



اثر کشت گندم بر شکل‌های مختلف فسفر معدنی در خاک‌های لسی استان گلستان

زهرا تقی‌زاده اصل^۱ و *اسماعیل دردی‌پور^۲

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

^۲ دانشیار گروه خاکشناسی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۲/۳/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱/۲۶

چکیده

قابلیت جذب فسفر به شکل‌های فسفر معدنی بستگی دارد و آگاهی از تغییرات شکل‌های فسفر برای درک رفتار فسفر در خاک‌ها ضروری است. هدف از این پژوهش بررسی اثر کشت گندم بر شکل‌های مختلف فسفر معدنی خاک بود. آزمایش گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار شامل ۲۰ نوع خاک و کشت گندم در دو سطح (با و بدون کشت) انجام شد. پس از گذشت دو ماه برداشت اندام‌های هوایی گیاه انجام شد. شکل‌های مختلف فسفر در خاک‌های مورد مطالعه به روش عصاره‌گیری متوالی جیانگ و گو اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که کشت گندم بر تمامی شکل‌های فسفر خاک به جز فسفر محبوس در اکسیدهای آهن، اثر معنی‌داری داشت. مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد که مقدار دی‌کلسیم فسفات ($\text{Ca}_2\text{-P}$) بعد از کشت گندم در تمام خاک‌های آهکی لسی مورد مطالعه کم‌تر از خاک کشت نشده بود و در ۳۰ درصد از خاک‌ها در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. به‌طور مشابه کشت گندم مقدار اکتا کلسیم فسفات ($\text{Ca}_8\text{-P}$) و فسفات‌های آلومینیوم (Al-P) را نیز کاهش داد ولی این کاهش تنها در سه نمونه خاک معنی‌دار بود. کاهش فسفات‌های آهن (Fe-P) و آپاتایت ($\text{Ca}_{10}\text{-P}$) پس از برداشت گندم فقط در یکی از خاک‌های مورد مطالعه معنی‌دار گردید.

واژه‌های کلیدی: فسفر معدنی، جزءبندی، خاک‌های لسی، گندم

* مسئول مکاتبه: e.dordipour@yahoo.com

مقدمه

آگاهی از تغییر شکل‌های فسفر آلی و معدنی برای بهبود مدیریت کود فسفوری در خاک‌های زراعی لازم است (بیشاپ و همکاران، ۱۹۹۴). هدلی و همکاران (۱۹۸۲) با ارایه یک روش عصاره‌گیری متوالی فسفر، اثر ۶۵ سال کشت گندم با تناوب گندم- گندم- آیش را بر شکل‌های معدنی و آلی فسفر مطالعه و مشاهده کردند که نسبت به خاک مجاور که به‌طور دائم به‌صورت مرتع بود، مقدار فسفر کل ۲۹ درصد کم‌تر بود. ۷۴ درصد (قسمت عمده) از کاهش فسفر کل از شکل‌های باقی‌مانده و آلی بود (۵۲ درصد از شکل باقی‌مانده و ۲۲ درصد از فسفر آلی). شارپلی و اسمیت (۱۹۸۳) مشاهده کردند که کشت گیاه و مصرف کود فسفر در افق‌های سطحی خاک‌های کشاورزی، مقدار فسفر معدنی را افزایش و فسفر آلی را کاهش داد. شارپلی و اسمیت (۱۹۸۳) گزارش کردند که ۱۵ سال کشت و کوددهی در خاک‌های آهکی و غیرآهکی اثر معنی‌داری بر مقادیر نسبی شکل‌های فسفر آلی و شکل‌های فسفر معدنی در خاک‌های آهکی نگذاشت. آنان مشاهده کردند که در خاک‌های غیرآهکی بر اثر عملیات کشت و کوددهی، فسفر غیرمحبوس (جمع فسفر قابل استخراج با عصاره‌گیرهای سدیم هیدروکسید و آمونیوم فلوراید) افزایش و فسفر محبوس (CBD-P) کاهش یافت. مک‌لافلین و همکاران (۱۹۸۷) با استفاده از کود فسفر نشان‌دار مشاهده کردند که گیاه گندم پس از ۲۲ روز رشد ۱۲/۰ درصد از کود فسفر را جذب نمود. سالیس و تورنت (۱۹۸۹) گزارش دادند که کشت گندم در خاک‌های آهکی اسپانیا سبب کاهش فسفر لبایل (قابل استخراج با رزین) و CBD-P و HCl-P گردید. صمدی و گیلکز (۱۹۹۸) گزارش دادند که چندین سال کشاورزی در خاک‌های آهکی جنوب استرالیا نسبت به خاک‌های بکر مشابه، به‌طور کلی فسفر کل، فسفر آلی، فسفر قابل جذب و شکل‌های مختلف فسفر معدنی را افزایش داد. در خاک‌های اسیدی یا خنثی با افزایش غلظت OH^- و کاهش غلظت Al^{+3} با تشکیل کمپلکس آلومینات و رسوب Fe^{+3} به‌صورت اکسید، حلالیت فسفات‌های آهن و آلومینیوم افزایش می‌یابد. نشان داده شده است که گیاه به کود فسفوری در خاک‌های خنثی و قلیایی پاسخ مثبت می‌دهد (کیو، ۱۹۹۶). ونگ و شومن (۱۹۹۴) شکل‌های مختلف فسفر را با روش چنگ و جکسون (۱۹۵۷) تعیین و مشاهده کردند که در خاک‌های گرانیته به‌ترتیب فسفات آهن، فسفات آلومینیوم و فسفات کلسیم و در خاک‌های بازالتی به‌ترتیب فسفات آهن، فسفات کلسیم و فسفات آلومینیوم غالب بودند. شن و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند که مقادیر قابل‌ملاحظه‌ای فسفر از شکل $\text{Ca}_2\text{-P}$ آزاد و توسط گیاه برنج جذب می‌شود. همچنین نجفی (۲۰۰۶) نیز گزارش نمود که مقدار $\text{Ca}_2\text{-P}$ در

رایزوسفر برنج نسبت به خاک کشت نشده به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. اولسن و همکاران (۱۹۸۳) و آدیوجو و همکاران (۱۹۸۶) نیز عنوان دادند که اکتا کلسیم فسفات قابلیت استفاده زیادی برای گیاهان دارد. اولسن و همکاران (۱۹۸۳) مشاهده کردند که با غلظت فسفر محلول برابر، گیاهان مختلف از خاک‌های با درصد رس بیشتر، فسفر بیشتری را جذب می‌کنند.

زویسا و همکاران (۱۹۹۸) شکل‌های مختلف فسفر را در خاک رایزوسفر و توده خاک تعیین و مشاهده کردند که فسفر معدنی قابل استخراج با عصاره‌گیرهای رزین و سدیم هیدروکساید در خاک رایزوسفر نسبت به توده خاک کم‌تر و غلظت فسفر آلی قابل استخراج با سدیم هیدروکساید بیشتر تر بود. جذب فسفر معدنی توسط گیاه و میکروب‌ها دلیل اصلی کاهش فسفر معدنی بود. به نظر آنان افزایش فسفر آلی در خاک رایزوسفر ناشی از تبدیل فسفر معدنی به فسفر آلی به‌دلیل فعالیت میکروبی زیاد در رایزوسفر بود. زویسا و همکاران (۱۹۹۹) گزارش دادند که در خاک رایزوسفر گیاهان چای، فسفر معدنی قابل استخراج با عصاره‌گیرهای رزین، سدیم هیدروکساید و سولفوریک اسید کاهش، در حالی که فسفر آلی قابل استخراج با هیدروکسید سدیم افزایش یافت. کاهش شکل‌های نام‌برده در خاک رایزوسفر نسبت به توده خاک به جذب فسفر توسط گیاهان و افزایش فسفر آلی به افزایش فعالیت میکروبی و تبدیل فسفر معدنی محلول به فسفر آلی نسبت داده شد (زویسا و همکاران، ۱۹۹۷). گو و همکاران (۲۰۰۰) اثر کشت متراکم بر شکل‌های مختلف فسفر را با روش عصاره‌گیری متوالی هدلی و همکاران (۱۹۸۲) مطالعه و مشاهده کردند که فسفر معدنی قابل استخراج با عصاره‌گیرهای سدیم بیکربنات و سدیم هیدروکساید بر اثر جذب فسفر توسط گیاه، در تمام خاک‌ها به مقدار زیادی کاهش یافتند.

ژنگ و همکاران (۲۰۰۲) گیاه جو را در یک خاک اسیدی برای هشت سال به‌صورت تک‌کشتی و یا در تناوب با گیاهان علوفه‌ای کشت و شکل‌های فسفر را با روش هدلی و همکاران (۱۹۸۲) تعیین و گزارش دادند که تناوب زراعی و کوددهی فسفر شکل‌های فسفر را به‌شدت تغییر می‌دهند. ۸۶-۹۷ درصد از تغییرات فسفر قابل استخراج با رزین توسط مقدار کود فسفر اضافه شده توضیح داده شد. آنان مشاهده کردند که کود فسفر اضافه شده به شکل قابل استخراج با NaOH (فسفات‌های آهن و آلومینیوم) تبدیل می‌شود. نتایج مطالعات چن و همکاران (۲۰۰۳) نشان داد که اثرات گونه‌های گیاهی مختلف بر دینامیک فسفر خاک به‌شدت تحت‌تأثیر خصوصیات خاک قرار دارد. آزمایش‌های

طولانی مدت انجام شده به وسیله بلیک و همکاران (۲۰۰۳) در ایستگاه پژوهشی روتامستد انگلستان نشان داد که کشت گیاه بدون مصرف کود فسفر سبب کاهش فسفر قابل استخراج با عصاره گیرهای رزین، بیکربنات سدیم و هیدروکسید سدیم گردید که نشان دهنده این است که این شکل‌ها قابل جذب گیاه هستند. صمدی (۲۰۰۳) گزارش داد که توزیع فسفر در بین شکل‌های مختلف فسفر معدنی در خاک‌های کشت شده متفاوت از خاک‌های بکر بود. ژنگ و همکاران (۲۰۰۴) گزارش دادند که کشت مداوم ذرت برای ۱۰ سال در هر دو تیمار با و بدون کود فسفر اثر معنی‌داری بر فسفر به نسبت پایدار (قابل استخراج با اسید کلریدریک) نداشت. رادرسما و گریسون (۲۰۰۴) شکل‌های فسفر را با روش تاپسن و مویر (۱۹۹۳) تعیین و مشاهده کردند که فسفر قابل استخراج با رزین و بیکربنات سدیم در خاک ریزوسفر بیشتر گونه‌های مورد مطالعه در سیستم جنگل-زراعی، کاهش یافت.

با توجه به تحرک و حلالیت کم عنصر فسفر و از طرف دیگر به عنوان یکی از عناصر پرمصرف اصلی گیاه و احتمال کمبود آن آگاهی از تغییرات شکل‌های فسفر برای درک رفتار فسفر در خاک و شناسایی شکل‌های مختلف آن در خاک‌های لسی استان گلستان که سهم عمده‌ای در تولید محصولات کشاورزی کشور دارد ضروری است. علاوه بر این چون گندم یکی از محصولات مهم و غالب منطقه بوده و غذای بسیاری از ساکنان کره زمین را تشکیل می‌دهد لازم است نقش شکل‌های مختلف فسفر در تغذیه گیاه گندم مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

۲۰ نمونه از خاک‌های لسی جنوب گرگان‌رود انتخاب و از عمق شخم (۳۰-۰ سانتی‌متر) نمونه برداری شد. خاک‌ها پس از هواخشک شدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند، سپس مقدار فسفر قابل جذب نمونه‌های بالا به روش اولسن و همکاران (۱۹۵۴) (بی‌کربنات سدیم ۰/۵ مولار در pH=۸/۵) تعیین شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن‌ها نیز مانند بافت به روش هیدرومتری (جی و بودر، ۱۹۸۶)، pH در گل اشباع (مکلین، ۱۹۸۲)، EC در عصاره اشباع با دستگاه‌های pH متر و EC متر، آهک به روش تیتراسیون برگشتی (ریچاردز، ۱۹۶۹)، ماده آلی به روش اصلاح شده والکلی و بلک (نلسون و سامرز، ۱۹۸۲) تعیین گردید (جدول ۱). همچنین شکل‌های مختلف فسفر در خاک‌های مورد آزمایش با استفاده از روش عصاره‌گیری متوالی فسفر براساس روش جیانگ و گو (۱۹۸۹) شامل

۶ مرحله عصاره گیری تعیین شد (جدول ۲). در این روش دی کلسیم فسفات با استفاده از بیکربنات سدیم ۰/۲۵ مولار در pH=۷/۵، اکتا کلسیم فسفات توسط محلول ۰/۵ مولار استات آمونیوم با pH=۴/۲، فسفر پیوند یافته با اکسیدهای آلومینیوم با محلول ۰/۵ نرمال آمونیوم فلوراید با pH=۸/۲، فسفر پیوند یافته با اکسیدهای آهن با استفاده از مخلوط محلول ۰/۱ مولار سود و ۰/۱ مولار کربنات سدیم، فسفر محبوس در داخل اکسیدهای آهن با استفاده از محلول ۰/۳ مولار سترات سدیم دهیدرات و پودر سدیم دیتونات و محلول ۰/۵ مولار سود (CBD-P) (کیو، ۱۹۹۶)، آپاتایت توسط محلول ۰/۲۵ مولار اسید سولفوریک تعیین شدند. میزان فسفر در عصاره های حاصله به روش رنگ سنجی (اسید آسکوربیک یا مولیدو فسفریک اسید) با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه گیری شدند (کیو، ۱۹۹۶).

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک های مورد مطالعه.

ویژگی های خاک	دامنه	میانگین	انحراف معیار
فسفر قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم)	۴/۴۵-۴۸/۳۴	۲۲/۶۱	۹/۹۸
درصد رس	۱۱/۳۰-۵۱/۶۰	۳۳/۹۹	۱۰/۱۸
درصد سیلت	۲۰/۷۸-۶۴/۶۰	۴۴/۱۵	۱۲/۲۵
درصد شن	۸/۱۶-۶۴/۳۰	۲۱/۸۶	۱۵/۰۰
pH	۷/۰۰-۸/۰۳	۷/۶۱	۰/۲۶
EC (دسی زیمنس بر متر)	۰/۳۵-۲/۰۲	۰/۸۱	۰/۴۲
درصد ماده آلی	۰/۳۵-۳/۸۸	۱/۵۳	۰/۸۴
درصد کربنات کلسیم معادل	۳/۳۳-۱۴/۶۸	۱۱/۶۸	۲/۵۶

علاوه بر این یک آزمایش گلخانه ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار شامل ۲۰ نوع خاک و کشت گندم در دو سطح (با و بدون کشت) بدون افزودن هیچ کود فسفوری انجام شد. نیتروژن به میزان ۱۰۰ میلی گرم ازت بر کیلوگرم خاک از منبع اوره در دو نوبت به گلدان ها اضافه شد. وزن خاک در نظر گرفته شده برای هر گلدان یک کیلوگرم بود و تعداد ۴ عدد بذر گندم رقم زاگرس (*Triticum aestivum cv. Zagros*) در گلدان ها کشت شد. کود مورد نیاز برای هر

گلدان با توجه به وزن خاک محاسبه گردید. دمای گلخانه حداقل ۱۸ و حداکثر ۳۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۰ درصد بود. روشنایی نیز روشنایی طبیعی فصل پاییز بود در طول دوره کشت برای جلوگیری از خروج کود از محلول خاک، آبیاری گلدان‌ها از طریق افشاندن آب مقطر بر سطح گلدان‌ها به صورت یک روز در میان انجام شد. پس از گذشت دو ماه از شروع کاشت، برداشت اندام‌های هوایی گیاه به صورت کفبر انجام شد و از خاک سطح ریشه‌ها برای تعیین شکل‌های فسفر خاک در تیمارهای کشت گیاه نمونه تهیه گردید. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از رویه‌های تجزیه واریانس (ANOVA SAS) و مقایسات میانگین (SAS-Means) انجام شد (SAS، ۱۹۹۹) و رسم نمودارها نیز با برنامه Microsoft Excel انجام گردید.

جدول ۲- عصاره‌گیری متوالی فسفر معدنی به روش جیانگ و گو (۱۹۸۹).

مرحله عصاره‌گیری	ترکیب عصاره‌گیر	نسبت حجم عصاره‌گیر (میلی‌لیتر) به جرم خاک (گرم)	مدت تکان دادن (ساعت)	شکل استخراج شده
۱	$\text{pH} = 7, 0/20\text{M NaHCO}_3$	۵۰:۱	۱	دی‌کلسیم فسفات (Ca _۲ -P)
۲	$\text{pH} = 4/2, 0/5\text{M NH}_4\text{Ac}$	۵۰:۱	۱	اکتا کلسیم فسفات (Ca _۸ -P)
۳	$\text{pH} = 8/2, 0/5\text{M NH}_4\text{F}$	۵۰:۱	۱	فسفات آلومینیوم (Al-P)
۴	$0/1\text{N NaOH} + 0/1\text{N Na}_2\text{CO}_3$	۵۰:۱	۲+۲	فسفات آهن (Fe-P)
۵	$0/3\text{M Na}_2\text{C}_2\text{O}_4 + 1\text{M NaHCO}_3 + \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	-	-	فسفر محبوس در اکسیدهای آهن (CBD-P)
۶	$0/20\text{M H}_2\text{SO}_4$	۵۰:۱	۱	آپاتایت (Ca _{۱۰} -P)

نتایج و بحث

دی‌کلسیم فسفات (Ca_۲-P): اعتقاد بر این است که بی‌کربنات سدیم شکل دی‌کلسیم فسفات را که با علامت اختصاری Ca_۲-P نشان داده می‌شود، در خاک‌های آهکی استخراج می‌کند (جیانگ و گو، ۱۹۸۹). به نظر می‌رسد این عصاره‌گیر بتواند مونوکلسیم فسفات را نیز در صورتی که در خاک موجود باشد، استخراج نماید. تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که اثر کشت گیاه گندم بر مقدار این شکل در خاک‌های آهکی معنی‌دار است ($P \leq 0/001$).

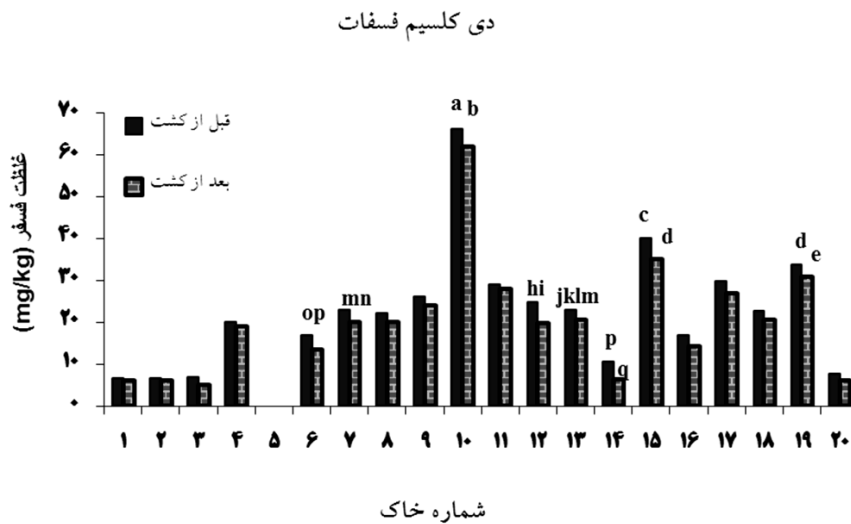
جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس شکل های مختلف فسفر.

منبع تغییرات	میکنین مربعات					
	Ca ₁ -P	CBD-P	Fe-P	Al-P	Ca ₂ -P	Ca ₃ -P
خاک	۳۳۴۷۰/۱/۸۸ ^{***}	۱۲۱۵/۹۷ ^{***}	۱۱۷۱۴/۹۶ ^{***}	۱۰۹۶۲/۵۵ ^{***}	۸۰۵۶۸/۸۹ ^{***}	۱۲۳۰/۵۲ ^{***}
کشت	۷۷۶۹/۲۲ ^{***}	۲/۱۰ ^{NS}	۹۱/۹۴ ^{**}	۷۳۹/۸۸ ^{***}	۵۰۸۹۰ ^{***}	۱۷۶/۴۷ ^{***}
خاک × کشت	۱۸۴/۸۳ ^{NS}	۰/۹۴ ^{NS}	۵/۲۰ ^{NS}	۳۹/۲۲ ^{**}	۴۸/۲۳ [*]	۳/۱۳ ^{**}
خطا	۷۳۳/۴۱	۰/۹۳	۱۴/۴۱	۲۵/۱۵	۳۶/۸۲	۳/۱۱
C.V (درصد)	۶/۸۸	۸/۶۹	۹/۱۸	۷/۶۶	۱۰/۵۰	۸/۶۳

^{***} معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد، ^{**} معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد و ^{NS} غیر معنی دار.

Ca₁-P: آباتایت، Ca₂-P: فسفات های آلومینوم، Fe-P: فسفات های آهن، Al-P: فسفات های آلومینوم، Ca₃-P: اکتا کلسیم فسفات، دی کلسیم فسفات، C.V (درصد).

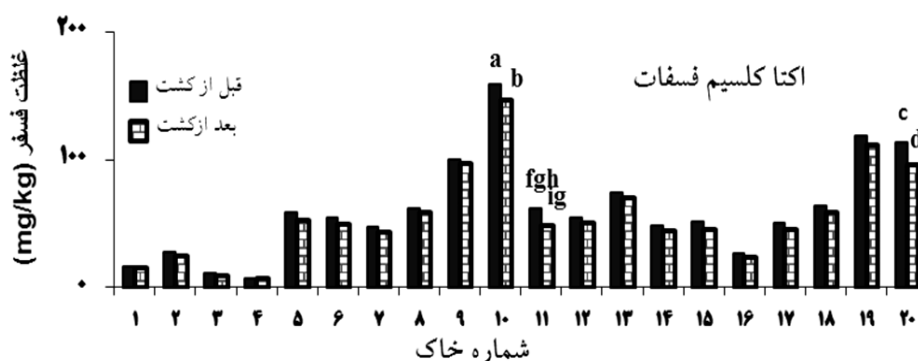
مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد (شکل ۱) نشان داد که در تمام خاک‌های آهکی مورد مطالعه، مقدار Ca_2-P ، بعد از کشت گندم کم‌تر از خاک کشت نشده بود و این کاهش در ۴۰ درصد از خاک‌ها (۸ نمونه) در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. مقدار کاهش آن در این خاک‌ها به‌طور میانگین ۳/۶ (از ۲۶/۵ به ۲۲/۹) میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. از طرف دیگر از مقدار فسفر قابل استفاده (میانگین ۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و درصد رس بالایی (میانگین ۳۰ درصد) و pH کم‌تری (میانگین ۷/۳) نیز برخوردار بودند. این کاهش می‌تواند به ترشح پروتون یا اسیدهای آلی و دی‌اسید کربن به‌دست آمده از تنفس (اسید کربنیک) توسط ریشه و ریزجاندران ریزوسفری و کاهش pH خاک مرتبط باشد (جیانگو و شومان، ۱۹۹۱؛ لی و همکاران، ۲۰۰۸). همبستگی خطی معنی‌داری بین فسفر پیوندیافته با کلسیم با pH و کربنات کلسیم گزارش شده است (محمود سلطانی و همکاران، ۲۰۱۱). تأثیر ویژگی‌های خاک مانند pH، کربن آلی، درصد رس و گنجایش تبادل کاتیونی بر شکل‌های مختلف فسفات، به‌وسیله پژوهشگران مختلفی گزارش شده است (صمدی و جیلکز، ۱۹۹۸؛ صمدی و جیلکز، ۱۹۹۹؛ محمود سلطانی و صمدی، ۲۰۰۳؛ سمواتی و حسین‌پور، ۲۰۰۶). همچنین جذب یون‌ها (فسفر، کلسیم و منیزیم و...) توسط ریشه گیاه باعث پخشیدگی از یا انحلال کانی‌های مانند فسفات‌های آهن، آلومینیوم و کلسیم می‌گردد (نجفی و توفیقی، ۲۰۱۲). بنابراین، دی‌کلسیم فسفات‌های موجود در خاک‌های آهکی یکی از منابع فسفر قابل جذب برای گیاه گندم می‌باشد. مقادیر قابل ملاحظه‌ای فسفر از شکل دی‌کلسیم فسفات آزاد و توسط برنج (نجفی و توفیقی، ۲۰۱۲) و گیاهان علفی (ما و همکاران، ۲۰۰۹) جذب می‌شود و مقدار این شکل را در خاک ریزوسفر کاهش می‌دهد. در آزمایشی بر روی تغییرات فسفر خاک در سیستم کشت گندم به‌مدت ۱۲ سال در آرژانتین، مقدار فسفر معدنی پس از برداشت گندم در سال اول از ۳۲۸ به ۲۹۵ و پس از برداشت گندم در سال دوازدهم به ۲۳۴ میلی‌گرم به کیلوگرم کاهش یافت (سونر و همکاران، ۲۰۱۴). شن و همکاران (۲۰۰۴) نیز گزارش کردند که مقادیر قابل ملاحظه‌ای فسفر از شکل Ca_2-P آزاد و توسط گیاه برنج جذب می‌شود. همچنین نجفی (۲۰۰۶) نیز گزارش نمود که مقدار Ca_2-P در رایزوسفر برنج نسبت به خاک کشت نشده به‌طور معنی‌داری کاهش یافت.



شکل ۱- تأثیر کشت گندم بر شکل دی کلسیم فسفات در خاک‌های مورد مطالعه.
(ستون‌های بدون حروف در سطح ۵ درصد از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند)

اکتا کلسیم فسفات ($\text{Ca}_8\text{-P}$): اعتقاد بر این است که استات آمونیوم با pH ۴/۲، اکتا کلسیم فسفات‌ها را که با علامت اختصاری $\text{Ca}_8\text{-P}$ نشان داده می‌شود، در خاک‌های آهکی استخراج می‌کند (جیانگ و گو، ۱۹۸۹). تجزیه واریانس آزمایش (جدول ۳) نشان داد که اثر کشت گیاه گندم بر مقدار این شکل در خاک‌های آهکی در سطح احتمال ۰/۱ درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد (شکل ۲) نشان داد که در تمام خاک‌های مورد مطالعه، مقدار فسفر قابل استخراج با $\text{NH}_4\text{Ac } 0.5\text{M}$ با $\text{pH}=4.2$ بعد از کشت گندم (میانگین ۵۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) کم‌تر از خاک کشت نشده (میانگین ۶۰/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود و مقدار این کاهش (میانگین ۱۴/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در خاک‌های شماره ۱۰، ۱۱ و ۲۰ (به‌طور میانگین از ۱۱۱/۷ به ۹۷/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) معنی‌دار بود. این سه خاک از مقادیر فسفر بالا (میانگین ۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و pH پایین‌تری (میانگین ۷/۳) برخوردار بود. بنابراین، احتمالاً یکی دیگر از منابع فسفر قابل جذب برای گندم در خاک‌های آهکی، اکتا کلسیم فسفات‌ها می‌باشد. این نتایج با گزارش شن و همکاران (۲۰۰۴)؛ محمود سلطانی و همکاران (۲۰۱۱) و نجفی و توفیقی (۲۰۱۲) مطابقت دارد. ریشه گیاهان قادر است

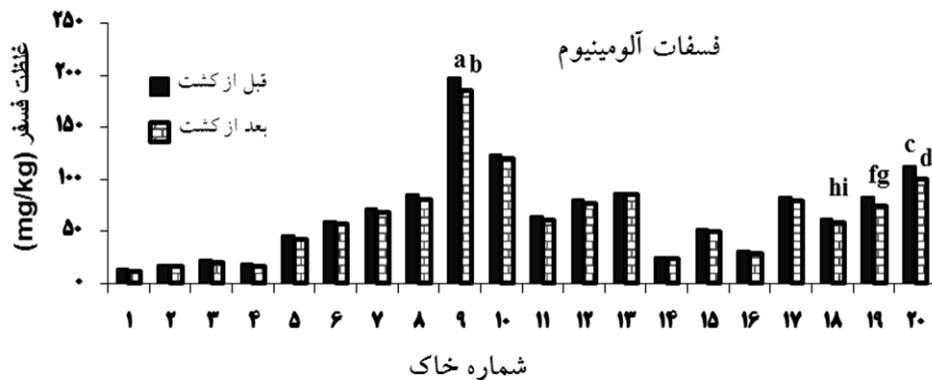
فسفر مورد نیاز خود را در شرایط کمبود از شکل‌های دیرتر قابل استفاده فسفر تامین نماید. برای مثال رددی و همکاران (۲۰۰۰) بیان کردند که گیاه برنج می‌تواند نیاز خود را از منابع ذخیره‌ای بومی خاک در شکل‌های مختلف، در شرایط دشوار جذب نماید. اولسن و همکاران (۱۹۸۳) و آدپوجو و همکاران (۱۹۸۶) نیز گزارش دادند که اکتا کلسیم فسفات قابلیت استفاده زیادی برای گیاهان مورد مطالعه دارد.



شکل ۲- تأثیر کشت گندم بر شکل اکتا کلسیم فسفات در خاک‌های مورد مطالعه. (ستون‌های بدون حروف در سطح ۵ درصد از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند)

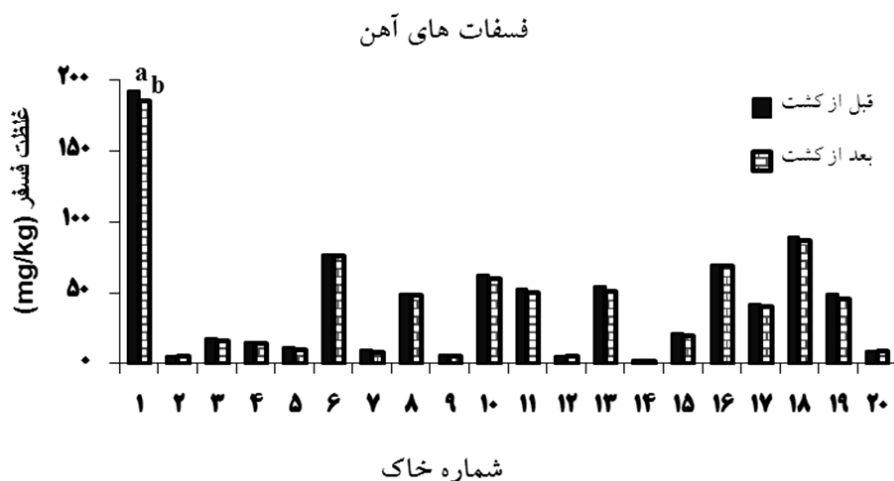
فسفات آلومینیوم (Al-P): اعتقاد بر این است که فلورید آمونیوم فسفات‌های آلومینیوم را که با علامت Al-P نشان داده می‌شوند، استخراج می‌کند (جیانگ و گو، ۱۹۸۹؛ کیو، ۱۹۹۶). تجزیه واریانس آزمایش نشان داد که اثر کشت گندم بر مقدار فسفر قابل استخراج با NH_4F ۰/۵M با $\text{pH}=۸/۲$ در ۲۰ نمونه خاک مورد مطالعه معنی‌دار است (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد که مقدار فسفات‌های آلومینیوم بعد از کشت گندم (میانگین ۶۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) کم‌تر از خاک کشت نشده است (میانگین ۶۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) ولی در چهار نمونه از خاک‌های مورد مطالعه این کاهش (میانگین از ۱۱۳/۹ به ۱۰۴/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) فسفر معنی‌دار است (شکل ۳). این چهار خاک از مقادیر فسفر و درصد بالا (میانگین ۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم و ۳۵ درصد) و pH و آهک پایین‌تری (میانگین ۷/۴ و ۸/۹ درصد) برخوردار بودند. احتمالاً یکی از شکل‌های قابل استفاده فسفر برای گیاه گندم فسفات‌های آلومینیوم می‌باشد که فسفات آزاد شده از این

شکل به وسیله گندم جذب می شود. این نتایج با گزارش های ونگ و شومن (۱۹۹۴)، شن و همکاران (۲۰۰۴) و نجفی و توفیقی (۲۰۱۲) مطابقت دارد. سالک و همکاران (۲۰۰۴) بیان داشتند که در اراضی شالیزاری بنگلادش گیاه برنج بیشترین مقدار فسفر مورد نیاز خود را در قالب فسفر قابل استفاده از فسفر آهن و آلومینیم و در نهایت از فسفر متصل به کلسیم دریافت می کند و تخلیه این سه شکل فسفر به معدنی شدن فسفر آلی و تغییر شکل انواع پایدارتر آن می انجامد.



شکل ۳- تأثیر کشت گندم بر شکل فسفات های آلومینیوم در خاک های مورد مطالعه. (ستون های بدون حروف در سطح ۵ درصد از نظر آماری تفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند)

فسفات آهن (Fe-P): نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که اثر کشت گیاه گندم بر فسفات های آهن در ۲۰ خاک مورد مطالعه در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار است. مقایسه میانگین ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد که کشت گیاه گندم باعث کاهش فسفر به شکل فسفات های آهن (قابل استخراج با $0.1N NaOH + 0.1N Na_2CO_3$) در مقایسه با خاک کشت نشده گردید ولی این کاهش فقط در یک نمونه از خاک های مورد مطالعه معنی دار بود (شکل ۴). این کاهش می تواند در محدوده ۵ درصد خطای اندازه گیری قرار گیرد و مربوط به اثر گیاه نباشد. این نتایج با گزارش شن و همکاران (۲۰۰۴)؛ نجفی (۲۰۰۶) و نجفی و توفیقی (۲۰۱۲) مطابقت دارد.



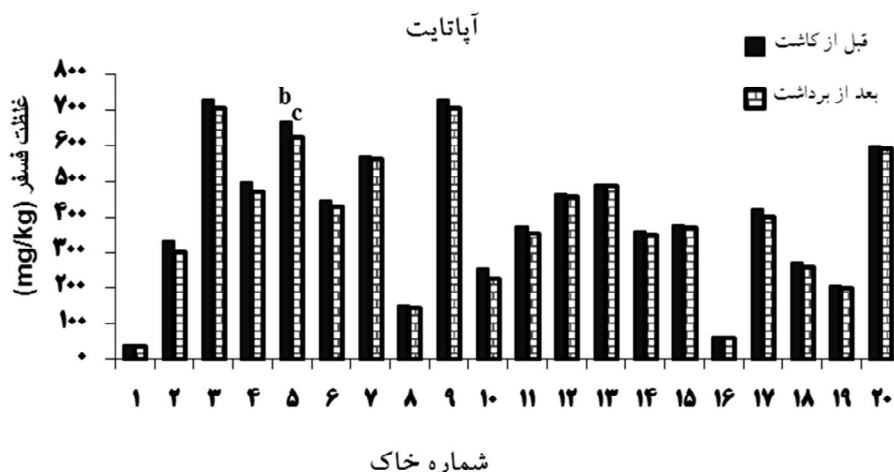
شکل ۴- اثر کشت گندم بر فسفات های آهن در خاک های مورد مطالعه.
(ستون های بدون حروف در سطح ۵ درصد از نظر آماری تفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند)

فسفر محبوس در اکسیدهای آهن (CBD-P): اعتقاد بر این است که این عصاره گیر فسفر محبوس در اکسیدهای آهن را استخراج می کند (جیانگ و گو، ۱۹۸۹؛ کیو، ۱۹۹۶). این شکل، فسفر محلول در احیاء کننده نیز نامیده می شود و با علامت CBD-P نشان داده می شود. تجزیه واریانس آزمایش (جدول ۳) نشان داد که به طور کلی در ۲۰ خاک مورد مطالعه، مقدار CBD-P بعد از کشت گندم اختلاف معنی داری با خاک کشت نشده قبل از کشت ندارد. مقایسه میانگین ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد که در تمام خاک های مورد مطالعه مقدار CBD-P بعد از کشت گندم اختلاف معنی داری با خاک کشت نشده قبل از کشت ندارد (شکل ۵). معنی دار نشدن اثر کشت گندم بر مقدار فسفر محلول در احیاء کننده، ممکن است ناشی از مقدار به نسبت کم این شکل باشد، زیرا میانگین CBD-P در این خاک ها کم بوده (۱۱/۲۵ میلی گرم در کیلوگرم خاک) و حتی در بعضی از خاک ها این شکل فسفر قابل اندازه گیری به روش اسکوربیک اسید (کیو، ۱۹۹۶) نبود. یا به سبب توزیع غیر یکنواخت این شکل از فسفر در خاک باشد و یا اصولاً این شکل از فسفر برای گندم قابل جذب نمی باشد. بنابراین، به نظر می رسد که این شکل از فسفر در خاک های مورد مطالعه برای گندم قابل استفاده نیست. نتایج مشابهی توسط نجفی (۲۰۰۶) و نجفی و توفیقی (۲۰۱۲) در مورد گیاه برنج مشاهده شد.

آپاتایت ($\text{Ca}_{10}\text{-P}$): اعتقاد بر این است که عصاره گیر اسید سولفوریک در خاک‌های آهکی فسفر کانی‌های گروه آپاتایت (جیانگ و گو، ۱۹۸۹) و در خاک‌های غیرآهکی فسفر کانی‌های گروه آپاتایت و اکتا کلسیم فسفات‌ها را استخراج می‌کند (کیو، ۱۹۹۶). تجزیه واریانس آزمایش (جدول ۳) نشان می‌دهد که اثر کشت گیاه گندم بر فسفر قابل استخراج با $0.25\text{M H}_2\text{SO}_4$ ، در خاک‌های مورد مطالعه معنی دار است ($P \leq 0.001$). مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد که بر خلاف کاهش فسفر در تمامی خاک‌های مورد مطالعه، تنها در یک نمونه خاک (شماره ۵) مقدار این شکل به‌طور معنی‌داری در خاک بعد از کشت کاهش یافت (شکل ۶). البته این کاهش می‌تواند در محدوده ۵ درصد خطای اندازه‌گیری باشد و مربوط به اثر گیاه نباشد. میانگین مقدار $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ بعد از کشت گندم ۳۸۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در خاک‌های کشت نشده ۴۰۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. ونگ و شومن (۱۹۹۴) و نجفی و توفیقی (۲۰۰۶) در خاک‌های غیرآهکی، در هر دو تیمار با و بدون کود فسفر اختلاف معنی‌داری، بین مقدار فسفر قابل استخراج با H_2SO_4 در خاک بعد از کشت برنج با توده خاک مشاهده نکردند. ولی نجفی و توفیقی (۲۰۰۶) مشاهده نمود که از ۱۰ خاک آهکی مورد مطالعه، در ۷ خاک گیاه برنج توانسته بود مقدار این شکل فسفر را به‌طور معنی‌داری در خاک بعد از کشت کاهش دهد.



شکل ۵- اثر کشت گندم بر فسفر قابل استخراج با سترات- بیکربنات- دیتینیت.



شکل ۶- اثر کشت گندم بر فسفر قابل استخراج با اسید سولفوریک ۰/۲۵ مولار. (ستون‌های بدون حروف در سطح ۵ درصد از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند)

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشان داد که در خاک‌های لسی استان گلستان، کشت گیاه گندم به‌طور عمده شکل‌های دی‌کلسیم فسفات، اکتاکلسیم فسفات و فسفات‌های آلومینیوم را کاهش داد و این سه شکل را می‌توان به‌عنوان منبع عمده فسفر قابل جذب گندم در نظر گرفت. با این حال کاهش مقدار شکل‌های فسفر در تمام خاک‌های مورد مطالعه دیده نمی‌شود.

منابع

1. Adepaju, A.Y., Pratt, P.F., and Mattigod, S.V. 1986. Relationship between probable dominant phosphate compound in soil and phosphorus availability to plants. *Plant Soil*. 92: 47-54.
2. Bishop, M.L., Change, A.C., and Lee, R.W.K. 1994. Enzymatic mineralization of organic phosphorus in a volcanic soil in Chile. *Soil Science*. 157: 238-243.
3. Blake, L., Johnston, A.E., Poulton, P.R., and Goulding, K.W.T. 2003. Changes in soil phosphorus fractions following positive and negative phosphorus balances for long periods. *Plant Soil*. 254: 245-261.
4. Chang, S.C., and Jackson, M.L. 1957. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Science*. 84: 133-144.

5. Chen, C.R., Condrón, L.M., Sinaj, S., Davis, M.R., Sherlock, R.R., and Frossard, E. 2003. Effects of plant species on phosphorus availability in a range of grassland soils. *Plant Soil*. 256: 115-130.
6. Gee, G.W., and Bauder, J.W. 1986. Particle-size analysis, P 383-411. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part I. Physical and Mineralogical Methods*. 2nd ed. ASA, SSSA, Madison, WI. USA.
7. Guo, F., Yost, R.S., Hue, N.V., Evensen, C.I., and Silva, J.A. 2000. Changes in phosphorus fractions in soils under plant growth. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 1681-1689.
8. Hedley, M.J., Stewart, J.W.B., and Chauhan, B.S. 1982. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 970-976.
9. Jiang, B.F., and Gu, Y.C. 1989. A suggested fractionation scheme for inorganic phosphorus in calcareous soils. *Fertilizer Research*. 20:159-165.
10. Jianguo, H., and Shuman, L.M. 1991. Phosphorus status and utilization in the rhizosphere of rice. *Soil Science*. 152: 360-364.
11. Kuo, S. 1996. Phosphorus, P 869-919. In: Sparks, D.L. (Ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods*. 3rd ed., SSSA Book Series No. 5. Madison, WI. USA.
12. Li, Y.F., Luo, A.C., Wei, X.H., and Yao, X.G. 2008. Changes in phosphorus fractions, pH, and phosphatase activity in rhizosphere of two rice genotypes. *Pedosphere*. 18: 785-794.
13. Ma, B., Zhou, Z.Y., Zhang, C.P., Zhang, G., and Hu, Y.J. 2009. Inorganic phosphorus fractions in the rhizosphere of xerophytic shrubs in the Alxa Desert. *J. Arid Environ.* 73: 55-61.
14. Mahmoud Soltani, Sh., and Samadi, A. 2003. Phosphorus fractionation of some calcareous soils in Fars province and their relationships with some soil properties. *Agr. Sci. Nat. Res. J.* 3: 7. 119-128.
15. Mahmoud Soltani, Sh., Davatgar, N., Kavooosi, M., and Darighgoftar, F. 2011. Phosphorous fractionation of paddy fields and their relations with physical and chemical properties of soils (Case study: Some-e-Sara city, Guilan province). *J. Soil Water Cons.* 18: 2. 159-176.
16. McLaughlin, M.J., Alston, A.M., and Martin, J.K. 1987. Transformations and movement of P in the rhizosphere. *Plant Soil*. 97: 391-399.
17. Mclean, E.O. 1982. Soil pH and lime requirement, P 199-224. In: Page, A.L., et al. (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part II*. 2nd ed. ASA, SSSA, Madison, WI, USA.
18. Najafi, N. 2006. Effects of rhizosphere of rice on the inorganic phosphorus fractions in paddy soils of north of Iran, Ph.D. thesis, Soil Science Dept., College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Iran, 191p.

19. Najafi, N., and Towfighi, H. 2006. Effects of rhizosphere of rice plant on the inorganic phosphorus fractions in the paddy soils of north of Iran: 1. native inorganic phosphorus fractions. *Iran. J. Agric. Sci.* 37: 5. 919-935.
20. Najafi, N., and Towfighi, H. 2012. Effects of rhizosphere of rice plant on the inorganic phosphorus fractions in the paddy soils (in North Iran) following P fertilizer application. *Iran. J. Soil Water Res.* 43: 3. 231-242.
21. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. P 539-579, In: Page, A.L. et al. (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part II.* 2nd ed. ASA, SSSA, Madison, WI. USA.
22. Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanab, F.S., and Dean, L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *USDA. Circ. 939.* U.S. Gov. Prin. Office, Washington D.C. Pp: 1-19.
23. Olsen, S.R., Watanabe, F.S., and Bowman, R.A. 1983. Evaluation of fertilizer phosphate residue by plant uptake and extractable phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47: 952-958.
24. Radersma, S., and Grierson, P.F. 2004. Phosphorus mobilization in agroforestry: organic anions, phosphatase activity and phosphorus fractions in the rhizosphere. *Plant Soil.* 259: 209-219.
25. Reddy, D.D., Rao, A.S., and Rupa, T.R. 2000. Effects of continuous use of cattle manure and fertilizer phosphorus on crop yields and soil organic in a vertisol. *Bioresource Technol.* 75: 113-118.
26. Richards, L.A. 1969. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils.* US Salinity Laboratory Staff. Agricultural Handbook. No. 60. USDA. USA. 160p.
27. Saleque, M.A., Nahar, U.A., Islam, A., Pathan, A.B.M.U., and Hossain, T.M.S. 2004. Inorganic and organic phosphorus fertilizer effects on the phosphorus fractionation in wetland rice soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 1635-1644.
28. Samadi, A., and Gilkes, R.J. 1998. Forms of phosphorus in virgin and fertilized calcareous soils of Western Australia. *Aust. J. Soil Res.* 36: 585-601.
29. Samadi, A., and Gilkes, R.J. 1999. Phosphorus transformations and their relationships with calcareous soil properties of south Western Australia. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 809-815.
30. Samadi, A. 2003. A study on distribution of forms of phosphorus in calcareous soils of Western Australia. *J. Agric. Sci. Technol.* 5: 39-49.
31. Samavati, M., and Hossainpoor, A. 2006. Phosphorus fractionation of some soils in Hamedan and their relationships with some soil properties. *Soil and water J.* 20: 2. 246-259.
32. SAS Software. 1999. SAS Institute Inc. Version 8. Cary, NC, USA.
33. Sharpley, A.N., and Smith, S.J. 1983. The distribution of phosphorus Forms in virgin and cultivated soils and potential erosion losses. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47: 581-586.

34. Shen, J., Li, R., Zhang, F., Fan, J., Tang, C., and Rengel, Z. 2004. Crop yields, soil fertility and phosphorus fractions in response to long-term fertilization under the rice monoculture system on a calcareous soil. *Field Crops Research* 86: 225-238.
35. Solis, P., and Torrent, J. 1989. Phosphate fractions in calcareous Vertisols and Inceptisols of Spain. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53: 462-466.
36. Suñer, L., Galantini, J., and Minoldo, G. 2014. Soil Phosphorus Dynamics of Wheat-Based Cropping Systems in the Semiarid Region of Argentina. *Applied and Environmental Soil Science*, Vol. 2014, Article ID 532807, 6 pages, 2014. doi:10.1155/2014/532807.
37. Tiessen, H., and Moir, J.O. 1993. Characterization of available P by sequential extraction, P 75-86. In: Carter, M.R. (Ed.), *Soil Sampling and Methods of Analysis*. Boca Raton, Lewis, Canada.
38. Wang, J., and Shuman, L.M. 1994. Transformation of phosphate in rice (*Oryza sativa* L.) rhizosphere and its influence on phosphorus nutrition of rice. *J. Plant Nutr.* 17: 1803-1815.
39. Zhang, Y., Lin, X., and Werner, W. 2004. Effects of aerobic conditions in the rhizosphere of rice on the dynamics and availability of phosphorus in a flooded soil - A model experiment. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 167: 66-71.
40. Zheng, Z., Simard, R.R., Lafond, J., and Parent, L.E. 2002. Pathways of soil phosphorus transformations after 8 years of cultivation under contrasting cropping practices. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 999-1007.
41. Zoysa, A.K.N., Loganathan, P., and Hedley, M.J. 1997. A technique for studying rhizosphere processes in tree crops: Soil phosphorus depletion around *Camellia* (*Camellia japonica* L.) roots. *Plant Soil.* 190: 253-265.
42. Zoysa, A.K.N., Loganathan, P., and Hedley, M.J. 1998. Effects of form of nitrogen supply on mobilization of phosphorus from a phosphate rock and acidification in the rhizosphere of tea. *Aust. J. Soil Res.* 36: 373-378.
43. Zoysa, A.K.N., Loganathan, P., and Hedley, M.J. 1999. Phosphorus utilization efficiency and depletion of phosphate fractions in the rhizosphere of three tea (*Camellia sinensis* L.) clones. *Nutr. Cycling Agroecosyst.* 53: 189-201.



Wheat cultivation effect on inorganic P forms in loess-derived soils of Golestan province

Z. Naghizadeh Asl¹ and *E. Dordipour²

¹M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources, ²Associate Prof., Dept. of Soil Science,
Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 06/08/2013; Accepted: 04/15/2014

Abstract

Knowledge of the phosphorus (P) forms is essential for understanding the behavior of phosphorus. The aim of this study was to investigate the effect of wheat cultivation on different soil inorganic P forms. A greenhouse factorial experiment in a completely randomized design was carried out with three replications in 20 soil types and plantation at two levels (with and without plantation). The aerial parts were harvested after two months and different forms of phosphorus were determined by Jiang and Gus' inorganic-P fractionation method. The results showed that wheat cultivation had a significant effect on all forms of phosphorus in soil except occluded P in Fe oxides. Duncan's means comparisons test at P value ≤ 0.05 also showed that the amount of phosphate dicalcium (Ca_2 -P) in all of calcareous loess derived soils after wheat cultivation was less than uncultivated soils and it was significant in 30% of soils at P value $\leq 5\%$. Similarly, wheat planting also reduced the amount of octacalcium phosphate (Ca_8 -P) and aluminum phosphates (Al-P), but the reduction was significant only in three soil samples. Decrease of iron phosphates (Fe-P) and apatite (Ca_{10} -P) after the wheat harvest was significant only in one of the soils studied.

Keywords: Inorganic phosphorus, Fractionation, Loess soils, Wheat

* Corresponding Authors; Email: e.dordipour@yahoo.com