





دانشکده کشاورزی

گروه آب و خاک

تأثیر بیوچار غنی شده با فسفر بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک و عملکرد گیاه ذرت

حسین کیخسروی

استاد راهنما:

دکتر علی عباسپور

استاد مشاور:

دکتر حمیدرضا اصغری

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

شهریور ماه ۱۳۹۴

دانشگاه شاهرود

دانشکده: کشاورزی

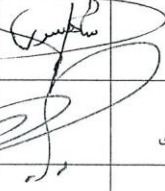
گروه: آب و خاک

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای حسین کیخسروی به شماره دانشجویی: ۹۲۱۲۰۲۴

تحت عنوان: تاثیر بیوچار غنی شده با فسفر بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک و عملکرد گیاه ذرت

در تاریخ ۱۳۹۴/۰۶/۲۵ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مهندسی کشاورزی-خاکشناسی مورد ارزیابی و با درجه پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
غائب	نام و نام خانوادگی: حمیدرضا اصغری		نام و نام خانوادگی: علی عباسپور

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی: مهدی دلقندی		نام و نام خانوادگی: شاهین شاهسونی
			نام و نام خانوادگی: مهدی برادران فیروزآبادی
			نام و نام خانوادگی:
			نام و نام خانوادگی:

تعهد نامه

اینجانب حسین کیخسروی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی کشاورزی-خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه تاثیر بیوچار غنی شده با فسفر بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک و عملکرد گیاه ذرت تحت راهنمایی دکتر علی عباسپور متعهد می شوم.

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

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

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

* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد

تقدیم به

بی بدیل ترین کنجینه های هستی

پدر که اقتدر و مادر صبورم

برادران و خواهران عزیزم

که همواره مشوق و پشتیبانم بوده اند

و همه آنانی که هستی علم می یون و وجود آنهاست.

شکر و قدردانی

سپاس می گویم خداوند منان را که به من نعمت خواندن و نوشتن عطا نمود. در پایان این مرحله از تحصیل بر خود لازم می دانم که از بزرگوارانی که در طی مراحل زندگی و تحصیل یاریم نمودند قدردانی نمایم.

تخت از پدر و مادر گرامی ام شکر و قدردانی می نمایم. آنان که دعای خیرشان حامی و پشتیبان اینجانب نه تنها در دوران تحصیل بلکه در تمام زندگی ام بود. از برادران و خواهرانم که با قبول مسئولیتهایم در خانواده فرصت تحصیل را برایم فراهم آوردند صمیمانه شکر و قدردانی می نمایم.

این پایان نامه تحت راهنماییهای ارزنده و علمی استاد گرامی ام آقای دکتر علی عباسپور انجام شد که در طی انجام این پایان نامه حضوری فعال داشته و بی شک بدون مساعدت و یاری ایشان انجام این تحقیق محال بوده است لذا از محبت های بی دریغ آنان صمیمانه سپاسگزارم. از استاد مشاور پایان نامه آقای دکتر حمیدرضا اصغری به سبب راهنماییهای علمی شان و از اساتید محترم داور این پایان نامه آقای دکتر شائین شاهسونی و آقای دکتر مهدی برادران فیروز آبادی که زحمت بازخوانی این پایان نامه را به عهده داشتند صمیمانه شکر و قدردانی می نمایم.

از ریاست محترم دانشکده کشاورزی و کارکنان آموزش دانشکده، از کارشناس آزمایشگاه خاکشناسی آقای مهندس شکری و از دوستان خوبم آقای قاسم صیدالی، آقای یونس صبری، آقای مهرزاد برزگر کلجی، آقای احمد بازوبندی، آقای عباس نصیری و سایر دوستان و سرورانی که به نحوی از لطف بی ریایشان بهره مند گشتم شکر و قدردانی می نمایم.

برای همه بهترین آرزوها دارم.

حسین کینخسروی

شهریور ماه ۱۳۹۴

لیست مقالات استخراج شده از پایان نامه

"تاثیر کاربرد بیوچارغنی شده با فسفر بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک"، نخستین
کنفرانس ملی دستاوردهای نوین در علوم زیستی و کشاورزی، ارائه سخنرانی، اردیبهشت ۱۳۹۴،
دانشگاه زابل

"تاثیر کاربرد بیوچارغنی شده با فسفر بر برخی خصوصیات کمی گیاه ذرت"، نخستین
کنفرانس ملی دستاوردهای نوین در علوم زیستی و کشاورزی، ارائه پوستر، اردیبهشت ۱۳۹۴،
دانشگاه زابل

چکیده

فسفر بعد از نیتروژن مهم ترین عنصر غذایی مورد نیاز گیاه است. کودهای شیمیایی یکی از منابع عمده فسفر برای گیاهان محسوب می‌شوند. اما مطالعات نشان داده است که به دلیل پیچیدگی خواص شیمیایی فسفر در خاک‌های اسیدی و آهکی کمتر از ۲۰ درصد کود فسفره مصرفی توسط گیاه برداشت می‌شود، و بقیه آن در خاک تثبیت و یا تغییر شکل یافته و به شکل غیرقابل جذب در می‌آید. یکی از راه‌های جلوگیری از کمبود فسفر در گیاهان و یا نامحلول شدن کودهای فسفره در خاک استفاده از کودهای آلی است. یکی از انواع کودهای آلی بیوچار (Biochar) می‌باشد. بر این اساس به منظور بررسی تاثیر بیوچار غنی شده با فسفر بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک و عملکرد گیاه ذرت آزمایشی در سال ۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شاهرود بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای این آزمایش شامل: شاهد، بیوچار در دو سطح (۲ و ۴ تن در هکتار)، بیوچار غنی شده در دو سطح (۲ و ۴ تن در هکتار)، کود فسفر و بیوچار به همراه کود فسفر می‌باشد. جهت آنالیزهای خصوصیات خاک طی فصل رشد گیاه سه مرحله از خاک نمونه برداری شد و آنالیزهای خصوصیات گیاه پس از برداشت کامل گیاه انجام شد. نتایج نشان داد که تاثیر تیمار بیوچار غنی شده با فسفر سطح ۲ بر متغیرهای فسفر دانه، فسفر ریشه و عملکرد دانه معنی دار شده است. همچنین کاربرد توام بیوچار و کود فسفر نیز موجب بهبود فسفر قابل دسترس و فسفر محلول خاک، ارتفاع ساقه، وزن خشک ساقه، وزن خشک برگ و وزن خشک ریشه شده است.

کلمات کلیدی: کودهای آلی، اشکال فسفر خاک، خصوصیات کمی ذرت

فهرست

۱- مقدمه	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۲- فصل دوم	۷
۲-۱- ذرت	۸
۲-۱-۱- تاریخچه ذرت در جهان	۸
۲-۱-۲- گیاهشناسی ذرت	۹
۲-۱-۳- کشت و کار ذرت	۹
۲-۱-۴- فاصله کاشت	۱۰
۲-۱-۵- هیبریدهای ذرت	۱۰
۲-۱-۶- بذر ذرت هیبرید سینگل کراس ۷۰۴	۱۱
۲-۲- فسفر	۱۱
۲-۲-۱- اهمیت فسفر	۱۱
۲-۲-۲- اشکال مختلف فسفر در خاک	۱۲
۲-۲-۳- نقش و اهیت فسفر در گیاه	۱۳
۲-۲-۴- تامین فسفر برای گیاهان در کشاورزی رایج	۱۴
۲-۲-۵- اثر کودهای شیمیایی فسفر بر محیط زیست	۱۵
۲-۳- عوامل موثر در حلالیت و جذب فسفر از خاک	۱۷
۲-۳-۱- تاثیر عوامل خاکی	۱۷
۲-۳-۱-۱- اثر واکنش خاک	۱۷
۲-۳-۱-۲- اثر آهن و آلومینیوم	۱۹
۲-۳-۱-۳- اثر یون کلسیم	۱۹
۲-۳-۱-۴- اثر کانی های رسی	۲۰
۲-۳-۲- تاثیر عوامل گیاهی	۲۱
۲-۳-۲-۱- اثر محیط ریشه	۲۱
۲-۳-۲-۲- تاثیر مشخصات ریشه	۲۲
۲-۳-۲-۳- تاثیر نیاز گیاه	۲۲
۲-۳-۲-۴- تاثیر عوامل مدیریتی	۲۳

۲۳.....	۲-۳-۳-۱- اثر مواد آلی.....
۲۴.....	۲-۳-۳-۲- اثر کودهای ازته.....
۲۵.....	۲-۳-۳-۳- اثر افزایش فسفات.....
۲۶.....	۲-۳-۳-۴- اثر زمان و نحوه کاربرد های فسفات.....
۲۶.....	۲-۳-۴- تاثیر شرایط اقلیمی.....
۲۶.....	۲-۳-۴-۱- اثر رطوبت خاک.....
۲۶.....	۲-۳-۴-۲- اثر دما.....
۲۷.....	۲-۴- بیوپچار.....
۲۷.....	۲-۴-۱- تاثیر بیوپچار بر بهبود خاک.....
۲۸.....	۲-۴-۲- تاثیر بیوپچار بر فعالیت های بیولوژیک خاک.....
۲۹.....	۲-۴-۳- تاثیر بیوپچار بر قابلیت دسترسی به عناصر غذایی.....
۲۹.....	۲-۴-۳-۱- نیتروژن.....
۲۹.....	۲-۴-۳-۲- فسفر.....
۳۰.....	۲-۴-۴- تاثیر بیوپچار بر رشد گیاهان.....
۳۱.....	۲-۴-۵- محتوای مواد مغذی بیوپچار.....
۳۳.....	۳- فصل سوم.....
۳۴.....	۳-۱- محل انجام آزمایش.....
۳۴.....	۳-۲- ویژگی ای آب و هوایی.....
۳۴.....	۳-۳- مشخصات خاک مورد آزمایش.....
۳۵.....	۳-۴- مشخصات طرح آزمایش.....
۳۶.....	۳-۵- عملیات اجرایی.....
۳۶.....	۳-۵-۱- نفشه کاشت.....
۳۷.....	۳-۵-۲- آماده سازی زمین و کاشت.....
۳۷.....	۳-۵-۳- آماده سازی بیوپچار.....
۳۸.....	۳-۶- عملیات داشت.....
۳۸.....	۳-۷- نمونه برداری از خاک.....
۳۹.....	۳-۸- برداشت نهایی.....

۳۹.....	۳-۹- تعیین خصوصیات شیمیایی خاک
۳۹.....	۳-۹-۱- اسیدپته و هدایت الکتریکی خاک
۴۰.....	۳-۹-۲- فسفر قابل جذب خاک
۴۰.....	۳-۹-۳- فسفر محلول خاک
۴۱.....	۳-۱۰- فسفر ریشه و دانه
۴۳.....	۴- فصل چهارم
۴۴.....	۴-۱- مرحله اول نمونه برداری از خاک
۴۵.....	۴-۲- مرحله دوم نمونه برداری از خاک
۴۶.....	۴-۲-۱- اسیدپته
۴۷.....	۴-۲-۲- فسفر محلول
۴۸.....	۴-۲-۳- فسفر قابل جذب
۵۰.....	۴-۳- مرحله سوم نمونه برداری از خاک
۵۰.....	۴-۳-۱- اسیدپته
۵۱.....	۴-۳-۲- فسفر محلول خاک
۵۲.....	۴-۳-۳- فسفر قابل جذب
۵۴.....	۴-۴- ارتفاع ساقه
۵۵.....	۴-۵- وزن خشک ساقه
۵۶.....	۴-۶- وزن خشک برگ
۵۷.....	۴-۷- وزن خشک ریشه
۵۹.....	۴-۸- فسفر دانه
۶۰.....	۴-۹- فسفر ریشه
۶۱.....	۴-۱۰- وزن صد دانه
۶۲.....	۴-۱۱- تعداد دانه در ردیف
۶۳.....	۴-۱۲- عملکرد دانه
۶۵.....	۴-۱۳- نتیجه گیری

۶۶.....	۴-۱۴- پیشنهادها
۶۷.....	۵- منابع
۷۹.....	۶- جداول پیوست

فهرست اشکال

۱۸.....	شکل ۱-۲- اثر pH بر توزیع گونه های ارتوفسفات
۳۶.....	شکل ۱-۳- نقشه کاشت
۴۵.....	شکل ۱-۴- تاثیر تیمارها بر فسفر قابل دسترس گیاه در مرحله اول نمونه برداری
۴۷.....	شکل ۲-۴- تاثیر تیمارها بر اسیدیته خاک
۴۸.....	شکل ۳-۴- تاثیر تیمارها بر مقدار فسفر محلول در مرحله دوم نمونه برداری از خاک
۴۹.....	شکل ۴-۴- تاثیر تیمارها بر مقدار فسفر قابل جذب در مرحله دوم نمونه برداری
۵۱.....	شکل ۵-۴- تاثیر تیمارها بر اسیدیته خاک در مرحله سوم نمونه برداری
۵۲.....	شکل ۶-۴- تاثیر تیمارها بر مقدار فسفر محلول در مرحله سوم نمونه برداری از خاک
۵۳.....	شکل ۷-۴- تاثیر تیمارها بر مقدار فسفر قابل جذب در مرحله سوم نمونه برداری
۵۵.....	شکل ۸-۴- تاثیر تیمارها بر ارتفاع ساقه
۵۶.....	شکل ۹-۴- تاثیر تیمارها بر وزن خشک ساقه
۵۷.....	شکل ۱۰-۴- تاثیر تیمارها بر وزن خشک برگ
۵۸.....	شکل ۱۱-۴- تاثیر تیمارها بر وزن خشک ریشه
۶۰.....	شکل ۱۲-۴- تاثیر تیمارها بر فسفر دانه
۶۱.....	شکل ۱۳-۴- تاثیر تیمارها بر فسفر ریشه
۶۲.....	شکل ۱۴-۴- تاثیر تیمارها بر وزن تک دانه
۶۳.....	شکل ۱۵-۴- تاثیر تیمارها بر تعداد دانه در ردیف
۶۴.....	شکل ۱۶-۴- تاثیر تیمارها بر عملکرد دانه

فهرست جداول

جدول ۳-۱ نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش ۳۵

جدول پیوست ۶-۱ میانگین مربعات مرحله اول نمونه برداری خاک ۸۰

جدول پیوست ۶-۲ میانگین مربعات مرحله دوم نمونه برداری ۸۱

جدول پیوست ۶-۳ میانگین مربعات سومین مرحله نمونه برداری از خاک ۸۲

جدول پیوست ۶-۴ میانگین مربعات برخی خصوصیات کمی گیاه ۸۳

جدول پیوست ۶-۵ میانگین مربعات فسفر دانه و ریشه و عملکرد دانه ۸۴

جدول پیوست ۶-۶ میانگین مربعات برخی از خصوصیات گیاه ذرت ۸۵

مقدم

در سال‌های اخیر نگرانی‌های جهانی درباره عواقب و اثرات جانبی برخی از فعالیت‌های کشاورزی نوین بر محیط زندگی انسان افزایش یافته و محققان را به تفکر بیشتر و نگاهی عمیق‌تر واداشته است. از آنجایی که با افزایش جمعیت جهان نیاز به مواد غذایی بیشتر می‌شود و از سویی افزایش فرسایش و کاهش بازدهی خاک بر تولید محصولات کشاورزی اثر خواهد داشت، به طور حتم در آینده‌ای نزدیک تولید مواد غذایی در جهان با بحران مواجه خواهد شد. با توجه به مشکلات ناشی از محدودیت منابع آب و خاک در ایران امکان توسعه سطح زیر کشت برای افزایش تولیدات کشاورزی میسر نبوده و تنها راه عملی برای خودکفایی در محصولات کشاورزی و تهیه غذای کافی برای جمعیت در حال رشد کشور، افزایش تولید در واحد سطح می‌باشد (ملکوتی، ۱۳۷۹). برای افزایش تولید از روش‌های گوناگون استفاده شده است، اما به کارگیری مستمر و زیاد این روش‌ها موجب تغییر در خواص فیزیکی و شیمیایی خاک شده است و در چند دهه اخیر مصرف نهاده‌های شیمیایی در اراضی کشاورزی موجب معضلات زیست محیطی عدیده‌ای از جمله آلودگی منابع آب، افت کیفیت محصولات کشاورزی و کاهش حاصلخیزی خاک‌ها گردیده است (شارما، ۱۹۹۶).

هدف اصلی کشاورزی پایدار که به وجود آمدن آن برای حیات انسانی یک ضرورت است، کاهش نهاده‌های مصرفی، افزایش چرخه داخلی عناصر غذایی خاک از طریق کاهش خاک ورزی و استفاده از کودهای زیستی بجای کودهای شیمیایی در جهت افزایش عملکرد محصولات کشاورزی و تولید غذای بیشتر است (لگرید و همکاران، ۱۹۹۹؛ کوچکی و همکاران، ۱۳۸۷). مدیریت پایدار خاک نیز شامل نوعی از مدیریت است که تأمین کننده نیازهای فعلی است بدون آنکه توانایی نسل‌های آتی را برای تأمین نیازهای خود از آن خاک، به خطر اندازد. بنابراین مدیریت خاک وقتی پایدار است که ظرفیت خاک برای تأمین نیازهای آیندگان را تغییر ندهد (اسدی‌رحمانی و همکاران، ۱۳۸۶).

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). فسفر بعد از نیتروژن مهم ترین عنصر غذایی مورد نیاز گیاه است (سالاردینی، ۱۳۷۴). این عنصر در طبیعت بسیار فراوان است و به همراه عناصری مانند پتاسیم و نیتروژن ساختار اصلی گیاه را تشکیل می‌دهد. فسفر در ساختمان درشت مولکول‌هایی مانند اسیدهای هسته‌ای شرکت دارد. در حدود ۰/۲ درصد وزن خشک گیاهان را فسفر تشکیل می‌دهد و یکی از عناصر نسبتاً فراوان در خاک است. مقدار فسفر کل در خاک معمولاً بین ۰/۱ تا ۰/۲ درصد می‌باشد که از این مقدار ۵۰ تا ۷۵ درصد به صورت معدنی است (سالاردینی، ۱۳۷۴).

کودهای شیمیایی یکی از منابع عمده فسفر برای گیاهان محسوب می‌شوند. اما مطالعات نشان داده است که به دلیل پیچیدگی خواص شیمیایی فسفر در خاک‌های اسیدی و آهکی کمتر از ۲۰ درصد کود فسفره مصرفی توسط گیاه برداشت می‌شود، و بقیه آن در خاک تثبیت و یا تغییر شکل یافته و به شکل غیرقابل جذب در می‌آید (وانس و همکاران، ۲۰۰۳). فسفر به عنوان یک منبع غیر قابل تجدید از دغدغه‌های اصلی انسان به شمار می‌آید یکی از راه‌های جلوگیری از کمبود فسفر در گیاهان و یا نامحلول شدن کودهای فسفره در خاک استفاده از کودهای آلی است. تحقیقات اخیر نشان داده است که استفاده از کودهای آلی به جای کودهای شیمیایی می‌تواند موجب افزایش محصول و جلوگیری از آلودگی‌های زیست محیطی گردد. یکی از انواع کودهای آلی بیوپچار^۱ می‌باشد.

بیوپچار یک ماده غنی از کربن و گروه‌های آروماتیک است که در اثر هیدرولیز حرارتی مواد آلی تحت شرایط محدود اکسیژن و در دماهای کمتر از ۷۰۰ درجه سانتی گراد تولید می‌شود (لهمن و جوزف،

¹ - Biochar

۲۰۰۹). تحقیقات نشان می‌دهد که بیوپار نقش زیادی در افزایش ذخیره کربنی، بهبود حاصلخیزی خاک و تعادل اکوسیستم‌های خاکی دارد. این تأثیرات مثبت بیوپار به دلیل برخی از خصوصیات ذاتی این ماده غنی از کربن مانند تخلخل و سطح ویژه بالا، ظرفیت تبادل کاتیونی بالا، تجزیه زیستی کم و غیره مربوط می‌شود همچنین بیوپار توانایی بالایی در افزایش اسیدیته خاک (یان و همکاران، ۲۰۰۱)، تحریک فعالیت میکروبی جامعه خاک و همچنین افزایش سرعت نیترات زایی دارد (بال و همکاران، ۲۰۱۰). بیوپار موجب خنثی کردن pH خاکهای اسیدی و آماده کردن شرایط برای فعالیت بیشتر ریز جانداران خاک در چرخه های عناصر غذایی می‌گردد بیوپار سبب تغییر خواص شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی خاک می‌شود (اندرسون و همکاران، ۲۰۱۱). بیوپار پس از اضافه کردن به خاک خواص متغیری داشته که بستگی به مواد اولیه و شرایط تجزیه دارد (فرال و همکاران، ۲۰۱۳) و می‌تواند به صورت آبریز، آبدوست، خواص اسیدی و بازی باشد و همه‌ی این‌ها به اثرات متقابل فاز جامد و فاز مایع بستگی دارد (اتکینسون و همکاران، ۲۰۱۰). بیوپار یک ابزار بالقوه برای افزایش بهره‌وری فسفر و همچنین کربن جدا شده در خاک‌های کشاورزی است. به طور معمول به نظر می‌رسد با استفاده از بیوپار، فسفر قابل دسترس‌تر می‌شود و درصد جذب فسفر توسط سطوح آزاد ذرات در حضور بیوپار قابل ملاحظه بوده و کاهش یافته است (چوی و همکاران، ۲۰۱۱). نتایج حاصل از تحلیل‌های اخیر نشان می‌دهد که متوسط افزایش تولید ۱۰ درصد به عنوان یک نتیجه از اضافه کردن بیوپار است (جفری و همکاران، ۲۰۱۱). استفاده از بیوپار به طور فزاینده در صنعت کشاورزی با فسفر محدود به نظر جذاب می‌رسد (کرول و همکاران، ۲۰۰۹).

از آنجا که فسفر و نیتروژن به عنوان 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 کننده‌هایی نظیر بیوپار بر روی محصولات زراعی از جمله ذرت و تأثیرات آنها در جلوگیری از آلودگی این عناصر غذایی، بسیار اندک می‌باشد. تحقیق حاضر در راستای قدم گذاری در مسیر توسعه و ترویج سیستم

کشاورزی پایدار و استفاده از بیوپار به عنوان یک اصلاح کننده به جای کودهای شیمیایی و تأثیر آنها بر ذخیره گیاهی و آبشویی نیتروژن و فسفر خاک انجام شده است. در نتیجه به کارگیری این روشها، از دست رفتن فسفر در خاک کاهش می یابد. بنابراین حاصل این عملکرد، تولید مواد غذایی سالم و با کیفیت بالا و نیز جلوگیری از آلوده شدن آبهای زیرزمینی به فسفر می باشد.

اهداف این تحقیق عبارت بودند از:

۱. تأثیر بیوپار بر جذب فسفر توسط گیاه ذرت
۲. تأثیر بیوپار غنی شده با فسفر بر عملکرد گیاه ذرت
۳. مقایسه بیوپار غنی شده با فسفر و کودهای شیمیایی فسفره بر افزایش عملکرد ذرت و افزایش جذب فسفر

فصل دوم

کلیات و بررسی منابع

۲-۱-ذرت

۲-۱-۱-تاریخچه ذرت در جهان

ذرت گیاهی از گروه غلات می‌باشد که امروزه نقش مهمی را در تولیدات کشاورزی دنیا داشته و رتبه بالایی دارد. ذرت از گیاهان بومی آمریکای مرکزی و جنوبی است و سابقه کشت آن در دیگر نقاط چندان طولانی نیست. در واقع در زمانی که کریستف کلمب قاره آمریکا را کشف کرد با این گیاه مواجه شد و آن را *mais* نامید. زیرا ذرت توسط سرخ پوستان قبیله ماهیز^۲ 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 آمریکای جنوبی کشت می‌شده است (خداپنده، ۱۳۷۵). تاریخچه دقیق ورود این گیاه به ایران نیز دقیقاً 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 (خداپنده، 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 شد. ایران در سال ۲۰۱۰ تنها یک میلیون تن ذرت تولید کرده بود که این رقم در سال ۲۰۱۱ به ۱/۳ میلیون تن افزایش یافته بود. 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 ۲۰۱۰ به

^۲- mahi

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

۲-۱-۲- گیاهشناسی ذرت

ذرت با نام علمی (*Zea mays* L.) متعلق به خانواده غلات می‌باشد. گیاهی است یک ساله، روز کوتاه، تک پایه و دگرگشن است. تک پایه 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 تقریباً در تمام ارقام یک تا پنج روز قبل از ظهور اعضای مذکور می‌رسند. گرده افشانی غیر مستقیم ذرت بیشتر توسط باد صورت می‌گیرد 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).

۲-۱-۳- کشت و کار ذرت

زمین ذرت مانند زمین سایر گیاهان باید ابتدا شخم بخورد و اگر نیاز بود، هموار شود و دیسک و دندانه زده شود. فرایند کاشت بذر باید هر چه زودتر در بهار، درست به هنگامی انجام شود که دمای خاک تا عمق ۵ سانتیمتری به نزدیک ۱۰ درجه سانتیگراد برسد. این زمان در زمین‌های معتدل سرد کشور پیرامون اردیبهشت ماه و در سرزمین‌های مرکزی در پایان فروردین و در سرزمین‌های نیمه گرم، در اسفند (کشت بهاره) و تیر ماه (کشت تابستانه) است. کشت زود ذرت در بهار پیشنهاد می‌شود، زیرا

همواره عملکرد بیشتر را به همراه دارد و تا بیش از به بیشینه رسیدن گرمای هوا، گرده افشانی انجام می شود و ریشه ها به اندازه کافی گسترش می یابند. در این گونه سرزمین ها کشت رقم های ذرت دیر رس برای بهره گیری حداکثر از فصل رشد، پیشنهاد می شود. در سرزمین های گرم تر کشت های تابستانه عملکرد دانه بیشتری دارند (خواجه پور، ۱۳۷۴).

۲-۱-۴- فاصله کاشت

با استفاده از ماشین های بذر پاش فواصل خطوط را می توان برای منظوره های مختلف به طور دلخواه تنظیم نمود. سال ها فاصله ردیف ها را بین ۹۵ تا ۱۰۵ سانتیمتر انتخاب می کردند ولی امروزه تراکم گیاهی را در واحد سطح افزایش داده و فاصله ها را کمتر انتخاب می کنند. هر چند عرض ردیف ها تا حدودی به ادوات کشت بستگی دارد ولی فواصل ۷۰ تا ۷۵ سانتیمتری بیشتر متداول است و حتی فاصله ۵۰ سانتیمتر نیز برای کشت ذرت به کار می رود و در مواردی که از ذرت به عنوان علوفه تازه برای مصرف دام استفاده می شود فواصل نزدیک تر نیز در نظر گرفته می شود.

۲-۱-۵- هیبریدهای ذرت

در حال حاضر هیبریدهایی که مورد استفاده قرار می گیرند عبارتند از : (الف) هیبریدهای ساده یا سینگل کراس (CS) که از تلاقی دو لاین خالص به دست می آیند. (ب) دابل کراس ها (CD) یا هیبرید های مضاعف که از تلاقی ۲ هیبرید سینگل کراس بدست می آید و همچنین (ج) هیبریدهای تریپل کراس (CT) (سه طرفه) که از تلاقی یک لاین خالص و یک سینگل کراس به دست می آید. سینگل کراس ها معمولاً در شرایط فاریاب و دابل کراس ها برای شرایط اراضی دیم اروپا مناسب می باشند (نورمحمدی و همکاران، ۱۳۸۰).

۲-۱-۶- بذر ذرت هیبرید سینگل کراس ۷۰۴

این هیبرید در طبقه بندی سازمان خوار و بار و کشاورزی در گروه ۷۰۰ قرار می‌گیرد و زمان لازم از کشت تا برداشت آن حدود ۱۳۵ تا ۱۴۰ روز است. یکی از جدید ترین و بهترین هیبریدهایی است که در یوگسلاوی بدست آمده و دو منظوره و بیشتر به صورت دانه ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. وضع محصول آن عالی و از آن حدود ۶ تا ۹ تن دانه بدست می‌آید و در صورتی که برای تولید علوفه کشت شود حدود ۷۰ تا ۸۰ تن عملکرد علوفه در هکتار دارد.

ارتفاع بوته ۲۸۵ سانتیمتر، طول بلال‌ها ۲۰ تا ۳۲ سانتیمتر، ردیف دانه‌ها ۱۴ تا ۱۶ و رنگ چوب بلال قرمز روشن است. دانه‌ها فرم دندان اسبی داشته و رنگ دانه زرد روشن و وزن هزار دانه ۳۷۰ گرم است. این هیبرید به خشکی نسبتاً مقاوم و به بیماری‌های قارچی نیز مقاومت نسبی دارد. این هیبرید برای کلیه نقاط ایران به جزء نقاط سرد و کوهستانی قابل توصیه است میزان بذر لازم ۱۸ تا ۲۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (نور محمدی و همکاران، ۱۳۸۰).

۲-۲- فسفر

۲-۲-۱- اهمیت فسفر

فسفر بعد از نیتروژن مهمترین عنصر مورد نیاز گیاهان و ریزجانداران می‌باشد و در کلیه فرآیندهای بیوشیمیایی، ترکیبات انرژی‌زا و ساخت غشاءهای سلول و کارهای انتقال انرژی دخالت دارد، افزون بر آن فسفر در ساختار بیوشیمیایی فسفولیپیدها، نوکلئوتیدها و اسیدهای نوکلئیک نقشی ویژه دارد (رامکرز و همکاران، ۲۰۱۰). خصوصیات pH، کاتیونهای محلول و تبادل (مانند Ca^{+2} ، Mg^{+2} ، Fe^{+2} ، Al^{+3})، نوع ذرات و سطح آنها، اشکال مختلف فسفر در خاک را تعیین می‌کنند (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳).

۲-۲-۲- اشکال مختلف فسفر در خاک

فسفر در خاک به اشکال مختلفی حضور دارد که می‌توان آنها را بصورت کلی به دو گروه فسفر آلی و فسفر غیر آلی (معدنی) از یکدیگر تفکیک نمود (طهماسبی و حسین پور، ۱۳۸۶). پراکنش نسبی این دو گروه در خاک‌ها بستگی به فاکتورهای مختلفی مانند نوع خاک، نوع پوشش گیاهی، پیشینه کود دهی، فعالیت میکروبی، کشت و زرع و غیره دارد (هدلی و همکاران، ۱۹۸۲). شکل معدنی این عنصر در خاک شامل ۱۷۰ کانی مختلف شامل ترکیبات کلسیم، آهن، آلومینیوم و فلئور می‌باشد.

فسفر غیر آلی خاک ممکن است به یکی از اشکال : ۱- حضور در محلول خاک ۲- جذب شده به ذرات خاک ۳- به شکل مواد معدنی رسوب کرده، دیده شود.

اگر چه فسفر غیر آلی محلول خاک فقط بخش کوچکی از کل فسفر خاک ($< 1\%$) را تشکیل می‌دهد، لیکن گیاهان اغلب نیاز فسفر خود را از این منبع اخذ می‌کنند. بیشتر فسفر غیر آلی خاک در سطح خاک جذب شده و یا بعنوان فسفاتهای آهن و آلومینیم در خاک‌های اسیدی و فسفاتهای کلسیم و منیزیم در خاک‌های آهکی و قلیایی رسوب کرده‌اند. پراکنش نسبی و قابلیت دسترسی گیاهی این اشکال بستگی اساسی به pH خاک دارد (سمپل و همکاران ۱۹۸۰، بولان ۱۹۹۱). فسفر آلی نیز در خاک به سه شکل قابل حل در محلول خاک، بعنوان فسفر غیر محلول جذب شده به ذرات خاک و یا بعنوان جزئی از مواد آلی خاک دیده می‌شود (سانچس، ۲۰۰۷).

اگر چه بیش از ۳۰ نوع فسفر آلی از خاک‌ها جدا شده است لیکن ترکیبات فیتین، فسفولیپیدها و اسیدهای نوکلئیک از اجزاء اصلی به شمار می‌روند که اسید فیتیک (هگزا فسفات انیوستیول) مهمترین ترکیب آلی است. این ترکیبات از طریق تجزیه مواد گیاهی ایجاد می‌شوند. لذا خاک‌هایی که مواد آلی زیادی دارند از نظر شکل آلی فسفر غنی هستند. برای جذب و قابلیت دسترسی گیاهان به فسفر، ابتدا

باید فسفر آلی به فسفر معدنی تبدیل شود. معدنی شدن از طریق هضم ساده و یا فسفوریلاسیون آنزیمی توسط میکرو ارگانیسم های خاک صورت می گیرد (فرزانه، ۱۳۸۲).

۲-۲-۳- نقش و اهمیت فسفر در گیاه

فسفر نقش اساسی در تغذیه همه گیاهان دارد و در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در موجودات زنده شرکت دارد (وانس و همکاران، ۲۰۰۳). کمبود فسفر سرعت رشد و نمو را کند کرده و از عملکرد محصول می کاهد. گیاهان از همان مراحل اولیه رشد برای تولید محصول بهینه، نیاز به فسفر کافی دارند (گرت و همکاران، ۲۰۰۵). فسفر به مقدار زیاد در بذر و میوه یافت می شود. فسفر عامل زودرسی محصولات، بویژه غلات است. کمبود فسفر در کیفیت میوه و دانه اثر سوء برجای می گذارد (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳؛ ملکوتی، ۱۳۷۹). فسفر که از درشت مغذیهای کلیدی مورد نیاز برای رشد و متابولیسم گیاه است بخاطر تشکیل استرفسفاتهای غنی از انرژی نقش مهمی در انتقال انرژی در گیاه بر عهده دارد. این عنصر جزء مهمی از ماکرو مولکولهایی مانند نوکلئوتیدها، فسفولیپیدها و فسفاتهای قندی است (مارشتر، ۱۹۹۵؛ یاهایا و ال آزاوی، ۱۹۸۹).

آن دسته از بقولات علوفه ای که در اراضی مرتعی کود فسفوری دریافت نکرده باشند، از رشد چندان رضایت بخشی برخوردار نیستند. مصرف فسفر به میزان کافی، تعداد گره های تشکیل شده در بقولات و میزان ازت تثبیت شده را افزایش می دهد (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳؛ لاگرید و همکاران، ۱۹۹۹). فسفر از جمله عناصری است که در خاکها به آبشویی مقاوم است ولی با این حال کمبود آن در اکثر خاکها باعث کاهش تولیدات کشاورزی می گردد (خاوازی و ملکوتی، ۱۳۸۰). زیرا این عنصر بعد از ورود به خاک، بیش از ۸۰ درصد آن غیرمتحرک شده و با جذب، رسوب و یا تبدیل به شکل آلی از دسترس گیاه خارج می شود (تورک و همکاران، ۲۰۰۶؛ اسچاچتمن و همکاران، ۱۹۹۸). کمبود فسفر یکی از محدودیت های عمده

برای رشد لگومها در بسیاری از خاک‌هاست و سطوح ناکافی فسفر در خاک تثبیت نیتروژن را محدود می‌کند (صالح و همکاران، ۱۳۸۰).

در پژوهش تورک و تاواها (۲۰۰۲) با کاربرد مقادیر مختلف فسفر، بالاترین عملکرد گیاه باقلا در بالاترین سطح فسفر (۵۲/۵ کیلوگرم در هکتار) بدست آمد. علاوه بر عملکرد، اجزای عملکرد شامل وزن صد دانه، تعداد دانه در غلاف، طول غلاف، تعداد غلاف در بوته به طور معنی‌داری با کاربرد کود فسفر در مقایسه با عدم کاربرد آن افزایش یافت و بالاترین مقدار تعداد دانه در غلاف در سطح ۵۲/۵ کیلوگرم در هکتار فسفر بدست آمد، ولی لوپز بلید و همکاران (۲۰۰۵) بر این باورند که تعداد دانه در غلاف به وسیله ژنوتیپ تعیین می‌شود و کمتر شرایط محیطی بر روی آن تأثیرگذار است.

کاظمی پشت مساری و همکاران (۱۳۸۶) نیز گزارش کردند که تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه گیاه باقلا با کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل به طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. گیاهان زراعی در سال بین ۱۰ تا ۳۰ کیلوگرم در هکتار فسفر جذب می‌کنند. شواهدی در دست است که فسفر محلول خاک باید دائماً جایگزین شود و اگر مقدار کمی فسفر به صورت پایدار در اختیار گیاهان باشد به خوبی می‌توانند رشد کنند (لطف الهی و همکاران، ۱۳۸۳). همچنین شارما (۲۰۰۲) بیان کرد یکی از فواید کود فسفر این است که باعث می‌شود گیاهان ریشه‌های بیشتر و عمیق‌تری تولید کنند و فسفر با دخالت در طول، ظرافت و تراکم ریشه به طور غیر مستقیم موجب افزایش عملکرد می‌گردد.

۲-۲-۴- تامین فسفر برای گیاهان در کشاورزی رایج

از آنجا که کودهای آلی تولید شده در مناطق مختلف تکافوی برآورده نمودن تولیدکنندگان را نکرده و همچنین به لحاظ دانش اندک کشاورزان در مورد علم بیولوژی خاک، تقاضا برای استفاده و بکارگیری انواع کودهای شیمیایی بسیار بالاست تا جایی که در بعضی از مناطق استفاده از آنها به حد افراط رسیده

است. در بسیاری از نقاط جهان (و از جمله ایران) به دلیل بالا بودن pH خاک و فراوانی یون کلسیم در آن، به رغم فراوانی برخی عناصر غذایی مانند فسفر، مقدار آن به شکل محلول و قابل جذب، کمتر از مقدار لازم برای تأمین رشد مناسب گیاهان است. روش متداول برای مقابله با این کمبودها، استفاده از انواع کودهای شیمیایی است (بشارتی و صالح راستین، ۱۳۸۰).

تقاضای فزاینده برای غذا، نیاز به مصرف کودها برای بهبود حاصلخیزی خاک و احیاء مواد غذایی آن را افزایش داده است (لاگرید و همکاران، ۱۹۹۹). گونه‌های گیاهی در مقدار نیاز به فسفر، در روش‌های بکار برده شده برای استفاده از فسفر قابل دسترس و در پاسخ آنها به بکارگیری کود فسفر با یکدیگر اختلاف دارند. بنابراین روش‌های مدیریت فسفر باید با توجه به نیازمندی گیاهان زراعی و اهداف مدیریتی برای سیستم‌های تولیدی طراحی شود.

غالب فسفات‌های غیرآلی بکاربرده شده در خاک بعنوان کود، بسرعت تبدیل به اشکال غیر قابل دسترس گیاه با قابلیت حل پایین می‌شوند (تانگاسوامی و چلاپان، ۲۰۰۶).

۲-۵- اثر کودهای شیمیایی فسفر بر محیط زیست

بطور کلی کشاورزی مدرن با تکیه بر استفاده وسیع از کودهای شیمیایی، توان بالقوه مفید بعضی از موجودات زنده خاک را نادیده گرفته است. این امر سبب آلوده شدن جدی برخی از مناطق با آفت‌کش‌ها و یا عناصری همچون نیتروژن، فسفر و یا حتی عناصر کم مصرفی مانند مس شده است. امروزه کشاورزی فشرده که معمولاً با سیر روز افزون استفاده از نهاده‌های مکانیکی و شیمیایی همراه می‌باشد، سبب کاهش تنوع زیستی در خاک شده که تأثیرات مستقیم و غیر مستقیم قابل توجهی را بر عملکرد خاک بر جای می‌گذارد (ابوت و مورفی، ۲۰۰۷).

خاک محیط پیچیده‌ای است که محل تصادف تمامی فاکتورهای بکار گرفته شده در امر تولید است و چنانچه بشر در استفاده از نهاده‌های کشاورزی (مانند کود، سم، شخم و...) رعایت اعتدال را ننماید، زیان-

های غیر قابل جبرانی را بر محیط زیست وارد و در عین حال اتلاف سرمایه را نیز به دنبال خواهد داشت (اسدی رحمانی و فلاح، ۱۳۸۰).

استفاده زیاد از کودهای شیمیایی ممکن است عناصر غذایی اصلی و فعالیت‌های بیولوژیکی خاک را از بین ببرد و باعث تهی سازی خاک‌هایی با حاصلخیزی طبیعی شود (راجا، ۲۰۰۶). استفاده از کودهای غیر آلی به طور مستقیم و غیر مستقیم، تغییراتی را در جنبه‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی خاک باعث شده که این تغییرات در دراز مدت اثر منفی معنی‌داری بر کیفیت و ظرفیت تولیدی خاک خواهد داشت (بلی و همکاران، ۲۰۰۲). مصرف نامتعادل و یا مفرط کودها، اتلاف منابع بوده و می‌تواند منشاء مشکلات زیست محیطی شود (لاگرید و همکاران، ۱۹۹۹).

مشکلات عمده مرتبط با مصرف کودهای فسفاته عبارتند از:

۱- تهی سازی خاک،

۲- انتقال فسفر به جریان های آبی و سرشار سازی آنها،

۳- اتمام ذخایر سنگ‌های فسفات،

۴- باقی ماندن عناصر نامطلوب موجود در سنگ‌های فسفات در محیط.

عوارض نامطلوب مصرف دراز مدت و بی رویه کودهای شیمیایی ثابت شده است. یکی از مهمترین آنها کاهش باروری خاک به دنبال از بین رفتن هوموس است. بررسی‌ها نشان می‌دهد بعد از چند دهه استفاده از کودهای شیمیایی، فسفر در خاکهای زراعی تمرکز یافته و به یک تهدید بزرگ برای کیفیت آب‌های جاری تبدیل شده است (لیو و همکاران، ۲۰۰۳؛ اصغری و همکاران، ۲۰۰۵).

وجود فسفر زیاد در آب‌های جاری به اوتریفیکاسیون رودخانه‌ها و دریاچه‌ها منجر خواهد شد (گرنٲ و همکاران، ۲۰۰۵). مصرف بی‌رویه کودهای فسفاته در ایران، گذشته از هزینه‌های ارزی گزاف خرید کود از خارج کشور، اثرات زیانباری را بدنبال دارد. زیان‌های اقتصادی و زیست محیطی ناشی از استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی در کشاورزی در سطح جهانی مطرح است و منطق حکم می‌کند که جایگزین مناسبی برای این کودها در نظر گرفته شود و این به معنی پیدا کردن راه‌های مؤثر برای رسیدن به تولید زراعی بالا همراه با استفاده ناچیز از کودهای شیمیایی است (لیو و همکاران، ۲۰۰۳).

۲-۳- عوامل مؤثر در حلالیت و جذب فسفر از خاک

عوامل زیادی بر روی فسفر موجود در خاک و تثبیت یا قابلیت جذب آن توسط گیاهان مؤثرند که می‌توان آنها را به چهار دسته کلی خصوصیات خاک، خصوصیات گیاه، شرایط اقلیمی و مدیریت زراعی تقسیم نمود (سلیمانی درچه، ۱۳۷۳).

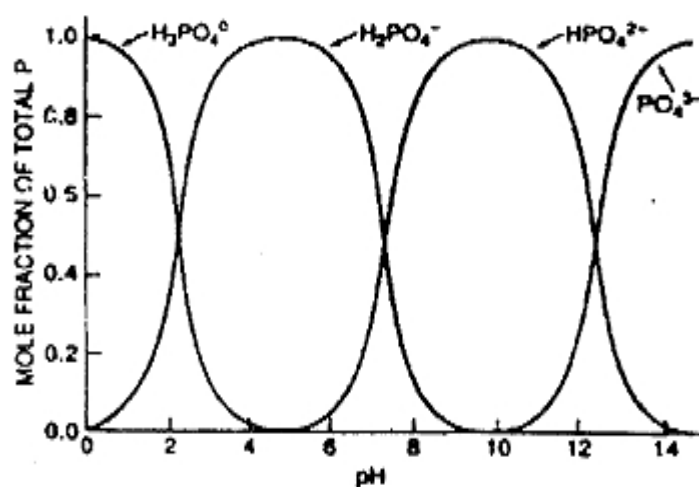
۲-۳-۱- تأثیر عوامل خاکی

حلالیت و قابلیت جذب فسفر تابع عوامل متعددی است. اثرات این عوامل همیشه توأم می‌باشد به طوری‌که امکان مطالعه جداگانه آنها غیر عملی می‌باشد، با این حال سعی شده است عوامل خاکی مؤثر در قابلیت جذب فسفر تحت عنوان‌های مانند واکنش خاک، آهن و آلومینیوم، کانی‌های رس و یون کلسیم بحث شود.

۲-۳-۱-۱- اثر واکنش خاک

pH خاک تأثیر بسیار زیادی در فراهمی یون‌های آهن، آلومینیوم، کلسیم و... در محلول خاک و در نتیجه بر حلالیت و قابلیت جذب فسفر دارد. تحقیقات نشان داده است که حداکثر قابلیت جذب فسفر برای گیاه در pH حدود ۶ تا ۶/۵ بدست می‌آید زیرا کانی‌های کنترل‌کننده فسفر در این pH توأمأ حضور داشته و حلالیت بالایی دارند (عطاردی، ۱۳۸۴).

همانطور که در شکل (۲-۲) مشاهده می‌شود، در pH بین ۴ تا ۶ بخش اعظم فسفر در محلول خاک به صورت یون H_2PO_4^- است و از آنجا که در آب محلول می‌باشد براحتی توسط ریشه گیاه جذب می‌شود. با افزایش pH از میزان این یون کاسته شده و در pH بین ۸ تا ۱۰، HPO_4^{2-} یون غالب محلول خاک می‌باشد. یون HPO_4^{2-} به خوبی یون H_2PO_4^- نمی‌تواند جذب گیاه شود. در چنین شرایطی یون سدیم نیز در فاز تبادلی خاک غالب بوده و مقداری از فسفات، به شکل سدیم فسفات در می‌آید و با هیدرولیز، حلالیت آن زیاد می‌شود. در pH بیشتر از ۱۰ فرم غالب فسفر، PO_4^{3-} است و در صورت عدم وجود سدیم فسفات، فسفر برای گیاهان قابل جذب نیست. در pH کمتر از ۳، که در خاک‌های زراعی مشاهده نمی‌شود، فسفر به شکل H_3PO_4 (اسید فسفریک) وجود دارد و فرم بسیار فعال و واکنش پذیری می‌باشد و گویای این واقعیت است که در خاک‌های خیلی اسیدی اولتی سول و اکسی سول تثبیت فسفر سریع بوده و به منظور تأمین رشد مطلوب گیاه مقادیر زیادی کودهای فسفردار بایستی مصرف شود (پرساد و پاور، ۱۹۹۷).



شکل ۲-۱- اثر pH بر توزیع گونه های ارتوفسفات

pH خاک به طریق دیگری نیز در جذب فسفر مؤثر می‌باشد بدین صورت که معدنی شدن فسفر آلی در خاک با افزایش pH تشدید می‌شود. علت این امر را می‌توان بدین طریق تشریح کرد که با افزایش pH قدرت جذب هیدروکسید های فلزی خاک برای جذب فسفات‌های آلی کم می‌شود، فسفات‌های آلی محلول‌تر شده و بنابراین مستعد معدنی شدن می‌شوند (سالاردینی، ۱۳۸۸).

۲-۱-۳-۲- اثر آهن و آلومینیوم

در خاک‌های اسیدی مقدار قابل توجهی یون‌های فعال آهن، آلومینیوم و منگنز تشکیل می‌شود این یون‌ها با فسفات ترکیب می‌شوند و ترکیبات نامحلول آهن و آلومینیوم و شاید منگنز را تشکیل می‌دهند. ترکیبات حاصل ممکن است از محلول رسوب نموده و یا روی سطح اکسیدهای آهن و آلومینیوم یا ذرات رس جذب سطحی شود. حلالیت این ترکیبات تازه انباشته شده معمولاً با گذشت زمان کمتر می‌شود و بنابراین قابلیت جذب فسفر از خاک کاهش می‌یابد (سالاردینی، ۱۳۸۸).

۲-۱-۳-۲- اثر یون کلسیم

یون کلسیم با فسفر موجود در خاک واکنش داده و به صورت فسفات‌های کلسیم رسوب می‌کند. با گذشت زمان ترکیبات نامحلولتری از فسفات کلسیم ایجاد می‌شود بطوری‌که مونو کلسیم فسفات محلول ابتدا به دی کلسیم فسفات، اکتا کلسیم فسفات و نهایتاً به آپاتیت تبدیل می‌شود (سالاردینی، ۱۳۸۸؛ عطاردی، ۱۳۸۴). در خاک‌های قلیایی دارای کربنات کلسیم آزاد مکانیسم دیگری نیز مسئول کاهش فعالیت فسفر است. یون فسفر محلول خاک وقتی با کلسیم سطحی کربنات کلسیم که در فاز جامد است تماس پیدا کند، در روی سطح این ذرات رسوب می‌کند که مقدار رسوب به بزرگی سطح ذرات و غلظت یون فسفات در محلول بستگی دارد. هر چه ذرات کربنات کلسیم خاک ریزتر باشد مقدار کلسیم فعال آن بیشتر بوده و تثبیت فسفر بیشتر خواهد بود. مکانیسم دیگری که کلسیم در آن نقش دارد پدیده پل زدن است که در این پدیده کلسیم به منزله پلی بین کانی رس و یون فسفات می‌باشد.

به طور خلاصه می‌توان گفت که در خاک‌های آهکی یون کلسیم نقش اساسی را در مقدار تثبیت فسفر به عهده دارد. هر چه فعالیت یون کلسیم در فاز محلول بیشتر، مقدار کربنات کلسیم بیشتر و ذرات آن ریزتر و بالأخره مقدار رس های ۲ به ۱ در خاک بیشتر باشد مقدار بیشتری فسفر در نتیجه عمل کلسیم تثبیت می‌شود (سالاردینی، ۱۳۸۸). در ایران بیش از ۶۰ درصد اراضی زیر کشت به درجات مختلف آهکی هستند به همین دلیل راندمان مصرف کودهای فسفره در این اراضی کم بوده و باعث مصرف بیش از اندازه فسفر و صرف هزینه های اقتصادی بالایی می‌شود (سماواتی و حسین پور، ۱۳۹۰).

۲-۳-۱-۴- اثر کانی های رسی

ذرات رس منجر به ابقا یا تثبیت فسفر در خاک می‌شوند؛ لذا خاک‌هایی با بافت ریز، مثلاً خاک لومی رسی، دارای ظرفیت تثبیت بالاتری نسبت به خاک‌های با بافت درشت شنی می‌باشند. اگر چه دقیقاً مشخص نیست که این تثبیت چگونه صورت می‌گیرد ولی به هر حال دخالت آهن و آلومینیوم در این واکنش‌ها قطعی است. تحقیقات نشان داد که با حذف این فلزات از سطح رس کائولینیت و مونت موریلونیت و دیگر کانی‌های رس قدرت تثبیت فسفر آنها به صفر یا مقدار ناچیزی تقلیل پیدا کرد (سالاردینی، ۱۳۸۸). یکی از روش‌های اتصال فسفر به سطح کانی‌های رس ترکیب آن با عامل هیدروکسیل متصل به اتم آلومینیوم می‌باشد. هرچه مقدار این هیدروکسیل‌ها در رس بیشتر باشد قدرت تثبیت رس بیشتر خواهد بود. بنابراین قدرت تثبیت فسفر در رس‌های لایه ای نوع ۱ به ۱ (مثلاً کائولینیت) نسبت به رس های ۲ به ۱ لایه ای (مونت موریلونیت، ایلیت و ورمی کولیت) بیشتر می‌باشد (کریشنا، ۲۰۰۲؛ بوهن و اوکانر، ۱۳۸۶).

تبادل آنیونی را نیز یکی دیگر از پدیده‌های نگهداری فسفر بوسیله رس‌ها می‌دانند. هرگاه کانی‌های رسی را که مقداری فسفر جذب کرده باشد با آنیون‌هایی مانند آرسنات، اکسالات یا حتی هیدروکسیل شستشو داده شود مقداری فسفر آزاد می‌شود به هر حال در این تبادل برخلاف تبادل کاتیونی نسبت

آنیون آزاد شده به گرفته شده برابر نمی باشد. تبادل آنیونی در رس های ۱ به ۱ بیش از رس های ۲ به ۱ است (سالاردینی، ۱۳۷۴؛ بوهن و اوکانر، ۱۳۸۶).

مکانیسم سومی که در نگهداری فسفات بوسیله رس و بنابراین در قابلیت جذب فسفر دخالت دارد پدیده پل زدن است، که قبلاً نیز به آن اشاره شد، بنابراین رس هایی که از کلسیم اشباع شده باشند از رسی که با سدیم اشباع شده باشد مقدار بیشتری فسفات تثبیت می کند. پل زدن کلسیم، آهن یا آلومینیوم در خاک بیشتر از جنبه نظری مهم است زیرا در خاک های اسیدی هیدروکسید و یون های آهن و آلومینیوم نقش اساسی را در تثبیت ایفا می کنند و در خاک های آهکی و قلیایی وقتی رس ها با کلسیم اشباع شده باشند مقدار زیادی کربنات کلسیم آزاد نیز در محیط موجود است که در آن صورت عامل مهم در تثبیت همان کربنات کلسیم خواهد بود (سالاردینی، ۱۳۷۴؛ بوهن و اوکانر، ۱۳۸۶).

۲-۳-۲- تاثیر عوامل گیاهی

غیر از عوامل خاکی که در قسمت های قبلی درباره آنها بحث شد عوامل دیگری نیز در توانایی گیاه در جذب فسفر خاک تاثیر دارند. به عبارت دیگر وقتی شرایط یکسان و فقط نوع گیاه متفاوت باشد مقدار قابلیت جذب فسفر از خاک نیز متفاوت خواهد بود (وانس و همکاران، ۲۰۰۳). این عوامل در زیر آورده شده اند.

۲-۳-۱- اثر محیط ریشه

ریشه گیاه با جذب و آزاد کردن مواد مختلف، به خاکی که در محدوده فعالیت خود قرار دارد، تغییرات شیمیایی و حیاتی فوق العاده ای می دهد که باعث تغییر در قابلیت جذب عناصر متعددی از جمله فسفر می شود (رایان و همکاران، ۲۰۰۱؛ اسکات و کندرون، ۲۰۰۳). نتایج آزمایشات بسیاری نشان می دهد که ریشه گیاه خود به تنهایی تأثیری در حلالیت فسفر خاک ندارد بلکه اثر آن به واسطه وجود تجمع موجودات ذره بینی است که در روی ترشحات و مواد آلی که از ریشه ها ترشح می شوند، زندگی می کنند.

ریشه گیاهان مختلف هر یک موجودات ذره بینی خاصی را به وجود می آورند. بنابراین اثر آنها در حلالیت فسفر متفاوت است. مثلاً ریشه شلغم بیش از یولاف ترشح دارد و جمعیت موجودات ذره بینی محیط ریشه آن بیشتر می باشد. مطالعات دانشمندان دیگر نشان داده است که تعداد بیشماری باکتری های حل کننده فسفات کلسیم در خاکی که در آن گیاه کاشته شده است وجود دارند که در خاک های بدون گیاه مشاهده نمی شوند. این باکتری ها با مصرف هیدروکربن و گلوکز و بعضی مواد آلی دیگر قادرند اسیدهای آلی مانند اسید لاکتیک ترشح کنند که باعث حل شدن فسفات کلسیم می شود (سالاردینی، ۱۳۷۴).

۲-۳-۲- تاثیر مشخصات ریشه

بین گونه های مختلف گیاهان از نظر قدرت جذب فسفر و وسعت پراکندگی ریشه تفاوت زیادی مشاهده می شود. عده ای از پژوهشگران در بررسی قدرت جذب ریشه های جدا شده ماش، جو و یونجه مشاهده نمودند که مقدار فسفری که این ریشه ها می توانند جذب کنند در ماش بیش از جو و آن هم بیش از یونجه است. به عقیده این دانشمندان علت اصلی تفاوت جذب فسفر در این گیاهان وجود تعداد متفاوت محل های گیرنده خاص فسفر روی ریشه می باشد که جذب فعال این عناصر را با پدیده حامل باعث می شود (سالاردینی، ۱۳۷۴). در یک گونه گیاه هر چه سطح ریشه افزایش یابد جذب فسفر یا عناصر دیگر نیز افزایش می یابد (خوشگفتارمنش، ۱۳۸۶).

۲-۳-۳- تاثیر نیاز گیاه

در صورت مقایسه گیاهان مختلف از نظر فسفر مشاهده می شود که مقدار این عنصر در این گیاهان و در نتیجه نیاز آنها متفاوت می باشد. به طور کلی گیاهانی که به آهستگی رشد و نمو می کنند و یا درصد فسفر آنها کم باشد می توانند در شرایط فسفر کم به خوبی رشد کنند در صورتیکه گیاهانی که سریع رشد بوده و دارای فسفر زیادی نیز باشند، در خاک هایی که فسفر آنها کم باشد دچار کمبود می شوند. اصولاً گیاهان یکساله، که بسیاری از گیاهان زراعی معمول دنیا در جمع آنها هستند و بایستی تمام مواد

غذایی موردنیاز خود را در مدت یک فصل زراعی جذب کنند، احتیاج به مقدار زیادی فسفر قابل جذب در خاک دارند در صورتیکه درختان جنگلی و میوه، که درصد بسیار بزرگی از فسفر موردنیاز خود را به صورت ذخیره از سال یا سال‌های قبل در تنه یا شاخه‌های خود نگه داشته‌اند، احتیاج کمی به این عنصر دارند (سالاردینی، ۱۳۷۴).

۲-۳-۳- تاثیر عوامل مدیریتی

۲-۳-۳-۱- اثر مواد آلی

معلوم شده است که برگرداندن شاخ و برگ گیاهان و دادن کود سبز به زمین و افزودن هرگونه مواد آلی به خاک در قابلیت جذب فسفر بوسیله گیاه می‌افزاید (زلفی باوریانی و نوروزی، ۱۳۸۹؛ دلگادو، ۲۰۰۹). دلایل این امر را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- ترکیب گاز کربنیک تولید شده از تجزیه مواد آلی با آب، تولید اسید کربنیک می‌نماید. این اسید در خاک‌های آهکی، حلالیت ترکیبات فسفاتی را افزایش داده و بدین ترتیب قابلیت جذب آنها فزونی می‌یابد.

- در اثر تجزیه مواد آلی، ترکیبات مختلط فسفو هومیک، که با سهولتی بیشتر جذب گیاه می‌شوند، بوجود می‌آید.

- یون هومات جایگزین فسفات‌های جذب سطحی شده گردیده، یون اخیر آزاد و قابل جذب گیاه می‌شود.

- هوموس، سطوح ذرات اکسیدهای آهن و آلومینیوم را پوشانده و از ظرفیت تثبیت فسفات خاک می‌کاهد.

- آنیون‌های آلی ناشی از تجزیه مواد آلی، ترکیبات پیچیده ای را با آهن و آلومینیوم بوجود آورده و بدین ترتیب مانع از واکنش فسفات با آنها می‌شود.

- کربنات کلسیم، در حضور مواد آلی، قادر به جذب مقدار کمتری فسفات می‌باشد. تحقیقات نشان داده اند که فسفات و ترکیبات آلی، برای مکان‌های جذبی مشابهی بر سطح این کانی رقابت می‌کنند.

- ایجاد پوشش مواد آلی، بر سطح خاکدانه‌ها، باعث کاهش جذب فسفات می‌گردد.

- پوشش مواد آلی بر سطح رس‌ها، باعث کاهش ظرفیت جذب فسفات می‌گردد.

۲-۳-۳-۲- اثر کودهای نیتروژنه

ازت خاک به دو طریق می‌تواند در قابلیت جذب فسفر موثر باشد. یکی اثرات بیولوژیکی است که به صورت تغییراتی در شکل و فعالیت‌های گیاه ظاهر می‌شود؛ مانند افزایش سطح مؤثر و قدرت جذب ریشه، افزایش فعالیت تنفسی و آنزیمی گیاه. اثر دیگر ازت اثر شیمیایی آن در حلالیت فسفر خاک می‌باشد. افزایش ازت به محیط ریشه باعث جذب بیشتر اکسیژن و آزاد شدن اسید کربنیک بوسیله ریشه و افزایش فعالیت‌های آنزیمی مسئول جذب فسفر می‌شود. از آنجا که جذب فسفر بوسیله گیاه با پدیده جذب فعال صورت می‌گیرد و این پدیده با زیاد شدن شدت تنفس شدت بیشتری خواهد داشت، افزایش ازت به محیط نمو گیاه باعث جذب بیشتر فسفر می‌شود. تحقیقات نشان داده است افزایش کودهای ازتی به محیط ریشه گیاه ظرفیت تبدلی ریشه غالب گیاهان را زیاد می‌کند و این ریشه‌ها مقدار بیشتری آنیون های آلی ترشح نموده و در نتیجه در خاک‌های اسیدی مقدار بیشتری فسفر به صورت فسفات آهن یا آلومینیوم محلول درمی‌آید که بالأخره جذب گیاه می‌شود. در خاک‌های قلیایی ظرفیت تبدلی زیاد ریشه جذب بیشتر کلسیم را باعث می‌شود و در نتیجه مقدار زیادی فسفر از فسفات کلسیم به صورت محلول آزاد می‌شود که می‌تواند مورد استفاده گیاه قرار گیرد.

از اثرات شیمیایی کودهای ازتی در جذب فسفر اثری است که این کود ها در واکنش خاک و در نتیجه در حلالیت فسفر دارد. همانطور که می‌دانید بعضی از کودهای ازتی اسیدی و بعضی قلیایی هستند. در خاک‌های اسیدی کودهای اسیدی باعث افزایش اسیدیته و تشکیل فسفات آهن یا آلومینیوم می‌شوند که قابلیت جذب کمی دارند. در این خاک‌ها کودهای ازتی قلیایی باعث تشکیل فسفات کلسیم یا سدیم و بنابراین جذب بیشتر این عنصر بوسیله گیاه می‌شوند. در خاک‌های آهکی و قلیایی کودهای ازتی اسیدی با کاهش موضعی pH باعث می‌شوند بخشی از فسفات‌های نامحلول به ترکیباتی محلول‌تر مثل دی کلسیم فسفات تبدیل گشته و بدین ترتیب قابلیت جذب فسفر برای گیاه افزایش می‌یابد (سالاردینی، ۱۳۸۸؛ ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳).

۲-۳-۳- اثر افزایش فسفات

تحقیقات نشان داده است که در هر خاکی قابلیت جذب فسفر با افزایش فسفات افزایش می‌یابد. دانشمندان علت این امر را افزایش سطح فعال ترکیبات فسفوری می‌دانند.

وضعیت فسفر خاک، از نظر درجه اشباع فسفر خاک، در قابلیت جذب این عنصر تأثیر فوق العاده‌ای دارد. هر خاکی وضعیت تثبیت فسفر مشخصی دارد. وقتی کودهای فسفوری به اندازه کافی به این خاک‌ها داده شود ظرفیت تثبیت آنها اشباع می‌شود. بنابراین هرچه خاک در گذشته مقدار بیشتری فسفر تثبیت کرده باشد قابلیت جذب فسفر افزوده شده بیشتر خواهد بود (سالاردینی، ۱۳۸۸).

بطور کلی عرضه کافی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه منجر به افزایش جذب فسفر از خاک می‌شود. به عنوان مثال مصرف گوگرد سبب افزایش قابلیت دسترسی فسفر خاک در شرایط خنثی و بازی که فسفر به صورت فسفات کلسیم وجود دارد، می‌گردد (جوانمرد، ۱۳۸۳).

۲-۳-۴- اثر زمان و نحوه کاربرد کودهای فسفاته

از مصرف کودهای فسفاته در پاییز برای کشت بهاره بایستی شدیداً خودداری نمود چه کودهای فسفاته در مدت کمتر از یک ماه به صورت فسفات کلسیم تقریباً غیرقابل استفاده در می‌آیند (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۳). در خاک‌هایی که ظرفیت تثبیت آنها زیاد باشد قرار دادن نواری کود، با کاهش تماس فسفات با ذرات خاک از تثبیت آن می‌کاهد و بدین ترتیب قابلیت استفاده از فسفر افزایش می‌یابد (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳). در مورد جایگذاری کودهای فسفره، نتایج یک بررسی نشان داد که روش جایگذاری نواری کود فسفره در عمق مناسب ممکن است سه تا چهار برابر مؤثرتر از روش پخش کود در شرایط یکسان باشد (پترسون، ۱۹۸۱).

۲-۳-۴- تاثیر شرایط اقلیمی

۲-۳-۴-۱- اثر رطوبت خاک

از جمله عواملی که بر روی جذب فسفر در خاک اثر می‌گذارد، میزان رطوبت خاک است؛ بطوریکه جذب فسفر بطور معکوس با مکش رطوبتی خاک همبستگی دارد. با توجه به اینکه فسفر در خاک اساساً بوسیله انتشار و از طریق منافذی که با آب پر شده اند حرکت می‌کند، زمانی که آب خاک کاهش پیدا می‌کند، حرکت فسفر نیز کاهش می‌یابد (گوتیر و توماس، ۱۹۹۸).

۲-۳-۴-۲- اثر دما

با افزایش دما معمولاً قابلیت استفاده فسفر معدنی کاهش می‌یابد. افزایش دما باعث ابقای بیشتر فسفر می‌گردد که احتمالاً به دلیل افزایش سرعت واکنش‌های شیمیایی فسفر با سطوح جذب در خاک می‌باشد. این می‌تواند ابقای بیشتر فسفر در مناطق گرم نسبت به مناطق سرد را توجیه کند. از طرفی برخی مطالعات نشان می‌دهد که با گرم شدن هوا، به دلیل افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها، معدنی شدن فسفر آلی افزایش می‌یابد و این می‌تواند شرایط را برای ابقای فسفر فراهم‌تر کند (حجازی مهریزی، ۱۳۸۴).

خاک‌های تشکیل شده در مناطق با بارندگی و دمای بالا دارای مقادیر زیادی رس کائولینیت هستند و بنابراین دارای ظرفیت تثبیت بالاتری هستند. مناطق با بارندگی و دمای بالا همچنین از این لحاظ که دارای مقادیر بیشتری از اکسیدهای آهن و آلومینیوم هستند، در تثبیت فسفر اهمیت دارند (جوانمرد، ۱۳۸۳).

۲-۴-بیوپچار

۲-۴-۱-تاثیر بیوپچار بر بهبود خاک

استفاده از بیوپچار به عنوان اصلاح کننده خاک یک ابزار ارزشمند برای بهبود خاک نابارور و اراضی تخریب شده است. بیوپچار باعث بهبود تامین مواد مغذی برای گیاهان می‌شود و خصوصیات فیزیولوژیکی و بیولوژیکی خاک را بهبود می‌بخشد. بیوپچار اغلب با تاثیر بر خواص خاک، تغییر PH و CEC، حفظ مواد مغذی و رطوبت خاک و همچنین روی موجودات زنده خاک، ریشه و جذب عناصر غذایی خاک تاثیر می‌گذارد (لهمن و همکاران، ۲۰۰۱). در نتیجه تا حد زیادی عملکرد محصول را تحت تاثیر قرار می‌دهد (چان و همکاران، ۲۰۰۷).

بیشتر محققین معتقد هستند که اضافه کردن بیوپچار به خاک‌های نابارور باعث کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک می‌شود و از طرفی اضافه کردن بیوپچار به خاک باعث افزایش ظرفیت نگه داری آب در خاک می‌شود. که آن را به ساختار بسیار متخلخل بیوپچار نسبت می‌دهند (اوگاوا و همکاران، ۲۰۰۶). زمانی که بیوپچار تازه در معرض اکسیژن و آب در محیط خاک قرار گیرد اکسیداسیون رخ داده، میزان بار منفی خالص افزایش می‌یابد که نتیجه آن افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی است (ژوزف و همکاران، ۲۰۰۹).

اینیانگ و همکاران در (۲۰۱۰) ظرفیت تبادل آنیونی را در بیوپچار با گاس اندازه‌گیری کردند و نشان دادند که اضافه کردن بیوپچار باعث بهبود معنی‌داری در ظرفیت تبدالی (آنیونی و کاتیونی) در خاک و

بهبود ظرفیت نگهداری مواد مغذی می‌شود. بیوچار باعث حفظ آمونیوم از طریق ظرفیت تبادل کاتیونی می‌شود (لیانگ و همکاران، ۲۰۰۶). بیوچار تازه می‌تواند آنیون‌هایی مثل نیترات را هم نگهدارد (چنگ و همکاران، ۲۰۰۸). یانای و همکارانش (۲۰۰۷) کاهش دنیتریفیکاسیون در کاربرد بیوچار را گزارش کردند. اشتاینر و همکارانش (۲۰۰۷) بیان کردند بیوچار باعث کاهش آبشویی، حفظ بیشتر آمونیوم و کاهش دنیتریفیکاسیون می‌شود.

۲-۴-۲- تاثیر بیوچار بر فعالیت های بیولوژیک خاک

در مقایسه با دیگر اصلاح کننده‌های خاک، سطح ویژه بالا و تخلخل بیوچار آن را قادر به جذب یا حفظ مواد مغذی و آب و همچنین ایجاد یک زیستگاه برای میکروارگانیسم‌های مفید خاک می‌کند (گلاسر و همکاران، ۲۰۰۲؛ لمان و راندون، ۲۰۰۶؛ وارناک و همکاران، ۲۰۰۷).

بیوچار بر فراوانی، فعالیت و تنوع جوامع زنده خاک موثر است. بیوچار می‌تواند فعالیت میکروارگانیسم های خاک را تحریک کند، و بطور بالقوه بر خواص میکروبیولوژیکی خاک موثر باشد (هامنس زواسشیمیت، ۲۰۰۹). بیوچار به جای ایجاد یک منبع اصلی از مواد مغذی با بهبود محیط فیزیکی و شیمیایی خاک باعث بهبود زیستگاه میکروب‌ها می‌شود (کرول و همکاران، ۲۰۱۰). بدلیل ماهیت متخلخل بیوچار، سطح ویژه بالا و توانایی آن در جذب مواد آلی محلول و مواد مغذی معدنی، یک زیستگاه بسیار مناسب برای میکروب‌ها فراهم می‌کند. منافذ بیوچار به عنوان یک پناهگاه برای برخی از میکروب‌ها عمل می‌کند و از آن در برابر رقابت و شکار محافظت می‌کند. با توجه به نوع مواد اولیه و شرایط تولید برخی از بیوچارها ممکن است به رشد و تولید مثل برخی از گروه‌های میکروبی کمک کنند.

۲-۴-۳- تأثیر بیوچار بر قابلیت دسترسی به عناصر غذایی

۲-۴-۳-۱- نیتروژن

کاربرد بیوچار باعث افزایش و بهبود دسترسی نیتروژن برای گیاه می‌شود. جوامع میکروبی مسیر تثبیت نیتروژن مولکولی هستند. دلوکا و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که بیوچار دسترسی و جذب نیتروژن توسط گیاه را افزایش می‌دهد و قادر به اتصال به یون آمونیوم محلول خاک است در نتیجه غلظت آن در محلول خاک را کاهش می‌دهد. نیتروژن با تبدیل به گاز نیتروژن یا اکسید نیتروژن از دسترس خارج می‌شود. بیوچار از طریق کاهش آمونیوم موجود در محلول خاک از این عمل جلوگیری می‌کند در نتیجه مانع ورود اکسید نیتروژن که از گازهای مهم گلخانه‌ای است به جو می‌شود (دلوکا و همکاران، ۲۰۰۹؛ وان زیتن و همکاران، ۲۰۰۹). راندون و همکاران (۲۰۰۷) دریافتند اضافه کردن بیوچار بطور قابل توجهی تثبیت بیولوژیکی نیتروژن توسط ریزوبیوم را در تمام مقادیر کاربردی (۳۰، ۶۰، ۹۰ گرم به ازای هر کیلوگرم) افزایش داد. اضافه کردن بیوچار به خاک تثبیت نیتروژن توسط دیازوتروف‌های آزادزی و همزیست را افزایش می‌دهد (اوگاوا، ۱۹۹۴؛ راندون و همکاران، ۲۰۰۷)

۲-۴-۳-۲- فسفر

مطالعات نشان داده که افزایش جذب فسفر توسط گیاهان در حضور بیوچار افزایش یافته است. مکانیسم‌های بیوچار شامل؛ منبع تغذیه مستقیم از فسفر از طریق اتصال به سطح از طریق ظرفیت تبادل کاتیونی، اصلاح pH در نتیجه تغییر حلالیت فسفر، فعالیت میکروبی و معدنی شدن فسفر (دلوکا و همکاران، ۲۰۰۹)

اثر گذاری مستقیم و غیر مستقیم بیوچار روی فسفر به عبارت زیر است.

-بیوچار منبعی از نمک‌های محلول فسفر و فسفر قابل تغییر است.

-بیوچار به عنوان اصلاح کنندهی PH خاک و بهبود دهندهی فلزات ترکیبی فسفر به حساب می‌آید

-بیوپچار بهبود دهنده‌ی فعالیت‌های میکروبی است که به تغذیه فسفر کمک می‌کند

-بیوپچار می‌تواند اثر مستقیمی روی فسفر و جذب آن دارد این کار را از طریق فراهم آوردن محیطی

مفید برای میکرو ارگانیسم‌ها صورت می‌گیرد. که به نوبه خود:

۱- دسترسی بهتری به فسفر از مخازن ارگانیک و غیر ارگانیک قابل حل فسفر فراهم می‌کنند.

۲- مخازن وسیعی از فسفر ارگانیک را تولید و بازیابی می‌کنند

۳- از طریق افزایش فعالیت‌های میکوریزایی دسترسی گیاهان را به فسفر بهبود می‌بخشد(واردل و

همکاران، ۱۹۹۸؛ پتیکانت و همکاران، ۲۰۰۰؛ دلوکا و همکاران، ۲۰۰۶)

تاثیر اضافه کردن بیوپچار به خاک بر مواد غذایی به نظر می‌رسد مربوط به افزایش توانایی خاک در

ذخیره و نگهداری مواد غذایی می‌باشد تا به طور مستقیم افزایش محتوی مواد غذایی.

۲-۴-۴- تاثیر بیوپچار بر رشد گیاهان

شواهد جمع آوری شده از آزمایشات گلخانه‌ای و مزرعه ای نشان می‌دهد که اضافه کردن بیوپچار به

خاک‌های اسیدی و فقیر از نظر مواد مغذی به همراه کود بازده بیشتری از استفاده از کود یا بیوپچار به

تنهایی دارد. اثر بیوپچار بر رشد محصول بستگی به میزان کاربرد و نوع خاک دارد. یکی از ویژگی‌های مهم

اضافه کردن بیوپچار، افزایش کارایی استفاده از فسفر و نیتروژن در گیاهان است. با استفاده از بیوپچار

کاهش قابل ملاحظه ای در کاربرد کود فسفر و نیتروژن بدست می‌آید در حالی که عملکرد، مشابه مصرف

کود است. در مزرعه استفاده از بیوپچار عملکرد بسیاری از گیاهان را افزایش می‌دهد به خصوص جاهایی

که همراه با کود معدنی یا کود آلی مثل کود دامی استفاده می‌شود (بلک ول و همکاران، ۲۰۰۹).

استفاده از باکتری‌های محرک رشد یک جایگزین برای کودهای شیمیایی است که باعث افزایش رشد

و عملکرد محصولات مختلف می‌شود اما اگر با بیوپچار اضافه شود آنها نه تنها باعث افزایش تولید محصول

می‌شود بلکه سبب جلوگیری از هدر رفتن مواد مغذی، حفظ رطوبت و کمک به گیاهان تحت تنش می

گردد. بیوچار باعث افزایش قابل توجه زیست توده ریشه، ساقه و عملکرد دانه و جذب عناصر غذایی در ذرت می‌شود. ماجور و همکاران (۲۰۱۰) دریافتند، هنگامی که ۲۳ تن در هکتار بیوچار به خاک کلمبیا اضافه شد میزان بیوماس ذرت بیش از ۱۸۹ درصد افزایش یافت. واکاریا و همکارانش در بررسی اثرات کاربرد بیوچار در تولید گندم دوروم در دو سال ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ دریافتند که در هر دو سال با کاربرد بیوچار تولید گندم نسبت به شاهد افزایش یافت. کلاسر و همکاران ۲۰۰۲ و بارونتی و همکاران ۲۰۱۰ مشاهده کردند با کاربرد ۱۰ تن در هکتار بیوچار عملکرد گندم دوروم ۱۰ درصد افزایش یافت.

اوگانتوند و همکاران (۲۰۰۷) در بررسی اثر ذغال چوب بر عملکرد ذرت در غنا گزارش کردند که عملکرد دانه و زیست توده ذرت ۴۴ و ۹۱ درصد افزایش یافته است.

۲-۴-۵- محتوای مواد مغذی بیوچار

بیوچار حاصل از کود و محصولات دامی در مقایسه با بیوچار حاصل از مواد گیاهی بخصوص آنهایی که از چوب به دست آمده اند مواد مغذی بیشتری دارند. بیوچار به عنوان اصلاح کننده خاک مورد توجه است نه به عنوان منبعی از مواد مغذی (دلوکا و همکاران، ۲۰۰۹). خاکستر بیوچار مقداری عناصر غذایی به خاک اضافه می‌کند (ماجور، ۲۰۱۱)، که این خاکستر شامل مواد معدنی (کلسیم، منگنز و کربنات معدنی) و عناصر موجود در ترکیبات آلی (کربن، هیدروژن، نیتروژن و فسفر) می‌باشد (ژوزف و همکاران، ۲۰۰۹). تجزیه حرارتی بر مقدار مواد مغذی و دسترسی آنها موثر است. تجزیه در دمای بالا میزان فسفر و نیتروژن و دسترسی آن را کاهش می‌دهد. مقدار کل ازت از ۳/۸ به ۱/۶ درصد کاهش می‌یابد. هنگامی که درجه حرارت از ۴۰۰ به ۸۰۰ درجه سانتی گراد افزایش می‌یابد (بگریو و همکاران، ۲۰۰۱) مقدار کربن در بیوچارهای مختلف متغیر است. که به ماده خام و شرایط تجزیه حرارتی وابسته است افزایش غلظت کربن در دماهای بالاتر با کاهش در عملکرد بیوچار همراه است (لهمن و همکاران، ۲۰۰۶؛ سوهی و همکاران، ۲۰۱۰). کربن موجود در بیوچار پایدارتر و با ثبات تر از کربن موجود در بیوماس است از طریق تبدیل

زیست توده به بیوچار حدود ۵۰ درصد کربن اولیه باقی می ماند میزان کربن باقی مانده بعد از تجزیه

حرارتی ۱۰-۲۰ درصد بعد از ۵-۲۰ سال می باشد (لهمن و همکاران، ۲۰۰۶).

فصل سوم

مواد و روش ها

۳-۱- محل انجام آزمایش

این آزمایش در سال ۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود به اجرا درآمد. که در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۹ دقیقه و ۵۵ دقیقه طول شمالی واقع شده است و میانگین ارتفاع از سطح دریا ۱۳۶۶ متر است.

۳-۲- ویژگی‌های آب و هوایی

بر اساس تقسیم‌بندی‌های اقلیمی منطقه بسطام دارای اقلیم سرد و خشک می‌باشد. میانگین بارندگی سالانه آن 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 سانتی-گراد گزارش شده است.

۳-۳- مشخصات خاک مورد آزمایش

به منظور تعیین بافت خاک و وضعیت مقدار فسفر خاک از عمق ۰-۳۰ سانتی متر خاک مزرعه چندین نمونه یک کیلوگرمی گرفته شد و نهایتاً پس از اختلاط نمونه‌ها یک نمونه یک کیلوگرمی که در بر گیرنده کل نمونه‌ها بود به آزمایشگاه منتقل شد. نتایج تجزیه مکانیکی و شیمیایی خاک در جدول (۳-۱) نشان داده شده است.

جدول ۳-۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

پارامتر های اندازه گیری شده	مقدار	واحد
هدایت الکتریکی	۰/۸	دسی زیمنس بر متر
اسیدیته گل اشباع	۷/۵۹	-
کربن آلی	۰/۷۹	درصد
ازت کل	۰/۰۵۷	درصد
فسفر قابل دسترس	۴۲	پی پی ام
پتاسیم قابل جذب	۱۴۳	پی پی ام
رس	۲۴	درصد
سیلت	۴۴	درصد
شن	۳۲	درصد

۳-۴- مشخصات طرح آزمایش

طرح آزمایشی به صورت طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل: شاهد (C)، بیوچار در دو سطح (B) (سطح ۱ (B۱) ۲ تن در هکتار و سطح ۲ (B۲) ۴ تن در هکتار) میباشد. بیوچار غنی شده با ۶۰۰ گرم کود فسفر در دو سطح (PB)، (سطح ۱، PB۱) ۲ تن در هکتار، (سطح ۲، PB۲) ۴ تن در هکتار می باشد، کود فسفر (P) به مقدار (۳۵۰ کیلوگرم در هکتار). و بیوچار به همراه کود فسفر (P + B)، مقدار اختلاط بیوچار و کود فسفر (سوپر فسفات تریپل) به ترتیب (۲ تن در هکتار و ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار) بود.

۳-۵- عملیات اجرایی

۳-۵-۱- نقشه کاشت

آزمایش در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار و هر تکرار شامل ۷ کرت انجام شد. در مجموع تعداد کرت‌ها ۲۱ عدد بود. طول هر کرت ۶ متر و هر کرت دارای ۴ ردیف کاشت بود فاصله بین هر کرت ۱ متر و فاصله بین هر تکرار ۲/۵ متر در نظر گرفته شد. فاصله ردیف‌ها در هر کرت ۵۰ سانتی متر و فاصله بذرها روی ردیف ۱۰ سانتی متر مشخص گردید. مرز بین کرت‌ها با یک پشته کشت نشده مشخص گردید.

1	C	B _۱	B _۲	PB _۱	PB _۲	P	P + B
---	---	----------------	----------------	-----------------	-----------------	---	-------

2	P + B	p	PB _۱	PB _۲	B _۲	B _۱	C
---	-------	---	-----------------	-----------------	----------------	----------------	---

3	B _۱	B _۲	C	P	P + B	PB _۱	PB _۲
---	----------------	----------------	---	---	-------	-----------------	-----------------

شکل ۳-۱- نقشه کاشت

(شاهد C)، بیوچار سطح ۱ (B_۱) و سطح ۲ (B_۲) می‌باشد. بیوچار غنی شده با فسفر (سطح ۱، PB_۱)، (سطح ۲،

PB_۲) می‌باشد، کود فسفر (P) و بیوچار به همراه کود فسفر (P + B)

۳-۵-۲- آماده سازی زمین و کاشت

عملیات آماده سازی زمین در اوایل اردیبهشت ۱۳۹۳ صورت گرفت. در ابتدا زمین مورد نظر توسط گاواهن برگرداندار شخم زده شد و سپس اقدام به عمل تسطیح زمین گردید. در پایان به وسیله فاروئر پشته‌هایی به عرض ۷۰ سانتی متر در جهت شمالی جنوبی ایجاد گردید. ابتدا ابعاد کرت‌ها در زمین مورد آزمایش مشخص شد و پس از تعیین کرت‌ها، جوی‌های آبیاری تعبیه گردیدند. در مجموع ۲۱ کرت با طول ۶ متر مشخص گردید هر کرت دارای ۴ ردیف که فاصله ردیف‌ها از هم ۵۰ سانتی متر و فاصله بذر روی ردیف ۱۰ سانتی متر محاسبه گردید. برای اعمال تیمارها ابتدا بر روی پشته‌ها شیارهایی به عمق ۳۰ سانتی متر ایجاد شد و بعد از قرار دادن تیمارهایی همچون بیوچار، بیوچار غنی شده و کود فسفر در داخل شیارها لایه‌ی نازک خاک بر روی آنها ریخته شد و سپس بذر ذرت کاشته شد. برای جلوگیری از عمل تداخل بین تیمارها، یک خط به صورت نکاشت بین کرت‌ها قرار گرفت. جوی‌های آبیاری به نحوی تعبیه شد که آب آبیاری اضافی هر تکرار توسط یک جوی خروجی در انتهای کرت‌ها از مزرعه خارج شود. کاشت بذر در تاریخ ۴ تیر به پایان رسید و اولین آبیاری در همان روز به مدت ۶ ساعت انجام شد. آبیاری‌های بعدی هر ۷ روز یکبار صورت گرفت.

۳-۵-۳- آماده سازی بیوچار

برای تهیه بیوچار ابتدا کوره جهت قرار دادن مواد آلی داخل آن ساخته شد. سپس سبوس برنج به منظور قرار دادن داخل کوره تهیه گردید. سبوس برنج داخل کوره قرار داده شد و حرارت ۵۵۰ درجه سانتی گراد به آن داده شد بعد از گذشت ۱۲ ساعت درب کوره باز شد و تمامی سبوس برنج به بیوچار تبدیل شده بود. این عمل چندین بار تکرار شد تا اینکه مقدار بیوچار مورد نیاز تهیه گردید. برای تهیه بیوچار غنی شده با فسفر ابتدا سبوس برنج با محلول کود فسفر آغشته شد و سپس در داخل کوره قرار داده شد. برای محاسبه کود فسفر مقدار کود فسفوری که در تیمارهای کود فسفر و کود فسفر به همراه بیوچار که به خاک

داده شد همان مقدار کود فسفر در آب محلول شده و با سبوس مخلوط شد.

مقدار کود فسفر مورد نیاز برای تولید بیوچار غنی شده (بر حسب ۳۵۰ کیلو گرم کود سوپر فسفات تریپل در هکتار) محاسبه گردید. ۶۰۰ گرم کود فسفر توزین و با سبوس برنج آغشته شد و برای تبدیل به بیوچار در داخل کوره گذاشته شد و حرارت لازم به آن داده شد و بعد از ۱۲ ساعت بیوچار تولید شده از کوره خارج شد.

۳-۶- عملیات داشت

الف- آبیاری: آبیاری کرت‌ها، از طریق نهرها و جوی‌هایی که از پیش به همین منظور ایجاد شده بود، انجام گرفت. پس از کاشت بلافاصله آبیاری سنگینی به صورت نشتی انجام شد، به گونه‌ای که پشته‌ها کاملاً خیس شدند. آبیاری‌های بعدی هم در طول فصل رشد به طور منظم هر هفت روز یکبار انجام گردید.

ب- وجین علف‌های هرز: به طور کلی وجین علف‌های هرز در طول مرحله رشد ۳ بار به صورت دستی انجام شد.

ج- واکاری و تنک کردن: همزمان با سبز شدن بذرها در جاهایی که هر دو بذر درآمده بودن عمل تنک کردن انجام گرفت.

۳-۷- نمونه برداری از خاک

به منظور تاثیر تیمارها بر خصوصیات شیمیایی خاک و مشاهده روند تاثیر گذاری بیوچار بر این خصوصیات نمونه برداری از خاک در سه مرحله انجام شد. مرحله اول ۳۰ روز بعد از کاشت، مرحله دوم ۷۰ روز بعد از کاشت و مرحله سوم در پایان مرحله رشد، همزمان با نمونه برداری محصول بود. به منظور

نمونه برداری از خاک ابتدا ریشه گیاه به صورت کامل از خاک درآورده شد و سپس از محل ریشه و از عمق ۳۰ سانتی متری نمونه‌های خاک تهیه شد.

۳-۸- برداشت نهایی

در انتهای دوره رشد بوته‌های ذرت از مساحتی در حدود ۱ متر مربع برای اندازه‌گیری عملکرد نهایی و اجزای عملکرد برداشت شدند. به این ترتیب بوته‌ها از نزدیک سطح زمین قطع گردید و برای اندازه‌گیری صفات مورد بررسی به آزمایشگاه انتقال داده شدند و نمونه‌ها درون پاکت‌های شماره دار در داخل آون (به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی گراد) قرار داده شدند و سپس پاکت‌ها از آون خارج و به مدت ۲۰ تا ۲۵ دقیقه در هوای آزمایشگاه نگهداری شدند تا با محیط به تعادل دمایی برسند و در نهایت با ترازوی حساس به دقت ۰/۰۱ گرم توزین شدند. در این نمونه برداری برای گیاه ذرت علاوه بر تعیین وزن اندام‌های هوایی خصوصیات مانند، طول بلال، وزن چوب بلال، وزن صد دانه و نیز تعداد ردیف‌های دانه و تعداد دانه در هر ردیف بلال اندازه‌گیری شد.

۳-۹- تعیین خصوصیات شیمیایی خاک

۳-۹-۱- اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک

برای اندازه‌گیری این دو پارامتر از روش سوسپانسیون و از عصاره ۱: ۲/۵ استفاده شد بدین صورت که ابتدا ۲۰ گرم خاک عبور داده شده از الک ۲ میلی متری را برداشته و به آن ۵۰ میلی لیتر آب مقطر اضافه شد، سپس سوسپانسیون روی دستگاه شیکر با دور ۲۰۰ در دقیقه به مدت ۳۰ دقیقه قرار داده شد، بعد از ۳۰ دقیقه سوسپانسیون برداشته شد و با کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف گردید.

۲۰ میلی لیتر از عصاره بدست آمده را برداشته و برای قرائت اسیدیته و هدایت الکتریکی با دستگاه‌های pH متر و EC متر استفاده گردید.

۳-۹-۲- فسفر قابل دسترس خاک

برای اندازه گیری فسفر قابل جذب از روش اولسن استفاده گردید. این روش در خاک‌های آهکی و قلیایی و خنثی قابل استفاده می‌باشد. غلظت کلسیم در عصاره با رسوب کردن کاهش و در نتیجه غلظت فسفر در محلول افزایش می‌یابد. در خاکهای اسیدی کربنات به عنوان بافر، حلالیت آلومینیوم و آهن را متوقف نموده و بنابراین غلظت فسفر را در محلول افزایش می‌دهد. برای عصاره گیری فسفر به این روش به ۱ گرم نمونه خاک عبور داده شده از الک دو میلیمتری ۲۰ میلی لیتر بی کربنات سدیم ۰/۵ نرمال که pH آن به وسیله محلول یک مولار هیدروکسید سدیم روی ۸/۵ تنظیم شده بود، اضافه شد. محلول حاصل به مدت ۳۰ دقیقه و با سرعت ۲۰۰ دور در دقیقه شیک و سپس با کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف شد. از محلول زیر صافی ۲۰ میلی لیتر برداشته و سپس به آن ۲ سی سی آمونیوم مولیبدات و ۵ قطره کلرید قلع اضافه شد و بعد به حجم ۵۰ سی سی رسید حداقل بعد از یک ساعت و کامل شدن رنگ آبی میزان جذب نمونه در طول موج ۶۵۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه گیری شد. محلول‌های استاندارد فسفر نیز توسط نمک KH_2PO_4 تهیه و منحنی استاندارد ترسیم گردید و از طریق آن غلظت فسفر در هر نمونه محاسبه شد (اولسن، ۱۹۷۴).

۳-۹-۳- فسفر محلول خاک

برای اندازه‌گیری فسفر محلول از آب مقطر به عنوان عصاره‌گیر استفاده شد. برای عصاره‌گیری فسفر به این روش به ۲۰ گرم نمونه خاک عبور داده شده از الک دو میلیمتری ۵۰ میلی لیتر آب مقطر اضافه شد. سوسپانسیون حاصل بعد شیک کردن با دستگاه شیکر (دور ۲۰۰ در دقیقه به مدت ۳۰ دقیقه) از کاغذ صافی عبور داده شد و مقدار فسفر محلول، همانطور که در بالا ذکر شد، با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه گیری گردید (اولسن، ۱۹۷۴).

۳-۱۰- فسفر ریشه و دانه

پس از آسیاب نمودن نمونه‌های گیاهی، ۰/۵ گرم از ماده خشک با ۱ سی‌سی اسید پرکلریک + ۶ سی‌سی اسید نیتریک مخلوط نموده و به مدت یک شب به حال خود رها شد. سپس به مدت چهار ساعت در دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد، یک ساعت در دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و دو ساعت در دمای ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد تا عمل هضم به طور کامل انجام گیرد. سپس ۵ سی‌سی از عصاره‌ای که به حجم ۱۰۰ رسانده شد. را برداشته و به آن ۲ سی‌سی آمونیوم مولیبدات و ۵ قطره کلرید قلع اضافه شد و بعد به حجم ۵۰ سی‌سی رسانده شد حداقل بعد از یک ساعت و کامل شدن رنگ آبی میزان جذب نمونه در طول موج ۶۵۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. سپس غلظت‌های مختلف محلول استاندارد فسفر به نرم افزار اکسل داده شد و نمودار استاندارد فسفر رسم گردید و از طریق نمودار استاندارد غلظت‌های مختلف فسفر ریشه و دانه محاسبه شد. (اولسن، ۱۹۵۴)

۳-۱۱- تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه و تحلیل آماری داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS و MSTAT-C انجام شد. برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) و در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

فصل چہارم

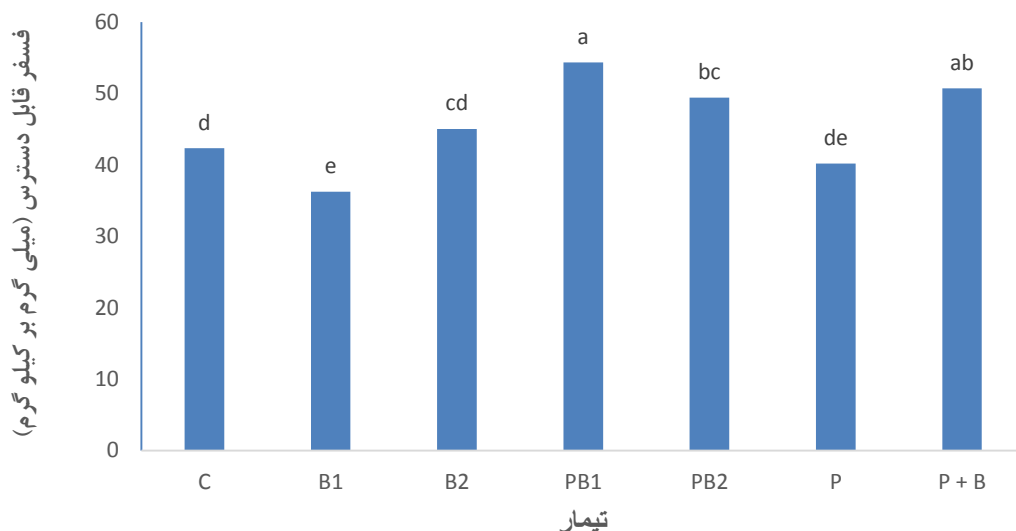
نتیجہ و بحث

۴-۱- مرحله اول نمونه برداری از خاک

در مرحله اول نمونه برداری خصوصیات شیمیایی خاک از جمله: اسیدیته، شوری، فسفر محلول و فسفر قابل دسترس از خاک اندازه‌گیری شد. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که هیچ اثر معنی‌داری در پارامترهای اسیدیته، شوری و فسفر محلول وجود نداشت ولی فسفر قابل دسترس در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول پیوست ۶-۱). تیمارهای آزمایشی شامل: شاهد (C)، بیوچار در دو سطح (B) (سطح ۱ (B۱) ۲ تن در هکتار و سطح ۲ (B۲) ۴ تن در هکتار) میباشد. بیوچار غنی شده با ۶۰۰ گرم کود فسفر در دو سطح (PB)، (سطح ۱، PB۱) ۲ تن در هکتار، (سطح ۲، PB۲) ۴ تن در هکتار می باشد، کود فسفر (P) به مقدار (۳۵۰ کیلوگرم در هکتار). و بیوچار به همراه کود فسفر (P + B)، مقدار اختلاط بیوچار و کود فسفر (سوپر فسفات تریپل) به ترتیب (۲ تن در هکتار و ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار) بود.

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد تیمار PB۱ مقادیر بالاتری از فسفر قابل دسترس گیاه را نسبت به شاهد از خود نشان داد و کمترین مقدار را تیمار B۱ داشت (شکل ۴-۱).

کاربرد تیمار PB۱ سبب افزایش ۲۸ درصدی فسفر قابل دسترس نسبت به تیمار C شد. تیمار P + B نیز با تیمار فوق در یک سطح آماری قرار داشت. استفاده از تیمار PB۲ باعث افزایش ۱۶ درصدی فسفر قابل جذب نسبت به تیمار C گردید ولی تیمار B۱ باعث کاهش ۱۵ درصدی فسفر قابل دسترس نسبت به تیمار C شد (شکل ۴-۱).



شکل ۴-۱- تاثیر تیمارها بر فسفر قابل دسترس گیاه در مرحله اول نمونه برداری

به نظر می‌رسد کاربرد بیوچار به تنهایی نتوانسته است فسفر قابل دسترس را در زمان اول نمونه برداری افزایش دهد (شکل ۴-۱). لنتنز و آیپولیتو (۲۰۱۱). عنوان کردند که کاربرد بیوچار در خاک‌های قلیایی در سال اول پس از کاربرد، تغییر معنی داری در pH و نیتروژن معدنی خاک ایجاد نکرده است و تنها پس از گذشت ۲ سال از کاربرد بیوچار، آمونیوم قابل دسترس، فسفر، سدیم و پتاسیم خاک افزایش یافته است.

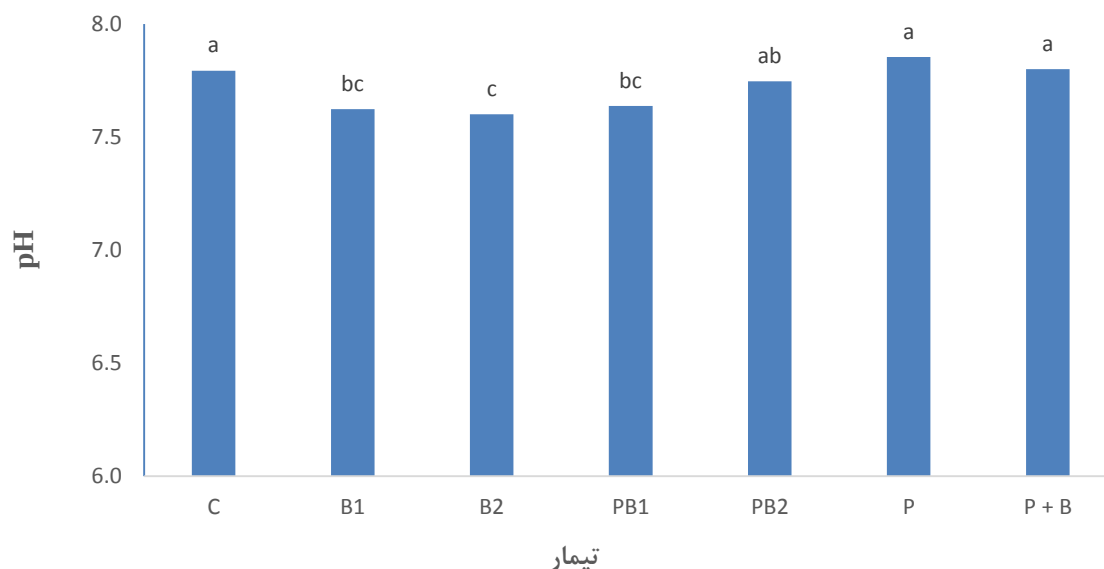
۴-۲- مرحله دوم نمونه برداری از خاک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین تیمارها از لحاظ پارامتر شوری هیچ اختلاف معنی داری وجود نداشت، ولی بین تیمارها از نظر پارامترهای اسیدیته، فسفر محلول و فسفر قابل دسترس اختلاف معنی داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت (جدول پیوست ۶-۲).

با توجه به شکل (۴-۲) مقدار pH تیمارهای حاوی B_۱ ، B_۲ و PB_۱ نسبت به سایر تیمارها پایین‌تر شد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد تیمار P مقادیر بالاتری از اسیدیته خاک را نسبت به C داشت. هر چند تیمارهای P + B ، C و تیمار PB_۲ نیز با تیمار فوق در یک سطح آماری قرار داشتند (شکل ۴-۲). می‌توان اینگونه بیان کرد که بیوچار توانسته pH خاک را تا حدودی کاهش دهد.

تیمار B_۲ کمترین مقدار اسیدیته خاک را داشت، تیمارهای B_۱ و PB_۱ نیز با تیمار فوق در یک سطح آماری قرار گرفتند. تیمارهای حاوی بیوچار به دلیل خاصیت بافری بیوچار همگی اسیدیته خاک را به سمت اسیدیته ۷ سوق دادند.

بیوچار پس از اضافه کردن به خاک خواص متغیری داشته که بستگی به مواد اولیه و شرایط تجزیه دارد و می‌تواند به صورت آبریز، آبدوست، خواص اسیدی و بازی باشد و همه‌ی این‌ها به اثرات متقابل فاز جامد و فاز مایع بستگی دارد بیوچار توانایی بالایی در کاهش pH خاک و تحریک فعالیت میکروبی جامعه خاک دارد (یان و همکاران، ۲۰۱۱).



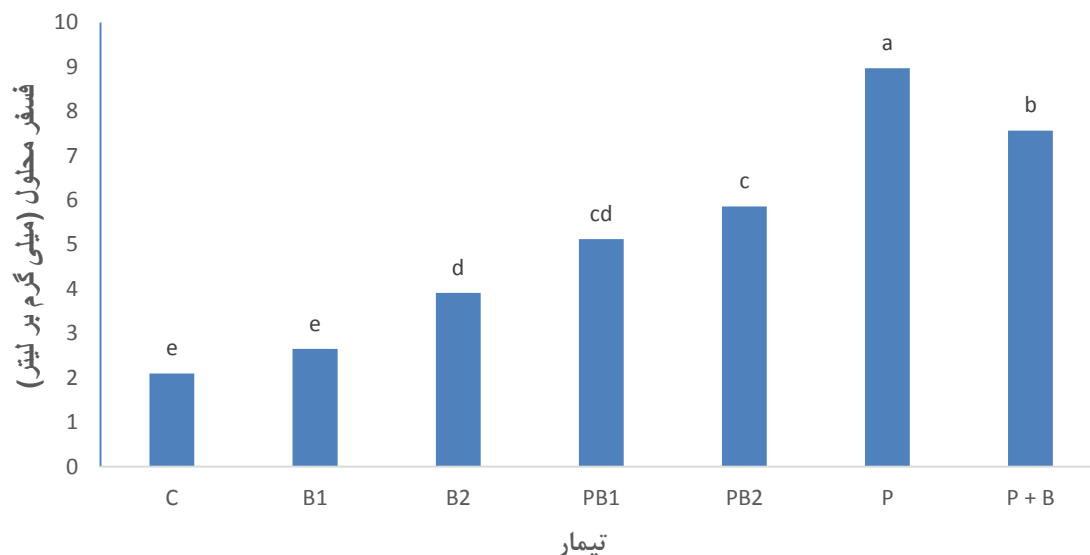
شکل ۴-۲- تاثیر تیمارها بر اسیدیته خاک

۴-۲-۲- فسفر محلول

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین مقدار فسفر محلول مربوط به تیمار P و کمترین مقدار مربوط به تیمار C شد (شکل ۴-۳).

استفاده از تیمار P سبب افزایش ۳/۲۹ برابری فسفر محلول نسبت به C گردید که این افزایش بدلیل کود فسفر اضافه شده به خاک بود. کاربرد تیمار P + B سبب افزایش ۲/۵۸ برابری فسفر محلول نسبت به تیمار C گردید. نتایج مخرجی و زیمرمان (۲۰۱۳). نیز موید همین مطلب است آن‌ها بیان کردند که تیمار بیوچار و کود فسفر باعث اختلاف معنی داری در افزایش فسفر محلول نسبت به شاهد می‌شود که عامل اصلی این افزایش به دلیل حضور کود فسفر است. کاربرد تیمار تیمار B۲ باعث افزایش ۸۵ درصدی فسفر محلول نسبت به تیمار C گردید. که این افزایش فسفر به این دلیل است که بیوچار سبب کاهش جذب فسفر توسط سطوح آزاد ذرات خاک شده و در نتیجه مقدار فسفر محلول را افزایش می‌دهد (چوی

و همکاران، ۲۰۱۱). استفاده از تیمار PB₁ سبب افزایش ۱/۴۳ برابری و تیمار PB₂ باعث افزایش ۱/۸۷ برابری فسفر محلول نسبت به شاهد گردید. افزایش فسفر در تیمار B+ بدلیل آزادسازی فسفر موجود در بیوچار می باشد (موخرجی و زیمرمان، ۲۰۱۳).



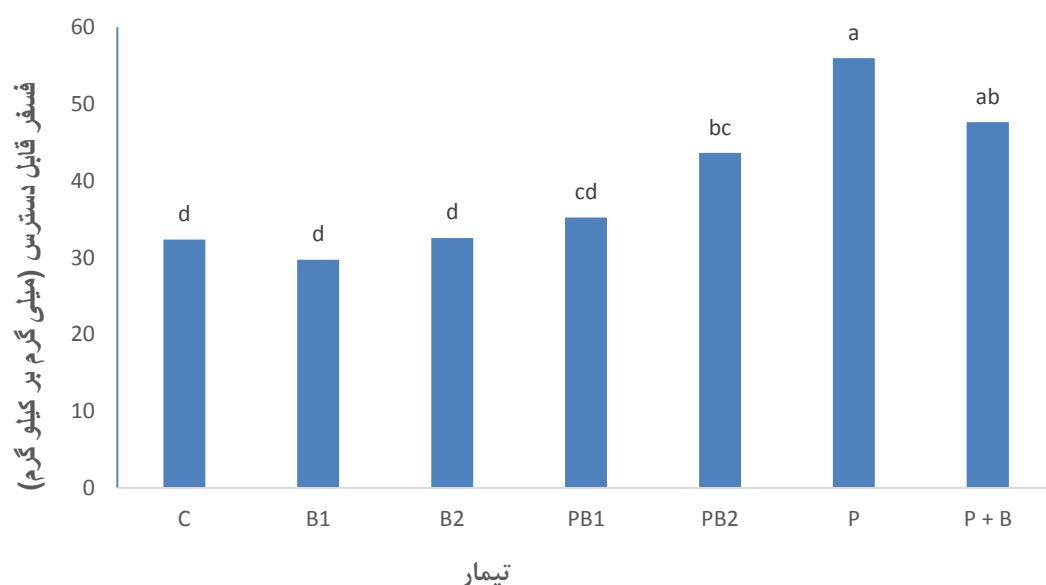
شکل ۴-۳- تاثیر تیمارها بر مقدار فسفر محلول در مرحله دوم نمونه برداری از خاک

۴-۲-۳- فسفر قابل دسترس

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار P مقادیر بالاتری از فسفر قابل دسترس را نسبت به شاهد از خود نشان داد هر چند با تیمار P + B در یک سطح آماری قرار داشت و کمترین مقدار مربوط به تیمار B₁ بود (شکل ۴-۴). کاربرد تیمار P باعث افزایش ۷۳ درصدی فسفر قابل دسترس نسبت به تیمار C گردید. استفاده از تیمار P + B سبب افزایش ۴۷ درصدی فسفر قابل دسترس نسبت به C و همچنین استفاده از تیمار PB₂ افزایش ۳۴ درصدی نسبت به C را نشان داد.

بر اساس نتایج تحقیقات باربر (باربر، ۱۹۸۴). چنانچه فسفر قابل استفاده اولیه خاک بالا باشد، گیاه بخش بیشتری از نیاز فسفره خود را از طریق فسفر موجود در خاک تأمین نموده و اتکای کمتری به فسفر کود دارد. برعکس، زمانی که خاک از نظر فسفر قابل استفاده فقیر باشد، گیاه ناچار قسمت اعظم نیاز فسفره خود را از طریق کود تأمین می‌نماید و در اینصورت بازیافت فسفر از کود بیشتر خواهد بود. همانگونه که در شکل نشان داده شده است فسفر اولیه مقدارش بالا است ولی بر اساس آزمایشات مومنی و همکاران (۱۳۸۴). افزایش فسفر خاک سطحی می‌تواند در اثر افزایش کودهای شیمیایی باشد که کشاورزان هرساله مقادیری بیش از حد توصیه شده کارشناسی، به خاک‌های زراعی اضافه می‌نمایند.

باربارایک و همکاران (۱۹۹۰). در آزمایش تاثیر سنگ فسفات و زئولیت بر سورگوم سودان گراس نتیجه گرفتند که با افزایش نسبت مصرف زئولیت و سنگ فسفات در تیمارهای آزمایشی مقدار فسفر قابل دسترس خاک افزایش یافت.



شکل ۴-۴- تاثیر تیمارها بر مقدار فسفر قابل جذب در مرحله دوم نمونه برداری

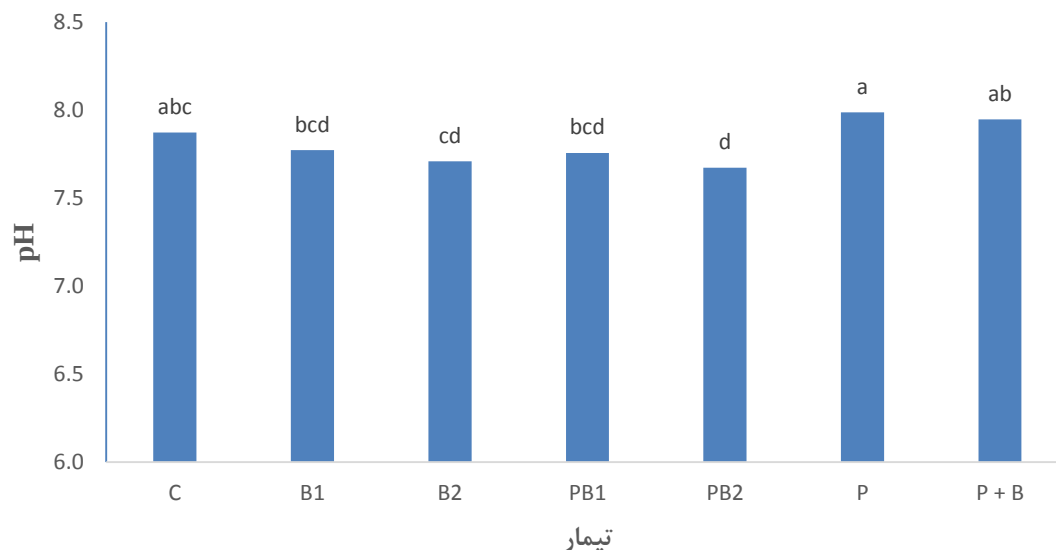
۴-۳- مرحله سوم نمونه برداری از خاک

این مرحله در پایان زمان کاشت و همزمان با برداشت محصول انجام گرفت. نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که بین تیمارها از لحاظ پارامتر شوری هیچ اختلاف معنی داری وجود نداشت، ولی بین تیمارها از نظر پارامترهای اسیدیته، فسفر محلول و فسفر قابل دسترس اختلاف معنی داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت (جدول پیوست ۶-۳).

۴-۳-۱- اسیدیته

pH خاک یکی از مهمترین عوامل در تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان می باشد. اثر pH خاک به دو شیوه، اثر مستقیم pH در میزان حلالیت عناصر مغذی گیاه در خاک و اثر غیر مستقیم pH بر فعالیت موجودات ذره بینی و جذب سطحی عناصر توسط ریشه، در عملکرد گیاهان زراعی مؤثر می باشد. مناسبترین pH برای حلالیت اکثر عناصر غذایی، به ویژه فسفر، بین ۶ تا ۷ است (ملکوتی و نفیسی، ۱۳۸۴).

نتایج مقایسه میانگین ها نشان داد که تیمار P مقادیر بالاتری از pH را نسبت به شاهد از خود نشان داد هر چند با تیمار P + B و C در یک سطح آماری قرار داشت و کمترین مقدار مربوط به تیمار PB₂ بود (شکل ۴-۵). همانگونه که در شکل مشاهده می شود تنها تیمار PB₂ سبب کاهش و معنی داری اسیدیته خاک شده است ولی در مقابل تیمارهایی که مستقیماً از کود شیمیایی فسفر در خاک استفاده شده است تاثیر معنی داری بر pH خاک نداشتند.

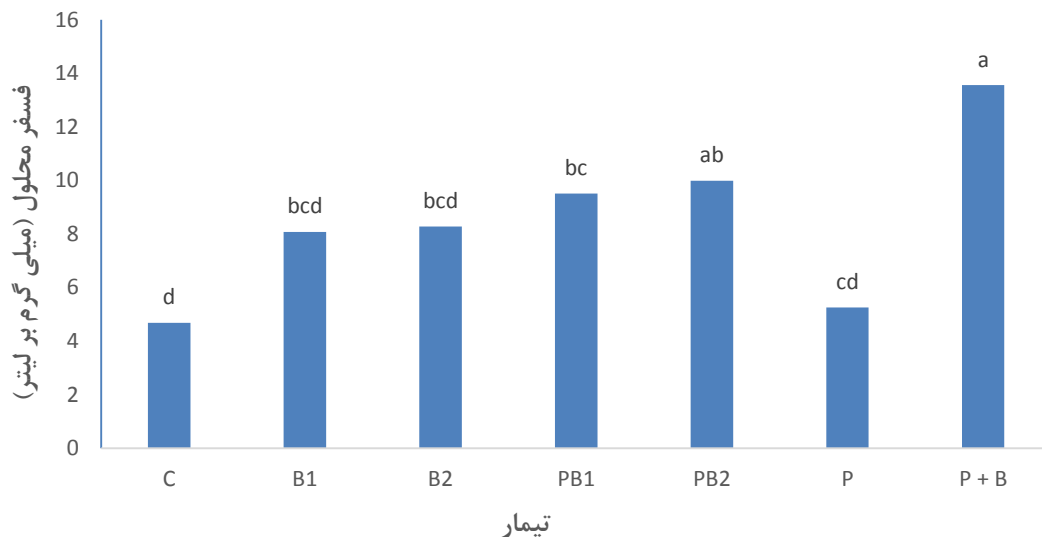


شکل ۴-۵- تاثیر تیمارها بر اسیدیته خاک در مرحله سوم نمونه برداری

۴-۳-۲- فسفر محلول خاک

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار P + B مقادیر بالاتری از فسفر محلول را نسبت به شاهد از خود نشان داد هر چند با تیمار PB₂ در یک سطح آماری قرار داشت و کمترین مقدار مربوط به تیمار P بود (شکل ۴-۶). کاربرد تیمار P + B سبب افزایش ۱/۸۹ برابری فسفر محلول نسبت به C گردید، و استفاده از تیمار PB₂ افزایش ۱/۱۳ برابری فسفر محلول نسبت به C را نشان داد.

مقدار کم مواد آلی در لایه‌های زیر سطحی باعث کاهش مواد آلی محلول و در نتیجه کاهش کمپلکس‌های مواد آلی محلول با فسفر می‌گردد (زلفی باوریانی و نوروزی، ۱۳۸۹). ولی استفاده توام بیوچار به همراه کود فسفر به دلیل قابلیت‌هایی که بیوچار دارد از جمله؛ افزایش جذب عناصر غذایی، بهبود خصوصیات فیزیکی خاک، بافر کردن اسیدیته خاک سبب افزایش درصد فسفر محلول در خاک شده بود. نکته مهم اینکه مقدار فسفر محلول در تیمار کود فسفر در طول دوره نمونه برداری (از مرحله ۱ تا ۳) کاهش شدیدی داشت که نشان دهنده رسوب سریع فسفر موجود در سوپر فسفات تریپل می‌باشد.



شکل ۴-۶- تاثیر تیمارها بر مقدار فسفر محلول در مرحله سوم نمونه برداری از خاک

۴-۳-۳- فسفر قابل دسترس

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین معنی‌داری مربوط به تیمار P + B و کمترین مربوط به تیمار C بود (شکل ۴-۷). کاربرد تیمار P + B مقدار فسفر قابل دسترس را به مقدار ۱/۱۸ برابر نسبت به شاهد افزایش داده بود این در حالی است که استفاده از تیمار B+ در هر دو سطح افزایش ۸۸ درصدی فسفر قابل دسترس را نسبت به شاهد نشان داد.

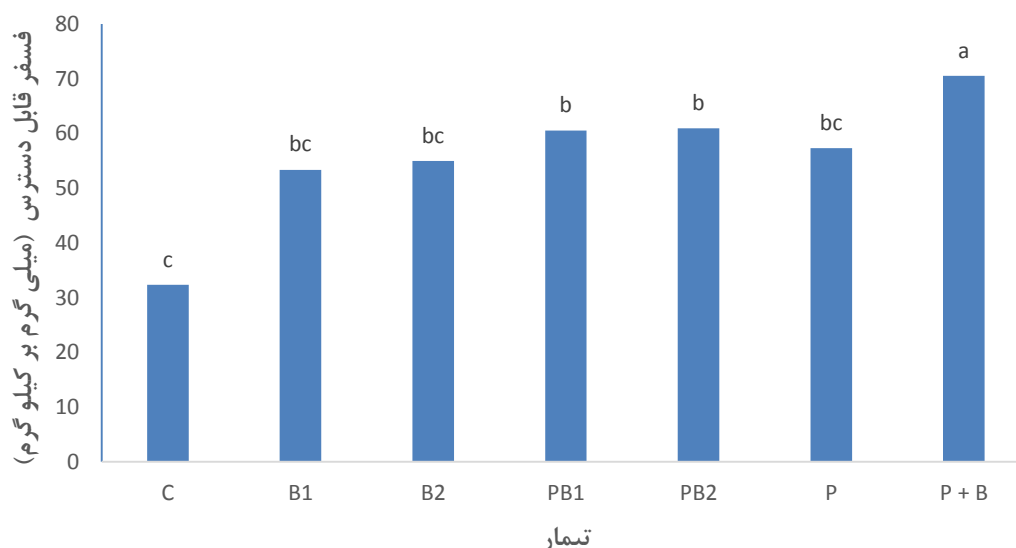
کاربرد تیمار B در دو سطح و تیمار P نیز سبب افزایش ۷۷ درصدی فسفر قابل دسترس نسبت به C شده بود. در مطالعات تیس و ریلینگ (۲۰۰۹). نشان داده شد که کاربرد بیوچار به همراه مایکوریز، کلسیم، فسفر، پتاسیم، منیزیم قابل دسترس را افزایش می‌دهد. بسیاری از مطالعات نیز به برخی اثرات دیگر بیوچار در خاک مثل افزایش عناصر غذایی کم مصرف و پرمصرف به خصوص فسفر و پتاسیم در خاک

اشاره نموده اند (سوهی و همکاران، ۲۰۱۰). ترکیب مواد مغذی و در دسترس بودن آن‌ها در بیوپار تا حد زیادی متفاوت است و این بستگی به ماهیت مواد اولیه و شرایط تجزیه گرمایی دارد (چان و زو، ۲۰۰۹). با این وجود در حال حاضر اطلاعات کمی درباره تغییر شکل فسفر در خلال فرایند تجزیه گرمایی و تاثیر آن بر دسترسی زیستی فسفر وجود دارد. دسترسی زیستی فسفر افزوده شده به خاک تحت تاثیر عوامل زیر است.

۱- ماهیت منابع تامین کننده فسفر (لوپز، مارتینز و همکاران، ۲۰۰۴؛ گون گور و همکاران، ۲۰۰۷)

۲- مجموعه ای از خواص خاک (pH، سطوح بار متغیر به ویژه هیدروکسیدهای فلزی، حضور ترکیبات کمپلکس دهنده و فضاهای منفذ دار پر شده از آب)

۳- بزرگ شدن ریشه گیاه (هینسینگرو و همکاران، ۲۰۰۱)



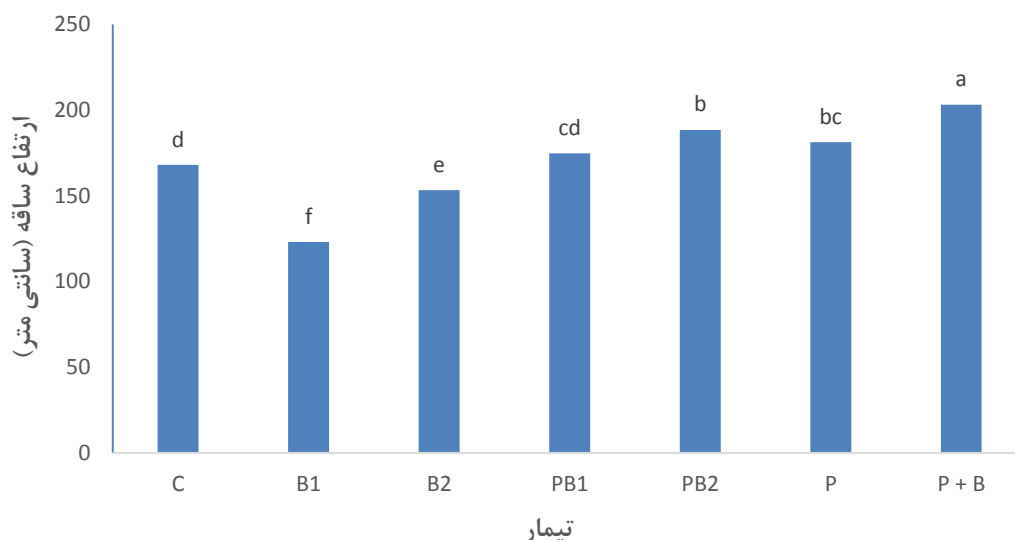
شکل ۴-۷- تاثیر تیمارها بر مقدار فسفر قابل دسترس در مرحله سوم نمونه برداری

۴-۴- ارتفاع ساقه

ارتفاع نهایی گیاه معمولاً تحت تاثیر عوامل ژنتیکی می‌باشد ولی محیط نیز ارتفاع گیاه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. ارتفاع جزء مهمی در تعیین عملکرد نمی‌باشد، ولی احتمالاً ارقام با ارتفاع بلندتر عملکرد ماده خشک بیشتری دارند (سلیمی، ۱۳۸۹).

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد بین تیمارها از نظر صفت ارتفاع ساقه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت (جدول پیوست ۴-۶). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیشترین مقدار ارتفاع ساقه مربوط به تیمار $P + B$ و کمترین مقدار مربوط به تیمار B_1 بود (شکل ۴-۸). تیمار $P + B$ ارتفاع ساقه ذرت را ۲۰ درصد نسبت به C افزایش داده بود. می‌توان گفت که تیمار $P + B$ به دلیل اینکه خود بیوچار به تنهایی سبب افزایش خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک و سبب افزایش جذب عناصر می‌شود. همچنین زمانی که بیوچار با کود فسفر استفاده می‌شود کود فسفر را جذب کرده و مانع از دست رفتن فسفر می‌شود و این فسفر را به مرور در اختیار گیاه قرار می‌دهد (لهمان و همکاران، ۲۰۰۱).

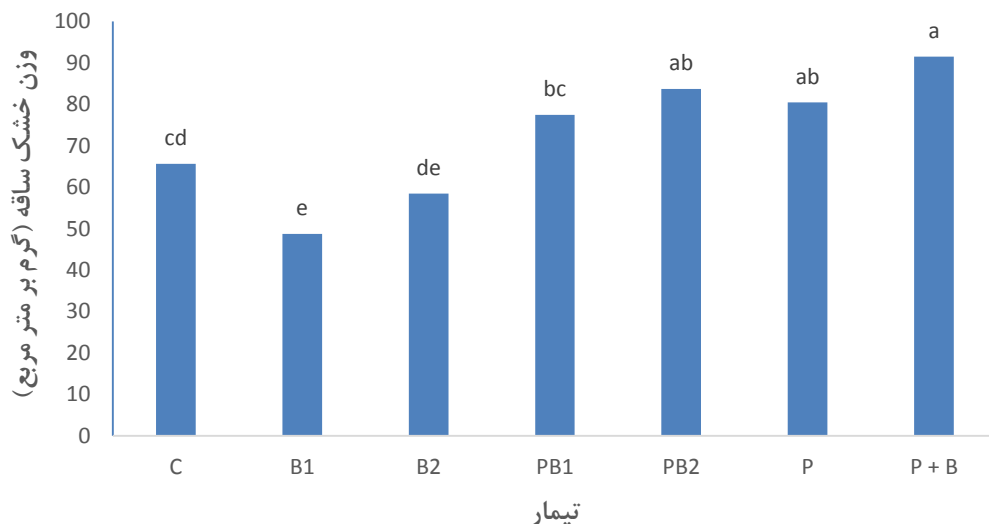
کاربرد تیمار PB_2 سبب افزایش ۱۲ درصدی ارتفاع ساقه نسبت به C شده بود و این تیمار به همراه تیمار P در یک سطح آماری قرار داشت. تیمارهای B_1 و B_2 به ترتیب کاهش ۳۷ درصدی و کاهش ۹ درصدی ارتفاع ساقه نسبت به C را از خود نشان داده بودند. می‌توان گفت که افزودن بیوچار همیشه باعث افزایش خصوصیات کمی نمی‌شود. طبق تحقیقاتی که بلک ول و همکاران (۲۰۰۹). انجام دادند به این نتیجه رسیدند که در برخی مناطق افزودن بیوچار هیچ تاثیری بر خصوصیات کمی گیاه ندارد.



شکل ۴-۸- تاثیر تیمارها بر ارتفاع ساقه

۴-۵- وزن خشک ساقه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد بین تیمارها از نظر صفت وزن خشک ساقه اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت (جدول پیوست ۴-۶). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار P + B مقادیر بالاتری از وزن خشک ساقه را نسبت به شاهد از خود نشان داد هر چند با تیمار PB2 و P در یک سطح آماری قرار داشت و کمترین مقدار مربوط به تیمار B1 بود (شکل ۴-۹). تیمار P + B وزن خشک ساقه را ۳۹ درصد نسبت به C افزایش داده بود. تیمارهای P، PB2 و PB1 به ترتیب با وزن خشک ۸۰/۵۱، ۸۳/۷۲ و ۷۷/۵۹ گرم با تیمار P + B در یک سطح آماری قرار گرفتند. کاربرد تیمار B1 کاهش ۲۶ درصدی وزن خشک ساقه نسبت به C را از خود نشان داد. ولی استفاده از تیمار B2 تاثیر معنی داری بر وزن خشک نداشت. این در حالی است که آزمایشات یعقوبی و همکاران (۱۳۹۳)، نشان داد که کاربرد ۴۰ تن در هکتار و ۲۰ تن در هکتار بیوچار سبب افزایش ۵۵ درصدی وزن خشک ساقه نسبت به تیمار شاهد شده بود.

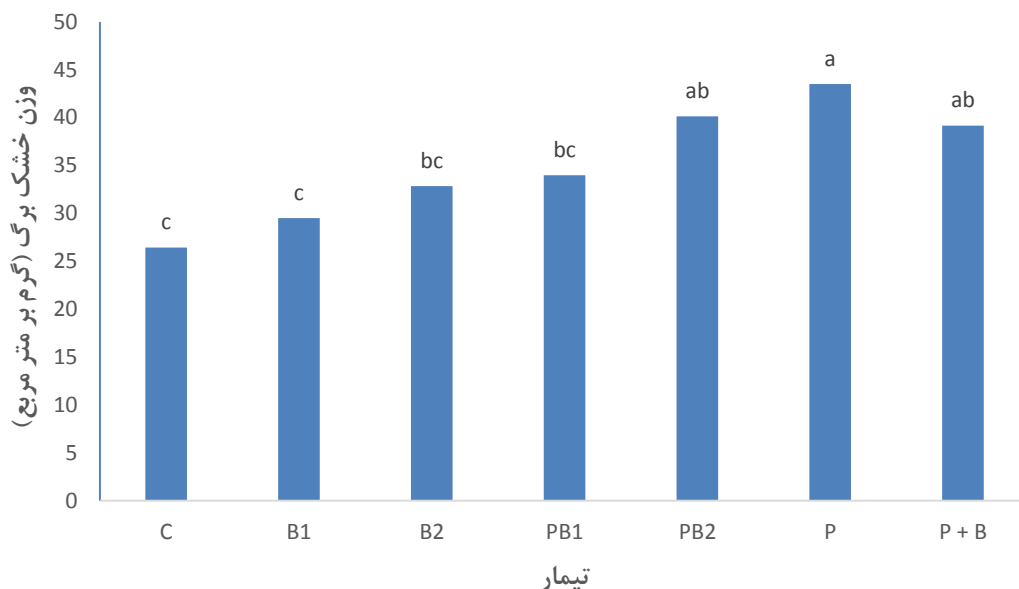


شکل ۴-۹- تاثیر تیمارها بر وزن خشک ساقه

۴-۶- وزن خشک برگ

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد بین تیمارها از نظر صفت وزن خشک برگ اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد وجود داشت (جدول پیوست ۶-۴). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد تیمار P مقادیر بالاتری از وزن خشک برگ را نسبت به شاهد از خود نشان داد هر چند با تیمار PB₂ و P + B در یک سطح آماری قرار داشت و کمترین مقدار در تیمار C مشاهده شد (شکل ۴-۱۰). کاربرد تیمار P سبب افزایش ۶۴ درصدی وزن خشک برگ نسبت به C گردید، تیمارهای P + B و تیمار PB₂ با مقادیر ۴۳/۴۹ و ۴۰/۱۲ با تیمار P در یک سطح آماری قرار گرفتند.

در همین راستا آلوش و همکاران (۲۰۰۰) نیز به این نتیجه رسیدند که کاربرد کود فسفر باعث بهبود وزن خشک کل گیاه نخود گردید. همچنین در تحقیق دیگری تجمع ماده خشک در گیاه ذرت با کاربرد کود فسفر به طور معنی داری افزایش یافت (رستمی و عباسدخت، ۱۳۸۹).



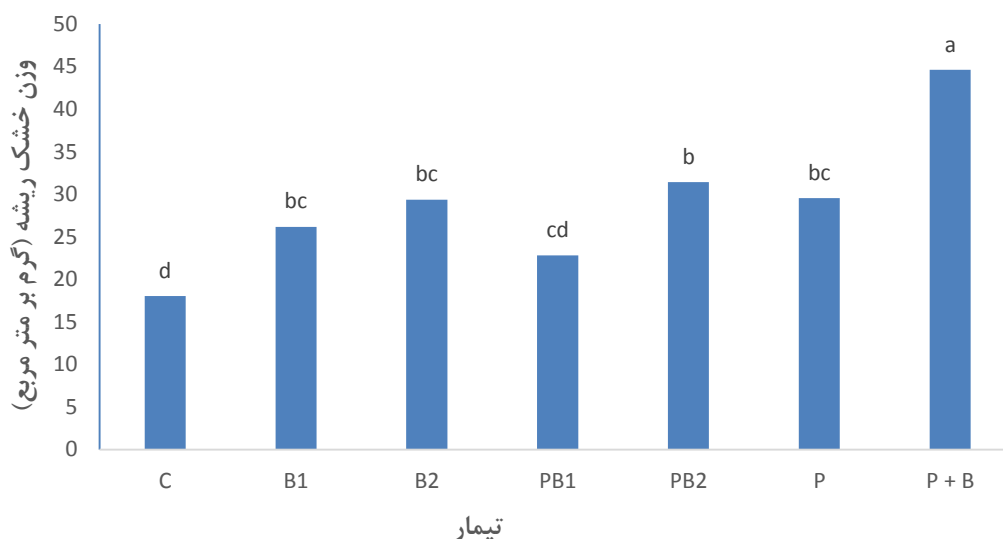
شکل ۴-۱۰- تاثیر تیمارها بر وزن خشک برگ

۴-۷- وزن خشک ریشه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد بین تیمارها از نظر صفت وزن خشک ریشه اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت (جدول پیوست ۶-۴). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیشترین مقدار وزن خشک ریشه مربوط به تیمار P + B و کمترین مقدار مربوط به تیمار C بود (شکل ۴-۱۱). تیمار P + B سبب افزایش ۱/۴۷ برابری وزن خشک ریشه نسبت به C گردید. در زمان جداسازی ریشه از خاک مشاهده شد که بخش‌هایی از ریشه کاملاً به ذرات بیوچار متصل بودند. به نظر می‌رسد سطوح تبدیلی بیوچار که حاوی عناصر غذایی مختلف است یکی از عواملی بوده که توانسته ریشه گیاه را به سمت

خود جذب کند. حتی این احتمال وجود دارد که ریشه‌های مویین گیاه به داخل ذرات بیوچار نفوذ کرده باشند. جوزف و همکاران بیان کردند که وقتی ریشه‌ی گیاه در مجاورت ذرات بیوچار قرار می‌گیرد ریشه‌های مویین به سطوح بیوچار متصل می‌شوند و حتی برخی از آن‌ها به داخل منافذ بیوچار نفوذ می‌کنند. به طور کلی می‌توان گفت اثرات مثبت بیوچار بر رشد گیاه و به خصوص نقش بیوچار در بهبود شرایط فیزیکی خاک می‌تواند نقش قابل توجهی در افزایش رشد و توسعه ریشه داشته باشد. چان و همکاران (۲۰۰۷). گزارش کردند که در خاک‌هایی که به علت تراکم و خشکی محدودیت رشد ریشه در آن‌ها وجود دارد، کاربرد بیوچار می‌تواند سبب افزایش توسعه ریشه در خاک شود.

کاربرد تیمار PB۲ افزایش ۷۴ درصدی وزن خشک ریشه نسبت به C را از خود نشان داد، تیمارهای P، B۱ و B۲ به ترتیب با مقدار ۲۹/۵۶، ۲۶/۱۷ و ۲۹/۲۷ با تیمار PB۲ در یک سطح آماری قرار گرفتند.



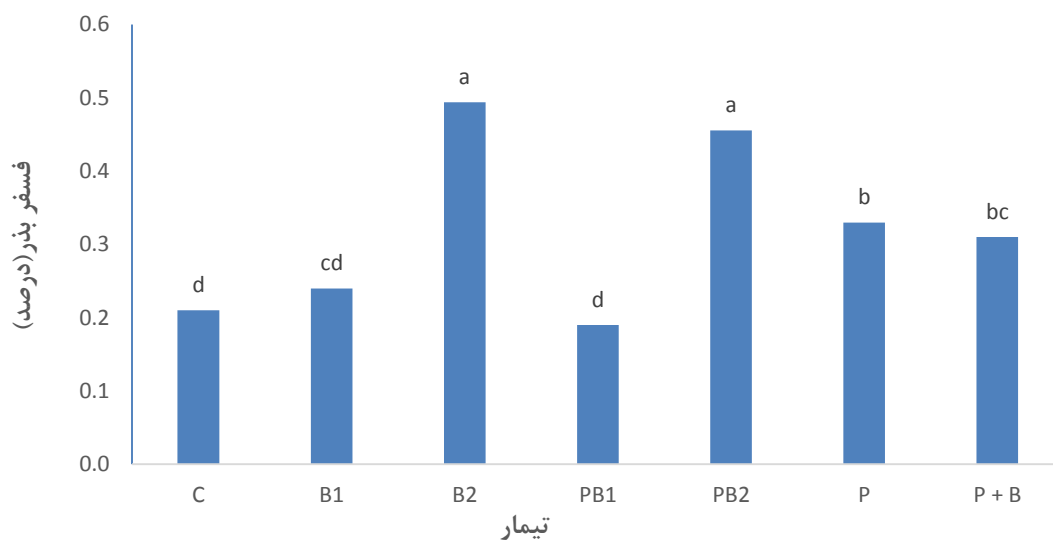
شکل ۴-۱۱- تاثیر تیمارها بر وزن خشک ریشه

۴-۸- فسفر دانه

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد بین تیمارها از نظر صفت فسفر دانه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت (جدول پیوست ۶-۵). بر اساس نتایج مقایسات میانگین تیمار B₂ مقادیر بالاتری از فسفر دانه را نسبت به شاهد از خود نشان داد هر چند با تیمار PB₂ در یک سطح آماری قرار داشت و کمترین مقدار در تیمار PB₁ مشاهده شد. تیمار B₂ سبب افزایش ۲/۳۳ برابری فسفر دانه نسبت به شاهد گردید تیمار PB₂ نیز با این تیمار در یک سطح آماری قرار داشت (شکل ۴-۱۲).

کاربرد تیمار P باعث افزایش ۱/۵۷ برابری فسفر دانه نسبت به C شد تیمار P + B نیز با این تیمار در یک سطح آماری قرار گرفت. تیمار PB₁ سبب کاهش ۱۰ درصدی فسفر دانه نسبت به C شد.

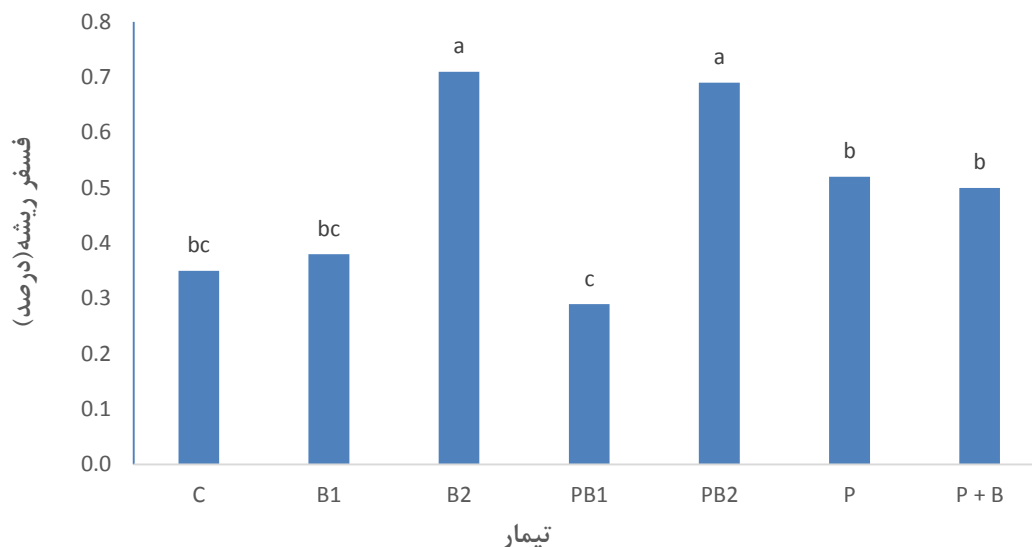
رضائی‌ان و همکاران (۱۳۹۲). بر طبق آزمایشی که اثرات متقابل بیوچار و کادمیم بر روی فسفر گیاه را نشان می‌داد به این نتیجه رسیدند که بیشترین مقدار فسفر جذب شده مربوط به تیمار عدم کاربرد کادمیم و استفاده از بیوچار به تنهایی است. در این آزمایش استفاده از بیوچار به تنهایی سبب افزایش ۱۸ درصدی فسفر گیاه نسبت به شاهد شد که این نشان دهنده این است که بیوچار خاصیت افزایش جذب عناصر را دارا می‌باشد و سبب افزایش عناصری مانند فسفر در گیاه و دانه می‌شود.



شکل ۴-۱۲- تاثیر تیمارها بر فسفر دانه

۴-۹- فسفر ریشه

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد بین تیمارها از نظر صفت فسفر ریشه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت (جدول پیوست ۶-۵). بر اساس نتایج مقایسات میانگین تیمار B۲ مقادیر بالاتری از فسفر ریشه را نسبت به شاهد از خود نشان داد هر چند با تیمار PB۲ در یک سطح آماری قرار داشت و کمترین مقدار در تیمار PB۱ مشاهده شد (شکل ۴-۱۳).



شکل ۴-۱۳- تاثیر تیمارها بر فسفر ریشه

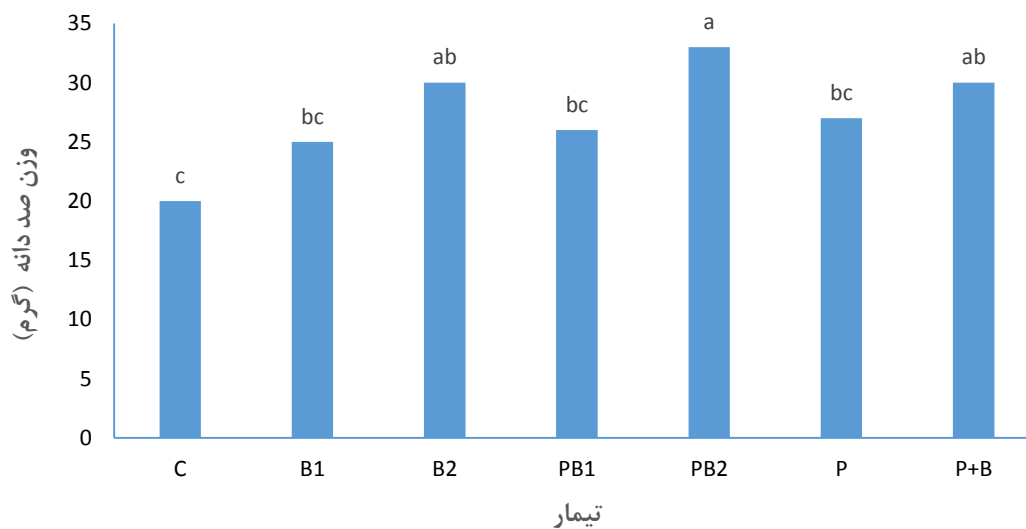
کاربرد تیمار B₂ سبب افزایش ۲/۰۲ برابری فسفر ریشه نسبت به C شد.

۴-۱۰- وزن صد دانه

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد بین تیمارها از نظر صفت وزن صد دانه اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت (جدول پیوست ۶-۶). بر اساس نتایج مقایسات میانگین تیمار PB₂ مقادیر بالاتری از وزن صد دانه را نسبت به شاهد از خود نشان داد هر چند با تیمار B₂ و P+B در یک سطح آماری قرار داشت و کمترین مقدار در تیمار C مشاهده شد (شکل ۴-۱۴).

کاربرد تیمار PB₂ سبب افزایش ۶۵ درصدی وزن صد دانه ذرت نسبت به تیمار C شده بود، همان گونه که در شکل (۴-۱۴). مشاهده می‌شود. تقریباً تمامی تیمارها تاثیر مثبتی در افزایش وزن نسبت به شاهد داشتند.

یعقوبی و همکاران (۱۳۹۲). طی آزمایشی که بر روی لوبیا چشم بلبلی انجام دادند به این نتیجه رسیدند که مصرف بیوچار سبب ایجاد یک روند افزایشی بر وزن صد دانه در تمام سطوح کود بیولوژیک نسبت به تیمار شاهد شده است و بیوچار به مقدار ۱/۴۸ برابر وزن صد دانه را نسبت به تیمار شاهد افزایش داده است.



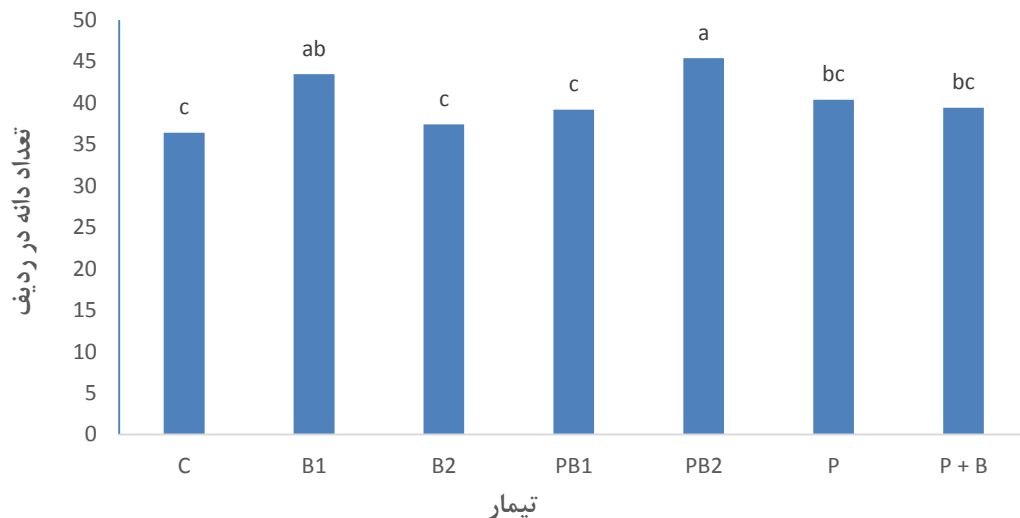
شکل ۴-۱۴- تاثیر تیمارها بر وزن صد دانه

۴-۱۱- تعداد دانه در ردیف

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد بین تیمارها از نظر صفت تعداد دانه در ردیف بلال ذرت اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت (جدول پیوست ۶-۶). نتایج مقایسات میانگین داده‌ها نشان داد تیمار PB۲ مقادیر بالاتری از تعداد دانه در ردیف را نسبت به شاهد از خود نشان داد هر چند با تیمار B۱ در یک سطح آماری قرار داشت، مشاهده شد (شکل ۴-۱۵).

استفاده از تیمار PB۲ افزایش ۲۴ درصدی تعداد دانه در ردیف بلال را نسبت به C موجب شد.

از آنجایی که تیمار PB₂ با کود فسفر غنی شده است می‌توان این‌گونه گفت که به دلیل جلوگیری از مضرات مصرف کودهای شیمیایی و صرفه‌جویی در هزینه‌ها بهتر است که از B₁ که با تیمار PB₂ در یک سطح آماری قرار گرفته است به عنوان کودی مناسب‌تر در افزایش تعداد دانه در ردیف بلال یاد کنیم.



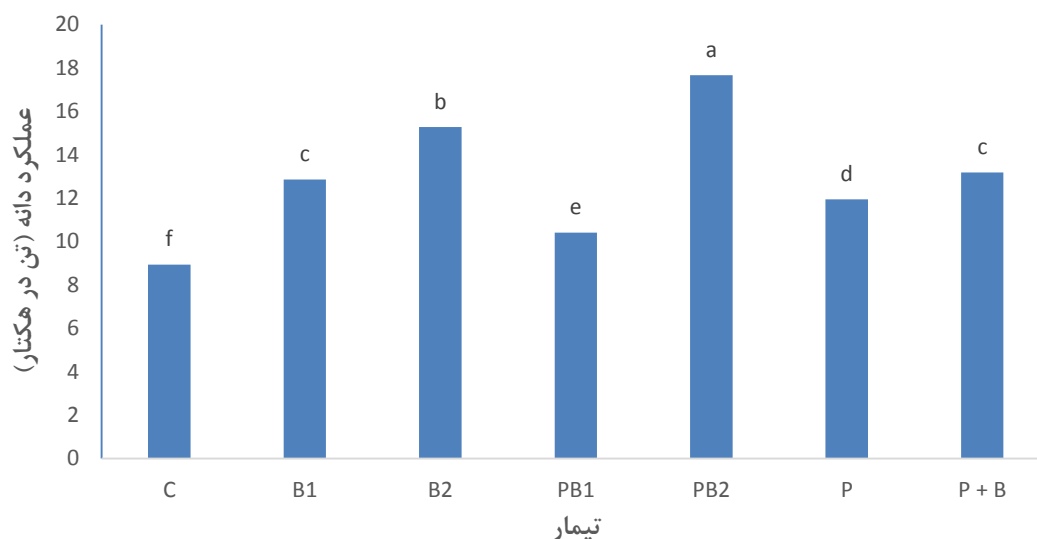
شکل ۴-۱۵- تاثیر تیمارها بر تعداد دانه در ردیف

۴-۱۲- عملکرد دانه

عملکرد دانه از مهمترین شاخص‌های اقتصادی در گیاهان دانه‌ای محسوب می‌گردد. نتایج تجزیه‌ی واریانس داده‌های مورد آزمایش بر عملکرد دانه در جدول پیوست ۳ گزارش شده است نتایج حاکی از آن است که تاثیر تیمارها بر عملکرد دانه در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شد (جدول پیوست ۶-۵).

نتایج مقایسات میانگین داده‌ها نشان داد بیشترین معنی‌داری مربوط به تیمار PB₂ و کمترین مربوط به تیمار C بود (شکل ۴-۱۶). کاربرد تیمار PB₂ سبب افزایش ۹۷ درصدی عملکرد دانه ذرت نسبت به C گردید تیمار B₂ نیز عملکرد دانه را به مقدار ۷۱ درصد نسبت به C افزایش داده بود.

به کارگیری جداگانه ۲۰ تن در هکتار بیوچار از خاک ساوانای کلمبیا در مقایسه با محیط کشت غیر اصلاح شده و تحت کنترل به افزایش ۲۸ تا ۱۴۰ درصدی مقدار محصول ذرت در دومین و چهارمین سال بعد از اصلاح انجامید (ماجور و همکاران، ۲۰۱۰). بیوچار از طریق تاثیرات مستقیم که همان فراهم آوردن مواد مغذی است و نیز تاثیرات غیر مستقیم عملکرد محصول را بهبود می‌بخشد. این تاثیرات غیر مستقیم عبارتند از: حفظ مواد مغذی افزایش یافته، بهبود pH خاک (یاماتو و همکاران، ۲۰۰۶). افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک (چنگ و همکاران، ۲۰۰۸). جابجایی و تغییر شکل عناصر فسفر و گوگرد در خاک (دی لوکا و همکاران، ۲۰۰۹).



شکل ۴-۱۶- تاثیر تیمارها بر عملکرد دانه

کاربرد تیمار B1 سبب افزایش ۴۷ درصدی عملکرد دانه ذرت نسبت به C گردید تیمار P + B نیز با تیمار فوق در یک سطح آماری قرار داشت. استفاده از تیمار P باعث افزایش ۴۳ درصدی عملکرد دانه ذرت نسبت به C گردید. افزایش کود فسفر باعث افزایش تجمع اسیمیلات‌ها در دانه می‌شود و در نهایت منجر

به افزایش وزن دانه می‌گردد باکتری های حل کننده فسفات می‌توانند با سنتز هورمون‌های گیاهی موجب افزایش رشد گیاه شوند به این ترتیب که این باکتری‌ها مراحل اولیه رشد گیاه را تحت تاثیر قرار می‌دهند در نتیجه ریشه حجم بیشتری از خاک را اشغال می‌کند و در نهایت سطح جذب افزایش می‌یابد. افزایش قابلیت دسترسی فسفر برای گیاه توسط کوددهی، موجب افزایش تثبیت عناصر در گیاه می‌شود و عملکرد دانه افزایش می‌یابد (آراجو و همکاران، ۱۹۹۶).

۴-۱۳- نتیجه گیری

نتایج بدست آمده از این تحقیق به طور خلاصه بشرح ذیل می‌باشد.

کاربرد توام بیوچار و کود فسفر توانست باعث افزایش فسفر قابل جذب و فسفر محلول خاک گردد به طوری که کاربرد این تیمار توانست سبب بهبود بسیاری از صفات گیاه ذرت از جمله افزایش ارتفاع ساقه، وزن خشک ساقه، وزن خشک برگ و وزن خشک ریشه گردد.

کاربرد بیوچار غنی شده و بیوچار هر دو در سطح ۲ (۴ تن در هکتار) سبب افزایش عملکرد دانه به ترتیب ۹۷ درصدی و ۷۱ درصدی شد که این آمار نشان می‌دهد کارایی این تیمارها از مصرف کود فسفر به تنهایی بسیار بالاتر بوده است.

بیوچار غنی شده با فسفر به دلیل آغشته شدن به کود فسفر محلول توانست سبب افزایش جذب عنصر فسفر توسط گیاه شود و صفاتی از گیاه را مانند فسفر دانه و فسفر ریشه افزایش دهد.

کاربرد بیوچار به همراه کود فسفر نسبت به استفاده تنها از کودهای شیمیایی نوید بخش کشاورزی پایدار و کاهش آلودگی‌های زیست محیطی در آینده می‌باشد.

در طول دوره رشد مقدار فسفر محلول در تیمار کود فسفر به شدت کاهش یافت این در حالی است که در تیمارهای فسفر به همراه بیوچار این کاهش مشاهده نشد یا اینکه بسیار تدریجی بود.

۴-۱۴- پیشنهادها

(۱) با توجه به اینکه این تحقیق در یک سال زراعی انجام شده است. لذا بهتر است اثرات دراز مدت

بیوچار به همراه کود فسفر در خاک‌های زراعی مختلف بررسی گردد.

(۲) مطالعات گسترده‌تری در مورد اثرات بیوچار غنی شده با فسفر بر روی سایر گیاهان زراعی انجام شود.

(۳) تحقیق بر روی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بیوچار و بیوچار غنی شده تولیدی و تعیین ارتباط با ویژگی‌های رشدی گیاهان و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک صورت پذیرد.

(۴) به دلیل پایداری و تاثیرات دراز مدت بیوچار بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک پیشنهاد می‌شود در زمین مورد انجام آزمایش کشت محصول یک فصل دیگر نیز صورت پذیرد.

(۵) بررسی تاثیر بیوچار و بیوچار غنی شده با فسفر بر سایر عناصر غذایی موجود در خاک و گیاه انجام شود.

منابع

منابع

- اسدی رحمانی، ه. و فلاح، ع. (۱۳۸۶). تولید و ترویج کودهای بیولوژیک محرک رشد گیاه (PGPR). در: ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور.
- بشارتی، ح. و صالح‌راستین، ن. (۱۳۸۰). بررسی تاثیر کاربرد مایه تلقیح باکتریهای تیوباسیلوس همراه با گوگرد در افزایش قابلیت جذب فسفر. در: ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور.
- مجللی، ح. و کریم‌زاده، م. (۱۳۸۶)، "شیمی خاک" (ترجمه)، چاپ چهاردهم، مرکز نشر دانشگاهی، تهران
- جوانمرد، ا. (۱۳۸۳)، "مطالعه قابلیت جذب فسفر در خاکهای تیمار شده با مواد آلی مختلف"، دانشکده کشاورزی شهید مدرس تهران
- حجازی مهریزی، م. (۱۳۸۴)، پایان نامه ارشد: "تاثیر استفاده از کودهای آلی و شیمیایی بر شکل-های فسفر در یک خاک آهکی"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- حلاج نیا، ا.، حق نیا، غ.ج. و خراسانی، ر. (۱۳۸۵)، "تأثیر ماده آلی بر فراهمی فسفر استفاده در خاکهای آهکی"، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال ۱۰، شماره ۴ (الف)، ص ۱۲۱-۱۳۲
- خاوازی، ک و ملکوتی، م. (۱۳۸۰). ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور (مجموعه مقالات). نشر آموزش کشاورزی. ۵۸۹ ص.
- خدابنده، ن. (۱۳۷۵) "غلات" انتشارات دانشگاه تهران، ۵۳۷ صفحه.
- خدابنده، ن. (۱۳۸۲) "غلات" موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران. چاپ هفتم، ۵۹۲ صفحه.
- خواجه‌پور، م. (۱۳۷۴) "اصول و مبانی زراعت" انتشارات جهاد دانشگاهی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- خوشگفتارمنش، ا.ج.، (۱۳۸۶)، "مبانی تغذیه گیاه"، چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان، ۴۶۲

صفحه

رستمی، م و عباسدخت، ح. (۱۳۸۹)، "مطالعه تأثیر اسموپرایمینگ، هیدروترمال پرایمینگ و سطوح مختلف کود فسفره بر خصوصیات فیزیومرفولوژیک و عملکرد دانه ذرت" یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، ص ۳۱، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

زلفی باوریانی، م. و نوروزی، م. (۱۳۸۹)، "تأثیر ماده آلی بر بازیابی فسفر باقی مانده در یک خاک

آهکی"، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال ۱۴، شماره ۵۲

سالاردینی، ع. ا. (۱۳۷۴). "حاصلخیزی خاک". چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه تهران.

سالاردینی، ع. ا. (۱۳۸۸). "حاصلخیزی خاک" چاپ هشتم، انتشارات دانشگاه تهران.

سلیمانی درچه، ا. (۱۳۷۳)، پایان نامه ارشد: "بررسی جذب و رهاسازی فسفر در تعدادی از خاکهای

استان تهران"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

سماواتی، م. و حسین پور، ع. ر. (۱۳۹۰)، "اجزای مختلف فسفر معدنی و قابلیت فراهمی آن در تعدادی

از خاکهای استان همدان"، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال ۱۱،

شماره ۴۲ (ب)، ص ۴۸۸-۴۷۵

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.

طهماسبی، ف. و حسین پور، ع. ل. (۱۳۸۶)، "سینتیک تغییرات فسفر قابل استخراج در تعدادی از

خاک های همدان"، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال ۱۱، شماره ۴۲ (ب)، ص ۴۷۵-

۴۸۸

عطاردی، ب. (۱۳۸۴)، پایان نامه ارشد: "حد بحرانی فسفر برای سورگوم به وسیله عصاره گیری های

متفاوت و شکلهای شیمیایی فسفر در خاکهای منطقه بیرجند"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

فرزانه، ق. (۱۳۸۲)، پایان نامه ارشد: "تعیین ضرائب بافری فسفر و همبستگی آن با خصوصیات خاک و شاخصهای گیاهی در شماری از خاکهای همدان"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان.

کاظمی پشت‌مساری، ح. پردشتی، ه. ا و بهمنیار، م. ع. (۱۳۸۶). مقایسه اثرات کودهای فسفره معدنی و زیستی بر ویژگی‌های زراعی دو رقم باقلا (*Vicia faba* L.). مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۶، جلد ۱۴، ص ۲۱.

کوچکی، ع. و نجیب نیا، س. (۱۳۸۷) "نقش تنوع در کشاورزی پایدار"، انتشارات فردوسی مشهد.

لطف الهی، م. ملکوتی، م. ج. خاوازی، ک و بشارتی، ح. (۱۳۸۴). ارزیابی روشهای مصرف مستقیم خاک فسفات در افزایش عملکرد ذرت علوفه‌ای در کرج. ص ۹۵-۸۹. مصرف بهینه کود راهی برای پایداری در تولیدات کشاورزی. ملکوتی م. ج و بلالی م. ر، چاپ اول، نشر آموزش کشاورزی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب

ملکوتی، م. ج. (۱۳۷۹). کشاورزی پایدار و افزایش محصول با استفاده از کاربرد بهینه کود در ایران.

نشر آموزش کشاورزی. ۲۰۷ ص

ملکوتی، م. ج و همایی، م. (۱۳۸۳). حاصلخیزی خاکهای مناطق خشک و نیمه خشک (مشکلات و راه

حله‌ها). انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. ۴۸۸ ص.

مومنی، ع.، رسولی، م.، بای بوردی، م. و ملکوتی، م. ج. (۱۳۸۴)، "لزوم حفظ کیفیت و پایش منابع

خاک کشور"، ص ۳۱۵-۲۸۸، (خاک‌های ایران) تحولات نوین در شناسایی، مدیریت و بهره برداری موسسه

تحقیقات خاک و آب)، چاپ اول، بنایی م. ح. مومنی ع، بای بوردی م. و ملکوتی م. ج، انتشارات سنا، تهران.

نور محمدی، ق.، سیادت، س. ع. و کاشانی، ع. (۱۳۸۰). زراعت غلات. انتشارات دانشگاه شهید چمران

اهواز، صفحه ۴۴۶.

يعقوبی، م. (۱۳۹۳). پایان نامه ارشد "تاثیر کود بیولوژیک و بیوچار بر رشد و عملکرد گیاه لوبیا چشم

بلبلی" دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهرود.

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

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.

and physico-chemical soil properties. Biology and Fertility of Soils 27, 315–3

Anderson CR, Condron LM, Clough TJ, Fiers M, Steward A, Hill RA, Sherlock RR (2011) Biochar induced soil microbial community change: implications for biogeochemical cycling of carbon, nitrogen and phosphorus. *Pedobiologia* 54:309–320

Anderson, G. 1980. Assessing organic phosphorus in soils. In: Khasawneh F.E., E. C. Sample and E. J. Kamprath. (Eds.) Role of phosphorus in agriculture .(pp.411-432). Am. Soc. Agron., Madison. WI.

Asghari, H. R., Chittleborough, D. G., Smith, F. A., and Smith, S. E. 2005. Influence of arbuscular mycorrhizal(AM) symbiosis on phosphorus leaching through soil cores. *Plant and soil*, 275: 181-193.

Atkinson CJ, Fitzgerald JD, Hipps NA (2010). (Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soil: a review. *Plant Soil* 337-118

Bagreev, A., Bandosz, T. J. And I. ocke, D. C. (2001) Pore structure and surface chemistry of adsorbents , obtained by pyrolysis of sewage-derived fertiliser', *Carbon*, vol 39, pp1971-1979

Ball, P.N., MacKenzie, M.D., DeLuca, T.H., Holben, W.E. ۲۰۱۰. Wildfire and charcoal enhance nitrification and ammonium-oxidizing bacteria abundance in dry montane forest soils. *Journal of Environmental Quality*, 39: 1253-1243

Barbarick, K. A., Lai, T. M, and D. D. Eberl. 1990. Exchange fertilizer (Phosphate Rock plus Ammonium- Zeolite) effects on sorghum – sudangrass. *Soil.Sci. Soc.Am. J.* 54:911-916.

Barber, S. A. 1984. Soil Nutrient Bioavailability. John Wiley & Sons Pub., New York.

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.

Blackwell P, Riethmuller G, Collins M (2009) Biochar application for soil. Chapter 12. In : Lehmann J, Joseph S (eds) *Biochar for environmental management science and technology*-Earthscan, London, PP 207-226

Bolan, N. S. 1991. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. *Plant and Soil*, 134: 189-207.

Chan KY, Xu Z (2009) Biochar : nutrient properties and their enhancement. Chapter 5. In : Lehmann J, Joseph S (eds) *Biochar for environmental management science and technology*. Earthscan, London, PP 67-84

Chan, K.Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A. and Joseph, S. (2007). Agronomic value of greenwaste biochar as a soil amendment, *Australian Journal of Soil Research*, vol 45, pp629-634

Cheng, C.-H., Lehman, J. and Engelhard, M. H. (2008). Natural Oxidation of black carbon in molecular form and surface change along a climosequence, *Geochimica et cosmochimica Acta*, vol 72, pp1598-1610

Cordell D, Dranget J-O, White S (2009) The story of phosphorus: global food security and food for thought. *Global Environ Change* 19:292–30

Cui HJ, Wang MK, Fu ML, Ci E (2011) Enhancing phosphorus availability in phosphorus-fertilized zones by reducing phosphate adsorbed to ferrihydrite using rice straw-derived biochar. *J Soil Sediment* 11:1135–1141

Delgado, A., A. Madrid, S. Kassem, L. Andreu and M. C. Campillo. 2002. Phosphorus fertilizer recovery from calcareous soils amended with humic and fulvic acids. *Plant and Soil* 245:277-286

DeLuca TH, MacKenzie MD, Gundale NIJ (2009) Biochar effects on soil nutrient transformation. Chapter 14. In : Lehmann J, Joseph S (eds) *Biochar for environmental management science and technology*. Earthscan, London, PP 251-280

DeLuca, T. H., M. D. MacKenzie, M. J. Gundale, and W. E. Holben. 2006. Wildfire-produced charcoal directly influences nitrogen cycling in ponderosa pine forests. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70 : 448-453.

Edelstein DM, Tonjes DJ (2012) Modeling an improvement in phosphorus utilisation in tropical agriculture. *J Sustain Agr* 36:18–35

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.

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.

Ferrall M, lynne M, macdonald, Bulter G, chirino-valle i, leom, Condor(2013) Biochar and fertiliser applications influence phosphorus fractionation and wheat yield. Biol Fertil Soils

Glaser B, Lehman 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

Goovaerts, P., 1998. Geostatistical tools for characterizing the spatial variability of microbiological

Gutierrez-boem, F. A. And G. W. Thomas. 1998. Phosphorus nutrition affects wheat response to water deficit. Agron. J., 90 : 166-171. Gutierrez-boem, F. A. And G. W. Thomas. 1998. Phosphorus nutrition affects wheat response to water deficit.

Grant, C., Bittman, S., montreal, M., Plenchette, C. and Morel, C. 2005. Soil and fertilizer phosphorus: Effects on plant P supply and mycorrhizal development. Can. J. Plant Sci. 85: 3-14.

Hinsinger, P. 2001. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes : a review. Plant and Soil. 237 : 173-195.

Howard, A. E., Olson, B. M. And Cooke, S. E., (2006), "Impact of Soil Phosphorus Loading on Water Quality in Alberta : A Review", Alberta Agriculture, Food and Rural Development, Alberta Soil Phosphorus Limits Project, 41p

Jeffery S, Verheijen FGA, van der Velde M, Bastos AC (2011) A quantitative review of the effects of biochar applications to soils on crop productivity using meta-analysis. Agr Ecosyst Environ 144:155-187

Joseph, S.D., Camps-Arbestain, M., Lin, Y., Munroe, P., Chia, C.H., Hook, J., van Zwieten, L., Kimber, S., Cowie, A., Singh, B.P. and Lehmann, J. 2010. An investigation into the reactions of biochar in soil. Australian Journal of Soil Research. Available online in: BioMedSearch.com

Krishna, K. R., (2002), " Soil fertility and crop production", Published by Science Publishers Inc, Enfield, NH, USA, India, 465pp

Krull ES, Baldock JA, Skjemstad JO, Smernik RJ (2009) Characteristics of biochar : organo-chemical properties. Chapter 4. In : Lehmann J, Joseph S (eds) Biochar for environmental management science and technology. Earthscan, London, PP 53-65

Krull, E. 2010. From source to sink : a national initiative for biochar research. World congress of soil science, soil solutions for a changing world. 1-6 August 2010. Brisbane, Australia. Published on DVD.

Lagrid, M., Bockman, O. C. and Kaarstad, O. 1999. Agriculture, Fertilizers and the environment. CABI Publishing. Norsk Hydro ASA. Norway. 294pp

Liu, A., Hamel, C. Begna, S. H. Ma, B. L. and Smith, D. L. 2003. Canadian Journal of soil science. 83: 337-342.

Lehman J, Rondon M (2006) Bio-char soil management on highly weathered soils in the humid tropics. In: Uphoff N et al. (eds) Biological approaches to sustainable soil systems. CRC press, Boca raton, FL, pp. 517-530

Lehmann, J., Joseph, S.,(2009). Biochar for environmental management: an introduction: Lehmann, J., Joseph, S. (Eds.), Biochar for Environmental Management: Science and Technology. London: 1-12

Lehmann, J., M.C. Rillig, J. Thies, C.A. Masiello, W.C. Hockaday, and D. Crowley. (2001). Biochar effects on soil biota: A review. Soil Biology and Biochemistry, 43: 1812–1836

Lentz R. D. and j.A. Ippolito. (2011). Biochar and manure Affect Calcareous soil and corn silage Nutrient concentrations and uptake. Journal of Environmental Quality. 41: 1033-1043

Liang, B., Lehmann, J., Solomon,D., Kinyangi, J., Grossman, J., O Neill, B., Skjemstad, J.O., Thies, J., Luizao, J., Petersoen, J. and Neves, E. G. (2006). Black carbon increases cation exchange capacity in soils , Soil Science Society of America Journal, vol 70, pp1719-1730

Lopez-Bellido, F. J., Lopez-Bellido, L. and Lopez-Bellido R. J.2005. Competition, growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.). Eur. J. Agron., 23, pp 359.

Major J, Rondon M, Molina D, Riha SJ, Lehmann J (2010) Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. Plant and Soil (in press)

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

Marschner, H.(1993). Mineral nutrition of higher plants. London, Academic Press Ltd., Harcourt Brace and Co.Publishers

Mukherjee, A. And R. La. 2013. Biochar impacts on soil physical properties and greenhouse gas emissions. *Agronomy*. 3 : 313-339.

Olsen, S. R., C. V. Cole, F. S. Watanabe, and L. A. Dean. (1974). "Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate". United States Department of Agriculture Circular. 939 : 1-19

Oguntunde, P., B. Abiodun, A. Ajayi, and N. van de Giesen, 2008. Effects of charcoal production on soil physical properties in Ghana. *Journal of plant Nutrition and Soil Science*. 171 (4) : 591-596.

Ogawa, M., Y. Okimori, and F. Takahashi, 2006. Carbon sequestration by carbonization of biomass and forestation : three case studies. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. II (2) : 421-436. water use of maize crops. *Field Crops Res*. 78 : 105-117.

Pietikäinen, J., Kiikkilä, O. And Fritze, H. (2000) 'Charcoal as a habitat for microbes and its effect on the microbial community of the underlying humus', *Oikos*, vol 89, PP231-242

Prasad, R. and Power, J.F. (1997), "soil fertility management for sustainable agriculture", CRC , New York, 384 p

Petersen, G. A., (1981), "A new look at row and broadcast recommendation of winter wheat", *Agronomy Journal* 73 : 407-417

Raja, P. 2006. Status of endomycorrhizal (AMF) biofertilizer in global market. In: *Handbook of microbial biofertilizers*. Mahendra Rai. (Ed.). Haworth Press. New York. pp. 283-303.

Rubio, G., Cabello, M. J., Gutiérrez Boem, F. H., (2007), Estimating Available Soil Phosphorus Increases after Phosphorus Additions in Mollisols, *Soil Sci. Soc. Am. J*. 72:1721-1727

Rondon, M. A, J. Lehman A J. Ramirez and M. Hurtado, 2007. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris*) increases with bio-char additions. *Biology and Fertility of Soils* 43, 699-708.

Ryan, P. R., Delhaize, E. And Jones, D. L., (2001), "Function and mechanism of organic anion exudation from plant roots", *Plant Mol. Biol*. 52 : 527-60

Ramaekers, L., Remans, R., Rao, I. M., Blair, M. W., Vanderleyden J., (2010), "Strategies for Elsevier, PP 1-8 improving phosphorus acquisition efficiency of crop plants : Review", *Field Crops Research*,

Sample, E. C., Soper R. J. and Recz, G. J. 1980. Reactions of phosphate fertilizers in soils. In: Khasawneh F.E., E. C. Sample and E. J. Kamprath. (Eds.), The role of phosphorus in agriculture.(pp. 263-310). Am. Soc. Agron. Madison.WI.

Schachtman, D. P., Reid R. J. and Aylin, S. M. 1998. Phosphorus uptake by plants from soil to cell. Plant physiology. 116:447-453.

Sharma, D.C. and C.P. Sharma, (1996), Chromium uptake and toxicity effects on growth and metabolic activities in wheat, *Triticum aestivum*L. cv. UP (2003), Indian Journal of Experimental Biology 34(7):689-691.

Salih, F. A., Ali A. M. and Elmobarak, A. A. 1986. Effect of phosphorus application and time of harvest on seed yield and quality of faba bean. FABIS Newsletter. 15: 32- 35.

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

-Sohi, S., Lopez-Capel, S.E., Krull, E., Bol, R. 2009. Biochar's roles in soil and climate change: a review of research needs. CSIRO, land and water science report 05/09, February. Pp 64.

Sanches, C. A., (2007), "Phosphorus", pp51-82, (In : Hand book of plant), Barker A. V. and Pilbeam, D. J., Taylor and Francis Group.

Scott, J. T., Condron. L. M., (2003), "Dynamics and availability of phosphorus in the rhizosphere of a temperate silvopastoral system", Biol Fertil Soils 39 : 65-73

Thangaswamy, S., and Chellappan, P. 2006. Arbuscular mycorrhizae: A diverse personality. J. Central European Agriculture. 2: 349-358.

Thies, J. E. and Rilling, M. C. 2009 Characteristics of biochar biological properties. Biochar for Environmental Management. Lehmann, J and Joseph, S (ed.), Earthscan, London, UK.

Thies, J.E. and Rilling, M.C. 2009. Characteristics of biochar: biological properties. Sterling, London. In: Lehmann, J., and Joseph, S. (Eds.), Biochar for Environmental Management. London, pp: 85-105.

Vance, C., C. Uhde-Stone and D.L. Allan(2003). Phosphorus acquisition and use: Critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. New Phytol. 157: 423-447

Van Zwieten, L., B. Singh, S. Joseph, S. Kimber, A. Cowie and K. Y. Chan. 2009. Biochar and emissions of non-CO₂ greenhouse gases from soil. In : J. Lehmann and S. Joseph, (Eds.) Sterling, VA. PP. 227-249. Biochar for environmental management. Science and technology Earthscan, London

Warnock, D. D., J. Lehmann, T. W. Kuyper, and M. C. Rillig-2007. Mycorrhizal responses to biochar in soil-concepts and mechanisms. Plant Soil. 300 : 9-20.

Yahya, A. J. and Al-Azawi, S. K. 1989. Occurrence of phosphate solubilizing bacteria in some Iraqi soils. Plant and Soil. 117: 135-141

Yanai, Y., Toyota, K. and Okazaki, M. (2007). Effect of charcoal addition on N₂O emissions from soil resulting from rewetting air-dried soil in short-term laboratory experiments, Soil Science and Plant Nutrition, vol 53, pp181-188

Yuan, J.H., Xu, R.K., (2001). The amelioration effects of low temperature biochar generated from nine crop residues on an acidic Ultisol. Soil Use and Management 27 : 110-115.

Yamato, M., Okimori, Y., Wibowo, I.F., Anshiori, S. and Ogawa, M. 2006. Effects of the application of charred bark of *Acacia mangium* on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia. Soil Science and Plant Nutrition, 52: 489-495.

جداول پیوست

جدول پیوست ۶-۱- میانگین مربعات مرحله اول نمونه برداری خاک

منابع تغییر	درجه آزادی	pH	EC	فسفر قابل جذب	فسفر محلول
تکرار	۲	۰/۰۰	۰/۰۰۸	۰/۰۰۲	۰/۵۱۰
تیمار	۶	۰/۰۳۱ ^{ns}	۰/۰۱۵ ^{ns}	۱۲۲/۶۲۶ ^{**}	۰/۷۸۷ ^{ns}
خطا	۱۲	۰/۰۱۵	۰/۰۰۵	۷/۵۰۲	۰/۸۰۵
ضریب تغییرات (درصد)		۱/۶۸	۱۴/۵۲	۶/۰۲	۱۸/۴۱
ns، *، ** به ترتیب به مفهوم غیر معنی دار، معنی دارد سطح ۵ و ۱ درصد می باشد					

جدول پیوست ۶-۲- میانگین مربعات مرحله دوم نمونه برداری

منابع تغییر	درجه آزادی	pH	EC	فسفر قابل جذب	فسفر محلول
تکرار	۲	۰/۰۰۲	۰/۰۴۲	۹/۹۸۴	۰/۲۹۹
تیمار	۶	۰/۰۳۰**	۰/۰۳۰ ^{ns}	۲۸۳/۷۰۲**	۲۳/۹۹۱**
خطا	۱۲	۰/۰۰۶	۰/۰۲۶	۲۷/۱۵۹	۰/۴۱۶
ضریب تغییرات (درصد)		۰/۹۹	۲۳/۰۱	۱۳/۱۷	۸/۵۷

ns، *، ** به ترتیب به مفهوم غیر معنی دار، معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد می باشد

جدول پیوست ۶-۳- میانگین مربعات سومین مرحله نمونه برداری از خاک

منابع تغییر	درجه آزادی	pH	EC	فسفر قابل جذب	فسفر محلول
تکرار	۲	۰/۰۲۲	۰/۰۰۳	۰/۰۴۵	۸/۵۰۸
تیمار	۶	۰/۰۴۳*	۰/۰۱۶ ^{ns}	۴۱۲/۷۸۰**	۲۶/۵۳۲**
خطا	۱۲	۰/۰۱۲	۰/۰۱۹	۳/۶۷۰	۴/۱۷۰
ضریب تغییرات (درصد)		۱/۳۸	۱۴/۴۲	۳/۴۴	۲۴/۴۱
ns, *, ** به ترتیب به مفهوم غیر معنی دار، معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد می باشد					

جدول پیوست ۶-۴- میانگین مربعات برخی خصوصیات کمی گیاه

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع ساقه	وزن خشک ساقه	وزن خشک ریشه	وزن خشک برگ
تکرار	۲	۱/۰۹۲	۷/۴۷	۱۹/۰۹	۵۳/۶۳
تیمار	۶	۲۰۴۱/۴۴**	۶۹۲/۱۴**	۲۰۶/۴۸**	۱۱۲/۳۲*
خطا	۱۲	۵۴/۵۲	۵۶/۰۲	۱۵/۰۳	۲۶/۳۱
ضریب تغییرات (درصد)		۴/۳۴	۱۰/۳۵	۱۳/۴۴	۱۴/۶۲
NS، *، ** به ترتیب به مفهوم غیر معنی دار، معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد می باشد					

جدول پیوست ۶-۵- میانگین مربعات فسفر دانه و ریشه و عملکرد دانه

منابع تغییر	درجه آزادی	فسفر دانه	فسفر ریشه	عملکرد دانه
تکرار	۲	۰/۰۰۴	۰/۰۱۰	۵۸۰۱۱/۳۳
تیمار	۶	۰/۰۷۴**	۰/۱۹۲**	۹۵۲۹۳۰/۳۰**
خطا	۱۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۱۴۲۲۰۳/۷۲
ضریب تغییرات (درصد)		۱۵/۲۵	۱۶/۳۲	۱۶/۱۰
NS، *، ** به ترتیب به مفهوم غیر معنی دار، معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد می باشد				

جدول پیوست ۶-۶- میانگین مربعات برخی از خصوصیات گیاه ذرت

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن صد دانه	تعداد دانه در ردیف	تعداد ردیف در بلال
تکرار	۲	۶۰۲	۲۸/۱۹۰	۰/۹۱۷
تیمار	۶	۲۵/۵۵**	۱۸/۳۸۱**	۰/۸۰۴ ^{ns}
خطا	۱۲	۶/۶۲	۳/۶۹۰	۰/۵۳۱
ضریب تغییرات (درصد)		۷/۶۸	۶/۲۱	۵/۳۱
ns، *، ** به ترتیب به مفهوم غیر معنی دار، معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد می باشد				

Abstract:

Phosphorus the most important nutrient after nitrogen is required for plants. Chemical fertilizers are major sources of phosphorus for plant, but due to the complexity of phosphorus in different soils. Less than 20% of phosphorus fertilizers applied to soils is absorbed by the plants root, and the other is stabilized in soils. Application of organic materials such as biochar to the soils is one of effective methods to decrease the precipitation of phosphorus fertilizers in the soils. According to investigation on effect of biochar enriched with phosphorus on some chemical properties of soils and yield of corn an experiment was conducted in 2014 at the University of Shahrood. Experimental design was based on randomized complete block design with three replications. Treatments we including, control and 2 levels of biochar (2 and 4 ton per hectare) and 2 levels of biochar enriched with phosphorus (2 and 4 ton per hectare) and phosphorus fertilizer and biochar with phosphorus. In order to measuring some chemical properties of the soils, three soil samples were collected during the growing season. The results showed that application of biochar enriched with phosphorus increased significantly ($p < 5\%$) seed and root phosphorus and seed yield. Application of both biochar and phosphorus fertilizer enhanced available and soluble phosphorus, stem height, dry weights of stem, leaf and root.

Keyword: Organic fertilizers, Soil phosphorus Forms, Quantitative characteristics of maize



دانشگاه شاهرود

University of Shahrood

Faculty of agriculture

Department of soil and water

**Effect of biochar enriched with phosphorus on Some chemical properties of
soils and yield of corn**

Hossein Keykhosravi

Supervisors:

Dr. A. Abbaspour

Advisors:

Dr. H.R.Asghari

September 2015