غذایی است (داونی و همکاران، ۲۰۱۵). مورفولوژی ریشه‌ای توسعه یافته به نفوذ ریشه در اعماق خاک و همچنین افزایش جذب مواد غذایی منجر می‌شود (پرندرگاست-میلر و همکاران، ۲۰۱۴). پاسخ توسعه ریشه به کاربرد بیوچار به شرایط خاک، نوع گیاه و همچنین تعاملات بین ریشه و خاک اطراف آن مرتبط است (مک نیر، ۲۰۱۳؛ پرندرگاست-میلر و همکاران، ۲۰۱۴). گزارش شده است که کاربرد بیوچار از طریق فراهم کردن عناصر غذایی اضافی می‌تواند منجر به افزایش رشد ریشه گیاه شود (آبیوین و همکاران، ۲۰۱۵). همچنین بهبود شرایط فیزیکی خاک در اثر کاربرد بیوچار مثل کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک که در این پژوهش نشان داده شد، می‌تواند به رشد و توسعه بیشتر ریشه در خاک‌های اصلاح شده با بیوچار منجر شود. آلبرکوئرکو و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند صرف نظر از اینکه بیوچار به خاک اضافه شده باشد یا نه، افزایش سطح عناصر غذایی خاک در اثر کاربرد کودهای شیمیایی باعث افزایش وزن خشک ریشه، ساقه، برگ و دانه گیاه گندم شد. آنها بیان کردند که این نتایج بیان‌گر این موضوع است که خاک شاهد یا بدون کود احتمالاً به دلیل مقدار کم ظرفیت تبادل کاتیونی، مقدار رس و مقدار ماده آلی دارای محدودیت عناصر غذایی است. در اغلب موارد، مقدار نیتروژن در خاک یک عامل محدود کننده برای رشد گیاه به حساب می‌آید، بنابراین نیاز به کود برای حفظ حداکثر رشد گیاه یک ضرورت است (رزاق و همکاران، ۲۰۱۷).

رزاق و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که ارتباط نزدیکی بین غلظت نیتروژن در خاک و رشد ریشه گیاه وجود دارد.

۴-۱-۹-اثرات بیوچار و کود اوره بر مقدار وزن خشک ساقه

جدول (۴-۱۷) نشان دهنده نتایج تجزیه واریانس مقدار وزن خشک ساقه گیاه لوبیا است. همانطور که مشاهده می‌شود اثر اصلی بیوچار، اثر اصلی کود اوره و اثر متقابل بیوچار و کود اوره بر وزن خشک ساقه گیاه لوبیا در تمام زمان‌های مورد بررسی در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد.

جدول ۴-۱۷. نتایج تجزیه واریانس مقدار وزن خشک ساقه گیاه لوبیا

منابع	درجه	زمان (روز بعد از کشت)				
تغییر	آزادی	۳۰	۵۰	۷۰	۹۰	۱۰۰
بیوچار	۱	۶/۱۶۰۰**	۶/۱۱۰۵**	۶/۱۳۰۷**	۶/۸۱۲۸**	۶/۴۷۵۰**
کود اوره	۳	۲/۹۱۸۶**	۲/۸۱۲۰**	۲/۸۵۶۷**	۳/۰۶۶۱**	۳/۰۵۲۲**
بیوچار*اوره	۳	۰/۰۶۸۵**	۰/۰۵۳۹**	۰/۰۲۹۸**	۰/۲۱۵۰**	۰/۰۳۹۳**
خطا	۱۶	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۵۲	۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۱۳

** در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است

* در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کاربرد بیوچار و کود اوره بر مقدار وزن خشک ساقه لوبیا در جدول (۴-۱۸) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که در هر ۵ زمان مورد بررسی مقدار وزن خشک ساقه لوبیا در تمام تیمارهای کاربرد همزمان بیوچار و کود اوره به طور معنی‌داری بیشتر از کاربرد تنهای کود اوره بود. همانطور که در جدول نیز قابل مشاهده است مقدار وزن خشک ساقه در تیمار کاربرد تنهای ۳۲۰ کیلوگرم اوره در هکتار تقریبا برابر با مقدار وزن خشک ساقه در تیمار کاربرد همزمان ۸۰

کیلوگرم اوره در هکتار با بیوچار بود. به طوریکه از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری بین این دو تیمار در زمان‌های مختلف وجود نداشت. همچنین کاربرد تنهای بیوچار یعنی تیمار B1N0 کارایی بیشتری نسبت به تیمار B0N0 و تیمار کاربرد تنهای ۸۰ کیلوگرم در هکتار اوره بود. این نتایج نشان دهنده اثر مثبت بیوچار بر رشد گیاه و همچنین کارایی مصرف کود اوره است.

در راستای نتایج پژوهش حاضر عباس و همکاران (۲۰۱۷) بیان کردند که کود اوره اصلاح شده با بیوچار نه تنها موجب بهبود رشد گیاه می‌شود بلکه اثر مثبت آن بر مقدار جذب نیتروژن توسط گیاه و کارایی مصرف نیتروژن موجب افزایش بیشتر عملکرد و رشد محصول می‌شود. بررسی تغییرات مقدار وزن خشک ساقه گیاه لوبیا با گذشت زمان نشان داد که با افزایش سن گیاه مقدار وزن خشک ساقه در تمام تیمارها به طور تدریجی افزایش یافت (جدول ۴-۱۸).

ال بهیدی و همکاران (۱۹۹۰) افزایش وزن خشک ساقه گوچه فرنگی را با افزایش سطوح نیتروژن گزارش کردند. رجبی و همکاران (۱۳۹۶) گزارش کردند که کاربرد ۸۰ و ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیتروژن و فسفر به عنوان سطح ۱ و ۱۵۰ و ۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیتروژن و فسفر به عنوان سطح ۲، میانگین وزن خشک اندام هوایی گیاه اسفناج را ۳۸/۵ ٪ و ۸۰/۸ ٪ نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. تاکب و همکاران (۱۹۹۵) بیان کردند که افزایش وزن خشک گیاه در نتیجه کاربرد کود نیتروژن را می‌توان به ترکیب نیتروژن با مواد حاصل از فتوسنتز مانند گلوکز، ساکارز و آسکوربیک اسید و تولید اسیدهای آمینه و سپس پروتئین نسبت داد که منجر به افزایش رشد رویشی و تجمع ماده خشک در گیاه می‌شود.

جدول ۴-۱۸. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی بیوچار، اثر اصلی کود اوره و اثر متقابل بیوچار و کود اوره بر وزن خشک ساقه گیاه لوبیا (گرم بر گلدان)در روزهای ۳۰، ۵۰، ۷۰، ۹۰ و ۱۰۰ بعد از کشت گیاه

سطوح بیوچار (درصد وزنی)	سطوح کود اوره (کیلوگرم در هکتار)	زمان (روز بعد از کاشت)				
		۳۰	۵۰	۷۰	۹۰	۱۰۰
۰	---	۱/۷۸^{b}	۱/۸۹^{b}	۲/۰۱^{b}	۲/۲۲^{b}	۲/۳۱^{b}
٪۱	---	۲/۷۹^{a}	۲/۹۰^{a}	۳/۰۲^{a}	۳/۲۹^{a}	۳/۳۵^{a}
---	۰	۱/۴۸^{d}	۱/۶۱^{d}	۱/۷۳^{d}	۱/۹۵^{d}	۲/۰۱^{d}
---	۸۰	۱/۹۳^{c}	۲/۰۴^{c}	۲/۱۳^{c}	۲/۳۵^{c}	۲/۴۷^{c}
---	۱۶۰	۲/۷۹^{b}	۲/۹۱^{b}	۳/۰۱^{b}	۳/۲۶^{b}	۳/۳۲^{b}
---	۳۲۰	۲/۹۵^{a}	۳/۰۲^{a}	۳/۱۶^{a}	۳/۴۳^{a}	۳/۵۲^{a}
۰	۰	۰/۹۳^{f}	۱/۰۷^{f}	۱/۲۱^{f}	۱/۴۱^{f}	۱/۴۹^{g}
۰	۸۰	۱/۳۲^{e}	۱/۴۲^{e}	۱/۵۴^{e}	۱/۷۴^{e}	۱/۸۴^{f}
۰	۱۶۰	۲/۲۹^{c}	۲/۴۳^{c}	۲/۵۶^{c}	۲/۷۷^{c}	۲/۸۳^{d}
۰	۳۲۰	۲/۵۸^{b}	۲/۶۳^{bc}	۲/۷۲^{b}	۲/۹۵^{b}	۳/۰۹^{c}
٪۱	۰	۲/۰۳^{d}	۲/۱۵^{d}	۲/۲۶^{d}	۲/۴۹^{d}	۲/۵۳^{e}
٪۱	۸۰	۲/۵۵^{b}	۲/۶۵^{b}	۲/۷۳^{b}	۲/۹۶^{b}	۳/۱۰^{c}
٪۱	۱۶۰	۳/۲۸^{a}	۳/۳۹^{a}	۳/۴۷^{a}	۳/۷۶^{a}	۳/۸۱^{b}
٪۱	۳۲۰	۳/۳۱^{a}	۳/۴۱^{a}	۳/۶۱^{a}	۳/۹۱^{a}	۳/۹۶^{a}

ستون‌ها با حروف غیرمشابه دارای تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند..

۴-۱-۱۰-اثرات بیوچار و کود اوره بر مقدار وزن خشک برگ گیاه

نتایج تجزیه واریانس مقدار وزن خشک برگ گیاه لوبیا در جدول (۴-۱۹) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که اثر اصلی بیوچار، اثر اصلی کود اوره و اثر متقابل آنها بر وزن خشک برگ گیاه لوبیا در تمام زمان‌های مورد بررسی در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد.

جدول ۴-۱۹. نتایج تجزیه واریانس مقدار وزن خشک برگ گیاه لوبیا

منابع	درجه	زمان (روز بعد از کشت)				
تغییر	آزادی	۳۰	۵۰	۷۰	۹۰	۱۰۰
بیوچار	۱	۱/۳۵۲۸**	۱/۶۲۵۵**	۱/۳۵۶۶**	۱/۲۴۴۸**	۰/۷۳۵۳**
کود اوره	۳	۳/۶۱۳۵**	۳/۵۳۸۸**	۴/۴۵۵۶**	۵/۱۰۸۳**	۵/۲۲۸۵**
بیوچار*اوره	۳	۰/۱۰۷۹**	۰/۳۴۷۳**	۰/۶۰۰۲**	۰/۶۰۷۴**	۰/۷۱۱۶**
خطا	۱۶	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۸۱	۰/۰۰۵۹	۰/۰۰۳۸	۰/۰۰۳۲

** در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است

* در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است

جدول (۴-۲۰) نشان دهنده نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل بیوچار و کود اوره بر مقدار وزن خشک برگ گیاه لوبیا است. همانطور که مشاهده می‌شود در تمام زمان‌های مورد بررسی مقدار وزن خشک برگ در تیمار B1N0 و تیمار کاربرد همزمان بیوچار و ۸۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به طور معنی‌داری بیشتر از تیمار B0N0 و تیمار کاربرد تنهای ۸۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره بود. در حالی که در سطوح بالای کاربرد اوره یعنی ۱۶۰ و ۳۲۰ کیلوگرم در هکتار در روزهای ۵۰، ۷۰ و ۹۰ بعد از کاشت گیاه تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای کاربرد همزمان بیوچار و کود اوره با تیمارهای کاربرد تنهای کود اوره وجود نداشت. بررسی تغییرات وزن خشک برگ گیاه با گذشت زمان نشان دهنده

افزایش مقدار وزن خشک با افزایش سن گیاه است (جدول ۴-۲۰). به هرحال این مقدار افزایش در دو زمان آخر (روز ۹۰ و ۱۰۰) نسبت به سایر زمان‌ها کمتر بود. همچنین درصد افزایش وزن خشک برگ با گذشت زمان در تیمارهای کاربرد تنهای اوره به طور قابل توجهی بیشتر از تیمارهای کاربرد همزمان بیوچار با کود اوره بود. درصد افزایش مقدار وزن خشک برگ در روز ۱۰۰ نسبت به روز ۳۰ در تیمار B0N0 و تیمارهای کاربرد تنهای ۸۰، ۱۶۰ و ۳۲۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به ترتیب ۴۸ ٪، ۶۸ ٪، ۴۷ ٪ و ۵۰ ٪ بود در حالی که این درصد افزایش در تیمار B1N0 و تیمارهای کاربرد همزمان بیوچار و ۸۰، ۱۶۰ و ۳۲۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به ترتیب ۵۹ ٪، ۴۶ ٪، ۲۷ ٪ و ۳۶ ٪ بود.

افزایش وزن خشک اندام هوایی ذرت با افزایش سطح نیتروژن و بیوچار در خاک توسط سرافراز و همکاران (۲۰۱۷) گزارش شد. آنها نتیجه گرفتند که بیشترین و کمترین مقدار وزن خشک اندام هوایی ذرت به ترتیب مربوط به تیمارهای کاربرد همزمان ۱ درصد وزنی بیوچار با کود نیتروژن (در حد ۵۰ ٪ مقدار توصیه شده) و تیمار شاهد یا بدون کاربرد بیوچار و کود نیتروژن بود. آلبرکوئرکو و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که تیمار کاربرد همزمان بیوچار کاه و کلش گندم با کود شیمیایی و تیمار کاربرد همزمان بیوچار شاخه‌های درخت زیتون با کود شیمیایی به ترتیب موجب افزایش عملکرد دانه گندم به ترتیب به مقدار ۴۰۷ ٪ و ۳۲۸ ٪ نسبت به تیمار شاهد و ۳۳ ٪ و ۲۲ ٪ نسبت به تیمار کود شیمیایی تنها شد. در پژوهشی دیگر بایگا و رجاشخار رئو (۲۰۱۷) عنوان داشتند که کاربرد همزمان بیوچار با کود اوره به مقدار ۵۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار موجب افزایش سه برابری وزن‌تر گیاه کلم چینی نسبت به تیمار شاهد شد. آنها گزارش کردند که وزن خشک گیاه و مقدار جذب نیتروژن به وسیله گیاه نیز دارای روندی مشابه با وزن تر گیاه بود. اثر سینرژیسمی بیوچار و کود NPK بر رشد گیاه سویا توسط مته و همکاران (۲۰۱۵) گزارش شد. آنها بیان کردند که کاربرد همزمان بیوچار و کود NPK موجب افزایش ۳۹۱ ٪ زیست توده گیاه نسبت به تیمار شاهد شد درحالی که این مقدار برای کاربرد تنهای بیوچار ۶۷ ٪ و برای کاربرد تنهای NPK ۲۰۱ ٪ بود.

افزایش در وزن خشک برگ در پژوهش حاضر احتمالا به دلیل بهبود فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه، فراهمی عناصر غذایی در خاک و همچنین بهبود ویژگی‌های خاک در اثر کاربرد بیوچار باشد (جفری و همکاران، ۲۰۱۲). پژوهش‌های متعددی بیان کردند که اثر مثبت کاربرد بیوچار بر تولید محصول و رشد گیاه زمانی که بیوچار در ترکیب با کودهای شیمیایی به کار می‌رود بیشتر و آشکارتر است (آسایی و همکاران، ۲۰۰۹؛ چان و همکاران، ۲۰۰۷؛ لمن و همکاران، ۲۰۰۳؛ شولز و گلاسر، ۲۰۱۲، ون زویتن و همکاران، ۲۰۱۰). سرافراز و همکاران (۲۰۱۷) افزایش بیش از ۶۰ ٪ کارایی مصرف نیتروژن در اثر کاربرد همزمان ۱ درصد وزنی بیوچار با سطوح مختلف نیتروژن (صفر، ۵۰ ٪ و ۱۰۰ ٪ مقدار توصیه شده نیتروژن) را گزارش کردند. افزایش قابل توجه در کارایی مصرف عناصر غذایی بعد از کاربرد بیوچار عمدتا به حفظ و نگهداری بیشتر و حداقل رساندن اتلاف عناصر غذایی، بهبود ویژگی‌های خاک مثل افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک، کاهش تراکم خاک و اثر قلیاییت بیوچار که منجر به غیرمتحرک شدن آلاینده‌ها و افزایش فراهمی عناصر غذایی و بهبود ویژگی‌های بیولوژیکی خاک مثل محیط ریشه‌ای مطلوب‌تر و فعالیت‌های میکروبی بیشتر مربوط می‌شود (آلبرکوئرکو و همکاران، ۲۰۱۳). در توافق با نتایج پژوهش حاضر لیو و همکاران (۲۰۱۷) عنوان داشتند که بیوچار نه تنها کارایی مصرف کودهای نیتروزنی را افزایش می‌دهد بلکه موجب افزایش فراهمی نیتروژن در خاک نیز می‌شود. زیرا بیوچار به عنوان یک ماده اصلاح کننده از طریق تغییر در ویژگی‌های شیمیایی و میکروبی خاک موجب افزایش جذب عناصر غذایی خاک توسط خاک می‌شود که پیش از این در خاک‌های فقیر در دسترس گیاه نبوده‌اند (شن و همکاران، ۲۰۱۶؛ ون زویتن و همکاران، ۲۰۱۰). همچنین چان و همکاران (۲۰۰۸) افزودند که بیوچار می‌تواند از طریق ایجاد میکروسایت برای زندگی ریزجانداران خاک و جلوگیری از تنش‌های زیستی و غیرزیستی برای آنها مقدار فعالیت میکروبی خاک را افزایش و از این طریق رشد گیاه و عملکرد محصول را بیشتر کند.

به هرحال نتایج متناقضی در مورد اثر بیوچار بر حاصلخیزی خاک و عملکرد گیاه گزارش شده است. به عنوان مثال آسایی و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که کاربرد ۴، ۸ و ۱۶ تن بیوچار در هکتار به

ترتیب موجب کاهش ۲۳/۳ ٪، ۱۰ ٪ و ۲۶/۷ ٪ عملکرد دانه گیاه گندم شد. لیو و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که اثر کاربرد بیوچار بر رشد چاودار در دو خاک با بافت مختلف متفاوت بود. نتایج انها نشان داد که کاربرد بیوچار در خاک با بافت شنی موجب افزایش رشد گیاه شد در حالی که در خاک با بافت لومی اثر معنی‌داری بر رشد گیاه نداشت. این روند با متاآنالیز انجام شده توسط جفری و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت داشت. جفری و همکاران (۲۰۱۱) بیان کردند که بافت خاک یک عامل مربوط به پاسخ رشد گیاه به کاربرد بیوچار است به طوریکه بیوچار رشد گیاه را در خاک‌های با بافت درشت (مثل خاک استفاده شده در پژوهش حاضر) نسبت به خاک‌های با بافت ریز بیشتر افزایش می‌دهد. صدف و همکاران (۲۰۱۷) اثر بیوچارهای تولید شده از مواد مختلف (بیوچار کود مرغی(PMB)، بیوچار کود گاوی (FYM)، بیوچار ضایعات آشپزخانه (WKB) و بیوچار چیپس چوب (WCB)) به صورت تنها و در ترکیب با کود شیمایی بر عملکرد بیولوژیک و دانه گندم مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که بیوچارهای مختلف اثرات متفاوتی بر عملکرد بیولوژیک و دانه گندم داشتند. به طوریکه کاربرد تنهای بیوچارهای FMB و WCB موجب کاهش، کاربرد بیوچارهای PMB، FMB و KWB در ترکیب با کود شیمیایی موجب افزایش و کاربرد تنهای بیوچارهای PMB و KWB اثر معنی‌داری بر مقدار عملکرد دانه گندم نداشتند. این تفاوت‌ها احتمالا به دلیل تفاوت در شرایط آزمایشی مثل شرایط اقلیمی یا گلخانه‌ای، تفاوت در نوع خاک مثل بافت متفاوت، تفاوت در بیوچار از نظر ماده تولیدی، دمای پیرولیز و مدت زمان پیرولیز، کاربرد بیوچار به صورت تنها یا در ترکیب با سایر کودهای آلی یا شیمیایی و همچنین تفاوت در گونه‌های گیاهی باشد (برک و همکاران، ۲۰۱۴؛ بیدرمن و هارپل، ۲۰۱۳).

بیدرمن و هارپل (۲۰۱۳) در بررسی متاآنالیز خود نتیجه گرفتند که کاربرد بیوچار از منابع مختلف موجب افزایش معنی‌دار عملکرد اندام هوایی و عملکرد محصول می‌شود. همچنین افزایش زیست توده تولیدی گیاهان لگوم مثل شبدر، لوبیا و یونجه بعد از کاربرد بیوچار در پژوهش‌های دیگری نیز گزارش شده است (میا و همکاران، ۲۰۱۴؛ اورام و همکاران، ۲۰۱۴؛ روندون و همکاران، ۲۰۰۷؛ نیشیو و

اوکانو، ۱۹۹۱). بایگا و رجاشخار رئو (۲۰۱۷) افزایش عملکرد تجاری، وزن خشک و مقدار جذب نیتروژن را با افزایش سطح کود اوره گزارش کردند. نیتروژن در فعالیت‌های فتوسنتزی و ساخت کربوهیدرات‌ها و کلروفیل نقش دارد و از این طریق منجر به افزایش رشد رویشی و تجمع ماده خشک در اندام‌های گیاه می‌شود.

جدول ۴-۲۰. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی بیوچار، اثر اصلی کود اوره و اثر متقابل بیوچار و کود اوره بر وزن خشک برگ گیاه لوبیا (گرم بر گلدان)در روزهای ۳۰، ۵۰، ۷۰، ۹۰ و ۱۰۰ بعد از کشت گیاه

سطوح بیوچار (درصد وزنی)	سطوح کود اوره (کیلوگرم در هکتار)	زمان (روز بعد از کاشت)				
		۳۰	۵۰	۷۰	۹۰	۱۰۰
۰	---	۲/۵۲^{b}	۲/۸۷^{b}	۳/۲۶^{b}	۳/۶۹^{b}	۳/۸۶^{b}
٪۱	---	۳/۰۰^{a}	۳/۳۹^{a}	۳/۷۴^{a}	۴/۱۴^{a}	۴/۲۱^{a}
---	۰	۱/۸۹^{d}	۲/۲۷^{d}	۲/۵۱^{d}	۲/۸۲^{d}	۲/۹۲^{d}
---	۸۰	۲/۳۲^{c}	۲/۷۱^{c}	۳/۱۰^{c}	۳/۵۳^{c}	۳/۶۷^{c}
---	۱۶۰	۳/۳۶^{b}	۳/۶۶^{b}	۳/۹۹^{b}	۴/۴۲^{b}	۴/۶۵^{b}
---	۳۲۰	۳/۴۶^{a}	۳/۸۹^{a}	۴/۴۱^{a}	۴/۹۰^{a}	۴/۹۹^{a}
۰	۰	۱/۵۸^{f}	۱/۷۵^{f}	۱/۹۲^{f}	۲/۲۳^{f}	۲/۳۵^{g}
۰	۸۰	۱/۹۳^{e}	۲/۳۰^{e}	۲/۶۷^{e}	۳/۱۴^{e}	۳/۲۷^{f}
۰	۱۶۰	۳/۲۳^{b}	۳/۵۹^{b}	۴/۰۶^{b}	۴/۴۹^{b}	۴/۷۶^{b}
۰	۳۲۰	۳/۳۵^{b}	۳/۸۵^{ab}	۴/۳۹^{a}	۴/۸۹^{a}	۵/۰۵^{a}

۳/۵۰^{e}	۳/۴۲^{d}	۳/۰۹^{d}	۲/۸۰^{d}	۲/۲۰^{d}	۰	٪۱
۳/۹۷^{d}	۳/۹۱^{c}	۳/۵۱^{c}	۳/۱۱^{c}	۲/۷۲^{c}	۸۰	٪۱
۴/۴۸^{c}	۴/۳۴^{b}	۳/۹۱^{b}	۳/۷۳^{ab}	۳/۵۰^{a}	۱۶۰	٪۱
۴/۸۸^{b}	۴/۹۰^{a}	۴/۴۳^{a}	۳/۹۳^{a}	۳/۵۸^{a}	۳۲۰	٪۱

ستون‌ها با حروف غیرمشابه دارای تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادها

- به طور کلی کاربرد بیوچار سبوس برنج چه به صورت تنها و چه در ترکیب با سطوح مختلف اوره اثر مثبتی بر ویژگی شیمیایی و فیزیکی خاک مورد مطالعه داشت و توانست حاصلخیزی خاک را بهبود بخشد.
- کاربرد بیوچار سبوس برنج موجب افزایش کربن آلی خاک، نیتروژن کل خاک، نیترات خاک، رطوبت خاک و کاهش آمونیوم و وزن مخصوص ظاهری خاک شد. کاهش آمونیوم خاک در اثر کاربرد بیوچار احتمالا به دلیل جذب سطحی آمونیوم روی سطوح بیوچار باشد که می‌تواند به حفظ و نگهداری نیتروژن و کاهش تلفات نیتروژن خاک کمک کند.
- نتایج نشان داد با افزایش سطح کاربرد اوره مقدار نیترات، آمونیوم، نیتروژن کل، کربن آلی، وزن مخصوص ظاهری خاک افزایش و pH خاک کاهش یافت.
- به طور کلی کاربرد همزمان بیوچار سبوس برنج و کود اوره در سطوح مختلف موجب افزایش بیشتر نیترات، نیتروژن کل، کربن آلی و کاهش بیشتر آمونیوم خاک نسبت به کاربرد تنهای اوره شد. این نتایج نشان دهنده اثر سینرژیسمی بیوچار و اوره بر پارامترهای مذکور است.
- به طور کلی با گذشت زمان در تمام تیمارها به جز تیمارهای فاقد کود اوره مقدار نیترات خاک افزایش و آمونیوم خاک کاهش یافت. همچنین با گذشت زمان مقدار کربن آلی و نیتروژن کل خاک در تمام تیمارهای کاهش یافت که علت آن احتمالا جذب به وسیله گیاه باشد.
- براساس نتایج به دست آمده از این پژوهش کاربرد بیوچار سبوس برنج توانست پارامترهای رشد گیاه لوبیا را به طور معنی‌داری افزایش دهد که این می‌تواند بیان گر کارایی مناسب بیوچار سبوس برنج به عنوان یک کود آلی باشد.

- همچنین مطابق انتظار با افزایش سطح کود اوره پارامترهای رشدی گیاه لوبیا به طور معنی‌داری افزایش یافت.
- به طور کلی کاربرد همزمان بیوچار سبوس برنج و کود اوره نسبت به کاربرد تنهای کود اوره کارایی بیشتری در افزایش رشد و عملکرد گیاه لوبیا داشت. به عبارت دیگر نتایج نشان دهنده اثر سینرژیسمی کاربرد بیوچار و اوره بر رشد گیاه بود. چراکه احتمالا کاربرد بیوچار نه تنها از طریق بهبود شرایط خاک چه از نظر فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی و همچنین افزایش فراهمی سایر عناصر غذایی مثل فسفر، پتاسیم و به ویژه نیتروژن (در پژوهش حاضر) می‌تواند رشد گیاه را افزایش دهد بلکه بیوچار می تواند موجب افزایش کارایی مصرف کودهای نیتروژنی (مثل کود اوره استفاده شده در این پژوهش) شده و در نتیجه رشد و عملکرد گیاه را افزایش دهد.

پیشنهادات

- پژوهش‌های مزرعه‌ای در مورد اثر بیوچار بر رشد گیاه کم است لذا پیشنهاد می‌شود پژوهش حاضر در شرایط مزرعه‌ای موررد بررسی قرار بگیرد.
- پیشنهاد می‌شود اثر کاربرد مقادیر بیشتر و کمتر از ۱ درصد وزنی بیوچار استفاده شده در این پژوهش و همچنین اثر کاربرد همزمان بیوچار با سایر کودهای شیمیایی به ویژه کودهای فسفره بر عملکرد گیاه مورد بررسی قرار گیرد.

- همچنین پیشنهاد می‌شود با توجه به سطح ویژه بالای بیوچار اثر کاربرد همزمان بیوچار با کودهای بیولوژیکی مثل ریزجانداران حل کننده فسفات‌های معدنی یا تثبیت کننده‌های نیتروژن مورد بررسی قرار گیرد
- اگرچه پژوهش‌ها نشان دهنده اثر مثبت بیوچار بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک است ولی اطلاعات در مورد مکانیسم‌هایی که بیوچار موجب این اثرات مفید می‌شود کم است لذا پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده به بررسی مکانیسم‌هایی که به وسیله آن بیوچار شرایط خاک را بهبود و رشد گیاه را افزایش می‌دهد بپردازند.
- همچنین اطلاعات کمی در مورد اثر بیوچار بر گونه‌های گیاهی غیرزراعی یا وحشی، محیط‌های آبی و ریزجاندارن خاک وجود دارد لذا پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های بعدی این موارد مورد توجه قرار گیرند.
- پیشنهاد می‌شود اثر بیوچار چه به صورت تنها و چه در ترکیب با کودهای شیمیایی بر جمعیت میکروبی خاک که ممکن است در فرآیندهای نیتریفیکاسیون، دنیتریفیکاسیون و آمونیومی شدن تاثیر گذار باشند و به ویژه ریزجانداران درگیر در چرخ عناصر غذایی مورد بررسی قرار گیرد.
- پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی رابطه بین سرعت تجزیه بیوچار و فراهمی عناصر غذایی و همچنین رشد گیاه در بازه‌های زمانی طولانی مدت مورد بررسی قرار گیرد.

فصل ششم

منابع

۱-احمدی زهرا،(۱۳۹۳)، پایان نامه ارشد: **"تاثیرسطوح مختلف بیوچار و همزیستی قارچ مایکوریز Glomus intraradiacea و Glomus versiforme با گیاه ذرت در کاهش آبشویی نیترات"**.دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود.

۲- امامی ع، (۱۳۷۵)، **"روش های تجزیه گیاه"** جلد اول، وزارت کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات آب و خاک، تهران.

۳-پارسا، م .و باقری، ع . 1378 . **حبوبات** .انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، 522 صفحه

۴-حبیبی ح، مظاهری د، مجنونحسینی ن، چاییچی م ر، طباطبایی م و بیگدلی م،. 1386 . **ارزیابی چگونگی تاثیر منابع آلی (بیولوژیک) و معدنی نیتروژن دار (اوره)بر عملکرد و میزان متابولیت های ثانویه دو گونه وحشی و زراعی گیاه آویشن (Thymus vulaaris)**. رساله دکتری دانشکده علوم زراعی و دامی . پردیس کشاورزی و منابع طبیعی . دانشگاه تهران

۵-دیوبند هفشجانی ل، ناصری ع، هوشمند ع، عباسی ف، محمدی ا، (۱۳۹۴). **بررسی تاثیر کاربرد بیوچار باگاس نیشکر بر خصوصیات شیمیایی یک خاک لوم شنی**. علوم و مهندسی آبیاری ،شماره ۱، جلد۴۰. ص ۶۳-۷۲.

۶-سروش ن ، صیاد غ, و معزی ع، خرمیان م، (۱۳۹۰) . **حرکت شکل های مختلف نیتروژن در خاک تحت تاثیر مقادیر مختلف کود اوره در سیستم کودآبیاری ذرت در شمال خوزستان**. *مهندسی زراعی* . مجله علمی کشاورزی. شماره ۲، جلد ۳۴.

۷-کوچکی، ع . و بنایان اول ، م . 1368 . **زراعت حبوبات** . انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد 236 . صفحه

۸-مجنون حسینی ، ن . 1372 .**حبوبات در ایران**. انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه تهران 240 . صفحه

9-Abiven, S., Hund, A., Martinsen, V., & Cornelissen, G. (2015). **Biochar amendment increases maize root surface areas and branching: a shovelomics study in Zambia.** ***Plant and soil****, 395*(1-2),45-55.

10-Agbede, T. M., Ojeniyi, S. O., & Adeyemo, A. J. (2008). **Effect of poultry manure on soil physical and chemical properties, growth and grain yield of sorghum in southwest, Nigeria.** *American-Eurasian journal of sustainable agriculture*, *2*(1), 72-77.

11-Alburquerque, J. A., Salazar, P., Barrón, V., Torrent, J., del Campillo, M. D. C., Gallardo, A., & Villar, R. (2013**). Enhanced wheat yield by biochar addition under different mineral fertilization levels**. *Agronomy for Sustainable Development*, *33*(3), 475-484.

12-Asai, H., Samson, B. K., Stephan, H. M., Songyikhangsuthor, K., Homma, K., Kiyono, Y., ... & Horie, T. (2009**). Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos: 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield**. *Field Crops Research*, *111*(1), 81-84.

13-Baiga, R., & Rajashekhar Rao, B. K. (2017**). Effects of biochar, urea and their co-application on nitrogen mineralization in soil and growth of Chinese cabbage**. *Soil Use and Management*, *33*(1), 54-61.

14- Ball, P. N., MacKenzie, M. D., DeLuca, T. H., & Holben, W. E. (2010**). Wildfire and charcoal enhance nitrification and ammonium-oxidizing bacterial abundance in dry montane forest soils**. *Journal of environmental quality*, *39*(4), 1243.

15-Bechmann M., Eggestad H.O. and Vagstad N. 1998. **Nitrogen balances and leaching in four agricultural catchments in southeastern Norway**. Environ. Pollut., 102: 493-499.

16-Berglund, L. M., DeLuca, T. H., & Zackrisson, O. (2004**). Activated carbon amendments to soil alters nitrification rates in Scots pine forests**. *Soil Biology and Biochemistry*, *36*(12), 2067-2073

17-Bi, Q. F., Chen, Q. H., Yang, X. R., Li, H., Zheng, B. X., Zhou, W. W., ... & Lin, X. Y. (2017). **Effects of combined application of nitrogen fertilizer and biochar on the nitrification and ammonia oxidizers in an intensive vegetable soil**. *AMB Express*, *7*(1), 198

18-Biederman, L. A., & Harpole, W. S. (2013**). Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis**. *GCB bioenergy*, *5*(2), 202-214.

19-Bird, M. I., & Gröcke, D. R. (1997**). Determination of the abundance and carbon isotope composition of elemental carbon in sediments**. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, *61*(16), 3413-3423.

20-Blackwell P., Krull E., Butler G., Herbert A., Solaiman Z. (2010**) Effect of banded biochar on dryland wheat production and fertiliser use in south-western Australia: an agronomic and economic perspective**. Australian Journal of Soil Research48:531-545.

21-Blanco-Canqui, H. (2017**). Biochar and soil physical properties. *Soil Science Society of America Journal,* ***81***(4), 687-711.

22-Blaylock A.D.J., and Dowbonko R.D. 2005**. Nitrogen fertilizer technologies**. Western Nutrient Management Conference. Vol 6, Salt Lake City, UT.

23-Brandt K, 2008**. Plant health, Soil fertility relationships and food quality**. Proceeding of
Organic Agriculture in Aisa, 13-14 March 2008, Seoul, Korea, 18-30.

24-Brantley, K.E., R.B. Kristofor, M.C. Savin, D.E. Longer. 2015. **Biochar source and application rate effects on soil water retention determined using wetting curves**. Earth &Environmental Sciences

25-Briggs C.M., Breiner J.M., Graham R.C. (2005) **Contributions of Pinus Ponderosa Charcoal to Soil Chemical and Physical Properties.**

26-Brussard L and Ferrera–cenato R, 1997. **Soil ecology in suitable agricultural systems**.New York: Lewis publishers, U. S. A., pp 168

27-Bruun, E. W., Hauggaard-Nielsen, H., Ibrahim, N., Egsgaard, H., Ambus, P., Jensen, P. A., & Dam-Johansen, K. (2011). **Influence of fast pyrolysis temperature on biochar labile fraction and short-term carbon loss in a loamy soil**. *Biomass and Bioenergy*, *35*(3), 1182-1189.

28-Carter, S., Shackley, S., Sohi, S., Suy, T. B., & Haefele, S. (2013). **The impact of biochar application on soil properties and plant growth of pot grown lettuce (Lactuca sativa) and cabbage (Brassica chinensis)**. *Agronomy*, *3*(2), 404-418.

29--Cartes, P., Jara, A. A., Demanet, R., & Mora, M. D. L. L. (2009). **Urease activity and nitrogen mineralization kinetics as affected by temperature and urea input rate in southern Chilean Andisols.** *J. Soil Sci. Plant Nutr*, *9*(1), 69-82.

30-Chabot R. and Antoun H, 1996. **Growth promotion of maize and lettuce by phosphatesolubilizing *Rhizobium leguminosarum* biovar phaseoli. Plant and Soil.** 184: 311-321

31-Chan K.Y., Van Zwieten L., Meszaros I., Downie A., Joseph S. (2007) **Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment**. Australian Journal of Soil Research 45:629.

32-Chan K.Y., Van Zwieten L., Meszaros I., Downie A., Joseph S. (2008) **Using poultry litter biochars as soil amendments**.Australian Journal of Soil Research 46:437

33-Chan K.Y., Xu Z.H. (2009) **Biochar - Nutrient Properties and their Enhancement** (Chapter 5), in: J. Lehmann and S. Joseph(Eds.), Biochar for Environmental Management: Science and Technology, Earthscan, London, UK. pp. 67.

34-Cheng, C. H., Lehmann, J., Thies, J. E., Burton, S. D., & Engelhard, M. H. (2006**). Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes**. *Organic Geochemistry*, *37*(11), 1477-1488.

35-Clough, T. J., Condron, L. M., Kammann, C., & Müller, C. (2013). **A review of biochar and soil nitrogen dynamics**. *Agronomy*, *3*(2), 275-293.

36-Cui, L., Yan, J., Yang, Y., Li, L., Quan, G., Ding, C., ... & Chang, A. (2013). **Influence of biochar on microbial activities of heavy metals contaminated paddy fields**. *BioResources*, *8*(4), 5536-5548.

37-Da Silva, A.P. Key, B.D. and Perfect,E. (1994). Characterisiation of the Last Limiting water range of soil.

38-DeLuca,T. H. and Aplet,G. H. (2007) „**Charcoal and carbon storage in forest soils of the Rocky Mountain West‟,*Frontiers in Ecology and the Environment***, vol 6, pp1–7.

39-DeLuca, T. H., MacKenzie, M. D., Gundale, M. J., & Holben, W. E. (2006). **Wildfire-produced charcoal directly influences nitrogen cycling in ponderosa pine forests**. *Soil Science Society of America Journal*, *70*(2), 448-453.

40-DeLuca,T. H., Nilsson, M.-C. and Zackrisson,O. (2002) **„Nitrogen mineralization and phenol accumulation along a fire chronosequence in northern Sweden‟,** *Oecologia,* vol 133, pp206–214.

41-Dil, M., Oelbermann, M., & Xue, W. (2014). **An evaluation of biochar pre-conditioned with urea ammonium nitrate on maize (Zea mays L.) production and soil biochemical characteristics.** *Canadian Journal of Soil Science*, *94*(4), 551-562.

42-Ding Y., Liu Y.X., Wu W.X., Shi D.Z., Yang M., Zhong Z.K. (2010**) Evaluation of Biochar Effects on Nitrogen Retention and Leaching in Multi-Layered Soil Columns**. Water Air and Soil Pollution 213:47-55.

43-Downie, H. F., Adu, M. O., Schmidt, S., Otten, W., Dupuy, L. X., White, P. J., & Valentine, T. A. (2015**). Challenges and opportunities for quantifying roots and rhizosphere interactions through imaging and image analysis**. *Plant, cell & environment*, *38*(7), 1213-1232.

44-El-Naggar, A. H., Usman, A. R., Al-Omran, A., Ok, Y. S., Ahmad, M., & Al-Wabel, M. I. (2015**). Carbon mineralization and nutrient availability in calcareous sandy soils amended with woody waste biochar**. *Chemosphere*, *138*, 67-73.

45-Elzobair, K. A., Stromberger, M. E., Ippolito, J. A., & Lentz, R. D. (2016**). Contrasting effects of biochar versus manure on soil microbial communities and enzyme activities in an Aridisol.** *Chemosphere*, *142*, 145-152.

46-Galloway J.N., Dentener F.J., Capone D.G., Boyer E.W., Howarth R.W., Seitzinger S.P., Anser G.P., Clevelan C.,Green P.E., Holland D.M., Karl A.F., Michaels J.H., Porter A., and Vorosmarty C. 2004. **Nitrogen cycles past,present and future**. Biogeochemistry, 70(2): 153-226.

47-Gaskin J.W., Speir R.A., Harris K., Das K.C., Lee R.D., Morris L.A., Fisher D.S. (2010) **Effect of Peanut Hull and Pine Chip Biochar on Soil Nutrients, Corn Nutrient Status, and Yield**. Agronomy Journal 102:623-633.

48-Githinji, L. (2014**). Effect of biochar application rate on soil physical and hydraulic properties of a sandy loam.** *Archives of Agronomy and Soil Science*, *60*(4), 457-470.

49-Glaser B., Balashov E., Haumaier L., Guggenberger G., Zech W. (2000) **Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region**. Organic Geochemistry 31:669-678.

50-Glaser, B., Lehmann, J. and Zech,W. (2002) **„Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review‟,** *Biology and Fertility of Soils,* vol 35, pp219–230.

51-Glaser B., Woods W.I. (2004) (Ed.)^(Eds.) **Amazonian Dark Earths: Explorations in Space and Time,** Springer-Verlag, Berlin.

52-Grenon, F., Bradley, R. L. and Titus, B.D. (2004) **„Temperature sensitivity of mineral N transformation rates, and heterotrophic nitrification: Possible factors controlling the postdisturbance mineral N flush in forest floors‟**,*Soil Biology and Biochemistry,* vol 36, pp1465–474.

53-Gundale, M. J., and DeLuca,T. H. (2006) ,,**Temperature and substrate influence the chemical properties of charcoal in The پوندروسا pine/Douglas-fir ecosystem‟,** *Forest Ecology and Management,* vol 231, pp86–93.

54-Heumann S., Bottcher J., and Springob G. 2002. **N mineralization parameter of sandy arable soils**. J. Plant Nut.,166(٢): 308-318

55-Hollister, C.C., J.J. Bisogni, J. Lehmann. 2013**. Ammonium, nitrate, and phosphate sorption to and solute leaching from biochars prepared from corn stover and oak wood.Journal of Environmental Quality**. 42: 137-144

56-Husk, B., Major, J. 2011. **Biochar commercial agriculture field trial in Québec, Canada – year three: effects of biochar on forage plant biomass quantity, quality and milk production.**

57-Husk, B., Major, J. 2010. **Commercial scale agricultural biochar field trial in Québec, Canada, over two years: Effects of biochar on soil fertility, biology, crop productivity and quality.**

58-Islam, A., Chen,D. and White, R. E. (2007) „**Heterotrophic and autotrophic nitrification in two acid pasture soils‟,** ***Soil Biology and Biochemistry****,* vol 39, pp972–975.

59-Jain,V. and Nainawatee, H. S. (2002) „**Plant flavonoids: Signals to legume nodulation and soil microorganisms‟,*****Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology***, vol 11, pp1–10

60--Jalali M. 2005**. Nitrate leaching from agriculture land in Hamedan, western Iran. J. Agric. Ecosys**. Environ., 110(3-4): 210-218

60--Jemison J.M., and Fox R.H. 1994**. Nitrate leaching from nitrogen fertilizered and manured corn measured with zero-tension pan lysimeters**. J. Environ. Qual., 23(2): 337-343.

61- Johnson,D.W. (1984), **„Sulfur cycling in forests‟,** *Biogeochemistry*, vol 1, pp29–43.

62-Kameyama, K., Shinogi, Y., Miyamoto, T., Agarie, K., 2010. **Estimation of net carbon sequestration potential with farmland application of bagasse charcoal: life cycle inventory analysis through a pilot sugarcane bagasse carbonisation plant.**Australian Journal of Soil Research 48 (6–7), 586–592.

63-Keeney D.R. 1987. Nitrate in groundwater-agricultural contribution and control. P 329-351. In Proc. Conference. Of Agricultural Impacts on Ground Water, Omaha, Nebrasaka. 11-13 Aug. 1987. National Water Well Association,Dublin, OH

64-Knoepp, J.D., DeBano, L. F. and Neary,D.G. (2005) *Soil Chemistry*, RMRS-GTR 42-4, US Department of Agriculture,Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Ogden, UT.

65-Kolota E, Beresniiewicz A, Krezel J, Nowosielski L and Slow O, 1992**. Slow release fertilizers on organic carriers as the source of N. for vegetable crops production in the open field.** Acta Hort. 339: 241-249.

66-Kyllmar K., Larsson M.H. and Johnsson H. 2004. **Simulation of N leaching from a small agricultural catchment with the field scale model SOILNDB**. Agric, Ecosyst. Environ., 107: 37-49.

67-Laird D., Fleming P., Wang B.Q., Horton R., Karlen D. (2010) **Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil**. Geoderma 158:436-442.

68-Laird, D., Felming, P., Wang, B., Karlen, D. 2009. **Impact of Biochar Amendments on Soil Quality for a Typical Midwestern Agricultural Soil**. Talk given at the North American Biochar Conference, August 9-12 2009, Boulder, CO USA.

69-Le Leuch, L. M. and Bandosz,T. J. (2007) „**The role of water and surface acidity on the reactive adsorption of ammonia on modified activated carbons**‟ *Carbon*, vol 45, pp568–578.

70-Lehmann J., Czimnik C., Laird B., Sohi S. (2009) **Biochar for environmental management: science and technology**. London:Earthscan, 183-206.

71-Lehmann, J. 2007**. Bio-energy in the black**. Front. Ecol. Environ. 5: 381–387.

72-Lehmann J. (2007) **Bio-energy in the black. Frontiers in Ecology and the Environment** 5:381.

73-Lehmann, J., da Silva, J. P., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W., & Glaser, B. (2003**). Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments**. *Plant and soil*, *249*(2), 343-357.

74-Lehmann, J., Gaunt, J. and Rondon, M. (2006) „**Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems – a review", *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*,** vol 11, pp403–427.

75-Lehmann J., Thies J.E., Burton S.D., Engelhard M.H. (2006) **Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes.** Organic Geochemistry37:1477.

76-Leininger, S., Urich,T. Schloter, M. Schwark, L., Qi, J., Nicol,G.W., Prosser, J. I., Schuster, S. C. and Schleper, C.(2006) „**Archaea predominate among ammonia-oxidizing prokaryotes in soils",** Nature, vol 442, pp806–809.

77--Liang, B., J. Lehmann, D. Solomon, J. Kinyang, J. Grossman., B. O'Neill, J.O. Skjemstard, J. Thies, F.J. Luiza, J. Peterson, E.G. Neves. 2006**. Black carbon increases CEC in soils**. Soil Science Society of America Journal. 70: 1719-1730

78-Lie, J.H., G.H. Lv, W.B. Bai, Q. Liu, Y.C. Zhang, J.Q. Song. 2014**. Modification and use of biochar from wheat straw (Triticum aestivum L.) for nitrate and phosphate removal from water**. Desalination and Water Treatment; DOI 10.1080/19443994.2014.994104.

79-Liu, W., Zhang, C., Hu, P., Luo, Y., Wu, L., Sale, P., & Tang, C. (2016). **Influence of nitrogen form on the phytoextraction of cadmium by a newly discovered hyperaccumulator Carpobrotus rossii**. *Environmental Science and Pollution Research*, *23*(2), 1246-1253

80-Liu, Z., He, T., Cao, T., Yang, T., Meng, J., & Chen, W. (2017). **Effects of biochar application on nitrogen leaching, ammonia volatilization and nitrogen use**

efficiency in two distinct soils. *Journal of soil science and plant nutrition*, *17*(2), 515-528.

81-MacKenzie, M.D. and DeLuca,T. H. (2006) **„Charcoal and shrubs modify soil processes in پوندروسا pine forests of western Montana"**, *Plant and Soil,* vol 287, pp257–267.

82-Major J. (2009**) Biochar application to a Colombia savanna Oxisol: fate and effect on soil fertility, crop production, nutrient leching and soil hydrology, Department of Crop and Soil Siences**, Cornell University, Ithaca NY USA. pp. 841.

83-Major J., Rondon M., Molina D., Riha S.J., Lehmann J. (2010b**) Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol**. Plant and Soil 333:117-128.

84-Major J., Steiner C., Downie A., Lehmann J. (2009) **Biochar Effects on Nutrient Leaching (Chapter 15), in: J. Lehmann and S. Joseph (Eds.), Biochar for Environmental Management: Science and Technology, Earthscan, London, UK**. pp. 271.

85-Malhi S.S., Grant C.A., Johnston A.M., and Gill K.S. 2001. **Nitrogen fertilization management for no till cereal production in the Canadian Great Plains: A review. Soil Till**. Res., 60(3-4): 101-122.

86-Mandal, S., Thangarajan, R., Bolan, N. S., Sarkar, B., Khan, N., Ok, Y. S., & Naidu, R. (2016). **Biochar-induced concomitant decrease in ammonia volatilization and increase in nitrogen use efficiency by wheat**. *Chemosphere*, *142*, 120-127.

87-Masto, R. E., Kumar, S., Rout, T. K., Sarkar, P., George, J., & Ram, L. C. (2013). **Biochar from water hyacinth (Eichornia crassipes) and its impact on soil biological activity.** *Catena*, *111*, 64-71.

88-Marechesini A, Allieri L, comotti E and Errari A,(1988). **Long tern effects of guality -compost treatment on soil**. Plant and Soil, 106: 253-61.

89-McCarty,G.W. and Bremner, J. M. (1986) **„Inhibition of nitrification in soil by acetylenic compounds**‟, *Soil Science Society of America,* vol 50, pp1198–1201.

90-McNear Jr, D. H. (2013). **The rhizosphere-roots, soil and everything in between**. *Nature Education Knowledge*, *4*(3), 1.

91-Naeem, M. A., Khalid, M., Aon, M., Abbas, G., Amjad, M., Murtaza, B., ... & Ahmad, N(2016). **Combined application of biochar with compost and fertilizer improves soil properties and grain yield of maize**. *Journal of Plant Nutrition*, *41*(1), 112-122

92-Neary,D.G., Klopatek, C. C., DeBano, L. F. and Folliott, P. F. (1999) „**Fire effects on belowground sustainability: A review and synthesis**‟, *Forest Ecology and Management*, vol 122, pp51–71

93-Nelissen, V., Ruysschaert, G., Manka'Abusi, D., D'Hose, T., De Beuf, K., Al-Barri, B., ... & Boeckx, P. (2015). **Impact of a woody biochar on properties of a sandy loam soil and spring barley during a two-year field experiment**. *European Journal of Agronomy*, *62*, 65-78.

94Nigussie, A., Kissi, E., Misganaw, M., & Ambaw, G. (2012**). Effect of biochar application on soil properties and nutrient uptake of lettuces (Lactuca sativa) grown in chromium polluted soils.** American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science, 12(3), 369-376.

95-Norwood,C.A., 2000, **Water use and yield of limited irrigated and dryland corn**. Soil Sci. Soc. Am J.64:365-370.

96-Novak J.M., Busscher W.J., Laird D.L., Ahmedna M., Watts D.W., Niandou M.A.S. (2009a) **Impact of Biochar Amendment on Fertility of a Southeastern Coastal Plain Soil**. Soil Science 174:105-112. DOI: 10.1097/SS.0b013e3181981d9a.

97-Novak J.M., Lima I.M., Xing B., Gaskin J.W., Steiner C., Das K.C., Ahmedna M., Rehrah D., Watts D.W., Busscher W.J., Schomberg H. (2009b**) Charcaterization of**

designer biochar produced at different temperatures and their effects on aloamy sand. Annals of Environmental Science 3:195-206

98-Ogawa M, Yambe Y, Suiura G (1983) **Effect of biochar on the root nodule and VA mycorrhiza formation of soybean. In'International Mycological Congress'**. Tokyo, p. 578.

99-Omondi, M. O., Xia, X., Nahayo, A., Liu, X., Korai, P. K., & Pan, G. (2016). **Quantification of biochar effects on soil hydrological properties using meta-analysis of literature data**. *Geoderma*, *274*, 28-34.

100-Paavolainen, L., Kitunen,V. and Smolander, A. (1998) **„Inhibition of nitrification in forest soil by monoterpenes"**, *Plant and Soil*, vol 205, pp147–154.

101-Peake, L. R., Reid, B. J., & Tang, X. (2014**). Quantifying the influence of biochar on the physical and hydrological properties of dissimilar soils**. *Geoderma*, *235*, 182-190

102-Peng X., Ye L.L., Wang C.H., Zhou H., Sun B. (2011) **Temperature- and duration-dependent rice straw-derived biochar:Characteristics and its effects on soil properties of an Ultisol in southern China Soil and Tillage** Research 112:159-166

103-Pfister, M., & Saha, S. (2017**). Effects of biochar and fertilizer management on sunflower (Helianthus annuus L.) feedstock and soil properties**. *Archives of Agronomy and Soil Science*, *63*(5), 651-662.

104-Piccolo, A., Pietramellara, G., & Mbagwu, J. S. C. (1996). **Effects of coal derived humic substances on water retention and structural stability of Mediterranean soils**. *Soil Use and Management*, *12*(4), 209-213.

105-Prendergast-Miller, M. T., Duvall, M., & Sohi, S. P. (2014**). Biochar–root interactions are mediated by biochar nutrient content and impacts on soil nutrient availability**. *European journal of soil science*, *65*(1), 173-185.

106-Razaq, M., Shen, H. L., Sher, H., & Zhang, P. (2017**). Influence of biochar and nitrogen on fine root morphology, physiology, and chemistry of Acer mono**. *Scientific reports*, *7*(1), 5367.

107-Rondon M.A., Lehmann J., Ramirez J., Hurtado M. (2007) **Biological nitrogen fixation by common beans (Phaseolus vulgaris L.)increases with bio-char additions**. Biology and Fertility of Soils 43:699.

108-Rossate,L.,P. Laine and A.Qurry.2001. **Nitrogen storage and remobilization in brassicanapus l. during the growth cycle: nitrogen fluxes within the plant AND changes in soluble protein patterns** . j. of Exper. Bot. 52(361): 1655-1663.

109-Sadaf, J., Shah, G. A., Shahzad, K., Ali, N., Shahid, M., Ali, S., ... & Rashid, M. I. (2017). **Improvements in wheat productivity and soil quality can accomplish by co-application of biochars and chemical fertilizers**. *Science of The Total Environment*, *607*, 715-724.

110-Saleh, M. E., Mahmoud, A. H., & Rashad, M. (2012). **Peanut biochar as a stable adsorbent for removing N [H. sub. 4]-N from wastewater: a preliminary study**. *Advances in environmental biology*, 2170-2177.

111-Sarfraz, R., Shakoor, A., Abdullah, M., Arooj, A., Hussain, A., & Xing, S. (2017**). Impact of integrated application of biochar and nitrogen fertilizers on maize growth and nitrogen recovery in alkaline calcareous soil.** *Soil Science and Plant Nutrition*, *63*(5), 488-498.

112-Sarkar, A. K., Lal, S., & Dev, G. (1998). **Balanced Fertiliser Use and Liming Sustain High Yields in Corn-Wheat Rotation on Acid Soil**. *Better Crops International*, *12*(2), 17

113-Sarmadnia, Gh., and Kocheki, A. 2004**. Crop physiology. Jahad daneshgahy Publisher**. Fedosi Mashhad University. P. 400.

114-Schimel, J. P.,Van Cleve, K., Cates, R.G., Clausen,T. P. and Reichardt, P. B. (1996) „**Effects of balsam polar (*Populus balsamifera*) tannin and low molecular**

weight phenolics on microbial activity in taiga floodplain soil: Implications for changes in N cycling during succession‟, *Canadian Journal of Botany*, vol 74, pp84–90.

115-Schneour, E. A. (1966) „**Oxidation of graphite carbon in certain soils**‟, *Science*, vol 151, 991–992 .

116-Shen, C., Kahn, A.and Schwartz, J. (2001) „**Chemical and electrical properties of interfaces between magnesium and aluminum and tris-(8-hydroxy quinoline) aluminum**‟, *Journal of Applied Physics*, vol 89, pp449–459.

117-Sharma AK, 2002b. **Biofertilizers for sustainable agriculture A handbook of organic**
farming.Agrobios,India.

118-Shivaputra SS, Patil CP, Swamy GSK and Patil PB, 2004. **Effect of vesicular-arbuscular mycorrhiza fungi and vermicompost on drought tolerance in papaya**. Mycorrhiza News,16(3): 12-13.

119-Singh B.P., Hatton B.J., Singh B., Cowie A., Kathuria A. (2010**) Influence of biochars on nitrous oxide emission and nitrogen leaching from two contrasting soils**. Journal of Environmental Quality.

120-Sohi, S., Loez-Capel, E., Krull, E., Bol, R., 2009**. Biochar's roles in soil and climate change: a review of research needs**. CSIRO Land and Water Science Report 05/ 09, 64p.

121-Solomon, D., Lehmann, J., Thies, J., Schäfer, T., Liang, B., Kinyangi, J., ... & Skjemstad, J. (2007). **Molecular signature and sources of biochemical recalcitrance of organic C in Amazonian Dark Earths**. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, *71*(9), 2285-2298.

122-Steiner C., Glaser B., Teixeira W.G., Lehmann J., Blum W.E.H., Zech W. (2008) **Nitrogen retention and plant uptake on a highly weathered central Amazonian**

Ferralsol amended with compost and charcoal. Journal of Plant Nutrition and Soil Science-Zeitschrift Fur Pflanzenernahrung Und Bodenkunde 171:893.

123-Steiner, C.,Teixeira,W.G., Lehmann, J., Nehls,T., de Macedo, J. L.V., Blum,W. E. H. and Zech, W. (2007) **„Long term effects of manure, charcoal, and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil**‟, *Plant and Soil*, vol 291, pp275–290.

124-Stevenson, F. J., and Cole, M. A. (1999) *Cycles of the Soil*, second edition, John Wiley and Sons, Inc, New York, NY Sudhakar,Y. and Dikshit, A. K. (1999) **„Kinetics of endosulfan sorption onto wood charcoal**‟, *Journal of Environmental Science and Health B*, vol 34, pp587–615

125-Suter, H. C., Pengthamkeerati, P., Walker, C., & Chen, D. (2011). **Influence of temperature and soil type on inhibition of urea hydrolysis by N-(n-butyl) thiophosphoric triamide in wheat and pasture soils in south-eastern Australia**. *Soil Research*, *49*(4), 315-319

126-Tagoe S., Horiuchi T., Matsui T. (2008**) Effects of carbonized and dried chicken manures on the growth, yield, and N content of soybean**. Plant and Soil 306:211-220.

127-Taylor P., Mason J. (2010) **Biochar Production Fundamentals, in: P. Taylor (Ed.), The Biochar Revolution: Transforming Agriculture and Environment, Global Publishing Group, Victoria, Australia**. pp. 113-131.

128-Thomson, C. J., Marschner, H., & Römheld, V. (1993**). Effect of nitrogen fertilizer form on pH of the bulk soil and rhizosphere, and on the growth, phosphorus, and micronutrient uptake of bean.** *Journal of Plant Nutrition*, *16*(3), 493-506.

129-Troeh, F. R and L.M. Thompson. 2005. **Soils and Soil Fertility, Blackwell Publishing,**

Iowa, US.Kolb, S. 2007. Understanding the mechanisms by which a manure-based charcoalproduct affects microbial biomass and activity, PhD thesis, University of Wisconsin,Green Bay, US.

130-Tyron, E. H. (1948) „**Effect of charcoal on certain physical, chemical, and biological properties of forest soils**‟,*Ecological Monographs,* vol 18, pp 82–115

131--Uhart, S.A., and Andrade, F.H., 1995**. Nitrogen deficiency in maize: II. Carbon-nitrogen interaction effects on kernel number and grain yield**. Crop Sci. 35: 1384-1389.

132-Van Zwieten L., Kimber S., Morris S., Chan K.Y., Downie A., Rust J., Joseph S., Cowie A. (2010) **Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility**. Plant and Soil 327:235-246.

133-Van Zwieten, V.L., B. Singh, S. Joseph, S. Kimber, A. Cowie, Y. K. Chan. 2009**. Biochar and emissions of non-CO2 greenhouse gases from soil. In: Lehmann, J., Joseph, S. (Eds.),Biochar for Environmental Management Science andTechnology**. Earthscan Press, UK,PP. 227-249.

134-Vitousek, P. M. and Howarth, R.W. (1991) „**Nitrogen limitation on land and in the sea: How can it occur?‟*Biogeochemistry,*** vol 13, pp87–115.

135-Wang, H., Zheng, H., Jiang, Z., Dai, Y., Liu, G., Chen, L., ... & Wang, Z. (2017**). Efficacies of biochar and biochar-based amendment on vegetable yield and nitrogen utilization in four consecutive planting seasons**. *Science of the Total Environment*, *593*, 124-133.

136-Ward, B. B., Courtney, K. J. and Langenheim, J. H. (1997) **„Inhibition of *Nitrosmonas europea* by monoterpenes from coastal redwood (*Sequoia sempervirens*) in whole-cell studies‟,** *Journal of Chemical Ecology,* vol 23, pp2583–2599.

137-Wardle,D. A., Zackrisson,O. and Nilsson, M.-C. (1998) „**The charcoal effect in boreal forests: Mechanisms and ecological consequences‟**, *Oecologia,* vol 115, pp419–426.

138-Warnock,D.D., Lehmann, J., Kuyper,T.W. and Rillig, M. C. (2007) „**Mycorrhizal response to biochar in soil – concepts and mechanisms**", *Plant and Soil*, vol 300, pp9–20.

139-Watanabe, S., & Sato, S. (2015**). Priming effect of bamboo (Phyllostanchys edulis Carrière) biochar application in a soil amended with legume**. *Soil science and plant nutrition*, *61*(6), 934-939.

140-White, C. (1991) **„The role of monoterpenes in soil nitrogen cycling processes in ponderosa pine**", *Biogeochemistry*, vol 12, pp43–68.

141-Wienhold, B.J., Trooien, T.P., and Reichman ,G.A., 1995. **Yield and nitrogen use efficiency of irrigated corn in the Northern Great Plains**. Agron. J.87: 842-846.

142--Wolf J., Hack-ten Broeke M.J.D., Rötter R. 2004. **Simulation of nitrogen leaching in sandy soils in the Netherlands with the ANIMO model and the integrated modeling system STONE**. Agric. Ecosyst. Environ. 105: 523-540.

143-Xiao, Y., Li, Y., Che, Y., Deng, S., & Liu, M. (2017). **Effects of biochar and nitrogen addition on nutrient and Cd uptake of Cichorium intybus grown in acidic soil**. *International journal of phytoremediation*, (just-accepted), 00-00.

144-Xie, T., Sadasivam, B. Y., Reddy, K. R., Wang, C., & Spokas, K. (2015**). Review of the effects of biochar amendment on soil properties and carbon sequestration.** *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, *20*(1), 04015013.

145-Zackrisson,O., Nilsson, M.-C. and Wardle,D. A. (1996) **„Key ecological function of charcoal from wildfire in the Boreal forest**", *Oikos*, vol 77, pp10–19.

146-Zhang A., Cui L., Pan G., Li L., Hussain Q., Zhang X., Zheng J., Crowley D. (2010) **Effect of biochar amendment on yield and methane and nitrous oxide emissions from a rice paddy from Tai Lake plain, China.** Agriculture, Ecosystems and Environment 139:469-475.

147-Zhang A.P., R.L. Liu, J. Gao, Q.W. Zhang, J.N. Xiao, Z. Chen, S.Q. Yang, J.Z. Hui, L.Z.Yang. 2015. **Effects of Biochar on Nitrogen Losses and Rice Yield in Anthropogenicalluvial Soil Irrigated with Yellow River Water**. Journal of Agro-Environment Science.

148-Zheng, H., Wang, Z., Deng, X., Zhao, J., Luo, Y., Novak, J., ... & Xing, B. (2013). **Characteristics and nutrient values of biochars produced from giant reed at different temperatures**. *Bioresource Technology*, *130*, 463-471

149-Zhong, Y., & Shangguan, Z. (2014). **Water consumption characteristics and water use efficiency of winter wheat under long-term nitrogen fertilization regimes in Northwest China**. *PloS one*, *9*(6), e98850.

150-Zhong, H., Wang, Q., Zhao, X., Du, Q., Zhao, Y., Wang, X., ... & Wang, D. (2014**). Effects of different nitrogen applications on soil Physical, chemical properties and yield in maize (Zea mays L.)**. *Agricultural Sciences*, *5*(14), 1440.

151-Zhou, S., Liu, J., Xu, M., Lv, J., & Sun, N. (2015). **Accumulation, availability, and uptake of heavy metals in a red soil after 22-year fertilization and cropping**. *Environmental Science and Pollution Research*, *22*(19), 15154-15163.

Abstract

Nitrogen is one of the major pollutants that caused the damage caused by regional, international and global problems. In most areas, agriculture is the main source of nitrogen pollution in surface water and underground waters. When nitrogen inputs are compared with fertilizers and nitrogen output in products (crops and straw), there is usually a significant amount of nitrogen that is stored in excess of nitrogen or stored in the soil or leached into the environment Wasted. Excessive nitrogen not absorbed by the plant is exposed to nitrogen leaching, runoff, volatilize and leaching, which causes water pollution and greenhouse remains, animal manure, gas emissions. The raw materials are subjected to a process called thermal decomposition or thermal-chemical separation, resulting in a biomagnification reordering. An factorial experiment on the base of complete randomize block design conducted that factors consisted of four levels of Nitrogen, nitrogen free, 80 kg N ha^{-1}, 160 kg N ha^{-1}, 320 kg N ha^{-1} nitrogen, and Biochar with 2 levels control and with biochar: Biochar made from rice bran to 30 g (1% by weight of potted soil). According to the number of treatment and replications, there were 80 cultivated pots. In general, application of rice bran alone or in combination with different levels of urea has a positive effect on the chemical and physical properties of the soil and has improved soil fertility, and also the biochar application of rice bran increases soil organic carbon, total nitrogen of soil, soil nitrate, soil moisture content and soil ammonium reduction and soil bulk density. Reduction of soil ammonium due to biochar application is probably due to the adsorption of ammonium on biochar, surfaces that can help maintain and maintain nitrogen and reduce soil nitrogen losses. With increasing urea application, the amount of nitrate, ammonium, total nitrogen, organic carbon, bulk density increased and soil pH decreased. Simultaneous application of rice bran and urea fertilizer at different levels increased nitrate, total nitrogen, organic carbon and further soil ammonium reduction compared to urea application alone. These results show the effect of synergism hazard of biochar and urea on the parameters. The rice bran application could significantly increase the parameters of bean growth, which could indicate the proper efficiency of rice bran as an organic fertilizer.

-Key words: biochar, ammonium, nitrate, organic carbon.

Faculty of Agriculture

M.Sc. Thesis in Soil Chemistry and Fertility

study the accumulation rate of soil nitrogen in biochar

By: Negar golabatuni

Supervisor:

Dr. Shahin. Shahsavani

Adviser:

Dr. Manoochehr. Gholipoor

March 2018