

## فراهمی فسفر در یک خاک غنی شده با پودر استخوان

نسرین قربان زاده،<sup>۱\*</sup> غلامحسین حق نیا، امیر لکزیان و امیر فتوت

دانشجوی سابق کارشناسی ارشد دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، علوم خاک؛ [nasrin\\_gh908@yahoo.com](mailto:nasrin_gh908@yahoo.com)  
استاد دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، علوم خاک؛ [ghaghnia@yahoo.com](mailto:ghaghnia@yahoo.com)  
دانشیار دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، علوم خاک؛ [alakzian@yahoo.com](mailto:alakzian@yahoo.com)  
استادیار دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، علوم خاک؛ [afotovat@yahoo.com](mailto:afotovat@yahoo.com)

### چکیده

پودر استخوان دارای مقدار زیادی فسفر است که می تواند تا اندازه ای نیاز غذایی گیاهان به فسفر را تأمین کند. از این رو به منظور بررسی توان پودر استخوان در آزادسازی فسفر و تأثیر آن بر رشد گیاه ذرت، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۶ تیمار شامل دو سطح از پودر استخوان (۴۰۰ و ۸۰۰ کیلوگرم در هکتار) و دو سطح از پودر استخوان اسیدی شده (۴۰۰ و ۸۰۰ کیلوگرم در هکتار)، سوپر فسفات تریپل (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) و شاهد با ۳ تکرار در شرایط آزمایشگاه و گلخانه انجام شد. نتایج نشان داد که آزادسازی فسفر فراهم در تیمارهای پودر استخوان با تأخیر زمانی یک ماه نسبت به تیمار سوپر فسفات صورت گرفت و اسیدی کردن پودر استخوان منجر به تسریع و افزایش آزادسازی فسفر گردید. نتایج حاصل از کاشت گیاه ذرت حاکی از آن بود که اسیدی کردن پودر استخوان منجر به افزایش غلظت فسفر در اندام هوایی گیاه نشد ولی وزن خشک اندام هوایی و مقدار جذب فسفر به وسیله گیاه در تیمارهای پودر استخوان اسیدی شده نسبت به تیمارهای پودر استخوان اسیدی نشده افزایش معنی داری را نشان داد. افزون بر آن تفاوت وزن خشک اندام هوایی در تیمارهای پودر استخوان اسیدی و کود سوپر فسفات از نظر آماری معنی دار نبود.

واژه های کلیدی: پودر استخوان، آزادسازی، فراهمی فسفر، ذرت

### مقدمه

بیشتر خاکهای کشور ایران، فراهمی فسفر قابل استفاده گیاه به دلیل تبدیل فسفر محلول به ترکیبات کم محلول مانند فسفاتهای کلسیم یکی از مشکلات تغذیه ای گیاهان بشمار می رود (کرد لاغری و همکاران، ۱۳۸۳). از این رو به سبب وارد شدن فسفر در واکنش های مختلف با ترکیب های خاک و پایین بودن توان خاکها در فراهمی فسفر، مقدار زیادی از این عنصر لازم است تا فراهمی آن در خاک به حد مناسب رشد گیاه برسد (Govere, ۲۰۰۴). لذا به منظور افزایش کارایی استفاده از فسفر، کاربرد منابع آلی به همراه کودهای شیمیایی و یا به صورت جداگانه در

حاصلخیزی خاک و فراهمی مواد غذایی به منظور تأمین نیاز گیاهان از دیرباز مورد توجه کارشناسان علوم خاک بوده است. فسفر بعد از نیتروژن مهمترین عنصر مورد نیاز گیاه می باشد و فراهمی آن اغلب به عنوان یک فاکتور محدود کننده برای تولید فراورده های کشاورزی در سراسر جهان مطرح است (Afif et al., 1993). فسفر به دلیل واکنشهای خاص خود نظیر جذب سطحی و تشکیل رسوب در خاک برای گیاه غیر قابل استفاده می شود و عوامل مختلفی بر فراهمی آن در خاک تأثیر می گذارند. در خاکهای آهکی و آهکی - گچی مانند

۱- نویسنده مسئول، آدرس: خراسان رضوی مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، گروه خاکشناسی

\* دریافت: ۸۶/۱۱/۷ و پذیرش: ۸۷/۱۰/۴

آزادسازی فسفر موجود و توان آن در تأمین فسفر مورد نیاز گیاه ذرت بود.

### مواد و روش

مقدار ۷۲ کیلوگرم خاک تیپیک هاپل کمبید<sup>۲</sup> با بافت لومی از مزرعه دانشکده کشاورزی مشهد از عمق ۰-۳۰ سانتی متری تهیه و پس از هوا خشک شدن و عبور از الک ۲ میلیمتری خصوصیات آن اندازه گیری (جدول ۱) و به گلخانه دانشکده منتقل گردید. پودر استخوان مورد نیاز نیز از کشتارگاه صنعتی دام مشهد تهیه و پس از عبور از الک ۲ میلی متری و یکنواختی کامل برخی خصوصیات آن اندازه گیری (جدول ۲) و سپس برای اعمال تیمارها به گلخانه منتقل گردید. به منظور مطالعه فراهمی فسفر در خاک ۶ تیمار شاهد (C)، کود سوپر فسفات تریپل به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و در ابعاد ذرات ۰/۵ میلی متر (P)، پودر استخوان با دو سطح ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار (bL) و ۸۰۰ کیلوگرم در هکتار (bH) و پودر استخوان تیمار شده با اسید سولفوریک به نسبت ۱:۱ با دو سطح ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار (bSL) و ۸۰۰ کیلوگرم در هکتار (bSH) با سه تکرار به نمونه های خاک اضافه شد. نمونه های خاک تیمار شده به گلدانهای ۴ کیلویی منتقل و رطوبت گلدانها در حد ۶۵٪ ظرفیت زراعی نگهداری شد. پس از گذشت ۱ ماه در گلدانها گیاه ذرت کشت شد و در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد در روز و ۱۶ درجه سانتی گراد در شب نگهداری شدند. در پایان آزمایش وزن خشک اندام هوایی و عنصر فسفر در نمونه های گیاهی اندازه گیری شد. همان تیمارهای آزمایشی گفته شده، بدون کشت گیاه روی نمونه های خاک اعمال شد و نمونه برداری از هر کدام از گلدانها در زمانهای ۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ روز انجام گرفت. نمونه برداری به وسیله حلقه برنده در عمق یکسان از همه گلدانها به صورت یکنواخت انجام شد و پس از هوا خشک شدن به مدت ۲۴ ساعت و عبور از الک ۲ میلی متری اندازه گیری مقدار فسفر فراهم در نمونه های خاک به روش عصاره گیری با بی کربنات سدیم و استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر به روش اولسن (Olsen) و همکاران (۱۹۵۴) انجام شد. نتایج به دست آمده با استفاده از نرم افزار MSTATC مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت و مقایسه میانگین داده های آزمایشی با یکدیگر با آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح ۵ درصد انجام شد. برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده گردید.

مدیریت حاصلخیزی خاک مناسب تر از کودهای شیمیایی است. امروزه با رشد دانش بشر و پژوهشهای انجام شده، امکان استفاده از ضایعات صنعتی نیز به عنوان منابع آلی سرشار از مواد غذایی مورد نیاز گیاه، مورد توجه قرار گرفته است (Eghball و همکاران ۲۰۰۵). یکی از مهم ترین این موارد ضایعات کشتارگاهی است و استخوان جزء مهمترین ضایعات تولید شده در کشتارگاهها می باشد. حدود ۱۱ درصد از توده بدن خوک، ۱۵ درصد گاو و ۱۶ درصد گوسفند را استخوان تشکیل می دهد (Liu, ۲۰۰۲)، که می تواند به پودر استخوان تبدیل شده و در موارد گوناگون مورد استفاده قرار گیرد (Nielsen, ۱۹۹۹-۲۰۰۰). پودر استخوان حاوی ۱۲٪ فسفر بوده و به دلیل ساختار شیمیایی آن در شرایط موجود خاک، فسفر به فرم فراهم تبدیل می شود. استخوان هایی که از لاشه دام گرفته می شوند از سه بخش چربی، ترکیبهای نیتروژن و مواد معدنی تشکیل شده اند که چربی ارزش کودی ندارد و به وسیله جوشاندن و یا بخار و حرارت دادن حذف می شود. هنگامی که مواد حاوی نیتروژن و چربی در طی فرآیند رندرینگ<sup>۱</sup> با اعمال فشار و دمای زیاد از استخوان گرفته می شود، استخوان به ماده ای نرم و متخلخل تبدیل شده و زمانی که آسیاب و پودر می شود به توده ای از ذرات ریز اسفنجی شکل تبدیل می گردد که این امر منجر به حل شدن فسفر آن در خاک می شود. از سوی دیگر پ هاش پایین خاک و اندازه کوچک ذرات آن و حضور قارچهای میکوریزا بر انحلال پذیری پودر استخوان مؤثر است (Hue و همکاران ۱۹۹۴). در حدود ۲۰۰۰ سال پیش کشاورزان از استخوان ها به عنوان منبع تأمین کننده فسفر خاک استفاده می کردند و در سال ۱۸۴۲ با استفاده از اسیدسولفوریک امکان افزایش حلالیت فسفر فراهم میسر گردید (Beaton, ۱۹۸۵).

کشتارگاه صنعتی دام مشهد با ظرفیت کشتار روزانه سه هزار رأس دام سبک و دویست و پنجاه رأس دام سنگین، توان تولید روزانه یک تن پودر استخوان را دارا می باشد. بخشی از پودر استخوان تولید شده به مصرف خوراک دام می رسد و بخش عمده ای از آن به هدر می رود. از این رو کاربرد این ماده در کشاورزی به منظور حاصلخیزی خاک افزون بر جلوگیری از هدرروی آن، به رفع دشواریهای زیست محیطی نیز منجر خواهد گردید. هدف از انجام این پژوهش مطالعه روند رهاسازی فسفر از پودر استخوان و بررسی راه های افزایش فراهمی و تسریع

## نتایج و بحث

خصوصیات خاک مورد مطالعه و پودر استخوان در آزمایشگاه اندازه گیری شد و نتایج به دست آمده به ترتیب در جدول ۱ و ۲ آمده است.

همانگونه که داده های جدول ۲ نشان می دهد عناصر فسفر و کلسیم بالاترین مقدار را در پودر استخوان دارا می باشند که به لحاظ شرایط موجود در خاکهای ایران فسفر موجود در آن می تواند برای تأمین نیازهای فسفوری گیاهان مختلف استفاده شود. نتایج حاصل از انکوباسیون خاک شامل دو بخش عمده، یکی اثر زمان بر مقدار فسفر تیمارهای آزمایشی در مدت ۱۲۰ روز انکوباسیون و دیگری تأثیر تیمارهای آزمایشی بر فراهمی فسفر می باشد.

## نتایج حاصل از انکوباسیون خاک

مقدار فسفر فراهم هر کدام از تیمارها نیز در زمانهای مختلف آزمایش از نظر آماری اختلاف معنی داری را نشان داد. در شکل ۱ روند آزادسازی فسفر فراهم تیمارهای مختلف در طی ۱۲۰ روز انکوباسیون نشان داده شده است.

همانطور که در شکل ۱ مشاهده می شود زمان نیز بر فراهمی فسفر تیمارهای آزمایشی در مدت ۱۲۰ روز انکوباسیون مؤثر است. فسفر فراهم در تیمار شاهد از همان شروع آزمایش روند کاهشی را نشان داد و از مقدار فسفر فراهم اولیه خاک در طول دوره انکوباسیون ۷۰٪ کاسته شد. Chien و همکاران (۱۹۸۰) مقدار یون کلسیم در خاکهای آهکی را از عوامل مهم تأثیر گذار در تثبیت فسفر اعلام کردند. بالا بودن پ هاش خاک نیز ممکن است علت دیگری برای تثبیت و در نتیجه کاهش مقدار فسفر فراهم باشد. زیرا اگر پ هاش خاک به ۶ برسد واکنش فسفر با ترکیبهای کلسیمی آغاز شده و کنترل فسفات محلول خاک از حیطة عمل فسفات آلومینیوم خارج و در اختیار فسفاتهای کلسیم قرار می گیرد (Bower, ۱۹۸۳). در پ هاش ۶/۵ تشکیل نمکهای کم محلول کلسیمی عاملی برای غیر قابل استفاده شدن فسفر بوده و در پ هاش بالاتر از ۷ حتی ترکیبات نامحلول تری به وجود خواهد آمد (Panahi, ۱۹۹۷). از سوی دیگر اختلاف در درجه حلالیت و پایداری فسفاتهای کلسیم موجب می شود همواره فسفاتهای با حلالیت بیشتر مانند دی کلسیم فسفات در طول زمان به اشکال کم محلولتر و یا پایدارتر تبدیل شوند (Mattingly and Halford, ۱۹۷۵). Halford و Patrick (۱۹۷۹) نیز بیان نمودند که در خاکهای آهکی و خشتی رسوب فسفر و تشکیل فسفاتهای کلسیم سبب کاهش فسفر محلول می گردد. Halford و Mattingly (۱۹۷۵) گزارش نمودند در سیستمهایی که فسفوری به آنها افزوده

نشده و یا غلظت فسفر محلول اولیه ناچیز می باشد، واکنشهای فیزیکوشیمیایی سبب جذب فسفر به وسیله سطوح فعال خاک می گردد و کاهش غلظت فسفر محلول را می توان ناشی از رخدادهای جذب سطحی دانست. در تیمار کود سوپر فسفات، فسفر فراهم خاک پس از گذشت ۶۰ روز به بیشترین مقدار رسید و پس از آن کاهش معنی داری را در سطح ۵ درصد نشان داد. وقتی دانه کود سوپر فسفات در خاک قرار می گیرد، فسفر آن به سرعت از دانه خارج و به داخل خاک منتشر می شود. این انتشار پس از مدتی متوقف می شود زیرا ذرات خاک فسفر محلول خاک را جذب می کنند (Bower, ۱۹۸۳). در این آزمایش نیز در تیمار کود سوپر فسفات بیشترین مقدار افزایش فسفر فراهم خاک از شروع آزمایش تا زمان ۳۰ روز مشاهده شد ولی از آن جا که در این آزمایش کود سوپر فسفات با ابعاد ذرات کوچک در حدود ۰/۵ میلی متر به خاک اضافه گردید، افزایش فسفر فراهم تا زمان ۶۰ روز نیز ادامه یافت که این افزایش در مقایسه با ۳۰ روز اول آزمایش بسیار اندک بود. لذا بیشترین مقدار آزادسازی فسفر در همان ابتدای آزمایش صورت گرفته است و از زمان ۶۰ روز تا پایان ۱۲۰ روز انکوباسیون مقدار فسفر فراهم خاک ۵۰٪ کاهش یافت. Halford و Mattingly (۱۹۷۵) عامل عمده کاهش فسفر محلول در غلظت های بالای فسفر (مانند خاکهایی که کود شیمیایی فسفر دریافت کرده اند) را تشکیل فسفاتهای کلسیم دانستند و اعلام نمودند که چنین سیستم هایی به حالت تعادل نسبی با اکتا کلسیم فسفات رسیده اند. نتایج تحقیقات نشان می دهد که مصرف کودهای فسفاتی در خاکهای آهکی به تشکیل ترکیبهای کم محلول فسفاتهای کلسیم در محل ذرات کود منجر می شود (Liu, ۲۰۰۲). این نتیجه با نتایج Amerhein (۱۹۹۰) و Havlin و همکاران (۱۹۸۴) مبنی بر تشکیل اکتا کلسیم فسفات در خاکهای آهکی که کود فسفر دریافت کرده بودند نیز مطابقت دارد. صمدی و همکاران (۱۹۹۹) نیز در مطالعه ای که بر روی تغییر در اشکال معدنی فسفر و رابطه آن با خواص خاکهای آهکی انجام دادند اعلام نمودند که کاهش فسفر فراهم (درصد بازیافت فسفر به صورت اولسن) و مقادیر نسبی اشکال کم محلول فسفر معدنی به زمان تماس فسفر با ذرات تشکیل دهنده خاک و فراوانی نسبی این ترکیبات بستگی دارد. بررسی های صحرایی به وسیله Sadler (۱۹۷۳) نیز نشان داد که بعد از کاربرد کودهای فسفاتی، اکتا کلسیم فسفات تشکیل و برای سه فصل رویشی متوالی در خاک پایدار ماند. ثبات و پایداری اکتا کلسیم فسفات بستگی به خصوصیات شیمیایی خاک دارد و می تواند چندین سال به طول انجامد ولی به تدریج به

تیمارهای افزوده شده بر مقدار فراهمی فسفر و مدت زمان فراهم بودن آنها تأثیرگذار خواهد بود ( Gilkes and Samadi, ۱۹۹۹).

### نتایج حاصل از کشت گلخانه ای

بیشترین غلظت فسفر در اندام هوایی گیاه حدود ۰/۳٪ بود که در تیمار کود سوپر فسفات تریپل مشاهده شد و غلظت فسفر اندام هوایی در این تیمار به ۲ برابر تیمار شاهد رسید. غلظت فسفر گیاه در تیمارهای دارای پودر استخوان اسیدی و بدون اسید در سطح ۵٪ معنی داری نشد. لیکن غلظت فسفر در این تیمارها اختلاف افزایشی معنی داری را با تیمار شاهد نشان داد و غلظت فسفر در اندام هوایی در این تیمارها به ۱/۶ برابر تیمار شاهد رسید. از طرفی افزایش در مقدار پودر استخوان اضافه شده نیز موجب افزایش غلظت فسفر در اندام هوایی گیاه نشد. به نظر می رسد که گیاه نیاز بیشتری به جذب فسفر نداشته و مقدار فسفر مورد نیاز گیاه به وسیله تیمارها ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار پودر استخوان نیز تأمین می شود (شکل ۴).

عوامل مختلف خاکی و گیاهی در قابلیت جذب فسفر توسط گیاه مؤثر هستند. عوامل خاکی مانند پ هاش خاک، تثبیت به وسیله کانیهای رسی، آهن، آلومینیوم و یون کلسیم موجود در خاک، فسفر آلی خاک، تأثیر افزایش فسفات، اثر مواد آلی خاک و کودهای نیتروژن و عوامل گیاهی مانند محیط ریشه گیاه، قدرت ریشه در جذب کلسیم، مشخصات ریشه و نیاز گیاه بر جذب فسفر مؤثرند. از این رو همه این عوامل در سیستم پیچیده خاک - گیاه بر مقدار جذب فسفر توسط گیاه تأثیر گذار است. Barker (۱۹۹۹) اعلام کرد، پودر استخوان می تواند در تماس مستقیم با پیازها قرار گیرد، بدون این که به بافتهای گیاهی صدمه ای وارد کند. انحلال آهسته طبیعی از ترکیبات فسفر در پودر استخوان از هر گونه آسیب شوری نیز جلوگیری می کند.

وزن خشک اندام هوایی گیاه در تیمارهای (bSL) و (bSH) به حدود ۱۱ گرم رسید که اختلاف معنی داری را با تیمار کود سوپر فسفات تریپل نشان ندادند. وزن خشک اندام هوایی در این تیمارها نسبت به تیمارهای حاوی پودر استخوان اسیدی نشده بیشتر بود و اختلاف افزایشی معنی داری را با این تیمارها نشان دادند (شکل ۵). از این رو می توان نتیجه گرفت که اگر چه اسیدی کردن پودر استخوان تأثیری بر غلظت فسفر در اندام هوایی گیاه ذرت نداشت ولی منجر به افزایش وزن خشک اندام هوایی گیاه ذرت شد. به نظر می رسد کاربرد پودر استخوان به شکل اسیدی شده، امکان استفاده گیاه از

ترکیب پایدارتری مانند هیدروکسی آپاتیت تبدیل می گردد. بیشترین مقدار فسفر فراهم در تیمارهای حاوی پودر استخوان پس از گذشت ۹۰ روز مشاهده شد و پس از آن مقدار فراهمی فسفر کاهش معنی داری را در سطح ۵ درصد نشان داد و این در صورتی بود که بیشترین مقدار فسفر فراهم در تیمارهای حاوی کود سوپر فسفات تریپل پس از گذشت ۶۰ روز مشاهده شد زیرا قابلیت انحلال کودهای فسفره بسیار متغیر است (Phillips, ۱۹۷۱).

در مجموع ۱۲۰ روز انکوباسیون مقدار فسفر فراهم خاک در تیمار سوپر فسفات تریپل (P) و تیماری که به مقدار ۸۰۰ کیلوگرم در هکتار پودر استخوان اسیدی دریافت کرده بود (bSH) بیشترین بود و به ۴/۵ برابر تیمار شاهد رسید و اختلاف آماری معنی داری میان این دو تیمار مشاهده نشد لیکن این دو تیمار با سایر تیمارها اختلاف افزایشی معنی دار را نشان دادند (شکل ۲).

نتایج آزمایش همچنین نشان داد که اسیدی کردن پودر استخوان قبل از افزودن آن به خاک فراهمی فسفر را افزایش می دهد و فسفر سریعتر از این منبع آلی رها می شود. مقایسه بین دو تیمار (bSL) و (bL) و همچنین دو تیمار (bSH) و (bH) این موضوع را به گونه ای آشکار نشان می دهد (شکل ۳). Beaton (۱۹۸۵) نیز گزارش کرد که اسیدی کردن و حرارت دادن استخوان در فراهمی فسفر بسیار تأثیر گذار است.

از آن جا که رها سازی فسفر موجود در تیمارهای حاوی مواد آلی (پودر استخوان) به عواملی مانند فعالیت میکروارگانیزم های خاک و شرایط رطوبتی و دما و اسیدیته خاک وابسته است، رها سازی فسفر موجود در آنها کندتر از کود شیمیایی صورت گرفت و لیکن فسفر خاک در این تیمارها برای مدت زمان طولانی تری به شکل قابل دسترس گیاه باقی ماند. از سوی دیگر تثبیت فسفر در این تیمارها نسبت به کود شیمیایی فسفر نیز کمتر بود. زیرا مواد آلی می توانند مانع تشکیل فسفاتهای کلسیم و یا سبب اختلال در رشد بلورها شده (Oconner و همکاران ۱۹۸۰) و در تشکیل اکتا کلسیم فسفات نیز اختلال ایجاد کند (Moreno و همکاران ۱۹۶۰). از طرفی مواد آلی و اسیدهای آلی حاصل از تجزیه آنها، سطوح کربنات کلسیم را اشغال کرده و از تشکیل رسوب هیدروکسی آپاتیت جلوگیری می کند (Silvertooth and Inskeep, ۱۹۹۸). مواد آلی با کلات کردن اکسیدهای آهن و آلومینیوم روی جذب فسفر تأثیر می گذارند و تشکیل اکسیدهای آهن و آلومینیوم در حضور اسیدهای آلی خاص متوقف می شود (Borggard و همکاران ۱۹۹۰). بنابراین وضعیت محیط خاک، شرایط انکوباسیون و ترکیب شیمیایی و فیزیکی

همزمان با زمان ۶۰ تا ۹۰ روز از کاربرد پودر استخوان در خاک خواهد شد، که در آن زمان فسفر فراهم در تیمار پودر استخوان بیشترین مقدار را دارا است. لذا استفاده از پودر استخوان اسیدی شده در سطح تیمار (bSH) به عنوان منبع تأمین نیاز ذرت به فسفر بسیار سودمند بوده و همچنین می تواند به عنوان مکمل همراه با کود سوپر فسفات استفاده شود. تا زمانی که مقدار فسفر فراهم در کود شیمیایی سوپر فسفات پس از گذشت ۶۰ روز روند کاهشی را طی می کند، فسفر مورد نیاز گیاه را تأمین نماید.

### نتیجه گیری

نتایج آزمایش حاکی از آن است که، چنانچه پودر استخوان به مقدار دو برابر کود شیمیایی فسفر مصرف شود و با اسید نیز تیمار گردد (bSH)، می تواند فسفر فراهم را معادل با کود شیمیایی فسفر ولی در مدت زمان طولانی تر در خاک آزاد نماید و جایگزین کود سوپر فسفات تریپل شود. در این حالت مشکل حاصل از تثبیت سریع فسفر و غیر قابل استفاده شدن آن به خصوص در خاکهای آهکی، تا حدودی برطرف می شود و فسفر خاک برای مدت زمان طولانی تری به شکل قابل دسترس گیاه حفظ می گردد. هرچند اثرات باقیمانده پودر استخوان در زمانهای بعدی بایستی مورد مطالعه دقیق تر قرار گیرد.

### سپاسگزاری

بدینوسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد و همچنین کشتارگاه صنعتی دام مشهد که امکان این تحقیق را فراهم کردند تشکر می کنیم

سایر مواد غذایی که در پودر استخوان وجود دارد را نیز فراهم نموده و بر رشد گیاه تأثیر مثبت گذاشته است.

نتایج آزمایش همچنین نشان داد که مقدار جذب فسفر توسط گیاه که از حاصلضرب غلظت فسفر در عملکرد ماده خشک گیاه به دست می آید در تیمار کود سوپر فسفات تریپل بیشترین مقدار بود و اختلاف افزایشی معنی داری را با سایر تیمارها نشان داد. مقدار جذب فسفر توسط گیاه در تیمارهای پودر استخوان اسیدی شده نسبت به تیمارهای پودر استخوان اسیدی نشده اختلاف افزایشی معنی داری را در سطح ۵ درصد نشان داد (شکل ۶).

### آزادسازی فسفر از پودر استخوان و تطابق آن با نیاز کودی ذرت

مهمترین مرحله تغذیه ذرت با فسفر از زمان ظهور هفتمین برگ تا ظهور گل تاجی است، به نحوی که کمبود فسفر در این مرحله عملکرد را تا ۴۰ درصد کاهش می دهد (میر هادی، ۱۳۸۰). جذب فسفر در فاصله بین یک تا شش هفتگی رشد به حداکثر خود می رسد (شکل ۷). بنابراین ضروری است که نیاز فسفوری ذرت در این فاصله زمانی تأمین شود. (Tandon, ۱۹۹۳) و (میر هادی، ۱۳۸۰).

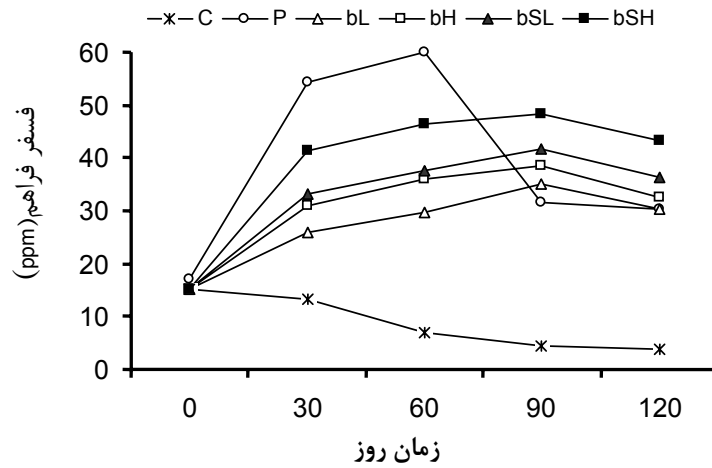
از این رو با توجه به نتایج انکوباسیون خاک در شکل ۷ به نظر می رسد، چنانچه پودر استخوان یک ماه پیش از کاشت گیاه ذرت در خاک قرار گیرد، می تواند در فاصله یک تا شش هفتگی رشد ذرت که گیاه بیشترین نیاز را به فسفر دارد، بخشی از نیازهای گیاه را به این عنصر غذایی برآورده کند. زیرا این فاصله زمانی در رشد ذرت

جدول ۱- ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

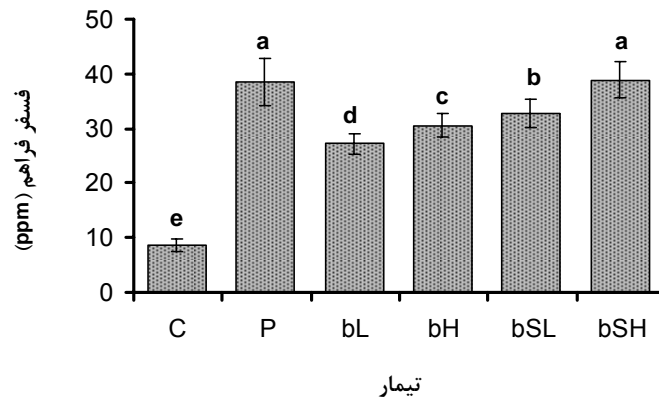
رس	شن	سیلت	آهک	OC	P	N <sub>T</sub>	N(NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> +NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	CEC	EC(1:5)	pH(1:5)
			%				(mg/Kg)	(cmol(c)/Kg)	(dS/m)	
۲۲/۱	۴۹	۳۲	۱۴/۶	۱/۱۵	۱۵	۰/۰۶	۲۲	۱۵/۱	۰/۸۹	۷/۵

جدول ۲- ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی پودر استخوان کشتارگاه صنعتی دام مشهد

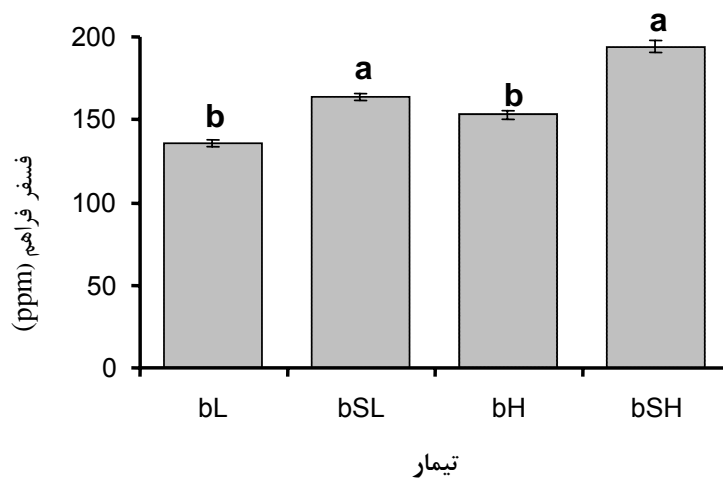
N <sub>T</sub>	OC	P	K	Ca	mg	Na	Fe	رطوبت	N(NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> +NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	C/N	EC(1:2)	pH(1:2)
									(mg/Kg)		(dS/m)	
۲	۲۱/۴	۱۲	۰/۰۱	۱۷	۱/۲	۰/۱	۰/۰۷	۹/۹	۴۹	۱۱	۳۹	۵/۹



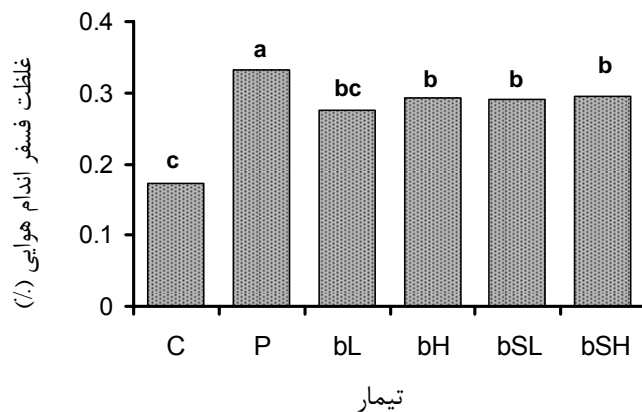
شکل ۱- مقایسه تغییرات فسفر فراهم در تیمارهای آزمایشی در طی زمان ۱۲۰ روز انکوباسیون



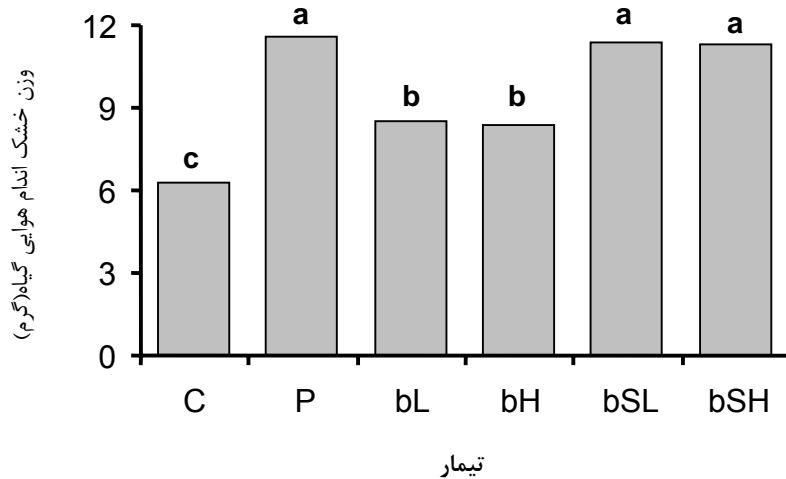
شکل ۲- مقایسه میانگین های فسفر فراهم تیمارهای آزمایشی در مجموع ۱۲۰ روز انکوباسیون



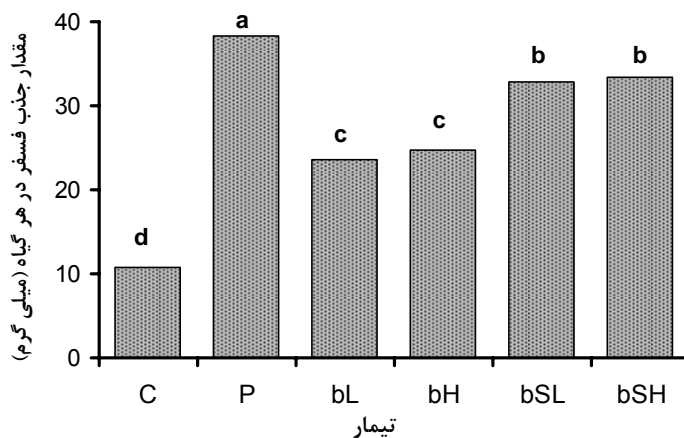
شکل ۳- مقایسه مجموع (۵ مرحله نمونه برداری) فسفر فراهم در تیمارهای پودر استخوان



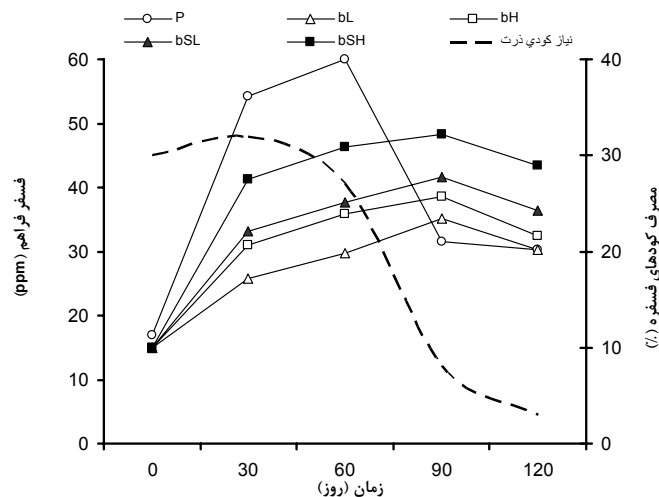
شکل ۴- مقایسه میانگین فسفر در اندام هوایی گیاه ذرت در تیمارهای مختلف آزمایش



شکل ۵- مقایسه میانگین وزن خشک اندام هوایی گیاه ذرت در تیمارهای مختلف آزمایش



شکل ۶- مقایسه میانگین مقدار جذب فسفر به وسیله گیاه ذرت در تیمارهای مختلف آزمایش



شکل ۷- مقایسه نیاز فسفوری ذرت و تطابق آن با فراهمی فسفر در تیمارهای مختلف

### فهرست منابع:

۱. پناهی کرد لاغری، خ.، راثول، د. ۱۳۸۳. بررسی تغییرات فسفر در خاکهای آهکی و آهکی- گچی. دومین کنفرانس ملی دانشجویی منابع آب و خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز.
۲. میر هادی، م.ج. ۱۳۸۰. ذرت. انتشارات سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.
3. Afif, E., A. Matar and J. Torrent. 1993. Availability of phosphate applied to calcareous soils of West Asia and North Africa. *Soil Science Society of American Journal* 57:756-760.
4. Amerhein, C. and D.L. Suarez. 1990. Procedure for determining sodium-calcium selectivity in calcareous and gypsiferous soils. *Soil Science Society of American Journal* 54:999-1007.
5. Barker, A.V. 1999. *Organic Farming and Gardening*. University of Massachusetts, Amherst. Chapter 7.
6. Beaton, J. 1985. Efficient fertilizer use – Fertilizer use ... A historical perspective.
7. Borggard, O.K., S.S. Jorgensen, J.P. Meberg and B. Raben-Lange. 1990. Influence of organic matter on phosphate adsorption by aluminum and iron oxides in sandy soils. *Journal Soil Science* 41:443-449.
8. Bower, N.J. 1983. A mechanistic model for describing the sorption and desorption phosphate by soil. *Journal of Soil Science* 34:733-750.
9. Chien, S.H., L.A. Leon and H.R. Tejada. 1980. Dissolution of North Carolina phosphate rock in acid Colombian soils as related to soil properties. *Soil Science Society of American Journal* 44:1267-1271.
10. Eghball, B., B. Wienhold, B.L. Woodbury. and R.A. Eigenberg. 2005. Plant availability of phosphorus in swine slurry and cattle feedlot manure. *Agronomy journal*. 97:542-548.
11. Govere, E.M., S.H. Chien and R.H. Fox. 2004. Evaluation of dissolution of nonconventional phosphate fertilizers in Zimbabwe soils: effect of soil properties. *African Journal of Science and Technology* 5:73-82.
12. Halford, I.C.R and G.E.G. Mattingly. 1975. Phosphate sorption by jurassic oolitic i. limestones. *Geoderma* 13:257-264.
13. Halford, I.C.R. and G.E.G. Mattingly. 1975. The high and low energy phosphate adsorbingsurface in calcareous soils. *Journal Soil Science* 26:407-417.



14. Halford, I.C.R and J.R. Patrick. 1979. Effect of reduction and pH changes on phosphate sorption and mobility in an acid soil. *Soil Science Society of American Journal* 43:292-297.
15. Havlin, J.L. and D.C. Westfall. 1984. Soil test phosphorus and solubility relationships in calcareous soils. *Soil Science Society of American Journal* 48:328-330.
16. Hue, N.V., H. Ikawa and X. Huang. 1994. Predicting phosphorus requirements of some Hawaii soils. *Fact Sheet No:2. CTAHR*.
17. Inskeep, W.P. and J.C. Silvertooth. 1998. Inhibition of hydroxy apatite precipitation in the presence of fulvic, humic and tannic acids. *Soil Science Society of American Journal* 52:941-946.
18. Liu, D.C. 2002. Better utilization of by-products from the meat industry. Department of Animal Science National Chung-Hsing University Taichung, Taiwan.
19. Lombi, E., K.G. Scheckel, R.D. Armstrong, S. Forrester, J.N. Cutler and D. Paterson. 2006. Speciation and distribution of phosphorus in a fertilized Soil. *Soil Science Society of American Journal*. 70:2038-2048.
20. Moreno, E.C, W.L Lindsay and G. Osborn. 1960. Reactions of dicalcium phosphate dihydrate in soils. *Soil Science* 90:58-68.
21. Nielsen, P.H. 1999-2000. Bone-, blood- and meat meal production. Version No:1.
22. Oconner, G .A., K.L. Knudsten and G.A. Connell. 1986. Phosphorus solubility in sludge-amended calcareous soils. *Journal Environmental Quality* 15:308-312.
23. Olsen, S.R., V. Cloe, F.S. Watnebe and L.A. Pean. 1954. Estimation of available phosphorous in soil by extraction with sodium bicarbonate. USDA, 939 USA.
24. Panahi, M. 1997. The effect of gypsum on the sorption reaction of phosphate in some calcareous soils. Ph.D-Thesis. Reading University , UK.
25. Phillips, A.B. and J.R. Webb. 1971. Production , marketing, and use of phosphorus fertilizers, Olson, R.A., Army, T.J., Hanway, J.J., and Kilmer, V.J., *Fertilizer Technology and Use* (2nd edition): 271-301. Madison, WI: Soil Science Society of America.
26. Sadler, J. 1973. Influence of applied phosphorus on the nature and availability of inorganic phosphorus in a catenary sequence of Saskatchewan soils. Ph.D. thesis, University of Saskatchewan.
27. Samadi, A. and R.J. Gilkes. 1999. Phosphorus transformations and their relationships with calcareous soil properties of Southern Western Australia. *Soil Science Society of American Journal* 63:809-815.
28. Tandon, H. 1993. *Fertiliser Management in Food Crops*. New Delhi. PP: 82-85.