شکل‌های مختلف فسفر در برخی خاک‌های آهکی استان فارس و رابطه آنها با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک

شهرام محمودسلطانی[۱] و عباس صمدی[۲]

چکیده

شناخت شکل‌های مختلف فسفر خاک در ارزیابی وضعیت فسفر خاک و نیز پیدایش و حاصل‌خیزی خاک مهم است. بدین منظور، مقدار و توزیع فسفر در شکل‌های مختلف معدنی و آلی در ۳۹ نمونه خاک استان فارس بررسی شد. خاک‌ها به طور دنباله‌ای برای تعیین شکل‌های معدنی فسفر عصاره‌گیری شدند.

میزان فسفر کل خاک‌ها بین ۲۵٤ و ۱۱۷٦ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک متغیر، و در خاک‌های با بافت سبک (با میانگین ٤۸۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) کمتر از خاک‌های با بافت سنگین (با میانگین ٦۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) بود. فسفر معدنی ۷۳ درصد و فسفر آلی ۲۷ درصد از فسفر کل را شامل می‌شد. فسفات‌های کلسیم با میانگین ٤۲٤ میلی‌گرم در کیلوگرم (۷۱ درصد فسفر معدنی)، شکل غالب فسفر خاک بود. تجزیه رگرسیونی ساده نشان داد روابط مثبت و معنی‌داری میان فسفر آلی، فسفات‌های کلسیم و فسفات‌های آهن-آلومینیم با درصد رس و گنجایش تبادل کاتیونی خاک برقرار است. تجزیه رگرسیونی چند متغیره نشان داد هنگامی که بعضی از ویژگی‌های خاک همچون درصد رس، گنجایش تبادل کاتیونی خاک و کربنات کلسیم معادل با هم وارد مدل شدند، ضریب هم‌بستگی مدل به طور معنی‌داری افزایش یافت. گرچه مدل رگرسیونی معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) بود، سهم نسبی هر یک از ویژگی‌های خاک در تغییرات فسفات‌های آهن-آلومینیم چندان چشم‌گیر نبود.

واژه‌های کلیدی: *شکل‌های معدنی فسفر، خاک‌های آهکی، فسفات‌های کلسیم*

---

۱. مربی پژوهشی خاک‌شناسی، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت

۲. استادیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.3.9.7]

مقدمه

آگاهی از شکل‌های شیمیایی فسفر معدنی در فهم شیمی فسفر خاک، و هم‌چنین در درک جنبه‌های پیدایش و حاصل‌خیزی خاک اهمیت دارد. برای شناسایی شکل‌های شیمیایی فسفر پژوهش‌های زیادی انجام شده است، تا بدین وسیله ارتباط میان جذب فسفر به وسیلهٔ گیاه با فسفر خاک مشخص شود (۹، ۱۱، ۱۸، ۲۰ و ۲۸). با عنایت به این که شکل‌های مختلف فسفر حلالیت‌های متفاوت دارند، تعیین فراوانی و توزیع آنان ممکن است ما را با قابلیت‌های گیاهان در استفاده از فسفر خاک بیشتر آشنا کند (٦). بررسی شکل‌های مختلف فسفر در تعیین روابط میان شکل‌های فسفر خاک با نتایج آزمون‌های فسفر خاک (۷، ۲۰ و ۲۷)، و نیز ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک (۷ و ۲۱) حائز اهمیت بوده، و یافته‌های سودمندی در اختیار پژوهندگان گذاشته است.

از آغاز پژوهش‌های نخستین به وسیلهٔ چنگ و جکسون (٦) تا کنون، روش‌های گوناگونی برای جدا سازی شکل‌های فسفر در خاک‌ها و رسوب‌ها ابداع شده است (۱۷، ۲۵ و ۲۹). در روش چنگ و جکسون (٦)، نمونه خاک به طور دنباله‌ای با: ۱. ۰/۵ مولار NH_4F خنثی برای استخراج فسفات آلومینیم، ۲. ۰/۱ مولار NaOH برای استخراج فسفات آهن، ۳. ۰/۲۵ مولار H_2SO_4 برای استخراج فسفات کلسیم، ٤. دی‌تیونات سدیم بافر با سیترات برای استحصال فسفات آهن محبوس شده در اکسیدهای آهن، و نهایتاً ۵. باقی‌مانده در خاک با ۰/۵ مولار NH_4F برای استخراج فسفات آلومینیم محبوس شده عصاره‌گیری می‌شود.

پژوهندگان بسیاری برای تعیین روابط موجود میان آزمون‌های خاک، مانند بری-P، تروگ-P، اولسن-P و رزین-P، با شکل‌های مختلف فسفر، از روش چنگ و جکسون (٦) استفاده کرده‌اند، تا بدین وسیله سهم هر یک از اجزای فسفر را در مقادیر آزمون‌های فسفر خاک ارزیابی کنند (۲ و ٢٤). پرات و گابر (۱۸) نشان دادند که بین فسفر عصاره‌گیری شده به کمک $NaHCO_3$ با فسفر محلول در NH_4Cl، NH_4F و NaOH رابطه مثبت برقرار است. در پژوهشی دیگر، هانلی و مورفی (۱۰) روش چنگ و جکسون را برای ٢٤ نمونه خاک ایرلند به کار بردند تا توزیع شکل‌های معدنی فسفر را در ذرات تشکیل دهنده خاک تعیین کنند. آنان دریافتند که شکل‌های فسفر (Fe-P، Al-P و Ca-P) در ذرات رس بیشترین، و در ذرات شن کمترین مقدار را دارند. فسفر معدنی ذرات رس و سیلت را عمدتاً فسفات آهن تشکیل می‌داد، در حالی که در ذرات شن، فسفات کلسیم شکل غالب بود.

العباس و باربر (۳ و ٤) گزارش کردند که بیشتر آزمون‌های فسفر خاک برای اندازه‌گیری فسفر قابل استفاده گیاه، به جای بهره‌گیری از روابط موجود میان شکل‌های فسفر با فسفر قابل استفاده گیاه، به طور تجربی ابداع شده‌اند. در پژوهش انجام شده در خاک‌های اینسپتی‌سول مرکزی، روش اصلاح شده چنگ و جکسون برای ابداع آزمون خاک به کار رفت (۸). در این گزارش، ۰/۳ مولار NaOH و ۰/۲۵ مولار $Na_2S_2O_4$ به عنوان عصاره‌گیرهای P خاک، به ویژه برای خاک‌هایی با پ-هاش بیش از ۷، پیشنهاد شده است.

تکچند و تومار (۲٦ و ۲۷) روش اصلاح شده چنگ و جکسون را در پژوهش‌های مربوط به سرنوشت فسفر افزوده شده و اثر خواص خاک در تغییر شکل فسفات، در ۲۸ خاک قلیایی خاکی هاریانا (Haryana) و اوتار پرادش (Uttar Pradesh) هند به کار بردند. یافته‌های آنان نشان داد که تغییر شکل فسفر مصرفی به فسفر آسان‌رها (Saloid-P) با افزایش CEC، EC، آهن فعال، کربن آلی و فسفر قابل استفاده گیاه و قابل عصاره‌گیری با $NaHCO_3$ (١٤) به طور لگاریتمی کاهش یافته است.

شارپلی و اسمیت (۲۲) از روش اصلاح شده چنگ و جکسون (٦) و ویلیامز و همکاران (۲۹) استفاده کردند تا ببینند آیا حاصل‌خیزی خاک با مصرف کود و کشت و کار تغییر می‌یابد؟ آنان نتیجه‌گیری کردند که افزایش مقدار فسفر محبوس نشده (۰/۵ مولار NH_4F + ۰/۵ مولار NaOH)، فسفر محبوس شده (سیترات دی‌تیونات بی‌کربنات + ۰/۵ مولار NH_4F + ۰/۱

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.3.9.7]

مولار NaOH)، فسفر پیوند یافته با Ca و کاهش فسفر آلی نسبتاً مقاوم و قابل دست‌رسی بر اثر کشت و کار، نشان دهنده کاهش کلی در حاصل‌خیزی خاک است.

صمدی و جیلکز (۲۰) روش پیشنهادی جیانگ و گوو را در خاک‌های آهکی استرالیای غربی به کار بستند، که در آن فسفات معدنی خاک به شش گروه فسفات کلسیم (Ca-P)، اکتاکلسیم فسفات (Ca_8-P)، نوع آپاتیت (Ca_{10}-P)، فسفات آلومینیم (Al-P)، فسفات آهن (Fe-P) و فسفات محبوس شده در اکسیدهای آهن و آلومینیم (O-P) طبقه‌بندی می‌شود. آنان علاوه بر تعیین فسفات‌های آهن و آلومینیم محبوس شده و محبوس نشده، سه شکل فسفات کلسیم، یعنی Ca_2-P (فسفر قابل استخراج با $NaHCO_3$)، Ca_8-P (فسفر قابل استخراج با NH_4Ac) و Ca_{10}-P (فسفر قابل استخراج با H_2SO_4) را در این خاک‌ها تشخیص دادند.

یکی از عوامل مؤثر در جذب و قابلیت استفاده فسفر در خاک‌های آهکی، وجود ترکیبات واکنش‌پذیر کربنات‌های کلسیم است. یافته‌های متفاوتی در بارهٔ ارتباط کربنات کلسیم با جذب فسفر گزارش شده است. بخیت سعید و داکرمنجی (۵) نشان دادند که بین جذب فسفر و میزان $CaCO_3$ هم‌بستگی معنی‌دار وجود ندارد. رایان و همکاران (۱۹) دریافتند که میان اکسیدهای آهن و جذب فسفر رابطه معنی‌دار برقرار است، در حالی که $CaCO_3$ هیچ تأثیری بر جذب فسفر نداشته است. هالفورد و متینگلی (۱۲) گزارش کردند واکنش پذیری $CaCO_3$ به کربنات کلسیم کل بستگی نداشته بلکه به سطح ویژه کربنات کلسیم، که در ارتباط با توزیع اندازه ذره کربنات کلسیم است، بستگی دارد. شارپلی و اسمیت (۲۲) رابطه منفی و معنی‌داری بین قابلیت استفاده فسفر با میزان $CaCO_3$ برای گروهی از خاک‌های آهکی ایالات متحده آمریکا به دست آوردند.

هدف پژوهش حاضر عبارت بود از تعیین فسفر آلی و شکل‌های مختلف فسفر معدنی، و ارتباط شکل‌های مختلف فسفر با برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در چند نمونه از خاک‌های استان فارس.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

در این پژوهش ۳۹ نمونه خاک سطحی (صفر تا ۳۰ سانتی‌متری) مربوط به نقاط مختلف استان فارس انتخاب، و پس از خشک شدن در هوا از الک دو میلی‌متری گذرانده شد. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مانند بافت خاک به روش پیپت، پ-هاش خمیر اشباع به روش الکترود شیشه‌ای، ماده آلی به روش واکلی و بلاک، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی سازی با اسید، و گنجایش تبادل کاتیونی خاک به روش استات سدیم در پ-هاش ۷ اندازه‌گیری شد (۱۵)، که نتایج حاصله در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدا سازی شکل‌های شیمیایی فسفر معدنی و اندازه‌گیری فسفر آلی

برای جدا سازی و تعیین شکل‌های شیمیایی فسفر معدنی از روش چنگ و جکسون اصلاح شده به وسیلهٔاولسن و سامرز (۱۵) و سیرز و همکاران (۲۵) استفاده شد. در این روش، عصاره‌گیری دنباله‌ای، با استفاده از ۱. ۰/۱ مولار NaOH برای استخراج فسفات‌های Fe و Al محبوس نشده، ۲. یک مولار NaCl و سیترات-بی‌کربنات (CB) برای استخراج فسفر جذب شدهٔ کربنات‌ها در خلال عصاره‌گیری قبلی با NaOH (فسفر عصاره‌گیری شده در مراحل ۱ و ۲ با هم ترکیب شده و تحت عنوان فسفات‌های آهن و آلومینیم در این مقاله اشاره شده است)، ۳. سیترات-دی‌تیونات-بی‌کربنات (CDB) برای استخراج فسفر محبوس شده در اکسیدهای آبدار Fe (مقدار این شکل در عصاره خاک بسیار ناچیز بود، از این رو در مقاله به آن اشاره نشده است)، و ٤. یک مولار HCl برای استخراج فسفات‌های کلسیم، به کار رفت. فسفر کل و فسفر آلی به روش مهتا (۱۵) تعیین شد. فسفر محلول در همهٔ عصاره‌ها به روش مورفی و رایلی (۱۳) اندازه‌گیری و محاسبات و تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از برنامه Statview انجام شد.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.3.9.7]

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها

شماره خاک	پ-هاش خمیر اشباع	رس	مواد آلی	کربنات کلسیم معادل	گنجایش تبادل کاتیونی
		درصد			$cmol_c kg^{-1}$
۱	۷/۹	٤۷	۲/۰	٤٤	۱٦
۲	۷/۹	٤٥	۱/٦	٤۷	۱٤
۳	۷/۲	٥۱	۱/۹	٤۲	۲۲
٤	۷/٥	۲٦	۱/٦	٥۰	۱٦
٥	۷/۸	٥۸	۱/۱	٤۳	۲۱
٦	۸/۰	٥۳	۲/۲	۳٦	۱۸
۷	۸/۰	٥٥	۱/۹	۳۱	۱۸
۸	۷/۹	٤٥	۲/٤	۳۳	۲۰
۹	۷/۹	۲۱	۱/۲	۱٥	۱٦
۱۰	۸/۰	٤۳	۲/۸	۳٦	۱٤
۱۱	۷/٦	٤۳	۲/۲	٤۰	۲۰
۱۲	۷/٦	۳٦	۲/۰	٤۱	۱٦
۱۳	۷/٦	۳۸	۲/۰	٤٥	۲۲
۱٤	۷/۸	٤۲	۱/۸	۳٦	۲۳
۱٥	۷/۸	٤۰	۱/۸	۳۷	۲۲
۱٦	۷/۸	۳۷	۲/۱	٤۹	۱۷
۱۷	۷/٤	٥۲	۲/٦	٤٥	۲۰
۱۸	۷/٥	٤۰	۲/۲	٤٦	۲۰
۱۹	۸/۱	٤۲	۲/۸	۱۷	۱٤
۲۰	۸/۷	۳۸	۳/٤	٥۲	۲۱
۲۱	۸/۰	۲٦	۲/۰	٥۳	۱٦
۲۲	۸/۲	۲٤	۱/۱	٦۲	۱۱
۲۳	۸/۲	٥٤	۱/۸	٤۰	۱٦
۲٤	۸/۲	۳۳	۱/۹	٤٦	۱٥
۲٥	۸/٥	۹	۰/۷	٤۰	۹
۲٦	۸/۳	۱۸	۰/۹	۳۹	۱۱
۲۷	۸/۲	۲٤	۰/۹	۳۸	۱۰
۲۸	۷/۱	۲۸	۰/۹	٥۲	۱۳
۲۹	۸/۲	٥۱	۳/۲	۲۷	۲۱
۳۰	۷/۹	٤۱	۳/۳	٥٥	۱۹
۳۱	۸/۲	٥۳	۲/۰	۹۲	۱۹
۳۲	۸/۰	٥٤	۲/۰	۱۱	۲۷
۳۳	۸/۲	۲۸	۱/٦	۳٤	۱۲
۳٤	۷/۹	٤۹	۲/۱	٤۲	۱٤
۳٥	۸/۲	۳۹	۱/٦	۳٦	۱٥
۳٦	۸/۰	۳٥	۰/۹	٤۲	۱۱
۳۷	۸/۲	۳٥	۱/۲	٤٥	۱۰
۳۸	۸/۲	٥۲	۳/۱	٥٤	۱۷
۳۹	۸/۲	۲۲	۱/٤	٤٥	۱۷
میانگین	۸/۰	۳۹	۱/۹	٤۱	۱۷

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.3.9.7]

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

بر پایهٔ داده‌های موجود در جدول ۱، واکنش خاک‌ها از خنثی تا قلیایی متوسط (بین ۷/۱ تا ۸/۵ با میانگین ۸/۰)، بافت خاک‌ها از شنی تا رسی (درصد رس بین ۹ تا ۵۸، با میانگین ۳۹ درصد)، و ماده آلی خاک‌ها از کم تا نسبتاً زیاد (۰/۷۲ تا ۳/٤ درصد) تغییر می‌کند. خاک‌ها از نظر گنجایش تبادل کاتیونی دامنه گسترده‌ای داشتند (از ۹ تا ۲۷، با میانگین ۱۷ سانتی‌مول بر کیلوگرم خاک). حضور درصد قابل ملاحظه‌ای از کربنات کلسیم در خاک‌ها (حداقل ۱۱٪ و حداکثر ٦۲٪، با میانگین ٤۱٪) گویای امکان حضور فعال کاتیون کلسیم و تأثیر آن بر شیمی فسفات در این خاک‌هاست.

فسفر کل، فسفر معدنی و فسفر آلی

میزان فسفر کل نمونه‌های خاک سطحی دامنه وسیعی داشت. برای مثال خاک‌های شماره ۲۲، ۲۵ و ۳٦ (با بافت سبک) مقدار کمی فسفر کل (۲٥٤ تا ۲۹٤ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) در مقایسه با خاک‌های با بافت سنگین مانند خاک شماره ٦، ۷ و ۲۹ (۹۱٥ تا ۱۱۷٦ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) داشتند (جدول ۲).

میزان فسفر معدنی (مجموع فسفات کلسیم و فسفات‌های آهن-آلومینیم) با طیفی گسترده، از ۱۲۸ تا ۸۸٤ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، متغیر بود (جدول ۲). به طور کلی، مقدار فسفر معدنی ۷۳ درصد از فسفر کل را شامل می‌شد. داده‌های مربوط به فسفر معدنی (جدول ۲) نشان می‌دهد که خاک شماره ۲۲ با حداقل مقدار فسفر معدنی دارای بیشترین مقدار کربنات کلسیم معادل (٦۲ درصد) و مقدار رس کم (۲٤ درصد) است، در حالی که خاک شماره ۲۹ با بیشترین مقدار فسفر معدنی، مقدار کمی کربنات کلسیم معادل (۲۷ درصد) و مقدار زیادی رس (٥۱ درصد) دارد، که گویای تأثیر مقدار و اندازه ذرات تشکیل دهنده خاک، به ویژه ذرات رس، در تشکیل فسفات‌های معدنی است. پژوهندگان بسیاری تأثیر کم و یا بی‌تأثیری مقدار کربنات کلسیم معادل را در جذب فسفر گزارش کرده‌اند. رایان و همکاران (۱۹) اهمیت اکسیدهای آهن و اندازه ذرات $CaCO_3$ را در جذب فسفر به وسیله خاک‌های آهکی، با استفاده از ضریب‌های هم‌بستگی و رگرسیونی بررسی کردند. نتایج پژوهش آنان نشان داد که مقدار $CaCO_3$ تأثیر چندانی در جذب فسفر ندارد. هم‌چنین پنا و تورنت (۱٦) گزارش کردند واکنش پذیری $CaCO_3$ به سطح ویژه کربنات کلسیم، که نشانهٔ توزیع اندازه ذرات کربنات کلسیم خاک است، بستگی دارد، نه به مقدار کل $CaCO_3$.

دامنه تغییرات فسفر آلی از ۳۰ تا ٦۲۲ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک متغیر بود. فسفر آلی خاک‌ها ۲۷ درصد از فسفر کل را تشکیل می‌داد.

شکل‌های فسفر معدنی

مقدار و توزیع شکل‌های فسفر معدنی در جدول ۲ نشان داده شده است. فسفات‌های کلسیم ۷۱ درصد از فسفر معدنی، و فسفات‌های آهن-آلومینیم ۱/۳ درصد از فسفر معدنی را تشکیل می‌داد. خاک شماره ٤ بیشترین مقدار فسفات کلسیم (۷۷۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) و خاک شماره ۲۲ کمترین مقدار فسفات کلسیم (۱۲٦ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) را داشت. مقدار فسفات آلومینیم از ۰/۲ تا ۲۰/۲، با میانگین هشت میلی‌گرم در کیلوگرم خاک متغیر بود.

رابطه شکل‌های فسفر با ویژگی‌های خاک

بستگی شکل‌های مختلف فسفر به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها، با تجزیه آماری هم‌بستگی آزموده شد (جدول ۳). از میان خواص فیزیکوشیمیایی خاک، درصد رس و گنجایش تبادل کاتیونی خاک رابطه معنی‌داری با شکل‌های فسفر معدنی و فسفر آلی نشان دادند. نتایج آزمون هم‌بستگی نشان داد بین فسفر آلی، فسفات‌های کلسیم و فسفات‌های آهن-آلومینیم با درصد رس رابطه مثبت و معنی‌داری برقرار است. فسفات‌های آهن-آلومینیم علاوه بر میزان رس، با

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.3.9.7]

جدول ۲. مقادیر فسفر کل، فسفر آلی، فسفر معدنی و شکل‌های فسفر معدنی (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)

شماره خاک	فسفر کل	فسفر آلی	فسفر معدنی	فسفات‌های آهن و آلومینیم	فسفات‌های کلسیم
۱	٦٦٩	۱۲٦	٥٤۳	٥/۲	٥۳۸
۲	۷٤۱	۱٥۰	٥۹۱	۱/۳	٥۹۰
۳	۷۹٤	۳۰۷	٤۸٦	۲/۰	٤٦٦
٤	۹۲۷	۱٤۸	۷۷۸	۰/۸	۷۷۸
٥	٤۳۳	۱۲۰	۳۱۳	۸/۰	۳۰٥
٦	۹۱٥	۲۹۲	٦۲۳	۱٥/۱	٦۰۸
۷	۱۱۷٦	٦۲۲	٥٥٤	۳٥/٦	٥۱۹
۸	٦۲۳	۱٥۸	٤٦٥	۲۰/۲	٤٤٥
۹	٦۰۳	۳۱۳	۲۹۰	۱۷/۱	۲۷۳
۱۰	٥۲۳	٦٤	٤٥۹	٦/۲	٤٥۳
۱۱	٥۷٥	۱۱۸	٤٥٦	۳/۷	٤٥۳
۱۲	۷٥۳	۲۳٤	٥۲۰	۹/۷	٥۱۰
۱۳	۳۳۱	۷٦	۲٥٤	۱/۷	۲٥۳
۱٤	٤۰۱	٥۸	۳٤۳	۱/٥	۳٤۱
۱٥	٥۱۱	۱۲۳	۳۸۸	۳/۰	۳۸٥
۱٦	٥٥٦	۱۷۳	۳۸۳	۱۰/۸	۳۷۳
۱۷	٥۳٦	۱۸۸	۳٤۸	٥/۳	۳٤۳
۱۸	٥٤۰	۱۷۸	۳٦۳	۲۰	۳٤۳
۱۹	۱۰۱۷	۲۷۰	۷٤۷	٤/٦	۷٤۳
۲۰	٤۳۹	۱٦٦	۲۷۳	۱۱/٥	۲٦۱
۲۱	۷٦۰	۱۳٤	٦۲٦	٥/۰	٦۲۱
۲۲	۲٦۰	۱۳۲	۱۲۸	۲/۱	۱۲٦
۲۳	۹۹٦	٤۰۳	٥۹۳	۸/۰	٥۸٥
۲٤	٤۰۲	۸٦	۳۱٦	٤/٦	۳۱۱
۲٥	۲۹٤	۱۰۱	۱۹۳	۰/٦	۱۹۳
۲٦	٦۳۷	۱۰٤	٥۳۳	۲/٦	٥۳۰
۲۷	۳۱٥	۱۱۷	۱۹۸	۰/۲	۱۹۸
۲۸	۷	٤۰	۲۸۷	٤/٦	۲۸۳
۲۹	۱۰۹۲	۲۰۸	۸۸٤	۱۱/٥	۸۷۳
۳۰	۳۹۹	۱٤۹	۲٥۱	۰/٦	۲٥۰
۳۱	۹۱۸	۱۸۹	۷۲۹	۱۰/٦	۷۱۹
۳۲	۷۰٦	۳۰	٦۷٦	۱۰/٦	٦٦٥
۳۳	۳٥۳	۷۸	۲۷٤	٥/٦	۲٦۹
۳٤	٤٦٤	۱٤۸	۳۱٦	۷/۳	۳۰۹
۳٥	۷٤۲	۱٦۰	٥۸۲	۱۲/۱	٥۷۰
۳٦	۲٥٤	۳۳	۲۲۲	۱۱/٥	۲۱۰
۳۷	٥٦۹	۱٤۸	٤۲۲	۰/۳	٤۲۱
۳۸	۳۹۹	۱۷۸	۲۲۱	۸/۸	۲۱۳
۳۹	۳٤٦	٦۲	۲۸٤	٤/۳	۲۸۰
میانگین	٥۹۷	۱٦٤	٤۳٤	۸/۰	٤۲٦

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.3.9.7]

جدول ۳. ضریب‌های هم‌بستگی (R) برای بیان روابط میان شکل‌های مختلف فسفر با ویژگی‌های خاک

ویژگی‌های خاک	فسفات‌های آلی	فسفات‌های کلسیم	فسفات آهن-آلومینیم
درصد رس	۰/۳۷٤*	۰/۳٦٦*	۰/٤۲۱**
گنجایش تبادل کاتیونی	۰/۱۰۲	۰/۲۵۰	۰/۱*
کربنات کلسیم معادل	۰/۱۵۷	۰/۱۵٦	۰/۲۲۳
مواد آلی	۰/۱۸۹	۰/۲۵۵	۰/۱۸٤

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ٤. معادلات رگرسیونی خطی و چند متغیره مربوط به شکل‌های فسفر با برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

	فسفر آلی (Org-P)	R
Org-P = ۳/۵ clay – ۲۸		۰/۳۷٤*
	فسفات کلسیم (Ca-P)	
Ca-P = ۵/٦ clay + ۲/۵		۰/۳٦٦*
	فسفات آهن-آلومینیم (Al-Fe-P)	
Al-Fe-P = ۰/۲٦ clay – ۱/۹۸		۰/٤۲۱**
Al-Fe-P = ۵/٦ clay – ۰/۱۲ CCE + ۳/۰		۰/٤۷۲*

CCE = کربنات کلسیم معادل CEC = گنجایش تبادل کاتیونی

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

گنجایش تبادل کاتیونی نیز رابطه مثبت و معنی‌داری نشان داد. تأثیر ویژگی‌های خاک مانند درصد رس در جذب فسفات را پژوهندگان بسیاری گزارش کرده‌اند (۱، ۷ و ۱۹). نبود رابطه معنی‌دار بین مواد آلی و فسفر آلی خاک ممکن است به سبب دامنه کم میزان مواد آلی در خاک‌های مورد بررسی باشد.

به منظور ارزیابی تأثیر متقابل ویژگی‌های خاک با مقدار فسفر استخراج شده به وسیلهٔ عصاره‌گیرهای مختلف، و یافتن بهترین مدل رگرسیونی چند متغیره برای تعریف ارتباط هر یک از شکل‌های فسفر با ویژگی‌های خاک، از برنامه رگرسیونی گام به گام استفاده شد. تجزیه این آزمون نشان داد هنگامی که برخی از ویژگی‌های خاک همچون درصد رس، گنجایش تبادل کاتیونی خاک و کربنات کلسیم معادل با هم وارد مدل شدند، برای فسفات‌های آلی و فسفات‌های کلسیم فقط درصد رس، و برای فسفات‌های آهن-آلومینیم، درصد رس و کربنات کلسیم معادل وارد شدند، و از نظر آماری معنی‌دار بودند (جدول ٤). این نتایج گویای آن است که عامل کنترل کننده جذب و قابلیت استفاده فسفر در خاک‌های مورد بررسی میزان رس خاک‌هاست. پژوهندگان بسیاری (۹، ۲۱، ۲۳ و ۲۷) تأثیر متقابل ویژگی‌های خاک مانند میزان رس، کربنات کلسیم معادل و گنجایش تبادل کاتیونی خاک در میزان شکل‌های مختلف فسفر خاک را گزارش کرده‌اند.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.3.9.7]

منابع مورد استفاده

1. Adepojn, A., T. P. F. Parh and S. V. Maghigod. 1982. Availability and extractability of phosphorus from soils having high residual phosphorus. Soil Sci. Soc. Am. J. 46: 583-588.
2. Ahmed, B. and A. Islam. 1975. Extractable phosphate in relation to the forms of phosphate fractions in some humid tropical soils. Trop. Agric. (Trinidad) 52: 113-118.
3. Al-Abbas, A. H. and S. A. Barber. 1964a. A soil test for phosphorus based upon fractionation of soil phosphorus. I. Correlation of soil phosphorus fractions with plant-available phosphorus. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 28: 218-221.
4. Al-Abbas, A. H. and S. A. Barber. 1964b. A soil test for phosphorus based upon fractionation of soil phosphorus. II. Development of the soil test. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 28: 221-224.
5. Bakheit-Said, M. and A. Dakermanji. 1993. Phosphate adsorption and desorption by calcareous soils of Syria. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 24: 197-210.
6. Chang, S. C. and M. L. Jackson. 1957. Fractionation of soil phosphorus. Soil Sci. 84: 133-144.
7. Elkhatib, E. A., A. G. Thabet and M. K. El-Haris. 1991. Prediction of phsphorus fractionation in soils. Arid Soil Res. Rehab. 5: 1-8.
8. Fife, C. V. 1959. An evaluation of ammonim fluoride as a selective extractant for aluminium-bound soil phosphate. I. Preliminary studies on nonsoil systems. Soil Sci. 87: 12-21.
9. Guzel, N. and H. Ibrikci. 1994. Distribution and fractionation of soil phosphorus in particle-size separates in soils of Western Turkey. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 25: 2945-2958.
10. Hanley, P. K. and M. D. Murphy. 1970. Phosphate forms in particle size separates of Irish soils in relation to drainage and parent materials. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 34: 587-590.
11. Hedley, M. J., J. W. B. Stewart and B. S. Chauhan. 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.
12. Holford, I. C. R. and G. E. G. Mattingly. 1975. The high-and low-energy phosphate adsorbing surfaces in calcareous soils. J. Soil Sci. 26: 407-417.
13. Murphy, J. and J. P. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chim. Acta 27: 31-143.
14. Olsen, S. R., C. V. Cole, F. S. Watanable and L. A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. Cir. No. 939, USDA, U. S. Government Printing Office, Washington, DC.
15. Olsen, S. R. and J. F. Sommers. 1982. Phosphorus. PP. 403-430. *In*: A. L. Page (Ed.), Methods of Soil Analysis. Agron. No. 9, Part 2: Chemical and microbiological properties, 2nd ed., Am. Soc. Agron., Madison, WI, USA.
16. Pena, F. and J. Torrent. 1990. Predicting phosphate sorption in soils of Mediterranean regions. Ferti. Res. 23: 173-179.
17. Peterson, G. W. and R. B. Corey. 1966. A modified Chang and Jackson's procedure for routine fractionation of inorganic soil phosphates. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 30: 563-565.
18. Pratt, P. F. and M. J. Gabber. 1964. Correlation of phosphorus availability by chemical tests with inorganic phosphorus fractions. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 28: 23-26.
19. 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. 48: 74-76.
20. Samadi, A. and R. J. Gilkes. 1998. Forms of phosphorus in virgin and fertilized calcareous soils of western Australia. Austral. J. Soil Res. 36: 585-601.
21. Samadi, A. and R. J. Gilkes. 1999. Phosphorus transformations and their relationships with calcareous soil properties of south western Australia. Soil Sci. Soc. Am. J. 63: 809-815.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.3.9.7]

22. Sharpley, A. N. and S. J. Smith. 1985. Fractionation of inorganic and organic phosphorus in virgin and cultivated soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 49: 127-130.

23. Solis, P. and T. Torrent. 1989. Phosphate fraction by calcareous Vertisols and Inceptisols of Spain. Soil Sci. Soc. Am. J. 53: 456-459.

24. Susuki, A., K. Lawton and E. C. Doll. 1963. Phosphorus uptake and soil tests as related to forms of phosphorus in some Michigan soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 27: 401-403.

25. Syers, J. K., G. W. Smillie and J. D. H. Williams. 1972. Calcium fluoride formation during extraction of calcareous soils with fluoride. 1. Implications to inorganic P fractionation schemes. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 36: 20-25.

26. TekChand[1], and N. K. Tomar. 1993. Effect of soil properties on the transformation of phosphorus in alkaline calcareous soils. J. Indian Soc. Soil Sci. 41: 56-61.

27. TekChand, and N. K. Tomar. 1994. Correlation of soil properties with phosphate fixation in some alkaline-calcareous soils of northwest India. Arid Soil Res. Rehab. 8: 77-91.

28. TekChand, N. K. Tomar and J. P. Singh. 1991. Effect of soil properties on the forms of inorganic phosphorus in alkaline-calcareous soils of different agroclimatic zones. Arid Soil Res. Rehab. 5: 199-210.

29. Williams, J. D. H., J. K. Syers and T. W. Walker. 1967. Fractionation of soil inorganic phosphate by a modification of Chang and Jackson's procedure. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 31: 736-739.

۱. این نام به همین صورت توسط نویسندگان محترم مقاله ارائه و در مجلات معتبر بین‌المللی نیز به چاپ رسیده است.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.3.9.7]