بررسی اثرات مقادیر مختلف دی کلسیم فسفات بر جذب، کارایی مصرف فسفر و رشد ارقام و ژنوتیپ های گندم دیم

غلامرضا ولیزاده[1*]، حامد رضایی و محمد احمد پور

عضو هیأت علمی موسسه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه؛ g_valizadeh @yahoo.com

عضو هیأت علمی موسسه تحقیقات خاک و آب تهران؛ rezaei_h@yahoo.com

کارشناس آزمایشگاه خاکشناسی دانشگاه مراغه؛ map_che@yahoo.com

چکیده

فسفر در خاک های آهکی به فسفات های کلسیم نا محلول تبدیل می‌شود وبا مصرف کودهای فسفره در این خاک ها، مقدار این ترکیبات افزایش می یابد. به منظور تعیین میزان کمی اجزاء فسفات در خاک های منطقه دیم مراغه با مدیریت های مختلف زراعی از روش استخراج متوالی اشکال فسفات استفاده شد، سپس جهت بررسی اختلاف ارقام و ژنوتیپ های گندم دیم در جذب و بهره وری فسفر از منبع دی کلسیم فسفات، آزمایشی به صورت فاکتوریل با طرح پایه بلوک های کامل تصادفی در شرایط گلخانه ای به مرحله اجرا در آمد، ده رقم و ژنوتیپ گندم دیم به شرح زیر: ۱- سرداری، ۲ – Sbn/1-64-199، ۳ – آذر۲، ۴ - Pf82200/Sardari، ۵ – Agosta/Safied ۶- رصد یا Fenkang/15/Safied ۷ - Ghazagestan-4 ۸ - Anza/3/Pi//Nar/Hys/Sfied و ۹-87Zhong291 و ۱۰- 99 - 5291karaj98 با چهار سطح دی‌کلسیم فسفات ۸۰، ۱۶۰ و ۳۲۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک برای انجام آزمایش در نظر گرفته شد. نتایج این پژوهش نشان داد، میزان فسفات های کلسیم در مدیریت های زراعی مختلف متفاوت بودند به طوری که میزان فسفات های کلسیم در مدیریت های زراعی یونجه - گندم و نخود - گندم در مقایسه با مدیریت های زراعی دیگر بالاتر بودند. با افزایش میزان مصرف دی‌کلسیم فسفات در خاک، وزن ریشه، ساقه و برگ و جذب فسفر ارقام گندم افزایش یافت. ژنوتیپ ها و ارقام مختلف گندم در میزان وزن ساقه و برگ و ریشه، غلظت فسفر، جذب و بهره وری فسفر اختلاف معنی داری داشتند. ارقام سرداری و رصد یاFenkang در مقایسه با ارقام و ژنوتیپ های دیگر، وزن ریشه بیشتری داشتند و متناسب با آن غلظت فسفر در ساقه و برگ و ریشه آنها بیشتر بود. ارقام آذر ۲، Sbn، Agosta در مقایسه با ارقام و ژنوتیپ های دیگر از بهره وری بیشتر برای جذب فسفر برخور دار بودند، یعنی به ازای مقادیر فسفر جذب شده، توانستند وزن ساقه و برگ بیشتری تولید کنند. نتایج این آزمایش نشان داد. میزان اشکال فسفات در خاک های زراعی با مدیریت های مختلف زراعی، متفاوت است. با افزایش میزان مصرف دی کلسیم فسفات در خاک، میزان جذب فسفر و رشد ارقام گندم افزایش می یابد و توانایی ارقام و ژنوتیپ های گندم در استفاده از منبع دی کلسیم فسفات در رشد و جذب فسفر متفاوت است. ارقام و ژنوتیپ های با وزن زیاد ریشه، مقدار بیشتری فسفر را جذب کرده وبهره وری فسفر در آنها بیشتر بود.

واژه های کلیدی: فسفر، جذب، و کارآیی، رشد ارقام و ژنوتیپ های گندم

۱- نویسنده مسئول، آدرس: مراغه، موسسه تحقیقات کشاوزری دیم کشور صندوق پستی ۱۱۹ کد پستی ۵۵۱۷۶۴۳۵۱۱

* دریافت: آبان ۱۳۸۷ و پذیرش: خرداد ۱۳۸۹

مقدمه

کمبود فسفر درخاک باعث کاهش رشد و عملکرد گیاهان می‌شود و یکی از عوامل محدود کننده رشد گیاهان در اغلب خاک‌ها است، به همین منظور مصرف کودهای فسفری جهت افزایش میزان فسفر خاک و حاصلخیزی خاکها و ظرفیت تولید محصولات کشاورزی در زراعت های مختلف رایج شده است (بولاند، ۱۹۹۸). در سال های گذشته به منظور جبران کمبود فسفر خاک، اغلب از کود های شیمیایی فسفری استفاده شده است که مقدار ناچیزی از این فسفر توسط گیاهان جذب و بقیه آن در خاک تثبیت و یا تغییر شکل یافته است (کریمیان، ۱۳۷۷ و بارو، ۱۹۷۳). افزایش میزان مصرف کود های فسفری در خاک باعث افزایش میزان کمی شکل های متفاوت این عنصر از جمله اشکال نا محلول آن می باشد که تحت عنوان رسوب، تغییر شکال از آن یاد می شود (پارفیت و راسل، ۱۹۷۷؛ اسپوسیتو، ۱۹۸۴). میزان تثبیت و تغییر شکل فسفر با افزایش میزان درصد آهک و درصد رس خاک افزایش می یابد و ذرات کربنات از طریق جذب شیمیایی، فسفر را به ترکیب کمپلکس کربنات کلسیم فسفات تبدیل می کند (آوینملیچ،۱۹۸۰). وایت در سال۱۹۸۰ نیز گزارش کرد غلظت زیاد کربنات کلسیم، فسفر خاک را به دی کلسیم فسفات، اکتا کلسیم فسفات و آپاتیت تبدیل می کند، وجود دارد. فریمن و رووِل در سال ۱۹۸۱ با استفاده از میکروسکوپ الکترونی، الکترو میکرو پروپ و diffraction X-ray نشان دادند که ذرات کربنات کلسیم به مرور زمان فسفر را به دی و اکتا کلسیم فسفات آپاتیت تبدیل می‌کند. همچنین صمدی و جلکیز در سال ۱۹۹۸ گزارش کردند فسفر، علاوه بر فسفات های کلسیم، به فسفات های آهن و آلومینیم نیز تبدیل می شود.

ستلمچر و همکاران درسال۱۹۹۴ گزارش کردند که نیاز ژنوتیپ ها و ارقام مختلف گندم برای جذب فسفر در پتانسیل های تولیدی مشابه متفاوت می باشد. برخی از ارقام به دلیل نیاز داخلی کم فسفر[1] نسبت به ارقام دیگر در خاک هایی که مقدار فسفرآن پائین است بهتر رشد می کنند. برخی ارقام به دلیل داشتن اختلاف در مورفولوژی ریشه مانند شکل، توزیع (گسترش عمودی و افقی) بسته به مورفولوژی ریشه از اعماق مختلف فسفر جذب کنند. برخی ارقام بدلیل اختلاف در اندازه قطر و سطوح جذب ریشه زیاد در مقایسه ارقام با قطر کم می توانند در داخل خاکدانه ها نفوذ کرده و از عناصر غذایی موجود در آن بیشترین استفاده را ببرند. ارقام گندمی که دارای سیستم ریشه ای طویل با انشعابات گسترده هستند در مقایسه با ارقام دارای سیستم ریشه ای کوچک با انشعابات محدود می توانند از حجم بیشتری از خاک استفاده کرده، عناصر غذایی و رطوبت جذب را نمایند. بعلاوه، نتایج پژوهش‌های انجام گرفته نشان داده که اختلاف در میزان جذب فسفر خاک توسط ژنوتیپ ها و ارقام مختلف گندم می‌تواند به دلیل اختلاف در طول ریشه و نسبت ریشه به میزان اندام هوایی (ساقه و برگ) بوده باشد (گراهام،۱۹۸۴؛ فوز و همکاران، ۱۹۸۸؛ قورولی و همکاران، ۱۹۹۳ و ۱۹۹۴). برخی از ارقام ممکن است جذب و کارآیی فسفر (افزایش رشد و عملکرد به ازای واحد جذب فسفر) بالایی داشته باشند و در مقایسه با ارقام دیگر در شرایط کمبود فسفر از رشد و عملکرد بیشتری بر خوردار باشند (فوز و همکاران، ۱۹۸۸ و ۱۹۹۱؛ قورولی و همکاران، ۱۹۹۳ و ۱۹۹۴ و مارشنر، ۱۹۹۵).

یکی از راه های بهره برداری از منابع فسفات های کلسیم تشکیل شده در خاک، استفاده وکاشت ژنوتیپ ها و ارقام گندم با توان جذب وکارآیی بالای فسفر آنها است. برای همین منظور جهت بررسی اثرات مقادیر مختلف دی کلسیم فسفات در جذب و بهره وری فسفر توسط ارقام و ژنوتیپ های مختلف گندم دیم، این مطالعه انجام گرفته است.

مواد و روش ها

در این پژوهش قبل از اجرای آزمایش اصلی جهت تعیین شکل های فسفات های کلسیم نمونه هایی خاک از مدیریت های مختلف زراعی در شرایط دیم مراغه از عمق ۲۵-۰ سانتیمتری در سه تکرار برداشت شد و با استفاده از روش استخراج متوالی اجزای دی کلسیم، اکتا کلسیم و سایر اجزا فسفات در خاک های آهکی اندازه گیری شد (صمدی و جلکیز، ۱۹۹۸).

۱. برای تعیین شکل Ca_2-P، از محلول بی کربنات سدیم با غلظت ۰/۲۵ مولار در پ هاش ۷/۵ استفاده گردید. بدین ترتیب که نمونه خاک کوبیده شده که قبلاً از الک دو میلی متری عبور داده شده اند به وزن ۱ گرم توزین شده و پس از افزودن محلول بی‌کربنات سدیم تهیه شده بر روی این نمونه ها، به مدت یک ساعت در درجه حرارت ۲۰ الی ۲۵ سانتی گراد تکان داده شد و سپس محلول مورد نظر استخراج و جمع آوری گردید.

۲. برای تعیین Ca_8- P، ابتدا خاک قبلی که برای تعیینCa_2-P مورد آزمایش قرار گرفته است، دو بار با الکل ۹۵ درصد شستشو داده می شود. سپس بر روی نمونه خاک مورد آزمایش ۵۰ میلی لیتر استات آمونیوم ۰/۵ مولار با پ هاش ۴/۲ ریخته و به مدت چهار ساعت در حالت سکون

1- Low functional requirement

نگه داری شد. سپس سوسپانسیون مورد نظر را به مدت یک ساعت در درجه حرارت۲۰ الی ۲۵ سانتی تکان داده شد و در نهایت محلول مورد نظر استخراج و جمع آوری شد.

۳. از نمونه خاک مورد استفاده در بند ۲ برای استخراج فسفات های آلومینیوم (Al-P) استفاده شد. بدین ترتیب که خاک مورد آزمایش ابتدا با استفاده از محلول کلرور سدیم اشباع شده دو مرتبه شستشو داده شده و سپس بر روی آن ۵۰ میلی لیتر محلول فلوئور آمونیم ۰/۵ مولار با پ هاش ۸/۲ اضافه شده و به مدت یک ساعت در درجه حرارت ۲۰ الی ۲۵ سانتی گراد تکان داده شد و در نهایت محلول مورد نظر استخراج و جمع آوری گردید.

۴. مجدداً از نمونه خاک مورد استفاده در بند ۳ برای تعیین فسفات های آهن (Fe-P) استفاده شد. بدین ترتیب که با استفاده از محلول کلرور سدیم اشباع، خاک مورد آزمایش شستشو داده شده و از محلول های بیکربات سدیم (Na_2CO_3) و سود سوزآور (NaOH) با غلظت های ۰/۱ مولار و از هر کدام به میزان ۵۰ میلی لیتر بر روی نمونه خاک مورد آزمایش ریخته و به مدت ۱۶ ساعت در وضعیت سکون نگهداری شد. سپس به مدت دو ساعت تکان داده شد و محلول مورد نظر استخراج گردید.پس از اتمام استخراج محلول های اجزا فسفر در هر مرحله، محلول های لازم و محلول های استاندارد از دی هیدروژن فسفات یتاسیم تهیه گردید و در دستگاه اسپکتروفتو متر در طول موج ۷۰۰ میکرومتر، میزان اجزاء فسفات تعیین گردید (صمدی و جلکیز، ۱۹۹۸).

میزان فسفات های دی کلسیم، اکتا کلسیم فسفات و فسفات های آهن و آلومینیوم اندازه گیری شده در چهار سطح و مدیریت های زارعی مختلف در چهار سطح دیگر با سه تکرار در طرح پایه بلوک های کامل تصادفی به صورت فاکتوریل در نظر گرفته شد. تجزیه واریانس دو طرفه (ANOVA) با استفاده از نرم افزار $Genstat_5$ انجام گرفت و مقایسه میانگین با آزمون LSD برای بیان تفاوتهای آماری استفاده شد.

برای بررسی اثرات میزان دی کلسیم فسفات در جذب فسفر توسط ارقام و ژنوتیپ های گندم، خاک آهکی با بافت شنی (به منظور اجتناب از اثرات منابع دیگر فسفر موجود در خاک از قبیل فسفر جذب سطحی شده کانی های رس و ترکیبات کمپلکس فسفات- آهک در میزان جذب فسفر توسط ارقام گندم) پس از الک و جداکردن کانی های رس و آهک، ذرات بزرگتراز ۰/۵ میلی متر (خاک شنی) جمع آوری گردید و بعد از شستشو با آب شهری، پ هاش اندازه گیری (۷/۴) و فسفر قابل دسترس با روش اولسن ۴/۵ میلی گرم در کیلوگرم خاک تعیین شد (علی احیایی و بهبهانی زاده، ۱۳۷۷). برای جبران کمبود عناصر غذایی B، Mn ,Zn ,Cu ,Mg ,Ca ,S ,K ,Mo ,Fe و N (نیترات آمونیم) به ترتیب به میزان های ۰/۱۲، ۵، ۲، ۰/۵۳، ۴۰،۲، ۳۳، ۹۱، ۰/۰۷، ۵ و ۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم به خاک شنی مورد استفاده در آزمایش افزوده و مخلوط شد (اوزبرون ورنقل، ۲۰۰۲). از خاک شنی تهیه شده به میزان ۳ کیلوگرم برای هرگلدان و به تعداد ۱۲۰ گلدان آماده گردید و آزمایش در طرح پایه بلوک های کامل تصادفی به صورت فاکتوریل با ده رقم و ژنوتیپ گندم دیم (جدول ۱) و با چهار سطح دی کلسیم فسفات ($CaHPO_4,2H_2O$)،۰، ۸۰، ۱۶۰ و ۳۲۰ میلیگرم در کیلوگرم خاک در سه تکرار اجرا شد، قبل از کاشت بذور ارقام وژنوتیپ های گندم با قارچ کش وایتاواکس ضد عفونی و ورنالیزه (خیساندن بذور و قرار دادن آن در دمای ۵- درجه سانتیگراد به مدت ۸-۶ هفته) گردیدند، برای کاشت ۶ بذر هر رقم وژنوتیپ گندم در عمق ۲ سانتیمتری خاک گلدان ها کاشته و آبیاری گردیدند.بعد از استقرار گیاهان تعداد آنها به چهار عددکاهش یافت. برای آزمایش، ۶ هفته فرصت رشد داده شد. آبیاری گلدانها بر اساس کمبود رطوبت از حد رطوبت ظرفیت مزرعه ای صورت گرفت. پس از اتمام ۶ هفته، قسمت برگ و ساقه هر تیمار از یقه بریده و همچنین ریشه های تمامی تیمارها بوسیله شستن خاک گلدانها جدا شده و در پاکت های کاغذی قرار داده شدند و در دمای تا۷۰ درجه سانتیگراد به مدت ۴۸ ساعت خشک و توزین شدند. برای تعیین فسفر جذب شده، مقدار ۰/۱ گرم از ماده خشک ریشه و ساقه و برگ به طور جداگانه از هر تیمار بوسیله اسیدهای نیتریک به میزان ۳ میلی لیتر با غلظت ۶۵ درصد و پرکلریک ۱ میلی لیتر با غلظت ۷۰ درصد در درجه حرارت تا۱۲۰ درجه سانتیگراد هضم گردیدند. سپس میزان فسفر جذب شده در تیمارهای مورد مطالعه با استفاده از روش مولیبدات وانادات تعیین شد (رایمونت و هگینسون، ۱۹۹۲). به منظور تعیین اثرات مقادیر مختلف فسفات کلسیم و اختلاف واریته ها و ژنوتیپ های گندم از نظر میزان جذب و کارآیی فسفر، وزن ریشه و اندام هوایی، از نرم افزار $Genstat_5$ استفاده گردید. روش های تجزیه واریانس دو طرفه (ANOVA) و مقایسه میانگین با آزمون LSD برای بیان تفاوتهای آماری استفاده شد.

نتایج و بحث

اشکال مختلف ترکیبات فسفات در مدیریت های مختلف خاک های زراعی دیم

نتایج تجزیه واریانس نشان داد میزان

فسفات های موجود در خاک در مدیریت های مختلف زراعی در سطح ($P \leq$ ۰/ ۰۰۱) به طور معنی داری اختلاف داشتند (جدول ۲). سیستم های مدیریت زراعی آیش- گندم، یونجه- گندم و نخود - گندم در مقایسه با سیستم مدیریت زراعی خاک های دست نخورده، میزان دی کلسیم فسفات بیشتری داشتند. و این در حالی بود میزان اکتا کلسیم آنها دو برابر دی کلسیم بود. مجموع دی و اکتا کلسیم موجود در خاک در مدیریت های زراعی یونجه- گندم و آیش- گندم نسبت به مدیریت های دیگر بیشترین میزان را داشت (جدول ۳). به نظر می رسد اگرچه منابع فسفات در خاک دست نخورده تا حدودی وجود داشته، تفاوت در مقدار اشکال فسفات در مدیریت های زراعی، ناشی از مصرف کودهای فسفره به منظور افزایش حاصلخیزی خاک ها بوده است. آوینملیچ و وایت در سال ۱۹۸۰ گزارش کردند که فسفر در خاک های آهکی به اشکال دی کلسیم فسفات و اکتا کلسیم فسفات تبدیل می شود. که در سیستم زراعی آیش - گندم مقدار دی کلسیم فسفات در مقایسه با نخود و یونجه - گندم کمتر تشکیل شده است که دلیل آن احتمالاً عدم مصرف کود فسفره در سال آیش بوده است. میزان اکتا کلسیم در مدیریت زراعی نخود- گندم در مقایسه با مدیریت های دیگر پایین تر بود (جدول ۳). ممکن است بدلیل عدم مصرف کود در سال کشت نخود، یا توانایی بالای ریشه نخود در جذب فسفر از منبع اکتا کلسیم فسفات بوده است که منجربه کاهش تشکیل و یا انحلال این منبع فسفات کلسیم شده است. اما میزان فسفات های آلومینیوم و آهن در مقایسه با فسفات های کلسیم به طور معنی داری کمتر تشکیل شده است. میزان فسفات آلومینیوم در مدیریت دست نخورده نسبت به سایر مدیریت ها زیاد تر بود. فسفات آهن در خاک های مدیریت های مختلف در مقایسه با فسفات آلومینیوم بسیارکمتر تشکیل شده است (جدول ۳). نتایج این تحقیق با نتایج صمدی و جلکیز در سال ۱۹۹۸ مشابه بوده که گزارش کردند در خاک های آهکی اشکال فسفات آلومییوم و آهن نیز تشکیل می گردد. به طور کلی از این نتایج چنین استنباط می شودکه مقادیر منابع فسفات های کلسیم، آلومییوم و آهن تشکیل شده در مدیریت های مختلف زراعی خاک ها متفاوت می باشد و اشکال فسفات های کلسیم در مقایسه با منابع فسفات های آلومییوم و آهن بیشتر تشکیل شده است.

تجزیه واریانس اثرات مقادیر مختلف دی کلسیم فسفات و ژنوتیپ ها و ارقام مختلف گندم در وزن اندام هوایی و ریشه جذب و بهره وری فسفر، غلظت فسفر در اندام هوایی و ریشه

اثر اصلی میزان های مختلف دی‌کلسیم فسفات در وزن اندام هوایی و ریشه ارقام و ژنوتیپ های گندم در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی داری داشت. اما اثر اصلی افزایش دی کلسیم فسفات در بهره وری فسفر، غلظت فسفر در ساقه و برگ و ریشه ارقام معنی دار نبود (جدول ۴). اثر اصلی ارقام و ژنوتیپ های گندم در وزن ریشه و اندام های هوایی، غلظت و بهره وری فسفر با مصرف دی کلسیم فسفات در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۴). اثرات متقابل مقادیر مختلف دی کلسیم فسفات با ارقام و ژنوتیپ ها در افزایش اندام هوایی، ریشه، جذب فسفر، غلظت فسفر در ریشه و اندام هوایی و بهره وری فسفر معنی دار نبودند (جدول ۴). ولی میانگین ها با در نظر گرفتن میزان LSD متفاوت بودند (جدول ۷).

اثرات اصلی مقادیرمختلف دی‌کلسیم فسفات در جذب و بهره وری فسفر

با افزایش میزان دی کلسیم فسفات، وزن اندام هوایی و ریشه و جذب فسفر ارقام و ژنوتیپ های مختلف گندم افزایش یافت (جدول ۵). نتایج مشابهی از اوزبرون و رنقل درسال ۲۰۰۲ گزارش شده است که استفاده از فسفات آهن به میزان ۱۷۴ میلی گرم در کیلوگرم خاک اسیدی توانست رشد ژنوتیپ های گندم را به طور متفاوتی افزایش دهد. اثرات افزایش دی کلسیم فسفات در خاک های آهکی با اثرات فسفات آهن در خاک های اسیدی مشابه بوده و به نظر می رسد عوامل گیاهی نظیر رشد ریشه، تماس و ترشحات ریشه، جذب فسفر را از این منابع در خاک های مختلف افزایش داده باشد (آیی و همکاران،۱۹۹۰؛ مارشنر، ۱۹۹۵). با توجه به این نتایج از این آزمایش می‌توان استنتاج کرد که فسفات کلسیم نیز می‌تواند در رشد ریشه و ساقه و برگ و جذب فسفر ارقام گندم مؤثر باشد. اما بهره‌وری فسفر (به ازای افزایش واحد فسفر در افزایش رشد) غلظت فسفر در ریشه و اندام هوایی در مقادیر مختلف دی کلسیم فسفات معنی دار نبود (جدول ۵). به نظر می رسد علت عدم معنی دار بودن غلظت فسفر در ریشه و اندام هوایی، مربوط به اختلاف رشد بیشتر ریشه و اندام هوایی که باعث کاهش غلظت فسفر در اندام های گیاهی می گردد و یا به عبارت دیگر اثر رقت بوده باشد (مارشنر، ۱۹۹۵). به علاوه علت پایین بودن بهره وری دی کلسیم فسفات، ممکن است حلالیت کم آن در خاک بوده باشد (پارفیت و راسل، ۱۹۷۷).

اثرات اصلی ژنوتیپ ها و ارقام گندم در وزن اندام های هوایی و ریشه و غلظت و بهره‌وری فسفر

ارقام و ژنوتیپ های گندم از لحاظ وزن ریشه و

اندام های هوایی، غلظت و بهره وری فسفر با مصرف دی کلسیم فسفات در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی دار داشتند (جدول ۴). ارقام سرداری، آذر ۲ بالاترین وزن اندام هوایی و Sbn کمترین وزن اندام هوایی و همچنین Fenkang با رصد بالاترین وزن ریشه و Anza کمترین وزن ریشه را در بین ارقام و ژنوتیپ‌های مختلف داشتند (جدول ۶). میزان بهره وری فسفر ارقام و ژنوتیپ های گندم آذر ۲، Ghazagestan، Anza، Sbn، Agosta در مقایسه با ارقام دیگر بالاتر بود. میزان جذب و غلظت فسفر در اندام های هوایی و ریشه گندم سرداری، آذر ۲ و رصد در مقایسه با ارقام و ژنوتیپ های دیگر گندم بالاتر بود (جدول ۶).

ژنوتیپ ها و ارقام مختلف گندم در میزان وزن اندام هوایی و ریشه، غلظت فسفر در اندام هوایی و ریشه و جذب و بهره‌وری فسفر اختلاف داشتند. ارقام سرداری و رصد در مقایسه با ارقام و ژنوتیپ های دیگر وزن ریشه بیشتری تولید نمودند (جدول ۶) و متناسب باآن، غلظت فسفر بیشتری در اندام هوایی و ریشه داشتند. تحقیقات مشابهی که در این زمینه انجام گرفته نشان دادندکه جذب فسفر خاک توسط ژنوتیپ ها و ارقام مختلف گندم می‌تواند به دلیل اختلاف در وزن، طول ریشه و نسبت طول ریشه به میزان اندام های هوایی گیاه بوده باشد (فاجریا و بالیقر، ۱۹۹۹؛ گراهام، ۱۹۸۴ ؛ قورولی و همکاران در سالهای ۱۹۹۳ و ۱۹۹۴؛ فوز و همکاران، ۱۹۸۸). برخی از ارقام مانند آذر ۲، Sbn و Agosta در مقایسه با ارقام و ژنوتیپ های دیگر بهره وری فسفر بیشتری داشتند یعنی به ازای میزان جذب فسفر توانستند وزن اندام هوایی خود را افزایش دهند (جدول ۶). ارقام به دلیل نیاز فیزیولوژی کم فسفر نسبت به ارقام دیگر برتری رشد خود را در خاک هایی که مقدار فسفرآن پائین است، حفظ کردند (فوز و همکاران در سالهای ۱۹۸۸ و ۱۹۹۱). عامل دیگری که می تواند در بهره وری فسفر مؤثر باشد، انتقال بیشتر فسفر از ریشه به اندام هوایی است، ژنوتیپ و ارقام گندم آذر ۲، سرداری Gazagestan و Pf نسبت به ژنوتیپ های رصد، Zhong و Agosta به ازاء میزان جذب فسفر وزن ریشه و اندام هوایی بیشتری داشتند (جدول ۶) که این ها نشان دهنده بهره وری بالاتر آن ها است. بنابراین نتایج این پژوهش نشان می دهد که ارقام و ژنوتیپ های مختلف می توانند از طریق مکانسیم های مختلف بهره وری و جذب فسفر بیشتر با توان بالاتر از این منبع فسفری استفاده نمایند ((فاجریا و بالیقر، ۱۹۹۹؛ گراهام، ۱۹۸۴؛ قورولی و همکاران در سالهای ۱۹۹۳ و ۱۹۹۴؛ فوز و همکاران، ۱۹۸۸).

اثرات متقابل دی کلسیم فسفات و ژنوتیپ ها و ارقام گندم در وزن اندام های هوایی و ریشه و جذب، غلظت و بهره وری فسفر

اگرچه اثرات متقابل مقادیر مختلف دی کلسیم فسفات با ارقام و ژنوتیپ های مختلف در افزایش اندام هوایی، ریشه، جذب فسفر، غلظت فسفر در ریشه و اندام هوایی و بهره وری فسفر معنی دار نبود (جدول ۴). ولی مقایسه میانگین ها و مقدار LSD وجود تفاوت ها را نشان داد به طوری که با افزایش میزان دی کلسیم فسفات، ارقام و ژنوتیپ های مختلف گندم به طور متفاوت وزن اندام هایی، وزن ریشه و میزان جذب فسفر را افزایش دادند (جدول ۷).

ارقام آذر۲، سرداری و Agosta در مقایسه با سایر ژنوتیپ ها و ارقام دیگر بیشترین میزان وزن اندام هوایی، ریشه را با افزایش میزان دی کلسیم فسفات نشان دادند (جدول ۷). این در حالی است که رقم آذر ۲ در مقایسه با ژنوتیپ ها و ارقام دیگر با افزایش دی کلسیم فسفات بیشترین جذب فسفر را داشت (جدول ۷). غلظت فسفر در اندام هوایی ژنوتیپ ها و ارقام گندم با افزایش میزان دی کلسیم فسفات تغییرات قابل ملاحظه ای نداشتند ولی ژنوتیپ ها و ارقام در میزان غلظت متفاوت بودند به طوری که ارقام و ژنوتیپ های Zhong Gazagestan، و آذر ۲ در مقایسه با سایر ژنوتیپ ها و ارقام بیشترین غلظت فسفر در اندام هوایی داشتند (جدول ۷). غلظت فسفر ریشه ارقام گندم با غلظت فسفر اندام های هوایی ارقام گندم با افزایش میزان دی کلسیم تفاوت داشتند به طوری که غلظت فسفر ریشه ارقام گندم در مقایسه با غلظت فسفر اندام های هوایی اندام های هوایی بیشتر بود (جدول ۷). غلظت فسفر در ریشه و ارقام و ژنوتیپ ها متفاوت بود به طوری که غلظت فسفر ریشه Anza در مقایسه با سایر ژنوتیپ ها و ارقام بالاتر بود (جدول ۷). نتایج این تحقیق با نتایج فوز و همکاران در سال ۱۹۸۸؛ قورولی و همکاران در سال های ۱۹۹۳ و ۱۹۹۴ مشابه بود.که گزارش کردند جذب فسفر بیشترین همبستگی را با رشد، سطح، مورفولوژی و ترشحات ریشه در ارقام مختلف گندم داشته است.

بهره وری فسفر با افزایش میزان دی کلسیم تفاوت قابل ملاحظه ای نداشت ولی ارقام سرداری و Agosta در مقایسه با ژنوتیپ ها و ارقام دیگر بیشترین بهره وری فسفر را داشتند (جدول ۷). در برخی ارقام مثل سرداری وAgosta با وجود داشتن اختلافات در وزن ریشه، میزان جذب و غلظت فسفر، به دلیل نیاز فیزیولوژیکی کم فسفر نسبت به ارقام دیگر، برتری رشد خود را نشان دادند.

و به علت بهره وری بالای فسفر (افزایش رشد و عملکرد به ازای واحد جذب فسفر) وزن اندام هوایی و ریشه افزایش یافت. در برخی ارقام دیگر مثل Anza غلظت فسفر در ریشه زیاد بوده و این در حالی است که غلظت فسفر در اندام هوایی کم بوده است. بنابراین، دلیل بهره وری کم، عدم انتقال فسفر خود را از ریشه به اندام هوایی بوده است (فوز و همکاران در سالهای ۱۹۸۸ و۱۹۹۱) و این ژنوتیپ از نظر بهره وری فسفر، ژنوتیپ مناسب شناخته نشد.

نتیجه گیر ی نهایی

میزان شکل های فسفات در خاک در مدیریت های مختلف فرق می کند و فسفات های کلسیم در مقایسه با فسفات های آهن و آلومینیوم بیشتر تشکیل می گردد. گندم قادر است از منابع دی کلسیم فسفات استفاده نماید و با افزایش میزان دی کلسیم فسفات در خاک، وزن اندام هوایی و ریشه و جذب فسفر ژنوتیپ ها و ارقام گندم افزایش می دهد و ارقام و ژنوتیپ های گندم از این نظر متفاوتند. ارقام با وزن ریشه بالاتر می توانند فسفر بیشتری را جذب نمایند. در شرایط دیم از ارقامی استفاده شود که دارای توان بیشتری در جذب و بهره وری فسفر دارند. ارقام آذر۲، سرداری و Agosta را می توان به عنوان ارقام برتر از لحاظ جذب و بهره وری فسفر در شرایط خاک های دیم که دی کلسیم فسفات دارند مورد استفاده قرار داد.

تشکر و قدردانی

از ریاست محترم بخش‌های مختلف و همکاران بخش مدیریت منابع مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم که در تهیه امکانات لازم برای اجرای این پژوهش همکاری های لازم را داشتند، کمال تشکر را داریم.

جدول ۱- نام مخفف ارقام و ژنوتیپ های گندم دیم مورد مطالعه

نام مخفف ارقام و ژنوتیپ های گندم	PF	Sbn	Anz	Fenk	Kara	Agos	Zhong	Sard	Ghaz	Azar
	Pf82200/Sardari	Sbn/1-64-199	Anza/3/Pi//Nar/Hys/Sfied	Fenkank/15/Safied	5291Karaj98-99	Agosta/Safied	87Zhong291	Sardari	Ghazagestan	Azar 2

جدول ۲- تجزیه واریانس میزان های مختلف اشکال فسفات در مدیریت های زراعی مختلف خاک ها

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
تکرار	۲	۲۶۵ns
اشکال فسفات	۳	۳۴۶۵۳**
سیستم مدیریت های زراعی	۳	۱۵۵ns
اثر متقابل اشکال فسفر و مدیریت های زراعی	۹	۷۵۱**
اشتباه آزمایشی	۳۰	۱۴۷
CV%		۱۸/۴

** تفاوت معنی دار در سطح ۱٪ * تفاوت معنی دار در سطح ۵٪ و ns فاقد تفاوت معنی دار

جدول ۳- میزان های مختلف اشکال فسفات موجود در سیستم مدیریت های مختلف زراعی خاک ها

تیمار	دی کلسیم فسفات (mg/Kg soil)	اکتا کلسیم فسفات (mg/Kg soil)	فسفات آلومینیوم (mg/Kg soil)	فسفات آهن (mg/Kg soil)
خاک دست نخورده	۵۲d	۱۲۳b	۷۰d	۱۷f
نخود – گندم	۶۷d	۱۰۳c	۵۰de	۱۷f
یونجه – گندم	۷۰d	۱۵۵a	۴۰e	۹f
آیش –گندم	۵۸ d	۱۶۴a	۴۷ e	۱۲f
LSD(P≤ 1%)		۲۰/۲		

جدول ۴- تجزیه واریانس اثرات مقادیر مختلف دی کلسیم فسفات و ژنوتیپ ها و ارقام مختلف گندم در وزن اندام هوایی و ریشه جذب و بهره وری فسفر، غلظت فسفر در اندام هوایی و ریشه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		وزن اندام هوایی	وزن ریشه	جذب فسفر	بهره وری فسفر	غلظت فسفر در اندام هوایی	غلظت فسفر در ریشه
میزان دی کلسیم فسفات	۳	۲۹/۲۰**	۴/۶۶**	۲۷۰/۸۷**	۰/۰۰۱ns	۰/۰۰۲ns	۰/۰۰۰۷ns
ارقام وژنوتیپ های گندم	۹	۲/۲۵**	۰/۴۱*	۴۸/۱۷**	۰/۰۱۶**	۰/۰۰۶**	۰/۰۰۸**
میزان کلسیم دی فسفات و ارقام وژنوتیپ های گندم	۲۷	۰/۳۹ns	۱/۰۴ns	۴/۳۱ns	۰/۰۰۲ns	۰/۰۰۰۸ns	۰/۰۰۰۹ns
اشتباه آزمایشی	۷۸	۰/۴۹	۰/۰۸	۱۰/۹۶	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲
CV%	-	۱۳/۵	۱۳/۳	۱۸/۹	۱۴/۳	۲۱/۴	۲۰/۴

** تفاوت معنی دار در سطح ۱٪ * تفاوت معنی دار در سطح ۵٪ و ns فاقد تفاوت معنی دار

جدول ۵- اثرات اصلی میزان های مختلف دی کلسیم فسفات (میلی گرم در کیلوگرم خاک) در وزن اندام هوایی (ساقه و برگ)، ریشه گندم (گرم بر گلدان)، جذب و بهره وری فسفر (گرم بر میلی گرم فسفر جذب شده) و غلظت فسفر در اندام هوایی و ریشه ٪

تیمار (دی کلسیم فسفات میلی گرم در کیلوگرم خاک)	وزن اندام هوایی (گرم در گلدان)	وزن ریشه (گرم در گلدان)	جذب فسفر (میلی گرم در گلدان)	بهره وری فسفر (گرم بر میلی گرم فسفر)	غلظت فسفر در اندام هوایی٪	غلظت فسفر در ریشه٪
۰	۴/۱d	۱/۸d	۱۴/۰۳d	۰/۴۲a	۰/۲۳a	۰/ a۲۴
۸۰	۴/۹c	۲/۱c	۱۶/۳۳c	۰/۴۴a	۰/۲۲a	a۰/۲۶
۱۶۰	۵/۶b	۲/۴b	۱۸/۷۹b	۰/۴۴a	۰/۲۳a	a۰/۲۶
۳۲۰	۶/۴a	۲/۷a	۲۰/۸۹a	۰/۴۴a	۰/۲۳a	a۰/۲۶
LSD(P≤ 1%)	۰/۳۶	۰/۱۵	۱/۷	ns	ns	ns

جدول ۶- اثرات اصلی ژنوتیپ و ارقام مختلف گندم در وزن اندام هوایی و ریشه (گرم بر گلدان)، جذب و غلظت در اندام هوایی و ریشه (درصد فسفر) و بهره وری فسفر (گرم وزن اندام هوایی و ریشه بر میلی گرم فسفر جذب شده)

ارقام و ژنوتیپ گندم	PF	Sbn	Anz	Fenk	Kara	Agos	Zhong	Sard	Ghaz	Azar	LSD (P≤1%)
وزن اندام هوایی (گرم در گلدان)	۵/۲ab	۴/۴b	۴/۹ab	۵/۱ab	۵/۲ab	۵/۶ab	۵/۳ab	۵/۹a	۵/۳ab	۵/۳ab	۰/۵۷
وزن ریشه (گرم در گلدان)	۲/۱ ab	۲/۱ab	۱/۹b	۲/۵a	۲/۲ab	۲/۳ab	۲/۲ab	۲۴/a	۲/۴a	۲/۴a	۰/۲۴
جذب فسفر (میلی گرم در میلی گلدان)	۱۸/۹ ab	۱۴/۳c	۱۶b	۱۸/۶ab	۱۷/۹ab	۱۶/۴b	۱۷/۲b	۲۱/۷a	۱۶/۴b	۱۷/۶b	۲/۷
غلظت فسفر در اندام هوایی٪	۰/۲ ۰b	۰/۲۲ab	۰/۲۴a	۰/۲۴a	۰/۲۴a	۰/۲۰b	۰/۲۳a	۰/۲۶a	۰/۱۹c	۰/۲۳a	۰/۰۷
غلظت فسفر در ریشه٪	۰/۳۰a	۰/۲۰c	۰/۲۶ab	۰/۲۶ab	۰/۲۷ab	۰/۲۶ab	۰/۲۴b	۰/۲۷ab	۰/۲۶ab	۰/۲۵b	۰/۰۸
بهره وری فسفر	۰/۳۹c	۰/۴۶a	۰/۴۵ab	۰/۴۱b	۰/۴۲b	۰/۵۰a	۰/۴۴b	۰/۳۹c	۰/۴۶a	۰/۴۴b	۰/۰۵

جدول ۷- اثر متقابل میزان دی کلسیم فسفات (میلی گرم در کیلوگرم خاک) و ارقام و ژنوتیپ های گندم در وزن اندام هوایی، وزن ریشه (گرم در گلدان)، غلظت فسفر اندام های هوایی و ریشه ارقام و بهره وری فسفر ارقام و ژنوتیپ های گندم

وزن اندام هوایی (ساقه و برگ) ژنوتیپ و ارقام گندم (گرم در گلدان)

تیمار	Anza	Sbn	Karaj	Pf	Fen	Agosta	Gazag	Azar2	Sardar	Zhong	
۰	۴cd	۳/۴d	۴cd	۴/۲cd	۳/۹cd	۴/۸bc	۳/۳d	۴/۴bc	۴/۵bc	۴cd	LSD(P≤1%)=۱/۱
۸۰	۴/۸bc	۴cd	۴/۸bc	۴/۹bc	۵/۳b	۵/۳b	۴/۹bc	۵/۴b	۴/۶bc	۴/۹bc	
۱۶۰	۵/۳b	۴/۵bc	۵/۱bc	۵/۵b	۵/۶b	۵/۸ab	۶/۴a	۶/۳a	۵/۷ab	۵/۵b	
۳۲۰	۶/۵a	۵/۵b	۵/۷ab	۵/۶b	۶/۱ab	۷a	۶/۷a	۷/۷a	۶/۴a	۶/۶a	

وزن ریشه ژنوتیپ و ارقام گندم (گرم در گلدان)

۰	۱/۶d	۱/۷cd	۱/۶d	۲c	۱/۸cd	۱/۶d	۱/۵d	۱/۹cd	۲/۱c	۱/۹cd	LSD(P≤1%)=۰/۴۹
۸۰	۲/۱c	۲c	۱/۷cd	۲/۴b	۲c	۲/۲bc	۱/۹cd	۲/۲bc	۲/۳b	۲/۲bc	
۱۶۰	۲/۲bc	۲/۲bc	۲/۱bc	۲/۶a	۲/۳b	۲/۴b	۲/۵ab	۲/۶a	۲/۴b	۲/۶a	
۳۲۰	۲/۶a	۲/۴b	۲/۲bc	۲/۹a	۲/a	۲/۹a	۲/۸a	۳/۰a	۲/۷a	۲/۸a	

ادامه جدول (۷)

غلظت فسفر اندام هوایی (ساقه وبرگ) ژنوتیپ ها و ارقام گندم (درصد)

تیمار	Anza	Sbn	Karaj	Pf	Fen	Agosta	Gazag	Azar2	Sarda	Zhong	
۰	۰/۲۲a	۰/۲۴a	۰/۲۵a	۰/۲۵a	۰/۲۴a	۰/۲۰	۰/۲۴a	۰/۲۷a	۰/۱۹ab	۰/۲۷a	LSD(P≤1%)=۰/۰۸
۸۰	۰/۲۵a	۰/۲۰a	۰/۲۱a	۰/۲۲a	۰/۲۵a	۰/۱۸b	۰/۲۳a	۰/۲۷a	۰/۱۹ab	۰/۲۱a	
۱۶۰	۰/۲۷a	۰/۲۱a	۰/۲۴a	۰/۲۴a	۰/۲۵a	۰/۱۸b	۰/۲۳a	۰/۲۵a	۰/۲۰a	۰/۲۱a	
۳۲۰	۰/۲۲a	۰/۲۲a	۰/۲۷a	۰/۲۳a	۰/۲۳a	۰/۱۹ab	۰/۲۱a	۰/۲۴a	۰/۱۹Ab	۲۲۰a	

غلظت فسفر ریشه ژنوتیپ ها و ارقام گندم (درصد)

۰	۰/۲۸ab	۰/۲۴ab	۰/۲۰c	۰/۲۶ab	۰/۲۹ab	۰/۲۴ab	۰/۲۲bc	۰/۲۷ab	۰/۲۳ab	۰/۲۶ab	LSD(P≤1%)=۰/۰۸
۸۰	۰/۳۱a	۰/۲۷ab	۰/۲۰c	۰/۲۶ab	۰/۲۶ab	۰/۲۷ab	۰/۲۴ab	۰/۲۷ab	۰/۲۶ab	/۲۵ab	
۱۶۰	۰/۳۱a	۰/۲۴ab	۰/۱۹c	۰/۲۶ab	۰/۲۵ab	۰/۲۵ab	۰/۲۶ab	۰/۲۷ab	۰/۲۸ab	۰/۲۵ab	
۳۲۰	۰/۳۳a	۰/۲۰c	۰/۲۴ab	۰/۲۷ab	۰/۲۶ab	۰/۲۷ab	۰/۲۴ab	۰/۲۶ab	۰/۲۷ab	۰/۲۳ab	

ادامه جدول (۷)

میزان فسفر جذب شده توسط ارقام و ژنوتیپ های گندم (میلی گرم درگلدان)

تیمار	Anza	Sbn	Karaj	Pf	Fen	Agosta	Gazag	Azar2	Sardari	Zhong	
۰	۱۳/۸d	۱۲/۳d	۱۳/۱d	۱۶/۰bc	۱۴/۲c	۱۳/۳d	۱۱/۴d	۱۷/۲bc	۱۳/۴d	۱۵/۶bc	LSD(P≤1%)=۵/۴
۸۰	۱۸/۵bc	۱۳/۶d	۱۴/۰c	۱۷/۴bc	۱۷/۷bc	۱۵/۰c	۱۵/۹bc	۲۰/۶ab	۱۴/ ۸c	۱۵/۰c	
۱۶۰	۲۱/۲a	۱۴/۷c	۱۶/۴bc	۲۰/۲b	۱۹/۲bc	۱۶/۰bc	۲۰/۸a	۲۲/۶a	۱۸/۲bc	۱۸/۵bc	
۳۲۰	۲۲/۵a	۱۶/۷bc	۲۰/۶ab	۲۰/۷ab	۲۰/۳b	۲۱/۲a	۲۰/۷a	۲۶/۴a	۱۹/۱bc	۲۰/۸a	

بهره وری فسفر توسط ژنوتیپ ها و ارقام گندم (گرم وزن اندام هوایی و ریشه بر میلی گرم فسفر جذب شده)

۰	۰/۴۳b	۰/۴۳b	۰/۴۴b	۰/۴۰b	۰/۴۱b	۰/۴۹ab	۰/۴۴b	۰/۳۷c	۰/۴۹ab	۰/۳۷c	LSD(P≤1%)=۰/۱
۸۰	۰/۳۷c	۰/۴۶ab	۰/۵۰a	۰/۴۳b	۰/۴۱b	۰/۵۰a	۰/۴۵b	۰/۳۷c	۰/۴۷b	۰/۴۶ab	
۱۶۰	۰/۳۶c	۰/۴۶ab	۰/۴۵b	۰/۴۱b	۰/۴۲b	۰/۵۳a	۰/۴۳b	۰/۳۹bc	۰/۴۵b	۰/۴۵b	
۳۲۰	۰/۴۱b	۰/۴۹ab	۰/۳۹bc	۰/۴۱ab	۰/۴۴ab	۰/۴۹ab	۰/۴۶ab	۰/۴۱b	۰/۴۸ab	۰/۴۶ab	

فهرست منابع:

۱. علی احیائی، م. و ع. ا. بهبهانی زاده.۱۳۷۲. شرح روشهای تجزیه خاک (جلد اول). مؤسسه تحقیقات خاک و آب، نشریه شماره ۸۹۳.

۲. کریمیان، ن. ع. ۱۳۷۷. پیامدهای زیاده روی در مصرف کودهای شیمیایی فسفری. مجله خاک و آب. جلد ۱۲، شماره ۴.

3. Ae, N., Arihara, J., Okada, K., Yoshihara, T. and Johansen, C. 1990. Phosphorus uptake by pigeon pea and its role in cropping system of the Indian Subcontinent. *Science* 248, 477-480
4. Avnimelech, Y. 1980. Calcium-carbonate-phosphate surface complex in calcareous systems. *Nature* 288, 255-257.
5. Barrow, N. J. 1973. Relationship between a soil ability to adsorb phosphate and the residual effectiveness of super phosphate. *Australian Journal of Soil Research*. 11. 57-63
6. Bolland. M. 1998. Phosphorus. In: soil guide. *A Handbook for understanding and Managing Agricultural Soils*, ed. Moore, G. Agriculture Western Australia Bulletin No 4343, pp.168-180.
7. Fagria,N.K. and Baligar, V.C. 1999. Phosphorus-use efficiency in wheat genotypes. *Journal of Plant Nutrition* 22, 331-340.
8. Föhse, D., Claassen, N. and Jungk, A. 1988. Phosphorus efficiency of plants. External and internal P requirement and P uptake efficiency of different plant species. *Plant Soil* 110, 101-109.
9. Föhse, D., Claassen, N. and Jungk, A. 1991. Phosphorus efficiency of plants. II. Significance of root radius and cation-anion balance for phosphorus influx in seven plant species. *Plant Soil* 132, 261-272.
10. Freeman, J.S. and Rowell, D.L. 1981. The adsorption and precipitation of phosphate onto calcite. *Soil Science Society of America Proceedings* 37, 847-850.
11. Genstat 5 Committee (1987) *Genstat 5 Reference Manual.* p. 749. Oxford University Press, England
12. Gourley, C.J.P., Allan, D.L. and Russell, M.P. 1993. Defining phosphorus efficiency in plants. *Plant Soil* 155/156, 29-37.
13. Gourley, C.J.P., Allan, D.L. and Russell, M.P. 1994. Plant nutrient efficiency: A comparison of definitions and suggested improvement. *Plant and Soil* 158, 29-37.
14. Graham,R.D. 1994. Breeding for nutritional characteristics in cereals: *Advances in Plant Nutrition* 1, 57-102.
15. Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. pp. 549-561. Academic Press, Sydney.
16. Osborne, L.D. Rengel. Z. 2002. Genotypic differences in wheat for uptake and utilization of P from Iron phosphate. *Australian Journal of Agricultural Research* 53**,** 837-844.
17. Parfitt, R.L. and Russell, J.D. 1977. Adsorption on hydrous oxides. IV. Mechanisms of adsorption of various ions on goethite. *Journal of Soil Science* 28, 297-307.
18. Rayment, G.R. and Higginson, F.R. 1992. Australian Laboratory Handbook of Soil Water Chemical Methods. Pp. 89-92. Inkata, Melbourne, Australia.
19. Samadi, A. and Gilkes, R.J. 1998. Forms of phosphorus in virgin and fertilized calcareous soils of Western Australia. *Australian Journal of Soil Research* 36, 585-601
20. Sattlemacher, B., Horst, W.J. and Becker, H.C. 1994. Factors that contribute to genetic variation for nutrient efficiency of crop plants. *Zeitschift fÜr Pflanzenenahrung und Bodenkunde* 157, 215-224
21. Sposito, G. 1984. *The Surface Chemistry of Soils*. Oxford University Press, New York
22. White, R.E. 1980. Retention and release of phosphate by soil and soil constituents. In: *Soils and Agriculture,* ed. Tinker, P.B. pp. 71-114. Blackwell Scientific Publication, Oxford.