# اجزای مختلف فسفر معدنی و قابلیت فراهمی آن در تعدادی از خاک‌های استان همدان

مهدی سمواتی[۱*] و علیرضا حسین‌پور[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۷/۱۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۸/۱۰)

## چکیده

**فسفر اغلب محدود کننده‌ترین عنصر غذایی برای تولید محصول در خاک‌هاست. اجزای معدنی و آلی فسفر به وسیله آزمون‌های معمول خاک تعیین نمی‌شود و روش تفکیک اجزا با استفاده از عصاره‌گیرهای مختلف برای کمی کردن شکل‌های شیمیایی مختلف فسفر پیشنهاد شده است. اهداف این پژوهش ۱. بررسی تأثیر شکل‌های مختلف فسفر بر فسفر قابل جذب (فسفر عصاره‌گیری شده به روش اولسن)، ۲. ارزیابی نسبت بین اجزای فسفر معدنی با شاخص‌های گیاه سیر بود. در این پژوهش فسفر معدنی در ۳۰ نمونه خاک سطحی ( ۳۰ -۰ سانتی‌متر) از نواحی مختلف استان همدان جمع‌آوری و به صورت عصاره‌گیری متوالی به شش شکل شامل: دی کلسیم فسفات ($Ca_2$-P)، اکتا کلسیم فسفات ($Ca_8$-P)، آپاتیت ($Ca_{10}$-P)، فسفر پیوند شده با آلومینیوم (Al-P)، فسفر پیوند شده با آهن (Fe-P)، و فسفر حبس شده درون اکسیدهای آهن (O-P)، تفکیک شد. فسفر آلی و فسفر کل نیز تعیین گردید. به منظور ارزیابی قابلیت فراهمی شکل‌های مختلف فسفر برای گیاه سیر آزمایش گلدانی با نه نمونه از ۳۰ نمونه خاک در یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو تیمار صفر و ۱۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک با سه تکرار انجام شد. نتایج نشان داد میانگین فسفر کل در این خاک‌ها ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود و فسفر آلی ۱۹ درصد از آن را تشکیل داد. اجزای معدنی فسفر شامل دی کلسیم فسفات، اکتا کلسیم فسفات، فسفر پیوند شده با آلومینیوم، فسفر پیوند شده با آهن، فسفر حبس شده درون اکسیدهای آهن، آپاتیت و فسفر باقی‌مانده هر کدام به ترتیب ۴/۷، ۲۰، ۸/۷، ۳/۰، ۲/۸، ۲۴ و ۱۸ درصد از فسفر کل را به خود اختصاص دادند. بیشترین مقدار فسفر معدنی به شکل فسفات کلسیم بود که ۴۹ درصد از فسفر کل را تشکیل داد. نتایج مطالعات هم‌بستگی بین اجزای مختلف فسفر نشان داد که دی کلسیم فسفات، اکتا کلسیم فسفات، آپاتیت و فسفر پیوند شده با آلومینیوم هم‌بستگی معنی‌داری با فسفر عصاره‌گیری شده به روش اولسن داشتند. این نتیجه احتمالاً نشان‌دهنده آزاد شدن فسفر از این شکل‌ها در مدت عصاره‌گیری فسفر قابل دسترس است. نتایج آزمایش گلدانی نشان داد شاخص‌های گیاهی شامل عملکرد نسبی و بازده زراعی هم‌بستگی معنی‌داری با دی کلسیم فسفات، اکتا کلسیم فسفات و فسفر قابل جذب به روش اولسن داشتند و قابلیت جذب فسفر در این خاک‌ها بیشتر تحت تأثیر دی کلسیم فسفات و اکتا کلسیم فسفات است که می‌توانند در دراز مدت نیاز فسفر گیاه را برآورده کنند.**

**واژه‌های کلیدی: شکل‌های معدنی فسفر، فسفر قابل دسترس، گیاه سیر**

۱. کارشناس ارشد خاک‌شناسی و مدرس دانشگاه‌های پیام نور، استان همدان
۲. دانشیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: m.samavati2000@gmail.com



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27 ]
[ DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.10.8 ]

## مقدمه

فسفر اغلب محدود کننده‌ترین عنصر غذایی برای تولید محصول در خاک‌هاست. چندین عصاره‌گیر برای تعیین فسفر قابل دسترس استفاده شده است به طوری که اجزای معدنی و آلی فسفر به وسیله آزمون‌های معمول خاک تعیین نشده و روش تفکیک اجزا با استفاده از عصاره‌گیرهای مختلف برای کمی کردن شکل‌های شیمیایی مختلف فسفر پیشنهاد شده است وآگاهی از این شکل‌ها می‌تواند در ارزیابی و درک فرایندهای پدوژنیک و بررسی توسعه خاک مهم باشد. مطالعات نشان می‌دهد خاک‌های زراعی ایران مقادیر زیادی کودهای فسفاتی را در دهه‌های گذشته دریافت کرده‌اند که به تجمع فسفر در این خاک‌ها منجر شده است (۴). تجمع فسفر در خاک‌ها، می‌تواند سبب آلودگی محیط زیست و هم‌چنین کمبود عناصر غذایی به ویژه روی در گیاهان گردد. در ایران بیش از ۶۰ درصد اراضی زیر کشت به درجات مختلف آهکی هستند (۲). به همین دلیل راندمان مصرف کودهای فسفره در این اراضی کم بوده و باعث مصرف بیش از اندازه فسفر و صرف هزینه‌های اقتصادی بالایی می‌شود (۴). چنگ و جکسون (۶) 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 حلالیت کم تقسیم و در این روش فسفر پیوند شده با آلومینیوم با عصاره‌گیر فلورید آمونیوم عصاره‌گیری می‌شد. فیف (۷) گزارش کرد فسفر پیوند شده با آلومینیوم با این عصاره‌گیر به طور کامل عصاره‌گیری نشده و ترکیبی نامحلول به نام فلورید کلسیم در خاک تشکیل می‌شود و این امر باعث شد این روش منسوخ گردد. روش‌های دیگری نیز برای تعیین اجزای مختلف فسفر وجود داشته ولی از حساسیت و دقت کافی برخوردار نبودند، جیانگ و جو (۱۱) 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. مطالعات جداسازی اجزای مختلف فسفر برای به دست آوردن اطلاعاتی درباره وضعیت فسفر قابل دسترس در خاک مفید است. به علت این‌که مطالعات جامعی در مورد وضعیت شکل‌های مختلف فسفر و تأثیر آنها بر جذب فسفر توسط گیاه در خاک‌های استان همدان صورت نگرفته است، پژوهش حاضر جهت تعیین شکل‌های معدنی فسفر و ارتباط آنها با فسفر قابل دسترس و هم‌چنین قابلیت فراهمی این اجزا با گیاه سیر در ۳۰ نمونه از خاک‌های استان همدان انجام شد.

## مواد و روش‌ها

### تجزیه‌های خاک

در این مرحله ۳۰ نمونه خاک سطحی ( ۳۰ -۰ سانتی‌متر) از مناطق عمده کشت سیر در اطراف شهر همدان طوری انتخاب شدند که از نظر جغرافیایی سطح وسیعی را در برگیرند. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مانند بافت خاک به روش پیپت (۸)، پ هاش در عصاره ۲ به ۱ محلول به خاک (۲۵)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره ۲ به ۱ آب به خاک (۲۰)، ماده آلی به روش اکسایش تر (۱۷)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی با اسید (۱۴)، و گنجایش تبادل کاتیونی خاک به روش استات سدیم در پ هاش ۷ اندازه‌گیری شد (۲۴). به منظور جداسازی و تعیین شکل‌های مختلف فسفر معدنی از روش جیانگ و جو (۱۱)، فسفر کل به روش هضم دو اسید (۲۳)، فسفر آلی به روش کوئو (۱۳) استفاده شد. فسفر قابل دسترس خاک‌ها به روش اولسن و همکاران (۱۸) و فسفر باقی‌مانده (Residual Phosphate) (Res-P) از اختلاف بین اجزای معدنی فسفر و غلظت فسفر آلی از فسفر کل محاسبه و فسفر موجود در عصاره‌ها به روش رنگ‌سنجی تعیین شد (۱۶).

(اجزای معدنی فسفر + فسفر آلی) - فسفر کل = فسفر باقی‌مانده

### آزمایش گلدانی

برای تعیین قابلیت جذب اجزای مختلف فسفر در خاک، کشت گلدانی با استفاده ازگیاه سیر در ۹ نمونه از۳۰ نمونه خاک (که



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.10.8 ]

دارای دامنه وسیعی از فسفر عصاره‌گیری شده به روش اولسن بودند) انجام شد. آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو سطح (صفر و ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم فسفر از منبع منو کلسیم فسفات) در سه تکرار انجام و جهت تأمین نیاز گیاه به عناصر غذایی مقادیر ۵ ، ۵ و۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم روی، آهن و پتاسیم به ترتیب از منابع، سولفات روی، سکوسترین آهن و سولفات پتاسیم به خاک همه گلدان‌ها اضافه شد. در فصل پاییز سه عدد سیرچه در هر گلدان کشت و گلدان‌ها در هوای آزاد قرار داده شدند. عنصر ازت به صورت کود اوره به مقدار ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم در دو نوبت در فصل بهار به هرگلدان اضافه شد. پس از مراقبت‌های لازم در پایان فصل رشد گیاه سیر از داخل گلدان‌ها خارج و پس از جدا کردن قسمت‌های هوایی، غده‌ها با اسید رقیق و آب مقطر شسته و آماده تجزیه شدند و شاخص‌های گیاهی به کمک فرمول‌های زیر تعیین شد.

غلظت فسفر در غده × وزن غده = جذب فسفر در غده (میلی‌گرم در گلدان)

عملکرد گیاه با مصرف کود / عملکرد گیاه بدون مصرف کود = عملکرد نسبی

مقدار کود مصرف شده / (عملکرد گیاه بدون مصرف کود - عملکرد گیاه با مصرف کود) = بازده زراعی (کیلوگرم در واحد سطح)

## نتایج و بحث

### خصوصیات خاک

تجزیه های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها نشان داد که، واکنش خاک‌ها در محدوده خنثی و کمی بالاتر در دامنه ۸/۱ -۷/۱، دامنه تغییرات قابلیت هدایت الکتریکی، ۰/۳۴ - ۰/۱۴ دسی زیمنس بر متر، دامنه تغییرات کربنات کلسیم معادل ۲۴ - ۰/۵۰ درصد، دامنه تغییرات مقدار رس ۵۰ - ۱۶ درصد و کربن آلی خاک‌ها ۱/۸ - ۰/۳۵ درصد و دامنه تغییرات گنجایش تبادل کاتیونی ۲۹ - ۱۱ سانتی‌مول بار بر کیلوگرم بود (جدول ۱).

### مقادیر اجزای مختلف فسفر

مقادیر اجزای مختلف فسفر دارای دامنه گسترده‌ای است. میانگین دی کلسیم فسفات، اکتا کلسیم فسفات و آپاتیت به ترتیب ۷۰، ۲۹۳ و ۳۶۴ میلی‌گرم در کیلوگرم بود و هر یک ۴/۷، ۲۰ و ۲۴ درصد از فسفر کل را تشکیل می‌دهند. میانگین فسفر پیوند شده با آلومینیوم، فسفر پیوند شده با آهن و فسفر حبس شده درون اکسید آهن به ترتیب ۱۳۰، ۴۶ و ۴۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بود که هر یک ۸/۷ ۳ و ۲/۸ درصد از فسفر کل را تشکیل می‌دهند. میانگین فسفر آلی ۲۸۷ میلی‌گرم در کیلوگرم بود که ۱۹ درصد از فسفر کل را تشکیل می‌دهد. میانگین فسفر باقی‌مانده ۲۷۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود که ۱۸ درصد از فسفر کل را به خود اختصاص داده و میانگین فسفر کل نیز ۱۵۰۱ میلی‌گرم در کیلوگرم بود (جدول ۲). به طور کلی می‌توان نسبت فراوانی اجزای مختلف فسفر در این خاک‌ها را به صورت زیر نشان داد: آپاتیت > اکتا کلسیم فسفات > فسفر آلی > فسفرباقی‌مانده > فسفر پیوند شده با آلومینیوم > دی کلسیم فسفات > فسفر پیوند شده با آهن > فسفر حبس شده در اکسید آهن.

بر اساس نتایج این تحقیق فسفر معدنی ۶۳ درصد از فسفر کل را به خود اختصاص داد، که مطابق با نتایج به دست آمده از مطالعات اندریکس و آمینوت (۵) است. آنها در تعدادی از خاک‌های ساحلی فسفر معدنی، فسفر آلی و فسفر باقی‌مانده را به ترتیب ۶۰، ۳۰ و ۱۰ درصد از فسفر کل گزارش کردند. صمدی و جیلکز (۲۱) در تعدادی از خاک‌های غیر زراعی در غرب استرالیا نشان دادند که فراوانی اجزای مختلف فسفر به صورت: فسفر پیوند شده با آلومینیوم > فسفر حبس شده درون اکسیدهای آهن > فسفر پیوند شده با آهن > آپاتیت = دی کلسیم فسفات > اکتا کلسیم فسفات، و در خاک‌های زراعی به صورت: فسفر پیوند شده با آلومینیوم > اکتا کلسیم فسفات > دی کلسیم فسفات > آپاتیت > فسفر پیوند شده با آهن > فسفر حبس شده درون اکسیدهای آهن است. لوپز و گارسیا (۱۵) در تعدادی از خاک‌های ورتی‌سول در جنوب غربی اسپانیا فراوانی



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.10.8 ]

**جدول۱. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه**

| شماره خاک | کربنات کلسیم | سیلت | رس | کربن آلی | هدایت الکتریکی | پ هاش | گنجایش تبادل کاتیونی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | % | | | | $dSm^{-1}$ | | $cmol_e\,kg^{-1}$ |
| ۱ | ۲۰ | ۳۶ | ۴۵ | ۰/۵۹ | ۰/۳۴ | ۷/۷ | ۲۹ |
| ۲ | ۸/۳ | ۱۸ | ۳۹ | ۱/۰ | ۰/۲۶ | ۷/۸ | ۲۲ |
| ۳ | ۶/۵ | ۲۶ | ۳۱ | ۰/۳۸ | ۰/۱۵ | ۷/۵ | ۲۰ |
| ۴ | ۱۰ | ۳۱ | ۳۱ | ۰/۴۸ | ۰/۱۷ | ۷/۵ | ۱۹ |
| ۵ | ۹/۵ | ۲۱ | ۲۸ | ۰/۷۹ | ۰/۲۹ | ۷/۵ | ۲۲ |
| ۶ | ۱/۵ | ۲۱ | ۳۸ | ۰/۷۳ | ۰/۱۴ | ۷/۱ | ۲۴ |
| ۷ | ۱۳ | ۱۴ | ۲۹ | ۱/۴ | ۰/۲۳ | ۸/۱ | ۲۴ |
| ۸ | ۳/۸ | ۱۹ | ۳۱ | ۰/۸۸ | ۰/۱۷ | ۷/۴ | ۱۸ |
| ۹ | ۱۶ | ۲۶ | ۴۲ | ۰/۶۳ | ۰/۲۳ | ۷/۶ | ۲۲ |
| ۱۰ | ۲۴ | ۱۹ | ۳۲ | ۰/۶۴ | ۰/۲۸ | ۷/۸ | ۲۵ |
| ۱۱ | ۸/۸ | ۱۳ | ۲۹ | ۰/۹۲ | ۰/۲۷ | ۷/۹ | ۲۹ |
| ۱۲ | ۲/۵ | ۱۹ | ۵۰ | ۰/۳۷ | ۰/۱۵ | ۷/۴ | ۱۷ |
| ۱۳ | ۲/۵ | ۱۵ | ۳۵ | ۰/۳۹ | ۰/۱۴ | ۷/۳ | ۲۰ |
| ۱۴ | ۷/۸ | ۲۱ | ۲۵ | ۰/۷۵ | ۰/۱۹ | ۷/۵ | ۱۷ |
| ۱۵ | ۲/۸ | ۱۶ | ۲۲ | ۰/۸۷ | ۰/۲۸ | ۷/۴ | ۲۱ |
| ۱۶ | ۵/۳ | ۱۴ | ۲۲ | ۱/۶ | ۰/۲۷ | ۷/۴ | ۲۳ |
| ۱۷ | ۳/۸ | ۹/۰ | ۲۲ | ۱/۵ | ۰/۱۹ | ۷/۶ | ۱۹ |
| ۱۸ | ۱/۳ | ۱۴ | ۲۲ | ۱/۴ | ۰/۲۴ | ۷/۶ | ۱۵ |
| ۱۹ | ۱۲ | ۹/۰ | ۲۷ | ۰/۸۷ | ۰/۲۹ | ۷/۹ | ۲۰ |
| ۲۰ | ۵/۸ | ۱۴ | ۲۷ | ۰/۶۴ | ۰/۳۱ | ۷/۹ | ۲۶ |
| ۲۱ | ۰/۸ | ۱۸ | ۲۴ | ۰/۵۲ | ۰/۲۲ | ۷/۵ | ۲۲ |
| ۲۲ | ۳/۸ | ۱۹ | ۲۲ | ۰/۳۵ | ۰/۲۴ | ۷/۶ | ۲۱ |
| ۲۳ | ۴/۸ | ۲۹ | ۳۲ | ۱/۳ | ۰/۲۴ | ۸/۰ | ۱۱ |
| ۲۴ | ۰/۵ | ۲۴ | ۳۱ | ۱/۲ | ۰/۱۶ | ۷/۲ | ۲۰ |
| ۲۵ | ۶/۳ | ۱۸ | ۳۴ | ۱/۱ | ۰/۳۱ | ۷/۹ | ۱۲ |
| ۲۶ | ۶/۸ | ۲۸ | ۲۹ | ۰/۸۷ | ۰/۲۱ | ۷/۶ | ۲۵ |
| ۲۷ | ۹/۸ | ۱۹ | ۲۹ | ۰/۷ | ۰/۲۶ | ۷/۵ | ۱۵ |
| ۲۸ | ۴/۳ | ۱۹ | ۲۶ | ۰/۶۷ | ۰/۱۸ | ۷/۵ | ۲۲ |
| ۲۹ | ۲/۷ | ۱۶ | ۱۶ | ۰/۴۵ | ۰/۱۶ | ۷/۳ | ۲۰ |
| ۳۰ | ۱/۳ | ۱۹ | ۱۷ | ۱/۸ | ۰/۳۳ | ۷/۷ | ۱۹ |
| میانگین | ۷/۰ | ۱۹ | ۳۰ | ۰/۸۶ | ۰/۲۳ | ۷/۶ | ۲۱ |
| دامنه | ۲۴-۰/۵ | ۳۶-۹/۰ | ۵۰-۱۶ | ۱/۸-۰/۳۵ | ۰/۳۴-۰/۱۴ | ۸/۱-۷/۱ | ۲۹-۱۱ |



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.10.8 ]

اجزای معدنی فسفر را به صورت زیر نشان دادند: فسفات کلسیم > فسفر پیوند شده با آهن > فسفر حبس شده درون اکسیدهای آلومینیوم > فسفر حبس شده درون اکسیدهای آهن > فسفر به آسانی قابل تبادل. ادهمی و همکاران (۱) در بررسی اجزای مختلف فسفر در چند نمونه از خاک‌های آهکی استان فارس، فراوانی نسبی اجزای مختلف فسفر را به صورت زیر بیان کردند: آپاتیت > اکتا کلسیم فسفات > فسفر پیوند شده با آلومینیوم > فسفر پیوند شده با آهن. محمود سلطانی و صمدی (۳) در بررسی اجزای مختلف فسفر در خاک‌های آهکی استان فارس گزارش کردند که ۷۳٪ از فسفر کل به صورت فسفر معدنی و مابقی به شکل فسفرآلی است.

**هم‌بستگی اجزای مختلف فسفر با خصوصیات خاک**

همان‌طور که بیان شد فسفات‌های کلسیم با میزان حدود ۴۹ درصد از فسفر کل بیشترین مقدار فسفر معدنی را به خود اختصاص می‌دهد که احتمالاً به خاطر بالا بودن pH، یون کلسیم، یون غالب در این خاک‌هاست. نتایج این مطالعه نشان داد که دی کلسیم فسفات، اکتا کلسیم فسفات، آپاتیت، فسفر پیوند شده باآلومینیوم، فسفر قابل جذب (فسفر عصاره‌گیری شده به روش اولسن) و فسفر کل هم‌بستگی معنی‌داری با کربنات کلسیم معادل دارند (جدول ۳). لوپز و گارسیا (۱۵) در تعدادی از خاک‌های ورتی‌سول در جنوب غربی اسپانیا نشان دادند، هم‌بستگی مثبتی میان فسفات‌های کلسیم و کربنات کلسیم معادل و هم‌بستگی منفی بین فسفر حبس شده درون اکسیدهای آهن با کربنات کلسیم معادل وجود دارد. که این نتیجه مطابق با نتایج به دست آمده در این تحقیق است. ولی هارل و وانگ (۱۰) در تعدادی از خاک‌های آهکی لوسیانا (Louisiana) نشان دادند فسفر قابل استخراج با اسیدکلریدریک هم‌بستگی معنی‌داری با کربنات کلسیم معادل ندارد.

نتایج این تحقیق نشان داد دی کلسیم فسفات، اکتا کلسیم فسفات، فسفر پیوند شده باآلومینیوم، فسفات‌های کلسیم، مجموع فسفر پیوند شده با آهن و آلومینیوم، فسفر قابل جذب و فسفر کل با pH خاک هم‌بستگی معنی‌داری دارند (جدول ۳). بر طبق این نتایج با افزایش pH مقدار اجزای مذکور فسفر افزایش می‌یابد که دور از انتظار ما نیست. هم‌بستگی مثبتی بین فسفر آلی و کربن آلی وجود دارد و حاکی از این موضوع است که مواد آلی می‌تواند منبع مهمی از فسفر آلی در این خاک‌ها باشد (جدول ۳).

**هم‌بستگی اجزای مختلف فسفر با فسفر قابل دسترس خاک**

عصاره‌گیر اولسن به طور گستردای به منظور ارزیابی قابلیت فراهمی فسفر در خاک‌های آهکی مورد استفاده قرار گرفته است (۱۸) و این شکل از فسفر هم‌بستگی معنی‌داری با شکل‌های فسفات کلسیم، فسفرپیوند شده با آلومینیوم و آهن دارد (۱۲). دامنه فسفر قابل دسترس در خاک‌های مورد مطالعه ۸/۲ تا ۶۷ با میانگین ۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود (جدول ۲). مطالعات هم‌بستگی بین اجزای مختلف فسفر با فسفر قابل دسترس نشان می‌دهد، دی کلسیم فسفات، اکتا کلسیم فسفات، آپاتیت (فسفات‌های کلسیم) و فسفر پیوند شده با آلومینیوم هم‌بستگی معنی داری با فسفر قابل دسترس دارند (جدول۴) و بیانگر آن است که فسفر عصاره‌گیری شده به روش اولسن احتمالاً از این اجزا آزاد می‌شود. فسفر آلی، هم‌بستگی معنی‌داری با فسفر قابل دسترس نداشت و نشان‌دهنده آن است که این شکل از فسفر نمی‌تواند در کوتاه مدت به وسیله گیاه استفاده شود. پینتو (۱۹) در تعدادی از خاک‌های گرمسیری نشان داد فسفر آلی حلالیت بیشتری در خاک‌های قلیایی و خنثی نسبت به خاک‌های اسیدی دارد و برای گیاه راحت‌تر در دسترس قرار می‌گیرد ولی صمدی و جیلکز (۲۱) در تعدادی از خاک‌های غرب استرالیا نشان دادند هیچ هم‌بستگی معنی‌داری بین فسفر آلی و فسفر استخراج شده به وسیله عصاره‌گیرهای اولسن و کالول وجود ندارد. این نتایج با نتیجه به دست آمده است در این تحقیق مطابقت دارد. صمدی (۲۲) در تعدادی از خاک‌های



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.10.8 ]

**جدول ۲. مقادیر اجزای مختلف فسفر در خاک‌های مورد مطالعه**

| شماره خاک | مجموع فسفات‌های کلسیم | فسفر قابل دسترس | فسفر باقی‌مانده | فسفر کل | فسفر آلی | آپاتیت | فسفر حبس شده درون اکسیدهای آهن | فسفر پیوند شده با آهن | فسفر پیوند شده با آلومینیوم | اکتا کلسیم فسفات | دی کلسیم فسفات | فسفات آهن و آلومینوم |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | mg kg$^{-1}$ | | | | | | |
| ۱ | ۱۵۵۶ | ۵۸ | ۱۰۸ | ۲۴۵۹ | ۴۰۰ | ۷۳۰ | * | ۶/۱ | ۳۸۹ | ۶۶۰ | ۱۶۶ | ۳۹۵ |
| ۲ | ۱۸۲۸ | ۵۶ | ۷۸ | ۲۳۷۷ | ۱۱۴ | ۱۰۳۸ | * | ۲۳ | ۳۳۴ | ۶۹۰ | ۱۰۰ | ۳۵۷ |
| ۳ | ۹۵۹ | ۲۹ | ۲۰۸ | ۱۴۳۸ | ۱۷۳ | ۶۹۲ | * | ۱۱ | ۸۷ | ۲۲۷ | ۴۰ | ۹۸ |
| ۴ | ۸۰۰ | ۲۸ | ۲۸۱ | ۱۳۶۲ | ۱۹۶ | ۵۹۴ | * | ۱۵ | ۷۱ | ۱۶۴ | ۴۲ | ۸۶ |
| ۵ | ۸۱۴ | ۳۰ | ۲۱۷ | ۱۱۶۴ | ۹۰ | ۵۲۳ | * | ۴۰ | ۳۹ | ۲۳۸ | ۵۳ | ۴۴ |
| ۶ | ۶۰۳ | ۲۳ | ۱۳۹ | ۱۰۵۵ | ۲۸۵ | ۴۷۱ | * | ۱/۰ | ۲۶ | ۸۷ | ۴۴ | ۲۸ |
| ۷ | ۱۸۷۲ | ۶۷ | ۶۵ | ۲۶۸۶ | ۲۷۰ | ۱۰۰۰ | * | ۳۴ | ۴۴۶ | ۷۵۰ | ۱۲۲ | ۴۷۹ |
| ۸ | ۷۹۴ | ۲۸ | ۹۸ | ۱۵۶۷ | ۲۸۷ | ۴۳۸ | ۱۸۸ | ۱۴۳ | ۵۸ | ۲۹۱ | ۶۴ | ۲۰۱ |
| ۹ | ۸۳۷ | ۲۵ | ۱۱ | ۱۳۷۶ | ۱۴۸ | ۳۹۹ | ۱۴۹ | ۱۳۵ | ۹۸ | ۳۴۲ | ۹۶ | ۲۳۲ |
| ۱۰ | ۱۲۶۶ | ۶۱ | ۵۶ | ۱۹۹۲ | ۲۲۸ | ۵۳۵ | ۱۴۶ | ۱۷۴ | ۱۲۲ | ۶۰۶ | ۱۲۵ | ۲۹۷ |
| ۱۱ | ۱۲۸۱ | ۶۴ | ۷۸ | ۱۷۶۶ | ۲۰۴ | ۴۷۰ | ۴۰ | ۵۸ | ۱۰۶ | ۶۲۶ | ۱۵۷ | ۱۶۳ |
| ۱۲ | ۴۳۰ | ۱۵ | ۱۷ | ۱۰۷۸ | ۹۹ | ۳۲۷ | ۳۷۱ | ۸۸ | ۷۴ | ۵۷ | ۴۵ | ۱۶۱ |
| ۱۳ | ۴۶۷ | ۱۳ | ۸۲ | ۱۱۱۹ | ۱۱۹ | ۳۱۹ | ۲۸۷ | ۷۴ | ۹۱ | ۱۱۲ | ۳۶ | ۱۶۴ |
| ۱۴ | ۷۲۴ | ۳۴ | ۱۱۶ | ۱۲۲۳ | ۳۰۶ | ۵۲۶ | * | ۳۹ | ۳۸/۳ | ۱۵۴ | ۴۴ | ۷۷ |
| ۱۵ | ۷۰۶ | ۳۹ | ۱۵ | ۱۰۲۲ | ۱۳۸ | ۲۶۷ | * | ۲۲ | ۱۴۱ | ۳۳۳ | ۱۰۷ | ۱۶۲ |
| ۱۶ | ۸۰۲ | ۴۵ | ۱۷۱ | ۱۳۷۲ | ۲۲۵ | ۲۶۰ | * | ۲۳ | ۱۵۲ | ۴۴۶ | ۹۶ | ۱۷۵ |
| ۱۷ | ۷۰۴ | ۴۲ | ۱۲۶ | ۱۶۱۰ | ۶۴۰ | ۲۵۵ | ۳۰ | ۴۲ | ۶۸ | ۳۳۲ | ۱۱۷ | ۱۱۰ |
| ۱۸ | ۷۵۴ | ۵۱ | ۳۸۰ | ۱۶۹۳ | ۴۰۵ | ۲۴۴ | * | ۳۵ | ۱۱۹ | ۴۱۹ | ۹۱ | ۱۵۴ |
| ۱۹ | ۴۴۸ | ۳۱ | ۵۲۵ | ۱۶۱۹ | ۴۴۸ | ۱۶۳ | * | ۲۸ | ۱۶۹ | ۲۴۲ | ۴۳ | ۱۹۷ |
| ۲۰ | ۶۲۱ | ۲۲ | ۴۳۹ | ۱۶۴۴ | ۳۸۷ | ۲۴۳ | ۲۷ | ۴۹ | ۱۲۱ | ۳۱۵ | ۶۳ | ۱۷۰ |
| ۲۱ | ۷۷۶ | ۶۱ | ۷۴۴ | ۱۹۲۸ | ۱۹۶ | ۳۱۶ | * | ۳۹ | ۱۷۳ | ۴۲۲ | ۳۹ | ۲۱۲ |
| ۲۲ | ۳۹۲ | ۸/۰ | ۷۵۴ | ۱۷۳۲ | ۴۱۹ | ۱۵۱ | * | ۴۷ | ۱۱۹ | ۲۰۲ | ۳۹ | ۱۶۶ |
| ۲۳ | ۳۱۶ | ۱۹ | ۲۶۳ | ۹۴۹ | ۱۶۶ | ۱۵۸ | * | ۳۸ | ۱۶۶ | ۱۰۲ | ۵۷ | ۲۰۳ |
| ۲۴ | ۲۹۸ | ۱۲ | ۲۱۷ | ۱۰۶۷ | ۳۸۶ | ۱۷۰ | * | ۴۰ | ۱۲۵ | ۹۶ | ۳۳ | ۱۶۶ |
| ۲۵ | ۱۳۳ | ۱۶ | ۷۸۸ | ۱۴۲۷ | ۳۷۱ | ۳۶ | * | ۲۶ | ۱۰۹ | ۵۳ | ۴۴ | ۱۳۵ |
| ۲۶ | ۱۰۴ | ۱۵ | ۵۴۵ | ۱۰۷۰ | ۲۹۷ | ۳۴ | * | ۳۶ | ۸۹ | ۳۱ | ۳۹ | ۱۲۴ |
| ۲۷ | ۲۳۵ | ۱۲ | ۵۹۸ | ۱۳۶۶ | ۳۶۲ | ۱۵۰ | ۶/۵ | ۴۶ | ۱۱۸ | ۴۷ | ۳۸ | ۱۶۴ |
| ۲۸ | ۱۳۵ | ۲۲ | ۶۴۳ | ۹۴۱ | ۷۵ | ۶۰ | * | ۱۴ | ۷۴ | ۴۴ | ۳۱ | ۸۸ |
| ۲۹ | ۳۱۰ | ۱۹ | ۲۱۲ | ۱۲۳۳ | ۴۹۲ | ۱۳۷ | ۷/۰ | ۴۹ | ۱۶۴ | ۱۴۳ | ۳۰ | ۲۱۲ |
| ۳۰ | ۸۴۵ | ۳۸ | ۱۳۴ | ۱۶۹۶ | ۶۷۶ | ۱۹۹ | * | ۳۳ | ۸/۰ | ۵۵۳ | ۹۴ | ۴۱ |
| میانگین | ۷۲۷ | ۳۳ | ۲۷۰ | ۱۵۰۱ | ۲۸۷ | ۳۶۴ | ۴۲ | ۴۶ | ۱۳۰ | ۲۹۳ | ۷۰ | ۱۷۵ |
| دامنه | ۱۰۴-۱۸۷۲ | ۹/۰-۶۷ | ۱۱-۷۸۸ | ۹۴۱-۲۶۸۶ | ۷۵-۶۷۶ | ۳۴-۱۰۳۸ | ۰/۰-۳۷۱ | ۱/۰-۱۷۴ | ۸/۰-۴۴۶ | ۳۱-۷۵۰ | ۳۰-۱۶۶ | ۲۸-۴۹۷ |

*: توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قابل قرائت نبود.



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.10.8 ]

**جدول۳. ضرایب هم‌بستگی بین اجزای مختلف فسفر با ویژگی‌های خاک**

| اجزای مختلف فسفر | کربنات کلسیم | رس | کربن آلی | پ هاش | گنجایش تبادل کاتیونی |
|---|---|---|---|---|---|
| دی کلسیم فسفات | ۰/۵۱** | ۰/۱۱ ns | ۰/۳۷* | ۰/۴۴* | ۰/۴۸** |
| اکتا کلسیم فسفات | ۰/۴۴** | -۰/۱۰ ns | ۰/۳۴ ns | ۰/۴۹** | ۰/۵۱** |
| فسفر پیوند شده با آلومینیوم | ۰/۴۱* | ۰/۲۱ ns | ۰/۱۱ ns | ۰/۴۷** | ۰/۲۸ ns |
| فسفر پیوند شده با آهن | ۰/۳۳ ns | ۰/۲۲ ns | -۰/۱۸ ns | ۰/۱۰ ns | ۰/۱۰ ns |
| فسفر حبس شده درون اکسیدهای آهن | -۰/۱۳ ns | ۰/۸۴** | -۰/۴۹ ns | -۰/۴۳ ns | -۰/۲۵ ns |
| آپاتیت | ۰/۴۶* | ۰/۳۹* | -۰/۱۰ ns | ۰/۲۱ ns | ۰/۳۷* |
| مجموع فسفات‌های کلسیم | ۰/۵۱** | ۰/۲۲ ns | ۰/۱۶ ns | ۰/۳۹* | ۰/۴۹** |
| فسفر آلی | -۰/۱۳ ns | -۰/۴۸** | ۰/۴۰* | ۰/۱۱ ns | -۰/۱۱ ns |
| فسفات آهن و آلومینیوم | ۰/۵۳** | ۰/۲۹ ns | ۰/۱۰ ns | ۰/۴۸** | ۰/۲۸ ns |
| فسفر کل | ۰/۴۸** | ۰/۱۰ ns | ۰/۱۶ ns | ۰/۵۷** | ۰/۳۸* |
| فسفر قابل دسترس | ۰/۴۰* | -۰/۱۰ ns | ۰/۳۲ ns | ۰/۴۱* | ۰/۴۶* |

** : معنی‌دار در سطح احتمال (یک درصد)  * :معنی دار در سطح احتمال (پنج درصد)  ns : در سطح احتمال (پنج درصد) معنی‌دار نیست.

غرب استرالیا نشان داد فسفر عصاره‌گیری شده به روش اولسن هم‌بستگی معنی‌داری با دی کلسیم فسفات، فسفر پیوند شده با آلومینیوم، فسفر پیوند شده با آهن و آپاتیت دارد.

لوپز و گارسیا (۱۵) در تعدادی از خاک‌های جنوب غرب اسپانیا نشان دادند که فسفر عصاره‌گیری شده به روش اولسن هم‌بستگی معنی‌داری با فسفر عصاره‌گیری شده توسط عصاره‌گیر $NH_4Cl$ دارد. در این تحقیق نشان داده شد که دی کلسیم فسفات، اکتا کلسیم فسفات، آپاتیت (فسفات‌های کلسیم) و فسفر پیوند شده با آلومینیوم احتمالاً تأثیر شدیدی بر فراهمی فسفر قابل دسترس در این خاک‌ها دارند (جدول ۴).

## قابلیت فراهمی فسفر برای گیاه سیر

شکل‌های مختلف فسفر در خاک‌های آهکی غالباً با فسفات‌های کلسیمی که بر سطوح ذرات کربنات کلسیم جذب سطحی شده‌اند هم‌بستگی دارد (۱۲). تأثیر کاربرد کود فسفاتی بر شاخص‌های گیاه سیر در جدول ۵ نشان داده شده است. مطالعات نشان داد در اکثر خاک‌ها افزایش معنی‌داری در عملکرد خشک، جذب و غلظت فسفر در سطح احتمال ۵ درصد وجود دارد که نشان‌دهنده پاسخ معنی‌دار گیاه سیر به کاربرد کود در این خاک‌هاست. چون انتخاب خاک‌ها جهت مطالعات گلدانی بر اساس فسفر عصاره‌گیری شده به روش اولسن انجام گرفت، طبق پیش‌بینی باید با افزایش مقدار فسفر قابل دسترس، پاسخ به کاربرد کود و یا بازده زراعی کاهش یابد که نتایج مطالعات هم‌بستگی در جدول ۶ همین موضوع را اثبات می‌کند. هم‌چنین نتایج سایر مطالعات در این جدول نشان داد از بین اجزای مختلف فسفر دی کلسیم فسفات، اکتا کلسیم فسفات و فسفر قابل دسترس هم‌بستگی معنی‌داری با شاخص‌های گیاهی دارد و از بین این شاخص‌ها عملکرد نسبی بیشترین هم‌بستگی را داشت. هارل و وانگ (۱۰) در تعدادی از خاک‌های آهکی نشان دادند فسفات کلسیم، فسفر پیوند شده با آلومینوم هم‌بستگی معنی‌داری با شاخص‌های گیاهی داشته ولی فسفر پیوند شده با آهن هیچ هم‌بستگی معنی داری نداشت و این نتایج تا حدودی موافق با نتایج حاصل در این پژوهش است. این نتیجه نشان می‌دهد در این خاک‌ها فسفر پیوند شده



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.10.8 ]

**جدول ۴. ضرایب هم‌بستگی بین شکل‌های مختلف فسفر**

| | دی کلسیم فسفات | اکتا کلسیم فسفات | فسفر پیوند شده با آلومینیوم | فسفر پیوند شده با آهن | فسفر حبس شده درون اکسید آهن | آپاتیت | مجموع فسفات‌های کلسیم | فسفر آلی | فسفات آهن و آلومینیوم | فسفر کل | فسفر قابل دسترس |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| اکتا کلسیم فسفات | ۰/۸۵** | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| فسفرپیوند شده با آلومینیوم | ۰/۴۷** | ۰/۶۰** | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| فسفر پیوند شده با آهن | ۰/۱۶ns | ۰/۱۲ns | -۰/۱۶ns | - | - | - | - | - | - | - | - |
| فسفر حبس شده درون اکسید آهن | -۰/۲۵ns | -۰/۲۸ns | -۰/۵۴ns | ۰/۴۵ns | - | - | - | - | - | - | - |
| آپاتیت | ۰/۴۷** | ۰/۶۴** | ۰/۵۴** | -۰/۱۰ns | ۰/۳۶ns | - | - | - | - | - | - |
| مجموع فسفاتهای کلسیم | ۰/۷۵** | ۰/۹۱** | ۰/۶۳** | ۰/۱۰ns | -۰/۱۰ns | ۰/۹۱** | - | - | - | - | - |
| فسفر آلی | ۰/۱۰ns | ۰/۱۰ns | -۰/۱۰ns | -۰/۱۰ns | -۰/۷۴* | -۰/۳۲ns | -۰/۱۳ns | - | - | - | - |
| فسفات آهن و آلومینیوم | ۰/۵۲** | ۰/۶۴** | ۰/۹۲** | ۰/۲۵ns | ۰/۱۰ns | ۰/۵۳** | ۰/۶۴** | -۰/۱۰ns | - | - | - |
| فسفر کل | ۰/۶۳** | ۰/۸۶** | ۰/۷۴** | ۰/۱۰ns | -۰/۴۶ns | ۰/۶۴** | ۰/۸۲** | ۰/۲۲ns | ۰/۷۵** | - | - |
| فسفر قابل دسترس | ۰/۷۸** | ۰/۹۰** | ۰/۵۲** | ۰/۱۰ns | -۰/۲۷ns | ۰/۶۱** | ۰/۸۴** | -۰/۱۰ns | ۰/۵۲** | ۰/۷۵** | - |
| فسفر باقی‌مانده | -۰/۵۲** | -۰/۴۱* | -۰/۱۰ns | -۰/۲۹ns | -۰/۶۰ns | -۰/۵۵** | -۰/۵۵** | ۰/۱۷ns | -۰/۲۱ns | -۰/۱۰ns | -۰/۳۳ns |

**: معنی‌دار در سطح احتمال (یک درصد)  *: معنی‌دار در سطح احتمال (پنج درصد)  ns در سطح احتمال (پنج درصد) معنی‌دار نیست.

با آهن نمی‌تواند نقش مهمی در فراهمی فسفر برای گیاه سیر داشته باشد. فسفرآلی هیچ هم‌بستگی با شاخص‌های گیاهی نداشت. این عامل می‌تواند ناشی از کم بودن مقدار ماده آلی در این خاک‌ها باشد. گو و همکاران (۹) نشان دادند در خاک‌هایی که مقادیر زیادی کود معدنی فسفر دریافت کرده‌اند، اجزای آلی فسفر هیچ نقشی در فسفر قابل جذب گیاه ندارند. در نهایت



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.10.8 ]

**جدول ۵. تأثیر کاربرد کود فسفره بر شاخص‌های گیاه سیر**

| شماره خاک | بازده زراعی (کیلوگرم در واحد سطح) | عملکرد خشک (گرم در هر گلدان) | | غلظت فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم) | | جذب فسفر (میلی‌گرم در هر گلدان) | | عملکرد نسبی | فسفر قابل دسترس |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | شاهد | تیمار | شاهد | تیمار | شاهد | تیمار | | (میلی‌گرم بر کیلوگرم) |
| ۱۵ | ۶/۷ | ۱۴ a | ۱۵ a | ۱۵۹۲/۵ a | ۱۷۶۸/۰ a | ۲۲ b | ۲۶ a | ۰/۹۴ | ۳۹ |
| ۱۶ | ۳/۳ | ۹/۰ a | ۹/۵ a | ۱۷۴۲/۸ b | ۱۹۶۲/۰ a | ۱۶ a | ۱۹ a | ۰/۹۵ | ۴۵ |
| ۱۹ | ۲۴ | ۸/۴ b | ۱۲ a | ۱۵۱۱/۰ a | ۱۵۷۶/۳ a | ۱۳ b | ۱۹ a | ۰/۷۱ | ۳۱ |
| ۲۲ | ۲۱ | ۵/۰ b | ۸/۱ a | ۱۴۰۳/۵ b | ۱۶۷۷/۰ a | ۷/۰ b | ۱۴ a | ۰/۶۲ | ۸/۰ |
| ۲۳ | ۲۷ | ۱۱ b | ۱۵ a | ۱۳۸۳/۰ b | ۱۶۲۰/۲ a | ۱۵ b | ۲۴ a | ۰/۷۰ | ۱۹ |
| ۲۴ | ۱۵ | ۵/۴ b | ۷/۶ a | ۱۵۳۱/۰ b | ۱۸۰۹/۰ a | ۸/۰ b | ۱۴ a | ۰/۷۱ | ۱۲ |
| ۲۶ | ۱۶ | ۹/۶ b | ۱۲ a | ۱۲۵۰/۰ a | ۱۲۹۸/۳ a | ۱۲ b | ۱۶ a | ۰/۷۷ | ۱۵ |
| ۲۹ | ۲۵ | ۷/۳ b | ۱۱ a | ۱۶۳۸/۰ a | ۱۵۳۲/۳ a | ۱۲ b | ۱۷ a | ۰/۶۷ | ۱۹ |
| ۳۰ | ۶/۷ | ۱۳ a | ۱۴ a | ۱۱۵۳/۳ b | ۱۷۸۷/۳ a | ۱۵ b | ۲۵ a | ۰/۹۵ | ۳۸ |

مقایسه میانگین با استفاده از آزمون LSD بین تیمار و شاهد در سطح احتمال ۵ صورت گرفته و تفاوت در هر دو میانگین که حداقل دارای یک حرف مشترک می‌باشند معنی‌دار نیست.

**جدول ۶. ضرایب هم‌بستگی بین اجزای مختلف فسفر با شاخص‌های گیاه سیر**

| شاخص گیاهی / اجزای فسفر | غلظت فسفر | جذب فسفر | بازده زراعی | عملکرد نسبی | عملکرد خشک |
|---|---|---|---|---|---|
| دی کلسیم فسفات | ۰/۱۰ ns | ۰/۸۳** | -۰/۸۰** | ۰/۹۲** | ۰/۷۸* |
| اکتا کلسیم فسفات | ۰/۱۰ ns | ۰/۵۰ ns | -۰/۷۱* | ۰/۷۸* | ۰/۵۲ ns |
| فسفرپیوند شده با آلومینیوم | ۰/۷۷* | ۰/۱۰ ns | ۰/۴۷ ns | -۰/۴۱ ns | -۰/۳۴ ns |
| فسفر پیوند شده با آهن | -۰/۲۲ ns | -۰/۷۷* | ۰/۶۶ ns | -۰/۸۰** | -۰/۶۵ ns |
| آپاتیت | ۰/۵۲ ns | ۰/۵۹ ns | -۰/۵۹ ns | ۰/۶۲ ns | ۰/۳۶ ns |
| مجموع فسفاتهای کلسیم | ۰/۱۶ ns | ۰/۶۰ ns | -۰/۷۴* | ۰/۸۱** | ۰/۵۱ ns |
| فسفر آلی | -۰/۴۲ ns | -۰/۴۳ ns | -۰/۱۰ ns | -۰/۱۱ ns | -۰/۱۷ ns |
| فسفات آهن و آلومینیوم | ۰/۷۲* | -۰/۱۲ ns | ۰/۵۹ ns | -۰/۵۶ ns | -۰/۴۶ ns |
| فسفر کل | -۰/۲۱ ns | -۰/۳۱ ns | -۰/۱۰ ns | -۰/۱۰ ns | -۰/۱۸ ns |
| فسفر قابل دسترس | ۰/۲۶ ns | ۰/۷۹* | -۰/۷۰* | ۰/۸۸** | ۰/۶۸* |

**: معنی‌دار در سطح احتمال (یک درصد)  * : معنی دار در سطح احتمال (پنج درصد)  ns: در سطح احتمال (پنج درصد) معنی‌دار نیست.

مشخص شد دی کلسیم فسفات و اکتا کلسیم فسفات بیشترین تأثیر را بر شاخص‌های گیاهی داشته و می‌توانند در دراز مدت استفاده شوند (جدول ۵ و ۶).

## نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد نسبت فراوانی اجزای مختلف فسفر در این خاک‌ها به صورت زیر است:



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.10.8 ]

آپاتیت > اکتا کلسیم فسفات > فسفر آلی > فسفرباقی‌مانده > فسفر پیوند شده با آلومینیوم > دی کلسیم فسفات> فسفر پیوند شده با آهن > فسفر حبس شده در اکسید آهن. فسفات‌های کلسیم با ۴۹ درصد از فسفر کل بیشترین مقدار را به خود اختصاص می‌دهد. نتایج مطالعات هم‌بستگی نشان داد فسفر قابل دسترس عمدتاً از دی کلسیم فسفات، اکتا کلسیم فسفات، آپاتیت و فسفر پیوند شده با آلومینیوم آزاد می‌شود. این اجزا احتمالاً می‌توانند در تأمین فسفر قابل استفاده گیاه نقش داشته باشند. نتایج کشت گلدانی نشان داد: دی کلسیم فسفات و اکتا کلسیم فسفات بیشترین تأثیر را بر شاخص‌های گیاهی و جذب فسفر توسط گیاه سیر داشته و در این خاک‌ها از نظر مقدار فسفر عدم تعادل وجود دارد.

## منابع مورد استفاده


۱. ادهمی، ا.، م. مفتون، ع. رونقی و ن. کریمیان. ۱۳۸۴. بررسی شکل‌های مختلف فسفر در چند خاک آهکی انتخابی استان فارس. نهمین کنگره علوم خاک ایران، تهران.

۲. سالاردینی، ع. ۱۳۷۴. *حاصلخیزی خاک*. انتشارات دانشگاه تهران.

۳. محمود سلطانی، ش. و ع. صمدی. ۱۳۸۲. شکل‌های مختلف فسفر در برخی خاک‌های آهکی استان فارس و روابط آنها با ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی خاک. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۷(۳):۱۱۹- ۱۲۸.

۴. ملکوتی، م. ۱۳۷۸. کشاورزی پایدار و افزایش عملکرد با بهینه سازی مصرف کود در ایران. چاپ دوم، انتشارات آموزش کشاورزی، سازمان تات، وزارت کشاورزی، کرج، ایران.

5. Andrieux-Loyer, F and A. Aminot. 2001. Phosphorus forms related to sediment grain size and geochemical characteristics in french coastal areas. ECSS. 52: 617-629.
6. Chang, S. C and M. L. Jackson. 1957. Fractionation of soil phosphorus. Soil Sci. 84: 133-144.
7. 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 Sci. Soc. Amer. J. 87:12-21
8. Gee, G. W and J. W. Bauder. 1986. Particle size analysis. PP: 383-409. *In*: A. Klute. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2, Physical and mineralogical methods. ASA, Madison, WI.
9. Gou, A., R. S. Yost., N. V. Hue., C. I. Evenson and J. A. Silva. 2000. Changes in phosphorus fractions in soils under plant growth. Soil Sci. Soc. Amer. J. 64: 1681-1688.
10. Harrell, D. L. and J. J. Wang. 2006. Fractionation and sorption of inorganic phosphorus in Louisiana calcareous soils. Soil Sci. 171: 39-51.
11. Jiang, B and Y. Gu. 1989. A suggested fractionation scheme of inorganic phosphorus in calcareous soils. Fertil Res. 20: 159-165.
12. Kamprath E. J and M. E. Watson. 1980. Conventional soil and tissue tests for assessing the phosphorus status of soils. PP: 433-469. *In*: F. E. Khasawneh ***et al***. (Eds.), The Role of Phosphorus Agriculture. ASA, CSSA SSSA Madison, WI.
13. Kou, S. 1996. Total organic phosphorus. PP: 869-919. *In*: D. L. Sparks. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. SSSA. Madison, WI.
14. Loeppert, R. H. and D. L. Suarez. 1996. Carbonate and gypsum. PP: 437-474. *In*: D. L. Sparks. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3, Chemical Methods, SSSA. Madison, WI.
15. Lopez-Pinerio, A. and A. Garcia-Navarro. 2001. Phosphate fractions and availability in vertisols of South-Western Spain. Soil Sci. Soc. Amer. J. 166: 548-556.
16. Murphy, I. C. R. and J. P. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chim. Acta. 27: 31-143.
17. Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. PP: 961-1010. *In*: D. L. Sparks. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3, Chemical Methods, SSSA. Madison, WI.
18. Olsen, S. R., C. V. Cole, F. S. Watanabe and L. A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. USDA. Circ. 939. U.S. GOV. Print Office, Washington, DC.
19. Pinto, R. 1974. Forms of soil phosphorus and their availability to plants. Tropical Agric. 51: 179-188.
20. Rhodes, J. D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. PP: 417-435. *In*: D. L. Sparks. (Ed.),




[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.10.8 ]

Methods of Soil Analysis. Part 3, Chemical Methods, SSSA. Madison, WI.
21. 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.
22. Samadi, A. 2003. A study on distribution of forms of phosphorus in calcareous soils of Western Australia. J. Agric. Sci. Technol. 5: 39-49.
23. Sommers, L. E. and D. W. Nelson. 1997. Determination of total phosphorus in soils: A rapid percholoric acid digestion procedure . Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 36: 902 – 904.
24. Sumner, M. E and W. P. Miller. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficient. PP: 1201-1230. *In*: D. L. Sparks. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3, Chemical Methods, SSSA. Madison, WI.
25. Thomas, G. W. 1996. Soil pH and soil acidity. PP: 475-490. *In*: D. L. Sparks. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3, Chemical Methods, SSSA. Madison, WI.

[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.10.8 ]