بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه شاهرود
دانشکده کشاورزی
گروه آب و خاک

تاثیر سطوح مختلف بیوچار و همزیستی قارچ‌های مایکوریز آرباسکولار با گیاه ذرت در کاهش آبشویی نیترات

زهرا احمدی

استاد راهنما:
دکتر علی عباسپور

استاد مشاور:
دکتر حمیدرضا اصغری

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد
بهمن ماه ۱۳۹۳

تشکر و قدردانی

در ابتدا خداوند را به خاطر الطاف بی‌کرانش حمد و سپاس می‌گویم. تشکر و سپاسگذاری می‌کنم از خانواده عزیز و بزرگوارم که بی‌شک حمایت‌ها و پشتیبانی آن‌ها در تمامی مراحل زندگی شامل حال من بوده است و مهمترین عامل در به پایان رسیدن این رساله می‌باشند ، ضمن تشکر از آنها، سلامتی آنان را از درگاه خداوند متعال خواستارم.

از استاد راهنمای بزرگوارم جناب آقای دکتر علی عباسپور و استاد مشاور جناب آقای دکتر حمیدرضا اصغری که زحمات زیادی را متحمل شدند و در تمام مراحل، راهنمایی های بی دریغشان، گره گشای مشکلاتم بود، قدردانی می کنم. از دیگر استادان بخش علوم خاک که افتخاری بر کارنامه دانشجویی ام بودند، کمال تشکر را دارم.

از ریاست محترم دانشکده کشاورزی و کارکنان آموزش دانشکده، کارشناس های آزمایشگاه های خاکشناسی، گیاهشناسی و زراعت آقای مهندس شاکری ، آقای مهندس حسین پور و آقای مهندس مطهری نژاد، سایر دوستان و سرورانی که به نحوی از الطاف بی ریایشان بهره‌مندگشتم تشکر و قدردانی می نمایم.

زهرااحمدی

بهمن ماه ۱۳۹۳

تقدیم به **روح بلند پدرم**

ومادرمهربانم

چکیده

کودهای شیمیایی مورد استفاده در کشاورزی از منابع آلاینده محیط زیست به خصوص آب‌های زیرزمینی و منابع خاک می‌باشند. از روش‌های نوین جلوگیری از آلودگی این آب‌ها، استفاده از موجودات زنده و ترکیبات آلی جاذب آلاینده‌ها در خاک است. بر همین اساس، آزمایشی به منظور ارزیابی تاثیر ۲ گونه قارچ مایکوریز و بیوچار بر آبشویی نیترات خاک تحت کشت گیاه ذرت، به صورت فاکتوریل با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی و با ۳ تکرار، تحت شرایط گلخانه ای به اجرا در آمد. فاکتورهای آزمایش شامل فاکتور مایکوریز در ۳سطح [سطح ۱: فاقد مایکوریز(M_0)، سطح ۲: مایکوریز نوع *Funneliformis intraradices* (M_1) و سطح ۳: مایکوریز نوع *versiforme Funneliformis* (M_2)]، بیوچار در ۳ سطح [سطح ۱: فاقد بیوچار (B0) ، سطح ۲: بیوچار تهیه شده از چوب سپیدار(B_1) ۳۳به مقدار۳۰ گرم در۳ کیلوگرم خاک، سطح ۳: بیوچارتهیه شده از سبوس برنج(B_2) به مقدار۳۰ گرم در ۳ کیلوگرم خاک]، کوداوره در ۲ سطح [فاقدکود (N0) و با کود(N_1) به مقدار۰/۱۳گرم در ۳ کیلوگرم خاک]. نتایج حاصل نشان داد اثر تلقیح میکوریز و اثر متقابل بیوچار و میکوریز بر ارتفاع گیاه، وزن خشک اندام هوایی گیاه معنی‌دار بود .تلقیح میکوریز و کاربرد بیوچار اثر معنی داری بر ذخیره و کاهش آبشویی نیترات و آمونیوم خاک داشت، میزان کاهش نیترات در آب آبشویی در اثر بیوچار سپیدار-فاقد میکوریز-دارای کود و سبوس برنج-فاقد میکوریز-دارای کود نسبت به تیمار فاقد بیوچار-فاقد میکوریز-دارای کود به ترتیب ۸۱/۳۲ و ۳۳/۹۶ درصد بود. در این تحقیق، اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه فاکتورهای مورد آزمایش بر روی صفات رویشی گیاه ، نیترات و آمونیوم خاک و محلول آبشویی شده معنی‌دار گردید. با توجه به عملکرد مناسب بیوچار و میکوریز در کاهش آبشویی نیترات، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از کود زیستی میکوریز به همراه کودهای آلی نظیر بیوچار می‌تواند به عنوان جایگزینی مناسب برای کودهای شیمیایی در جهت جلوگیری از آلودگی خاک و نیز آبهای زیر زمینی استفاده شود.

کلمات کلیدی: بیوچار، مایکوریز، نیترات، آمونیوم، آلودگی زه آب ها

مقالات مستخرج

بررسی اثر بیوچار و دو گونه قارچ مایکوریزا بر آبشویی نیترات خاک تحت کشت ذرت (۱۳۹۲). اولین همایش ملی برنامه ریزی، حفاظت، حمایت از محیط زیست و توسعه پایدار، دانشکده شهید مفتح همدان، همدان.

بررسی اثربیوچار و دو گونه قارچ مایکوریزا بر میزان فسفرقابل دسترس خاک تحت کشت ذرت(۱۳۹۳). اولین همایش ملی بهداشت محیط، سلامت و محیط زیست پایدار، دانشکده شهید مفتح همدان، همدان

فهرست مطالب

عنوان

صفحه

فصل اول: مقدمه ۲

فصل دوم: کلیات و بررسی منابع ۵

۲-۱- ذرت ۶

۲-۱-۱- تاریخچه ذرت در جهان و در ایران ۶

۲-۱-۲- گیاهشناسی ذرت ۷

۲-۲- نیتروژن ۷

۲-۲-۱- اهمیت و نقش نیتروژن در گیاهان ۷

۲-۲-۲- کودهای شیمیایی نیتروژن دار ۹

۲-۲-۳- تاثیرکود نیتروژن بر رشد بقولات ۱۰

۲-۲-۴- معدنی شدن نیتروژن آلی خاک ۱۱

۲-۲-۵- فرم های قابل استفاده نیتروژن ۱۲

۲-۲-۶- اثرات نامطلوب کودهای شیمیایی نیتروژن دار بر محیط زیست ۱۲

۲-۲-۷- تثبیت زیستی نیتروژن ۱۳

۲-۳- کود اوره ۱۴

۲-۳-۱- علل کاهش کارایی مصرف کودهای نیتروژنه ۱۴

۲-۳-۲- مضرات مصرف کودهای شیمیایی (نیتروژنه) ۱۵

۲-۴- نیترات ۱۷

۲-۴- ۱- نیترات چیست؟ ۱۷

۲-۴-۲- اهمیت نیترات از نظر زیست محیطی ۱۸

۲-۴-۳- آبشویی نیترات و مشکلات ناشی از آبشویی ۱۸

۲-۴-۴- روش های کاهش آبشویی نیترات ۱۸

۲-۵- بیوچار ۲۰

۲-۵-۱- تعریف و شناخت بیوچار ۲۰

۲-۵-۲- تاثیر بیوچار بر عملکرد محصول و کاهش آبشویی نیتروژن و فسفر خاک ۲۱

۲-۶- میکوریز ۲۲

۲-۶-۱- تعریف میکوریز و طبقه بندی ـن ۲۲

۲-۶-۲- اثر همزیستی میکوریز بر جذب عناصر غذایی ۲۳

۲-۶-۳- فاکتورهای موثر بر همزیستی میکوریزی ۲۴

۲-۶-۴- قارچ های میکوریز و اثرات همزیستی میکوریزآرباسکولار (AM) بر خاک و گیاه ۲۵

۲-۶-۵-میکوریز و جذب نیتروژن ۲۶
فصل سوم: مواد و روشها ۲۹
۳-۱- زمان و محل آزمایش ۳۰
۳-۲- خصوصیات خاک گلدان و بیوچار ۳۰
۳-۳- انتخاب گونه بذر و تهیه مایه تلقیح ۳۱
۳-۴- انتخاب و آماده سازی گلدان‌ها ۳۱
۳-۵- آماده سازی خاک و بیوچار برای آزمایش گلخانه ای ۳۲
۳-۶- طرح آزمایشی در گلخانه و شرایط رشد ۳۲
۳-۷- تعیین ظرفیت زراعی خاک گلدان ها و نحوه آبیاری ۳۲
۳-۸- نحوه کاشت در گلدان ها ۳۳
۳-۹- مرحله آبشویی و نمونه گیری از محلول جمع آوری شده ۳۴
۳-۱۰- نمونه گیری خاک و ریشه ۳۴
۳-۱۱- نمونه گیری گیاهی ۳۵
۳-۱۲- اندازه گیری درصد کلونیزاسیون ریشه ای ۳۶
۳-۱۳- اندازه گیری نیترات در خاک و محلول آبشویی شده ۳۶
۳-۱۴- اندازه گیری آمونیوم خاک و محلول آبشویی شده ۳۷
۳-۱۵- تهیه استانداردهای لازم برای اندازه گیری نیترات و آمونیوم محلول آبشویی شده و خاک ۳۸
۳-۱۶- اندازه گیری EC و pHسوسپانسیون خاک و محلول آبشویی شده ۴۱
۳-۱۷- اندازه گیری سایر پارامترهای خاک اولیه ۴۱
۳-۱۸- تجزیه و تحلیل آماری داده ها ۴۱
فصل چهارم : نتایج و بحث ۴۳
۴-۱- اثرات تیمارهای میکوریز و بیوچار و ماده غذایی بر خصوصیات رویشی ذرت ۴۴
۴-۱-۱- ارتفاع گیاه ۴۴
۴-۱-۲- وزن خشک اندام هوایی ۴۵
۴-۱-۳- درصد کلونیزاسیون ریشه ۴۷
۴-۲- اثرات تیمارهای مورد مطالعه بر نیترات خاک و محلول آبشویی شده ۴۸
۴-۲- ۱- نیترات خاک در عمق ۱۰ سانتیمتری ۴۸
۴-۲- ۲- نیترات خاک در عمق ۲۰ سانتیمتری ۵۱
۴-۲- ۳- نیترات محلول آبشویی شده ۵۳
۴-۳- اثرات تیمارهای مورد مطالعه بر آمونیوم خاک و محلول آبشویی شده ۵۳
۴-۳-۱- آمونیوم خاک در عمق ۱۰ سانتیمتری ۵۳
۴-۳-۲- مقدار آمونیوم خاک در عمق ۲۰ سانتیمتری ۵۵

۴-۳-۳- مقدار آمونیوم محلول آب آبشویی شده..... ۵۷
۴-۴- اثرات تیمارهای مورد مطالعه بر میزان EC سوسپانسیون خاک و محلول آبشویی شده ۵۸
۴-۴-۱- میزان EC سوسپانسیون خاک در عمق ۱۰ سانتیمتری..... ۵۸
۴-۴-۲- میزان EC سوسپانسیون خاک در عمق ۲۰ سانتیمتری..... ۵۹
۴-۴-۳- میزان EC محلول آب آبشویی شده..... ۶۰
۴-۵- اثرات تیمارهای مورد مطالعه بر میزان pH سوسپانسیون خاک و محلول آبشویی شده ۶۱
۴-۵-۱- میزان pH سوسپانسیون خاک در عمق ۱۰ سانتیمتری و محلول آبشویی شده..... ۶۱
۴-۵-۲- میزان pH سوسپانسیون خاک در عمق ۲۰ سانتیمتری..... ۶۱
فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادها..... ۶۳
۵-۱- نتیجه‌گیری..... ۶۴
۵-۲- پیشنهادها..... ۶۵
پیوست ها..... ۶۷
منابع..... ۸۴

فهرست شکل ها

عنوان

صفحه

شکل۳-۱- نمایی از گلدان‌های آزمایش در ابتدای فصل رشد ۳۱
شکل۳-۲- نمایی از ذرت در اواسط دوره رشد ۳۳
شکل ۳-۳- اضافه نمودن آب مقطر به گلدان‌ها جهت آبشویی ۳۴
شکل ۳-۴- جمع آوری آب آبشویی ۳۴
شکل ۳-۵- نمونه گیری خاک ۳۵
شکل ۳-۶- نمایی از ریشه در زیر میکروسکوپ ۳۶
شکل ۴-۱- اثر اصلی تیمار میکوریز بر ارتفاع گیاه (سانتی متر) ۴۵
شکل ۴-۲- اثر اصلی تیمار میکوریز بر وزن خشک اندام هوایی(g) ۴۶
شکل ۴-۳- اثر متقابل بیوچار و میکوریز بر وزن خشک اندام هوایی(g) ۴۷
شکل ۴-۴- اثر متقابل میکوریز و کود بر درصد کلونیزاسیون ۴۸
شکل ۴-۵- اثر متقابل بیوچار و میکوریز بر میزان نیترات در عمق ۱۰ سانتیمتر ۵۰
شکل ۴-۶- اثر متقابل بیوچار- میکوریز-کود برمیزان نیترات در عمق ۲۰ سانتیمتر ۵۱
شکل ۴-۷- اثر متقابل بیوچار- میکوریز-کود بر میزان نیترات محلول آبشویی شده ۵۳
شکل۴-۸- اثر متقابل اصلی بیوچار بر میزان آمونیوم خاک در عمق ۱۰ سانتیمتر ۵۴
شکل ۴-۹- اثر متقابل بیوچار- میکوریز بر میزان آمونیوم خاک در عمق ۱۰ سانتیمتر ۵۵
شکل ۴-۱۰- اثر اصلی بیوچار در میزان غلظت آمونیوم در عمق ۲۰ سانتیمتر ۵۶
شکل۴-۱۱- اثر متقابل بیوچار- میکوریز-کود بر غلظت آمونیوم محلول آبشویی شده ۵۸
شکل۴-۱۲- اثر متقابل بیوچار-کود بر میزان EC سوسپانسیون خاک در عمق ۱۰سانتیمتر.. ۵۹
شکل ۴-۱۳- اثر متقابل بیوچار- میکوریز-کود بر میزان EC سوسپانسیون خاک در عمق ۲۰سانتیمتر ۶۰
شکل ۴-۱۴- اثر متقابل بیوچار- میکوریز-کود بر میزان EC محلول آبشویی شده ۶۱
شکل ۴-۱۵- اثر اصلی بیوچار بر میزان pH سوسپانسیون خاک در عمق ۲۰ سانتیمتر ۶۲

فهرست جداول

عنوان

صفحه

جدول۳-۱- خصوصیات خاک گلدان ۳۰
جدول ۳-۲- خصوصیات بیوچار ۳۱
جدول ۳-۳- محلول‌های استاندارد برای اندازه گیری نیترات و آمونیوم محلول آبشویی شده ۳۹
جدول ۳-۴- محلول‌های استاندارد برای اندازه گیری نیترات و آمونیوم خاک ۴۰
جدول ۴-۱- جدول تجزیه واریانس صفات گیاهی مورد مطالعه در خاک ۶۸
جدول ۴-۲- جدول تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه (نیترات) در خاک ۶۹
جدول ۴-۳- جدول تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه (آمونیوم) در خاک ۷۰
جدول ۴-۴- جدول تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه (EC) در خاک ۷۱
جدول ۴-۵- جدول تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه (pH) در خاک ۷۲
جدول ۴-۶- مقایسه میانگین اثرات اصلی بیوچار، میکوریز و کود بر برخی از صفات مورد مطالعه در خاک ۷۳
جدول ۴-۷- مقایسه میانگین اثرات متقابل بیوچار- میکوریز و بیوچار-کود بر برخی از صفات مورد مطالعه در خاک ۷۴
جدول ۴-۸- مقایسه میانگین اثرات متقابل میکوریز-کود بر برخی از صفات مورد مطالعه در خاک ۷۵
جدول ۴-۹- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی (نیترات و آمونیوم) در سطوح مختلف بیوچار، میکوریز و کود در خاک ۷۶
جدول ۴-۱۰- مقایسه میانگین اثرات متقابل بیوچار- میکوریز و بیوچار-کود بر برخی از صفات مورد مطالعه در خاک ۷۷
جدول ۴-۱۱- مقایسه میانگین اثرات متقابل میکوریز -کود بر برخی از صفات مورد مطالعه (نیترات و آمونیوم) در خاک ۷۹
جدول ۴-۱۲- مقایسه میانگین اثرات اصلی بیوچار- میکوریز و کود بر برخی از خصوصیات مورد مطالعه (EC و pH) در خاک ۸۰
جدول ۴-۱۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل بیوچار-میکوریز و بیوچار-کود بر برخی از صفات مورد مطالعه (EC و pH) درخاک ۸۱
جدول ۴-۱۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل میکوریز-کود بر برخی از صفات مورد مطالعه (EC و pH) در خاک ۸۳

فصل اول:
مقدمه

مقدمه

امروزه زیان‌های اقتصادی و زیست محیطی ناشی از استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی در کشاورزی در سطح جهانی شناخته شده و بدیهی است که باید جایگزین مناسبی برای این نوع کودها در نظر گرفته شود (ابوت و مورفی، ۲۰۰۷). افزایش مصرف برخی از این کودها، نظیر کودهای نیتروژن‌دار و نیز به دلیل شستشوی راحت نیترات از خاک، منجر به افزایش آلودگی آب‌های زیرزمینی شده است که غلظت‌های نامطلوب نیتروژن در آب جنبه‌های مستقیم بهداشتی و هم چنین بوم‌شناختی دارد. جنبه اول ایجاد بیماری‌های مت هموگلوبینمیا، سرطان، سیانوسیس در نوزادان است و علائمی از چند بیماری در دامها نظیر مت هموگلوبینمیا، کمبود ویتامین آ، اشکالاتی در تولید مثل و سقط جنین نیز دیده شده است. جنبه دوم نگرانی از افزایش غلظت نیتروژن در آب، ترس از سرشارسازی (Eutrophication) آب‌های سطحی است که به معنی غنی شدن آب‌ها ازعناصر غذایی است که باعث رشد سریع گیاهان آبزی و رشد پر دردسر پلانکتون‌های گیاهی می‌شود. از این منظر جلوگیری از آبشویی نیترات و نیز جلوگیری از هدررفت کودهای داده شده برای حفظ امنیت غذایی در کشورهای در حال توسعه مانند ایران به طور خاص مطرح می‌شود.

از روشهای نوین جلوگیری از آبشویی نیترات، می توان به استفاده از کودهای بیولوژیک در خاک مانند قارچ‌های میکوریزای آرباسکولار (Arbuscular Mycorrhiza) و کاربرد اصلاح کننده هایی نظیر بیوچار در خاک اشاره کرد.

از کودهای زیستی به عنوان راه حلی برای زنده و فعال نگه داشتن سیستم حیاتی خاک در اراضی کشاورزی یاد می‌شود. کود زیستی به تأمین عناصر غذایی به صورتی کاملاً متناسب با تغذیه طبیعی گیاهان، کمک به تنوع زیستی، تشدید فعالیت‌های حیاتی، بهبود کیفیت و حفظ سلامت محیط زیست و در مجموع حفظ و حمایت از سرمایه‌های ملی (خاک، آب و منابع انرژی غیر قابل تجدید) می‌پردازد (صالح راستین، ۱۳۸۰). کودهای زیستی در برخی موارد به عنوان جایگزین و در بیشتر موارد به عنوان مکمل کودهای شیمیایی، پایداری تولید را در سیستم‌های کشاورزی تضمین می‌کنند (صالح راستین،

۱۳۸۰). از این رو استفاده از این کودها نظیر قارچ‌های میکوریزای وزیکولار آربوسکولار و میکروارگانسیم‌های تثبیت کننده نیتروژن در کشاورزی، علاوه بر افزایش جمعیت و فعالیت میکروارگانسیم‌های مفید خاک، در جهت فراهم کردن عناصر غذایی مورد نیاز گیاه مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم عمل می‌نمایند و سبب بهبود رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌گردند (آرانکون و همکاران، ۲۰۰۴).

قارچ‌های خاکزی میکوریزا یکی از ریزموجودات همزیست با ریشه گیاهان هستند که دارای کارکرد چند منظوره در بوم نظام‌های زراعی می‌باشند که بطور بالقوه سبب بهبود کیفیت فیزیکی (از طریق گسترش ریسه‌های قارچ) شیمیایی (از طریق افزایش جذب عناصر غذایی) و زیستی خاک (از طریق شبکه غذایی خاک) می‌شوند (کاردوسو و کویپر، ۲۰۰۶).

با افزایش تحقیقات در زمینه نوع مواد قابل تبادل بین گیاهان میزبان و قارچ همزیست مشخص گردید که مواد آلی مورد نیاز قارچ از محصولات فتوسنتزی گیاه تامین شده و در مقابل عناصر معدنی و آب توسط قارچ از خاک جذب گردیده و به گیاه منتقل می‌شوند. قارچ‌ها در مقابل دریافت منابع کربن از گیاه جذب عناصر معدنی مانند فسفر، روی، مس و آهن و... را برای گیاه تسهیل می‌کنند. ارتباط همزیستی میکوریزی یکی از فراوانترین فعالیت‌های همزیستی در شاخه گیاهی است که در بیشتر اکوسیستم‌ها حضور دارد (مهرورز و همکاران، ۲۰۰۸) . قارچ‌های میکوریز آربوسکولار تغذیه معدنی گیاه را از طریق تغییرات در سیستم ریشه ای مانند افزایش طول کل ریشه و تعداد ریشه ها افزایش می‌دهند. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که میکوریز آربوسکولار نه تنها میزان نیتروژن گیاه میزبان را از طریق غیر مستقیم افزایش می‌دهد (افزایش گره زایی و تثبیت ازت) بلکه ممکن است به طور مستقیم و از طریق جذب ازت خاک نیز افزایش دهد (شارما و جوهری، ۲۰۰۲).

جهت تثبیت نیتروژن در ریشه گیاهان تثبیت کننده نیتروژن، فراهم کردن فسفر کافی برای گیاه الزامی است. مکانیزم‌های مختلفی در جذب بیشتر فسفر به وسیله گیاهان میکوریزی حدس زده می-

شود که عبارت اند از : استخراج حجم بالاتر فسفر از خاک، حرکت سریع فسفر در داخل ریسه‌های میکوریز و تغییر در میزان حلالیت فسفر در خاک (بارآو همکاران، ۱۹۸۹).

بیوچار زغال تهیه شده از زیست توده‌های گیاهی و ضایعات کشاورزی است که سوختن آنها درحضورکم و یا عدم حضور اکسیژن می باشد. این ماده به علت سرعت تجزیه بسیارکند نسبت به سایر مواد آلی ظرفیت زیادی برای کاهش گازهای گلخانه‌ای از قبیل دی اکسیدکربن و متان که از ضایعات آزاد می شود، دارد و می‌تواند کربن را برای دوره‌های طولانی ذخیره کند (لهمن وهمکاران ،۲۰۰۶) . فواید بیوچار شامل دارا بودن پتانسیل تغییر آب و هوا از راه ترسیب کربن، افزایش‌دهنده CEC خاک، افزایش حاصلخیزی خاک، یک نوع حمایتگر در برابر بیماری‌های خاک و گیاه، افزایش رشد گیاه و توسعه ریشه، افزایش قدرت نگه‌داشت مواد مغذی گیاه، بهبود بخشیدن به ساختار و پایداری خاک، بهبود بخشیدن به ظرفیت نگه داشت و نفوذپذیری خاک و تعدیل pH خاک می باشد. از این رو استفاده از بیوچار نیز در اراضی کشاورزی به دلیل افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و تمایل زیاد آن برای جذب و نگهداری نیترات و آمونیوم، می تواند نقش مؤثری در کاهش شستشوی عناصر غذایی خاک به ویژه نیتروژن داشته باشد. از آنجا که نیتروژن به عنوان یکی از عناصر غذایی اصلی مورد نیاز گیاهان، نقش مهمی در تولید محصولات کشاورزی داشته و از طرف دیگر اطلاعات در مورد اثرات کودهای زیستی و اصلاح کننده هایی نظیر بیوچار بر روی محصولات زراعی از جمله ذرت و تأثیرات آنها در جلوگیری از آبشویی این عناصر غذایی، بسیار اندک می‌باشد، تحقیق حاضر در راستای قدم گذاری در مسیر توسعه و ترویج سیستم کشاورزی پایدار و استفاده از بیوچار به عنوان یک اصلاح کننده و کودهای زیستی مانند میکوریز به جای کودهای شیمیایی و تأثیر آنها بر ذخیره گیاهی و آبشویی نیتروژن خاک انجام شده است. در نتیجه به کارگیری این روش‌ها، آبشویی نیترات در اثر جذب تدریجی آن توسط گیاه کاهش می یابد. بنابر این حاصل این عملکرد، تولید مواد غذایی سالم و با کیفیت بالا و نیز جلوگیری از آلوده شدن آب‌های زیرزمینی به نیترات می‌باشد.

فصل دوم:
کلیات و بررسی منابع

۲-۱- ذرت

۲-۱- ۱- تاریخچه ذرت در جهان و در ایران

ذرت گیاهی از گروه غلات می‌باشد که امروزه نقش مهمی در تولیدات کشاورزی دنیا داشته و رتبه بالایی دارد. ذرت از گیاهان بومی امریکای مرکزی و جنوبی است و سابقه کشت آن در دیگر نقاط چندان طولانی نیست. در واقع در زمانی که کریستف کلمب قاره امریکا را کشف کرد با این گیاه مواجه شد و آنرا *mais* نامید، زیرا ذرت توسط سرخ پوستان قبیله ماهیز(*mahis*) کشت می‌گردید. سال‌ها بعد لینه نیز این اسم را تایید نمود و آن را ثبت کرد (فائو، ۲۰۰۰).

از این گیاه در گذشته نیز برای تغذیه انسان، پرندگان و دام‌ها استفاده می‌شده است. بر طبق برخی از گزارشات باستان شناسی، مشخص شده است که در حدود ۴۵۰۰ سال پیش این گیاه در کشورهای امریکای جنوبی کشت می‌شده است (خدابنده، ۱۳۷۵). تاریخچه دقیق ورود این گیاه به ایران نیز دقیق مشخص نمی‌باشد. برخی معتقدند که ذرت توسط پرتغالی‌ها از جنوب ایران وارد شده است و ابتدا در همان جا کشت می‌شده است. برخی دیگر نیز ورود ذرت را به دوران شاه اسماعیل صفوی نسبت می‌دهند. با توجه به این که در قدیم نام این گیاه در ایران گندم مکه بوده است و در حال حاضر در آذربایجان نیز این گیاه را گندم مکه می‌نامند، عده‌ای عقیده دارند که ذرت توسط حجاج ایرانی از عربستان به ایران آورده شده است (خدابنده، ۱۳۸۲).

فائو در آخرین گزارش خود با عنوان چشم انداز غذایی جهان در سال ۲۰۱۱ اعلام کرد تولید ذرت در ایران طی سال ۲۰۱۱ با افزایش قابل ملاحظه ۳۰ درصدی مواجه شده است. ایران در سال ۲۰۱۰ تنها یک میلیون تن ذرت تولید کرده بود که این رقم در سال جاری به ۱/۳ میلیون تن افزایش یافته است. به دلیل افزایش تولید داخلی واردات ایران طی این سال ۴۰۰ هزار تن کاهش یافته و حجم کل ذرت وارداتی به ایران از ۳/۴ میلیون تن در سال گذشته به ۳ میلیون تن در سال جاری رسیده است. تولید

سایر غلات ایران نیز از ۴/۷میلیون تن به ۵ میلیون تن در سال ۲۰۱۱ افزایش یافته است (فائو، ۲۰۱۱).

۲-۱-۲- گیاهشناسی ذرت

ذرت با نام انگلیسی (*corn*) و آمریکایی (*maize*) و نام علمی (*Zea mays L.*) متعلق به خانواده غلات (*Poaceae*) می‌باشد. گیاهی است یک ساله، روز کوتاه، تک پایه و دگرگشن است. تک پایه (*Monoecious*) بدین معنی که گل‌های نر و ماده جدا از هم ولی بر روی یک پایه قرار دارند. گل‌های ماده ذرت از جوانه‌ای که در قاعده غلاف برگ وجود دارد تولید می‌شود. اندام نر ذرت در انتهای ساقه اصلی به صورت خوشه و خوشه‌های فرعی قرار دارد که در روی این خوشه یا خوشه‌های فرعی دو سنبلچه یکی بلند و دیگری کوتاه به طور منظم قرار گرفته است یک پایه و در نتیجه به علت جدا بودن اعضای زایشی گرده افشانی آن به طور غیر مستقیم بوده و گرده‌های گل به طرق مختلف بر روی اندام ماده انتقال پیدا می‌کنند. گرده‌های ذرت ً در تمام ارقام یک تا پنج روز قبل از ظهور اعضای مذکور می‌رسند. گرده افشانی غیر مستقیم ذرت بیشتر توسط باد صورت می گیرد و باد می‌تواند تا چندین کیلومتر گرده‌ها را منتقل نماید. گرده‌های منتقل شده در روی کلاله بلافاصله شروع به جوانه زدن نموده ولی فقط یک میله گرده بعد از ۲۰ دقیقه به تخمدان می‌رسد. تحت شرایط عادی مدت ۲۴ ساعت زمان لازم است تا عمل باروری یک بلال به صورت کامل صورت گیرد (خدابنده، ۱۳۸۲).

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 و اکسیژن و هیدروژن بیش از سایر عناصر غذایی بوده است (ملکوتی و همکاران، ۱۳۷۰). منبع اصلی نیتروژن گاز N_2 است که ۷۸ درصد هوا را تشکیل می‌دهد. به دلیل سیکل‌های 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، اسیدهای نوکلئیک و کلروفیل می باشد. به علاوه نیتروژن نقش ویژه ای در استقرار گیاه و کسب توانایی‌های 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 افزایش پروتئین، درشتی میوه و اندازه دانه غلات و حبوبات می شود و هرچه غلظت آن در برگ‌ها افزایش یابد، شدت کربن‌گیری را زیادتر می کند، زیرا نیتروژن غیر از آنکه به صورت پروتئین در گیاه وجود دارد عنصر اصلی تشکیل دهنده کلروفیل یا سبزینه گیاه نیز می باشد که عامل اصلی در کربن‌گیری است. (حاجی زاده، ۱۳۶۹).

وظیفه اصلی نیتروژن تکثیر سلولی، افزایش طول سلول و تمایز سلول است. با تامین نیتروژن کافی گیاه شاخه ها بلندتر شده و برگ‌های با کلروفیل بیشتری تولید نموده و سطح فتوسنتز کننده افزایش می یابد که نتیجه این امر، تولید بیشتر ماده خشک در گیاه می باشد. همچنین افزایش نیتروژن در گیاه سبب افزایش بنزیل آدنین می گردد که می تواند پیری را به تاخیر انداخته و شکل میوه را نیز تغییر دهد (صالحی، ۱۳۸۰). نیتروژن در خاک و گیاه پویا می‌باشد و کمبود آن در گیاه سبب تجزیه پروتئین در برگ‌های مسن و تبدیل آن به اسیدهای آمینه محلول و انتقال ان به قسمت‌های جوانتر و مریستم می گردد. از علایم ظاهری کمبود این عنصر پریدگی رنگ یا زردی برگ‌ها، ریزش قبل از موعد برگ‌های مسن، کوچک ماندن و رشد کم گیاه، ساقه های راست و کشیده، کم شدن شاخه‌ها، کوچکی گل‌ها و بالاخره افت کمی و کیفی محصول می باشد که معلول تجزیه کلروپلاست ناشی از تجزیه پروتئین و کاهش کلروفیل است (منگل و کرکبی، ۱۳۷۶). رشد ریشه نیز متاثر از این کمبود خواهد بود ولی قسمت‌های هوایی گیاه بیشتر از ریشه تحت تاثیر قرار می گیرند. گیاهانی که دچار کمبود نیتروژن هستند زودتر به مرحله گلدهی و رسیدگی رسیده و نمو و رویش کمتری دارند. این پیری زودرس ممکن است مربوط به تاثیر میزان نیتروژن بر ساخته شدن سیتوکینین‌ها باشد. وقتی تغذیه نیتروژن کافی نباشد، ساخته شدن سیتوکینین‌ها کاهش می یابد و کاهش این هورمون سبب پیری می شود (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 بـرگ‌هـا، پوسـیدگی ریشه، کاهش جذب آهن، کاهش میوه، افزایش غلظت آبسیزیک اسـید در بـرگ‌هـا و گلبـرگ‌هـا و در نتیجه تشدید پیری و ریزش برگ‌ها و جلوگیری از انتقال یون پتاسیم به روزنه‌ها مـی شـود (منگـل و کرکبی، ۱۳۷۶). منشا اصلی نیتروژن برای تغذیه گیاهان یون‌های نیترات و آمونیوم می باشـد. تغذیـه نیتروژنی گیاهان در شرایط طبیعی بوسیله جذب آنیون نیترات (NO_3^-) و کاتیون آمونیـوم (NH_4^+) از محلول خاک صورت می گیرد (فرزانه، ۱۳۷۴).

۲-۲-۲-کودهای شیمیایی نیتروژن دار

نخستین گام در ساختن کودهای نیتروژنه تولید آمونیاک با استفاده از گاز متان و نیتروژن هـوا طبـق فرایند 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 آب دارد، از ایـن رو برای موجودات زنده خاک سمی بوده و سبب خشک شدن بافت‌هایی‌که با آن تماس حاصل کنند می-گردد. معمولا تلفات ناشی از تصعید آمونیاک از سطح کشتزارها با افزایش دمـا و تبخیـر آب از خـاک قابل توجه می‌گردد. برای کاهش این گونه ضایعات بهتر است کودهای نیتروژنی را از طریـق پخـش و مخلوط کردن در عمق چند سانتیمتری به خـاک افـزود. آمونیـاک مـاده حساسـی بـرای تهیـه انـواع کودهای نیتروژنی بوده و کودهای مختلف از ترکیـب آن بـا مـوادی نظیـر دی اکسـید کـربن ، اسـید سولفوریک و اسید نیتریک بدست می آید. کودهای نیتروژنی به سه گروه آمونیاکی و نیتراتـی و کنـد جذب تقسیم می شوند که مهم‌ترین آنها برای خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشـک اوره، سـولفات آمونیم و نیترات پتاسیم و همچنین کودهای دیگر مثل دی و منو آمونیوم فسفات و غیره نیز می توان نام برد (هیگن و تاکر، ۱۳۷۶). با عنایت به کاربرد وسیع کود اوره به عنوان منبع تامین کننده نیتروژن مورد نیاز گیاه در کشاورزی مناطق خشک، این کود بیشتر توصیف می‌گردد.

۲-۲-۳- تأثیر کود 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 می‌دهد که به نوبه خود صفات عملکرد را بهبود می‌دهد (کومار و همکاران، ۲۰۰۲؛ شارما و همکاران، ۲۰۰۳). رشد رویشی بهتر و در نتیجه استفاده مناسب‌تر از تشعشع خورشیدی در فتوسنتز متأثر از نیتروژن قابل جذب است (مارشنر، ۱۹۹۵).

کودهای نیتروژن، مقدار تخصیص نیتروژن از قسمت‌های رویشی به دانه را در مقایسه با کربوهیدرات‌ها افزایش داده و موجب افزایش غلظت نیتروژن دانه و درصد پروتئین آن می‌گردند (کیم و پالسن، ۱۹۸۶). اما در مقادیر زیاد کود نیتروژن، بخش قابل توجهی از کل محتوی نیتروژن به جای اسیدهای آمینه یا پروتئین‌ها به صورت یون‌های 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 می‌شود ولی کاربرد زیاد نیتروژن به صورت کود اثرات مهار کنندگی بر روی فعالیت آنزیم تثبیت کننده نیتروژن دارد. تجمع غلظت‌های منفی نیترات در گرهک‌ها منتهی به کاهش فعالیت باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن (کاهش آنزیم نیتروژناز) می‌شود (مجنون حسینی، ۱۳۷۵) .

مصرف غلظت‌های کم نیتروژن، از طریق تحریک تشکیل گره‌زایی، تحریک فعالیت نیتروژناز و افزایش رشد گیاه می‌تواند 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 ریشه‌های گره‌دار و مقدار کل نیتروژن تثبیت شده در بقولات می‌گردد (اگلیشام و همکاران، ۱۹۸۳) .

۲-۲-۴- معدنی شدن نیتروژن آلی خاک :

معدنی شدن نیتروژن آلی خاک یک فرایند میکروبی است که طی آن فرم آلی نیتروژن بـه فـرم‌هـای معدنی (آمونیوم، نیتریت و نیترات) تبدیل می گردد. معدنی شدنی در سه مرحله متوالی به نـام هـای آمینیزاسیون، آمونیاک سازی و نیترات سازی صورت می پذیرد. دو واکنش اول بـه وسـیله گروهـی از باکتری‌های اتوتروف اجباری انجام می گیرد. باکتری نیتروزموناس مسـئول مرحلـه اول یعنـی تبـدیل آمونیوم به نیتریت می باشد. تبدیل نیتریت به نیترات به وسیله گروه دیگری از باکتری های اتـوتروف اجباری به نام نیتروباکتر انجام می پذیرد. لازم به ذکر است که اگرچه نیتروزموناس و نیتروباکتر مهم-ترین ارگانیسم های مسئول برای واکنش فوق الذکر می باشند اما بعضی از هتروتروف ها نیز می توانند این واکنش‌ها 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 آب‌های 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. بوسیله میکروارگانیسم‌ها غیر متحرک گردد.

تبدیل آمونیوم به نیتریت و سپس نیترات با عنوان نیتریفیکاسیون تعریف می‌شود. در شـرایط هـوازی خاک و در دماهای بالاتر از یخ زدگی همـه فـرم‌هـای نیتـروژن بـه اسـتثنای گـاز نیتـروژن از طریـق میکروارگانیسم‌ها به فرم نیترات تبدیل می‌شوند. نیتریت به عنوان یک تولیـد واسـطه بـین آمونیـوم و نیترات برای گیاه و حیوان یک ماده سمی محسوب می شود. خوشبختانه تحـت اغلـب شـرایط خـاک تبدیل نیتریت به نیترات بسیار سریع‌تر رخ می دهد. نیترات شامل یک بار منفی است که مشابه با بـار الکتریکی ذرات رس است و برخلاف یون آمونیوم یون‌های نیترات جذب ذرات رس نخواهد شـد (معـز اردلان و تواقبی فیروز آبادی، ۱۳۸۱).

۲-۲-۵- فرم‌های قابل استفاده نیتروژن:

با وجودی که در حدود ۱۳۳۵۵ تن نیتروژن در هوای بالای هر هکتار زمینی وجود دارد به دلیل اینکه گاز نیتروژن یک ترکیب شیمیایی پایدار است گیاه نمی تواند آن را بـه عنـوان مـاده غـذایی اسـتفاده نماید. گیاهان هر دو فرم نیتروژن خاک شامل آمونیوم (NH_4^+) و نیترات (NO_3^-) را به آسانی کسب و مصرف می‌نمایند. بنابراین دیگر فرم‌های نیتروژن چه از طریق طبیعی یا مصنوعی بایـد تبـدیل بـه دو ترکیب ذکر شده شوند. مولکول‌های آمونیوم حامل یک بار الکتریکـی مثبـت هسـتند و در خـاک بـه وسیله رس و مواد آلی جذب می‌شوند و به عنوان کاتیون‌ها از طریق تبادل یـون هیـدروژن و دریافـت یک ملکول با بار مثبت در خاک جذب گیاه می‌گردد. در واقع مـی تـوان بیـان نمـود فـرم آمونیـومی 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 یون‌های مختلفی در ترکیبات خود دارند کـه مـی‌تواننـد روی pH خاک اثر بگذارند. یون آمونیوم باعث اسیدی شدن محیط اطـراف ریشـه شـده در حـالی‌کـه نیترات باعث قلیایی شدن محیط اطراف ریشه می شود لذا در جذب عناصر دیگر توسـط ریشـه تـاثیر می گذارند (تیسدل و نلسون، ۱۹۸۵).

۲-۲-۶- اثرات نامطلوب کودهای شیمیایی نیتروژن دار بر محیط زیست

کودهای شیمیایی نمک‌های مقوی و مخربی هستند که خصوصیات فیزیکـی و شـیمیایی خـاک 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 می‌شوند. بدیهی است که ایـن اثـرات تخریبی کودهای شیمیایی یک طرف قضیه را تشکیل می‌دهند، از طرف دیگر موضوع مسایل مهم‌تری است که همانا خصوصیات کیفی تولیدات، مسائل زیست محیطی و آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌باشد (ملکوتی، ۱۳۸۴).

کاربرد کودهـای شـیمیایی بـه میـزان زیـاد، بـه ویـژه کودهـای نیتـروژن دار سـبب ایجـاد تغییـرات فیزیولوژیکی در گیاه شده، نشو و نمای بعضی از حشرات، کنه‌ها و عوامل بیماری‌زا را گسترش می‌دهد

(ملکوتی، ۱۳۸۴). علاوه بر آن تلفات نیتروژن و پیامدهای محیطی آن از قبیل افزایش مقادیر نیترات در آب‌های سطحی و زیرزمینی، سرشارسازی (Eutrophication) منابع آب و کاهش متعاقب تنوع زیستی در آب‌های سطحی و بوم نظام‌های خشکی، اسیدی شدن خاک و آب‌های سطحی، به دلیل ته نشست آمونیاک و اکسیدهای نیتروژن و افزایش میزان گاز N_2O را در جو به عنوان یک گاز گلخانه‌ای به دنبال دارد (جامی الاحمدی و همکاران، ۱۳۸۵).

میزان نیتروژن زیاد در خاک (به صورت نیترات یا آمونیوم)، آلودگی ریشه توسط باکتری‌ها، تشکیل و رشد گرهک‌ها و تثبیت نیتروژن را مختل و متوقف می‌سازد.همچنین کاربرد نیترات به طور مداوم وزن گره‌ها را کاهش می‌دهد (مجنون حسینی، ۱۳۸۷). تحقیقات محققین نشان داد که نیتروژن معدنی بیش از حد، گره‌زایی، تارهای کشنده ریشه و سنتز لگ هموگلوبین را کاهش می‌دهد و این اثر بازدارندگی برگره‌زایی سبب کاهش تعداد گره نیز می‌شود (الیاس و همکاران، ۲۰۰۸).

۲-۲-۷- تثبیت زیستی نیتروژن

وجود ترکیبات نیتروژن در خاک می‌تواند کاهش یا افزایش دهنده فرآیند تثبیت نیتروژن باشد. تثبیت زیستی نیتروژن بهترین و مهم‌ترین راهی است که خاک به طور طبیعی از نیتروژن سرشار می‌شود. در طی این فرآیند زیستی که توسط گونه‌های متعددی از میکروارگانیسم‌های پروکاریوت و به کمک سیستم آنزیمی نیتروژناز صورت می‌گیرد. سالانه به طور طبیعی مقادیر زیادی نیتروژن اتمسفری (حدود ۱۷۰ میلیون تن) به اکوسیستم‌های طبیعی وارد می‌شود. این نیتروژن عمدتا به فرم آلی می‌باشد که هیچ یک از مشکلات اقتصادی و زیست محیطی ناشی از مصرف کودهای شیمیایی نیتروژن‌دار را به همراه ندارد. در این میان سیستم همزیستی لگوم-ریزوبیوم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا حدود ۵۰ درصد کل تثبیت نیتروژن را در سطح جهانی بر عهده دارد و ارزش اقتصادی این مقدار نیتروژن سالانه بالغ بر ۸۵ میلیارد تخمین زده‌اند (پیرولی بیرانوند، ۱۳۷۸).

۲-۳-کود اوره:

اوره $CO(NH_2)_2$ دارای حدود ۴۶٪ نیتروژن بوده و بیشترین غلظت را در میان کودهای 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 می‌رود لکن خاصیت اسید زایی چندانی ندارد. بیش از ۹۰٪ نیتروژنی که در مزارع ایران مصرف می‌شود به صورت اوره می‌باشد. اوره به صورت دانه‌های کوچک و سفید رنگ عرضه می‌شود که بدان کود شکری نیز می‌گویند. 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 کودهای نیتروژنی برتری دارد. زیادی مصرف کودهای 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 آنها با مشکل مواجه می‌سازد (کلیج و همکاران، ۱۹۹۳).

۲-۳-۱- علل کاهش کارایی مصرف کودهای 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 می‌روند. عواملی که باعث هدر روی این عنصر می‌شود عبارتند از:

۲-۳-۱-۱- شستشوی نیتروژن توسط آب (*Leaching*)

هنگامی که خاک بیش از ظرفیت نگهداری آب دارد، نیترات آماده جذب توسط آب به نقاط غیر قابل دسترسی ریشه منتقل می‌شود. چنانچه آب در نیم رخ خاک جابه جا شود نیترات را جذب خود کرده و آن را جابجا می‌نماید و این در حالی است که آبشویی در فرم آمونیومی حداقل است.

۲-۳-۱-۲- پدیده دنیتریفیکاسیون (*Denitrification*)

تحت شرایط غیر هوازی (اشباع) خاک، ارگانیسم‌های نیترات زدا ، نیترات را از طریق یک رشته مراحل واسط به گاز نیتروژن تبدیل می‌نمایند. $NO_3 \rightarrow NO_2 \rightarrow NO \rightarrow N_2O \rightarrow N_2$

دو فرم انتهایی برای گیاه قابل استفاده نیستند. گاز نیتروژن خاک اشباع را ترک کرده و به اتمسفر بر می‌گردد. برخی تحقیقات میزان این تبدیل را تازمانی که خاک اشباع است ۴ تا ۵ درصد نیترات خاک بیان کرده‌اند. دنیتریفیکاسیون هنگامی رخ می‌دهد که منبع نیتروژن به فرم گازهای آمونیاکی شکسته شود و رطوبت کمی برای جذب آنها موجود باشد (مصیبی، ۱۳۸۷).

۲-۳-۲- مضرات مصرف کودهای شیمیایی(نیتروژنه):

ورود کودهای شیمیایی باعث شده است که چرخه ی عناصر غذایی مختل و تولید کشاورزی کاملا وابسته به مصرف کودهای شیمیایی شود که همین وابستگی به داده‌های خارجی، پایداری کشت بوم را به شدت کاهش می‌دهد (کامکار و مهدوی دامغانی، ۱۳۸۷)، شارپلی و اسمیت (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 ازت در هشت نوع خاک که معرف مناطق مختلف زراعی ایالات متحده هستند را بررسی کردند. نامبردگان با مقایسه خاک‌های زراعی و خاک‌های دیگر نشان دادند که به طور متوسط غلظت کربن آلی و ازت کل در افق‌های سطحی خاک زراعی (صفر تا ۱۵ سانتیمتری) به ترتیب ۴۲ و ۳۵ درصد کاهش یافت که نشان می دهد مصرف کود در حاصلخیزی ذاتی خاک تغییرات دقیقی حاصل می کند. همچنین مصرف بیش از اندازه این کودها نه تنها کارایی تولید را کاهش می‌دهد، بلکه ورود مواد معدنی و ترکیبات زیانبار نیتروژن به آب‌های سطحی و زیرزمینی موجب آلودگی منابع آب و خاک می‌شود (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 هزینه‌های بالای تولید تخریب و تغییر کیفیت خاک ورود آلودگی به زنجیره‌های غذایی و کاهش کیفیت محصولات کشاورزی اشاره کرد. ونس (۲۰۰۱) گزارش کرد آلودگی آب‌های 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 هر چه بیشتر کودهای شیمیایی برویم که از آن جمله می توان به استفاده از کودهای زیستی اشاره کرد.

غیر متحرک شدن نیتروژن وقتی است که نیتروژن معدنی خاک از طریق فعالیت زیستی به فرم‌های آلی تبدیل گردد. غیر متحرک شدن نیتروژن یا کود وقتی اتفاق می‌افتد که مقادیر زیادی مواد غنی از کربن (برای مثال بقایای گیاهی با نیتروژن کم مثل کاه غلات، قندها، الکل) به خاک اضافه گردد. نتیجه یک بررسی مزرعه ای 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 فرم‌های آلی خاک به صورت غیر متحرک باقی می‌ماند (گوسوانی و همکاران، ۱۹۸۸). یافته‌های آزمایش مزرعه ای نشان داد که مصرف کودهای آمونیومی نسبت به کودهای نیتراتی، مقدار نیتروژن بیشتری را غیر متحرک می‌کنند (پولسون و همکاران، ۱۹۸۶). بنابراین مقادیر قابل توجه غیر متحرک شدن نیترات وقتی اتفاق می افتد که 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 می‌شود. بسیاری از محصولات ازت نیتراته را در خود جمع می‌کنند. ازت نیتراته برای گیاهان سمی نبوده ولی برای اشخاصی که از این گونه محصولات مصرف می‌کنند مضر است. تجمع نیترات در گیاهان یک پدیده طبیعی بوده و هنگامی رخ می‌دهد که تجمع نیترات در گیاه بیشتر از مصرف آن بر اثر جذب و تحلیل باشد و مقدار ترکیبات ازت آمینه محلول به دلیل نبود آمونیاک برای ساخته شدن اسید آمینه نقصان می‌یابد (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 سلول‌های خاصی به ویژه درشب تجمع دهند.با مصرف بیش از اندازه ازت در سیب زمینی درصد اسید کلروژنیک و فنل‌ها افزایش و از میزان اسید سیتریک و ویتامین ث کاسته می‌شود. سیاه شدن سیب زمینی در اثر ترکیب آهن و اسید کلروژنیک اتفاق می‌افتد و اسید سیتریک مانع ترکیب فوق می‌گردد.

۲-۴- نیترات

۲-۴-۱-نیترات چیست؟

نیترات ترکیبی متشکل از یک اتم نیتروژن و سه اتم اکسیژن می‌باشد که از لحاظ شیمیایی بـه دلیـل دارا بودن یک بار منفی ترکیبی آنیونی می‌باشد و در طبیعت از طریق ترکیب شدن با کـاتیون‌هـا مـی تواند به حالت خنثی تبدیل گردد. از نظر شیمیایی این ترکیب واکنش‌پذیر نبوده و تنها میکـروب‌هـا قادر به احیاء آن به شکل نیتریت هستند. میکروارگانیسم‌ها می‌توانند نیترات را به نیتریت و سپس بـه یون آمونیوم تبدیل کنند. (EVS, 2005). پایداری و حلالیت زیاد نیترات در آب منجر به آلودگی آب-های زیرزمینی و سطحی شده در نتیجه سلامتی انسان‌ها، دام‌ها و آبزیان را به خطر می‌اندازد (کارپک و همکاران،۲۰۰۲). یکی از شاخص‌های مهم برای نشان دادن کیفیت آب آشامیدنی میزان یون نیترات می‌باشد.

۲-۴-۲- اهمیت نیترات ازنظرزیست محیطی

نیترات همراه با نیتریت عمـدتا بصـورت محلـول در محـیط زیسـت وجـود دارنـد و بطـور طبیعـی از اکسیداسیون ترکیبات نیتروژن‌دار توسط میکروارگانیسم‌هـا در آب، خـاک و در مقـادیر کمتـر توسـط تخلیه الکتریکی مانند رعد و برق تولید می‌گردد (WHO, 2007). نیتروژن دارای چرخه‌ای طبیعی در محیط زیست می‌باشد. در این چرخه، باکتری‌ها نیتروژن را به نیترات تبدیل می‌کنند و نیترات توسط گیاهان جذب می‌گردد. حیواناتی که از این گیاهان مصرف می‌کنند از نیتـرات جهـت تولیـد پـروتئین استفاده می‌کنند. میکروارگانیسم‌ها می‌توانند نیترات را به یون آمونیـوم و سـپس بـه نیتریـت تبـدیل کنند. این واکنش هم در محیط و هم در دستگاه گوارش انسان و دیگر حیوانات رخ مـی‌دهـد. بعـد از تبدیل باکتریایی نیترات به نیتریت در محیط (احیا)، سیکل نیتروژن بـا تبـدیل نیتریـت بـه نیتـروژن کامل می‌گردد.

۲-۴-۳- آبشویی نیترات ومشکلات ناشی ازآبشویی

انتقال املاح از جمله نیترات در خاک ، تحت تاثیر فاکتورهای زیادی مثل ویژگی‌های فیزیکی خاک، لایه بندی خاک ، ویژگی‌های خود املاح، شرایط اقلیمی و روش‌های مدیریت آب و کود است.

همچنین با توجه به اینکه معمولا ویژگی‌های خاک از نقطه ای به نقطه دیگر متغیر است، لذا در آزمایش‌هایی که در مقیاس بزرگ اجرا می‌شوند، این فاکتورها نیز تغییر می‌کنند.

آلودگی نیترات به دلیل حلالیت بالای آن در بسیاری موارد در آب‌های سطحی و زمینی حل می‌شود. سمیت نیترات اثر منفی بر سلامت انسان دارد (میلمیل و همکاران،۲۰۱۱)، که می‌تواند منجر به بسیاری از بیماری‌ها مانند نقص‌های مادرزادی، سقط‌های خود به خودی، افزایش مرگ و میر نوزادان، اسهال، درد شکم، استفراغ، دیابت، فشار خون بالا، عفونت‌های دستگاه تنفسی، تغییرات در سیستم ایمنی بدن، و مت‌هموگلوبینیما شود (وارد و همکاران،۲۰۱۱). از نشانه‌های اولیه مت‌هموگلوبینما می-توان به تحریک‌پذیری، فقدان انرژی، سردرد، سرگیجه، اسهال، استفراغ، تنگی نفس و آبی-خاکستری یا ارغوانی کم رنگ شدن اطراف چشم، دهان، لب‌ها، دست‌ها و پاها اشاره کرد. در حالت شدید، این بیماری می‌تواند باعث آسیب به مغز و در نهایت به دلیل خفگی ناشی از فقدان اکسیژن منتهی به مرگ شود (DES, 2006). از دیگر عوارض زیادی نیترات در آب، می توان به غنی شدن آب‌های سطحی اشاره کرد، که موجب رشد سریع گیاهان آبزی و رشد زیان آور پلانکتون‌ها می‌شود (سالومه،۲۰۰۸).

۲-۴-۴- روش‌های کاهش آبشویی نیترات

از جمله روش‌هایی که برای کاهش آبشویی می‌توان نام برد و به عنوان بهترین روش‌های مدیریتی کنترل و کاهش آبشویی نیترات به سمت سفره آب زیرزمینی در کنار دستیابی به حداکثر محصول مطرح شده است موارد زیر می‌باشد:

- تعیین زمان و مقدار مناسب کود
- پیش بینی زمان بارندگی

- استفاده بهینه از آب آبیاری
- تنظیم میزان مصرف کود با نیاز گیاه
- مصرف کودهای ازته بصورت چند باره
- استفاده از کودهای ازته کندرها مثل اوره با پوشش گوگردی و اوره فرم
- ممانعت کنندگان نیتریفیکاسیون

استفاده از روش کودآبیاری در روش‌های آبیاری سطحی نسبت به روش‌های سنتی کوددهی که مقدار کود مورد نیاز گیاه در یک یا دو مرحله و به صورت محلول پخش می‌شود، از نظر تلفات کود، استفاده از نیروی کارگری، کاهش انرژی و تراکم خاک به علت استفاده از ماشین‌آلات کشاورزی برتری دارد (عباسی و همکاران،۱۳۸۹). یکی دیگر از مؤثرترین روش‌های تحقق این امر به کارگیری اصلاح کننده‌های آلی مانند بیوچار و اصلاح کننده‌های بیولوژیک و شیمیایی نظیر قارچ مایکوریزا در خاک است. بیوچار با افزایش دادن رشدگیاه و توسعه ریشه، افزایش قدرت نگه داشت موادمغذی گیاه، بهبود بخشیدن به ساختار و پایداری خاک، بهبود بخشیدن به ظرفیت نگه داشت و نفوذپذیری خاک نقش موثری در جلوگیری از آبشویی نیترات دارد. از جمله راه کارهای جدیدی که برای افزایش تاثیرگذاری و جلوگیری از هدر روی کودهای شیمیایی مورد استفاده قرار گرفته است، به کارگیری ترکیبات طبیعی چون کانی‌های زئولیت در مزارع کشاورزی می باشد (پلات و همکاران ۲۰۰۴). استفاده از این ترکیبات در اراضی کشاورزی به دلیل افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و تمایل آنها برای جذب و نگهداری آمونیوم، می تواند نقش موثری در کاهش شستشوی عناصر غذایی خاک به ویژه نیتروژن داشته باشد.

زئولیت ها مواد متخلخلی هستند که با ساختمان کریستالی خود مانند غربال مولکولی عمل کرده و به دلیل داشتن کانال‌های باز در شبکه خود، اجازه عبور بعضی از یون ها را داده و مسیر عبور بعضی از یون‌های دیگر را مسدود می‌کنند (مامپتون ۱۹۹۹). امروزه استفاده از زئولیت درزمین‌های کشاورزی به صورت ذرات بسیار ریز در زمین‌های شنی و ذرات درشت تر درزمین‌های رسی ،به ترتیب باعث

ماندگاری بیشتر و نفوذ بهتر آب می‌شود و به عبارتی استفاده از زئولیت کیفیت خاک را از نظر حفظ رطوبت بهبود می‌بخشد(عابدی‌کوپای و اسدکاظمی، ۲۰۰۶). همزیستی میکوریزی یکی از فراوانترین فعالیتهای همزیستی در شاخه گیاهی است که در بیشتر اکوسیستم‌ها حضور دارد (مهرورز و همکاران، ۲۰۰۸). میکوریزای آرباسکولار یکی از مهم‌ترین میکوریزها می باشدکه به عنوان کود زیستی برای افزایش محصولات کشاورزی بااهمیت می‌باشد، زیرا ریشه اغلب گیاهان مرتعی، زراعی و باغی با میکوریز همزیست هستند (شارما و جوهری، ۲۰۰۲). پتانسیل قارچ‌های مایکوریزا در افزایش کیفیت خاک بسیار بارز است به طوریکه این قارچ‌ها از طریق افزایش رشد گیاه، بهبود روابط آبی و مقاومت به تنش‌های محیطی و افزایش چسبندگی ذرات خاک در افزایش کیفیت خاک مؤثرند. بنابراین نتیجه کاربرد این اصلاح کننده‌ها، افزایش تولیدات کشاورزی و نیز جلوگیری از زیان‌های اقتصادی و زیست محیطی، نظیر آلوده شدن آب‌های زیرزمینی به نیتروژن و فسفر می‌باشد.

۲-۵- بیوچار

۲-۵-۱- تعریف و شناخت بیوچار

بیوچار، یک نوع زغال چوب است که از تجزیه حرارتی طیف گسترده ای از زیست توده‌های زنده ، مانند چمن، چوب‌های سخت و نرم و بقایای حاصل از زراعت و جنگلداری به دست آمده است. گاهی اوقات agrichar نامبرده می‌شود. رویکرد کاربرد بیوچار در کشاورزی، توجه روزافزون به عنوان راه‌حلی برای ایجاد یک مخزن کربن برای کاهش گرم شدن کره زمین، افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک و کاهش انتشار NOx و CH4، همچنین برای کنترل تحرک انواع آلاینده‌های زیست محیطی، مانند فلزات سنگین، آفت کش‌ها و دیگر آلاینده‌های آلی می‌باشد. علاوه بر این، پیشنهاد می شود که استفاده از بیوچار می‌تواند با کاهش شسته شدن مواد مغذی و یا حتی تامین مواد مغذی برای گیاهان، حاصلخیزی خاک و بهره وری محصول را افزایش می‌دهد (لهمن و همکاران، ۲۰۰۶). با این حال فقط تعداد کمی مطالعات بررسی کرده‌اند که بیوچار توانایی حفظ مواد مغذی، به ویژه در طیف‌های مختلف را دارد. به عنوان مثال، لهمن و همکاران (۲۰۰۳) گزارش دادند که بیوچار حاصل از بقایای جنگلی

ثانویه به طور قابل توجهی باعث کاهش شسته شدن کود نیتروژن‌دار و افزایش رشد گیاه شدند. هنگامی که بافت‌های گیاهی به عنوان مواد اولیه برای تولید بیوچار استفاده می‌شود، حرارت تولید شده در طی احتراق بخش قابل توجهی از هیدروژن و اکسیژن، همراه با برخی از کربن موجود در گیاه را بخار می‌کند (آنتال و گرونلی، ۲۰۰۳). ویژگی مشترک زغال و بیوچار این است که هر دو شامل فرم‌های آروماتیک پایدار کربن آلی هستند که به دلیل کند بودن سرعت تجزیه، حتی در شرایط محیطی و بیولوژیکی مناسب، به آسانی به صورت دی اکسید کربن در اتمسفر آزاد نمی‌شود، از این جهت گزینه مناسبی برای ترسیب کربن بیومس گیاهی در خاک می‌باشد (سوهی و همکاران، ۲۰۱۰) . یکی از دلایل تولید وکاربرد بیوچار، مدیریت بهینه ی ضایعات کشاورزی می‌باشد.

۲-۵-۲- تاثیر بیوچار بر عملکرد محصول و کاهش آبشویی نیتروژن خاک

بسیاری از مطالعات به این نکته اشاره دارند که بیوچار ماده ای سودمند برای حاصلخیزی خاک است (گلاسر،۲۰۰۱). خاک‌هایی که حاوی بیوچار هستند، به خاطر مقادیر زیاد عناصر غذایی، حاصلخیزی بالای خاک (لهمن وهمکاران،۲۰۰۳) و مقادیر زیاد ظرفیت تبادل کاتیونی (لیانگ وهمکاران،۲۰۱۰)، نسبت به سایر خاک‌های منطقه ممتاز می‌باشند، با نتایج دلگرم کننده ای که از مطالعات انجام شده در آمازون به دست آمد، مطالعات زیادی در مناطق دیگر جهان انجام شد. در برخی از مطالعات تاثیر بیوچار بر افزایش عملکرد گیاه گزارش نشد (بلک ول وهمکاران،۲۰۰۹).حتی بعضی مطالعات اثر منفی بیوچار بر عملکرد گیاه را گزارش کردند (میکان و ابرامز،۱۹۹۵). این نتایج در پی افزودن سایر کودهای آلی یا معدنی گزارش شده است. با این وجود نواک و همکاران (۲۰۰۹) در پی افزودن تیمار بیوچار اثرات مثبت بسیاری را در خاک و بر رشد گیاه گزارش کردند. مطالعات نشان می‌دهد که بسیاری از بیوچارها به دلیل داشتن سطوح تبادلی زیاد می‌توانند منجر به افزایش نگهداری عناصر غذایی در خاک شوند، افزودن بیوچار موجب می‌شود که کارایی استفاده از عناصر غذایی افزایش یابد (ماژور و همکاران، ۲۰۰۹)، اما از طرف دیگر ممکن است فراهمی برخی از عناصر غذایی را در خاک-های با حاصلخیزی کم، کاهش دهد. بکارگیری بیوچار به عنوان یک جذب کننده شیمیایی در

اکوسیستم‌های کشاورزی انگیزه های اقتصادی و محیطی را به همراه دارد. این واکنش شیمیایی گرمازا است و گازهایی را از بیومس ایجاد می‌کند که باعث ایجاد انرژی گرمایی و سوخت‌های زیستی می‌شود (لهمن و همکاران، ۲۰۰۷). میزان دی اکسید کربن آزاد شده بیومس‌های زنده خیلی بیشتر از میزان دی اکسید کربن آزاد شده از بیوچار در هنگام اضافه شدن به خاک می باشد و باعث می‌شود که تولید بیوچار یک راهکار برای کاهش انتشار گازهای گلخانه ای باشد (لهمن و همکاران، ۲۰۰۷). بیوچار به عنوان یک جذب کننده خاک رابطه نزدیکی را با ترکیبات آلی نشان می‌دهد و نیز نشان داده که آبشویی نیتروژن و فسفر را در خاک‌هایی با هوازدگی بالا کاهش می‌دهد (کورنلیسن،۲۰۰۵). لهمن و همکاران (۲۰۰۶) نتیجه گیری کردند که محصولات کشاورزی به طورمثبتی به افزایش بیوچار تا 500g/ha واکنش نشان دادند. فواید بیوچار شامل دارا بودن پتانسیل تغییر آب و هوا از راه ترسیب کربن، افزایش دهنده CEC خاک، افزایش حاصلخیزی خاک، یک نوع حمایتگر در برابر بیماری‌های خاک و گیاه، افزایش رشدگیاه و توسعه ریشه، افزایش قدرت نگه داشت مواد مغذی گیاه، بهبود بخشیدن به ساختار و پایداری خاک، بهبود بخشیدن به ظرفیت نگه داشت و نفوذپذیری خاک و تعدیل pH خاک می‌باشد.

۲-۶- میکوریز

۲-۶-۱- تعریف میکوریز و طبقه بندی آن

در سال ۱۸۸۵ آلبرت برنارد فرانک (به گفته‌ی سیدیکویی و همکاران، ۲۰۰۸) در مطالعه‌ی خود از خاک، روی جمعیت میکروبی گیاه اصطلاح یونانی " میکوریز " که به معنای واقعی کلمه به معنی ریشه‌های قارچ هست را معرفی کرد که ریشه‌های قارچ نقش مهمی را در رشد گیاه، تسهیل در جذب فسفر، نیتروژن و کلسیم، توان مقاومت نسبت به بیماری، افزایش ریشه‌های مویین در افزایش جذب آب و کارآیی بیشتر استفاده از آب، تشدید فعالیت تثبیت نیتروژن به دلیل بهبود تغذیه گیاه میزبان، افزایش در تولیدات هورمون‌های گیاهی و بهبود خصوصیات فیزیکی خاک و حفاظت و حاصلخیزی خاک ایفا می‌کنند، آنها رابطه‌ی همزیستی با بیش از ۸۰٪ گیاهان آوندی دارند و در طی این

همزیستی مایکوریزا لیپیدها و کربوهیدراتهای خود را از ریشه گیاه میزبان بدست می‌آورد این تخصیص ذخایر کربنی به میکوریزاها باعث افزایش ۱۵ تا ۳۰ درصد وزن خشک ریشه¬های آلوده می‌شود (هارش و همکاران، ۲۰۰۶).

تلقیح ریشه ها توسط قارچ AM می‌تواند از سه منبع اصلی تلقیح در خاک بوجود آید :

۱) اسپور ۲) تکه های ریشه های آلوده ۳) هیف‌هایی که پروپاگول نامیده می‌شوند.

این نوع همزیستی دو دسته است:

۱- اکتوتروفیک (خارجی): که در کاج‌ها و راش دیده می‌شود.

۲- اندوتروفیک (داخلی): در اکثر گیاهان دیده می‌شود.

در همزیستی نوع خارجی (اکتو) ریسه‌های قارچ به داخل سلول وارد نمی‌شوند بلکه در فضای بین سلول‌های پوست ریشه شبکه‌ی متراکمی به نام شبکه هارتیگ (Hartig Net) برای مبادله متابولیت‌ها با گیاه میزبان به وجود می‌آورند. و در نوع داخلی (اندو) ریسه قارچ به داخل سلول میزبان نفوذ میکند ولی به پروتوپلاسم سلول حمله نمی‌کند، در ریشه‌های دارای همزیستی در منطقه کورتکس ریشه ساختار بسیار منشعب به نام آربوسکول دیده می‌شود. نقش آربوسکول‌ها افزایش سطح تماس ریسه با سلول به میزان ۲ تا ۳ برابر است (احمدی و همکاران، ۱۳۸۳).

افزایش رشد گیاه و جذب مواد غذایی در نتیجه تلقیح میکوریزا، نشان دهنده یک رابطه مثبت قوی بین کلونیزاسیون ریشه، جذب عناصر غذایی و بهبود رشد می‌باشد (زیدی و خان، ۲۰۰۶). ریسه‌های قارچ که در اطراف و در داخل ریشه پخش می‌شوند، نقش یک ریشه‌ی ثانویه را برای گیاه میزبان بازی می‌کنند. در بسیاری موارد علاوه بر اثر این نوع میکروارگانیسم‌ها بر افزایش محصول، نقش مهمی درحفظ تعادل اکولوژیک در خاک ایفا می‌کنند (ابوت و مورفی، ۲۰۰۷).

۲-۶-۲- اثر همزیستی میکوریز بر جذب عناصر غذایی

افزایش جذب فسفر به وسیله میکوریز، گره‌زایی به وسیله ریزوبیوم را افزایش می‌دهد و به طور غیرمستقیم عنصر نیتروژن را در گیاه افزایش می‌دهد (لکبرگ و کاید، ۲۰۰۵). قارچ میکوریزا جذب

عناصری دیگری مانند سولفور، بـور، پتاسـیم، کلسـیم، منیـزیم، سـدیم، روی، مـس، منگنـز، آهـن و آلومینیوم را نیز افزایش می‌دهد (کلارک و زتو، ۲۰۰۰) که این پدیده در محیط‌هایی که مواد معـدنی مورد نیاز کم است، بسیار اهمیت دارد و به بقای گیاه کمک می‌کند. اثر قارچ میکوریزا روی این عناصر می‌تواند مثبت، خنثی یا منفی باشد که بـه نـوع خـاک، گیـاه میزبـان و دیگـر عوامـل بسـتگی دارد. همچنین قارچ‌های میکوریزا جذب عناصر سنگین را نیز کاهش می‌دهنـد (کـلارک و زتـو، ۲۰۰۰). در کالیفرنیای ایالات متحده آمریکا کاواگنارو و همکاران (۲۰۰۶) در گیاه گوجه‌فرنگی تلقیح میکـوریزای جهش یافته و نوع وحشی آن را مقایسه کردند و دریافتند که میکوریزا اثر اندکی روی عملکرد داشت، اما غلظت روی را تا حدود ۲۴ درصد افزایش داد.

۲-۶-۳- فاکتورهای مؤثر بر همزیستی میکوریزی

میکروارگانیسم‌های خاک گسترش و استقرار همزیستی قارچ میکوریز را تحت تاثیر قرار می‌دهنـد هـر چند الگوی پاسخ گویی به وضوح روشن نگردیده است در برخی موارد اشاره به روابط منفـی (ویـس و همکـاران، ۱۹۹۲) و در برخـی بـه روابـط مثبـت و در سـایر مطالعـات بـه عـدم اثـر متقابـل بـین میکروارگانیسم‌ها و قارچ اشاره گردیده است (ادواردز و بتر، ۱۹۹۲). ایـن نتـایج ضـد و نقـیض نشـان می‌دهد که تغذیه گیاه تعیین کننده نوع پاسخ قارچ‌های میکوریزی به اضافه کردن کودهای شـیمیایی می‌باشد (اسدی رحمانی و همکاران، ۱۳۸۶).

با کود دهی محدودیت ناشی از عناصر غذایی مرتفع شده و بنابراین گیـاه مقـدار کمتـری از ترکیبـات کربنه را به مصرف ریشه، تراوه‌های ریشه‌ای و قارچ‌های میکوریز آربوسکولار اختصاص می‌دهد. همـراه با این عامل خصوصیت شیمیایی خاک‌ها و کودهای شیمیایی اضافه شده نیز کنتـرل کننـده وضـعیت عناصر معدنی جذب شده توسط گیاهان بوده و در نهایت تعیین کننده نوع عکـس العمـل قـارچ‌هـای میکوریزی به کود دهی می‌باشند (اسدی رحمانی و همکاران، ۱۳۸۶). همچنـین نسـبت P:N یکـی از عوامل مهم و تعیین کننده نحوه عکس‌العمل قارچ‌های میکوریزی به غنی سازی خاک یا عناصر غذایی است (هپر، ۱۹۸۳).

برخی از بررسی‌های اولیه مؤید آن است که گونه‌های مختلف قارچ AM نسبت به کودهای شیمیایی، واکنش های متفاوتی از خود نشان می‌دهند (هایمن، ۱۹۷۵). عموماً، افزایش کودهای فسفر، کربوهیدرات‌های محلول در ترشحات ریشه را کاهش می‌دهد (گراهام و همکاران،۱۹۸۱). نتایج مطالعات مورتیمر و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد استفاده از NH_4^+ درگیاهان میکوریزی لوبیا، کاهش درصد کلونیزاسیون قارچ AM، رشدگره و وزن خشک گره را در برداشت. از طرفی این محققین گزارش کردند لگوم های گره‌دار تلقیح شده با میکوریز، هنگامی که درمعرض یک منبع N خارجی قرار گرفته باشند وابستگی کمتری به تثبیت زیستی نیتروژن نشان می‌دهند (مورتیمر و همکاران، ۲۰۰۹).

۲-۶-۴- اثر همزیستی میکوریز آربوسکولار (AM) بر خاک و گیاه

محققان اظهار نمودند که یکی از مهم‌ترین آثار کاربرد قارچ‌های میکوریزی افزایش عملکرد گیاهان زراعی خصوصا[۴] در خاک‌هایی با حاصلخیزی پایین است (کارلینگ و برون، ۱۹۸۲). این افزایش عملکرد به دلیل افزایش سطح جذب ریشه‌ها از طریق نفوذ مسیلیوم قارچ در خاک و به دنبال آن دسترسی گیاه زراعی به حجم بیشتری از خاک می‌باشد (کارلینگ و برون، ۱۹۸۲). همزیستی میکوریز بر چندین جنبه فیزیولوژیکی گیاه مانند ریشه گیاه، کسب مواد مغذی، حفاظت گیاه و چرخه مواد غذایی تاثیر دارد (کاپولینگ و دودز، ۲۰۰۰). همچنین از طریق فرآیندهای کلیدی اکولوژیکی برای بهبود رشد اندام‌های گیاه و کیفیت خاک بسیار اهمیت دارد (واندرهجدن و ساندرز، ۲۰۰۲). میکوریزها همیاری‌های قارچ-گیاه هستند که تقریباً در همه جا حضور داشته و از اجزاء مهم حاصلخیزی خاک به شمار می‌روند (اسدی‌رحمانی و همکاران۱۳۸۶). توانایی گونه های مختلف قارچ-های میکوریز آربوسکولار در افزایش حاصلخیزی خاک بسیار متفاوت بوده عموماً این تفاوتها ناشی از اختلاف در توانایی این قارچها در بوجود آوردن اندامهای درون و برون ریشه‌ای گیاه میزبان است (ابوت و مورفی۲۰۰۷) .

قارچ میکوریز آربوسکولار از طریق مکانیزم‌های مختلف قادر به جذب فسفر بیشتری بوده کـه پـس از جذب آنرا در اختیار سیستم ریشه‌ای گیاه میزبان قرار می‌دهد. ریسه‌های خارجی میکوریز آربوسکولار از سطح ریشه و منطقه تهی از فسفر به مناطق دورتر گسترده شده و بنابراین حجم بسیار بیشـتری از خاک را نسبت به ریشه‌های غیـرمیکوریزی در اختیار سیستم ریشه‌ای قرار می‌دهند (شارما و جوهری، ۲۰۰۲). همچنین قطر کوچک ریسه‌ها (۲۰-۵۰μm) دسترسی به منافذی از خاک را امکانپـذیر مـی-سازند که نمی‌تواند بوسیله ریشه مورد کاوش قرار گیرند. بنـابراین سیسـتم ریشـه‌ای کـه دارای یـک شبکه میکوریزی است، منطقه سطحی بزرگتر و مؤثری را برای جذب عناصر غذایی و جستجوی حجم بیشتری از خاک را نسبت به ریشه‌های غیر میکوریزی در اختیار دارد .همچنین کلونیزاسیون میکوریز ممکن است تشکیل ریشـه‌هـای جـانبی را تحریـک کـرده و یـا انشـعابات ریشـه‌ای را افـزایش دهنـد (سیترنسی و همکاران، ۱۹۹۸). سیستم ریشه‌ای گیاهان زراعی و خودرو معمولاً بوسیله یک یا تعدادی قارچ میکوریز که بطور طبیعی در خاک حضور دارند کلونیزه شده و باعث افزایش جذب عناصر غذایی و اصلاح ساختمان خاک می‌شوند (علی آبادی فراهانی و همکاران ۲۰۰۸).

۲-۶-۵- میکوریز و جذب نیتروژن

همراه با افزایش جذب فسفر در گیاهان میکوریزی، افزایش جذب نیتروژن نیز اغلب برای این گیاهـان گزارش شده است. افزایش جذب نیتروژن در گیاهان میکوریزی بـدلیل نیـاز بـه نیتـروژن بـالا جهـت افزایش جذب فسفر قابل توضیح است. تحقیقات نشان داده است که ممکن اسـت جـذب نیتـروژن در گیاهان میکوریزی حتی وقتی که گیاهان فسفر کـافی در اختیـار دارنـد نیـز افـزایش یابـد (جـورج و همکاران، ۱۹۹۴). جذب نیترات آمونیم بوسیله گیاهان میکوریزی نسـبت بـه نیتریـت آمـونیم بـدلیل تحرک کمتر نیترات آمونیم نسبت به نیتریت آمونیم دارای اهمیت بیشتری است. اگر چه جذب هر دو شکل نیتروژن ممکن است در گیاهان میکوریزی افزایش یابد. ریسه‌های میکوریز آربوسکولار، ظرفیـت زیادی برای جذب و انتقال نیتروژن از خاک به ریشه‌ها دارند (بارآ و آزکون- آگولار، ۱۹۹۳).

در بعضی موارد حتی اهمیت فسفر از نیتروژن نیز بیشتر است، زیرا بعضی از میکروارگانیسم‌ها می‌توانند نیتروژن اتمسفر را برای گیاهان فراهم کنند ولی برخلاف نیتروژن، منابع اتمسفری برای فسفر وجود ندارد تا آن را در اختیار گیاهان قرار دهد (ایزاوا، ۲۰۰۲).

قارچ‌های میکوریز قادرند با بسیاری از گیاهان رابطه همزیستی برقرار نمایند و با افزایش در تولیدات هورمون‌های گیاهی و تشدید میزان فتوسنتز باعث افزایش رشد و نمو گیاه میزبان گردند. از مهم‌ترین دلایل کاهش آبشویی عناصر نیتروژن توسط میکوریز عبارتند از:

افزایش رشد ریشه‌های موئین (هارش و همکاران، ۲۰۰۶) و دسترسی به حجم وسیعی از خاک، افزایش جذب نیتروژن از خاک (کلارک، ۱۹۹۷) و تغذیه بهتر گیاه، همچنین افزایش جذب آب و کارایی بیشتر استفاده از آب (هارش و همکاران، ۲۰۰۶)، تأثیر بر دانه بندی خاک (اگه، ۲۰۰۱)، بهبود خصوصیات فیزیکی خاک (هارش و همکاران، ۲۰۰۶)، تشدید فعالیت تثبیت بیولوژیک نیتروژن (بارآ و آزکون آگولار، ۱۹۹۳).

نتایج اصغری وکاواگنارو (۲۰۱۲) نشان داد که نیترات آبشویی شده در یک خاک شنی تحت کشت گیاه گوجه فرنگی، در تیمارهای میکوریزی حدود ۴۰ برابر کمتر از تیمارهای فاقد میکوریز است.

فصل سوم: مواد و روشها

۳-۱- زمان و محل آزمایش

آزمایش، در تابستان ۱۳۹۲ در شهرستان شاهرود و تحت شرایط گلخانه ای در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود واقع در شهر بسطام اجرا شد. شهر بسطام در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۹ دقیقه و طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ارتفاع ۱۳۶۶ متر از سطح دریا واقع شده است. بر اساس تقسیم بندی‌های اقلیمی، منطقه بسطام دارای اقلیم سرد و خشک است. میانگین بارندگی سالانه بین ۱۶۰-۱۵۰ میلی‌متر بوده و بارندگی‌ها عمدتاً در فصل پاییز و بهار رخ می‌دهد. بر اساس اطلاعات ثبت شده در ایستگاه هواشناسی شاهرود، میانگین سالانه دما در این منطقه ۱۴/۴ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است.

۳-۲- خصوصیات خاک گلدان و بیوچار

جدول ۳-۱- خصوصیات خاک گلدان

پارامتر های اندازه گیری شده	مقدار	واحد
بافت خاک	لوم رسی	-
EC سوسپانسیون خاک	۰/۳۳۵	میلی زیمنس بر سانتی‌متر
pH سوسپانسیون خاک	۷/۵	-
کربن آلی(O.C)	۰/۷۵	درصد
رس	۳۷/۹	درصد
سیلت	۴۱/۷	درصد
شن	۲۰/۴	درصد
ظرفیت تبادل کاتیونی	۱۵/۳	سانتی‌مول (بارمثبت) بر کیلوگرم
نیترات خاک در عمق ۱۰ سانتیمتر	۵/۲۱	میلی گرم بر کیلوگرم
نیترات خاک در عمق ۲۰ سانتیمتر	۰/۶۲۹	میلی گرم بر کیلوگرم
آمونیوم خاک در عمق ۱۰ سانتیمتر	۱/۸۹	میلی گرم بر کیلوگرم
آمونیوم خاک در عمق ۲۰ سانتیمتر	۲/۴۳	میلی گرم بر کیلوگرم

جدول ۳-۲- خصوصیات بیوچار

	نیتروژن(٪)	کربن آلی(٪)	گوگرد(٪)	هیدروژن(٪)	C/N
بیوچار سبوس برنج	۰/۶۴۴	۳۸/۱	۰/۰۶۶	۱/۲۵۵	۵۹/۱۶
بیوچار سپیدار	۰/۴۷	۶۰/۴۵	۰/۰۴۴	۲/۲۹۴	۱۲۸/۶۱

۳-۳- انتخاب رقم بذر و تهیه مایه تلقیح

رقم سینگل کراس ۷۰۴ برای این تحقیق انتخاب شد. مایه تلقیح از شرکت زیست فناور تـوران تهیـه شد که شامل قارچ *Funneliformis intraradices* و*Funneliformis versiforme* بود.

۳-۴- انتخاب و آماده سازی گلدانها

از آنجا که یکی از اهداف مورد نظر در این آزمایش، بررسی آبشویی نیتروژن در خاک بود لذا گلـدان-های پلی اتیلنی استوانه ای شکلی تهیه گردید. قطر هر گلدان ۱۳سانتیمتر و ارتفاع آن ۴۰ سانتیمتر بود (شکل ۳-۱).

شکل۳-۱- نمایی از گلدان‌های آزمایش در میانه فصل رشد

۳-۵- آماده سازی خاک و بیوچار برای آزمایش گلخانه‌ای

جهت آزمایش گلخانه‌ای نیاز به خاکی بود که ضمن فراهم نمودن شرایط رشد گیاه، در مرحلهٔ برداشت، به سهولت بتوان به سیستم ریشه‌ای گیاه بدون آنکه صدمه ای به آن وارد آید دسترسی داشت. یعنی آنکه بافت خاک حتی الامکان سبک باشد. بدین منظور، پس از الک نمودن مقدار کافی ازخاک مزرعه و ماسه آبرفتی شسته شده (با الک دومیلیمتری) و جدا نمودن قطعات سنگ و خار و خاشاک و سایر اضافات، مخلوطی کافی از خاک مزرعه + ماسه آبرفتی شسته شده به نسبت ۲ به ۱ تهیه شد و خاک تهیه شده به ستون‌های کشت انتقال داده شد. برای تهیه بیوچار از سبوس برنج و چوب سپیدار استفاده گردید. بدین روش که ظرفی به ابعاد ۱/۵ در ۰/۵ انتخاب گردید و در مرحله اول چوب سپیدار داخل آن ریخته شد و درب آن کاملا پوشیده شد تا شرایط بی‌هوازی ایجاد گردد و روی حرارت قرار گرفت. در مرحله دوم نیز بیوچار سبوس برنج به روش گفته شده تهیه گردید.

۳-۶- طرح آزمایشی در گلخانه و شرایط رشد

آزمایش درگلخانه به صورت فاکتوریل با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. فاکتورهای آزمایش شامل فاکتور مایکوریز در ۳سطح [سطح ۱: فاقد مایکوریز(M_0)، سطح ۲: مایکوریز نوع *Funneliformis intraradices* (M_1) و سطح ۳: مایکوریز نوع *Funneliformis versiforme* (M_2)]، بیوچار در ۳ سطح [سطح ۱: فاقد بیوچار(B0) ، سطح ۲: بیوچار تهیه شده از چوب سپیدار(B_1) به مقدار۳۰ گرم در ۳ کیلوگرم خاک، سطح ۳: بیوچارتهیه شده از سبوس برنج(B_2) به مقدار۳۰ گرم در ۳ کیلوگرم خاک]، کوداوره در ۲ سطح [فاقدکود (N0) و با کود(N_1) به مقدار۰/۱۳گرم در ۳ کیلوگرم خاک]. با توجه به تعداد تیمار و تکرار، تعداد ۵۴ عدد گلدان (با قطر ۱۳سانتیمتر و ارتفاع ۴۰ سانتیمتر) بعنوان واحد کشت قرار گرفت.

۳-۷- تعیین ظرفیت زراعی خاک گلدان‌ها و نحوه آبیاری

برای تعیین مقدار آب مورد نیاز در آبیاری گلدان‌ها در آزمایش گلخانه‌ای (و جلوگیری از آبشویی ناخواسته) از روش تعیین ظرفیت زراعی (سیلویا ۱۹۹۴) استفاده شد. میزان آب گلدان‌ها هر دو روز

یکبار با توزین تعدادی از گلدان‌ها کنترل شده و همواره سعی گردید رطوبت خاک آنها در حد ۸۰ درصد ظرفیت زراعی باقی بماند. به منظور تامین نیاز غذایی گیاهان از محلول لانگ اشتون بدون نیتروژن استفاده شد که به طور یکسان در تمام گلدان‌ها در ۴ نوبت طی فصل رشد اضافه گردید .

۳-۸- نحوه کاشت در گلدانها

پس از آماده سازی خاک مورد نیاز و مشخص شدن تیمارهای مربوط به هر گلدان، ۱۸ گلدان فاقد بیوچار ، ۱۸گلدان بیوچار نوع سپیدار به مقدار ۳۰ گرم (۱درصد وزنی خاک گلدان) و ۱۸ گلدان بیوچار نوع سبوس برنج به مقدار ۳۰ گرم اضافه گردید. سپس از هر ۱۸گلدان، ۶ گلدان فاقد مایه تلقیح ،۶ گلدان میکوریز نوع *Funneliformis intraradices* و ۶ گلدان میکوریز نوع *Funneliformis versiforme* به گلدان‌ها اضافه گردید و از هر ۶ گلدان، ۳ گلدان بدون افزودن کود اوره و ۳ گلدان کود اوره به میزان ۰/۱۳ گرم اضافه گردید. پس از پر کردن گلدان‌ها از خاک (به میزان ۳ کیلوگرم)، تعداد ۴ عدد بذر با فاصله مناسب از یکدیگر، در نقطه مرکزی گلدان کاشته شدند. سپس گلدان‌ها آبیاری شده و رطوبت آنها همواره در حد ۸۰ درصد ظرفیت زراعی باقی نگهداشته شد(شکل ۳-۲). هفت هفته بعد از رشد گیاه، فسفات آمونیم به میزان۲۴۰ میلی گرم به هر ستون (۲۸۰کیلوگرم در هکتار) به عنوان محلول غذایی به خاک اضافه گردید.

شکل۳- ۲- نمایی از ذرت در اواسط دوره رشد

۳-۹- مرحله آبشویی و نمونه گیری از محلول جمع آوری شده

بنابر اهداف این آزمایش در هفته هفتم اوره به میزان ۴۸۰ میلی گرم به نیمی از ستون‌ها (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) جهت بررسی آبشویی نیترات افزوده شد.

جهت آبشویی خاک در این مرحله، به میزان ۵۰۰ میلی لیتر آب مقطر به هر گلدان افزوده شد (شکل ۳-۳) و مدت زمان لازم جهت خروج محلول آبشویی شده لحاظ گردید و پس از این مدت محلول آبشویی در ظروف تعبیه شده زیرین، جمع آوری شد (شکل ۳-۴). سپس محلول جمع آوری شده برای هر نمونه توزین و ثبت گردید و نمونه برداری از آنها انجام شد. مقادیری از محلول جمع آوری شده، جهت جلوگیری از هدررفت نیترات تا زمان آزمایش، درظروف دربسته و در یخچال نگهداری گردید.

شکل۳-۳- اضافه نمودن آب مقطر به گلدان‌ها جهت آبشویی

شکل ۳- ۴– جمع آوری محلول آبشویی شده

۳-۱۰- نمونه گیری خاک و ریشه

جهت نمونه گیری خاک، از هر گلدان در دو عمق ۱۰ و ۲۰ سانتیمتری نمونه گیری انجام شد (شکل ۳-۵) و خاک نمونه گیری شده در ظروف دربسته و در یخچال (جهت جلوگیری از خروج نیترات) تا زمان آزمایش نگهداری گردید.

برای نمونه گیری ریشه سعی گردید حتی الامکان، ریشه‌ها دست نخورده و سالم باقی بمانند. سپس اندام‌های هوایی و ریشه‌های آنها با آب بصورت کامل شستشو داده شده و از گل و لای عاری شدند. نمونه‌ها پس از اندازه گیری طول ساقه به دستگاه آون در آزمایشگاه منتقل و بترتیب شرح داده شده در فوق، خشک شده و سپس پارامتر وزن خشک اندام هوایی، برای هر نمونه اندازه گیری و ثبت شد.

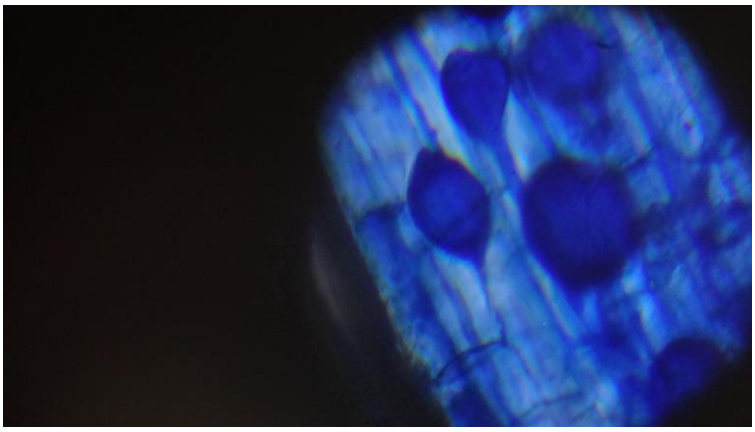
شکل ۳- ۵- نمونه‌گیری از خاک

۳-۱۱- نمونه گیری گیاهی

هشت هفته پس از کاشت، نمونه‌گیری از گونه‌ی تحت کشت در تیمارهای مختلف صورت گرفت. در نمونه برداری ، پایه‌های گیاهی از سطح خاک بریده شده و پس از اندازه‌گیری طول ساقه هر پایه ، در داخل پاکت کاغذی شماره‌دار ریخته شده و به آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه پس از انتقال به دستگاه آون، در حرارت ۷۵ درجه سانتیگراد بمدت ۴۸ ساعت نگهداری شدند تا کاملاً 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.

۳-۱۲- اندازه گیری درصد کلونیزاسیون ریشه‌ای

برای اندازه گیری میزان کلونیزاسیون ابتدا ریشه‌ها رنگ آمیزی شده تا اندام‌های قارچی احتمالی قابل رؤیت گردند. برای اینکار، از ریشه‌های نمونه گیری شده در هرگلدان یک نمونه با وزن حدود ۰/۱ گرم برداشته شد و پس از شستشوی کامل با آب، به قطعات یک سانتیمتری بریده شده و سپس جهت رنگبری در محلول KOH ده درصد به مدت ۴۸ ساعت در دمای آزمایشگاه نگهداری شد. جهت رنگ آمیزی نمونه‌ها از روش تغییر یافته فیلیپس و هایمن (۱۹۷۰) استفاده شد. به این ترتیب که نمونه-های رنگ‌بری شده در محلول یک درصد تریپان‌بلو قرارگرفتند. بعد از ۲ الی ۳دقیقه ، نمونه‌ها با آب شسته شده و جهت نگهداری طولانی مدت در محلول گلیسیرین + اسید لاکتیک قرارگرفتند. برای تعیین درصد کلونیزاسیون ۲۰ قطعه از ریشه به اندازه یک سانتیمتر بر روی لام و لامل قرار گرفت.سپس با مشاهدهٔ آن ها در زیر استرئومیکروسکوپ با بزرگنمایی ۴۰× درصد کلونیزاسیون مشخص شد (شکل ۳- ۵).



شکل۳- ۶- نمایی از ریشه در زیر میکروسکوپ

۳-۱۳- اندازه گیری نیترات در خاک و محلول آبشویی شده

ابتدا عصاره گیری از خاک بدین صورت انجام شد: مقدار ۱۰ گرم خاک مرطوب را در داخل تیوب ۵۰ میلی لیتری ریخته و مقدار ۲۵ میلی لیتر KCl دو مولار (۱۴۹/۱۲ گرم KCl در یک لیتر آب) اضافه شد. سپس تیوب در یک شیکر افقی به مدت ۳۰ دقیقه با سرعت ۲۰۰ دور در دقیقه شیک شد. آنگاه

تیوب داخل دستگاه سانتریفوژ با سرعت ۲۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه قرار داده شد. پس از ته نشین شدن ذرات خاک، مایع شفاف بالایی را برداشته، در فریزر نگهداری شد.

برای اندازه گیری نیترات خاک و محلول آبشویی شده، از محلول‌های زیر استفاده گردید:

محلول یک مولار اسید کلریدریک، محلول (شماره یک) حاوی ۵۰ میلی لیتر اسیدکلریدریک یک مولار + ۰/۴ گرم وانادیم کلراید (احیاکننده)، محلول (شماره دو) ۰/۲ گرم سولفانیلامید + ۰/۰۱ گرم [N(1-NapHtyl)ethylenediamine dihydrochloride]Ned + ۴۰۰ میلی لیتر آب مقطر.

محلول شماره یک و دو با یکدیگر مخلوط شدند. در مرحله بعد با استفاده از سمپلر، ۶۰ میکرولیتراز عصاره خاک و ۲۹۵۰ میکرولیتر از محلول شماره ۱ و ۲ به هرکووت منتقل گردید. کووت ها به مدت یک شب در محیط آزمایشگاه و در زیر هود قرار داده شد و بعد از کامل شدن رنگ ارغوانی با دستگاه اسپکتروفتومتر jenway 6305 روی طول موج ۵۴۰ نانومتر قرائت گردید (میراندا و همکاران،۲۰۰۱).

۳-۱۴- اندازه گیری آمونیوم خاک و محلول آبشویی شده

ابتدا عصاره گیری از خاک بدین صورت انجام شد: مقدار ۱۰ گرم خاک مرطوب در داخل تیوب ۵۰ میلی لیتری ریخته و مقدار ۲۵ میلی لیتر KCl دو مولار (۱۴۹/۱۲ گرم KCl در یک لیتر آب) اضافه شد. سپس تیوب در یک شیکر افقی به مدت ۳۰ دقیقه با سرعت ۲۰۰ دور در دقیقه شیک گردید. آنگاه تیوب داخل دستگاه سانتریفوژ با سرعت ۲۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه قرار داده شد. پس از ته نشین شدن ذرات خاک، مایع شفاف بالایی برداشته، در فریزر نگهداری گردید.

برای اندازه گیری آمونیوم خاک و محلول آبشویی شده، ابتدا از محلول‌های زیر استفاده گردید:

محلول شماره یک شامل ۶/۵ گرم سدیم سالیسیلات، ۵ گرم سدیم سیترات، ۵ گرم سدیم تارتارات دی‌هیدرات، ۰/۰۲۵ گرم سدیم نیتروفروسیانید دی هیدرات و ۱۰۰ میلی لیتر آب دو بار تقطیر.

محلول شماره دو شامل ۶ گرم سدیم دی هیدروکساید و ۲/۴ میلی لیتر از Bleach (محلول ۴٪ سدیم هیپوکلریت) و ۱۰۰ میلی لیتر آب دو بار تقطیر .

در مرحله بعد با استفاده از سـمپلر، ۲۰۰۰ میکرولیتـر از عصـاره خـاک و ۲۵۰ میکرولیتـر از محلـول شماره ۱ و ۲۵۰ میکرولیتر از محلول ۲ به هرکووت منتقل گردید. کووت‌ها به مـدت ۳-۴ سـاعت در محیط آزمایشگاه و در زیر هود قرار داده شد و بعد از کامل شدن رنگ آبی با دستگاه اسـپکتروفتومتر jenway 6305 روی طول موج ۶۵۰ نانومتر قرائت گردید (میراندا و همکاران،۲۰۰۱).

۳-۱۵- تهیه استانداردهای لازم برای اندازه گیری نیترات و آمونیوم محلول آبشویی شده و خاک

بدین منظور ابتدا محلول ppm ۱۰۰ نیتروژن (استاندارد) تهیه شد.

محلول استاندارد برای اندازه گیری نیترات آب آبشویی : ۷۲۲ میلی گرم از KNO_3 در ۱ لیتـــر آب مقطر. محلول استاندارد برای اندازه گیری نیترات خاک : ۷۲۲ میلی گرم از KNO3 در ۱ لیتر KCl 2 مولار.

محلول استاندارد برای اندازه گیری آمونیوم آب آبشویی : ۴۷۲ میلی گرم از NH4)2SO4 (در ۱ لیتر آب مقطر

محلول استاندارد برای اندازه گیری آمونیوم خـاک : ۴۷۲ میلـی گـرم از NH4)2SO4 (در ۱ لیتـر KCl 2 مولار. سپس با استفاده از محلول مذکور استانداردهای لازم به روش زیر تهیه شدند.

جدول ۳-۳- محلول‌های استاندارد برای اندازه گیری نیترات و آمونیوم محلول آبشویی شده

محلول استاندارد (ppm)	روش تهیه
50	2.5 ml از 100 ppm در 2.5 ml آب مقطر
20	1 ml از 100 ppm در 4 ml آب مقطر
15	750 µl از 100 ppm در 4.25 ml آب مقطر
10	1000 µl از 100 ppm در 9 ml آب مقطر
8	800 µl از 100 ppm در 9.2 ml آب مقطر
5	500 µl از 100 ppm در 9.5 ml آب مقطر
2	200 µl از 100 ppm در 9.8 ml آب مقطر
1	100 µl از 100 ppm در 9.9 ml آب مقطر
0.5	2.5 ml از 1 ppm در 2.5 ml آب مقطر
0.2	1 ml از 1 ppm در 4 ml آب مقطر
0.1	1 ml از 1 ppm در 9 ml آب مقطر
0.05	500µl از 1ppm در 9.5ml آب مقطر
0.02	200µl از 1ppm در 9.8ml آب مقطر
0.01	100µl از 1ppm در 9.9ml آب مقطر

جدول ۳-۴- محلول‌های استاندارد برای اندازه گیری نیترات و آمونیوم خاک

محلول استاندارد (ppm)	روش تهیه
50	2.5 ml از 100 ppm در 2.5 ml KCl ۲ مولار
20	1 ml از 100 ppm در 4 ml KCl ۲مولار
15	750 µl از 100 ppm در 4.25 ml KCl ۲مولار
10	1000 µl از 100 ppm در 9 ml KCl ۲ مولار
8	800 µl از 100 ppm در 9.2 ml KCl ۲ مولار
5	500 µl از 100 ppm در 9.5 ml KCl ۲ مولار
2	200 µl از 100 ppm در 9.8 ml KCl ۲ مولار
1	100 µl از 100 ppm در 9.9 ml KCl ۲ مولار
0.5	2.5 ml از 1 ppm در 2.5 ml KCl ۲ مولار
0.2	1 ml از 1 ppm در 4 ml KCl ۲ مولار
0.1	1 ml از 1 ppm در 9 ml KCl ۲ مولار
0.05	500 µl از 1 ppm در 9.5 ml KCl ۲ مولار
0.02	200 µl از 1 ppm در 9.8 ml KCl ۲ مولار
0.01	100 µl از 1 ppm در 9.9 ml KCl ۲ مولار

۳-۱۶- اندازه گیری EC و pH عصاره خاک و محلول آبشویی شده

ابتدا سوسپانسیونی با نسبت ۱ به ۲/۵ (خاک به آب) تهیه کردیم. سپس آنرا بـه مـدت ۹۰ دقیقـه بـر روی شیکر قرار دادیم. سپس از محلول حاصله عصاره‌گیری کرده و از عصاره بدست آمده EC و pH را با استفاده از دستگاه EC متر و pH سنج اندازه گیری کردیم.

۳-۱۷- اندازه‌گیری سایر پارامترهای خاک اولیه

اندازه‌گیری بافت خاک (جی و بـادر، ۱۹۸۶)، ظرفیـت تبـادل کـاتیونی (ردوز، ۱۹۸۲)، کـربن آلـی و نیتروژن کل خاک و بیوچار توسط دستگاه آنالیز عنصری اندازه‌گیری شد.

۳-۱۸- تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه و تحلیل آماری داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS وMSTATC انجام شد. برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنـی‌دار (LSD) و در سطح احتمال ۵ و۱درصد انجام گرفت.

فصل چهارم: نتایج و بحث

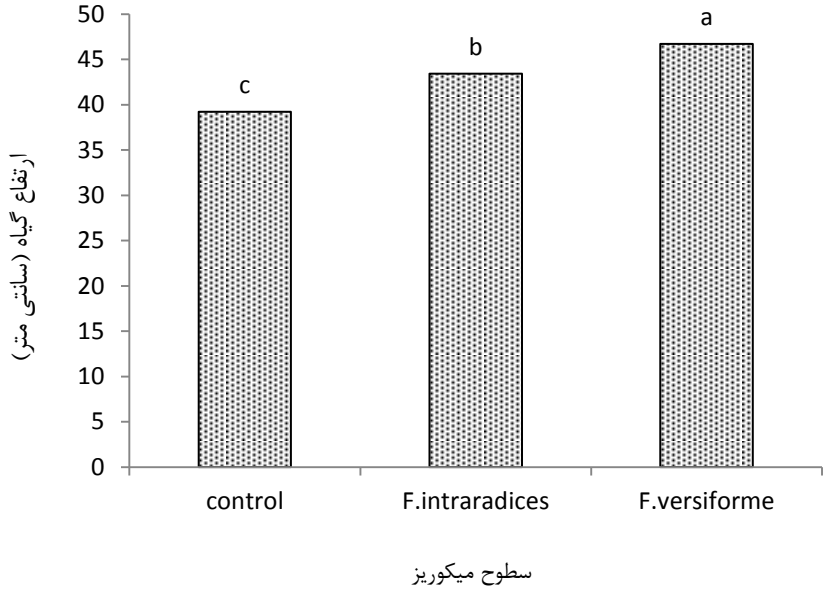
۴-۱- اثر تیمارهای بیوچار، میکوریز و کود اوره بر خصوصیات رویشی ذرت

۴-۱-۱- ارتفاع گیاه

بر اساس نتایج جدول (۴-۱) واقع در پیوست اثر تیمار میکوریز بر ارتفاع گیاه ذرت در سطح یک درصد معنی دار شد و سایر فاکتورها و اثرات متقابل دوگانه و سه گانه معنی‌دار نگردید. مقایسه میانگین‌ها (شکل ۴-۱) نشان داد که بالاترین ارتفاع گیاه مربوط به تیمار تلقیح شده با میکوریز *F.versiforme* (۴۶/۷۲سانتی‌متر) بود. نمودار شکل ۴-۱ نشان می‌دهد که بین تیمارها با شاهد اختلاف معنی داری وجود دارد، بطوریکه تیمار تلقیح شده با میکوریز*F. intraradices* ، ۱۰ درصد افزایش ارتفاع نسبت به شاهد و تیمار تلقیح شده با میکوریز *F.versiforme*، ۱۹ درصد افزایش نسبت به شاهد نشان داد.

تحقیقات نشان می‌دهد همزیستی گیاهان با قارچ میکوریز سبب افزایش رشد و بیوماس گیاه می‌گردد. این قارچ‌ها افزایش بیوماس را به وسیله افزایش جذب آب، مواد معدنی و تولید هورمون‌های رشد انجام می‌دهند. تولید هورمون‌های رشد مانند اکسین، سیتوکنین و جیبرلین به وسیله این قارچ‌ها اثبات شده است (اسویفت، ۲۰۰۴). در نتیجه، این امر موجب تولید فرآورده بیشتر و بهبود رشد نظیر ارتفاع گردید.

در مطالعات ویدادا و همکاران (۲۰۰۷) در مورد گیاه سورگوم تلقیح میکوریز ارتفاع گیاه را به طور معنی‌داری افزایش داد. مرادی و همکاران (۱۳۸۸) نیز بیان داشتند گیاه رازیانه تلقیح شده با میکوریز دارای ارتفاع بیشتری بود که با نتیجه حاصل شده از این تحقیق مطابقت دارد.



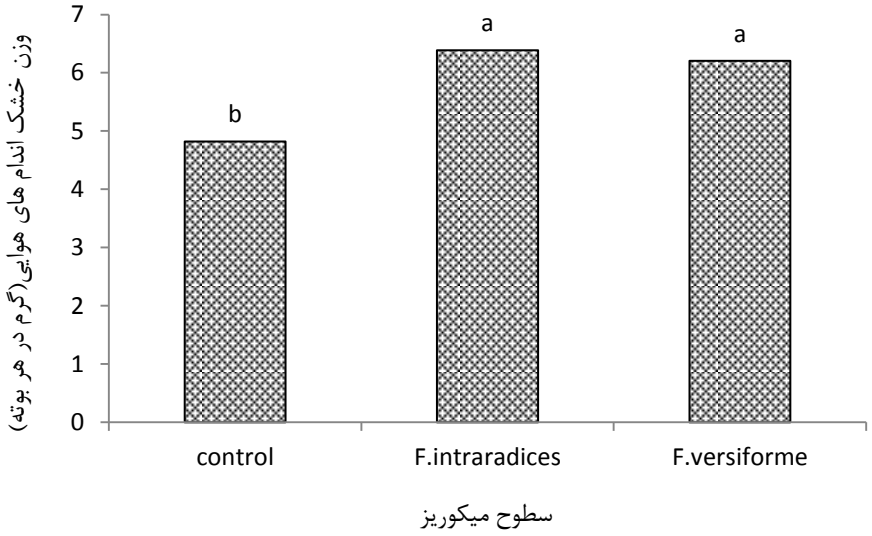
شکل۴-۱- اثر اصلی تیمار میکوریز بر ارتفاع گیاه (سانتی متر)

۴-۱-۲- وزن خشک اندام هوایی

نتایج جدول (۴-۱) نشان داد که اثر تیمار میکوریز بر وزن خشک اندام هوایی در سطح پنج درصد و اثر متقابل بیوچار × میکوریز در سطح یک درصد معنی دارگردید. همانطور که در شکل (۴-۲) دیده می‌شود، میکوریز *F. intraradices* (با میانگین ۶/۳۸۹ گرم در هر بوته) و میکوریز *F. versiforme* (با میانگین ۶/۲۰۷ گرم در هر بوته) در یک سطح آماری قرار دارند و نسبت به شاهد به ترتیب ۳۲ و ۲۸ درصد افزایش در وزن خشک اندام‌های هوایی نشان دادند.

ارمان و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند تلقیح قارچ میکوریز درگیاه نخود سبب افزایش معنی‌داری در وزن خشک ساقه نسبت به عدم تلقیح گردید. همچنین نتایج آراموگام و همکاران (۲۰۱۰) بر روی گیاه لوبیا چشم بلبلی نیز حاکی از افزایش وزن خشک ساقه در اثر تلقیح با میکوریز بود. استفاده از قارچ میکوریز سبب افزایش سرعت رشد گیاه شده و بر تخصیص و انتقال عناصر غذایی بین ریشه و ساقه اثر می‌گذارد، به طوری که با افزایش جذب عناصر غذایی و انتقال آن‌ها، وزن خشک اندام‌های هوایی افزایش می‌یابد (اورتاس و هریس، ۱۹۹۶) که این نتایج با نتایج حاصله مطابقت دارد.

الکراکی (۲۰۰۶) تلقیح بذرگوجه‌فرنگی را با *Funneliformis* mossoa تلقیح نمود که باعث افزایش ماده‌ی خشک ریشه، اندام هوایی و همچنین غلظت فسفر، پتاسیم، آهن، روی و مس شد. همچنین در گیاه نخود با تلقیح گلوموس موسه جذب فسفر، تعداد گره‌ها، وزن خشک ریشه، وزن خشک اندام هوایی و فعالیت نیتروژناز افزایش یافت (گارگ و چندل، ۲۰۱۱).



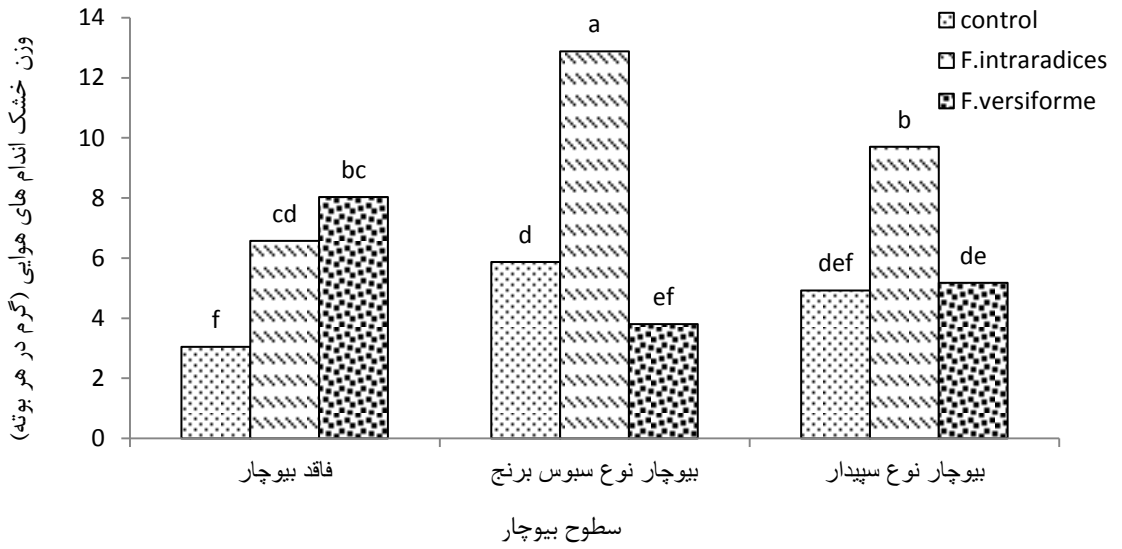
شکل ۴-۲- اثر اصلی میکوریز بروزن خشک اندام‌های هوایی

نمودار مقایسه میانگین اثر متقابل بیوچار- میکوریز (شکل ۴-۳) نشان می‌دهدکه بالاترین مقدار وزن خشک اندام هوایی مربوط به تیمار بیوچار سبوس برنج - میکوریز *نوع F. intraradices* (با میانگین تولید ۱۲/۸۸گرم در هر بوته) بود و پایین‌ترین مقدار مربوط به تیمار فاقد بیوچار -فاقدمیکوریز (با میانگین تولید ۳/۰۴۶ گرم در هر بوته) بود .

با توجه به نمودار تیمار بیوچار سبوس برنج - میکوریز *نوع F. intraradices* (با میانگین تولید ۸۸ /۱۲گرم در هر بوته) وزن خشک اندام هوایی را ۴/۲۲ برابر نسبت به تیمار فاقد بیوچار – فاقد میکوریز (با میانگین تولید ۳/۰۴۶ گرم در هر بوته) افزایش داد. چنین به نظر می‌رسد که کاربرد بیوچار در گیاهان تلقیح شده با گونه‌های مایکوریز *F. intraradices* باعث افزایش وزن خشک برگ می‌گردد.

نتایج هانی و همکارانش (۱۳۸۱) نیز حاکی از آن بود که تیمارهای میکوریز، فسفر و میکوریز- فسفر تأثیرمثبت و معنی داری بر روی صفت میانگین وزن خشک کل بوته ها و ارتفاع گیاه داشتند.

نتایج حاکی از آن است که کاربرد بیوچار در افزایش رشد گیاه موثر بود. علت این امر مـی توانـد ایـن گونه باشد که بیوچار باعث افزایش حاصلخیزی خاک، افزایش رشدگیاه و توسعه ریشه می شود. نیشیو در سال۱۹۹۶ اشاره می کندکه بکارگیری بیوچار باعث تحریـک قـارچ مـایکوریزا آرباسـکولار بصـورت طبیعی در خاک می شود و باعث افزایش رشد گیاه می شود.



شکل۴-۳- اثر متقابل بیوچار و میکوریز بر وزن خشک اندام هوایی

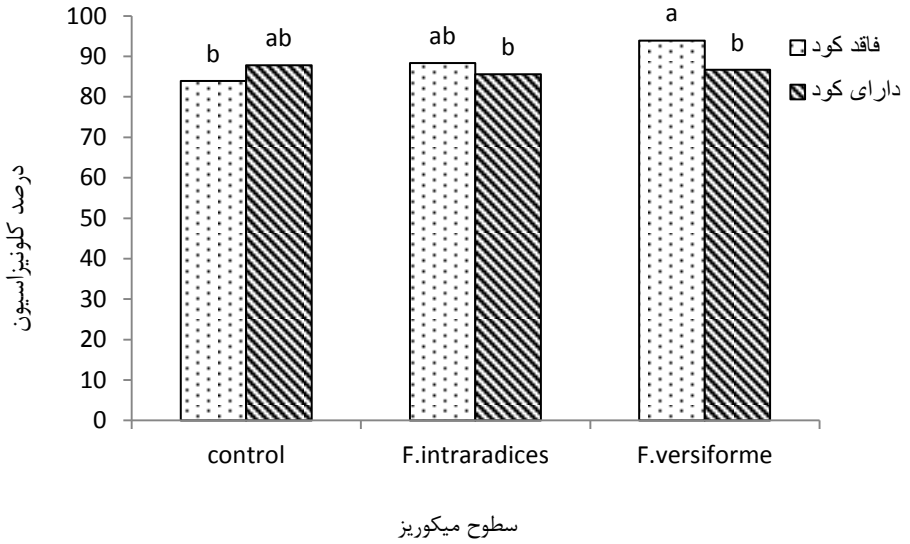
۴-۱-۳- درصد کلونیزاسیون ریشه

نتایج جدول (۴-۱) نشان داد که تأثیر تیمار میکوریز × کود بر درصد کلونیزاسیون ریشه در سطح پنج درصد معنی دار بود و سایر فاکتورها معنی‌دار نگردید.

نمودار اثر متقابل میکوریز-کود (شکل۴-۴) نشان داد کـه تیمـار فاقـد کـود و دارای میکـوریز نـوع *F. versiforme* بالاترین میزان کلونیزاسیون را داشت کـه نسـبت بـه شـاهد ۱۱/۹۲ درصـد افـزایش داشت.

درخاک‌های زراعی، کود دهی معمولاً باعث کاهش کلونیزاسیون ریشه می‌گردد. در مواردی دیده شده است که مصرف کودهای شـیمیایی فسـفر (فـی و همکـاران، ۱۹۹۶)، نیتـروژن (الکسـاندر و فییرلـی،

۱۹۸۳) سبب کاهش میزان کلونیزاسیون ریشه شده است، لیکن در خاک‌هایی کـه بـه شـدت از نظـر عناصر غذایی فقیر می‌باشند کود دهی گاهاً افزایش کلونیزاسیون ریشه را در پی دارد (هایمن، ۱۹۷۵). برخی منابع افزایش درصد کلونیزاسیون را در اثر تلقیح میکوریز گزارش نمودند. به عنوان مثال، نتـایج پژوهش اختر و صدیقی (۲۰۰۸) و آلوش و همکاران (۲۰۰۰) بیانگر افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه نخود با تلقیح میکوریز بود. همچنین در نتایج تحقیقات سبنور و لکشمن (۲۰۰۹) و ثواقبی و همکاران (۱۳۸۹)، تلقیح قارچ میکوریز اثر معنی‌داری بر درصد کلونیزاسیون گیاه کنجد و گندم داشت.



شکل ۴-۴- اثر متقابل میکوریز و کود بر درصد کلونیزاسیون

۴-۲- اثر تیمارهای مورد مطالعه بر نیترات خاک و محلول آبشویی شده

۴-۲-۱- نیترات خاک در عمق ۱۰ سانتیمتری

نتایج جدول (۴-۲) نشان داد که اثر اصلی بیوچار، میکوریز و اثر متقابل بیوچار × میکوریز بر نیترات خاک در عمق ۱۰ سانتیمتری در سطح یک درصد معنی‌دار شده است.

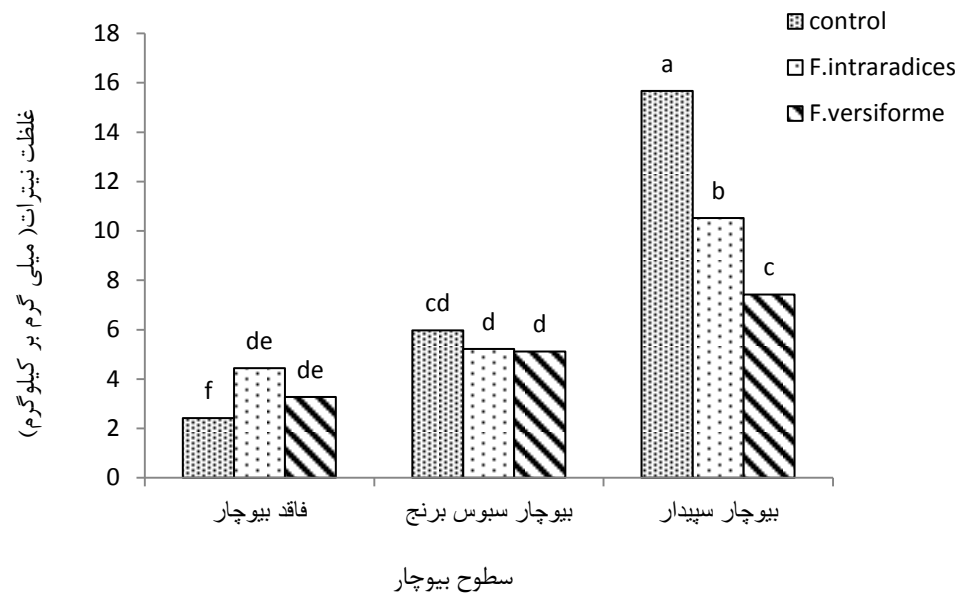
نمودار اثر متقابل تیمارهای بیوچار- میکوریز (شکل ۴-۵) نشان می‌دهد که بین تیمارها با یکدیگر اختلاف معنی‌داری وجود دارد. مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای بیوچار- میکوریز (شکل ۴-۵) نشان داد که تیمار بیوچار سپیدار و فاقد میکوریز (با میانگین ۱۵/۶۷ میلی گرم بر کیلوگرم) بالاترین

مقدار نیترات و تیمار فاقد بیوچار و فاقد میکوریز (با میانگین۲/۴۱۱ میلی گرم بر کیلوگرم) پایین-ترین مقدار نیترات را داشتند.

تعداد محدودی از مطالعات نشان می‌دهد که بیوچار می تواند در برخی از خاکها و بازه‌های زمانی، آبشویی نیترات را کاهش دهد (دینگ و همکاران، ۲۰۱۰). با توجه به نمودار۴-۶ تیمارهای سبوس برنج -فاقد میکوریز، سبوس برنج- *F.intraradices* و سبوس برنج_*F.versiforme* به ترتیب ۲/۴۸، ۲/۱۶ و۲/۱۲ برابر نیترات را نسبت به شاهد افزایش دادند. ولی سپیدار- فاقد میکوریز، سپیدار-*F.intraradices* و سپیدار-*F.versiforme* به ترتیب ۶/۵ و ۴/۳۶ و ۳/۰۸ برابر نیترات را نسبت به شاهد افزایش داد. به نظر می‌رسد که بیوچار با ایجاد بارهای وابسته به pH باعث جذب آنیون‌های نیترات شده است.

وارناک و همکاران (۲۰۰۷) بیان داشتند که بیوچار باعث تحریک جامعه میکروبی خاک بویژه قارچ-های میکوریزی می‌شود که به شدت برای چرخه تغذیه مهم هستند. دلیل این امر به طور کامل مشخص نشده است اگرچه چند فرضیه نیز مطرح شده ولی به طور کلی بنظر می‌رسد که ترکیبی از فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی باعث کاهش شستشوی مواد مغذی شده است.

نیتروژن جزء عناصری است که تحقیقات نشان داده گیاهان میکوریزی جذب آن را بالا برده اند (مارشنر و دل، ۱۹۹۴). هیفهای گیاهان میکوریزی این توانایی را دارند که نیتروژن خاک را جذب و به ریشه گیاهان منتقل کنند (جورج و همکاران ۱۹۹۴). به همین دلیل به نظر می رسد که جذب نیترات در خاک توسط ریسه های میکوریزی صورت گرفته است. البته دیده شده که هیفهای قارچ جذب نیتروژن از نوع آمونیم را به نیترات ترجیح می دهند (مارشنر و دل، ۱۹۹۴).



۴- ۵- اثر متقابل بیوچار- میکوریز بر میزان نیترات در عمق ۱۰ سانتیمتر

۴-۲-۲- نیترات خاک در عمق ۲۰ سانتیمتری

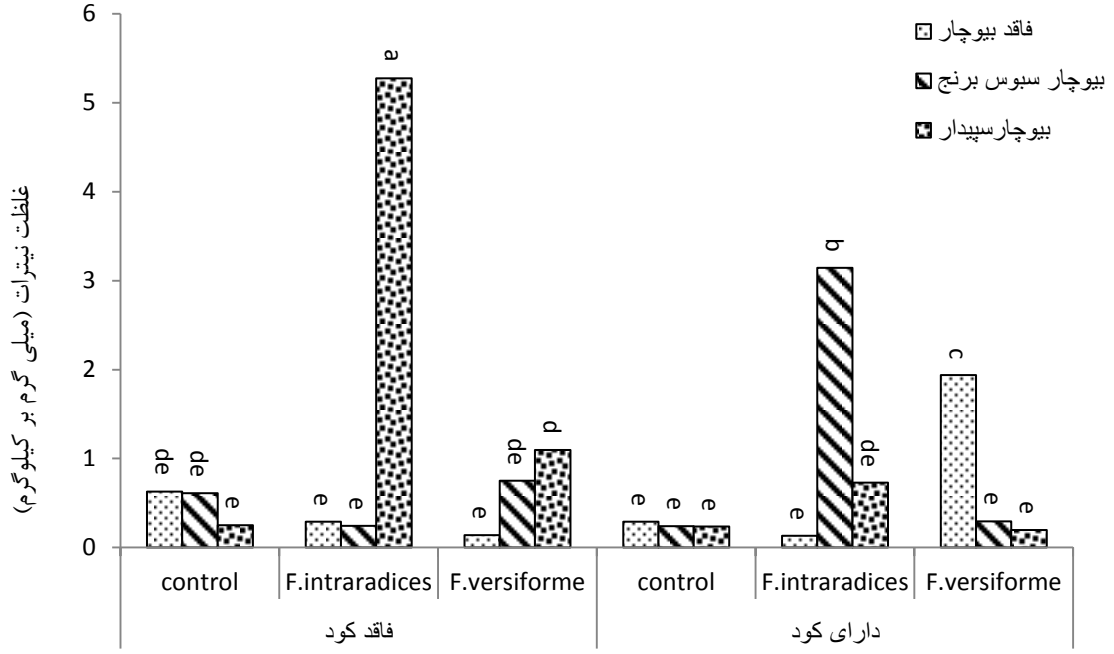
از نتایج جدول (۴-۲) چنین استنباط می‌گردد که اثر اصلی بیوچار، میکوریز ، اثرات متقابل بیوچار × میکوریز، بیوچار × کود و اثر اصلی بیوچار × میکوریز × کود در سطح یک درصد و اثر اصلی کود و اثرات متقابل میکوریز × کود در سطح پنج درصد ($p\leq$۰/۰۵) تاثیر معنی داری بر نیترات خاک در عمق ۲۰ سانتیمتری داشته است.

نمودار مقایسه میانگین اثرات سه گانه تیمارها (شکل ۴-۶) نشان داد که بالاترین میزان نیترات در عمق ۱۰ سانتیمتر مربوط به تیمار بیوچار سپیدار- میکوریز *F.intraradices* - فاقد کود است که ۸/۳۸ برابر تیمار فاقد بیوچار-فاقد میکوریز- فاقد کود نیترات داشت و پایین‌ترین میزان نیترات مربوط به تیمار فاقد بیوچار- *F.intraradices* - دارای کود (با میانگین ۰/۱۳ میلی گرم برکیلوگرم) بود.

همچنین تیمار بیوچار سبوس برنج -میکوریز *F.intraradices* – دارای کود و تیمار فاقد بیوچار - میکوریز *F.versiforme* – دارای کود به ترتیب ۴/۹۹ و ۳/۰۷۹ درصد نسبت به شاهد باعث حفظ نیترات خاک شدند.

می‌توان گفت بیوچار سپیدار و بیوچار سبوس برنج با جذب اختصاصی آنیون‌های نیترات در بین سطوح تبادلی خود بیشترین تاثیر را در حفظ نیترات در خاک داشته‌اند.

بیوچار به علت داشتن سطح ویژه و ظرفیت تبادل یونی بالا ،توانایی جذب آمونیوم و نیترات را دارد (میشرا و پاتل،۲۰۰۹). در تحقیقی نیز که ینگ یائو و همکاران درسال ۲۰۱۲ بر روی آبشویی نیترات از یک خاک شنی انجام دادند به این نتیجه رسیدند که بیوچارهای تهیه شده از نیشکر، پوست بادام زمینی ، فلفل و بامبو توانستند آبشویی نیترات را به مقدار زیادی کاهش دهند که با نتایج حاصل مطابقت نشان می‌دهد.



شکل ۴- ۶- اثر متقابل بیوچار- میکوریز- کود بر میزان نیترات خاک در عمق ۲۰ سانتیمتر

۴-۲-۳- نیترات آبشویی شده

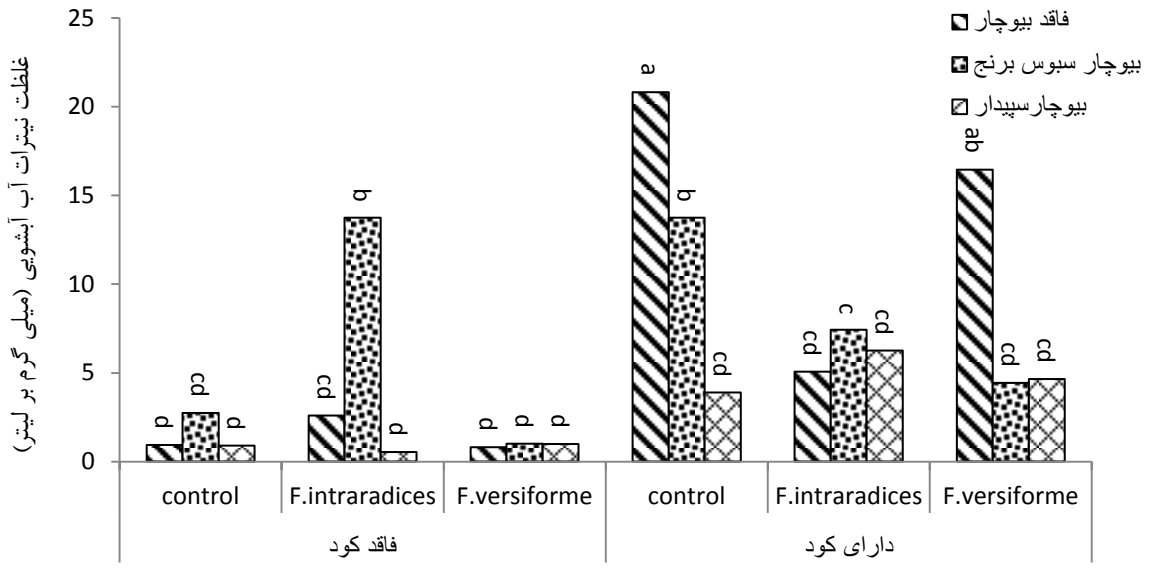
از نتایج جدول (۴-۲) چنین استنباط می‌شود که تیمار بیوچار، کود، تیمار بیوچار × کود، بیوچار × میکوریز × کود اثر معنی‌داری در سطح یک درصد و تیمار میکوریز، بیوچار × میکوریز و میکوریز × کود اثر معنی داری درسطح پنج درصد بر نیترات آبشویی داشتند.

نمودار مقایسه میانگین‌های اثر متقابل بیوچار-میکوریز- کود (شکل ۴-۷) نشان داد که بالاترین میزان نیترات آبشویی شده در تیمار فاقد بیوچار- فاقد میکوریز-دارای کود (با میانگین ۲۰/۸۲ میلی گرم بر لیتر) بود که ۲۲/۴۸ برابر شاهد بود. کمترین مقدار میانگین نیترات آبشویی شده، مربوط به تیمار بیوچار سپیدار– میکوریز *F.intraradices*- فاقد کود بود.

تیمارهای بیوچار سبوس برنج-فاقد میکوریز-دارای کود و فاقد بیوچار – میکوریز *F.versiforme*- دارای کود به ترتیب نسبت به تیمار فاقد بیوچار- فاقد میکوریز- دارای کود ۱۴/۸۵ و ۱۷/۷۷ برابر شاهد نیترات داشتند.

در تحقیقی لیرد و همکاران (۲۰۱۰) تاثیر سطوح مختلف بیوچار (۰ و ۵ و ۱۰ و ۲۰ گرم در کیلوگرم خاک) را در کاهش آبشویی N و K وP و Na و Mg و Ca بررسی کردند. این محققان اظهار داشتند که تمامی سطوح بیوچار باعث کاهش آبشویی تمام عناصر فوق شد، با این حال مشاهده کردند که مقادیر بالاتر بیوچار کارایی بیشتری از خود نشان داده است.

تحقیقات نشان داده است که بیوچار نقش مهمی در افزایش حفظ مواد مغذی و در نتیجه کاهش شستشوی آنها دارد (لهمن و همکاران، ۲۰۰۳؛ اشتاینر و همکاران، ۲۰۰۷؛ اشتاینر و همکاران، ۲۰۰۸؛ نواک و همکاران، ۲۰۰۹). سطح ویژه زیاد بیوچار آنرا قادر می‌سازد تا بتواند کاتیون‌های تبادلی را حفظ کند (لیانگ و همکاران، ۲۰۰۶).



شکل ۴-۷- اثر متقابل بیوچار- میکوریز-کود در میزان نیترات آب آبشویی شده

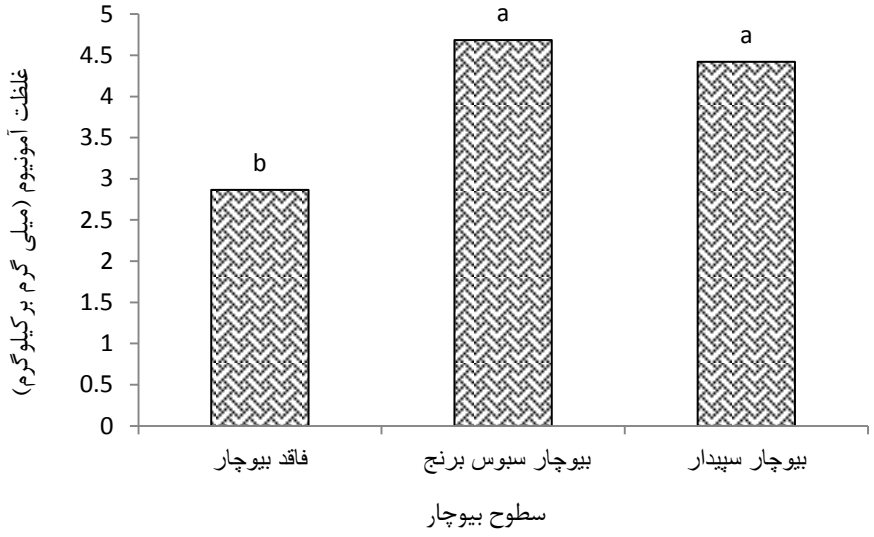
۴-۳- اثر تیمارهای مورد مطالعه بر آمونیوم خاک و محلول آبشویی شده

۴-۳-۱- آمونیوم محلول خاک در عمق ۱۰ سانتیمتری

از نتایج جدول (۴-۳) چنین استنباط می‌شود که تیمار بیوچار و بیوچار × میکوریز اثر معنی داری درسطح یک درصد بر آمونیم خاک در عمق ۱۰ سانتیمتری داشت. با توجه به شکل (۴-۸)، تیمار بیوچار سبوس برنج (با میانگین ۴/۶۸۵ میلی گرم بر کیلوگرم) بالاترین میزان آمونیوم را داشت که نسبت به شاهد ۶۳/۴۶ درصد افزایش نشان داد.

این نتیجه نشان می‌دهد که بیوچار سبوس برنج و بیوچار سپیدار به دلیل داشتن سطوح تبادلی با بار منفی توانسته اند کاتیون‌های آمونیوم را جذب خود کنند. احتمالا" جذب آمونیوم توسط بیوچار از فرآیند نیتریفیکاسیون می‌کاهد، لذا باعث می‌شود که نیترات موجود در آب آبشویی در تیمارهای حاوی بیوچار به شدت کاهش یابد(شکل ۴-۷).

آسادا و همکاران (۲۰۰۲) نیز در تحقیقی بیان داشتند که بیوچار می‌تواند آمونیوم را از خاک جذب کند.



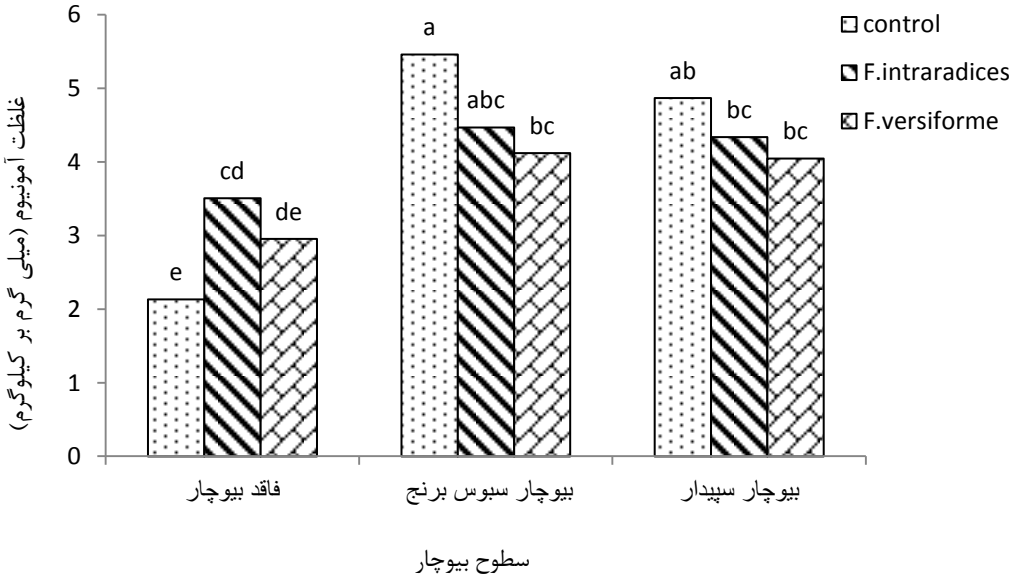
شکل ۴- ۸- اثر اصلی بیوچار بر میزان آمونیوم خاک در عمق ۱۰ سانتیمتر

با توجه به نمودار مقایسه میانگین (شکل ۴-۹)، بالاترین میزان آمونیوم مربوط به تیمار بیوچار سبوس برنج – فاقد میکوریز (با میانگین ۵/۴۶۸ میلی گرم برکیلوگرم) بود که با تیمار بیوچار سپیدار- فاقد میکوریز در یک سطح آماری قرار گرفت. مقدار آمونیوم در تیمار بیوچار سبوس برنج- میکوریز*F.intraradices* و تیمار بیوچار سپیدار- میکوریز *F.intraradices* نیز بترتیب ۲/۰۹ و ۲/۰۳ برابر شاهد بود.

همچنین تیمار بیوچار سبوس برنج- میکوریز *F.versiforme* و تیمار بیوچار سپیدار- میکوریز *F.versiforme* نیز ۰/۹۳ و۰/۸۹ درصد بیشتر از شاهد آمونیوم را جذب کردند. پایین ترین مقدار آمونیوم مربوط به تیمار فاقد بیوچار- فاقد میکوریز (با میانگین ۲/۱۳۵ میلی گرم برکیلوگرم) بود.

می‌توان گفت که میکوریز در همزیستی با بیوچار مقداری از آمونیوم که بیوچار جذب خود کرده است را در اختیار گیاه قرار داده است. همچنین با توجه به نتایجی که در شکل ۴-۶ آمده می‌توان گفت با توجه به سیر تبدیلی آمونیوم به نیتریت و سپس نیترات چون میزان کمی آمونیوم در این عمق جذب شده لذا غلظت نیترات را در همین عمق افزایش داده است.

دینگ و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که بیوچار بامبو یون های آمونیوم را توسط تبادل کاتیونی جذب کرد و باعث کاهش سرعت حرکت عمودی آمونیوم به لایه های عمیق تر خاک شد. جذب نیترات آمونیم بوسیله گیاهان میکوریزی نسبت به نیتریت آمونیم بدلیل تحرک کمتر نیترات آمونیم نسبت به نیتریت آمونیم دارای اهمیت بیشتری است. اگر چه جذب هر دو شکل نیتروژن ممکن است در گیاهان میکوریزی افزایش یابد. همچنین تحقیقات نشان داده که قارچ‌های میکوریزا قادرند مقدار بیشتری از نیتروژن را به گیاه انتقال دهند (گووینداراجلو و همکاران، ۲۰۰۵) و بعضی گزارشها وجود دارد که قارچ میکوریزا غلظت نیتروژن را در گیاهان لگوم و غیر لگوم افزایش می‌دهد (گار و ادهولیا، ۲۰۰۲).



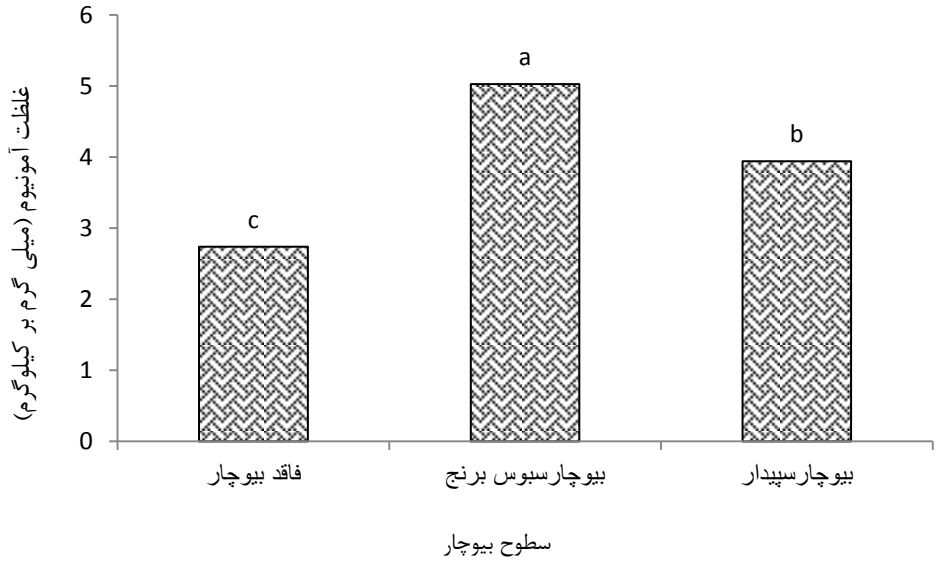
شکل ۴-۹- اثر متقابل بیوچار- میکوریز بر میزان آمونیوم خاک در عمق ۱۰ سانتیمتر

۴-۳-۲- آمونیوم محلول خاک در عمق ۲۰ سانتیمتری

نتایج جدول (۴-۳) نشان داد که تیمار بیوچار اثر معنی داری درسطح یک درصد بر آمونیم خاک در عمق ۲۰ سانتیمتری داشت. با توجه به نمودار (۴-۱۰) تیمار بیوچار سبوس برنج بالاترین غلظت

آمونیوم (با میانگین ۵/۰۲۶ میلی گرم بر کیلوگرم) و تیمار فاقد بیوچار (با میانگین ۲/۷۳۷ میلی گرم بر کیلوگرم) پایین‌ترین غلظت آمونیوم را داشتند.

گزارش شده است که بیوچار توانایی جذب آمونیوم حل شده ، جذب نیترات، فسفات ، دیگر املاح یونی و همچنین دیگر املاح آبگریز را از محلول دارد (لهمن وهمکاران، ۲۰۰۳).



شکل ۴-۱۰- اثر اصلی بیوچار بر غلظت آمونیوم در عمق ۲۰ سانتیمتر

ماهرصالح و همکاران(۲۰۱۰) ، حذف یون آمونیوم از فاضلاب ترکیبی توسط بیوچار تهیه شده از پوسته بادام زمینی، پوسته برنج، پوسته دانه آفتابگردان و کاه گندم را مورد بررسی قرار دادند که نشان دادند بالاترین میزان جذب مربوط به بیوچار بادام زمینی بود. در آزمایشی که ینگ یائو و همکاران درسال ۲۰۱۲ بر روی آبشویی آمونیوم از یک خاک شنی انجام دادند، بیوچارهایی از نیشکر، پوست بادام زمینی، فلفل و بامبو تهیه شد که بیوچار پوست بادام زمینی بالاترین مقدار آمونیوم را جذب کرد.

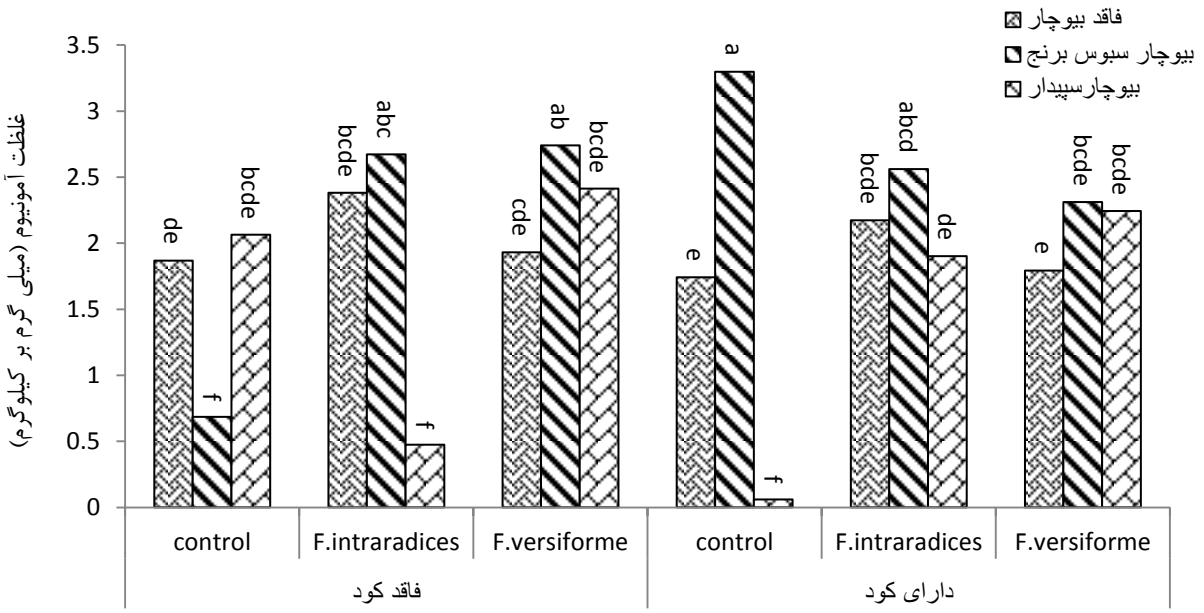
۴-۳-۳- آمونیوم آب آبشویی

از نتایج جدول (۴-۳) چنین استنباط می‌شود که تیمار بیوچار، میکوریز، بیوچار × میکوریز، بیوچار × کود و بیوچار × میکوریز × کود اثر معنی داری درسطح یک درصد بر آمونیم آب آبشویی داشت.

نمودار مقایسه میانگین‌های اثر متقابل بیوچار- میکوریز- کود (شکل ۴-۱۱) نشان داد که بالاترین غلظت آمونیوم مربوط به تیمار بیوچارسبوس برنج -فاقد میکوریز-دارای کود (با میانگین ۳/۲۹۷ میلی گرم برلیتر) بود که نسبت به فاقد بیوچار- فاقد میکوریز-فاقد کود ۷۶ درصد افزایش داشت.

تیمار بیوچار سپیدار- فاقد میکوریز- دارای کود (با میانگین ۰/۰۶ میلی گرم برلیتر) پایین‌ترین غلظت آمونیوم را داشت که نسبت به شاهد ۹۶/۷۸ درصد کاهش نشان داد. این نتایج تاثیر مثبت بیوچار سبوس برنج را در کاهش آبشویی آمونیوم نشان داد.

ژنگ زنگ و همکاران در سال ۲۰۱۳ بیان کردند که بیوچار حاصل از Thalia dealbata بالاترین مقدار جذب آمونیوم را از محلول آبی در برداشت. نمودار مقایسه میانگین نشان می‌دهد که تیمار بیوچار سپیدار- فاقد میکوریز- دارای کود و تیمار بیوچار سبوس برنج-فاقد میکوریز-دارای کود به ترتیب ۵۶ و ۹۹ درصد کاهش نسبت به تیمار فاقد بیوچار- فاقد میکوریز- دارای کود نشان دادند که نشاندهنده تاثیر فوق العاده بیوچار سپیدار در حفظ و نگه‌داری آمونیوم و جلوگیری از شستشوی آن می‌باشد. سارخوت وهمکاران در سال ۲۰۱۳ درآزمایشی اثر بیوچار را بر جذب آمونیوم و فسفات بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که بیوچار توانست حدود ۹۱-۷۸ درصد از آمونیوم و ۶۰ درصد از فسفات را جذب کند. همچنین گزارش شده است که بیوچار می تواند در برخی از خاکها و بازه های زمانی، باعث افزایش جذب آمونیوم از طریق افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) شود (لیانگ وهمکاران،۲۰۰۶) و نیز میزان نیتریفیکاسیون را در خاکهای جنگلی تغییر دهد(دلوکا و همکاران، ۲۰۰۶).



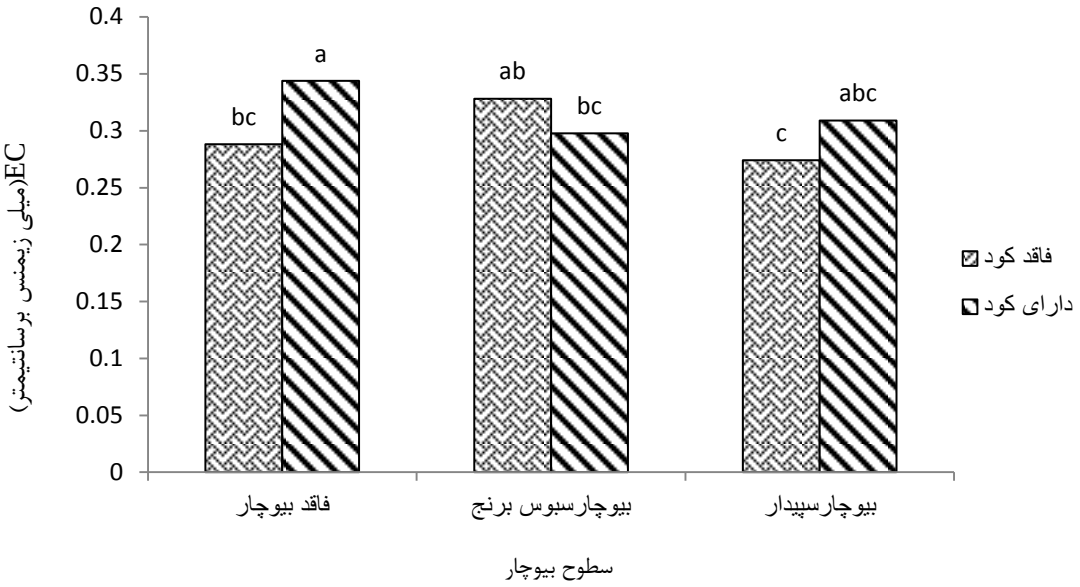
شکل ۴-۱۱- اثر متقابل بیوچار-میکوریز-کود بر غلظت آمونیوم آب آبشویی

۴-۴- اثرات تیمارهای مورد مطالعه بر میزان EC سوسپانسیون خاک و محلول آبشویی شده

۴-۴-۱- میزان EC سوسپانسیون خاک در عمق ۱۰ سانتیمتری

نتایج جدول (۴-۴) نشان داد که اثر متقابل بیوچار × کود بر مقدارهدایت الکتریکی سوسپانسیون خاک در عمق ۱۰ سانتیمتری در سطح یک درصد معنی دار شد و سایر تیمارها معنی دار نشد.

با توجه به نتایج، تیمار فاقد بیوچار- دارای کود بالاترین مقدارEC و تیمار بیوچار سپیدار- فاقد کود پایین‌ترین مقدار EC را داشت که با شاهد اختلاف معنی داری دارند. از بین تیمارهای دارای کود، تیمار بیوچار سبوس برنج - دارای کود پایین‌ترین EC را داشت که این امر نشان‌دهنده اثر بیوچار در کاهش EC بود. تیمار بیوچار سپیدار-دارای کود و بیوچار سبوس برنج - دارای کود به ترتیب ۱۱ و ۱۳ درصد کاهش نسبت به شاهد نشان داد.

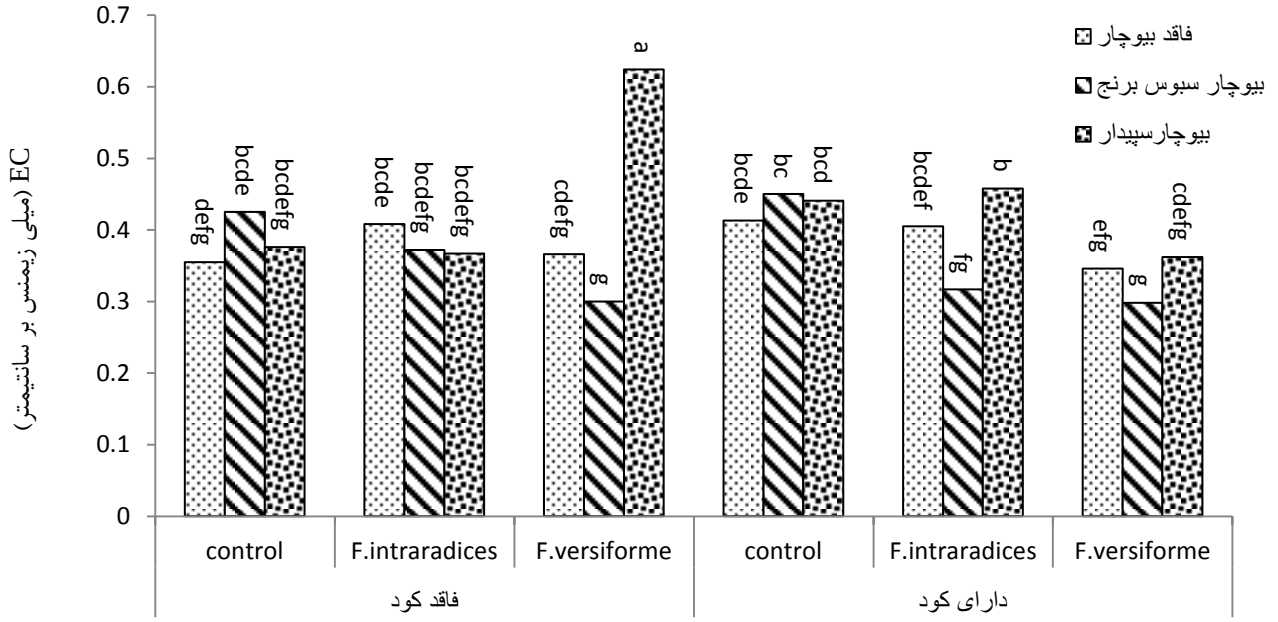


شکل ۴- ۱۲- اثر متقابل بیوچار-کود برمیزان EC سوسپانسیون خاک در عمق ۱۰ سانتیمتر

۴-۴-۲- میزان EC سوسپانسیون خاک در عمق ۲۰ سانتیمتری

نتایج جدول (۴-۴) نشان داد که اثر اصلی بیوچار، اثر متقابل بیوچار × میکوریز ، میکوریز × کود و اثر متقابل بیوچار × میکوریز × کود در سطح یک درصد معنی دار است. مقایسه میانگین‌های اثر متقابل بیوچار- میکوریز- کود و نمودار آن (شکل ۴-۱۳) نشان داد که بالاترین میزان EC مربوط به تیمار بیوچار سپیدار–میکوریز *F.versiforme*- فاقد کود بود و پایین ترین میزان EC مربوط به تیمار بیوچار سبوس برنج- میکوریز*F.versiforme*-دارای کود بود.

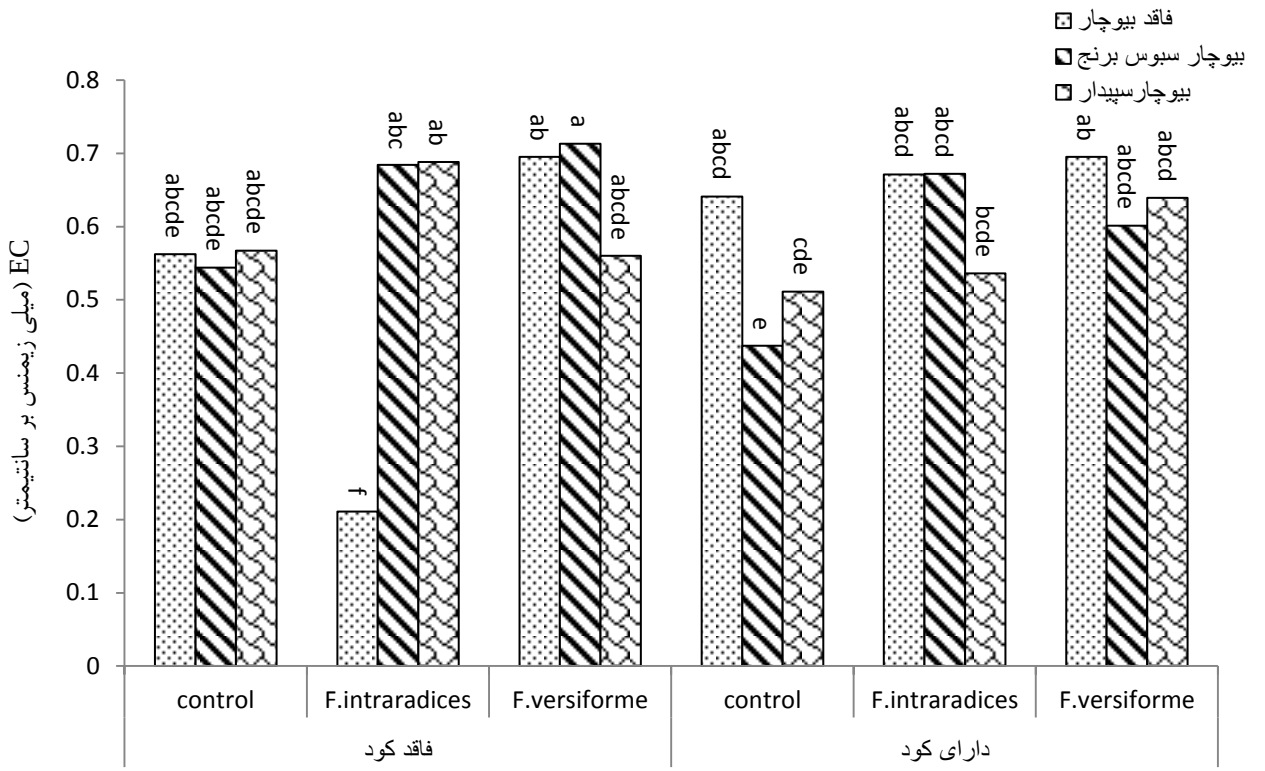
اگرچه آب نیگوسی و همکاران در سال ۲۰۱۲ به این نتیجه رسیدند که میزان EC، pH ، CEC، کربن آلی ، ازت کل و فسفر قابل دسترس همراه با مصرف بیوچار ذرت در خاک آلوده به کروم افزایش یافت. نتایج نشان می‌دهد که EC عصاره خاک در عمق ۲۰ سانتیمتری بیشتر از EC عصاره خاک در عمق ۱۰ سانتیمتر است. دلیل این امر را می‌توان حرکت املاح از عمق ۱۰ سانتیمتری به عمق پایین‌تر توسط آب آبشویی دانست.



شکل ۴-۱۳- اثر متقابل بیوچار- میکوریز-کود بر میزان EC سوسپانسیون خاک در عمق ۲۰ سانتیمتر

۴-۴-۲- میزان EC آب آبشویی

نتایج جدول (۴-۴) نشان داد که اثر اصلی کود، اثر متقابل بیوچار × میکوریز، میکوریز × کود، بیوچار × میکوریز × کود بر میزان هدایت الکتریکی آب آبشویی در سطح یک درصد معنی دار شد. تیمار بیوچارسبوس برنج – میکوریز *F.versiforme* - فاقد کود بالاترین میزان EC و تیمار فاقد بیوچار- میکوریز*F.intraradices* - فاقد کود پایین ترین میزان EC را دارد (شکل ۴-۱۴).



شکل ۴-۱۴- اثر متقابل بیوچار، میکوریز و کود بر میزان EC آب آبشویی

۴-۵- اثرات تیمارهای مورد مطالعه بر میزان pH سوسپانسیون خاک و محلول آبشویی شده

۴-۵-۱- میزان pH سوسپانسیون خاک در عمق ۱۰ سانتیمتری و محلول آبشویی شده

نتایج جدول (۴-۵) نشان داد که هیچ کدام از تیمارها بر میزان pH عصاره خاک در عمق ۱۰ سانتیمتری و محلول آبشویی شده معنی دار نشد. صالح راستین و همکاران (۱۳۸۱) در آزمایشی که اثر مواد آلی را (کاه وکلش گندم و کود دامی) بر تغییرات pH بررسی می‌کرد به این نتیجه رسیدند که از بین تیمارهای ۱۰، ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار تنها تیمار ۴۰ تن در هکتار سبب کاهش pH معنی‌دار شد و سایر تیمارها معنی‌دار نشد.

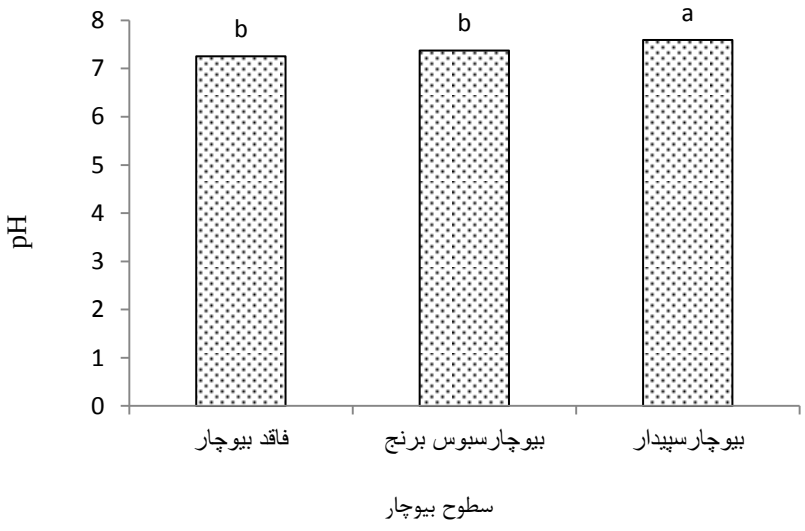
۴-۵-۲- میزان pH سوسپانسیون خاک در عمق ۲۰ سانتیمتری

نتایج جدول (۴-۵) نشان داد که اثر اصلی بیوچار در سطح یک درصد بر میزان pH سوسپانسیون خاک در عمق ۲۰ سانتیمتری معنی دار شد و سایر تیمارها معنی دار نشد. نمودار مقایسه میانگین

(شکل۴-۱۵) نشان داد که بالاترین میزان pH مربوط به تیمار بیوچار سپیدار و پایین ترین میزان مربوط به تیمار فاقد بیوچار بود.

می‌توان گفت که تغییر در فعالیت میکروبی و ساختار جمعیتی میکروارگانیسم‌ها اثر غیر مستقیم بیوچار است که از سایر اثرات آن برخاک مثل تغییرات pH و فراهمی عناصر حاصل شده است (جونس و همکاران،۲۰۱۲). افزودن بیوچار به خاک باعث افزایش pH و CEC درخاک می‌شود (توپولیانتز و همکاران، ۲۰۰۲). کاربرد بیوچار همچنین ظرفیت جذب کلی خاک را بهبود می بخشد و در نتیجه آن ممکن است سمیت، انتقال و سرنوشت فلزات سنگین در خاک را تحت تاثیر قرار دهد(ورجین و همکاران، ۲۰۰۹).

آبب نیگوسی و همکاران درسال ۲۰۱۱ به منظور بررسی اثر بیوچار بر خواص فیزیکی ۱۲ نمونه خاک که از اعماق ۱۵-۰ سانتیمتر برداشتند دریافتند که pH به میزان ۳۶/۴ درصد افزایش یافت.



۴- ۱۵- اثر اصلی بیوچار بر میزان pH سوسپانسیون خاک در عمق ۲۰ سانتیمتر

فصل پنجم:
نتیجه گیری و
پیشنهادها

۵-۱- نتیجه گیری

تحقیق حاضر نشان داد که افزایش جمعیت قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در خاک، می‌تواند سبب افزایش تولید در گیاه ذرت (*Zea mays* L.) شود. همچنین حضور این قارچ توانست به طور چشمگیری مقدار نیترات و آمونیوم آبشویی شده را کاهش دهد. علت کاهش آبشویی را میتوان در تسهیل جذب نیتروژن، افزایش رشد ریشه‌های موئین، افزایش جذب آب و کارایی بیشتر استفاده از آب، تشدید فعالیت تثبیت نیتروژن به دلیل بهبود تغذیه گیاهان میزبان و بهبود خصوصیات فیزیکی خاک تحت تأثیر همزیستی میکوریزی دانست. بیوچار نیز با خاصیت ظرفیت جذب بالای نیترات و آمونیوم در ساختمان خود و نگهداری بیشتر آنها در منطقه ریشه، از خروج نیترات و آمونیوم خاک جلوگیری نمود و نهایتا" سبب افزایش جذب این عناصر در گیاه گردید. با توجه به ویژگی‌های بیوچار از قبیل افزایش دهندگی CEC خاک ، افزایش رشدگیاه و توسعه ریشه، افزایش قدرت نگه داشت موادمغذی گیاه، بهبود بخشیدن به ساختار و پایداری خاک، بهبود بخشیدن به ظرفیت نگه داشت و نفوذپذیری خاک ، تهیه آسان و سرانجام قیمت اقتصادی مناسب، استفاده از این مواد برای کشاورزان توصیه می‌شود. به کارگیری این ترکیبات همراه با کودهای شیمیایی می تواند تأثیر کودهای شیمیایی را افزایش دهد و باعث مصرف بهینه این دسته از نهاده‌ها گردد.

در این تحقیق، استفاده از تیمارهای بیوچار، میکوریز و کود اوره توانست بر بسیاری از صفات مورد آزمایش تأثیر مثبت بگذارد. تأثیر بیوچار در کاهش آبشویی نیترات و آمونیوم بسیار بیشتر از میکوریز بود و تأثیر میکوریز در کاهش این صفت نسبت به تیمار شاهد بیشتر بود. مصرف قارچ میکوریز ، اثر بازدارنده ای بر روی کلونیزاسیون ریشه های میکوریزی گذاشت . اثر بیوچار در هر دو عمق خاک بر نیترات خاک معنی دار بود، به صورتیکه تأثیر بیوچار در ذخیره نیترات خاک نسبت به دیگر تیمارها بیشتر بود. شایان ذکر است برخی عوامل از قبیل ژنتیک گیاه، وضعیت عناصر خاک، کمبود مواد آلی و برخی عوامل زراعی نیز می‌تواند در نتایج بدست آمده دخیل باشد.

بررسی‌های اکولوژیک نشان داده است که استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی بالاخص کودهای فسفات و نیترات سبب تخریب اکوسیستم‌های زراعی می‌گردد و استفاده از جایگزین‌های مناسب از جمله اهداف کشاورزی اکولوژیک می‌باشد.

از سویی بررسی منابع نشان می دهد که استفاده از کودهای بیولوژیک از جمله میکوریز تأثیر نامناسبی بر بیولوژی و اکولوژی خاک ندارد، اما استفاده از کودهای شیمیایی می‌تواند باعث برهم زدن تعادل اکولوژیکی در خاک گردد.

در واقع نتایج حاصل از این تحقیق حاکی از آن است که استفاده از کود زیستی میکوریز ضمن آنکه باعث کاهش مصرف کودهای شیمیایی فسفر و نیتروژن می‌گردد از سوی دیگر موجب افزایش عملکرد نیز می‌شود. هم چنین می توان نتیجه گرفت با تلفیق کودهای نیتروژن و فسفر با کود بیولوژیک و بیوچار، عملکرد محصول نسبت به استفاده از کودهای شیمیایی افزایش می یابد که این نتایج در کاهش مصرف کودها، کاهش هزینه تولید و افزایش سود خالص کشاورزان کاربرد دارد.

در نتیجه می‌توان بیان نمود که تلقیح میکوریز می‌تواند به عنوان جایگزینی مناسب برای کود شیمیایی فسفر و نیتروژن در زراعت ذرت پیشنهاد گردد. از سوی دیگر با توجه به تأثیر معنی دار بیوچار و میکوریز بر کاهش آبشویی نیترات و آمونیوم، مصرف این دو اصلاح کننده باید در جلوگیری از آلودگی آبهای زیر زمینی مورد توجه خاص قرار گیرد.

۵-۲- پیشنهادها

الف) استفاده از قارچ میکوریز آربوسکولار گونه *Funneliformis intraradices* بعنوان کود بیولوژیک جهت افزایش تولید و عملکرد ذرت یکساله.

ب) ترویج و آموزش استفاده از کود های بیولوژیک و مواد افزودنی مانند بیوچار جهت تعادل عناصر غذایی خاک، افزایش تولیدات گیاهی و جلوگیری از خروج عناصری مانند نیتروژن از خاک.

ج) تحقیق پیرامون کاربرد سایر سطوح بیوچار و انواع مختلف آن در مورد جلوگیری از آبشویی نیترات در جهت انتخاب مناسب‌ترین سطح بیوچار با کارایی بالاتر.

د)بررسی تاثیر بیوچار بر قابلیت دسترسی بر سایر عناصر غذایی و عناصر سنگین در خاک

و) تحقیق و بررسی درباره تأثیر استفاده و بکارگیری قارچ میکوریز با مقادیر مختلف کود نیتـروژن بـر روی سایر گیاهان.

پیوست ها

جدول ۴-۱- جدول تجزیه واریانس صفات گیاهی مورد مطالعه در خاک

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		ارتفاع	وزن خشک اندام هوایی	درصد کلونیزاسیون
تکرار (R)	۲	۵۵۷/۴۲۱	۱/۷۱۵	۸/۷۹۶
بیوچار(B)	۲	۲۲/۰۸۸	۸/۱۱	۳/۲۴۱
میکوریز(M)	۲	۲۵۴/۳۱۰**	۱۳/۲۶۲*	۵۰/۴۶۳
کود اوره(N)	۱	۱۹/۵۶	۲/۹۹۶	۵۰/۴۶۳
B×M	۲	۲۶/۲۶۲	۱۲/۳۵۹**	۳۵/۱۸۵
B×N	۲	۱۰/۴۲۱	۰/۳۰۷	۱۶/۶۶۷
M×N	۲	۳/۷۵۵	۵/۴۴۴	۴۳/۰۵۶*
B×M×N	۴	۴۰/۴۲۸	۲/۶۲۸	۱۲۹/۱۶۷
خطا	۳۴	۲۵/۸۴۳	۳/۰۳۵	۸۸/۸۸۹

* و ** به ترتیب به مفهوم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد

جدول ۴-۲- جدول تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه (نیترات) در خاک

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		نیترات آب آبشویی	نیترات خاک عمق ۱۰ سانتیمتری	نیترات خاک عمق ۲۰سانتیمتری
تکرار (R)	۲	۳۶/۷۶۱	۱/۸۳۵	۱/۲۴۲
بیوچار(B)	۲	۱۰۸/۶۹۲**	۲۹۶/۹۲**	۲/۳۸۳**
میکوریز(M)	۲	۴۸/۸۱۱*	۳۴/۲۱۸**	۷/۵۸۷**
کود اوره(N)	۱	۸۱۴/۵۰۴**	۳۸/۶۹	۴/۸۹۸*
B×M	۲	۳۸/۵۳۲*	۴/۳۳	۰/۷۳**
B×N	۲	۸۷/۵۸۸**	۳/۶۰۳	۸/۵۶۵**
M×N	۲	۵۳/۴۲۲*	۰/۶۰۵	۰/۶۳۴*
B×M×N	۴	۴۸/۶۲۹**	۰/۴۷۲	۷/۸۰۲**
خطا	۳۴	۱۲/۲۶۵	۱/۹۷۲	۰/۱۸۹

* و ** به ترتیب به مفهوم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۳- جدول تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه (آمونیوم) در خاک

		میانگین مربعات		
منابع تغییرات	درجه آزادی	آمونیوم آب آبشویی	آمونیوم خاک عمق ۱۰ سانتیمتری	آمونیوم خاک عمق ۲۰سانتیمتری
تکرار (R)	۲	۰/۲۷۶	۴/۷۰۵	۱/۷۱۴
بیوچار(B)	۲	۳/۲۶۴**	۱۷/۳۹۱**	۰/۱۲۳
میکوریز(M)	۲	۱/۷۸۱**	۱/۰۸۹	۱/۲۴۳
کود اوره(N)	۱	۰/۱۲۲	۲/۸۷۳**	۰/۸۴۴
B×M	۲	۱/۱۱۱**	۰/۵۱۱	۳/۰۷۱*
B×N	۲	۱/۲۰۷**	۰/۷۹۸	۱۰/۶۰۴**
M×N	۲	۰/۴۴	۰/۳۹۸	۳/۲۵۳
B×M×N	۴	۴/۰۸۸**	۰/۳۶۵	۲/۷۵۸*
خطا	۳۴	۰/۲۰۵	۰/۷۷۲	۱.۰۶۷

* و ** به ترتیب به مفهوم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۴- جدول تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه (EC) در خاک

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		EC آب آبشویی	EC عصاره خاک عمق ۱۰ سانتیمتری	EC عصاره خاک عمق ۲۰سانتیمتری
تکرار (R)	۲	۴/۹۷۴**	۰/۰۰۲	۰/۰۰۸
بیوچار(B)	۲	۱/۶	۰/۰۰۳	۰/۰۲۹**
میکوریز(M)	۲	۰/۵۱۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴
کود اوره(N)	۱	۸/۳۲۷**	۰/۰۰۵	۰/۰۲۲**
B×M	۲	۴/۳۲۳**	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲
B×N	۲	۱/۳۲۵	۰/۰۰۹**	۰/۰۰۲
M×N	۲	۱۱/۶۳۷**	۰/۰۰۲	۰/۰۲۵**
B×M×N	۴	۴/۷۳۳**	۰/۰۰۲	۰/۰۱۹**
خطا	۳۴	۱/۱۰۱**	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳

* و ** به ترتیب به مفهوم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول ۴- ۵- جدول تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه (pH) در خاک

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		pH آب آبشویی	pH عصاره خاک عمق ۱۰ سانتیمتری	pH عصاره خاک عمق ۲۰سانتیمتری
تکرار (R)	۲	۰/۰۵۲*	۰/۹۶۲	۰/۴۵۶
بیوچار(B)	۲	۰/۰۱۶	۱/۳۸۳	۲/۶۰۲**
میکوریز(M)	۲	۰/۰۲۷	۱/۳۲	۰/۴۱۵
کود اوره(N)	۱	۰/۰۰۶	۰/۷۵۴	۰/۶۳۶
B×M	۲	۰/۰۲	۰/۸۰۵	۰/۵۵*
B×N	۲	۰/۰۰۹	۱/۰۰۸	۰/۳۵۵
M×N	۲	۰/۰۰۳	۰/۸۵۶	۰/۳۵۱
B×M×N	۴	۰/۰۲۳	۰/۸۷۱	۰/۱۸۸
خطا	۳۴	۰/۰۱۶	۰/۹۶۸	۰/۱۵۳

جدول ۴-۶- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی ذرت در سطوح مختلف بیوچار، میکوریز و کود اوره در خاک

تیمار	ارتفاع (cm)	وزن خشک اندام هوایی (g/plant)	درصد کلونیزاسیون (٪)
بیوچار			
فاقد بیوچار	۴۲/۱۱۱ ns	۶/۳۰۱ ns	۸۸/۸۸۹ ns
بیوچار سبوس برنج	۴۲/۹۴۴ ns	۵/۰۴۲ ns	۸۸/۰۵۶ ns
بیوچار سپیدار	۴۴/۳۰۶ ns	۶/۰۷۴ ns	۸۸/۶۱۱ ns
میکوریز			
فاقد میکوریز	۳۹/۲۲۲ b	۴/۸۲ b	۸۸/۳۳۳ ns
F. intraradices	۴۳/۴۱۷ a	۶/۳۸۹ a	۸۶/۹۴۴ ns
F. versiforme	۴۶/۷۲۲a	۶/۲۰۷a	۹۰/۲۷۸ ns
کود اوره			
فاقد کود	۴۲/۵۱۹ns	۶/۰۴۱ ns	۸۷/۹۶۳ns
دارای کود	۴۳/۷۲۲ns	۵/۵۷ ns	۸۹/۰۷۴ ns

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۴-۷- مقایسه میانگین اثرات متقابل بیوچار - میکوریز و بیوچار– کود اوره بر برخی از صفات مورد مطالعه درخاک

تیمار	ارتفاع (cm)	وزن خشک اندام هوایی (g/plant)	درصد کلونیزاسیون (٪)
بیوچار × میکوریز			
فاقد بیوچار × فاقد میکوریز	۴۳/۹۱۷ ns	۳/۰۴۶f	۸۸/۳۳۳ ns
فاقد بیوچار × *F.intraradices*	۳۵/۷۵ ns	۶/۵۷۷cd	۸۵ ns
فاقد بیوچار × *F.versiforme*	۴۶/۶۶۷ ns	۸/۰۳۵bc	۹۳/۳۳۳ ns
بیوچار سبوس برنج × فاقد میکوریز	۴۲ ns	۵/۸۶۶d	۸۹/۱۶۷ ns
بیوچار سبوس برنج × *F.intraradices*	۳۹/۶۶۷ ns	۱۲/۸۸a	۸۶/۶۶۷ ns
بیوچار سبوس برنج × *F.versiforme*	۴۷/۱۶۷ ns	۳/۸۰۹ef	۸۸/۳۳۳ ns
بیوچار سپیدار × فاقد میکوریز	۴۴/۳۳۳ ns	۴/۹۱۸def	۸۷/۵ ns
بیوچار سپیدار × *F.intraradices*	۴۲/۲۵ ns	۹/۷۰۱b	۸۹/۱۶۷ ns
بیوچار سپیدار × *F.versiforme*	۴۶/۳۳۳ ns	۵/۱۷۹de	۸۹/۱۶۷ ns
بیوچار × کود			
فاقد بیوچار × فاقد کود اوره	۴۲/۳۳۳ ns	۶/۴۳۱ ns	۹۰ ns
فاقد بیوچار × دارای کود اوره	۴۱/۸۸۹ns	۶/۱۷۱ ns	۸۷/۷۷۸ ns
بیوچار سبوس برنج × فاقد کود اوره	۴۱/۶۶۷ ns	۵/۴۲۳ ns	۸۷/۲۲۲ ns
بیوچار سبوس برنج × دارای کود اوره	۴۴/۲۲۲ ns	۴/۶۶ ns	۸۸/۸۸۹ ns
بیوچار سپیدار × فاقد کود اوره	۴۳/۵۵۶ ns	۶/۲۶۹ ns	۸۶/۶۶۷ ns
بیوچار سپیدار × دارای کود اوره	۴۵/۰۵۶ ns	۵/۸۷۹ ns	۹۰/۵۵۶ ns

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۴-۸- مقایسه میانگین اثرات متقابل میکوریز -کود اوره بر برخی از صفات مورد مطالعه در خاک

تیمار	ارتفاع (cm)	وزن خشک اندام هوایی (g/plant)	**درصد کلونیزاسیون** (٪)
میکوریز × کود			
فاقد میکوریز × فاقد کود	۴۳/۳۳۳ ns	۶/۴۵۷ ns	۹۰/۰۰۰ab
فاقد میکوریز× دارای کود	۴۳/۵۰۰ ns	۶/۳۲۲ ns	۸۷/۷۷۸b
F.intraradices × فاقد کود	۳۸/۴۴۴ ns	۵/۶۷۰ ns	۸۷/۲۲۲ab
F.intraradices × دارای کود	۴۰/۰۰۰ ns	۳/۹۷۰ ns	۸۸/۸۸۹a
F.versifrome × فاقد کود	۴۵/۷۷۸ ns	۵/۹۹۷ ns	۹۳/۸۸۹a
F.versiforme × دارای کود	۴۷/۶۶۷ ns	۶/۴۱۸ ns	۸۶/۶۶۷b

جدول ۴-۹- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی در سطوح مختلف بیوچار، میکوریز و کود اوره(نیترات و آمونیوم) در خاک

تیمار	نیترات آب آبشویی (mg/l)	نیترات خاک عمق ۱۰ سانتیمتری (mg/kg)	نیترات خاک عمق ۲۰ سانتیمتری (mg/kg)	آمونیوم آب آبشویی (mg/l)	آمونیوم خاک عمق ۱۰ سانتیمتری (mg/kg)	آمونیوم خاک عمق ۲۰سانتیمتری (mg/kg)
بیوچار						
فاقد بیوچار	۷/۷۷۹a	۳/۳۶۵c	۰/۲۸c	۱/۹۸۱b	۲/۸۶۶ b	۲/۷۳۷c
بیوچار سبوس برنج	۵/۲۸۸b	۵/۴۳۷b	۰/۷۱۲b	۲/۳۷۷a	۴/۶۸۵ a	۵/۰۲۶a
بیوچار سپیدار	۲/۸۶۵c	۱۱/۲a	۰/۹۴۵a	۱/۵۲۶c	۴/۴۲۱ a	۳/۹۴۲b
میکوریز						
فاقد میکوریز	۷/۱۷۱a	۸/۰۱۹a	۱/۰۳۲^{ns}	۳/۴۴۱ b	۴/۱۵۸ ^{ns}	۴/۳۰۴^{ns}
F.intraradices	۴/۰۴۰b	۶/۷۲۲b	۰/۳۹^{ns}	۴/۴۹۵ a	۴/۱۰۷ ^{ns}	۳/۷۸۸^{ns}
F.versiforme	۴/۷۲۱b	۵/۲۶۳c	۰/۵۱۷^{ns}	۴/۰۳۷a	۳/۷۰۹ ^{ns}	۳/۶۱۳^{ns}
کود						
فاقد کود اوره	۱/۴۲۷b	۶/۳۸۵^{ns}	۰/۵۲۷^{ns}	۱/۹۱۴ ^{ns}	۳/۸۹۴ ^{ns}	۳/۸۴۷^{ns}
دارای کود اوره	۹/۱۹۵a	۶/۹۵۱^{ns}	۰/۷۶۶^{ns}	۲/۰۰۹ ^{ns}	۴/۰۸۸ ^{ns}	۳/۹۵۷^{ns}

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند

جدول۴-۱۰- مقایسه میانگین اثرات متقابل بیوچار - میکوریز و بیوچار- کود اوره بر برخی از صفات مورد مطالعه (نیترات و آمونیوم) در خاک

تیمار	نیترات آبشویی شده (mg/l)	نیترات خاک عمق ۱۰ سانتیمتری (mg/kg)	نیترات خاک عمق ۲۰سانتیمتری (mg/kg)	آمونیوم آب آبشویی شده (mg/l)	آمونیوم خاک عمق ۱۰سانتیمتری (mg/kg)	آمونیوم خاک عمق ۲۰سانتیمتری (mg/kg)
بیوچار × میکوریز						
فاقد بیوچار × فاقد میکوریز	۱۰/۸۸a	۲/۴۱۱f	۰/۴۶۰۳b	۱/۸۰۵b	۲/۱۳۵e	۳/۰۱۷^{ns}
فاقد بیوچار × F.intraradices	۳/۸۲۶c	۴/۴۳۶de	۰/۱۶۷۲b	۲/۲۷۷ab	۳/۵۰۷cd	۲/۳۹۷^{ns}
فاقد بیوچار × F.versiforme	۸/۶۳۶ab	۳/۲۴۷ef	۰/۲۱۴۲b	۱/۸۶۱b	۲/۹۵۶de	۲/۷۹۷^{ns}
بیوچار سبوس برنج × فاقد میکوریز	۸/۲۴۴ab	۵/۹۷۸cd	۱/۳۷۵a	۱/۹۹b	۵/۴۶۸a	۵/۳۴۵^{ns}
بیوچار سبوس برنج × *F.intraradices*	۴/۹۰۵bc	۵/۲۱۵d	۰/۵۲۱۸b	۲/۶۱۶a	۴/۴۶۷abc	۴/۹۹^{ns}
بیوچار سبوس برنج × *F.versiforme*	۲/۷۱۴c	۵/۱۱۹d	۰/۲۴۱۷b	۲/۵۲۵a	۴/۱۲۱bc	۴/۷۴۳^{ns}
بیوچار سپیدار × فاقد میکوریز	۲/۳۹۳c	۱۵/۶۷a	۱/۲۶a	۱/۰۶۲c	۴/۸۷ab	۴/۵۵۱^{ns}
بیوچار سپیدار × *F.intraradices*	۳/۳۹c	۱۰/۵۲b	۰/۴۸۲b	۱/۱۸۸c	۴/۳۴bc	۳/۹۷۶^{ns}
بیوچار سپیدار × *F.versiforme*	۲/۸۱۲c	۷/۴۲۴c	۱/۰۹۴a	۲/۳۲۸ab	۴/۰۴۸bc	۳/۲۹۹^{ns}
بیوچار × کود						
فاقد بیوچار × فاقد کود اوره	۱/۴۴۲d	۳/۴۹۹^{ns}	۰/۳۵۶^{ns}	۲/۰۵۹b	۳/۰۱۱^{ns}	۲/۶۸۴^{ns}
فاقد بیوچار × دارای کود اوره	۱۴/۱۱۷a	۳/۲۳۱^{ns}	۰/۲۰۶^{ns}	۱/۹۰۳b	۲/۷۲۲^{ns}	۲/۷۹^{ns}
بیوچار سبوس برنج × فاقد کود اوره	۲/۰۳۹cd	۵/۲۱^{ns}	۰/۵۳۳^{ns}	۲/۰۳۱b	۴/۴۴۵^{ns}	۴/۹۹۲۱^{ns}

بیوچار سبوس برنج × دارای کود اوره	۸/۵۳۶b	۵/۶۶۵^{ns}	۰/۸۹۲^{ns}	۲/۷۲۲a	۴/۹۲۵^{ns}	۵/۰۶^{ns}
بیوچار سپیدار × فاقد کود اوره	۰/۸۰۰d	۱۰/۴۴۷^{ns}	۰/۶۹۱^{ns}	۱/۶۵bc	۴/۲۲۶^{ns}	۳/۸۶۵^{ns}
بیوچار سپیدار × دارای کود اوره	۴/۹۳۰c	۱۱/۹۵۹^{ns}	۱/۲^{ns}	۱/۴۰۱c	۴/۶۱۷^{ns}	۴/۰۱۹^{ns}

میانگین هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول۴-۱۱- مقایسه میانگین اثرات متقابل میکوریز -کود اوره بر برخی از صفات مورد مطالعه(نیترات و آمونیوم) در خاک

تیمار	نیترات آب آبشویی (mg/l)	نیترات خاک در عمق ۱۰ سانتیمتری (mg/kg)	نیترات خاک در عمق ۲۰سانتیمتری (mg/kg)	آمونیوم آب آبشویی (mg/l)	آمونیوم خاک عمق ۱۰ سانتیمتری (mg/kg)	آمونیوم خاک عمق ۲۰ سانتیمتری (mg/kg)
میکوریز × کود						
فاقد میکوریز × فاقد کود	۱/۵۲bc	۷/۶۱۴^{ns}	۰/۴۹۶^{ns}	۱/۵۳۸ ^{ns}	۳/۸۹۷^{ns}	۴/۲۷^{ns}
فاقد میکوریز× دارای کود	۱۲/۸۲a	۸/۴۲۴^{ns}	۱/۵۶۸^{ns}	۱/۷ ^{ns}	۴/۴۱۸^{ns}	۴/۳۳۸^{ns}
F.intraradices × فاقد کود	۱/۸۳۱bc	۶/۳۵^{ns}	۰/۵۴^{ns}	۱/۸۴۲ ^{ns}	۴/۰۴۵^{ns}	۳/۷۸۵^{ns}
F.intraradices × دارای کود	۶/۲۴۹abc	۷/۰۹۵^{ns}	۰/۲۴۱^{ns}	۲/۲۱۲ ^{ns}	۴/۱۶۸^{ns}	۳/۷۹۱^{ns}
F.versiforme × فاقد کود	۰/۹۳۰۲c	۵/۱۹۱^{ns}	۰/۵۴۴^{ns}	۲/۳۶۱ ^{ns}	۳/۷۳۹^{ns}	۳/۴۸۶^{ns}
F.versiforme × دارای کود	۸/۵۱۱ab	۵/۳۳۵^{ns}	۰/۴۸۹^{ns}	۱/۹۱۴ ^{ns}	۳/۶۷۸^{ns}	۳/۷۴۱^{ns}

میانگین هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول۴-۱۲- مقایسه میانگین اثرات اصلی بیوچار، میکوریز و کود اوره بر برخی از صفات مورد مطالعه(PHوEC) در خاک

تیمار	EC آب آبشویی (ms/cm)	ECعصاره خاک عمق ۱۰ سانتیمتری (ms/cm)	ECعصاره خاک عمق ۲۰ سانتیمتری (ms/cm)	PH آب آبشویی	PHعصاره خاک عمق ۱۰ سانتیمتری	PHعصاره خاک عمق ۲۰ سانتیمتری
بیوچار						
فاقد بیوچار	۰/۰۵۵۴^{ns}	۰/۳۱۶^{ns}	۰/۳۸۲b	۷/۴۴۹^{ns}	۷/۲۹۹^{ns}	۷/۲۵۸b
بیوچار سبوس برنج	۰/۰۶۱^{ns}	۰/۳۱۳^{ns}	۰/۳۶۱a	۷/۴۶۶^{ns}	۷/۶۶۸^{ns}	۷/۳۷۸b
بیوچار سپیدار	۰/۰۵۷^{ns}	۰/۲۹۲^{ns}	۰/۴۳۸a	۷/۴۰۷^{ns}	۷/۸۴۲^{ns}	۷/۵۹۳a
میکوریز						
فاقد میکوریز	۰/۰۵۸^{ns}	۰/۳۲۳^{ns}	۰/۴۱^{ns}	۷/۴۳۴^{ns}	۷/۷۷۹^{ns}	۷/۴۲^{ns}
F.intraradices	۰/۰۵۶^{ns}	۰/۲۹۴^{ns}	۰/۳۸۸^{ns}	۷/۴۸۳^{ns}	۷/۲۹۱^{ns}	۷/۴۰۲^{ns}
F.versiforme	۰/۰۵۹^{ns}	۰/۳۰۳^{ns}	۰/۳۸۳^{ns}	۷/۴۰۶^{ns}	۷/۶۳۹^{ns}	۷/۴۰۷^{ns}
کود						
فاقد کود اوره	۰/۰۵۴^{ns}	۰/۲۹۷^{ns}	۰/۴^{ns}	۷/۴۵۱^{ns}	۷/۷۲۱^{ns}	۷/۴۱۷^{ns}
دارای کود اوره	۰/۰۶۱^{ns}	۰/۳۱۷^{ns}	۰/۳۸۸^{ns}	۷/۴۳^{ns}	۷/۴۸۵^{ns}	۷/۴۰۲^{ns}

۴-۱۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل بیوچار-میکوریز و بیوچار-کود اوره بر برخی از صفات مورد مطالعه(pHوEC) در خاک

تیمار	EC آب آبشویی شده (ms/cm)	EC عصاره خاک عمق ۱۰ سانتیمتری (ms/cm)	EC عصاره خاک عمق۲۰ سانتیمتری (ms/cm)	pH آب آبشویی شده	pH عصاره خاک عمق ۱۰ سانتیمتری	pH عصاره خاک عمق ۲۰ سانتیمتری
بیوچار × میکوریز						
فاقد بیوچار × فاقد میکوریز	۰/۰۶۱ab	۰/۳۱۹ ns	۰/۳۸۴bcd	۷/۴۰۲ ns	۷/۶۴۷ ns	۷/۲۱ ns
فاقد بیوچار × *F.intraradices*	۰/۰۴۴c	۰/۳۰۳ ns	۰/۴۰۷bcd	۷/۵۴۲ ns	۶/۵۱۸ ns	۷/۳۲ ns
فاقد بیوچار × *F.versiforme*	۰/۰۶۲ab	۰/۳۲۵ ns	۰/۳۵۶cde	۷/۴۰۵ ns	۷/۷۳۲ ns	۷/۲۴۵ ns
بیوچار سبوس برنج × فاقد میکوریز	۰/۰۵۶bc	۰/۳۴۱ ns	۰/۴۳۸ab	۷/۴۳۵ ns	۷/۸۵۸ ns	۷/۴۲۲ ns
بیوچار سبوس برنج × *F.intraradices*	۰/۰۶۹a	۰/۲۹۵ ns	۰/۳۴۵de	۷/۵۲۲ ns	۷/۵۳ ns	۷/۲۹۳ ns
بیوچار سبوس برنج × *F.versifome*	۰/۰۸۴ab	۰/۳۰۴ ns	۰/۳e	۷/۴۴ ns	۷/۶۱۷ ns	۷/۴۱۸ ns
بیوچار سپیدار × فاقد میکوریز	۰/۰۶ab	۰/۳۱ ns	۰/۴۰۹bc	۷/۴۶۵ ns	۷/۸۳۲ ns	۷/۶۲۸ns
بیوچار سپیدار × *F.intraradices*	۰/۰۵۴bc	۰/۲۸۴ ns	۰/۴۱۳bc	۷/۳۸۵ ns	۷/۸۲۵ ns	۷/۵۹۲ ns
بیوچار سپیدار × *F.versiforme*	۰/۰۵۷ab	۰/۲۸۱ ns	۰/۴۹۳a	۷/۳۷۲ ns	۷/۸۶۸ ns	۷/۵۵۸ns
بیوچار × کود						
فاقد بیوچار × فاقد کود اوره	۰/۰۴۸ns	۰/۲۸۸bc	۰/۳۷۶ ns	۷/۴۸۴ ns	۷/۶۸۸ ns	۷/۲۶۹ ns
فاقد بیوچار × دارای کود اوره	۰/۰۶۹ ns	۰/۳۴۴a	۰/۳۸۸ ns	۷/۴۱۴ ns	۶/۹۱ ns	۷/۲۴۸ ns

بیوچار سبوس برنج × فاقد کود اوره	۰/۰۵۷ ns	۰/۳۲۸ab	۰/۳۶۶ ns	۷/۴۷۱ ns	۷/۶۱۹ ns	۷/۳۸۴ ns
بیوچار سبوس برنج × دارای کود اوره	۰/۰۶۵ ns	۰/۲۹۸bc	۰/۳۵۵ ns	۷/۴۶ ns	۷/۷۱۸ ns	۷/۳۷۱ ns
بیوچار سپیدار × فاقد کود اوره	۰/۰۵۶ ns	۰/۲۷۴c	۰/۴۵۶ ns	۷/۳۹۹ ns	۷/۸۵۷ ns	۷/۵۹۹ ns
بیوچار سپیدار × دارای کود اوره	۰/۰۵۸ ns	۰/۳۰۹abc	۰/۴۲۱ ns	۷/۴۱۶ ns	۷/۸۲۷ ns	۷/۵۸۷ ns

میانگین هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول۴-۱۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل میکوریز-کود اوره بر برخی از صفات مورد مطالعه(PH و EC) در خاک

تیمار	EC آب آبشویی (ms/cm)	EC عصاره خاک عمق ۱۰ سانتیمتری (ms/cm)	EC عصاره خاک عمق ۲۰ سانتیمتری (ms/cm)	pH آب آبشویی	pH عصاره خاک عمق ۱۰ سانتیمتری	pH عصاره خاک عمق ۲۰ سانتیمتری
میکوریز × کود						
فاقد میکوریز × فاقد کود	۰/۰۵۰b	۰/۳۱۳ ns	۰/۳۸۵۶ab	۷/۴۵۹ ns	۷/۷۷۳ ns	۷/۴۱۴ ns
فاقد میکوریز× دارای کود	۰/۰۶۷a	۰/۳۳۴ ns	۰/۴۳۴۹a	۷/۴۰۹ ns	۷/۷۸۴ ns	۷/۴۲۶ ns
F.intraradices × فاقد کود	۰/۰۴۷b	۰/۲۹۴ ns	۰/۳۸۲۷ab	۷/۴۸۸ ns	۷/۶۶۱ ns	۷/۴۴۸ ns
F.intraradices × دارای کود	۰/۰۶۵a	۰/۲۹۴ ns	۰/۳۹۳۶a	۷/۴۷۸ ns	۶/۹۲۱ ns	۷/۳۵۶ ns
F.versiforme × فاقد کود	۰/۰۵۶a	۰/۲۸۴ ns	۰/۴۳۰۳a	۷/۴۰۸ ns	۷/۷۲۹ ns	۷/۳۹ ns
F.versiforme × دارای کود	۰/۰۵۸b	۰/۳۲۳ ns	۰/۳۳۵۸b	۷/۴۰۳ ns	۷/۷۴۹ ns	۷/۴۲۴ ns

میانگین هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

منابع

منابع مورد استفاده

احمدی، ع.، احسان زاده، پ. و جباری، ف. ۱۳۸۳. مقدمه‌ای بر فیزیولوژی گیاهی (ترجمه). جلد اول. انتشارات دانشگاه تهران.

اسدی رحمانی، ه.، اصغر زاده ، ا.، خاوازی، ک.، رجالی، ف.، و ثواقبی، غ. ۱۳۸۶ . در ترجمه حاصلخیزی بیولوژی خاک کلیدی برای استفاده پایدار از اراضی کشاورزی. لینت، ک. ابوت. و دانیل، و. مورفی (مولف). انتشارات جهاد دانشگاهی واحد تهران. ۳۲۸ ص.

امام، ی.، و نیک‌نژاد، م. ۱۳۷۲. مقدمه ای بر فیزیولوژی عملکرد گیاهان زراعی (ترجمه). انتشارات دانشگاه شیراز. ۵۷۰ ص.

پیرولی‌بیرانوند، ن. ۱۳۷۸. بررسی اثرات متقابل رقم گیاه و سویه باکتری روی توان تثبیت نیتروژن سویا در خاکهای مختلف. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد خاکشناسی. دانشکده کشاورزی کرج. دانشگاه تهران.

ثواقبی، غ. ر. سادات، ع. رجالی، ف. فرحبخش، م. خاوازی، ک. و شیرمردی، م. ۱۳۸۹. تأثیر چند نوع قارچ میکوریز آربوسکولار و باکتری محرک رشد گیاه بر شاخص‌های رشد و عملکرد دو رقم گندم در یک خاک شور. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، شماره ۱، جلد ۲۴، ص ۵۳.

جامی‌الاحمدی، م.، کامکار، ب.، و مهدوی دامغانی، ع.، ا. ۱۳۸۵. کشاورزی، کود و محیط زیست. (ترجمه). چاپ اول. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. ۳۷۲ ص.

حاجی زاده، ا. (۱۳۶۹) " خاکشناسی کشاورزی " چاپ اول، انتشارات علمی دانشگاه آزاد اسلامی، تهران.

حق پرست تنها، م.، ر. (۱۳۷۱) " تغذیه و متابولیسم گیاهان " چاپ اول، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت، رشت.

خدابنده، ن. (۱۳۷۵) "غلات" انتشارات دانشگاه تهران، ۵۳۷ صفحه.

خدابنده، ن. (۱۳۸۲) "غلات" موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران. چاپ هفتم، ۵۹۲ صفحه.

درزی، م ت.، قلاوندریا، ا.، رجالی، ف.، و سفیدکن، ف. (۱۳۸۵) " بررسی کاربرد کودهای زیستی بر عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum vulgar Mill*)" **فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران**، جلد ۲۲، شماره ۴.

صالح راستین، ن. ۱۳۸۰. کودهای بیولوژیک و نقش آنها در راستای نیل به کشاورزی پایدار، ص ۵۴-۱، مجموعه مقالات ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور (مجموعه مقالات). خاوازی ک و ملکوتی م. ج، مرکز نشر آموزش کشاورزی، وزارت جهاد کشاورزی، کرج، ایران.

صالح راستین، ن.، روستا، م.، گلچین، ا.، سیادت، ح. (۱۳۸۱) " تاثیر مواد آلی و ترکیبات معدنی بر بعضی ویژگی‌های شیمیایی و فعالیت بیولوژیکی یک خاک سدیمی" نشریه علوم خاک و آب, دوره ۱۶ , شماره ۱ . ص. ۳۳ تا صفحه ۴۵.

صالحی، گ. (۱۳۸۰). پایان نامه کارشناسی ارشد: "تاثیر مقادیر مختلف نیتروژن و فسفر بر عملکرد و اجزاء عملکرد سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) در باجگاه "، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

عباسی ،ه.، شهابی فر، م.، خاشعی سیوکی، ع.، ریاحی مدوار، ح. ۱۳۸۶. بررسی اثر کاربرد زئولیت برکاهش میزان آبشویی کودهای نیتراته . مجموعه مقالات دهمین کنگره علوم خاک ایران،کرج.

عباسی، ف.، لیاقت، ع.، عباسی، ی. (۱۳۹۱). بررسی آبشویی عمقی نیترات تحت شرایط کود-آبیاری جویچه ای ذرت. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۶ ، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۱ ،ص. ۸۵۳-۸۴۲.

فرزانه، ه. (۱۳۷۴) " اگروشیمی " چاپ اول، انتشارات آوای نور، تهران.

کامکار، ب.، و مهدوی دامغانی، ع. (۱۳۸۷) "مبانی کشاورزی پایدار" چاپ اول، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، مشهد، ص۳۱۳.

کرمی، ع. (۱۳۷۶) " رابطه سازه های اجتماعی-اقتصادی با دانش فنی و کشاورزی پایدار بین گندمکاران " چاپ اول، معاونت برنامه ریزی و بودجه وزارت کشاورزی، تهران.

مجنون‌حسینی، ن. ۱۳۷۵. حبوبات در ایران. مؤسسه نشر جهاد تهران.

مجنون حسینی، ن. ۱۳۸۷. زراعت و تولید حبوبات. چاپ چهارم، سازمان انتشارات جهاد دانشگاهی شعبه واحد تهران، ۲۸۳ صفحه.

مرادی، ر.، رضوانی مقدم، پ.، نصیری محلاتی، م.، و لکزیان، ا. (۱۳۸۸) " بررسی تاثیر کود های بیولوژیک و آلی بر عملکرد دانه و میزان اسانس گیاه رازیانه (*Foeniculum vulgare*) " **مجله پژوهش های زراعی ایران**، جلد ۷، ش۲.

مصیبی، ع. (۱۳۸۷). پایان نامه ارشد: " بررسی الگوی کاشت، تراکم و منابع نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت "، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود.

معزاردلان، م.، و ثواقبی فیروزآبادی، غ ر. (۱۳۸۱) " مدیریت حاصلخیزی خاک برای کشاورزی پایدار " چاپ اول، تهران.

ملکوتی، م ج و ریاضی همدانی ، ع . (مترجمان) ، ۱۳۷۰ .کودها و حاصلخیزی خاک ، مرکز نشر دانشگاهی ، ۸۰۰صفحه .

ملکوتی، م ج و همایی، م.۱۳۷۳. حاصلخیزی خاکهای مناطق خشک (مشکلات و راه‌حل‌ها). چاپ اول، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، ۴۹۴ صفحه.

ملکوتی، م ج و همایی، م. ۱۳۸۳ . حاصلخیزی خاکهای مناطق خشک و نیمه خشک (مشکلات و راه حلها) . انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. ۴۸۸ ص.

ملکوتی، م ج. ۱۳۸۴. کشاورزی پایدار و افزایش عملکرد با بهینه‌سازی مصرف کود در ایران. نشر سنا. ۴۹۶ ص.

منگل، ک.، و کرکبی، ا.(۱۳۷۶) " اصول تغذیه گیاه " جلد دوم، ترجمه سالاردینی ع. و مجتهدی م، مرکز نشر دانشگاهی، تهران.

هانی، ع .۱۳۸۱. وابستگی میکوریزایی دو گونه شبدر متفاوت در مشخصات مرفولوژیکی ریشه در سطوح مختلف فسفر خاک. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید چمران اهواز.

هیگن، ج و تاکر، ب (۱۳۷۶) " مصرف کود در اراضی فاریاب و دیم " ترجمه ملکوتی ج. و نفیسی م، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

Abebe, N., and Endalkachew, K. 2011. Effect of charcoal production on soil properties in southwestern Ethiopia.East Journal of Scientific Research 9 (6): 807-813.

Abebe, N., Endalkachew, K., Mastawesha, M., and Gebermedihin, A. 2012. Effect of biochar application on soil properties and nutrient uptake of Lettuces (Lactuca sativa) Grown in Chromium Polluted Soils. American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci., 12 (3): 369-376, 2012

Abedi-Koupai, J., and Asadkazemi, J. 2006 . Effect of a hydropHilic polymer on the field preformance of an amemental plant (Cupressus Arizonica) under reduced irrigation regimes. Iranian Polimer J. 15(9), 715-.725

Abbott, L. K., and MurpHy, D. V. 2007. Soil biological fertility: A key to sustainable land use in agriculture. Springer, 268 pp.

Akhtar, M. S., and Siddiqui, Z. A. 2008. *Funneliformis intraradices*, *Pseudomonas alcaligenes* and *Bacillus pumilus*: effective agents for the control of root-rot disease complex of chickpea (*Cicer arietinum* L.). J. Gen. Plant Pathol. 74, pp 53.

Alexander, I. J., and R.I. Fairley. 1983. Effects of nitrogen on population of fine roots and mycorrhizas in sprucehumus. Plant Soil. 71:49-53.

Aliabadi Farahani, H., Lebaschi, M. H., and Hamidi, A. 2008. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi, PHospHorus and water stress on quantity and quality characteristics of coriander. Advances in Natural and Sciences. 2: 55-59.

Al-Karaki, F. N. 2006. Nursery inoculation of tomato with arbuscular mycorrhizal fungi and subsequent performance under irrigation with saline water. Sci. Hortic., 109,pp 1:(1-7)

Alloush G. A., Zeto S. K., and Clark R. B. 2000. Phosphorus source, organic matter, and arbuscular mycorrhizae effects on growth and mineral acquisition of chickpea grown in acidic soil. J. Plant Nutr. 23, 9, pp 1351.

Asghari, H. R., Cavagnaro, T.R. 2012. Arbuscular mycorrhizas reduce nitrogen loss via leaching, Plos one. 1-7

Anderson, E. L., Kamprath, E. J. and Moll R.H. (1984) "Nitrogen fertility effects on accumulation, remobilization, and partitioning of N and dry matter in corn genotypes differing in prolificacy" J. of .Agron., 76, pp 397–404.

Antal, M.J., Jr, Grønli, M. (2003). The art, science, and technology ofcharcoal production. Indust Engin Chem Res 42:1619–1640.

Arancon, N., C.A. Edwards, P. Bierman, C. Welch, and J.D. Metzger. (2004). "Influences of vermicomposts on field strawberries:1. Effects on growth and yields". Bio resource Technol. 93:145-153.

Arumugam, R., Rajasekaran, S., and Nagarajan, M. 2010. Response of Arbuscular mycorrhizal fungi and Rhizobium inoculation on growth and chloropHyll content of *Vigna unguiculata* (L) Walp Var. Pusa 151. J. Appl. Sci. Environ. Manage. 14(4): 113 – 115.

Asada, T., Ishihara, S., Yamane, S., Toba, T., Yamada, A., Oikawa, K. 2002. Science of bamboo charcoal: Study of carbonizin temperature of bamboo charcoal and removal of harmful gases. J Health Sci 48:473–479

Auge, R. M. 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizae symbiosis. Mycorrhiza. 11: 3-42.

Bago, B., and Azcon-Aguilar, C. 1997. Changes in rhizospHeric pH induced by arbuscular mycorrhizal formation in onion (*Allium cepa* L.). Z. Pflanz. Bodenkunde. 160: 333-339.

Barea, J. M., El-Atrach, F. and Azcon, R. 1989. Mycorrhiza and pHospHate intractions as affecting plant development, N_2 -fixation, N-transfer and N-uptake from soil in legume-grass mixtures by using a ^{15}N dilution technique. Soil Biology and Biochemistry. 21: 581-589.

Barea, J. M., and Azcon-Aguilar, C. 1993. Mycorrhizas and their significance in undulating nitrogen fixing plants. Adv. Agron. 36:1-54.

Belay, A., Claassens, A. S., and Wehner, F. C. 2002. Effect of direct nitrogen and potassium and residual pHospHorus fertilizers on soil chemical properties, microbial components and maize yield under long-term crop rotation.Biol Fertil Soils. 35: 420-427.

Below, F.E. and Gentry L.E. (1992) "Maize productivity as influenced by mixed nitrogen supplied before or after anthesis" **J. of .Crop. Sci.**, **32**, pp**163-168**.

Blackwell, P., Reithmuller, F. and Collins, M. 2009. Biochar application to soil. In: Lehman, J., JosepH, S. (Eds.), Biochar for Environmental Management: Science and Technology.405 pages Earthscan, London.

Cardoso, I.M., and T.W. Kuyper. 2006. Mycorrhizas and tropical soil fertility. Agricultur Ecosystems and Environment. 116:72-84.

Carling, D.E., and Brown, M.E. 1982. Anatomy and pHysiology of vesicular-arbuscular and non mycorrhizal roots. PHytopathology. 72:1108-1114.

Cavagnaro, T. R., Jackson, L. E., Six J., Ferris, H., Goyal, S., Asami, D. and Scow K. M. 2006. Arbuscular mycorrhizas, microbial communities, nutrient availability and soil aggregates in organic tomato production. Plant Soil., 282, pp 209.

Citernesi, A. S., Vitagliano, C., and Giovanneti, M. 1998. Plant growth and root system morpHology of Olea europaea L. rooted cutting as influenced by arbuscular mycorrhizae. J. Hortic. Sci. Biotecnol. 73: 647-654.

Clark, R. B.1997. Arbuscular mycorrhizal adaptation, spore germination, root colonization, and host plant growth and mineral acquisition at low pH. Plant Soil. 192: 15-22.

Cornelissen, F., Haftka, J., Parsons, J., Gustafsson, Ö,2005. Sorption to Black Carbon of Organic Compounds with Varying Polarity and Planarity. Environmental Science & Technology. **39**: p. 3688-3694.

Cress, W. A., Throneberry, F. O. and Lindsay, D. L. 1979. Kinetics of pHospHorus absorption by mycorrhizal and non-mycorrhizal tomato roots. Plant PHysiol. 64: 484-487.

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, 448e453.

DES. (2006) "Nitrate and Nitrite: Health Information Summary; Environmental Fact Sheet. New Hampshire Department of Environmental Services" ARD-EHP-16.

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 Soil Poll. 213, 47–55.

Eaglisham, A.R.J., Hassouna, S., and Seegers, R. 1983. Fertilizer-N effects on N_2 fixation by cowpea and soybean. J. Agro. 75:61-66.

Edwards, C.A., and Bater, J.E. 1992. The use of earthworms in environment management. Soil Biol. Biochem. 24:1683-1689.

Elias, N., Mcinnes, A., and D. Herridge. 2008. Optimizing chickpea nodulation for nitrogen fixation and yield in north-western New South Wales, Australia. In: F.D. Dakora (Ed.). Biological nitrogen fixation: Towards poverty alleviation through sustainable agriculture. Springer Science. Netherlands. p: 143.

Erman, M., Demir, S., Ocak, E., Tüfenkçi, S., Oğuz, F., and Akköprü, A. 2011. Effects of Rhizobium, arbuscular mycorrhiza and whey applications on some properties in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under irrigated and rainfed conditions 1-Yield, yield components, nodulation and AMF colonization. Earth Sciences. 122: 14-24.

EVS. (2005) "Nitrate and Nitrite. Human Health Fact Sheet" Argonne National Laboratory., EVS.

Ezawa, T., Smith S. E., and Smith, F. A. 2002. P metabolism and transport in AM fungi. Plant Soil., 244, pp 221.

Faghihian, H., Mostafavi, A., and Mohammadi, A. 2001. Surface modification of analcime for removal of nitrite and nitrate from aqueous solutions. J. Sci. I. R. Iran, 12(4), 327-332.

F.A.O. (2000) "**Tropical Maize, Improvement and production**", Food and Agriculture Organization of the United nation Production and Protection Series. No. 28. 363 pp.

FAO. (2004). Agricultural production year book. Rome, Italy.

F.A.O. (2011) "Food Outlook"published by the Trade and Market Division of FAO under Global information and Early Warning system (GIEWS). Pp 186.

Fay, P., Mitchell, D.T., and Osborne, B.A. 1996. PHotosynthesis and nutrient- use officiency of barely in response to low arbuscular mycorrhizal colonization and addition of pHospHorus. New PHytol. 132:425-433.

Garg, N. and Chandel, S. 2011. "Effect of mycorrhizal inoculation on growth, nitrogen fixation and nutrient uptake in *Cicer arietinum* (L.) under salt stress" Turk. J. Agric. For., pp 1-35.

Gaur, A., and Adholeya, A. (2002) "Arbuscular mycorrhizal inoculation of five tropical fodder crops and inoculum production in marginal soil amended with organic matter"**Biol. Fertil. Soils**., **35**, pp **214**.

Gee G. H. and Bauder J. W. (**1986**) "Particle size analysis" In: A. Klute, (ed), Methods of soil Analysis. Physical Properties. SSSA, Madison, WI. pp 383-411.

George, E., Haussler, K. and Kothari, S. K. (1994), "Role of arbuscular mycorrhiza fungi in uptake of pHospHorus and nitrogen from soil" **Crit Rev Biotechnol**., **15**, pp **257**.

Giovannetti, M., and Mosse, B. 1980. An evaluation of techniques for measuring Vesicular-Arbuscular mycorrhizal infection in roots. New Phytologist. 84: 489-500.

Glaser, B., Lehmann, J., Zech, W. 2002. Ameliorating pHysical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review. Biol. Fert. Soils 35, 219–230.

Glaser, B., Haumaier, L,. Guggenberger, F., Zech, W. 2001. The "Terra Preta" pHenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. Naturwissenschafen, 88 (1):37-41

Goswani, N.N., Prasad, R., Sarkar, M.C. and Singh S. (1988) "Studies on The effect of green manuring in nitrogen economy in a rice-wheat rotation using 15N technique" **J. of .Agric. Sci. Camb**., **11,** pp **413**-417.

Govindarajulu, M., Pfeffer, P. E., Jin, H., Abubaker, J., Douds, D. D., Allen, J. A., Bucking, H., Lammers, P. J., and Shachar-Hill, Y. 2005. Nitrogen transfer in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. Nature, 435, pp 819.

Graham, P.H., and P. Ranalli. 1997. Common bean (*PHaseolus vulgaris* L.). Field Crops Research. 53:131-146.

Graham, J.H., R.T. Leonard, and J.A. Menge. 1981. Membrance- mediated decreasse in root exudation responsible for pHospHorus inhibition of Vesicular-arbuscular mycorrhizae formation. Plant PHysiol. G8:548-552.

Hajiboland, R., Aliasgharzad, N., and Barzeghar, R. 2009. PHospHorus mobilization and uptake in mycorrhizal rice (*Oryza sativa* L.) plants under flooded and non-flooded conditions. Acta agr. Slovenica., 93, pp 153.

Harsh, P.B., Tiffany, L., Weir, L. F., Perry Gilroy, s., and Jorge, M. Viranco. 2006. The role of root exudates in RhizospHere interactions with plants and other organisms. Plant. Biol. 53:233-266.

Hayman, D.S. 1975. The occurrence of mycorrhiza in crops as affected by soil fertility, In :Endomycorrhizas. F.E Sanders, B Mosse and P.B. Tinkey (eds). Academic Press. London. pp. 495-509.

Hepper, C.M. 1983. The effect of nitrate and pHospHate on the Vesicular-arbuscular mycorrhizal infection of lettuce. New pHytologist. 93:389-399.

International Soil Reference and Information Center (ISRIC), 1986. Procedure for Soil Analysis, Wageningen Agriculture University.

Inyang, M., Gao, B., Pullammanappallil, P., Ding, W., Zimmerman, A.R., 2010. Biochar from anaerobically digested sugarcane bagasse. Bioresour. Technol. 101, 8868–8872.

Jones, D.L., Rousk, J., Edwards Jones, F., Deluca, T.H.and Murphy, D.V.2012. Biochar-mediated changes in soil quality and plant growth in a three year field trial. Soil Biology& Biochemistry, 45:113-124.

Kapulink, Y., and D.D.J., Douds. 2000. Arbuscular Mycorrhizas: PHysiology and Function. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publsihers.

Kim, N.I., and F.M. Paulsen. 1986. "Response of yield attributes of isogenic tall, semi dwarf, and double dwarf winter wheats to nitrogen fertilizer and seeding rates". **Crop Sci**. 156(3):197-205.

Klaij, M.C., and Hoogmoed, W. B. (1993) " Soil management for crop production in the West African Sahel. II. Emergence, establishment and yield of pearl millet" J. of Soil. Till. Res., 25, pp 301.

Krapac, I. F., Dey, W. S., Roy, W. R., Smyth, C. A., Storment, E., Sargent, S. L., and Steele, J. D. (2002) "Impacts of swine manure pits on groundwater quality" Environmental. Pollution., 120: 475-492.

Kumar, R., V.P. Singh, and R.C. Singh, 2002. Effect of N and P fertilization on summer planted mung bean (*Vigna radiate* L.). 24(3): 467-470.

Laird, D., Fleming, P., Wang, B., Horton, R., Karlen, D., 2010. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. Geoderma 158, 436–442.

Laird, D., Pierce, F., Wang,B., Horton,R., Karlen,D.(2010) "Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil"PP:436-442

Lehmann, J., Pereira da Silva, J., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W., Glaser, B., 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsolof the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments.Plant Soil 249, 343–357.

Lehmann, J., Gaunt, J., Rondon, M., 2006. Biochar sequestration in terrestrial ecosystems - a review. Mitigat. Adaptat. StrateF. Global Change 11, 403–427.

Lehmann, J.,2007. *Bio-Energy in the Black.* Frontiers in Ecology and the Environment.. **5**(7): p. 381-387.

Lehmann, J.,2007. A handful of carbon. Nature. **447**: p. 143-144.

Lekberg, Y. and Koide R. T. 2005. Arbuscular mycorrhizal fungi, rhizobia, available soil P and nodulation of ground nut (*Arachis hypogaea*) in Zimbabwe. Agr. Ecosyst. Environ., 110, 143.

Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O'Neill, B., Skjemstad, J.O., Thies, J., Luizao, F.J., Petersen, J., Neves, E.F., 2006. Black Carbon increases cation exchange capacity in soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 70, 1719–1730.

Liang, B., Lehman, J., Sohi, S.P., Thies, J.E., O'Neill, B., Trujillo, L., Gaunt, J.,Solomon, D., Grossman, J., Neves, E.F. and Luizao, F.J.2010. Black carbon effects the cycling of non-black carbon in soil. Organic Geochemistry, 41:206-213

Lynd, J.F., and T.R. Anson.1990. Soil conditions with distinctive coralloid nodulation and nitrogen fixation of Mecca alfalfa. J. Plant Nutr. 13:77-94.

Maher, ESaleh., Amal, H., Mahmoud and Mohamed Rashad. 2010. Biochar Usage as a Cost-Effective Bio-Sorbent for Removing NH_4-N from Wastewater.PP.1-13.

Major, J., Steiner, C., Downie, A. And Lehman,J.2009. Biochar effects on nutrient laeching in :Lehman, J., JosepH, S.(Eds.), Biochar for Environmental Management: Science and Technology.405 pages Earthscan, London.

Marschner, H, 1995. Mineral nutrition of higher plants. Second Edition. Academic Press. New York.

Marschner, H., and B. Dell, 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. Plant Soil, 159: 89-102

Mehrvarz, S., Chaichi, M. R. and Alikhani H. A. 2008. Effects of pHospHate solubilizing microorganisms and pHospHorus chemical fertilizer on yield and yield components of barely (*Hordeum vulgare* L.). American- Eurasian J.Agri. & Environment. Sci. 3(6): 822-828.

Mikan, C., Abrams, M. 1995. Altered forest composition and soil properties of historic charchol hearths in Southeastern Pennsylvania. Canadian Journal of Forest Research, 25:687-696.

Miranda KM, Espey MG, Wink DA (2001) A rapid, simple spectrophotometric method for simultaneous detection of nitrate and nitrite. *Nitric Oxide* **5**, 62–71. doi:10.1006/niox.2000.0319

Miller, R. M., and Jastrow, J. D. 2002. Mycorrhizal fungi influence soil structure. In Y. Kapulnik and D. D. Douds jr. (Eds.), Arbuscular mycorrhizas: PHysiology and functions. Pp. 3-18. Dordrecht, The Neterlands: Kluwer Academic Publishers.

Milmile S. N. Pande J. V. Karmakar S. Bansiwal A. Chakrabarti T. and Biniwale R. B. (2011) "Equilibrium isotherm and kinetic modeling of the adsorption of nitrates by anion exchange Indion NSSR resin" Desalination., 276: 38-44.

Mishra, P and Patel, R. 2009. Use of agricultural waste for the removal of nitratenitrogen from aqueous medium. Journal of Environmental Management, **90**(1): p. 519-522.

Mumpton, F. 1999. La roca magica: Uses of natural zeolite in agriculture and industry. National acad. Sci. 96:3467-3470.

Mortimer, P.E., M.A. Pé rez-Ferná ndez and A.J. Valentine. 2009. Arbuscular mycorrhizae affect the N and C economy of nodulated *PHaseolus vulgaris* (L.) during NH_4^+ nutrition. Soil Biology and Biochemistry. 41: 2115-2121.

Nishio, M. (1996) Microbial fertilizers in Japan. ASPAC, Food & Fertilizer Technology Center. Extension Bulletin No. 430. p. 13.

Novak, J.M., Busscher, W.J., Laird, D.L., Ahmedna, M., Watts, D.W., Niandou, M.A.S. 2009. Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil. Soil Science, 174:105-112

Ortus, I., and Harris, P. J. 1996. Enhancement uptake of pHospHorus by mycorrhizal sorghum plant as influenced by forms of nitrogen. Plant Soil., 184, pp 225.

Phillips J.M. and D.S. Hayman. (1970) " Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection " T. Brit. Mycol. Soc. 55. pp 158.

Piotrowski, J. S., Denich, T. Klironomos, J. N. Graham J. M. and Rilling, M. C. 2004. The effects of arbuscular mycorrhizas on soil aggregation depend on the intraction between plant and fungal species. New pHytol. 164: 365-373.

Polat, E., Karaco. M., Demir, H. and Onus A.N. 2004. Use of natural zeolite (Clinoptilolite) in agriculture .J.Fruit Ornament . Plant Res .12: 183-189.

Powlson, D. D., Pruden, F., Johnson, A. E., and Jenkinson, D. S. (1986) "The nitrogen cycle in the brodwalk wheat experiment: recovery and losses of 15N-labelled fertilizer applied in spring and inputs of nitrogen from the atmospHere" **J. of . Agric. Sci. Camb**., **17**, pp **591-609**.

Rhoados,J.D. 1982. Cation exchangeable capacity In: A.L.Page et al.(ed): Methods of soil analysis.Part 2.2nd. Agron.Monogr.9.ASA and SSSA, Madison, W.L.pp 149-158.

Sabannavar, S. J. and Lakshman H. C.2009. Effect of rock pHospHate solubilization using mycorrhizal fungi and pHospHobacteria on two high yielding varieties of *Sesamum indicum* L. World J. Agric. Sci., 5, 4, pp 470.

Salome, F. P. and Soares E. J. (2008) "Activated carbon supported metal catalysts for nitrate and nitrite reduction in water" Catal. Lett., 126: 253-260.

Sarkhot, D. V. Ghezzehei, T. A., and Berhe, A. A.2013. Effectiveness of Biochar for Sorption of Ammonium and Phosphate from Dairy Effluent. Journal of Environmental Quality. J. Environ. Qual. 42:1545–1554

Sharma, A. K., and Johri, B. N. 2002. Arbuscular mycorrhizae, interaction in plants, rhizospHere and soils. Science Publisher. INC, ENFILD, NH, USA. 311pp.

Sharma, A. K. (2003), "**Biofertilizers for sustainable agriculture**" Agrobios .Indian Publication, pp 456.

Sharpley, A. N., and Smith, S.J. (1983) "Distribution of pHospHorus forms in virgin and cultivated soil and potential erosion losses" **J. of .Soil. Sci. Soc. Am. J**., **47**, pp **581-586**.

Siddiqui, Z.A., Akhtar, M.S. and Futai, K. 2008. Mycorrhizae: sustainable agriculture and forestry. Springer and Business Media B.V.

Smith, S J., and Young, L.B. (1975) " Distribution of nitrogen forms in virgin and cultivated soils " **J. of . Soil Sci**., **120**, pp 354.

Sohi, S.P.E., Krull, Lopez-capel, E., and Bol, R. 2010. A Review of Biochar and Its use and Function in soil. Advance in Agronomy, 10:47-82

Swift, C.E. 2004. Mycorrhiza and soil pHospHorus levels. Area Extension Agent. http:// www. colostate. edu/ Depts/ Coop Ext/ TRA/ Plants/ mycorrhiza

Sylvia, D.M., and N.C. Schenck. 1983. Soil fungicides for controlling chytridiaceous mycoparasites of Gigaspora margarita and *Glomus fasciculatum*. Appl. Environ. Microbiol. 45:1306-139.

Tibbett, M., and Sanders, F. E. 2002. Ectomycorrhizal symbiosis can enhance plant nutrition through improved access to discrete organic nutrient patches of high resource quality. Ann. Bot. (London)., 89, pp 783.

Tisdall, J. M., and Odes, J. M. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. Journal of soil Science. 33: 141-163.

Tisdal S.L., Nelson, W.L. and J.D. Braton. (1985), "**Soil fertility and fertilizer**" 4th ed., Macmillian, New York, pp 745.

Topoliantz, S., J.F. Ponge, D. Arrouays, S. P. Lavelle, 2002. manure and (Oligochaeta: Glossoscolecidae) Ballof,endogeic earthworm *Pontoscolex corethrurus* effect of organic on soil fertility and bean production, Biol. Fertil. Soils, 36: 313-3

Tryon, E.H., 1948. Effect of charcoal on certain pHysical, chemical and biological properties of forest soils. Ecological MonograpHs, 18: 81-115.

VanderHeijden, M.F.A., and I.R. Sanders. 2002. Mycorrhizal Ecology. Berlin and Heidelberg, Germany: Springer-VerlaF.

Vance, C. P., Uhde-Stone. C., and Allan, D. L. 2003. PHospHorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. New PHytol., 157, pp 423.

Vance, C.P. (2001) "Symbiotic nitrogen fixation and pHospHorus acquisition. Plant nutrition in world of declining renewable resources" **J. of .Plant. PHysiol**., **127**,pp **390**-**397**.

Verheijen, F., Jeffery, S., Bastos, A.C., Velde, M.v.d., Diafas, I., 2009. Biochar Application to Soils – A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, processes and functions. EUR 24099 EN. Office for the Official Publications of the European Communities, Luxemburg, pp. 149.

Ward, M. H., Brender, J. D. (2011) "Drinking water nitrate and health" Encycle. Environ. Health., 167-178.

Warnock, D.D., Lehmann, J,, Kuyper, TW., RillinF. M.C. (2007). Mycorrhizal responses to biochar in soil – concepts and mechanisms. *Plant and Soil* **300**, 9–20. doi:10.1007/s11104-007-9391-5

WHO, (2007). Nitrate and Nitrite in Drinking-water; Background Document for Development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality" World Health Organization, Geneva 2007; 1-16. Available from:

http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/nitratenitrite2ndadd.pdf. [cited in:12.13.2010]

Widada, J., Damarjaya, D. I. and Kabirun S. 2007. The interactive effects of arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobacteria on the growth and nutrients uptake of sorghum in acid soil pp 173–177. First International Meeting on Microbial Phosphate Solubilization. Vela zquez E. and Rodriguez-Barrueco C. Springer.

Wyss, P., T.H. Boller, and A. Wiemken. 1992. Testing the effect of biological control agents on the formation of vesicular arbuscular mycorrhiza. Plant Soil. 147:159-162.

Yao, y,. Gao, B., Zhang, M., Inyang, M., Andrew, R., Zimmerma. 2012 . Effect of biochar amendment on sorption and leaching of nitrate, ammonium, and pHospHate in a sandy soil . pp. 1467-1471.

Zaidi, A., and Khan, M. S. (2006) "Co inoculation effects of pHospHate solubilizing microorganisms and *Funneliformis fasciculatum* on green gram *Bradyrhizobium* symbiosis" **Turk. J. Agric. For.**, **30**, pp **223**.

Zeng, ZH., Song, da., ZhangTing-qiang, Li,, Feng-liang, Zhao., Zhen-li, He., He-ping, Zhao., Xiao-e, Yang., Hai-long, Wang., Jing Zhao, and Muhammad Tariq Rafiq, 2013. Sorption of ammonium and pHospHate from aqueous solution by biochar derived from pHytoremediation plants. J Zhejiang Univ Sci B. Dec 2013; 14(12): 1152–1161.

Abstract

Chemical fertilizres used in agriculture are sources of environmental pollutants specially groundwater and soil recources. Using of living organisms and organic compounds adsorbing pollutants in soil is a new method to prevent pollution of this waters. Accordingly, an experiment was conducted to evaluate the effects of biochar and arbuscular mycorrhiza symbiosis with corn on reduction of nitrate leaching. A factorial randomized complete block design with three replications was performed under a greenhouse exprement. Factors were tested including three biochar levels (including without biochar (B0) and biochar (B1) and biochar (B2)), three mycohrriza levels including (without mycohrrizae (M0) and *Funneliformis intraradices* (M1) and *Funneliformis versiforme* (M2)) and two levels urea fertilizer levels (including (without fertilizer (N0) and with fertilizer (N1)). The results showed that the application of mycohrriza had significant effect on plant height and shoot dry weight but biochar alone had no significant effect on these characteristics. However, its co-application with mycorrhiza and fertilizer had a positive effect on some of these characteristics. Mycorrhiza inoculation and application of biochar, had significant effect on reducing the leaching of nitrate and ammonium and their storage in soil. The other results also showed that the effects of double and triple-tested factors were significant on growth characteristics, nitrate and ammonium in soil and leaching of soluble.

Regarding to the proper function of mycorrhiza and biochar to reduce nitrate and ammonium leaching, it can be concluded that mycorrhiza and biochar can cause positive effects on traits. In fact, according to these results, the use of mycorrhiza as a bio-fertilizer instead of chemical fertilizers, can reduce the leaching of this element. In general, mycorrhiza can be used as a replacement for chemical. Appropriate amounts of nitrogen fertilizers along with mycorrhiz and biochar, could increase yield compared to the chemical fertilizers alone. The results could be useful to reduce fertilizer applications, decrease production cost and to prevent contamination of soil and groundwater.

Key words: Biochar, Mycorrhiza, Nitrate, Ammonium, Pollution drainage water

Shahrood University of Technology

Faculty of Agricultural
Department of Water and soil
Msc Thesis

Effect of different levels of biochar and arbuscular mycorrhiza symbiosis with corn on reduction of nitrate leaching

Zahra Ahmadi

Supervisiors:

Dr. Ali Abbaspour

Advisiors:

Dr. Hamid Reza Asghari

January 2014