



19th Iranian Soil Science Congress
02-04 December, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۱ تا ۱۳ آذر ۱۴۰۴



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



بررسی وضعیت شکل‌های فسفر معدنی در برخی خاک‌های آهکی جهت مدیریت بهینه اراضی کشاورزی

ابوالفضل آزادی^{۱*}، سیروس شاکری^۲

۱- استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

(AREEO)، اهواز، ایران؛ * (a.azadi@areeo.ac.ir)

۲- بخش کشاورزی دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

چکیده:

به منظور بررسی رابطه خصوصیات خاک با اشکال فسفر معدنی خاک تعداد ۱۷ نمونه از خاک‌های آهکی شمال غرب استان فارس انتخاب گردید. خاک‌ها به روش دنباله‌ای برای تعیین مقادیر شکل‌های مختلف فسفر معدنی عصاره‌گیری شدند و سپس ارتباط هر یک از اجزای فسفر معدنی با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بررسی شد. نتایج نشان داد که شکل‌های معدنی مختلف فسفر شامل فسفر محلول، دی کلسیم فسفات، فسفات آلومینیم و فسفر آپاتیتی با فسفر قابل جذب به روش اولسن روابط معنی دار و مثبتی را نشان دادند. همچنین بین شکل‌های مختلف فسفر هم بستگی معنی داری به دست آمد که احتمالاً بیانگر وجود یک رابطه پویا بین آنها در خاک می باشد. وجود این رابطه پویا اهمیت زیادی در فرایندهای واکنش‌های کود فسفر و جذب فسفر به وسیله گیاه دارد. در نهایت مشخص شد که دامنه تغییرات اجزای فسفر و فسفر کل در خاک‌های منطقه مورد مطالعه زیاد می باشد. که با بدست آوردن همبستگی ویژگی‌های خاک با فسفر عصاره گیری شده به روش اولسن که شاخصی برای فسفر قابل استفاده گیاه است، می توان در مدیریت توصیه های کودی بر نامهریزی دقیق تری انجام داد و در مصرف بی رویه کودهای فسفره صرفه جویی نمود.

واژگان کلیدی: فسفر معدنی، خاک، مدیریت اراضی

مقدمه:

فسفر در بین عناصر غذایی بعد از نیتروژن مهم ترین عامل محدودکننده تولیدات کشاورزی در بیشتر مناطق جهان و ایران می باشد (Azadi & Baghernejad, 2016). به دلیل جذب سطحی فسفر، تشکیل رسوب و یا تبدیل فسفر به شکل‌های آلی، معمولاً بازیافت فسفر توسط گیاهان زراعی کم است (شهریاری پور، ۱۴۰۱). 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 کمی سازی شکل‌های مختلف فسفر در خاک بوده است. در ایران بیش از ۶۰ درصد اراضی زیر کشت به درجات مختلف آهکی هستند (Azadi & Baghernejad, 2019). به همین دلیل کارایی مصرف کودهای فسفاتی در این اراضی کم بوده و باعث مصرف بیش از اندازه فسفر و صرف هزینه‌های اقتصادی بالایی می‌شود (ملکوتی و غیبی، ۲۰۰۰). بنابراین اطلاع از وضعیت، شکل‌های فسفر و تغییرات آنها در خاک‌های آهکی اهمیت ویژه‌ای دارد و جداسازی اجزای مختلف فسفر برای به دست آوردن اطاعتی درباره وضعیت فسفر قابل دسترس در خاک مفید است. لذا در مناطق مورد مطالعه که غالباً اراضی کشاورزان به کشت برنج اختصاص دارد، مطالعاتی در ارتباط با اثرات کوددهی و به ویژه کوددهی طولانی مدت بر شکل‌های مختلف فسفر و همچنین سرنوشت کودهای فسفره در خاک‌های آهکی انجام نشده است. بنابراین، مطالعه حاضر با هدف تعیین وضعیت شکل‌های مختلف فسفر



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



در خاکهای آهکی شهرستان رستم شمال غرب استان فارس برای درک بهتر رفتار فسفر جهت مدیریت بهینه اراضی کشاورزی انجام شد.

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش بر اساس نقشه‌های توپوگرافی، خاکشناسی و عکسهای هوایی، شهرستان رستم با رژیم رطوبتی یوستیک و رژیم دمایی هایپرترمیک در شمال غرب استان فارس دارای مواد مادری آهکی انتخاب شد و تعداد هفده نمونه خاک از این منطقه انتخاب و جمع آوری گردید. نمونه های خاک جمع آوری شده پس از هوا خشک شدن، از الک دو میلیمتری عبور داده شده و برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی به روشهای مرسوم و جداسازی شکل‌های معدنی فسفر و فسفر کل به روش جیانگ و گو (۱۹۸۹) که روشی برای تعیین اجزای مختلف فسفر در خاکهای آهکی می‌باشد تعیین شدند.

نتایج و بحث:

بررسی شکل‌های مختلف فسفر نشان می‌دهد که در منطقه مورد مطالعه غلظت فسفر کل در دامنه ۴۰۲/۸۴ تا ۹۰۷/۵۲ میلی گرم در کیلوگرم بوده که به ترتیب در افق Ck و Bkg₁ و در موقعیت شیب بالایی و میانی اراضی مشاهده شد. میزان فسفر اولسن و شکل‌های معدنی فسفر در بیشتر خاک‌های مورد مطالعه در خاک‌های سطحی بیشتر از خاک‌های زیرین بود که شاید به دلیل فعالیت بالای ریشه و چرخه زیستی فسفر از افق‌های زیر سطحی به افق سطحی می‌باشد که باعث می‌شود فسفر جذب شده توسط گیاه از خاک‌های زیر سطحی به خاک سطحی انتقال پیدا کند و در طی فرایند معدنی شدن بقایای گیاهی باقیمانده در سطح خاک مجدداً به خاک سطحی افزوده شده و به شکل‌های مختلف فسفر معدنی تبدیل شده و در نهایت به شکل پایدار معدنی آپاتیت در خاک‌های سطحی می‌شود. از طرفی میزان شکل‌های معدنی و فسفر اولسن در مناطق با شیب کمتر یا به عبارتی در موقعیت پایین شیب بیشتر از سایر موقعیت‌های شیب در مناطق مورد مطالعه بود زیرا موقعیت‌های پایین شیب توسط کشاورزان مورد استفاده قرار می‌گرفت و در طول سال‌های زراعی کودهای مورد استفاده به شکل‌های مختلف فسفر تبدیل شده است و از طرفی به علت شیب کمتر مواد موجود در قسمت‌های بالایی شیب توسط رواناب نیز به این موقعیت اضافه شده و به علت رطوبت بیشتر، پوشش گیاهی و فعالیت‌های بیولوژیکی نیز بیشتر شده و در نتیجه هوادیدگی نیز بیشتر اتفاق می‌افتد. همچنین با توجه به نتایج بدست آمده (شکل ۱) در خاک‌های مورد مطالعه آپاتیت، اکتاکلسیم فسفات، فسفات‌های آلومینیوم، فسفات‌های آهن، دی کلسیم فسفات و فسفات‌های محبوس در اکسیدهای آهن به ترتیب بیشترین درصد از فسفر معدنی خاک‌ها را شامل می‌شوند که شاید دلیل افزایش شکل فسفر آپاتیت در منطقه مورد مطالعه استفاده از کودهای شیمیایی است که بخش زیادی از فسفر اضافه شده به خاک به شکل کود در دراز مدت به آپاتیت تبدیل شده است، چون شکل‌های دیگر فسفر ناپایدار هستند و در نهایت به فرم آپاتیت تبدیل می‌شوند. یا به عبارت دیگر بیشترین مقدار همبستگی فسفر کل با آپاتیت بود. علت این امر را می‌توان در شرایط شیمیایی خاکهای آهکی جست و جو کرد؛ چرا که به علت بالا بودن پ هاش در این خاکها، به سرعت فسفر قابل استفاده به فرم‌های غیر قابل استفاده و رسوب یافته تبدیل می‌شود (شهریاری پور، ۱۴۰۱). و بطور کلی در خاک‌های مورد مطالعه بیش از نیمی از فسفر معدنی به شکل فسفات‌های کلسیمی (مجموع شکل‌های فسفات کلسیمی در خاک‌های مورد مطالعه به بیش از ۸۶ درصد شکل‌های فسفر معدنی را به خود اختصاص داده) است که نشان دهنده نقش مهم آهک و یون کلسیم موجود در این خاک‌هاست (Shakeri et al, 2020). نتایج بدست آمده این فرضیه



19th Iranian Soil Science Congress

02-04 December, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران

۱۱ تا ۱۳ آذر ۱۴۰۴



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



که در خاک‌های مناطق خشک ایران آهک و یون کلسیم عوامل اصلی تثبیت و کاهش حلالیت فسفر موجود در خاک‌ها می‌باشد را تأیید می‌نماید. در خاک‌های مورد مطالعه همبستگی مثبت و معنی داری بین فسفر قابل استفاده و ماده آلی در سطح یک درصد مشاهده شد، که در رابطه با همبستگی مثبت بین ماده آلی و فسفر قابل جذب می‌توان گفت که ماده آلی منبع مهم فسفر خاک می‌باشد. نقی زاده اصل و همکاران (۱۳۹۰) به طور کلی تأثیر ماده آلی بر افزایش جذب فسفر را به تولید دی اکسید کربن در اثر تجزیه این مواد، تشکیل ترکیبات آلی فسفر، کاهش تماس فسفر با سطوح ذرات اکسیدهای آهن و آلومینیوم، رس و کربنات کلسیم و در نتیجه کاهش تثبیت آن می‌دانند. فسفر عصاره گیری شده به روش اولسن همبستگی معنی داری نیز با فسفر پیوندیافته با آلومینیوم، آپاتیت، دی کلسیم فسفات، اکتا کلسیم فسفات و فسفر کل داشت (جدول ۱). Hosseinpour و Samavati (۲۰۱۱)، در بررسی وضعیت فسفر در ۵۳ خاک منطقه همدان براساس نتایج مطالعات همبستگی نشان داد که فسفر قابل دسترس (فسفر عصاره گیری شده به روش اولسن) همبستگی معنی داری با فسفر پیوندیافته با کلسیم، فسفر پیوندیافته با آلومینیوم، و فسفر پیوندیافته با آهن و فسفر محلول داشت. همچنین نتایج همبستگی بین شکل‌های مختلف فسفر و ویژگی‌های خاک نشان داد که فسفر قابل جذب با ماده آلی و مقدار سیلت، فسفر کل با ظرفیت تبادل کاتیونی، فسفر متصل به آلومینیوم با ماده آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی، اکتا کلسیم فسفات با مقدار شن، فسفر آپاتیت با درصد رس و سیلت، همبستگی مثبت و معنی دار، و دی کلسیم فسفات و اکتا کلسیم فسفات با مقدار رس و کربنات کلسیم معادل، فسفر کل و متصل به آلومینیوم و متصل به آهن و فسفر آلی با درصد کربنات کلسیم، آپاتیت با قابلیت هدایت الکتریکی و مقدار شن همبستگی معنی داری منفی داشت. بنابراین با آگاهی از شکل‌های مختلف فسفر و ارتباط آنها با یکدیگر و ویژگی‌های خاک و مقایسه با سایر عناصر غذایی، با تأکید بر این موضوع که فسفر کمترین میزان قابلیت دسترسی برای گیاهان را دارد و به دلیل جذب آن توسط آهن و آلومینیوم و آهک در خاک تحت کشت، در خاک تحرک کمتری دارد. و لذا با آگاهی از مقدار اولیه فسفر خاک و میزان بازبازی منابع اضافه شده، می‌توان مقدار کود فسفر مورد نیاز برای رسیدن به حد بحرانی فسفر در خاک را مشخص کرده و اعمال مدیریت بهینه در مصرف کودهای فسفره صرفه جویی نمود.

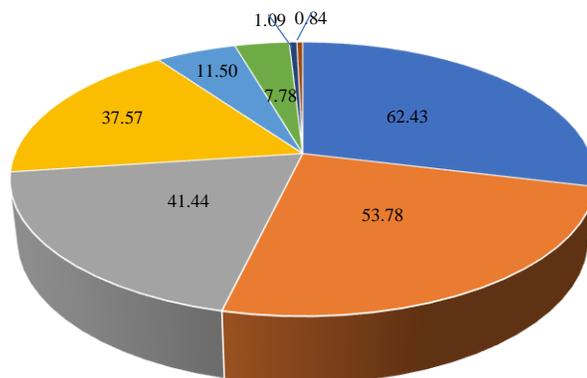


مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



■ inorganic-p ■ Ca-P ■ Ca₁₀-P ■ Organic-P ■ OCP ■ Al-P ■ Fe-P ■ DCP

شکل ۱: وضعیت فراوانی شکل‌های مختلف فسفر در خاکهای مورد بررسی

جدول ۱- همبستگی بین شکل‌های مختلف فسفر (میلی گرم بر کیلو گرم) با یکدیگر در خاک‌های مورد مطالعه

	Olsen	Ca ₂ -P	Ca ₈ -P	Ca ₁₀ -P	Total Ca-P	Al-P	Fe-P	Organic-P
Olsen	1							
Ca ₂ -P	0.569*	1						
Ca ₈ -P	0.651**	0.564*	1					
Ca ₁₀ -P	0.600*	-0.021	0.336	1				
Total Ca-P	0.784	0.358	0.789**	0.841**	1			
Al-P	0.561*	0.378	0.463	0.330	0.491*	1		
Fe-P	-0.357	-0.367	-0.019	-0.014	-0.048	-0.071	1	
Organic-P	-0.267	0.280	-0.068	-0.355	-0.251	-0.028	-0.028	1

*در سطح ۵ درصد و **در سطح ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد

نتیجه‌گیری:

بررسی نتایج نشان داد که مصرف مداوم فسفر منجر به تبدیل فسفر موجود در خاک به شکل‌های غیرقابل دسترس مانند آپاتیت می‌شود. همچنین مقادیر بالای فسفر کل نشان می‌دهد که با مدیریت بهینه مصرف کودهای فسفوره و تغییر شرایط خاکی تا حد



19th Iranian Soil Science Congress
02-04 December, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۴ تا ۱۳ آذر ۱۴۰۴



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



امکان مانند افزودن مواد آلی، می توان فسفر مورد نیاز را با برنامه ریزی جامع و اصولی و صرفه جویی در استفاده از منابع جدید تأمین کرد.

فهرست منابع

ملکوتی م.ف. و غیبی م.ن. (۱۳۷۹). «تعیین حد بحرانی عناصر غذایی مؤثر بر خاک، گیاهان و میوه‌ها»، معاونت آموزش و تجهیز نیروی انسانی، کرج، ایران. ۹۲ صفحه.
شهریاری پور، رقیه. (۱۴۰۱). بررسی شکل های شیمیایی فسفر برای مدیریت فسفر خاک در اراضی تحت کشت پسته. مهندسی زراعی. ۴۵(۲)، ۱۶۷-۱۸۱.
نقی زاده اصل، زهرا، دردی پور، اسماعیل، قلی زاده، عبدالطیف، کیانی، فرشاد و امامی، حجت. (۱۳۹۰). بررسی رابطه بین فسفر عصاره گیری شده به وسیله چند عصاره گیر و شکل های فسفر معدنی در خاک های استان گلستان. آب و خاک. ۲۵(۳)، ۵۰۹-۵۱۷.

Azadi, A., & Baghernejad, M. (2016). Evaluation of the status of P fractions and their relationships with selected soil properties in some calcareous soils. *Jordan journal of Agricultural sciences*, 12(1), 275–287.
Azadi, A., & Baghernejad, M. (2019). Application of kinetic models in describing soil phosphorus release and relation with soil phosphorus fractions across three soil toposequences of calcareous soils. *Eurasian Soil Science*, 52, 778-792.
Jiang B and Gu.Y. (1989). A suggested fractionation scheme of inorganic phosphorus in calcareous soils. *Fertility Research*. 20, 159-165.
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.
Shakeri, S., Azadi, A., & Saffari, M. (2020). Distribution of phosphorus and the effect of physicochemical properties and clay minerals on phosphorus release in some calcareous soils. *Iran Agricultural Research*, 39(2), 79-90.

Investigating the status of mineral phosphorus forms in some calcareous soils for optimal management of agricultural lands

Abolfazl Azadi^{1*}, Sirous Shakeri²

^{1*}Assistant Prof., Khuzestan Agricultural and Natural Resources, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran, * (a.azadi@areeo.ac.ir)

²Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran

Abstract

In order to investigate the relationship between soil properties and soil mineral phosphorus forms, 17 samples were selected from calcareous soils in the northwest of Fars province. The soils were extracted using a sequential method to determine the amounts of different mineral phosphorus forms, and then the relationship of each mineral phosphorus component with the physical and chemical properties of the soil was investigated. The results showed that different mineral phosphorus forms, including soluble phosphorus, dicalcium phosphate, aluminum phosphate, and apatite phosphorus, showed significant and positive relationships with absorbable phosphorus by the Olsen method. Also, a significant correlation was obtained between different phosphorus forms, which probably indicates the existence of a dynamic relationship between them in the soil. The existence of this dynamic relationship is of great importance in the processes of phosphorus fertilizer reactions and phosphorus absorption by plants. Finally, it was found that the range of changes in phosphorus components and total phosphorus in the soils of the studied region is large. By



19th Iranian Soil Science Congress
02-04 December, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۱ تا ۱۳ آذر ۱۴۰۴



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



obtaining the correlation of soil characteristics with extracted phosphorus using the Olsen method, which is an indicator of plant-usable phosphorus, it is possible to manage fertilizer recommendations more accurately and save on excessive use of phosphorus fertilizers.

Keywords: Mineral phosphorus forms, soil, land management