

شکل‌های معدنی فسفر و ارتباط آن با ویژگی‌های خاک در برخی خاک‌های آهکی استان فارس

ابوالفضل آزادی^{۱*} - مجید باقرنژاد^۲ - نجفعلی کریمیان^۳ - سید علی ابطحی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۲/۰۹

چکیده

فسفر به‌عنوان یک عنصر ضروری در تولید محصولات کشاورزی به شمار می‌رود. تعیین شکل‌های مختلف فسفر در خاک در ارزیابی وضعیت فسفر خاک مهم است. به همین منظور، مقدار و توزیع فسفر در شکل‌های معدنی در ۴۹ نمونه خاک استان فارس بررسی شد. خاک‌ها به‌صورت دنباله‌ای به‌منظور تعیین اجزای معدنی فسفر عصاره‌گیری شدند. فسفات معدنی به شش جزء شامل: دی کلسیم فسفات، اکتا کلسیم فسفات، آپاتیت، فسفات پیوند شده با آلومینیوم، فسفات پیوند شده با آهن و فسفر حبس شده درون اکسیدهای آهن تفکیک شدند. نتایج این تحقیق نشان داد که دامنه اجزای مختلف فسفر دارای تغییرات زیادی بود. تغییرات فسفر کل خاک‌ها در دامنه ۱۴۵۸/۶۸-۳۰۱/۸۷ با میانگین ۶۲۶/۶۳ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. دامنه تغییرات فسفات‌های کلسیم ۱۴۷/۸۳-۶۶۶/۹۰ با میانگین ۳۲۴/۷۹ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بود که ۸۵ درصد فسفر معدنی و ۵۲ درصد از فسفر کل را تشکیل می‌دهد که شکل غالب فسفر خاک است. دامنه تغییرات فسفات پیوند شده با آهن ۵۹/۱۸-۰/۳۸ با میانگین ۷/۵۶ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بود که ۱/۹۷ درصد فسفر معدنی و ۱/۲۱ درصد از فسفر کل را تشکیل می‌دهد. دامنه تغییرات فسفات پیوند شده با آلومینیوم ۱۲۳/۰۹-۲۰/۴۹ با میانگین ۵۲/۲۸ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بود که ۱۳/۶۴ درصد فسفر معدنی و ۸/۳۴ درصد از فسفر کل را تشکیل می‌دهد. نتایج مطالعات همبستگی نشان داد که فسفر قابل دسترس (فسفر عصاره‌گیری شده به روش اولسن) همبستگی معنی‌داری با دی کلسیم فسفات، اکتا کلسیم فسفات، فسفات پیوند شده با آلومینیوم، آپاتیت و فسفر کل داشت؛ بنابراین در خاک‌های آهکی تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و شکل‌های معدنی فسفر خاک و ارتباط آن‌ها با یکدیگر، اطلاعات مفیدی را برای ارزیابی وضعیت فسفر و نیز حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه در اختیار می‌گذارد.

واژه‌های کلیدی: خاک‌های آهکی، عصاره‌گیری دنباله‌ای، فسفات کلسیم

مقدمه

فسفر و صرف هزینه‌های اقتصادی بالایی می‌شود (۱۴). بنابراین اطلاع از وضعیت، شکل‌های فسفر و تغییرات آن‌ها در خاک‌های آهکی اهمیت ویژه‌ای دارد و جداسازی اجزای مختلف فسفر برای به دست آوردن اطلاعاتی درباره وضعیت فسفر قابل دسترس در خاک مفید است. در همین راستا چنگ و جکسون (۲) روشی را ابداع کردند که طی آن فسفر به چهار شکل اصلی: فسفر پیوند شده با آلومینیوم، فسفر پیوند شده با آهن، فسفر پیوند شده با کلسیم و فسفر با حالیت کم تقسیم و در این روش فسفر پیوند شده با آلومینیوم با عصاره‌گیر فلورید آمونیوم عصاره‌گیری می‌شد. فیف (۴) گزارش کرد فسفر پیوند شده با آلومینیوم با این عصاره‌گیر به‌طور کامل عصاره‌گیری نشده و ترکیبی نامحلول به نام فلورید کلسیم در خاک تشکیل می‌شود و این امر باعث شد این روش منسوخ گردد. روش دیگر تعیین شکل‌های مختلف فسفر بر اساس عصاره‌گیری متوالی توسط هدلی و همکاران (۸) معرفی شد که طی آن فسفرهای قابل دسترس (فسفر محلول در آب و فسفر عصاره‌گیری شده توسط بی‌کربنات سدیم) و فسفر متصل به کلسیم (فسفر عصاره‌گیری شده توسط اسید کلریدریک) و

فسفر در بین عناصر غذایی بعد از نیتروژن مهم‌ترین عامل محدودکننده تولیدات کشاورزی در بیش‌تر مناطق جهان و ایران می‌باشد (۲۱). به دلیل جذب سطحی فسفر، تشکیل رسوب و یا تبدیل فسفر به شکل‌های آلی، معمولاً باز یافت فسفر توسط گیاهان زراعی کم است (۶). برای انجام پژوهش در خصوص شکل‌های معدنی فسفر و پیگیری سرنوشت تغییر شکل‌های فسفر موجود در کودهای شیمیایی پس از کاربرد در خاک، راهبرد اصلی، تعیین شکل‌های فسفر از راه عصاره‌گیری متوالی برای کمی‌سازی شکل‌های مختلف فسفر در خاک بوده است. در ایران بیش از ۶۰ درصد اراضی زیر کشت به درجات مختلف آهکی هستند (۲۱). به همین دلیل کارایی مصرف کودهای فسفاتی در این اراضی کم بوده و باعث مصرف بیش از اندازه

۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب دانشجوی دکتری و استادان گروه علوم خاک، دانشگاه شیراز

*- نویسنده مسئول: (Email: abolfazl_azadi@yahoo.com)

بر پایه ضرایب همبستگی بین اجزای مختلف فسفر و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک: درصد رس، گنجایش تبادل کاتیونی، کربنات کلسیم معادل، کربن آلی، اسیدیته و قابلیت هدایت الکتریکی خاک، اثر معنی‌داری بر شکل‌های مختلف فسفر معدنی و فسفر آلی داشتند. مستشاری و همکاران (۶)، در مطالعه برخی خاک‌های آهکی منطقه قزوین، بین درصد رس با فسفات‌های آهن و همچنین بین ظرفیت تبادل کاتیونی با فسفات‌های آلومینیوم و فسفر محبوس روابط مثبت و معنی‌دار و بین درصد آهک فعال با آپاتیت همبستگی معنی‌دار و منفی گزارش کرده‌اند. اولسن و همکاران (۲۱)، به نقش فعال و مؤثر اکسیدهای آهن و آلومینیوم اشاره کرده‌اند. مستشاری و همکاران (۱۵)، در مطالعه برخی خاک‌های آهکی منطقه قزوین، بین درصد رس با فسفات‌های آهن و همچنین بین ظرفیت تبادل کاتیونی با فسفات‌های آلومینیوم و فسفر محبوس روابط مثبت و معنی‌دار و بین درصد آهک فعال با آپاتیت همبستگی معنی‌دار و منفی گزارش کرده‌اند. پژوهش حاضر جهت تعیین شکل‌های معدنی فسفر و ارتباط آن‌ها با یکدیگر و با برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در ۴۹ نمونه از خاک‌های استان فارس انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش بر اساس نقشه‌های توپوگرافی، خاکشناسی و عکس‌های هوایی استان و همچنین نقشه رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک ایران سه منطقه شهرستان اقلید و آباده به ترتیب با رژیم‌های رطوبتی اریدیک و زریک و رژیم دمایی مزیک در شمال استان فارس و شهرستان ممسنی با رژیم رطوبتی یوستیک و رژیم دمایی هایپرترمیک در غرب استان مناطق دارای مواد مادری یکسان و آهکی و واحدهای فیزیوگرافی مشابه انتخاب شدند و تعداد چهل و نه نمونه خاک از این مناطق انتخاب و جمع‌آوری گردیدند. نمونه‌های خاک جمع‌آوری شده پس از هوا خشک شدن، از الک دو میلی‌متری عبور داده شده و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مانند بافت خاک به روش هیدرومتر (۵)، کربن آلی به روش سوزاندن تر (۱۷)، پهاش در خمیر اشباع به‌وسیله دستگاه پهاش‌متر (۳۵)، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک با استفاده از استات سدیم یک نرمال (۳۳)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی با اسیدکلریدریک تعیین شدند.

جداسازی شکل‌های معدنی فسفر و فسفر کل

جیانگ و گو (۱۰) روشی را برای تعیین اجزای مختلف فسفر در خاک‌های آهکی پیشنهاد کردند که طی آن فرض بر این است اجزای مختلف فسفر به شکل یک ترکیب شیمیایی مشخص در خاک وجود دارند و می‌توانند با عصاره‌گیرهای مختلف عصاره‌گیری شوند.

فسفرهای معدنی متصل به آهن و آلومینیوم (فسفر عصاره‌گیری شده با هیدروکسید سدیم) به خوبی فسفر قابل استفاده و پایدار آلی قابل کمی‌سازی هستند. روش‌های دیگری نیز برای تعیین اجزای مختلف فسفر وجود داشته ولی از حساسیت و دقت کافی برخوردار نبودند، جیانگ و گو (۱۰)، روشی را برای تعیین اجزای مختلف فسفر در خاک‌های آهکی پیشنهاد کردند که طی آن فرض بر این است اجزای مختلف فسفر به شکل یک ترکیب شیمیایی مشخص در خاک وجود دارند و می‌توانند با عصاره‌گیرهای مختلف عصاره‌گیری شوند. صمدی و جیلکز (۲۳) در مطالعات خود با استفاده از روش جیانگ و گو برای ارزیابی شکل‌های فسفر در خاک‌های آهکی غرب استرالیا نشان دادند که فسفر معدنی خاک در ۶ گروه شامل: فسفر پیوندیافته با کلسیم (Ca-P)، فسفر پیوندیافته با آلومینیوم (Al-P)، آپاتیت (Ca10-P)، اکتافسفات کلسیم (Ca8-P)، فسفر پیوندیافته با آهن (Fe-P) و فسفر محبوس شده درون اکسیدهای آهن (O-P)، طبقه‌بندی می‌شود. از بررسی شکل‌های مختلف فسفر به منظور تعیین و تفسیر روابط میان این شکل‌ها و نتایج آزمون‌های؛ فسفر خاک (۷، ۱۲، ۳۱، ۲۲)، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک (۱۳، ۲۳، ۲۴، ۲۹ و ۳۶) نیز استفاده شده است. دهقانی و همکاران (۳)، شکل‌های مختلف فسفر معدنی پنج نمونه از خاک‌های منطقه اصفهان را بررسی نمودند، از میان اجزای مختلف فسفر معدنی آپاتیت با متوسط ۳۸ درصد بیشترین بخش فسفر معدنی را تشکیل داد و بعد از آن به ترتیب اکتاکلسیم فسفات با ۲۱ درصد، فسفات‌های آلومینیوم با ۱۴ درصد، فسفات‌های محبوس در اکسیدهای آهن با ۱۱ درصد، فسفات‌های آهن با ۱۱ درصد و دی‌کلسیم فسفات با ۱/۹ درصد قرار داشتند. شودسلطانی و صمدی (۱۳)، در تعدادی از خاک‌های آهکی استان فارس گزارش کردند که فسفر آلی و فسفرهای پیوندیافته با کلسیم فقط با درصد رس و فسفرهای پیوندیافته با آهن و آلومینیوم با درصد رس و کربنات کلسیم دارای رابطه آماری معنی‌دار بودند. آن‌ها مهم‌ترین عامل در قابلیت استفاده فسفر در این خاک‌ها را درصد رس بیان کردند. شکل‌های مختلف فسفر در خاک می‌توانند بر حاصلخیزی خاک و فسفر قابل استفاده تأثیر داشته باشد. تأثیر ویژگی‌های خاک مانند پهاش، کربن آلی، درصد رس و ظرفیت تبادل کاتیونی بر شکل‌های مختلف فسفر، به‌وسیله پژوهشگران مختلفی گزارش شده است (۱۳، ۲۰، ۲۳، ۲۹ و ۳۱). بخت سعید و داگرمنجی (۱) نشان دادند که بین فسفر قابل استفاده و میزان کربنات کلسیم همبستگی معنی‌دار وجود ندارد. تیلر (۳۶) در خاک‌های علفزار شرق سوئد نشان داد که اجزای فسفر معدنی پیوند شده با آهن، آلومینیوم و کلسیم رابطه نزدیکی با اسیدیته خاک دارند و بین یون‌های ارتوفسفات پیوند شده با آهن و pH رابطه خطی و منفی وجود دارد. سمواتی و حسین پور (۲۹)، در بررسی شکل‌های مختلف فسفر در خاک‌های همدان بیان داشتند که

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد استفاده
Table 1- Selected physic-chemical properties of soils used

شماره خاک	ظرفیت تبادل کاتیونی	آهک	شن	رس	ماده آلی	فسفر اولسن	قابلیت هدایت الکتریکی	پ هاش
Soil.NO	CEC Cmol(+)-kg-1	CCE	Sand %	Clay	OM	Olsen-P Mg kg-1	EC dS.m-1	pH
1	24.86	47.05	19.28	38.16	1.36	6.00	0.77	7.68
2	23.40	49.53	31.28	40.16	0.73	10.90	0.32	7.97
3	19.15	55.22	2	42.16	2.76	5.00	2.17	7.35
4	17.78	57.45	11.28	48.16	0.83	8.70	0.34	7.22
5	11.28	66.11	6	46.16	0.43	10.50	0.45	8.32
6	19.15	56.95	11.28	44.16	1.66	18.80	0.93	7.92
7	15.11	59.43	9.28	40.16	1.46	4.50	0.78	8.08
8	16.43	56.46	13.28	46.16	0.50	4.30	1.09	8.30
9	17.78	54.97	11.28	54.16	0.37	4.50	1.01	8.20
10	19.15	59.43	15.28	40.16	0.66	21.00	1.40	7.02
11	15.11	62.64	23.28	32.88	0.50	15.80	0.55	7.55
12	17.78	57.45	10.56	48.88	0.17	12.50	0.66	7.77
13	17.78	54.97	4.56	60.16	0.17	8.50	1.09	8.00
14	19.15	56.70	8.56	16.48	0.80	10.10	1.01	7.72
15	17.78	53.73	10.56	60.88	0.66	3.00	0.78	8.21
16	17.78	54.97	10.56	60.88	0.50	3.60	1.05	8.26
17	16.43	52.25	36.56	42.88	0.23	4.10	1.28	8.06
18	6.49	60.91	70.56	8.16	0.17	10.10	0.43	8.13
19	7.65	66.35	69.28	8.16	0.07	3.20	0.30	8.36
20	11.28	45.57	44	38.16	0.06	3.00	1.86	8.13
21	11.28	50.77	52	22.16	0.33	5.00	6.12	8.00
22	13.81	59.18	54	24.16	0.20	3.30	0.74	7.20
23	12.53	50.52	53.28	10.16	0.50	10.10	5.23	7.60
24	8.84	54.72	46.56	15.44	0.83	27.20	0.43	8.16
25	8.84	61.90	57.28	20.16	0.50	5.60	1.47	8.12
26	8.84	65.12	54	30.16	0.17	3.90	5.12	8.00
27	7.65	62.89	63.26	16.16	0.33	13.50	0.69	8.05
28	8.84	60.66	39.28	30.16	0.17	3.90	1.47	8.24
29	11.28	48.54	52.56	26.16	0.10	3.70	3.29	7.98
30	11.28	58.19	65.28	17.44	0.73	11.30	0.75	8.09
31	10.05	59.67	50.56	26.16	0.96	6.00	5.43	8.91
32	5.35	74.27	47.84	12.16	0.17	4.50	3.45	7.80
33	29.39	9.94	57.28	28.16	0.37	15.20	0.26	7.95
34	24.86	31.22	35.28	42.16	0.83	9.10	0.28	7.82
35	20.54	31.22	58.56	19.44	0.60	22.00	0.48	7.93
36	19.15	39.63	35.28	42.16	0.40	5.70	0.29	7.79
37	20.54	40.87	31.28	34.88	0.13	5.70	0.25	7.79
38	19.15	50.77	52.56	34.88	0.30	7.50	0.26	7.68
39	24.86	15.38	22.56	29.44	1.56	15.90	0.50	7.95
40	24.86	22.31	18.56	45.44	0.93	5.00	0.38	7.79
41	24.86	28.74	26.56	41.44	0.60	5.40	0.29	7.48
42	21.96	35.92	38.56	37.44	0.73	6.10	0.30	7.88
43	24.86	58.19	26.56	44.16	5.24	15.80	3.91	7.44
44	16.43	62.64	14.56	62.16	0.53	6.00	0.63	7.58
45	15.11	62.64	18.56	52.16	0.50	5.10	0.48	7.90
46	19.15	54.72	18.56	39.44	0.37	5.40	0.47	7.33
47	20.54	39.63	19.84	26.16	85.3	25.00	3.60	7.34
48	20.54	43.59	5.84	41.44	2.59	13.80	5.43	7.64
49	20.54	42.10	11.84	50.16	1.26	7.20	2.56	7.79
میانگین	16.68	51.10	31.57	36.13	0.79	9.02	1.49	7.85
دامنه	5.35-29.39	9.94-74.27	2-70.56	8.16-62.16	0.06-5.24	3-27.20	0.25-6.12	7.02-8.36

۵۴ در صد فسفر معدنی، فسفر کل خاک‌ها بین ۱۴۵۸/۶۸-۳۰۱/۸۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد. البته باید بیان نمود که در خاک‌های مورد مطالعه فسفر حبس شده در درون اکسیدهای آهن بسیار ناچیز بود که با دستگاه اسپکتروفتومتر قابل قرائت نبود. و مقدار فسفر قابل جذب یا عصاره‌گیری شده به روش اولسن نیز دارای تغییراتی بود که دامنه تغییرات این شکل از فسفر ۲۷/۲۰-۳/۰۰ با میانگین ۹/۰۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. به عقیده کوئو (۱۱) تغییرات شدید غلظت فسفر قابل استفاده در خاک‌های یک منطقه دور از انتظار نیست. در این خاک‌ها احتمالاً به دلیل مصرف متفاوت کودهای فسفوره و سرعت متفاوت تبدیل شکل‌های محلول فسفر به شکل‌های با حلالیت کم‌تر، غلظت‌های متفاوت از فسفر قابل استفاده در خاک می‌تواند وجود داشته باشد. سالک و همکاران (۲۲) نشان دادند که در خاک‌های به نسبت جوان مانند اینسپتی سول‌ها، در مقایسه با خاک‌های بالغ‌تر فسفر قابل استفاده بیش‌تری یافت می‌شود، زیرا در خاک‌های بالغ مانند اولتی سول‌ها و خاک‌های با pH پایین، به علت فراوانی یون‌های آهن و آلومینیم فسفر قابل جذب به شکل‌های کم محلول‌تر تبدیل می‌شود. میانگین فراوانی شکل‌های معدنی فسفر در خاک‌های مورد مطالعه به‌صورت زیر به دست آمد:

آپاتیت < اکتا کلسیم فسفات > فسفات آلومینیوم < دی کلسیم فسفات > فسفات آهن < فسفر محبوس شده

نتایج به دست آمده مربوط به ترتیب فراوانی شکل‌های فسفر در این تحقیق با نتایج به دست آمده از مطالعات سمواتی و حسین پور (۲۹) در خاک‌های هم‌مدان مطابقت دارد. در ضمن مقدار فسفر تمه حدود ۱۴ درصد از فسفر کل را شامل شد و از نظر فراوانی در روند ارائه شده بعد از اکتا کلسیم فسفات قرار داشت. در تحقیقات صورت گرفته در مناطق مختلف نتایج متفاوتی ارائه شده است به‌طوری‌که صمدی و جیلکز (۲۳) روش جیانگ و گو (۱۰) را برای خاک‌های آهکی و دارای pH بالاتر از ۸ مورد استفاده قرار دادند و دریافتند که فراوانی شکل‌های فسفر معدنی در خاک‌های غیر زراعی که کود دریافت نکرده‌اند به صورت زیر می‌باشد: اکتاکلسیم فسفات > آپاتیت = دی کلسیم فسفات > فسفات‌های آهن > فسفات‌های محبوس > فسفات‌های آلومینیوم، اما در خاک‌های زراعی، این فراوانی به صورت زیر تغییر کرد:

فسفات‌های محبوس > فسفات‌های آهن > آپاتیت > دی کلسیم فسفات > اکتاکلسیم فسفات > فسفات‌های آلومینیوم، منظور از فسفات‌های محبوس، فسفات‌های آهن و آلومینیومی هستند که در داخل اکسیدهای این فلزات قرار گرفته‌اند. دهقانی و همکاران (۳)، شکل‌های مختلف فسفر معدنی پنج نمونه از خاک‌های منطقه اصفهان را بررسی نمودند، از میان اجزای مختلف فسفر معدنی آپاتیت با متوسط ۳۸ درصد بیشترین بخش فسفر معدنی را تشکیل داد و بعد

به دلیل آهکی بودن خاک‌های مورد مطالعه از روش جیانگ و گو (۱۰) جهت جداسازی اجزای مختلف شیمیایی فسفر معدنی استفاده شد. در این روش عصاره‌گیری، فسفر معدنی به شش شکل تفکیک شدند:

دی کلسیم فسفات (Ca_2P) با استفاده از محلول ۰/۲۵ مولار $NaHCO_3$ (pH=۷/۵)، اکتا کلسیم فسفات (Ca_8P) با استفاده از محلول ۰/۵ مولار NH_4OAc در پ‌هاش ۴/۲، فسفات‌های پیوند شده با آلومینیم (AIP) با استفاده از محلول ۰/۵ مولار NH_4F در پ-هاش ۸/۲، فسفات‌های پیوند شده با آهن ($Fe-P$) با استفاده از محلول ۰/۱ مولار $Na_2CO_3^- NaOH$. فسفر محبوس شده درون اکسیدهای آهن (OCP) با استفاده از محلول ۰/۳ مولار سیترات دی‌تیونایت-بی‌کربنات (CDB) و هضم با سه اسید پرکلریک، سولفوریک و نیتریک. فسفات موجود در آپاتیت ($Ca_{10}P$) با استفاده از محلول ۰/۵ مولار H_2SO_4 ، فسفر کل و فسفر آلی به روش اولسن و سامرز (۱۹)، فسفر قابل جذب خاک‌ها به روش اولسن (۱۸) و فسفر موجود در عصاره‌ها به روش رنگ‌سنجی (۱۶) تعیین شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها

برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها در جدول ۱ آورده شده است. بر اساس نتایج این جدول، پ‌هاش خاک‌ها در محدوده خنثی و کمی بالاتر در دامنه تغییرات ۸/۳۶-۷/۰۲، قابلیت هدایت الکتریکی در دامنه تغییرات ۶/۱۲-۰/۲۵، دسی‌زیمنس بر متر، دامنه تغییرات کربنات کلسیم معادل ۷۴/۲۷-۹/۹۴ درصد، دامنه تغییرات مقدار رس ۸/۱۶-۶۲/۱۶ درصد و دامنه تغییرات ماده آلی خاک‌ها ۵/۲۴-۰/۰۶ درصد و دامنه تغییرات ظرفیت تبادل کاتیونی ۵/۳۵-۲۹/۳۹ سانتی‌مول بار بر کیلوگرم خاک بود.

اجزای مختلف فسفر

نتایج مربوط به شکل‌های مختلف فسفر در جدول ۲ ارائه شده است. براساس نتایج ارائه شده در این جدول مقدار دی کلسیم فسفات در محدوده ۴۰/۳۵-۰/۳ با میانگین ۷/۷۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم معادل ۲ درصد فسفر معدنی، مقدار اکتاکلسیم فسفات در محدوده ۴۴۵/۷۵-۳۴/۷۷ با میانگین ۱۱۱/۷۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم ۲۹ درصد فسفر معدنی، مقدار فسفر متصل به آلومینیوم در محدوده ۱۲۳/۰۹-۲۰/۴۹ با میانگین ۵۲/۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم ۱۴ درصد فسفر معدنی، مقدار فسفر متصل به اکسیدهای آهن در محدوده ۵۹/۱۸-۰/۳۸ با میانگین ۷/۵۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم ۲ درصد فسفر معدنی، مقدار آپاتیت در محدوده ۳۸۴/۱۶-۶۴/۸۵ با میانگین ۲۰۵/۲۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم

داشتند. با توجه به نتایج حاصل در این تحقیق نیز شکل‌های آپاتیت و اکتاکلسیم فسفات و فسفات‌های آلومینیوم به ترتیب بیشترین بخش فسفر معدنی را تشکیل می‌دهند.

از آن به ترتیب اکتاکلسیم فسفات با ۲۱ درصد، فسفات‌های آلومینیوم با ۱۴ درصد، فسفات‌های محبوس در اکسیدهای آهن با ۱۱ درصد، فسفات‌های آهن با ۱۱ درصد و دی‌کلسیم فسفات با ۱/۹ درصد قرار

جدول ۲- اجزای مختلف فسفر معدنی، فسفر کل، فسفر تته، فسفر آلی و فسفر قابل جذب (میلی گرم در کیلوگرم) در خاک‌های مورد استفاده

Table 2. In organic Phosphorus fractionation, totalP, organicP and available P(mg/kg) of Soils used

شماره خاک Soil.No	فسفر آلی Organic-P	فسفر تته Residual-P	فسفر اولسن Olsen	فسفات پیوند شده با آهن Fe-P	فسفات پیوند شده با آلومینیوم Al-P	آپاتیت Apatite	اکتاکلسیم فسفات OCP	دی کلسیم فسفات DCP	فسفر کل Total-P
۱	203.8	119.7	6.0	20.3	55.6	291.8	137.4	2.6	831.1
۲	190.3	111.8	10.9	7.6	64.0	324.1	61.3	2.7	761.8
۳	236.2	138.7	5.0	8.6	59.2	277.2	116.4	3.9	840.3
۴	126.1	74.1	8.7	1.5	42.0	238.8	54.6	3.8	540.8
۵	109.3	64.2	10.5	10.2	93.3	298.6	58.1	2.4	636.2
۶	204.5	120.1	18.8	4.4	70.2	344.5	136.6	16.6	892.6
۷	83.2	48.8	4.5	10.8	42.2	337.1	43.8	3.2	569.1
۸	154.2	90.6	4.3	8.4	37.5	214.1	38.2	6.4	534.6
۹	346.6	203.5	4.5	5.8	36.3	260.7	43.8	10.8	907.5
۱۰	138.3	81.2	21.0	0.4	72.9	280.4	170.8	21.8	765.9
۱۱	89.4	52.5	15.8	5.0	47.0	384.2	89.0	1.3	668.4
۱۲	66.7	39.2	12.5	4.5	49.0	351.0	73.5	1.4	585.3
۱۳	28.3	16.6	8.5	15.3	38.5	262.2	67.8	0.3	429.0
۱۴	183.4	107.7	10.1	6.1	82.2	269.6	79.5	10.8	733.3
۱۵	331.5	194.7	3.0	1.2	42.1	216.5	38.6	1.9	826.6
۱۶	247.1	145.1	3.6	14.1	34.8	218.8	52.1	5.5	717.5
۱۷	16.5	9.7	4.1	2.4	39.5	255.0	77.5	2.2	402.8
۱۸	114.3	67.1	10.1	9.6	55.6	187.9	145.1	9.0	588.6
۱۹	33.3	19.6	3.2	8.8	24.6	165.4	51.6	8.4	302.9
۲۰	91.0	53.5	3.0	7.3	32.7	176.8	34.8	1.6	397.7
۲۱	162.4	95.4	5.0	29.1	40.3	140.8	221.6	20.3	709.8
۲۲	75.3	44.2	3.3	6.6	32.0	125.6	65.9	0.4	343.5
۲۳	153.7	90.3	10.1	2.0	36.0	131.9	80.8	1.0	495.8
۲۴	80.3	47.2	27.0	3.5	90.8	221.2	224.2	23.5	690.7
۲۵	66.8	39.2	5.6	2.2	63.3	170.1	145.9	7.8	495.2
۲۶	93.2	54.8	3.9	1.5	32.9	75.6	81.1	8.3	345.9
۲۷	65.8	38.7	13.5	14.3	33.2	131.9	119.7	12.2	415.8
۲۸	33.6	19.7	3.9	9.4	30.6	142.5	72.6	2.9	301.9
۲۹	58.4	34.3	3.7	6.1	36.3	113.6	79.5	7.2	329.4
۳۰	189.8	111.4	11.3	0.8	58.9	195.4	168.1	11.1	735.3
۳۱	113.4	66.6	6.0	0.8	76.2	189.9	170.8	7.9	625.7
۳۲	78.7	46.2	4.5	7.4	35.8	115.8	96.3	12.5	392.6
۳۳	195.1	114.6	15.2	59.2	123.1	179.8	351.2	40.4	1063.3
۳۴	281.0	165.1	9.1	9.5	70.6	234.9	123.8	2.9	887.7
۳۵	223.9	131.5	22.0	16.2	52.2	196.3	168.1	25.0	813.2
۳۶	67.4	39.6	5.7	5.4	47.3	220.0	445.8	1.1	826.6
۳۷	214.1	125.7	5.7	12.5	32.7	108.6	70.1	5.4	569.1
۳۸	187.5	110.1	7.5	18.1	53.5	191.0	89.0	1.1	650.3
۳۹	525.8	308.8	15.9	1.6	116.2	216.5	274.4	15.4	1458.7
۴۰	300.6	176.5	5.0	0.5	54.7	79.9	121.7	3.3	737.3
۴۱	273.9	160.9	5.4	1.6	48.4	64.8	78.0	5.0	632.7
۴۲	206.4	121.2	6.1	0.8	48.7	240.1	82.6	2.3	702.1
۴۳	127.1	74.7	15.8	1.5	64.7	138.4	65.4	9.6	481.4
۴۴	56.3	33.1	6.0	1.2	35.1	151.9	77.0	3.3	357.9
۴۵	75.5	44.3	5.1	1.1	20.5	181.8	59.5	1.0	382.5
۴۶	105.8	62.1	5.4	0.7	30.4	156.3	56.4	2.2	413.2
۴۷	184.1	108.1	25.0	2.8	64.7	257.9	148.3	22.7	787.0
۴۸	195.4	114.8	13.8	1.2	54.1	143.3	70.1	4.3	582.1
۴۹	124/7	73/3	7/2	0/8	59/2	188/9	98/0	2/3	546/3
Mean میانگین	153.3	90	9.0	7.6	52.3	205.3	111.8	7.7	626.6
Range دامنه	525.8-16.5	308.8-9.7	27.0-3	59.2-0.4	123.1-20.5	384.2-64.5	445.8-34.8	40.4-0.3	1458.7-301.9

ویژگی‌های خاک و با یکدیگر ارائه شده است. با توجه به نتایج حاصل در جدول ۳، همبستگی معنی‌دار و مثبتی بین دی کلسیم فسفات با فسفات آلومینیوم، فسفات آهن، اکتاکلسیم فسفات و فسفر قابل جذب

رابطه شکل‌های مختلف فسفر با یکدیگر و با خصوصیات خاک

در جدول ۳ و ۴ همبستگی بین شکل‌های مختلف فسفر با

جدول ۴- ضریب همبستگی بین شکل‌های مختلف فسفر و ویژگی‌های خاک در خاک‌های مورد استفاده
 Table 4. correlation coefficients (R) between different P-fractionations and soil properties in soils used

	ویژگی‌های خاک	فسفر اولسن	دی کلسیم فسفات	اکتا کلسیم فسفات	آپاتیت	فسفر پیوند شده با آهن	فسفر پیوند شده با آلومینیوم	فسفر آلی	فسفر کل
	Soil properties	olsen	DCP	OCP	Apatite	Fe-P	Al-P	Organic-P	Total-P
EC	قابلیت هدایت الکتریکی	-0.027 ns	0.093 ns	-0.304 ns	-0.307*	-0.097 ns	-0.097 ns	-0.119 ns	0.207 ns
Clay	رس	-0.229 ns	-0.359*	-0.298*	0.326*	-0.160 ns	0.071 ns	0.189 ns	0.108 ns
CEC	ظرفیت تبادل کاتیونی	0.202 ns	0.902 ns	0.170 ns	-0.202 ns	0.185 ns	0.390**	0.589**	0.593**
OM	ماده آلی	0.434**	0.162 ns	0.047 ns	0.091 ns	-0.194 ns	0.320*	0.261 ns	0.26 ns
CCE	کربنات کلسیم معادل	-0.200 ns	-0.320*	-0.465**	0.144 ns	-0.326**	-0.455**	-0.613**	-0.619**

کلسیم معادل را بر قابلیت فراهمی فسفر در خاک‌های آهکی بیان کرده‌اند. مستشاری و همکاران (۱۵)، در مطالعه برخی خاک‌های آهکی منطقه قزوین، بین درصد رس با فسفات‌های آهن و همچنین بین ظرفیت تبادل کاتیونی با فسفات‌های آلومینیوم و فسفر محبوس روابط مثبت و معنی‌دار و بین درصد آهک فعال با آپاتیت همبستگی معنی‌دار و منفی گزارش کرده‌اند.

همبستگی بین ویژگی‌های خاک و شکل‌های فسفر با فسفر اولسن که معیاری از فسفر قابل استفاده گیاه می‌باشد می‌توان در برنامه‌ریزی و مدیریت توصیه کودی به نحو احسن استفاده کرد.

همبستگی معنی‌دار و مثبتی بین فسفر قابل جذب به روش اولسن و دی کلسیم فسفات با فسفات آلومینیوم، فسفات آهن و اکتا کلسیم فسفات وجود داشت که نشان می‌دهد این اجزاء احتمالا می‌توانند در تأمین فسفر قابل استفاده گیاه نقش داشته باشند. و با به دست آوردن

منابع

- 1- Bakheit-Said M., and Dakermanji H. 1993. Phosphate adsorption and desorption by calcareous soils of Syria. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 24: 197-210.
- 2- Change S.C., and M. L. Jackson. 1957. Fractionation of soil phosphorus. Soil Science. 84:133-144.
- 3- Dehghani R., Shariatmadari H., Khademi H. 2003. Forms of phosphorus in soil and changes in land use in the region of two rows. 9th. Soil Science. Congr. of Iran. p. 601-604. (In Persian).
- 4- Fife C. V. 1959. An evaluation of ammonium fluoride as a selective extraction for aluminium-bound soil phosphate. I. Preliminary studies on nonsoil systems. Soil Science Society of America Journal. 87:12-21.
- 5- Gee G. W., and Bauder J. W. 1986. Particle of size analysis, hydrometer method. p. 404-408. In A. Klute et al. (ed.) Methods of Soil Analysis, Part 1, American. Society. Agronomy., Madison, WI.
- 6- Ghorbanli M., Babalar M. 2003. Mineral Nutrition of Plants, 1st, Tehran Teacher Training University Pub, Tehran, 356p. (In Persian).
- 7- Hailin Z., and Kovar J.L. 2000. Phosphorus fractionation. P 50-59, In: Methodsof P Analysis. (ed.). USDA /ARS. Ames, IA.
- 8- Hedley M.J., Stewart J.W.B., and Chuhan B.S. 1982. Changes in inorganic and organic soil phosphorous fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. Soil Science Society of America Journal. 46: 970-976
- 9- Holford I.C.R., and Mattingly G.E.G. 1975. The high-and low-energy phosphate adsorption surfaces in calcareous soils. Journal of Soil Science. 26: 407-417.
- 10- Jiang B and Gu.Y. 1989. A suggested fractionation scheme of inorganic phosphorus in calcareous soils. Fertility Research. 20: 159-165.
- 11- Kuo S. 1996. Total organic phosphorus. P 869-919, In: Methods of Soil Analysis. Sparks, D.L. (ed.), Part 3. Chemical Methods. Soil Science Society of America. Madison, WI.
- 12- Lopez-Pinerio A., and Garcia-Navarro A. 2001. Phosphate fractions and availability in vertisols of South-Western Spain. Soil Science Society of America Journal. 166: 548-556.
- 13- Mahmoud Soltani Sh., and Samadi A. 2003. Phosphorus fractionation of some calcareous soils in Fars province

- and their relationships with some soil properties. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*. 3: 7. 119-128.
- 14- Malakouti M.F and Gheibi M. N.2000.“Determining the critical limit for nutrients effective upon the soil, plants and fruits,” Education and Human Resources Equipment Deputy, Karaj, Iran. (In Persian).
 - 15- Mostashari M., Muazardalan M., Karimian N.A., Hosseini H. M., and Rezai. H. 2009. Phosphorus fractions of selected calcareous soils of Qazvin province and their relationships with soil characteristics. *American-Eurasian Journal of Agriculture. & Environment. Science*. 3(4):547-553. (In Persian).
 - 16- Murphy J., Riley J. P. (1962): A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta* 27, 31–36.
 - 17- Nelson D. W., and Sommers L. E. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. P. 961-1010. In D. L. Sparks et al. (ed.) *Methods of Soil Analysis, Part 3, 3rd ed.*, American. Society. Agronomy., Madison, WI.
 - 18- Olsen S. R., Cole C. V., Watanable F. S. and Dean L. A. 1954. Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate. USDA Circular No. 939. U.S. Government Printing Office, Washington, DC.
 - 19- Olsen S.R., and Sommer L.E. 1982. Phosphorus. In *Methods of soil Analysis: Chemical and microbiological Properties, part2. 2nd Ed. Agronomy. Monograph. No. 9. A. Klute (ed). ASA and Soil Science. Society of America., Madison WI, pages 403-430.*
 - 20- Ryan J., Curtin D., and Cheema M.A. 1985. Significance of iron oxides and calcium carbonate particle size in phosphate sorption by calcareous soils. *Soil Science. Society of America. Journal*.48: 74-76.
 - 21- Salardini A. 1995. Soil fertility. Tehran University Pub. Iran, 441p. (In Persian).
 - 22- 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 Science. Society of America. Journal*. 68: 1635-1644.
 - 23- Samadi A., and Gilkes R. J. 1998. Forms of phosphorus in virgin and fertilized calcareous soils of Western Australia. *Austral. Journal of Soil Research*. 36: 585-601.
 - 24- Samadi A., and Gilkes R.J. 1999. Phosphorus transformations and their relationships with calcareous soil properties of south Western Australia. *Soil Science. Society of America. Journal*. 63: 809-815.
 - 25- Samavati M., and Hossainpoor A. 2006. Phosphorus fractionation of some soils in Hamedan and their relationships with some soil properties. *Soil and water Journal*. 20: 2. 246-259. (In Persian).
 - 26- Samavati M., and Hosseinpour A. 2011. Phosphorus fractions and availability in some calcareous soils in Hamedan province. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*. 15: 55. 127-138. (In Persian).
 - 27- Samrit P. C. Jongruk S. Charier, and Nipon T. 2002. Changes of some chemical properties, inorganic phosphate fractions and available P in some paddy Soils in Thailand. Pp. 14-21. 17th WCSS, Aug., Bangkok, Thailand.
 - 28- Sharply A.N., and Smith S.J. 1985. Fractionation of inorganic phosphorus in virgin and cultivated soils. *Soil Science. Society of America. Journal*. 49: 127-130.
 - 29- Sommers, L. E., and D. W. Nelson. 1997. Determination of total phosphorus in soils: A rapid percholoric acid digestion procedure. *Soil Science. Society of America. Proceedings*. 36: 902 – 904.
 - 30- Sumner M. E., and Miller W. P. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficient. PP: 1201-1230. In: D. L. Sparks. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 3, Chemical Methods*, Soil Science. Society of America. Madison, WI.
 - 31- TekChand A., and Tomar N.K. 1993. Effect of soil properties with phosphate fixation in some alkaline calcareous soils. *J. Indian. Society. Soil Science*. 41: 56-61.
 - 32- Thomas G. W. 1996. Soil pH and soil acidity. P. 475-490. In D. L. Sparks et al. (ed.) *Methods of Soil Analysis, Part 3, 3rd ed. American. Society. Agronomy., Madison, WI.*
 - 33- Tyler G. 2002. Phosphorus fractions in grassland soils. *Chemosphere*, 48: 343-349.

Inorganic Phosphorus Fractions and Their Relationships with Soil Characteristics of Selected Calcareous Soils of Fars Province

A. Azadi^{1*} - M. Baghernejad² - N. A. Karimian³ - S. A. Abtahi⁴

Received: 16-03-2014

Accepted: 29-04-2015

Introduction: Phosphorus (P) is the second limiting nutrient in soils for crop production after nitrogen. Phosphorus is an essential nutrient in crop production. Determination of forms of soil phosphorus is important in the evaluation of soil phosphorus status. Various sequential P fractionation procedures have been used to identify the forms of P and to determine the distribution of P fractions in soils (Chang and Jackson, 1957, Williams et al., 1967; Hedley et al., 1982), but are not particularly sensitive to the various P compounds that may exist in calcareous soils. A Sequential fractionation scheme has been suggested for calcareous soils by which three types of Ca-phosphates i.e. dicalcium phosphate, octacalcium phosphate, and apatite could be identified (Jiang and Gu, 1989). These types of Ca-phosphates were described as Ca₂-P (NaHCO₃-extractable P), Ca₈-P (NH₄AC-extractable P) and Ca₁₀-P (apatite type), respectively. In this study, the amount and distribution of soil inorganic phosphorus fractions were examined in 49 soil samples of Fars province according to the method described by Jiang and Gu (1989).

Materials and Methods: Based on the previous soil survey maps of Fars province and According to Soil Moisture and Temperature Regime Map of Iran (Banaei, 1998), three regions (abadeh, eghlid and noorabad) with different Soil Moisture and Temperature Regimes were selected. The soils were comprised Aridic, xeric, and ustic moisture regimes along with mesic, and hyperthermic temperature regimes. 49 representative samples were selected. The soil samples were air-dried and were passed through a 2-mm sieve before analysis. Particle size distribution was determined by hydrometer method (Gee and Bauder 1996). Also, Cation exchange capacity (CEC; Sumner and Miller 1996), calcium carbonate equivalent (Loeppert and Suarez 1996), organic matter content (Nelson and Sommers 1996), and pH by saturated paste method (Thomas 1996) were determined. Inorganic phosphorus sequential fractionation scheme was preformed according to the method described by Jiang and Gu (1989). Olsen-P fraction that was extracted by NaHCO₃ (Olsen and Sommers 1982) was regarded as P-availability index. Also, Total-P by perchloric acid (HClO₄) digestion (Sparks; 1996) and organic P were determined. All of the extraction procedures were performed in duplicate and the amounts of P were colorimetrically measured in the supernatants by the ascorbic acid method of Murphy and Riley (1962). The relationships between forms of P and some of the soil properties were established using correlation method.

Results and Discussion: The chemical data of the soils showed that soils were calcareous with CCE range between 9.94 to 74.27 % (average 51.10%) and pH range between 7.02 to 8.36 (average 7.85). Also, the amounts of CEC were between 5.35 to 29.39 cmol (+) kg⁻¹ (average 16.68 cmol (+) kg⁻¹). The results showed a wide range in content of Phosphorus fractions. The amount of total Phosphate ranged from 301.87 to 1458.68 mg kg⁻¹ with an average of 626.63 mg kg⁻¹. Calcium Phosphate ranged from 147.83 to 666.90 mg kg⁻¹ with an average of 324.79 mg kg⁻¹, that comprised 85 and 52 percent of inorganic and total Phosphorus, respectively. The amount of Fe-P ranged from 0.38 to 59.18 mg kg⁻¹ with an average of 7.56 mg kg⁻¹ that comprised 13.64 and 8.34 percent of inorganic and total Phosphorus, respectively. Also, the amount of Al-P ranged from 20.49 to 123.09 mg kg⁻¹ with an average of 52.28 mg kg⁻¹ that comprised 1.97 and 1.21 percent of inorganic and total Phosphorus, respectively. The results of correlation study showed that available Phosphorus was significantly correlated with Ca₂-P, Ca₈-P, Al-P, Ca₁₀-P, and Pt (total phosphorus). So, in calcareous soils, awareness of soil properties and phosphorus fractions and their relationships are important for evaluation of phosphorous status in soil and understanding of soil chemistry that influence soil fertility.

Conclusion: The relative abundance of inorganic P forms were in order of Ca₁₀ - P > Ca₈ - P > Al -P > Ca₂-P > Fe-P. Among the inorganic P fractions, Ca-P had the highest value and varied from 147.83 to 666.90 mg kg⁻¹, which accounted for 53 percent of the sum of P fractions, occurred in H₂SO₄ extractable P fraction, which is attributed to primary Ca-P minerals, indicating their weak weathering nature. Also, correlation study showed that available Phosphorus was significantly correlated with Ca₂-P, Ca₈-P, Al-P, Ca₁₀-P, and Pt. This result indicate that these fractions probably can be used by plant.

Keywords: Calcareous soils, Sequential extraction, Calcium Phosphate