تأثیر لجن فاضلاب بر جذب فسفر و فسفر قابل استفاده در برخی از خاک‌های آهکی

مهدیه خورشید[۱]، علیرضا حسین پور[۲*] و شاهین اوستان[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۱۲/۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۸/۱۱)

چکیده

کودهای آلی می‌توانند بر جذب سطحی فسفر و قابلیت استفاده آن تأثیر داشته باشند. اطلاعات اندکی در باره اثر لجن فاضلاب بر ویژگی‌های جذب فسفر در خاک‌های آهکی استان همدان وجود دارد. هدف این پژوهش مطالعه تأثیر لجن فاضلاب بر ویژگی‌های جذب فسفر و فسفر قابل استفاده در ده خاک آهکی استان همدان بود. نمونه‌های خاک با ۱/۵ در صد و بدون لجن فاضلاب به مدت ۵ ماه در رطوبت ظرفیت مزرعه در دمای ۲۵±۱°C در انکوباتور قرار گرفتند. پس از انکوباسیون فسفر قابل استفاده با روش اولسن تعیین شد. برای ارزیابی ویژگی‌های جذب فسفر، غلظت‌های فسفر از صفر تا ۳۰ میلی‌گرم در لیتر حاوی کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار به نمونه‌های شاهد و تیمار شده اضافه شدند. پس از رسیدن به تعادل، غلظت فسفر در محلول تعادلی تعیین شد. نتایج نشان داد فسفر قابل استفاده در اثر کاربرد لجن فاضلاب افزایش یافت. متوسط فسفر قابل استفاده خاک‌ها ۳۷/۶ درصد افزایش یافت. دامنه تغییرات فسفر قابل استفاده در خاک‌های تیمار نشده و خاک‌های تیمار شده به ترتیب ۸/۱-۲۲/۱ و ۱۴/۸-۲۸/۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. نتایج نشان داد، داده‌های جذب فسفر در تمام نمونه‌ها به وسیله معادله‌های فروندلیچ و خطی توصیف شدند، ولی معادله لانگمویر قادر به توصیف جذب فسفر در برخی از نمونه‌های تیمار شده نبود. ثابت‌های هم‌دماهای جذب در خاک‌های تیمار شده با لجن کمتر از خاک‌های تیمار نشده بود. متوسط حداکثر جذب فسفر، ثابت متناسب با انرژی پیوند و ماکزیمم گنجایش بافری به ترتیب ۳۸/۸۵ ، ۲۱/۳۴ و ۳۸/۹ کاهش یافت. متوسط ضریب توزیع ، n معادله فروندلیچ و گنجایش بافری تعادلی در معادله خطی (شیب معادله خطی) در اثر تیمار با لجن فاضلاب به ترتیب ۲۱/۷ ، ۱۶/۰ و ۶/۱ درصد کاهش یافت. نتایج این مطالعه نشان داد که نیاز استاندارد فسفر خاک‌ها در اثر تیمار با لجن فاضلاب کاهش یافت. هم‌چنین نتایج ویژگی‌های جذب فسفر نشان داد که در اثر مصرف لجن فاضلاب خطر وارد شدن فسفر به آب‌های سطحی وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: لجن فاضلاب، فسفر، ویژگی‌های جذب، ظرفیت بافری، هم‌دما

مقدمه

با ظهور کشاورزی متمرکز، کمبود فسفر در خاک به پدیده‌ای گسترده مبدل شد (۷). جهت جبران این کمبود سالیانه مقادیر زیادی کودهای شیمیایی فسفردار به خاک اضافه می‌گردد. ولی به‌دلیل وارد شدن فسفر در واکنش‌های مختلف با اجزای خاک فراهمی این عنصر در خاک کاهش می‌یابد (۴). نتیجه این امر کاهش راندمان جذب فسفر به‌وسیله گیاه است. تجمع فسفر در خاک علاوه بر این‌که از لحاظ اقتصادی و آلودگی محیط زیست

۱. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان
۲. دانشیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
۳. استادیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: hosseinpur-a@agr.sku.ac.ir

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.58.7]

امری نامطلوب تلقی می‌گردد، باعث به‌هم خوردن توازن بین عناصر غذایی نیز می‌گردد. محققان به‌منظور افزایش کارایی استفاده از فسفر، راه‌کارهایی را ارائه نموده‌اند که از آن جمله استفاده از منابع آلی فسفردار می‌باشد. کودهای آلی قادرند که تحرک فسفر تجمع یافته در خاک را افزایش دهند (۳۴). این تحرک به‌وسیله تبدیل شکل‌های نامحلول آهن، آلومینیوم و کلسیم به شکل‌های محلول فسفر و با مکانیسم‌های تولید اسیدهای آلی و کلات‌کننده‌ها در طی تجزیه کودهای آلی محقق می‌گردد (۱۱). لجن فاضلاب به عنوان محصول تصفیه فاضلاب حاوی مواد آلی و عناصر غذایی زیادی بوده و به طور سنتی برای بهبود حاصل‌خیزی زمین‌های کشاورزی و ارتقای زیست توده آنها به کار می‌رود. کاربرد لجن فاضلاب در مناطق خشک و نیمه خشک، که مواد آلی خاک‌ها کمتر از ۱/۷ درصد است مفید گزارش شده است (۱۰).

فسفر در خاک‌های آهکی، به‌مقدار زیادی به‌وسیله واکنش‌های جذب و رسوب در سطوح کانی‌های کربناتی ابقا می‌شود (۱۳). از آنجا که در ایران بیش از ۶۰ درصد اراضی زیر کشت به درجات مختلف آهکی هستند (۳) و ابقای فسفر در خاک‌های آهکی بسیار مشکل‌ساز است، کاربرد لجن فاضلاب برای خاک‌های ایران مناسب به نظر می‌رسد.

در مورد تأثیر کاربرد کودهای آلی بر جذب فسفر مطالعاتی انجام شده است(۶، ۱۴، ۱۵، ۱۷ و ۱۸). ایامورمی و همکاران با تیمار خاک‌های اسیدی با کود حیوانی، مانده‌های آلی گیاهی، گچ و کربنات کلسیم دریافتند که بیشترین غلظت فسفر عصاره‌گیری شده با کلرید کلسیم در کود حیوانی بود(۱۴). مک داول و شارپلی با مطالعه روی خاک‌های تیمار شده با کود گاوی، کود مرغی و کود شیمیایی دریافتند که در خاک‌های تیمار شده با کود شیمیایی فسفر با قدرت بیشتری جذب شد(۱۷). والن و چانگ(۳۶) در آزمایش‌های خود دریافتند که کاربرد درازمدت مواد آلی باعث می‌شود که فسفر با پیوندهای کم انرژی تر نگه‌داری شده و قابلیت استفاده آن افزایش پیدا کند. در مطالعه بال و تور در خاک‌های تیمار شده با کود مرغی جذب سطحی و نیاز استاندارد فسفر کاهش یافت(۶). در مطالعه سیدیکو و رابینسون با اضافه کردن کود مرغی و لجن فاضلاب، حداکثر جذب فسفر ۴۱-۷ و ثابت وابسته به انرژی پیوند ۳۰-۱۱ در صد کاهش یافت(۲۸). هم‌چنین در مطالعه‌ای دیگر سیدیکو و رابینسون دریافتند که اضافه کردن کودهای آلی شاخص تک نقطه‌ای جذب فسفر را کاهش و فسفر قابل استفاده با رزین را افزایش داد(۲۹). در مطالعه سویی و تامپسون در اثر کاربر جامدهای زیستی، حداکثر جذب فسفر، ثابت وابسته به انرژی پیوند و گنجایش بافری خاک‌ها کاهش، در حالی‌که غلظت تعادلی فسفر پس از کاربر بیوسالید افزایش یافت(۳۱).

واکنش‌های جذب و واجذبی فسفر و ظرفیت بافری فسفر خاک از جنبه‌های کشاورزی و زیست محیطی نقش مهمی را بازی می‌کنند (۳۲). مفهوم کمیت – شدت فسفر به وسیله اسکوفیلد معرفی شد(۲۶). به نظر وی مقدار فسفر قابل استفاده گیاه نمی‌تواند لزوما وابسته به مقدار فسفر لبایل باشد. روابط کمیت – شدت اطلاعاتی را درباره توانایی جذب فسفر خاک‌ها می‌دهد. جذب فسفر در خاک‌ها می‌تواند به وسیله مدل‌هایی توصیف شود که هم‌دماهای جذب لانگ مویر، فروندلیچ و خطی متداول‌تر از بقیه می‌باشند. پارامترهای این معادلات بیانگر ویژگی‌های جذب فسفر توسط خاک می‌باشند و هر عاملی که بر جذب فسفر توسط خاک تأثیر گذارد، این پارامترها را نیز تغییر خواهد داد. بنابراین با استفاده از این معادلات می‌توان به‌صورت غیر مستقیم ویژگی‌های جذب فسفر خاک‌ها را برآورد کرد. هرچند در مورد جذب فسفر خاک‌های همدان مطالعاتی انجام شده (۲و ۱۶)، ولی در مورد اثر لجن فاضلاب بر این فرآیند مطالعه‌ای انجام نشده است. هدف این پژوهش مطالعه تأثیر لجن فاضلاب بر ویژگی‌های جذب فسفر و فسفر قابل استفاده در تعدادی از خاک‌های آهکی استان همدان بود.

مواد و روش‌ها

به منظور انجام این پژوهش، تعداد۳۰ نمونه مرکب از خاک‌های

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.58.7]

استان همدان از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری انتخاب شدند. خاک‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه و هوا خشک شدن، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. سپس براساس میزان فسفر قابل استخراج با روش اولسن، کربنات کلسیم معادل، pH، کربن آلی و درصد رس، تعداد ۱۰ نمونه از بین آنها انتخاب گردید.

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک با توجه به روش‌های معمول آزمایشگاهی تعیین شدند. pH و EC نمونه‌های خاک در عصاره دو به یک آب به خاک(۲۵و ۳۳)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی با اسیدکلریدریک نرمال (۲۱)، مقدار ماده‌آلی نمونه‌های خاک از روش اکسیداسیون تر (۳۵)، بافت خاک به روش هیدرومتر(۹)، گنجایش تبادل کاتیونی خاک با روش استات سدیم در pH=۷ (۳۱) و فسفر قابل استفاده با روش اولسن عصاره‌گیری (۲۲) و با استفاده از روش رنگ‌سنجی (۱۹) تعیین شد. برخی از ویژگی‌های لجن فاضلاب مانند pH، قابلیت هدایت الکتریکی و فسفر قابل استفاده با روش‌های توضیح داده شده در بالا تعیین شد. فسفر کل لجن فاضلاب به روش هضم با اسید نیتریک و پرکلریک تعیین شد(۲۳).

جهت مطالعه تأثیر لجن فاضلاب بر ویژگی‌های جذب فسفر مقدار۱/۵% لجن فاضلاب که از تصفیه خانه فاضلاب تبریز تهیه شده بود (۵۸/۵ تن در هکتار براساس وزن خشک) پس از آسیاب کردن و عبور از الک ۰/۵ میلی متری به یک سری از نمونه‌های خاک اضافه و به همراه نمونه‌های شاهد به مدت ۵ ماه در رطوبت ظرفیت مزرعه و در دمای۱ ± ۲۵ درجه سانتی‌گراد در انکوباتور نگه‌داری شدند. در تصفیه خانه فاضلاب تبریز، فرآیند تصفیه بیولوژیکی فاضلاب از نوع لجن فعال با هوادهی دیفیوزی و تجهیزات هضم بیهوازی جهت تصفیه و تثبیت لجن تولیدی است. در طول مدت انکوباسیون رطوبت نمونه‌ها از طریق وزنی کنترل شد. پس از پایان انکوباسیون، نمونه‌ها هوا خشک گردیدند و فسفر قابل استفاده در نمونه‌های شاهد و تیمار شده با روش اولسن (۲۲) تعیین شدند.

به منظور مطالعه جذب فسفر به ۲ گرم از خاک‌ها ۲۵ میلی‌لیتر محلول کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار حاوی غلظت‌های فزاینده فسفر از ۰ تا ۳۰ میلی‌گرم در لیتر (از منبع KH_2PO_4) و چند قطره تولوئن اضافه شده به مدت نیم ساعت تکان داده شدند. سپس به مدت ۲۴ ساعت در دمای $25 \pm 1^{\circ}C$ به تعادل رسیده و از کاغذ صافی واتمن ۴۲ عبور داده شدند. فسفر نمونه‌های صاف شده به روش رنگ سنجی (۱۹) تعیین گردید و مقادیر فسفر جذب یا آزاد شده از اختلاف غلظت فسفر اضافه شده و غلظت تعادلی محاسبه شد. برای تعیین ویژگی‌های جذب فسفر از سه مدل لانگمویر، فروندلیچ و خطی استفاده شد.

هم‌دمای جذب لانگمویر به شکل زیر می‌باشد:

$$q = \frac{k.c.b}{1+k.c}$$

در این معادله:

c: غلظت در حال تعادل فسفر بر حسب میلی‌گرم در لیتر، q: مقدارفسفر جذب شده در واحد وزن جذب کننده بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم، b: بیشترین مقدار فسفر که می‌تواند جذب شود بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم k: ثابت وابسته به انرژی جذب بر حسب لیتر در میلی‌گرم می‌باشد.

با استفاده از معادله لانگمیر گنجایش بافری حداکثر (MBC) که حاصل ضرب حداکثر جذب و ثابت متناسب با انرژی پیوند است محاسبه شد (۱۴).

هم‌دمای جذب فروندلیچ به شکل زیر می‌باشد:

$$q = K_f.c^{\frac{1}{n}}$$

در این معادله q و c همان تعاریف قبلی را دارند. K_f: ضریب توزیع بر حسب لیتر بر کیلوگرم و n : شدت جذب است.

معادله خطی به شکل زیر است:

$$q = a + b.c$$

در این معادله q و c همان تعاریف قبلی را دارند. شیب معادله خطی عبارت است از گنجایش بافری تعادلی

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.58.7]

خاک(Equilibrium Buffering Capacity)(۸). برای به دست آوردن پارامترهای این معادلات از روش رگرسیون خطی استفاده شد.

مقدار فسفر جذب شده در غلظت ۰/۲ میلی‌گرم در لیتر مقداری است که نیاز فسفر تعدادی از گیاهان را برطرف می‌کند و به عنوان نیاز استاندارد فسفر خاک‌ها پذیرفته شده است (۱۲).با استفاده از پارمترهای برآورد شده معادلات، مقدار فسفر جذب شده در غلظت ۰/۲ میلی‌گرم در لیتر محاسبه و به عنوان نیاز استاندارد فسفر (Standard Phosphorus Requirement) در نظر گرفته شد (۱۲).

علاوه بر پارامترهای هم‌دماهای جذب، توانایی جذب فسفرخاک‌ها با استفاده از یک شاخص تک نقطه‌ای نیز تعیین شد. به این منظور ۲۰ میلی‌لیتر محلول حاوی ۷۵ میلی‌گرم در لیتر فسفر و چند قطره تولوئن به ۱ گرم از نمونه خاک‌ها اضافه و به مدت ۱۸ ساعت با استفاده از تکان دهنده برقی تکان داده شدند(۲۴). سپس نمونه‌ها بوسیله کاغذ صافی صاف شدند و غلظت فسفر عصاره‌ها به روش رنگ‌سنجی (۱۹) تعیین شد. در پایان شاخص جذب فسفر (Phosphorus sorption Index) با استفاده از معادله زیر محاسبه گردید (۲۴).

$$PSI(Lkg^{-1}) = \frac{X}{\log c}$$

در این معادله:

X: فسفر جذب شده برحسب میلی‌گرم در کیلوگرم، c غلظت فسفر در محلول تعادلی بر حسب میلی‌گرم در لیتر. در پایان تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. هم‌چنین بین ویژگی‌های جذب فسفر و ویژگی‌های خاک که در جذب فسفر نقش دارند (رس و کربنات کلسیم معادل) معادلات رگرسیونی برازش گردید.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که از جدول ۱ برمی‌آید دامنه فسفر قابل جذب به روش اولسن در این خاک ها ۲۵/۲ -۱۳/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم، درصد رس در دامنه ۳۸/۳- ۲۲/۰ و درصد کربنات کلسیم معادل در دامنه ۵۳/۸- ۵/۰ بود. دامنه pH نمونه‌های انتخاب شده بین ۷/۴ تا ۸/۲، قابلیت هدایت الکتریکی ۰/۱۳ تا ۰/۴۶ دسی زیمنس بر متر و ماده آلی ۰/۴۰ تا ۲/۴ درصد بود. لجن فاضلاب مورد استفاده دارای pH کمی اسیدی و شوری زیاد بود که این به علت زیاد بودن املاح محلول در لجن فاضلاب می‌باشد. به علاوه با توجه به مقدار قابل توجه ماده‌آلی و فسفر قابل جذب انتظار می‌رود که افزودن آن به خاک باعث ارتقای این ویژگی‌ها در خاک شود. ماده آلی این کود ۲۳/۴۰ درصد بود. مقدار فسفر قابل استفاده و فسفر کل لجن فاضلاب به ترتیب ۳۰۳/۱۰ و ۹۸۵۴/۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. ویژگی‌های لجن فاضلاب به منشا و روش تصفیه آن بستگی دارد(۱).

واژه جذب در اینجا به معنی تمام فرآیندهای جذب بوده که باعث خارج کردن فسفر از محلول می‌شوند. جذب فسفر در تمام نمونه‌ها با افزایش غلظت فسفر افزایش یافته است. در صد فسفر جذب شده در غلظت‌های کم فسفر اضافه شده بالاست. هرچند در مقادیر زیاد فسفر اضافه شده درصد فسفر جذب شده کمتر است (شکل نشان داده نشده است). این نتیجه نشان می‌دهد که در غلظت‌های کم فسفر بخش بیشتری از فسفر اضافه شده جذب می شود. در خاک‌های آهکی جذب فسفر شدیدا تحت تأثیر واکنش‌های جذب و رسوب در سطح کربنات کلسیم است(۵ و ۱۳).

نتایج برازش معادلات جذب فسفر در داده‌های به دست آمده برای خاک‌های شاهد و تیمار شده با لجن فاضلاب در جداول ۲ تا ۴ آورده شده است. ضرایب تبیین (r^2) معادلات نشان می‌دهند که در تمام خاک‌ها، دو مدل خطی و فروندلیچ جذب فسفر را به خوبی توصیف می کنند، ولی معادله لانگمویر در برخی از نمونه‌ها (۳ خاک تیمار شده با لجن فاضلاب) قادر به توصیف جذب فسفر نبود. علت کارایی کمتر مدل لانگمویر در توصیف جذب فسفر در برخی خاک‌های تیمار شده مشخص نیست که در این رابطه به تحقیقات بیشتری نیاز است.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.58.7]

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک‌های مطالعه شده

شماره خاک	pH	EC	ماده آلی	رس	سیلت	کربنات کلسیم معادل	گنجایش تبادل کاتیونی	فسفر قابل استفاده
		dSm^{-1}		%			$cmol_c kg^{-1}$	$mgkg^{-1}$
۱	۷/۸	۰/۲۳	۰/۹	۲۷/۰	۷/۵	۱۱/۰	۱۰/۹	۱۹/۹
۲	۸/۱	۰/۴۶	۱/۸	۳۲/۶	۳۲/۵	۳۹/۵	۲۵/۰	۱۵/۰
۳	۷/۵	۰/۲۴	۱/۰	۳۷/۳	۱۴/۰	۱۳/۸	۱۸/۶	۱۳/۵
۴	۸/۰	۰/۳۴	۱/۲	۳۷/۹	۲۷/۲	۲۳/۶	۱۷/۶	۲۲/۵
۵	۷/۵	۰/۱۳	۰/۴	۳۸/۳	۱۰/۳	۵/۰	۲۱/۶	۱۵/۹
۶	۸/۲	۰/۳۴	۲/۴	۲۲/۰	۱۵/۰	۵۳/۸	۱۶/۰	۱۸/۳
۷	۸/۰	۰/۲۰	۰/۸	۲۰/۸	۲۵/۳	۱۷/۱	۱۵/۰	۱۵/۷
۸	۷/۴	۰/۱۹	۰/۶	۲۷/۰	۲۷/۸	۲۲/۱	۲۷/۱	۱۵/۲
۹	۷/۹	۰/۲۶	۰/۸	۳۸/۱	۱۷/۶	۳۹/۴	۱۴/۵	۱۳/۵
۱۰	۷/۸	۰/۳۰	۱/۴	۲۷/۶	۹/۵	۶/۱	۱۰/۰	۲۵/۲

معادله لانگمویر برای محاسبه پارامترهایی که برای شدت و ظرفیت جذب فسفر به وسیله خاک شاخص هستند به کار می‌رود (۳۲). با استفاده از این معادله می‌توان حداکثر جذب فسفر و ثابت مربوط به انرژی پیوند فسفر جذب شده را برآورد نمود. (۲۷). پارامترهای برآورد شده معادله لانگمویر در خاک‌های مطالعه شده دارای تغییرات زیادی بودند(جدول ۲). حداکثر جذب فسفر(b) به‌طور معنی‌داری (P<۰/۰۱) در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب نسبت به خاک‌های شاهد کاهش یافت. میانگین این پارامتر در ۷ خاکی که در هر دو تیمار شاهد و لجن فاضلاب با معادله لانگمیر برازش خوبی داشتند در خاک‌های تیمار شده با لجن ۳۴/۵۰ درصد کمتر از خاک‌های شاهد بود. دامنه مقدار عددی این پارامتر در خاک‌های شاهد و تیمار شده با لجن فاضلاب به ترتیب ۱۷۲/۴۱- ۴۰/۸۱ و ۱۰۶/۴۱- ۳۵/۸۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. سویی و تامپسون (۳۲) گزارش کردند که کاربرد جامدهای زیستی در هردو مقدار کم و زیاد تأثیر معنی‌داری بر حداکثر جذب فسفر ندارد. خاک ۶ که بیشترین مقدار کربنات کلسیم را دارد بالاترین مقدار b را در هر دو تیمار به خود اختصاص داده است. این پارامتر در خاک‌های شاهد با کربنات کلسیم معادل(r=۰/۵۸ P < ۰/۰۵) و در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب با رس همبستگی معنی‌داری داشت (r=۰/۶۷ P< ۰/۰۵) داشت. ثابت وابسته به انرژی پیوند(k) که نشان‌دهنده قدرت نگه‌داری فسفر به وسیله ذرات خاک است نیز در اثر کاربرد لجن فاضلاب کاهش معنی‌داری (P< ۰/۰۱) نسبت به تیمار شاهد نشان داد. دامنه تغییرات این پارامتردر خاک‌های شاهد و تیمار شده با لجن فاضلاب به ترتیب ۵/۷۰- ۰/۰۳ و ۲/۳۱- ۰/۵۰ لیتر بر کیلوگرم بود که مقایسه میانگین ۷ نمونه خاک نشان داد که مقدار این پارامتر در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب نسبت به خاک‌های شاهد ۲۱ درصد کاهش داشته است. در پژوهش سیدیکو ورابینسون (۲۸) نیز کاهش معنی‌داری (P< ۰/۰۵) در مقدار k پس از تیمار خاک‌ها با لجن فاضلاب دیده شده است. این پارامتر در خاک‌های تیمار شده و تیمار نشده با کربنات کلسیم معادل و رس همبستگی معنی‌داری نداشت.

استفاده از لجن فاضلاب گنجایش بافری حداکثر (MBC) خاک‌ها را نیز به طور معنی‌داری (P< ۰/۰۱) کاهش داد. دامنه تغییرات MBC در خاک‌های شاهد و تیمار شده با لجن

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.58.7]

جدول ۲ . پارامترهای معادله لانگ موير در خاک‌های شاهد و تیمار شده با لجن فاضلاب

شماره خاک	b ($mgkg^{-1}$)		k (lmg^{-1})		MBC (lkg^{-1})		SPR ($mgkg^{-1}$)		r^2	
	شاهد	تیمار شده	شاهد	تیمار شده	شاهد	تیمار شده	شاهد	تیمار شده	شاهد	تیمار شده
۱	۴۰/۸۱	۳۵/۸۱	۱/۸۹	۱/۷۱	۷۷/۱۳	۶۱/۲۳	۱۱/۱۹	۹/۱۲	۰/۹۷**	۰/۹۸**
۲	۵۹/۵۰	۵۸/۸۲	۵/۷۰	۲/۲۰	۳۳۹/۱۵	۱۲۹/۴۰	۳۱/۶۹	۱۷/۹۷	۰/۹۹**	۰/۹۷**
۳	۴۷/۴۲	۳۸/۹۱	۲/۵۷	۱/۷۰	۱۲۱/۸۷	۶۶/۱۴	۱۶/۰۱	۹/۸۷	۰/۹۳**	۰/۹۸**
۴	۱۳۵/۱۲	۴۷/۹۲	۱/۰۰	۲/۳۱	۱۳۵/۱۲	۱۱۰/۶۹	۲۲/۵۲	۱۵/۱۴	۰/۹۷**	۰/۹۹**
۵	۴۲/۶۳	۴۲/۰۰	۰/۸۳	۰/۵۰	۳۵/۳۸	۲۱/۰۰	۶/۱۰	۳/۸۱	۰/۸۸*	۰/۸۲*
۶	۱۷۲/۴۱	۱۰۶/۴۱	۱/۰۰	۱/۵۲	۱۷۲/۴۱	۱۶۱/۷۴	۲۸/۷۳	۲۴/۰۸	۰/۸۶*	۰/۹۰**
۷	۴۱/۰۰	-	۰/۶۳	-	۲۵/۸۳	-	۴/۵۸	-	۰/۸۷*	۰/۱۰ns
۸	۸۰/۰۰	-	۰/۴۶	-	۳۶/۸۰	-	۶/۷۳	-	۰/۷۵*	۰/۶۲ns
۹	۷۱/۲۹	۴۳/۷۵	۲/۱۷	۲/۱۰	۱۵۶/۰۶	۹۱/۸۷	۲۱/۷۶	۱۲/۹۴	۰/۹۲**	۰/۸۱*
۱۰	۷۴/۶۵	-	۰/۰۳	-	۲/۲۳	-	۰/۴۴	-	۰/۹۷**	۰/۳۲ns
میانگین	۷۶/۵۴a	۵۳/۳۷b	a۲/۳۹	b۱/۷۲	۱۱۰/۲۰a	۹۱/۷۲b	۱۴/۹۸a	۱۳/۳۸b		

**: در سطح ۱ درصد معنی‌دار ns : در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیست.
*: در سطح ۵ درصد معنی‌دار
میانگین هر پارامتر با استفاده از آزمون دانکن مقایسه شده است.
b: حداکثر جذب فسفر
K: ثابت متناسب با انرژی پیوند
MBC: حداکثر گنجایش بافری
SPR: نیاز استاندارد فسفر

فاضلاب به ترتیب ۳۳۹/۱۵- ۲/۲۳ و ۱۶۱/۷۴- ۲۱/۰۰ لیتر بر کیلوگرم بود. میانگین این پارامتر در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب که برازش خوبی با معادله لانگمیر داشتند نسبت به خاک‌های شاهد ۳۸/۸۵ درصد کاهش داشت. گنجایش بافری نشان‌دهنده تغییر فاکتور کمیت برای هر واحد تغییر در فاکتور شدت است. به عبارت دیگر در خاک‌هایی با فسفر لبایل یکسان، در خاک‌های با MBC کم نسبت به خاک‌های با MBC بالا، شدت بیشتری از فسفردر محلول خاک وجود خواهد داشت. بنابراین پس از خارج شدن فسفر از فاز محلول، جایگزینی فسفر خارج شده و افزایش فسفر در فاز محلول به مقدار اولیه در خاک‌های با MBC کمتر آسان‌تر انجام می‌شود. پس در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب فسفر با آسانی بیشتری وارد محلول می شود که امکان وارد شدن آن به آب‌های سطحی بیشتر است. این پارامتر با کربنات کلسیم معادل در هر دو تیمار شاهد ($r=0/72$ $P < 0/05$) و تیمار شده با لجن فاضلاب ($r=0/85$ $P<0/01$) هم‌بستگی معنی‌داری نشان داد ولی با مقدار رس هم‌بستگی معنی‌داری نداشتند.

معادله فروندلیچ یک معادله تجربی است اما می‌تواند به‌طور تئوری با این فرض که انرژی پیوند با افزایش پوشش سطح به‌صورت نمایی کاهش می‌یابد، به دست آید (۲۷). در جدول ۳ برازش داده‌های جذب فسفر با معادله فروندلیچ را در خاک‌های شاهد و تیمار شده با لجن فاضلاب نشان می‌دهد. افزودن لجن فاضلاب به‌طور معنی‌داری ($P< 0/05$) پارامتر n را که نشان‌دهنده شدت جذب است (۱۴) کاهش داد. میانگین مقدار این پارامتر در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب نسبت به خاک‌های شاهد ۱۶ درصد کاهش یافت. مقدار n در خاک‌های

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.58.7]

جدول ۳. پارامترهای معادله فروندلیچ در خاک‌های شاهد و تیمار شده با لجن فاضلاب

شماره خاک	Kf (lkg^{-1})		n		SPR($mgkg^{-1}$)		r^2	
	شاهد	تیمار شده	شاهد	تیمار شده	شاهد	تیمار شده	شاهد	تیمار شده
۱	۲۲/۶۱	۱۷/۸۲	۴/۳۹	۳/۱۰	۱۵/۶۷	۱۰/۶۰	۰/۹۵**	۰/۹۸**
۲	۳۶/۵۱	۳۵/۳۱	۳/۰۱	۲/۸۱	۲۱/۷۲	۱۹/۸۷	۰/۸۷*	۰/۹۵**
۳	۳۳/۷۹	۲۲/۱۰	۳/۲۸	۲/۴۹	۲۰/۷۹	۱۱/۵۷	۰/۸۴*	۰/۸۶*
۴	۴۰/۴۲	۳۱/۰۰	۲/۲۱	۲/۶۲	۱۹/۵۱	۱۶/۷۷	۰/۹۵**	۰/۹۰**
۵	۲۰/۴۱	۱۴/۴۰	۱/۴۳	۱/۱۹	۶/۶۲	۳/۷۲	۰/۹۲**	۰/۹۲**
۶	۶۴/۶۲	۵۶/۷۱	۱/۸۱	۱/۵۹	۲۶/۵۶	۲۱/۶۰	۰/۹۸**	۰/۹۹**
۷	۱۶/۲۱	۸/۰۰	۱/۳۹	۱/۱۰	۵/۱۰	۱/۸۵	۰/۹۴**	۰/۹۷**
۸	۲۳/۱۰	۱۸/۱۱	۱/۷۹	۱/۶۱	۹/۴۰	۶/۶۶	۰/۹۶**	۰/۹۸**
۹	۴۳/۸۱	۳۱/۵۰	۲/۱۰	۱/۶۴	۲۰/۳۶	۱۱/۸۰	۰/۹۶**	۰/۹۵**
۱۰	۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۹۷**	۰/۹۱**
میانگین	۳۰/۲۲[a]	۲۳/۷۵[b]	۲/۲۱[a]	۱/۸۷[b]	۱۴/۵۷[a]	۱۰/۳۵[b]		

**: در سطح ۱ در صد معنی‌دار

*: در سطح ۵ درصد معنی‌دار

میانگین هر پارامتر با استفاده از آزمون دانکن مقایسه شده است.

K_f: ضریب توزیع

N: شدت جذب

SPR: نیاز استاندارد فسفر

شاهد و تیمار شده با لجن فاضلاب به ترتیب در دامنه ۴/۳۹- ۰/۶۰ و ۳/۱۰- ۰/۶۰ قرار داشت. این پارامتر در خاک‌های تیمار شده و تیمار نشده با کربنات کلسیم معادل و رس هم‌بستگی معنی‌داری نداشت.

تأثیر لجن فاضلاب بر ضریب توزیع (K_f) نیز معنی‌دار بود ($P< ۰/۰۱$). ضریب توزیع نشان‌دهنده تمایل جذب یون می‌باشد. این ضریب می‌تواند در رابطه با جذب گیاه و آلودگی محیط باشد. ضریب توزیع کوچک‌تر نشان می‌دهد که بیشتر فسفر در سیستم در محلول بوده و برای انتقال، واکنش‌های شیمیایی و جذب گیاه در دسترس است. برعکس مقادیر زیاد Kf نشان‌دهنده تحرک کمتر و جذب بیشتر فسفر در خاک است. این ضریب در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب نسبت به خاک‌های شاهد ۲۱/۷ در صد کاهش و به ترتیب در دامنه ۶۴/۶۲- ۰/۸۰ و ۵۶/۷۱- ۰/۸۰ لیتر بر میلی‌گرم در خاک‌های شاهد و تیمار شده با لجن فاضلاب قرار داشت. ضریب توزیع با کربنات کلسیم معادل در خاک‌های شاهد ($r=۰/۸۶$ $P < ۰/۰۵$) و تیمار شده با لجن فاضلاب ($r=۰/۹۰$ $P < ۰/۰۵$) هم‌بستگی معنی‌داری داشت ولی با مقدار رس هم‌بستگی معنی‌داری نداشت.

مدل خطی یک مدل جایگزین برای معادله لانگ مویر است که تعادل فسفر را با مدل کمیت- شدت (Q/I) توضیح می‌دهد. روابط کمیت – شدت می تواند اطلاعاتی درباره توانایی جذب و آزاد شدن فسفر خاک‌ها در اختیار قرار دهد (۱۷). جدول ۴ نتایج برازش داده‌ها بر معادله خطی را نشان می‌دهد. میانگین گنجایش بافری تعادلی در نمونه‌های مطالعه شده که شیب خط می باشد در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب نسبت به خاک‌های شاهد کاهش معنی‌داری ($P< ۰/۰۱$) نشان داد(۶در صد). این پارامتر در خاک‌های شاهد و تیمار شده با لجن

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.58.7]

جدول ۴. پارامترهای معادله خطی در خاک‌های شاهد و تیمار شده با لجن فاضلاب

شماره خاک	EBC(lkg^{-1})		SPR($mgkg^{-1}$)		r^2	
	شاهد	تیمار شده	شاهد	تیمار شده	شاهد	تیمار شده
۱	۶/۹۲	۷/۷۱	۶/۹۸	۶/۹۴	۰/۸۸*	۰/۹۷**
۲	۱۱/۱۲	۹/۴۹	۱۰/۴۲	۹/۷۹	۰/۹۶**	۰/۹۷**
۳	۹/۳۹	۹/۶۲	۸/۵۷	۷/۰۲	۰/۸۸*	۰/۹۷**
۴	۱۱/۸۲	۸/۷۹	۱۲/۱۶	۱۰/۰۵	۰/۹۸**	۰/۸۶*
۵	۱۵/۹۱	۱۴/۵۸	۰/۷۸	۰/۰۰	۰/۹۳**	۰/۹۴**
۶	۳۲/۰۰	۳۱/۷۲	۱۹/۶۵	۱۷/۵۴	۰/۹۷**	۰/۹۷**
۷	۹/۱۱	۸/۳۸	۵/۹۲	۰/۵۷	۰/۹۷**	۰/۹۸
۸	۸/۹۱	۸/۱۱	۹/۹۸	۷/۹۲	۰/۹۷**	۰/۹۷**
۹	۲۰/۳۹	۱۹/۴۲	۱۱/۳۷	۹/۳۸	۰/۹۷**	۰/۹۷**
۱۰	۶/۷۱	۶/۳۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۹۷**	۰/۹۹**
میانگین	۱۳/۲۱[a]	۱۲/۴۱[b]	۷/۸[a]	۵/۵۹[b]		

**: در سطح ۱ در صد معنی‌دار
*: در سطح ۵ درصد معنی‌دار
میانگین هر پارامتر با استفاده از آزمون دانکن مقایسه شده است.
EBC: گنجایش بافری تعادلی
SPR: نیاز استاندارد فسفر

فاضلاب به ترتیب در دامنه ۳۲/۰۰- ۶/۷۱ و ۳۱/۷۲- ۶/۳۱ لیتر بر کیلوگرم قرار داشت. سویی و تامپسون (۳۲) نیز در تحقیقات خود گزارش کردند که جامد های زیستی به‌طور معنی‌داری ($P<0/05$) باعث کاهش ظرفیت بافری خاک‌ها می‌شوند. گنجایش بافری تعادلی با کربنات کلسیم معادل در خاک‌های شاهد ($r=0/75$ $P < 0/05$) و تیمار شده با لجن فاضلاب ($r=0/32$ $P < 0/05$) هم‌بستگی معنی‌داری داشت ولی با مقدار رس هم‌بستگی معنی‌داری نداشت.

جدول ۵ شاخص تک نقطه‌ای جذب را قبل و پس از تیمار خاک‌ها با لجن فاضلاب نشان می‌دهد. مقدار این پارامتر در خاک های شاهد و تیمار شده با لجن فاضلاب به ترتیب در دامنه ۳۷۷/۱۱- ۲۵۷/۴۹ و ۳۶۸/۵۹- ۲۴۵/۷۱ لیتر بر کیلوگرم قرار داشت که مقدار این پارامتر در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب نسبت به خاک‌های شاهد کاهش معنی‌داری ($P<0/01$) داشت و مقدار این کاهش ۳/۱ در صد بود. این نتایج با نتایج به دست آمده از معادله لانگ مویر هم خوانی دارد. شاخص تک نقطه‌ای جذب با کربنات کلسیم معادل در خاک‌های شاهد ($r=0/73$ $P < 0/05$) و تیمار شده با لجن فاضلاب ($r=0/71$ $P < 0/05$) هم‌بستگی معنی‌داری داشت ولی با مقدار رس هم‌بستگی معنی‌داری نداشت.

نتایج تأثیر لجن فاضلاب بر فسفر قابل استفاده در جدول ۵ نشان داده شده است. چنانچه نتایج نشان می‌دهند در اثر کاربرد لجن فاضلاب، فسفر قابل استفاده نسبت به خاک شاهد افزایش معنی‌دار ($P< 0/01$) یافته است. تغییرات فسفر قابل استفاده در خاک‌های شاهد و تیمار شده با لجن فاضلاب به ترتیب در دامنه ۲۲/۱-۸/۱ و ۲۸/۰- ۱۴/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. مقدار میانگین این پارامتر در خاک‌های تیمار شده نسبت به خاک شاهد ۳۷/۶۰ درصد افزایش یافته است. علت این افزایش،

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.58.7]

جدول ۵. اثر لجن فاضلاب بر شاخص جذب فسفر و فسفر قابل استفاده

شماره خاک	شاخص جذب فسفر (لیتر در کیلوگرم)		فسفر قابل استفاده (میلی‌گرم در کیلوگرم)	
	شاهد	تیمار شده	شاهد	تیمار شده
۱	۲۵۷/۴۹	۲۵۳/۸۹	۱۳/۰	۲۶/۰
۲	۲۸۳/۴۶	۲۷۷/۴۱	۱۲/۲	۲۰/۳
۳	۲۸۰/۷۱	۲۷۸/۱۰	۸/۱	۲۵/۰
۴	۲۹۸/۵۵	۲۸۵/۸۲	۱۶/۹	۲۸/۰
۵	۲۹۶/۰۲	۲۸۹/۶۹	۱۵/۰	۲۳/۰
۶	۳۷۷/۱۱	۳۶۸/۵۹	۱۷/۵	۱۹/۰
۷	۳۰۳/۹۰	۲۹۹/۵۸	۱۴/۲	۲۶/۳
۸	۳۴۲/۵۳	۳۳۴/۸۱	۱۲/۹	۱۶/۳
۹	۳۴۶/۷۲	۳۱۰/۳۸	۸/۴	۱۴/۹
۱۰	۲۷۱/۹۶	۲۴۵/۷۱	۲۲/۱	۲۶/۰
میانگین	۳۰۵/۸۴[a]	۲۹۴/۳۹[b]	۱۴/۰[a]	۲۲/۵[b]

میانگین هر پارامتر با استفاده از آزمون دانکن مقایسه شده است.

فسفر قابل استفاده موجود در لجن فاضلاب و هم‌چنین معدنی شدن فسفر آلی در مدت انکوباسیون می‌باشد. شارپلی و همکاران (۳۰)، نایر و همکاران (۲۰) و تور و باهل (۳۴) نیز افزایش در فسفر قابل جذب را در اثر تیمار خاک‌ها با کود حیوانی و لجن فاضلاب گزارش کردند.

مقدار فسفر جذب شده در غلظت ۰/۲ میلی‌گرم در لیتر مقداری است که نیاز فسفر تعدادی از گیاهان را برطرف می کند و به عنوان نیاز استاندارد فسفر خاک‌ها پذیرفته شده است (۱۲). نیاز استاندارد فسفر خاک‌ها از هر سه معادله لانگمیر، فروندلیچ و خطی محاسبه شد (جداول ۲، ۳ و۴). نیاز استاندارد محاسبه شده از هرسه معادله با اضافه شدن لجن فاضلاب به‌طور معنی‌داری ($P<0/01$) کاهش یافت. کاهش نیاز استاندارد به معنی افزایش فسفر قابل استفاده گیاه و کاهش نیاز به کوددهی می‌باشد. SPR محاسبه شده از معادله لانگمیر در خاک‌های شاهد و تیمار شده با لجن فاضلاب به ترتیب در دامنه ۳۱/۶۹-۰/۴۴ و ۲۴/۰۸- ۰/۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که در خاک‌های تیمار شده با لجن نسبت به شاهد ۳۰/۸۶ درصد کاهش نشان داد. نیاز استاندارد فسفر محاسبه شده از معادله فروندلیچ در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب نسبت به خاک‌های شاهد به‌طور میانگین ۲۹/۲۰ درصد کاهش یافت. مقدار نیاز استاندارد در خاک های شاهد و تیمار شده با لجن به ترتیب در دامنه ۲۶/۵۶-۰/۰۵ و ۲۱/۶۰-۰/۰۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. نیاز استاندار محاسبه شده از مدل خطی نیز برای خاک های شاهد و تیمار شده با لجن فاضلاب در دامنه ۱۹/۶۵-۰ و ۱۷/۵۴- ۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. مقدار این پارامتر در خاک‌های تیمار شده با لجن نسبت به مقدار نیاز استاندارد شاهد که از مدل خطی محاسبه شد ۲۱/۸۰ درصد کاهش داشت. نتایج هم‌بستگی نشان داد که SPR محاسبه شده از معادلات لانگمیر، فروندلیچ و خطی در هر دو تیمار لجن فاضلاب و شاهد باهمدیگر هم‌بستگی معنی‌دار ($P< 0/01$) داشتند. بنابراین هر سه معادله می‌تواند برای برآورد نیاز کودی استفاده شود.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.58.7]

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد لجن فاضلاب در خاک‌های آهکی باعث تغییر در ویژگی‌های جذب فسفر و فسفر قابل استفاده شد. در اثر کاربر لجن فاضلاب پارامترهای هم‌دماهای جذب کاهش یافت. کاهش این ویژگی‌ها به دنبال کاربرد لجن فاضلاب خطر ورود فسفر به آب‌های سطحی و زیرزمینی را افزایش می‌دهد. هم‌چنین به دلیل افزایش فسفر قابل استفاده در اثر کاربرد لجن فاضلاب نیاز خاک‌ها به کودهای فسفردار کاهش یافت. نتایج مطالعات هم‌بستگی نشان داد که کربنات کلسیم معادل با ویژگی‌های جذب فسفر هم‌بستگی معنی‌داری داشت، ولی این ویژگی‌ها با مقدار رس هم‌بستگی معنی‌داری نداشتند.

منابع مورد استفاده

۱. واثقی، س. م. افیونی، ح. شریعتمداری، و م. مبلی. ۱۳۸۳. اثر لجن فاضلاب بر غلظت تعدادی از عناصر غذایی و ویژگی‌های شیمیایی خاک. فصلنامه آب و فاضلاب ۵۳: ۱۵-۲۲.

۲. حسین پور، ع. و خ. عنایت ضمیر .۱۳۸۵. جذب سطحی فسفر و رابطه آن با ویژگی‌های خاک در شماری از خاک‌های همدان. مجله علوم کشاورزی ایران ۳۷. (۲): ۵۱۶-۵۰۹.

۳. سالاردینی، علی‌اکبر. ۱۳۸۲. *حاصلخیزی خاک*. چاپ ششم، انتشارات دانشگاه تهران.

4. Afif, E., A. Matar and J. Torrent. 1993. Availability of phosphate applied to calcareous soils of west Asia and North Africa. Soil Sci. Soc. Am. J. 57: 756-760.
5. Amer, F., A.A. Mahmoud and V. Sabet. 1985. Zeta potential and surface area of calcium carbonate as related to phosphate sorption. Soil Sci. Soc. Am. J. 57:456-460.
6. Bahl, G.S. and G.S. Toor. 2002. Influence pf poultry manure on phosphorus availability and the standard phosphate requirement of crop estimated from quantity-intensity relationships in different soils. Biore. Technol. 85:317-322.
7. Beek. J., G. H. Bolt, M. G. M. Bruggenwert, F. A. M. De haan, A. Kamphorst, I.Novozamsky, N. Van Bremen, R. Brinkman and P. J. Zwerman. 1976. Soil chemistry. A. Basic elements. Elsevier Scientific Pub. Company,
8. Bertrand, I., R. E. Holloway, R. D. Armstrong and M. J. Mclaughlin. 2003. Chemical Characteristics of phosphorus in alkaline soils from southern Australia. Aust. J. Soil Res. 41: 61-76.
9. Bowyoucos, G. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. Argon. J. 56: 464-465.
10. Casado-Vela, J., S. Selles, J. Navarro, M. A. Bustamante, J. Mataix, C. Guerrero and I. Gomez. 2005. Evaluation of composted sewage sludge as nutritional source for horticultural soils. Waste Manag. 26:946-952.
11. El-Baruni, B. and S. R. Olsen. 1979. Effect of manure on solubility of phosphorus in calcareous soils. Soil Sci. 128: 219-225.
12. Fox, R.L. and E. J. Kamprath. 1970. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirement of soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 34: 902- 907.
13. Freeman, J.S. and D. L. Rowell. 1981. The adsorption and precipitation of phosphate on to calcite. J. Soil Sci. 32: 75- 84.
14. Holford, I.C.R. 1979. Evalution of soil phosphorus buffering indices. Aust. J. Soil Res. 17: 495-54.
15. Iyamuremye, F., R.P. Dick and J. Baham. 1996. Organic amendments and phosphorus dynamics:1-phosphorus chemistry and sorption. J. Soil Sci. 161:426-435.
16. Jalali, M. 2007. Phosphorus status and sorption characteristics of some calcareous soils of Hamadan, Western Iran. Environ. Geol. 53: 365-374.
17. Kpomblekou-A, K. and M. A. Tabatabai. 1997. Effect of cropping system on quantity-intensity relationships of soil phosphorus. Soil Sci. 162: 56- 68.
18. McDowell, R.W. and A.M. Sharpley. 2001. Soil phosphorus fractions in solution: influence of fertilizer and manures, filtration and method of determination. Chemosphere 45:737-748.
19. Murphy, J. and H. P. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chem. Acta. 27: 31-36.
20. Nair, V. D., D. A. Graetz and K. R. Reddy. 1998. Dairy manure influence on phosphorus retention capacity of Spodosols. J. Environ. Qual. 27: 522- 527.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.58.7]

21. Nelson, R. E. 1982. Carbonate and gypsum. PP. 181-197. *In*: Page, A. L. (Ed.), Method of soil analysis. Part 2. 2nd ed., Argon. Mongr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
22. Olsen, S. R., C. V. Cole, F. S. Watanabe and L. A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circular 939, US Gov. Printing Office, Washington, DC.
23. Olsen, S. R. and L. E. Sommers. 1982. phosphorus. *In*: A. L. Page (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2. 2nd ed. Argon. Mongr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI. PP. 403-430.
24. Pierzynski, G. and M. June. 2000. Methods of phosphorus analysis for soils, sediment, residuals, and water. Southern Cooperative Series Bulletin, No. 396. Kansas State University.
25. Rhoades, J. D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. PP. 417-435. *In*: Sparks, D. L. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3, Chemical methods. SSSA, Madison, WI.
26. Schofield, R. K. 1955. Can a precise meaning be given to available soil phosphorus. Soil Fert. 18:373-375.
27. Sibbesen, E. 1981. Some new equations to describe phosphate sorption by soils. J. Soil Sci. 32: 67-74.
28. Siddique , M. T. and J. S. Robinson. 2003. Phosphorus sorption and availability in soils amended with animal manures and sewage sludge. J. Environ. Qual. 32: 1114- 1121.
29. Siddique , M. T. and J. S. Robinson. 2004. Difference in phosphorus retention and release in soil amended with animal manure and sewage sludge. Soil Sci. Soc. Am. J. 68:1421-1428.
30. Sharpley, A. N., S. J. Smith, B. A. Stewart and A. C. Marthers. 1984. forms of phosphorus in soils receiving cattle feedlot waste. J. Environ. Qual. 13: 211-215.
31. Sumner, M. E. and W. P. Miller. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. PP. 1201-1231. *In*: Sparks, D. L. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3، Chemical methods. SSSA, Madison, WI.
32. Sui, Y. and M. L. Thompson. 2000. Phosphorus sorption, desorption, and buffering capacity in a biosolids- amended Mollisol. Soil Sci. Soc. Am. J. 64: 164-169.
33. Thomas, G. W. 1996. Soil pH and soil acidity. PP. 475-490. *In*: Sparks, D. L. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3, Chemical methods. SSSA, Madison, WI.
34. Toor, G. S. and G. S. Bahl. 1997. Effect of solitary and integrated use of poultry manure and fertilizer phosphorus on the dynamics of P availability in different soils. Biores. Technol. 62: 25-28.
35. Walkley, A. and I. A. Black. 1934. An examination of the method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37: 29-38.
36. Whalen, J.K. and C. Chang. 2002. Phosphorus sorption capacities of calcareous soil receiving cattle manure application for 25 years. Commun. Soil Sci. and Plant Anal. 23:1011-1026.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.58.7]