اثر ریزوسفر گندم بر شکل‌های شیمیایی فسفر در تعدادی از خاک‌های آهکی

طاهره رئیسی[1] و علیرضا حسین‌پور

دانشجوی دکتری دانشگاه شهرکرد؛ taraiesi@gmail.com

استاد دانشگاه شهرکرد؛ hosseinpur-a@agr.sku.ac.ir

دریافت: 91/12/27 و پذیرش: 92/7/22

چکیده

شرایط شیمیایی و بیولوژیکی خاک‌های ریزوسفری متفاوت از توده خاک است، این امر منجربه تغییر قابلیت استفاده عناصر غذایی در خاک‌های ریزوسفری می‌شود. فسفر یکی از عناصر غذایی محدو کننده رشد گیاهان در مناطق خشک می‌باشد، هدف ازاین تحقیق بررسی وضعیت جزءبندی فسفر معدنی، فسفر آلی، فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز اسیدی (AcP)، فسفاتاز قلیایی(AlP)، فسفر زیست توده میکروبی (MBP) و کربن آلی محلول (DOC) در خاک‌های ریزوسفری و توده در 10 خاک آهکی در کشت گندم در ریزوباکس بود. بدین منظور شکل‌های مختلف فسفر شامل فسفر پیوند شده به اکسیدهای آهن و آلومینیوم (NaOH+CB]-Pi[)، فسفر مسدود شده در اکسیدهای آهن (CBD-Pi)، فسفر مرتبط با کلسیم (Ca-Pi)، و فسفر باقیمانده به روش تصحیح شده عصاره‌گیری مرحله‌ای اولسن و سامرز تعیین شدند. نتایج نشان داد که فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز، MBP و DOC در خاک‌های ریزوسفری نسبت به خاک‌های توده افزایش یافت، همچنین، توزیع جزءهای معدنی فسفر بین خاک‌های ریزوسفری و توده متفاوت بود. نتایج نشان داد که فراوانی جزءهای فسفر در خاک‌های ریزوسفری و توده به صورت زیر کاهش یافت NaOH+CB]-<Po<residual-P<Ca-Pi [Pi] <CBD-Pi، مازاد براین، نتایج مطالعه همبستگی نشان داد که شاخص‌های گندم همبستگی معنی‌داری با جزءهای iNaOH+CB]-P[، CBD-Pi، MBP و AlP در خاک‌های ریزوسفری داشتند. نتایج نشان داد که جزءهای فسفر در خاک‌های ریزوسفری تغییر کرده اما تبدیلات داخلی جزءهای مختلف و مکانیسم‌های درگیر به خوبی مشخص نبودند.

واژه‌های کلیدی: فسفر معدنی، فسفر آلی و آنزیم‌های فسفاتاز

مقدمه

ریزوسفر عبارت است از حجمی از خاک که تحت تأثیر فعالیت ریشه‌ها و گیاهان در حال رشد قرار می‌گیرد (یورن، 2007). ریشه گیاهان از طریق تغییر سه عامل pH، غلظت کاتیون‌های فلزی و غلظت لیگاندهای آلی و معدنی، در نتیجه جذب آنها و یا تراوش آنها، منجربه ایجاد تغییراتی در تعادلات شیمیایی عناصر غذایی در حد فاصل خاک- ریشه می‌شود (هینسینگر، 2001). بنابراین از این طریق، محیط ریشه تحرک، قابلیت استفاده و شکل‌های فسفر خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. قابلیت استفاده فسفر برای گیاه به توانایی خاک برای جایگزینی فسفر لبایل جذب شده توسط گیاه از جزءهای دیگر فسفر بستگی دارد (بک و سانچز، 1994). همه شکل‌های فسفر موجود در خاک از قابلیت استفاده و تحرک مشابهی برخوردار نیستند. ترکیبات مختلف خاک در نگهداری فسفر شرکت می‌کنند. در خاک‌های آهکی، نگهداری فسفات به سطح ویژه کربنات کلسیم ارتباط دارد (ریان و همکاران، 1985). شکل‌های مختلف فسفر خاک اغلب به کمک روش جزءبندی مرحله‌ای بررسی و

[1]. نویسنده مسئول، آدرس: شهرکرد، دانشگاه شهرکرد، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی علوم خاک

مطالعه می‌شوند. بنابراین استفاده از روش جزءبندی به منظور تخمین شکل‌هایی از فسفر که برای گیاه قابل دسترس‌تر می‌باشند، حائز اهمیت است. روش جزءبندی فسفر معدنی در سال 1957 توسط چنگ و جکسون به کار گرفته شد. روش چنگ و جکسون (1957) به مرور زمان توسط محققین دیگر تصحیح شد. اولسن و سامرز در سال 1982 به تصحیح روش چنگ و جکسون پرداختند و تقریب نسبتاً مناسبی را از جزءهای فسفر در خاک‌های آهکی فراهم کردند. طی دهه‌های گذشته در مطالعات زیادی به بررسی شکل‌های مختلف فسفر و قابلیت استفاده فسفر با استفاده از روش‌های عصاره‌گیری مرحله‌ای در خاک پرداخته شده است (سمواتی و حسین-پور، 1390؛مستشاری و همکاران، 2008؛ شاهین و همکاران، 2007؛ یو و همکاران، 2006؛ آراجو ماریا و همکارن، 2004 و دلگادو و همکاران، 2002).

کاهش غلظت فسفر در خاک مجاور ریشه، نیروی لازم برای پخشیدگی فسفر به سمت ریشه را تأمین نموده و علاوه بر این تعادل جذب-واجذبی و رسوب- انحلال را بر هم زده و منجر به دسترسی بیشتر گیاه به منابع فسفر کمتر قابل دسترس می‌گردد (هینسینگر، 2001).شواهدی مبنی بر تغییر جزءهای مختلف فسفر (فسفر محلول در آب، فسفر اولسن، فسفر رزین، فسفر قابل استخراج توسط قلیا، و فسفر قابل استخراج توسط اسید) در خاک ریزوسفر وجود داردکه از آن جمله می‌توان به تخلیه فسفر محلول (رز و همکاران، 2010 و نوروزمان و همکاران، 2006)، فسفر اولسن (ونگ و همکاران، 2008؛ نوروزمان و همکاران، 2006 و چن و همکاران،2002)، فسفر قابل استخراج توسط باز (رز و همکاران، 2010؛ ونگ و همکاران، 2008؛ نوروزمان و همکاران، 2006؛ چن و همکاران، 2002 و زویسا و همکاران، 1999) و فسفر قابل استخراج توسط اسید (صفری سنجانی و رشیدی، 2011و ونگ و همکاران، 2008) در ریزوسفر گیاهان مختلف اشاره کرد. ونگ و همکاران (2008) به بررسی خصوصیات کسب فسفر گندم تحت شرایط کمبود فسفر پرداختند.

مطالعه جزءبندی فسفر خاک ریزوسفری نشان داد گندم عمدتاً فسفر را از جزء فسفر معدنی محلول در بی‌کربنات سدیم ($NaHCO_3$-Pi) و فسفر معدنی استخراج شده توسط اسید کلریدریک (Ca-Pi) تخلیه کرد. همچنین گندم جزء فسفر معدنی استخراج شده توسط هیدروکسید سدیم (NaOH-Pi) را تا یک سطح مهمی صرف‌نظر از تأمین فسفر تخلیه کرد. نوروزامان و همکاران (2006) به بررسی تخلیه جزءهای فسفر در خاک ریزوسفری گندم پرداختند. مقایسه غلظت فسفر در هر جزء در فاصله نزدیک به سطح ریشه و در فاصله دورتر از سطح ریشه نشان داد که تخلیه کل برای جزءهای فسفر معدنی استخراج شده توسط هیدروکسید سدیم (NaOH-Pi)، فسفر معدنی محلول در بی‌کربنات سدیم ($NaHCO_3$-Pi)، فسفر محلول در آب (P_i- آب) و جزء فسفر محلول در سیترات (P_i-سیترات) به ترتیب بیشترین بود. چن (2003) فعالیت آنزیم فسفاتاز و جزءبندی فسفر در یک خاک با 12 سال کشت یک نوع درخت بومی چین را بررسی نمود. نتایج این محقق نشان داد که غلظت همه جزءهای فسفر به استثناء فسفر مرتبط با کلسیم در خاک ریزوسفری بزرگتر از خاک غیرریزوسفری بودند. وی پیشنهاد کرد که توزیع جزءهای فسفر در خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری، نتیجه‌ی واکنش‌های متقابل بین خاک، گیاه و ریزجانداران است. علاوه بر جزءهای مختلف فسفر معدنی که از قابلیت استفاده متفاوتی بین خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری برخوردار هستند، فسفر آلی نیز می‌تواند یکی از منابع تأمین فسفر مورد نیاز گیاه با توجه به شرایط موجود در ریزوسفر باشد (لارسن، 1967). این منبع باید قبل از استفاده توسط گیاه معدنی شود. قابلیت استفاده فسفر آلی برای گیاهان در چندین مطالعه نشان داده شده است (ونگ و همکاران، 2008؛ مارشنر و هممکاران، 2007؛ نوروزمان و همکاران، 2006؛ مارشنر و همکاران، 2005، جورج و همکاران، 2002 و ترفدار و جیوانگ، 1987).

با انجام جزءبندی فسفر در ریزوسفر و تعیین مقدار تغییر هر جزء در خاک ریزوسفری نسبت به خاک غیرریزوسفری، می‌توان تا حدی منابع و مخازن فسفر قابل دسترس گیاه طی کشت را تعیین کرد. با وجود تحقیقات فراوان صورت گرفته پیرامون جزءبندی فسفر، تاکنون در زمینه تأثیر ریزوسفر گندم بر جزءبندی فسفر در خاک‌های آهکی شهرکرد تحقیقی صورت نگرفته است بنابراین، این تحقیق با هدف بررسی اثر ریزوسفرگندم بر جزءبندی فسفر، فعالیت فسفاتازهای اسیدی، قلیایی، کربن آلی محلول و فسفر زیست‌توده میکروبی با استفاده از ریزوباکس در خاک‌های آهکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش 30 نمونه خاک از نقاط مختلف زمین‌های زراعی دشت شهرکرد از عمق صفر تا 30 سانتیمتری جمع‌آوری شدند. پس از هوا خشک کردن، نمونه‌های خاک از الک 2 میلی‌متری عبور داده شدند. سپس 10 نمونه خاک بر اساس مقادیر درصد رس، کربنات کلسیم معادل و مقدار فسفر عصاره‌گیری شده با

روش اولسن انتخاب شدند. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های منتخب به روش‌های معمول آزمایشگاهی تعیین شدند. پ-اچ نمونه‌های خاک در عصاره 2 به 1 محلول به خاک (توماس، 1996)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره‌های صاف شده با نسبت 2 به 1 محلول به خاک (رودز، 1996)، کربنات کلسیم معادل خاک به روش تیتراسیون برگشتی با اسید کلریدریک یک نرمال (لوپرت و اسپارکز، 1996)، درصد کربن آلی خاک به روش اکسیداسیون تر (نلسون و سامرز، 1996)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات سدیم یک مولار در pH=8/2 (سامر و میلر، 1996) و بافت خاک به روش هیدرومتر (جی و باودر، 1986) تعیین شد.

به منظور تعیین شاخص‌های گیاه گندم، یک آزمایش گلخانه‌ای در قالب طرح کاملاً تصادفی در 10 نوع خاک و در سه تکرار انجام و پس از برداشت گیاه، خاک‌های ریزوسفری و توده جدا شد. برای مطالعه ریزوسفر گندم از ریزوباکس استفاده شد. ابعاد ریزوباکس 160×132×180 میلی‌متر (ارتفاع× عرض × طول، شکل 1) در نظر گرفته شد. ریزوباکس به سه بخش، شامل بخش مرکزی (ریزوسفر) (طول 32 میلی‌متر؛ یوسف و چینو، 1988) و بخش غیرریزوسفری (به طول 50 میلی‌متر در دو طرف خاک ریزوسفری؛ یوسف و چینو، 1988) تقسیم شد. دو قسمت خاک غیرریزوسفری (توده خاک) از بخش خاک ریزوسفری توسط یک پوشش نایلونی با قطر منافذ حدود 24 میکرومتر جدا شدند.

بخش ریزوسفری و بخش‌های غیرریزوسفری (توده خاک) به ترتیب با 900 و 3100 گرم خاک هوا خشک پر شدند. نظر به اینکه خاک ریزوباکس‌ها نباید از لحاظ سایر عناصر غذایی کمبودی داشته باشند، در ابتدای کشت به هر ریزوباکس 100 میلی‌گرم پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم و 5 میلی‌گرم آهن به صورت سکوسترین 138 در کیلوگرم خاک و 2 میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک از منبع سولفات روی اضافه شد (زارع‌نیا، 1390). همچنین، به هر ریزوباکس مقدار 100 میلی‌گرم نیتروژن درکیلوگرم خاک از منبع اوره به صورت تقسیط در سه نوبت (در زمان کاشت، در مرحله پنجه زدن و 5 هفته پس از کاشت) اضافه شد. برای کشت گیاه، بذرهای گندم (*Triticum aestivum* L.) رقم بک‌کراس روشن پس از ضدعفونی با هیپوکلریت سدیم به تعداد شش بذر در قسمت مرکزی ریزوباکس‌ها کشت شدند. در پایان هفته اول تعداد بذرها در هرریزوباکس به چهار عدد کاهش یافت. در طول مدت رشد، مراقبت‌های زراعی لازم انجام گردید و سعی شد گیاهان دچار تنش خشکی نشوند.

بخش هوایی گیاهان 8 هفته بعد از کاشت برداشت شد. بخش‌های هوایی گیاهان با آب مقطر شسته شده و به مدت 72 ساعت در دمای 65 درجه سلسیوس خشک و وزن خشک اندام هوایی تعیین شد. نمونه‌های خشک شده در آون (بخش هوایی) به روش خاکستر خشک هضم و مقدار فسفر موجود در نمونه‌های هضم شده به روش رنگ‌سنجی (مورفی و رایلی، 1969)تعیین شد. هم‌چنین، ریزوباکس‌ها در پایان هفته هشتم باز شدند و از هر ریزوباکس دو نمونه خاک، یکی از بخش ریزوسفر و دیگری از بخش توده‌ی خاک (خاک غیرریزوسفری) برداشت شد. مقداری از خاک‌های ریزوسفری و توده هر ریزوباکس در یخچال در دمای 4 درجه سانتیگراد به منظور اندازه‌گیری کربن آلی محلول (DOC)، فسفر زیست توده میکروبی (MBP)، فسفاتاز قلیایی (AlP) و فسفاتاز اسیدی (AcP) ذخیره شد. باقیمانده خاک هوا خشک و برایجزءبندی فسفر استفاده گردید.

کربن آلی محلول در خاک‌های ریزوسفری و توده به روش اکسیداسیون تر (نلسون و سامرز، 1996)،MBP به روش بروکس و همکاران (1982) اندازه گیری شدند.برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدیاز روش طباطبائی و برمنر (1969) استفاده شد. برای اندازه-گیری فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی نیز از روش طباطبائی و برمنر (1969) استفاده شد به استثناء اینکه pH در 11/5 تنظیم گردید (عیوضی و طباطبائی، 1977).همچنین فسفر آلی (Po) در همه‌ی نمونه‌های خاک به روش سوزاندن (کو، 1962) تعیین شد. برای مقایسه جزءبندی فسفر در نمونه خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری پس از پایان دوره رشد گندم از روش عصاره‌گیری مرحله‌ای اولسن و سامرز (1982) با یک تصحیح برای اندازه‌گیری فسفر باقیمانده استفاده شد. در این روش فسفر به چهار شکل معدنی شامل: فسفر در ارتباط با اکسیدهای آهن و آلومینیوم یا فسفر مسدود نشده (NaOH-Pi)؛ فسفر دوباره جذب سطحی شده طی مرحله‌ی اول عصاره‌گیری (CB-Pi)؛ فسفر مسدود شده در اکسیدهای آهن (CBD-Pi) و فسفر در ارتباط با کلسیم (Ca-Pi) تفکیک شد. هم‌چنین در انتهای عصاره‌گیری متوالی فسفر باقیمانده (شامل فسفر آلی و معدنی مقاومی که توسط عصاره‌گیرهای قبلی و در مراحل قبلی عصاره‌گیری استخراج نشده است) با روش هضم با اسید نیتریک و اسید پرکلریک (کو، 1996) اندازه گیری شد. غلظت فسفر در عصاره‌ها به روش رنگ‌سنجی (مورفی و رایلی، 1969) تعیین شد. سپس درصد تغییر فسفر استخراج شده توسط هر عصاره گیر در خاک‌های

ریزوسفری نسبت به خاک‌های غیرریزوسفری ازرابطه زیر محاسبه شد:

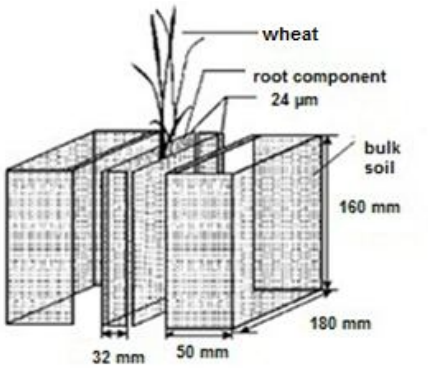
$$\text{درصد تغییر} = \frac{X_R - X_{NR}}{X_{NR}} \times 100$$

که در آن:

مقدار هر ویژگی در خاک ریزوسفری=X_R

مقدار هر ویژگی در خاک غیرریزوسفری=X_{NR}

اثر ریزوسفر و نوع خاک بر مقدار اجزاء مختلف فسفر توسط تجزیه واریانس دو طرفه بررسی شد. معنی‌دار بودن تفاوت‌ها توسط آزمون حداقل اختلافات معنی‌دار (LSD) و در سطح احتمال 5 درصد بررسی شد. کلیه آنالیزهای همبستگی در سطح احتمال 10 درصد و با استفاده از نرم‌افزار استاتیستیکا 10 انجام شد.



شکل 1- ساختار شماتیک سیستم ریزوباکس

نتایج

نتایج برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مطالعه شده در جدول 1 آورده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود، دامنه مقدار رس و سیلت در خاک‌های مورد مطالعه به ترتیب از 13/3 تا 55 و از 25 تا 56 درصد، دامنه کربنات کلسیم معادل از 162 تا 475 گرم بر کیلوگرم خاک و مقدار کربن آلی از 3/1 تا 13/9 گرم بر کیلوگرم خاک می‌باشد. خاک‌های مورد مطالعه قلیایی (دامنه پ. هاش از 7/9 تا 8/1) و غیرشور (دامنه هدایت الکتریکی از 0/26 تا 0/61 دسی‌زیمنس بر متر) بودند. دامنه فسفر استخراجی با روش اولسن از 15/9 تا 71/9 میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. بنابراین، می‌توان گفت خاک‌های بررسی شده دارای دامنه وسیعی از نظر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مطالعه شده می‌باشند.

جدول 1- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی اولیه خاک‌های مطالعه شده

شماره خاک	واکنش خاک	هدایت الکتریکی	ظرفیت تبادل کاتیونی	سیلت	رس	کربنات کلسیم معادل	کربن آلی	فسفر اولسن
		دسی‌زیمنس بر متر	سانتی‌مول بر کیلوگرم خاک	درصد		گرم بر کیلوگرم		
1	8/0	0/36	14/2	35	37	421	3/1	24/7
2	8/0	0/38	23/7	40	48	162	5/0	15/9
3	8/0	0/46	10/3	33	25	410	4/3	17/5
4	8/0	0/42	12/4	56	49	475	4/1	19/1
5	8/0	0/46	29/4	43	52	388	5/4	18/1
6	7/9	0/59	33/3	30	55	267	8/4	22/4
7	8/1	0/36	16/3	44	37	325	5/1	40/1
8	8/1	0/59	25/9	39	49	266	13/9	32/0
9	8/0	0/61	18/9	47	37	210	10/4	71/9
10	8/0	0/26	10/3	25	13	190	7/0	16/8

نتایج تجزیه واریانس اثر نوع خاک، نوع محیط (ریزوسفر و یا توده) و اثر متقابل خاک و محیط بر کلیه ویژگی‌های بیولوژیکی مطالعه شده در خاک‌های تحت کشت گندم در جدول 2 آورده شده است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر نوع خاک و نوع محیط (ریزوسفر و یا توده) بر کلیه ویژگی‌های بیولوژیکی مطالعه شده معنی‌دار بود و اثر متقابل خاک و محیط نیز بر کلیه ویژگی‌های مطالعه شده به استثناء فعالیت AlP

معنی‌دار بود. (جدول 2). بیشترین و کمترین مقدار MBP در خاک‌های ریزوسفر و توده به ترتیب در خاک 9 (33/2 و 31/8 میلی‌گرم بر کیلوگرم) و خاک 1 (5/4 و 2/6 میلی‌گرم بر کیلوگرم) یافت شد. مقدار MBP در خاک‌های ریزوسفر به طور معنی‌داری بیشتر از خاک‌های توده بود (P≤ 0/01). نتایج مقایسه میانگین اثر خاک بر MBP نشان داد که بیشترین مقدار این ویژگی در خاک 9 و کمترین مقدار آن در خاک 4 مشاهده شد. بررسی نتایج نشان داد که MBP همبستگی معنی‌دار با کربنات کلسیم اولیه (P≤0/10 و r= -0/58) و کربن آلی اولیه خاک‌ها (P≤0/05 و r= 0/79) داشت. دامنه تغییرات DOC در خاک‌های ریزوسفری و توده به ترتیب از 18 (خاک 10) تا 382 (خاک 5) و از 14 (خاک 10) تا 190 (خاک 4) میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. مقدار DOC در خاک‌های ریزوسفر به طور معنی‌داری بیشتر از خاک‌های توده بود (P≤ 0/01). نتایج مقایسه میانگین اثر خاک بر DOC نشان داد که بیشترین مقدار این ویژگی در خاک‌های 5، و کمترین مقدار آن در خاک 10 مشاهده شد. بررسی نتایج نشان داد که DOC همبستگی معنی‌دار با درصد سیلت (P≤0/10 و r=0/55) و کربن آلی اولیه خاک‌ها (P≤0/10 و r=-0/56) داشت. کمترین و بیشترین مقدار فعالیت AlP در خاک‌های ریزوسفر و توده به ترتیب در خاک 1 (85 و 36 میکروگرم پی-نیترو فنول فسفات بر گرم خاک در ساعت) و خاک 9 (290 و 271 میکروگرم پی-نیترو فنول فسفات بر گرم خاک در ساعت) یافت شد. مقدار AlP نیز در خاک‌های ریزوسفر نسبت به خاک‌های توده افزایش معنی‌داری داشت (P≤ 0/01). نتایج مقایسه میانگین اثر خاک بر AlP نشان داد که بیشترین مقدار این ویژگی در خاک‌های 9 و کمترین مقدار آن در خاک 1، مشاهده شد.

جدول 2- اثر ریزوسفرگندم و نوع خاک بر ویژگی‌های بیولوژیکی و شیمیایی مطالعه شده

خاک	AcP		AlP		MBP		DOC	
	میکروگرم پ-نیترو فنول فسفات بر گرم خاک بر ساعت				میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم		میلی‌گرم کربن بر کیلوگرم	
	توده	ریزوسفر	توده	ریزوسفر	توده	ریزوسفر	توده	ریزوسفر
1	46	58	36	85	2/6	5/4	160	185
2	42	65	125	212	8/2	9/5f	154	172
3	44	49	87	126	6/7d	10/3	55	70
4	51	54	168	204	6/8	7/5	190	206
5	44	50	147	157	7/7	11/7	179	382
6	76	79	170	189	7/5	9/9	53	80d
7	40	50	167	169	10/1	11/8	109	186
8	51	54	164	165	21/0	16/2	50	48
9	75	72	271	290	31/8	33/2	60	68
10	ef48	82	111	208	7/9	9/0	14	18
	52b	62a	145b	181a	11b	12a	102b	142a
	LSD	F	LSD	F	LSD	F	LSD	F
محیط	4/5	19/3**	17/8	16/5**	0/53	30**	14/2	31**
خاک	10/1	10/5**	40	16/3**	1/2	396**	31/8	56**
خاک×محیط	14	2/5*	-	1/5n.s	1/7	8/87**	45	7/7**

¶** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال 99 درصد (P ≤ 0/01) و 95 درصد (P ≤ 0/05)؛ n.s در سطح احتمال 95% معنی‌دار نیست

¶¶ حروف متفاوت در سطر آخر نشان‌دهنده تفاوت معنی‌داری ویژگی مربوطه در خاک ریزوسفری و توده بر اساس آزمون **LSD** در سطح احتمال 5 درصد می‌باشد

¶¶¶ **DOC:**کربن آلی محلول؛ **MBP:** فسفر زیست‌توده میکروبی؛ **AlP :** فسفاتاز قلیایی و **AcP:** فسفاتاز اسیدی

مقدار فعالیت AcP در خاک‌های ریزوسفر و توده به ترتیب از 49 (خاک 3) تا 82 (خاک 109 و از 40 (خاک 7) تا 75 (خاک 9) میکروگرم پی-نیترو فنول فسفات بر گرم خاک در ساعت متغییر بود. مقدار AcP نیز در خاک‌های ریزوسفر به طور معنی‌داری بیشتر از خاک‌های توده بود (P≤ 0/01). نتایج مقایسه میانگین اثر خاک بر AcP نشان داد بیشترین مقدار این ویژگی در خاک‌های 6 و 9، و کمترین مقدار آن در خاک 1، 2، 3، 4، 5، 7 و 8 مشاهده شد.

نتایج تجزیه واریانس اثر نوع خاک، نوع محیط (ریزوسفر و یا توده) و اثر متقابل خاک و محیط بر جزء-های مختلف فسفر در جدول 3 آورده شده است. نتایج نشان داد که اثر خاک و اثر متقابل خاک و محیط روی همه جزءهای فسفر معنی‌دار بود، درحالیکه اثر محیط فقط روی جزءهای CBD-Pi و فسفر باقیمانده معنی‌دار بود و ریزوسفر منجربه کاهش معنی‌دار این جزءها شد. به طور کلی، مقدار هر جزء فسفر در میان 10 خاک آهکی مورد مطالعه متفاوت بود. مجموع فسفر در ارتباط با اکسیدهای

آهن و آلومینیوم و فسفر دوباره جذب سطحی شده طی مرحله‌ی اول عصاره‌گیری (NaOH+CB]-Pi)، از تنوع وسیعی در خاک‌های مطالعه شده برخوردار بود. دامنه این جزء به ترتیب در خاک‌های ریزوسفری و توده 46 (خاک 5) تا 179 (خاک 9) و از 51 (خاک 2) تا 169 (خاک 9) میلی‌گرم بر کیلوگرم، متغییر بود. نتایج مقایسه میانگین اثر خاک نشان داد که بیشترین مقدار این جزء در خاک 9 و کمترین مقدار این جزء در خاک‌های 1، 3، 4، 5 و 6 یافت شد. فسفر محلول در سیترات-بی‌کربنات-دیتیونات (CBD-Pi)، عمدتاً شامل فسفر مسدود شده در اکسیدهای آهن است و کوچکترین جزء فسفر بود. دامنه این جزء در خاک‌های ریزوسفری از 25 (خاک 1) تا 76 (خاک 9) و از 24 (خاک 4) تا 94 (خاک 9) میلی‌گرم بر کیلوگرم متغییر بود. نتایج مقایسه میانگین اثر خاک نشان داد که بیشترین مقدار این جزء در خاک 9 و کمترین مقدار این جزء در خاک‌های 1 و 4 یافت شد. بررسی نتایج نشان داد که این جزء همبستگی معنی‌داری با فسفر قابل استفاده اولیه ($P\leq 0/10$ و $r= 0/61^{*}$) خاک‌ها داشت.

جدول 3-اثر ریزوسفر گندم و نوع خاک بر جزءبندی فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

خاک	Residual-P		Po		Ca-Pi		CBD-Pi		[NaOH+CB]-Pi	
	توده	ریزوسفر	توده	ریزوسفر	توده	ریزوسفر	توده	ریزوسفر	توده	ریزوسفر
1	168	141	87	99	486	504	27	25	53	50
2	192	165	98	139	524	532	36	27	51	68
3	165	215	133	54	606	550	53	38	54	53
4	182	155	105	106	366	374	24	30	58	49
5	190	204	111	88	569	550	44	36	56	46
6	161	125	169	150	457	459	44	53	55	53
7	224	220	63	37	774	736	81	71	85	84
8	364	306	160	174	478	502	60	68	88	88
9	193	170	167	76	698	668	94	76	169	179
10	199	179	84	88	523	548	31	32	62	56
	204a	188a	117a	101b	548a	542a	49a	46b	73a	73a
	LSD	F	LSD	F	LSD	F	LSD	F	LSD	F
محیط	9/6	11/2**	6/62	25·n.s	-	2/3n.s	2/2	11/1**	-	0/38n.s
خاک	21	51/4**	14/8	45**	17/0	339**	5/0	142**	3/6	889**
خاک×محیط	46	4/0**	21	16**	36	555**	10/6	7/3**	7/7	10/3**

¶** معنی‌دار در سطح احتمال 99 درصد ($p \leq 0/01$) و $^{n.s}$ در سطح احتمال 95% معنی‌دار نیست

¶¶ حروف متفاوت در سطر آخر نشان‌دهنده تفاوت معنی‌داری ویژگی مربوطه در خاک ریزوسفری و توده بر اساس آزمون **LSD** در سطح احتمال 5 درصد می‌باشد.¶¶¶ **[NaOH+CB]-P :** مجموع فسفر پیوند شده با اکسیدهای آهن و آلومینیوم و فسفر دوباره جذب سطحی شده طی مرحله‌ی اول عصاره‌گیری؛ **CBD-P**: فسفر مسدود شده در اکسیدهای آهن؛ **Ca-P**: فسفر پیوند شده با کلسیم؛ **Residual-P**: فسفر باقیمانده.

فسفر محلول در اسید کلریدریک (Ca-Pi)، جزء فسفر حساس به pHهای پایین است و فرض می‌شود عمدتاً شامل آپاتایت و فسفر پیوند شده به کربنات‌ها است (ونگ و همکاران، 2010). نتایج نشان داد که فسفر پیوند شده به کلسیم، جزء نسبتاً پایدار فسفر در خاک‌های مطالعه شده بود (جدول 2). دامنه غلظت Ca-Pi در خاک-های ریزوسفری و توده به ترتیب از 374 تا 736 میلی‌گرم بر کیلوگرم و از 366 تا 774 میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. کمترین و بیشترین مقدار این جزء به ترتیب در خاک 4 و 7 مشاهده شد. این بخش، جزء غالب فسفر در خاک‌های مطالعه شده بود. نتایج مقایسه میانگین اثر خاک نشان داد که بیشترین مقدار این جزء در خاک 7 و کمترین مقدار این جزء در خاک 4 یافت شد. جزء فسفر باقیمانده (Residual-P)، از تنوع وسیعی در خاک‌های مطالعه شده برخوردار بود، بطوریکه دامنه این جزء در خاک‌های ریزوسفری و توده به ترتیب از 125 تا 306 میلی‌گرم بر کیلوگرم و از 161 تا 364 میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بود. کمترین و بیشترین مقدار این جزء به ترتیب در خاک 6 و 8 مشاهده شد. نتایج مقایسه میانگین اثر خاک نشان داد که بیشترین مقدار این جزء در خاک 8، و کمترین مقدار این جزء در خاک 6 یافت شد. دامنه تغییرات فسفر آلی (Po) در خاک‌های ریزوسفری و توده به ترتیب از 37 (خاک 7) تا 174 (خاک 8) و از 63 (خاک 7) تا 167 (خاک 9) میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. نتایج مقایسه میانگین اثر خاک

نشان داد که بیشترین مقدار این جزء در خاک‌های 6 و 8، و کمترین مقدار این جزء در خاک 7 یافت شد. بررسی نتایج نشان داد که این جزء همبستگی معنی‌دار با درصد رس ($P\leq0/10$ و $r=0/55^{*}$)، خاک‌ها داشت.

نتایج مطالعه همبستگی نشان داد که فعالیت AcP به طور معنی‌داری با جزء Ca-Pi و فسفر آلی در خاک‌های توده به ترتیب همبستگی منفی و مثبت داشت. در حالیکه که فعالیت AlP با [NaOH+CB]-Pi در خاک‌های ریزوسفر و توده همبستگی معنی‌داری داشت. فسفر زیست توده میکروبی با جزءهای [NaOH+CB]-Pi و CBD-Pi در خاک‌های ریزوسفری و توده و با Ca-Pi در خاک‌های ریزوسفری همبستگی معنی‌داری داشت. کربن آلی محلول با همه اجزاء فسفر معدنی همبستگی منفی داشت اما فقط همبستگی این پارامتر با جزء [NaOH+CB]-Pi در خاک-های ریزوسفری معنی‌دار بود (جدول 4).

جدول 4-ضرایب همبستگی جزءهای مختلف فسفر با ویژگی‌های بیولوژیکی (n= 10)

		AlP	AcP	MBP	DOC
[NaOH+CB]-Pi	ریزوسفر	0/55*	0/22	0/62*	-0/64*
	توده	0/60*	0/37	0/71**	-0/33
CBD-Pi	ریزوسفر	0/19	-0/16	0/90**	-0/31
	توده	0/44	0/08	0/67**	-0/42
Ca-Pi	ریزوسفر	0/04	-0/31	0/56*	0/02
	توده	-0/05	-0/55*	0/39	-0/02
Po	ریزوسفر	0/12	0/43	-0/27	-0/18
	توده	0/50	0/72**	0/12	-0/24
Residual-P	ریزوسفر	-0/03	-0/44	0/22	0/21
	توده	0/04	-0/50	0/45	0/13

¶ ^{xx} و ^{x} به ترتیب معنی‌دار در $p\leq0/05$ و $p\leq0/1$

¶¶ **[NaOH+CB]-P :** مجموع فسفر پیوند شده با اکسیدهای آهن و آلومینیوم و فسفر دوباره جذب سطحی شده طی مرحله‌ی اول عصاره‌گیری؛ **CBD-P**: فسفر مسدود شده در اکسیدهای آهن؛ **Ca-P**: فسفر پیوند شده با کلسیم؛ **Residual-P**: فسفر باقیمانده.

¶¶¶ **DOC:**کربن آلی محلول؛ **MBP:** فسفر زیست‌توده میکروبی؛ **AlP :** فسفاتاز قلیایی و **AcP:** فسفاتاز اسیدی

عملکرد خشک، غلظت فسفر و فسفر جذب شده توسط بخش هوایی گندم در ده خاک مورد مطالعه در جدول 5 آورده شده است. کمترین جذب فسفر توسط گندم مربوط به خاک 10 (0/2 میلی‌گرم در ریزوباکس) بود. بیشترین جذب فسفر توسط گندم مربوط به خاک 9 (به ترتیب 29/7 میلی‌گرم در ریزوباکس) بود (جدول 5).

جدول 5-شاخص‌های گیاه گندم در خاک‌های مطالعه شده

شماره خاک	جذب اندام هوایی	عملکرد خشک ساقه	غلظت فسفر ساقه
	میلی‌گرم فسفر بر ریزوباکس	گرم بر ریزوباکس	میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم
1	2/0	0/7	2650
2	2/7	1/0	2655
3	3/1	1/5	2000
4	4/7	2/7	1771
5	8/3	3/6	2261
6	8/1	3/1	2700
7	14/5	5/3	2761
8	13/5	5/8	2319
9	29/7	5/8	5206
10	0/2	0/4	500

بررسی نتایج همبستگی شاخص‌های گیاه گندم با جزءهای مختلف فسفر نشان داد که شاخص غلظت همبستگی معنی‌داری با جزء CBD-Pi در خاک‌های ریزوسفری و توده و با جزء [NaOH+CB]-Pi در خاک های ریزوسفری داشت. عملکرد خشک و جذب فسفر همبستگی معنی‌داری با جزء CBD-Pi در خاک‌های ریزوسفری و توده داشتند (جدول 6). علاوه براین شاخص جذب و عملکرد خشک همبستگی معنی‌داری با جزء [NaOH+CB]-Pi در خاک‌های توده داشتند.

جدول 6-ضرایب همبستگی شاخص‌های گیاه گندم با جزءهای مختلف فسفر

		غلظت	عملکرد خشک	جذب
[NaOH+CB]-Pi	ریزوسفر	0/58*	0/45	0/45
	توده	0/16	0/68**	0/68**
CBD-Pi	ریزوسفر	0/55*	0/82**	0/85**
	توده	0/64**	0/76**	0/79**
Ca-Pi	ریزوسفر	0/35	0/22	0/38
	توده	0/40	0/21	0/37
Po	ریزوسفر	-/10	-0/02	-0/21
	توده	0/34	0/50	0/43
Residual-P	ریزوسفر	-0/05	-0/08	0/09
	توده	0/13	-0/09	0/08
AlP	ریزوسفر	0/34	-0/05	0/14
	توده	0/50	0/70**	0/76**
AcP	ریزوسفر	0/09	-0/33	-0/31
	توده	0/05	0/25	0/18
MBP	ریزوسفر	0/50	0/87**	0/87**
	توده	0/48	/64**	0/64**

¶ ** و * به ترتیب معنی‌دار در $p\leq 0/05$ و $p\leq 0/1$

¶¶ **[NaOH+CB]-P :** مجموع فسفر پیوند شده با اکسیدهای آهن و آلومینیوم و فسفر دوباره جذب سطحی شده طی مرحله‌ی اول عصاره‌گیری؛ **CBD-P**: فسفر مسدود شده در اکسیدهای آهن؛ **Ca-P**: فسفر پیوند شده با کلسیم؛ **Residual-P**: فسفر باقیمانده.

¶¶¶ **MBP:** فسفر زیست‌توده میکروبی؛ **AlP :** فسفاتاز قلیایی و **AcP:** فسفاتاز اسیدی

بحث و نتیجه‌گیری

به طور کلی، نتایج این آزمایش نشان داد که فراوانی جزءهای فسفر معدنی و آلی با نوع خاک تغییر کرد. فسفر معدنی در ارتباط با کلسیم و فسفر باقیمانده در همه خاک‌های ریزوسفری و توده اولین و دومین جزء غالب بودند. فسفر آلی در اغلب خاک‌ها، چه خاک‌های ریزوسفری و چه خاک‌های توده، سومین جزء بود. رده فراوانی جزءهای Pi–[NaOH+CB] و CBD-Pi در خاک‌های ریزوسفری و توده به ترتیب چهارم و پنجم بود. وفور Ca-P به علت غالب بودن یون کلسیم در خاک‌های آهکی می‌باشد. یو و همکاران (2006) گزارش کردند که 45 تا 60 درصد از کل فسفر خاک‌های خنثی تا قلیایی قابل استخراج با اسید کلریدریک است. همچنین دلگادو و همکاران (2000) نیز گزارش کردند که جزء فسفر قابل استخراج توسط اسید، جزء غالب فسفر در خاک‌های آهکی مورد مطالعه بود. گزارشاتی نیز مبنی بر غالب بودن جزء فسفر همراه با کلسیم در خاک‌های ایران وجود دارد (سمواتی و حسین پور 1390 و مستشاری، 2008). وفور جزء باقیمانده فسفر در خاک‌های مناطق خشک و خاک‌های آهکی توسط دیگر محققین نیز گزارش شده است (شاهین و همکاران، 2007 و آراجو ماریا و همکاران، 2004).

بررسی نتایج نشان داد که ریزوسفر گندم منجربه تخلیه معنی‌دار جزءهای CBD-Pi و فسفر باقیمانده شد. به طور کلی، تخلیه فسفر معدنی به دلیل جذب فسفر معدنی توسط گیاه و ریزجانداران می‌باشد. علاوه بر این، نقش توزیع جزءهای فسفر معدنی بین خاک‌های ریزسفری و توده متفاوت بود. صفری سنجانی و رشیدی (2011) گزارش کردند که مقدار کاهش فسفر آپاتایت در ریزوسفر گندم بیشتر از مقدار کاهش این جزء در

ریزوسفر لوبیا بود. در خاک‌های قلیایی دیگر نیز تخلیه فسفر باقیمانده در ریزوسفر گندم و خلر (ویو و همکاران، 2008) و ریزوسفر خلر (رز و همکاران، 2010) گزارش شده است. زویسا و همکاران (1999) گزارش کرد که – Pi[NaOH+CB] و H_2SO_4-Pi در ریزوسفر چای نسبت به خاک‌های توده کاهش یافتند. رز و همکاران (2010) گزارش کردند که جزء P–[NaOH+CB] در خاک‌های قلیایی یکی از جزءهای فسفر معدنی تخلیه شده توسط گندم بود. همچنین این محققین تغییر معنی‌داری در جزء Ca-Pi یافت نکردند.

بررسی نتایج ضریب همبستگی حاکی از وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی با Pi-[NaOH+CB]، در خاک‌های ریزوسفری بود. همبستگی مثبت بین فعالیت AlP و جزءهای معدنی فسفر نشان داد که احتمالاً معدنی شدن فسفر آلی به دنبال افزایش فعالیت AlP افزایش یافته است. گزارشاتی مبنی بر همبستگی مثبت و معنی‌دار فعالیت فسفاتاز قلیایی با فسفر کل و اجزاء معدنی فسفر وجود دارد (یو و همکاران، 2006 و چن، 2003). نتایج چن (2003) حاکی از وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین فسفر کل، فسفر آلی و فسفر معدنی با فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی بود. در این مطالعه همبستگی معنی‌داری بین فسفر آلی و فعالیت AlP یافت نشد، در حالیکه مقدار فسفر آلی در خاک‌های ریزوسفری و توده همبستگی مثبت با فعالیت AcP داشت. رابطه مثبت بین فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی و فسفر آلی ممکن است حاکی از این امر باشد که تولیدات حاصل از تخریب میکروبی و ترشحات آلی گیاه می‌توانند منجربه واجذبی فسفر جذب سطحی شده، گشته و همچنین، می‌توانند حلالیت فسفر غیرقابل دسترس گیاه را افزایش داده و منجربه تجمع فسفر آلی در خاک گردند. همان طور که مشاهده شد، DOC با همه اجزاء فسفر همبستگی منفی داشت اما همبستگی این پارامتر تنها با جزء Pi-[NaOH+CB] در خاک‌های ریزوسفری معنی‌دار بود. در اغلب مطالعات، همبستگی معنی‌دار بین جزء NaOH–Po فسفر آلی و فعالیت AcP یافت شده است (ونگ و همکاران، 2008؛ نوروزمان و همکاران، 2006 و چن و همکاران، 2002). نوروزمان و همکاران (2006) گزارش کردند که هرچه فعالیت فسفاتاز اسیدی بالاتر باشد تخلیه NaOH-Po و $NaHCO_3$-Po بیشتر خواهد بود. ترفدار و جیوانگ (1987) همبستگی معنی‌داری بین فسفر آلی و فعالیت فسفاتاز اسیدی در خاک‌های ریزوسفری گندم (r=0/99**) و شبدر (r=0/97**) یافتند.

تناقض بین مطالعات مختلف در ارتباط با رابطه‌ی بین فعالیت فسفاتاز و معدنی شدن فسفر آلی در ریزوسفر ممکن است به اثر متقابل پیچیده‌ی بین چندین فاکتور شامل گونه گیاه، خصوصیات خاک (شکل و مقدار فسفر، pH و رطوبت خاک) و زمان (مراحل مختلف رشد گیاه) (مک‌کنزی و همکاران، 1995) نسبت داده شود. بنابراین به طور کلی فسفر معدنی آزاد شده توسط هیدرولیز آنزیمی می‌تواند در بدن ریزجانداران با سرعت تجزیه بالا تجمع یابد و یا به طور مستقیم در جزءهای معدنی فسفر تجمع یابد. بنابراین، آزادسازی فسفر معدنی توسط فسفاتازها می‌تواند یکی از دلایل تجمع فسفر معدنی در ریزوسفر باشد. علاوه بر ظرفیت متحرک‌سازی فسفر توسط ترشحات ریشه و ریزجانداران، جذب و آزادسازی فسفر از زیست توده میکروبی هم می‌تواند تعیین کننده قابلیت استفاده فسفر باشد (مارشنر و همکاران، 2007). زیست توده میکروبی به نظر می‌رسد منبع مهمی از فسفر و مخزن مهمی برای فسفر باشد اما باید به این نکته توجه کرد که یک منبع کوچک با سرعت تجزیه بالا ممکن است فسفر بیشتری از یک منبع بزرگ با سرعت تجزیه کند آزاد سازد (مارشنر و همکاران، 2007). گزارشات حاکی است سیکل فسفر از طریق فسفر زیست‌توده میکروبی می‌تواند یک مکانیسم حفاظتی فسفر لبایل در خاک‌های با قابلیت دسترسی پایین فسفر می‌باشد (آدنیی و اگبنین، 2005). از آنجا که گیاه فسفر معدنی را جذب می‌کند، در صورتیکه سرعت تجزیه فسفر زیست‌توده میکروبی بالا باشد و متناسب با زمان نیاز گیاه به فسفر باشد می‌تواند بخشی از نیاز گیاه به فسفر را تأمین نماید اما در صورتیکه سرعت تجزیه این منبع فسفر کم باشد علیرغم اینکه درصد بالای از فسفر را به خود اختصاص داده باشد نمی‌تواند در تأمین فسفر مورد نیاز گیاه سهیم باشد. علاوه براین، جزء فسفر باقیمانده می‌تواند در بین جزءهای دیگر توزیع مجدد شود.

بررسی نتایج همبستگی شاخص‌های گیاه گندم با جزءهای مختلف فسفر نشان داد که عملکرد خشک و جذب فسفر همبستگی معنی‌داری با جزء CBD-Pi در خاک‌های ریزوسفری و توده داشتند. علاوه براین شاخص جذب و عملکرد خشک همبستگی معنی‌داری با جزء Pi-[NaOH+CB] در خاک‌های توده داشتند.

نتایج همبستگی نشان داد که عملکرد خشک و جذب فسفر توسط گندم همبستگی معنی‌داری با فسفر زیست توده میکروبی در خاک‌های ریزوسفری وتوده و با فعالیت فسفاتاز قلیایی در خاک‌های توده داشت. دامنه کفایت فسفر برای گندم بهاره در زمان ظهور خوشه

0/20-0/50 درصد (خوشگفتارمنش، 1385) می‌باشد. طبق تجزیه بخش هوایی گندم، غلظت فسفر در همه‌ی خاک‌ها به استثنا خاک شماره 10 و خاک شماره 9 نزدیک مرز پایینی دامنه کفایت قرار داشت. غلظت فسفر در بخش هوایی گندم رشد یافته در خاک 9 بالاتر از حد کفایت بود و در مرز زیاد بود قرار می‌گرفت اما غلظت فسفر در بخش هوایی گندم رشد یافته در خاک 10 پایین‌تر از حد کفایت بود. همچنین نتایج مطالعات همبستگی بین شاخص‌های گیاه و ویژگی‌های بیولوژیکی نشان داد که شاخص‌های گندم همبستگی معنی‌داری با فسفر زیست توده میکروبی داشتند. بنابراین می‌توان گفت در خاک‌های مطالعه شده چرخه میکروبی در کنترل و تنظیم فسفر قابل دسترس گیاه نقش مهمی داشته است. در گذشته نیز همبستگی قوی بین شاخص‌های گیاهی و MBP گزارش شده است (مارشنر و همکاران، 2007 و 2005).

بررسی نتایج نشان داد که ریزوسفر گندم منجربه تخلیه معنی‌دار جزءهای CBD-Pi و فسفر باقیمانده شد. تخلیه فسفر معدنی به دلیل جذب فسفر معدنی توسط گیاه و ریزجانداران می‌باشد. علاوه براین، نقش توزیع جزءهای فسفر معدنی بین خاک‌های ریزسفری و توده متفاوت بود. بررسی نتایج ضریب همبستگی حاکی از وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی با [NaOH+CB]-Pi، در خاک‌های ریزوسفری بود. همبستگی مثبت بین فعالیت AlP و جزءهای معدنی فسفر نشان داد که احتمالاً معدنی شدن فسفر آلی به دنبال افزایش فعالیت AlP افزایش یافته است. علاوه براین، مقدار فسفر آلی در خاک‌های ریزوسفری و توده همبستگی مثبت با فعالیت AcP داشت. DOC با همه اجزاء فسفر همبستگی منفی داشت اما فقط همبستگی این پارامتر تنها با جزء [NaOH+CB]-Pi در خاک‌های ریزوسفری معنی‌دار بود. در واقع تولیدات حاصل از تخریب میکروبی و ترشحات آلی گیاه می‌توانند منجربه واجذبی فسفر جذب سطحی شده، گشته و همچنین، می‌توانند حلالیت فسفر غیرقابل دسترس گیاه را افزایش داده منجربه تجمع فسفر آلی در خاک گردند و همچنین بخشی از نیاز گیاه به فسفر را تأمین نماید. به طور کلی ریزوسفر گندم جزءبندی فسفر، فسفر زیست‌توده میکروبی، کربن آلی محلول و فعالیت فسفاتازهای قلیایی و اسیدی را تحت‌تأثیر قرار داد. جزءهای فسفر در خاک‌های ریزوسفری تغییر کرد ولیکن تبدیلات داخلی جزءهای مختلف و مکانیسم‌های درگیر به خوبی مشخص نمی‌باشند. با توجه به نتایج همبستگی به نظر می‌رسد، جزء فسفر مسدود شده در اکسیدهای آهن (CBD-Pi) می‌توانند برآوردی مناسب از فسفر قابل استفاده گندم در خاک‌های مورد مطالعه داشته باشند. هم‌چنین، فسفر زیست توده میکروبی نیز می‌تواند در برآورد فسفر قابل استفاده گندم در خاک‌های مورد مطالعه مفید باشد.

فهرست منابع:

۱. خوشگفتارمنش، ا.ح. 1385. ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای گیاه و مدیریت بهینه کودی. مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.

۲. زارع‌نیا، م. 1390. ارزیابی عصارگیرهای شیمیایی مختلف برای تعیین پتاسیم قابل اتفاده لوبیا چیتی در برخی از خاک‌های استان چهارمحال و بختیاری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

۳. سمواتی، م. و حسین‌پور،ع. 1390. اجزای مختلف فسفر معدنی و قابلیت فراهمی آن در تعدادی از خاک‌های استان همدان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، 15: 127-137.

4. Agbenin J.O., and T. Adeniyi. 2005. The microbial biomass properties of a savanna soil under improved grass and legume pastures in northern Nigeria. Agric Ecosyst Environ. 109: 245–254.
5. AraujoMaria, S.B., C.E.R. Schaefer, and E.V.S. Sampaio. 2004. Soil phosphorus fractions from toposequences of semi-arid Latosols and Luvisols in northeastern Brazil. Geoderma, 119: 309–321.
6. Beck, M.A., and P.A. Sanchez. 1994. Soil phosphorus fraction dynamics during 18 years of cultivation on a Typic Paleudult. Soil Sci. Soc. Am. J. 58: 1424–1431.
7. Brookes, P.C., D.S. Powlson, and D.S. Jenkinson. 1982. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. Soil Biol. Biochem. 14: 319-329.

8. Chang, S.C., and M.L. Jackson. 1957. Fractionation of soil phosphorus. Soil Sci. 84: 133–144.
9. Chen, H. 2003. Phosphatase activity and P fractions in soils of an 18-year-old Chinese fir (Cunninghamia lanceolata) plantation. Forest Ecol. Manag. 178: 301–310.
10. Chen, C.R., and L.M. Condron, M.R. Davis, and R.R. Sherlock. 2002. Phosphorus dynamics in the rhizosphere of perennial ryegrass (Lolium perenne L.) and radiata pine (Pinus radiata D. Don.). Soil Biol. Biochem. 34: 487-499.
11. Delgado, A., J.R. Ruiz, M.D. Del Campillo, S. Kassem, and L. Andreu. 2000. Calcium- and iron-related phosphorus in calcareous and calcareous marsh soils: Sequential chemical fractionation and P-31 nuclear magnetic resonance study. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 31: 2483-2499.
12. Eivazi, F., and M. A. Tahatahai. 1977. Phosphatase in soils. Soil Biol. Biochem. 9: 167-172.
13. Gee, G.H., and J.W. Bauder. 1986. Particle size analysis. In: A. Klute (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 2 physical properties. SSSA, Madison, WI.
14. George, T.S., P.J. Gregory, M. Wood, D. Read, and R.J. Buresh. 2002. Phosphatase activity and organic acids in the rhizosphere of potential agroforestry species and maize. Soil Biol. Biochem. 34: 1487-1494.
15. Hinsinger, P. 2001. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. Plant Soil, 237:173–195
16. Kuo, S. 1996. Phosphorus. In: D.L. Sparks (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3 chemical methods. SSSA, Madison, WI.
17. Larsen, S. 1967.Soil phosphorus. Adv. Agron. 19: 151–210.
18. Loeppert, R.H., and D.L. Sparks. 1996. Carbonate and gypsum. In: D.L. Sparks (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3 chemical methods. SSSA Madison WI.
19. Marschner, P., Z. Solaiman, and Z. Rengel. 2007. Brassica genotypes differ in growth, phosphorus uptake and rhizosphere properties under P-limiting conditions. Soil Biol. Biochem.39: 87-98.
20. Marschner, P., Z. Solaiman, and Z. Rengel. 2005. Growth phosphorus uptake and rhizosphere microbial community composition of a phosphorus-efficient wheat cultivar in soils differing in pH. Journal of J. Plant Nutr. Soil Sc. 168: 343-351.
21. McKenzir, R.H., J.F. Dormaar, G.B. Schaalje, and J.W.B. Stewart. 1995. Chemical and biological change in the rhizosphere of wheat and canola. Can. J. of Soil Sci. 75:439-447.
22. Mostashari, M., M. Muazardalan, N. Karimian, H.M. Hosseini, and H. Rezai. 2008. Phosphorus fractions of selected Calcareous soils of Qazvin province and their relationships with soil characteristics. American-Eurasian. J. Agric. Environ. Sci. 547-553
23. Murphy, J., and J.P. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chem. Acta. 27:31-36.
24. Nelson, D.W., and L.E. Summers. 1996. Total carbon organic carbon and organic matter. In: D.L. Sparks (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3 chemical methods. SSSA Madison WI.
25. Nuruzzaman, M., H. Lambers, M.D.A. Bolland, and E.J. Veneklaas. 2006. Distribution of carboxylates and acid phosphatase and depletion of different phosphorus fractions in the rhizosphere of a cereal and three grain legumes. Plant Soil, 281: 109-12.
26. Olsen, S.R., and L.E. Sommers. 1982. Phosphorus. In A. Klute (Ed.), *Methods of Soil Analysis*. Part1 chemical and biological properties. SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
27. Rhoades, J.D. 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. In: D.L. Sparks (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3 chemical methods. SSSA, Medison, WI.

28. Rose, T.J., B. Hardiputra, and Z. Rengel. 2010. Wheat, canola and grain legume access to soil phosphorus fractions differs in soils with contrasting phosphorus dynamics. Plant Soil, 326: 159–170.
29. Ryan, J., D. Curtin, and M.A. Cheema.1985. Significance of iron oxides and calcium carbonate particle size in phosphate sorption by calcareous soils. Soil Sci. Soc. Am. J.49: 74-76.
30. Safari Sinegani, A.A., and T. Rashidi. 2011. Changes in phosphorus fractions in the rhizosphere of some crop species under glasshouse conditions.J. Plant Nutr. Soil Sci. 2011, 174,899–907
31. Shaheen, S.M., Ch.D. Tsadilas, and S. Stamatiadis. 2007. Inorganic phosphorus forms in some entisols and aridisols of Egypt. Geoderma, 142: 217–225.
32. StatSoft, Inc. 2010. STATISTICA (data analysis software system), Version 10. www. Statsoft.com.
33. Sumner, M.E. and W.P. Miller. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficient. In: D.L. Sparks (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3 chemical methods. SSSA Madison WI.
34. Tabatabai, M.A., and J.M. Bremner. 1969. Use of *p*-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. Soil Biol. Biochem. 1: 301-307.
35. Tarafdar, J.C., and A. Jungk. 1987. Phosphatase activity in the rhizosphereand its relation to the depletion of soil organic phosphorus. Biol Fertil Soil 3:199-204.
36. Thomas, G.W.1996. Soil pH and soil acidity. In: D.L. Sparks (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3 chemical methods. SSSA Madison WI.
37. Uren, N.C. 2007. Types, amounts, and possible functions of compounds released into the rhizosphere by soil-grown plants. In: R. Pinton, Z. Varanini and P. Nannipieri (2rd ed.), The Rhizosphere: Biochemistry and Organic Substances at the Soil-Plant Interface. CRC Press.
38. Vu, D.T., C. Tang, and R.D. Armstrong. 2008. Changes and availability of P fractions following 65 years of P application to a calcareous soil in a Mediterranean climate. Plant Soil, 304: 21-33.
39. Wang, X., C. Tang, C.N. Guppy, and P.W.G. Sale. 2008. Phosphorus acquisition characteristics of cotton (Gossypium hirsutum L.) wheat (Triticum aestivum L.) and white lupin (Lupinus albus L.) under P deficient conditions. Plant Soil, 312: 117–128.
40. Youssef, R.A. and M. Chino. 1988. Development of a new rhizobox system to study the nutrient status in the rhizosphere. Soil Sci. Plant Nutr. 34: 461–465.
41. Yu, S., Z.L. He, P.J. Stoffella, D.V. Calvert, X.E. Yang, D.J. Banks, and V.C. Baligan.2006. Surface runoff phosphorus (P) loss in relation to phosphatesactivity and soil P fractions in Florida sandy soils under citrus production. Soil Biol. Biochem., 38: 619–628.
42. Zoysa, A.K.N., P. Loganathan, and M.J. Hedley. 1999. Phosphorus utilisation efficiency and depletion of phosphate fractions in the rhizosphere of three tea (*Camellia sinensis L.*) clones. Nutr. Cycl. Agroecosys.53: 189–201.