

## اثر شرایط مختلف رطوبت خاک و کودهای سولفات روی و مونوکلسیم فسفات بر فسفر قابل استخراج یک خاک آهکی

رحیم مطلبی فرد<sup>۱</sup>، نصرت‌اله نجفی<sup>۲\*</sup> و شاهین اوستان<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۳/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۷/۲۷

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

<sup>۲</sup> دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

\* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: n-najafi@tabrizu.ac.ir

### چکیده

برای بررسی تأثیر شرایط مختلف رطوبت خاک و کودهای روی (Zn) و فسفر (P) بر فسفر قابل استخراج یک خاک آهکی، دو آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی و با دو تکرار در سال ۱۳۹۱ و در شرایط آزمایشگاهی انجام گردید. آزمایش اول با چهار فاکتور شامل فسفر در دو سطح (صفر و ۶۰ میلی‌گرم P بر کیلوگرم خاک از منبع مونوکلسیم فسفات  $(Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O)$ ، روی در دو سطح (صفر و ۲۰ میلی‌گرم Zn بر کیلوگرم خاک از منبع سولفات روی  $(ZnSO_4 \cdot 7H_2O)$ ، رطوبت خاک در دو سطح (FC و ۰/۶FC) و زمان انکوباسیون در چهار سطح (۱، ۱۰، ۳۰ و ۶۰ روز) و آزمایش دوم با سه فاکتور فسفر و روی در همان سطوح و منابع ذکر شده و چرخه‌های مرطوب و خشک شدن در سه سطح (۱، ۱۰ و ۲۰ چرخه) انجام شدند. در پایان هر یک از زمان‌های انکوباسیون یا چرخه‌های مرطوب و خشک شدن، فسفر قابل استخراج خاک به روش عصاره‌گیر سلطانیپور و شواب اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که مصرف فسفر در هر دو شرایط رطوبت خاک فسفر قابل استخراج را افزایش داد. با افزایش زمان انکوباسیون فسفر قابل استخراج به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و این کاهش در ۱۰ روز اول انکوباسیون در رطوبت ثابت شدیدتر بود و پس از آن تقریباً ثابت ماند. با مصرف روی، فسفر قابل استخراج خاک کاهش یافت و با افزایش زمان انکوباسیون این کاهش بیشتر شد. افزایش رطوبت خاک از ۰/۶FC به FC باعث افزایش فسفر قابل استخراج گردید. تأثیر چرخه‌های مرطوب و خشک شدن و رطوبت ثابت بر فسفر قابل استخراج خاک در شرایط با و بدون کود فسفر کاملاً متفاوت بود. در شرایط بدون کود فسفر، فسفر قابل استخراج خاک با اعمال چرخه‌های مرطوب و خشک شدن، بیشتر از انکوباسیون خاک در رطوبت ثابت بود در حالی‌که در شرایط با کود فسفر، فسفر قابل استخراج خاک با اعمال چرخه‌های مرطوب و خشک شدن کمتر از انکوباسیون خاک در رطوبت ثابت بود.

واژه‌های کلیدی: رطوبت خاک، روی، فسفر قابل استخراج، مرطوب و خشک شدن خاک

## Effects of Different Soil Moisture Conditions and Zinc Sulfate and Monocalcium Phosphate Fertilizers on the Extractable-P in a Calcareous Soil

R Motalebifard<sup>1</sup>, N Najafi<sup>2\*</sup> and S Oustan<sup>2</sup>

Received: 17 June 2012 Accepted: 19 October 2013

<sup>1</sup>Ph.D. Student, Dept. of Soil Sci., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

<sup>2</sup>Assoc. Prof., Dept. of Soil Sci., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

\*Corresponding Author E-mail: n-najafi@tabrizu.ac.ir

### Abstract

For evaluating effects of different soil moisture conditions, zinc (Zn) and phosphorus (P) on extractability of P in a calcareous soil, two experiments were conducted as factorial on the basis of a completely randomized design with two replications under laboratory conditions in 2012. The first experiment was arranged with four factors, including Zn at two levels (0 and 20 mg Zn per kg of soil as ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O), P at two levels (0 and 60 mg P per kg of soil as Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>O), soil moisture at two levels (0.6FC and FC) and incubation time at four levels (1, 10, 30, and 60 days) and the second experiment was accomplished with three factors of Zn and phosphorus at the above mentioned levels, and wetting-drying cycles at three levels (1, 10 and 20 cycles). The extractable soil-P values were measured at the end of each incubation period or wetting-drying cycle by Soltanpour and Schwab method. The results showed that application of P increased the extractable P in both soil moisture conditions. The extractable P significantly decreased with increasing duration of incubation, especially in the first 10 days and then remained constant for the rest of the period. The Zn supply decreased extractable P and this reduction was more pronounced with increasing incubation time. Increase in soil water content from 0.6FC to FC increased the extractable-P. The effects of wetting-drying cycles on the extractable-P were different with and without application of 60 mg P per kg of soil. Under no P supplying condition, wetting-drying cycles exhibited higher amounts of extractable P compared with incubation at constant moisture condition; while under P applied condition, imposing wetting-drying cycles led to a decrease in amounts of extractable P compared to incubation under constant moisture condition.

**Keywords:** Extractable phosphorus, Soil moisture, Wetting and drying, Zinc

۱۹۸۹، ساتیا و همکاران ۲۰۰۹)، pH، میزان آهک، مواد

آلی، شکل‌های آهن و آلومینیوم، میزان و نوع رس

(ساتیا و همکاران ۲۰۰۹)، میزان فسفر قابل‌جذب و

مقدمه

تغییرات فسفر قابل‌استخراج خاک در خاک تحت

تأثیر عامل‌های مختلفی از جمله دما، زمان واکنش (بارو

کاهش ظرفیت جذب فسفر در خاک (اولسن و کورت ۱۹۸۲)، تغییر سطوح ذرات خاک (نو و هاگین ۱۹۶۶) بر اثر تغییر اندازه خاکدانه‌ها (تائو و همکاران ۲۰۰۸)، تجزیه هوموس (بیرچ ۱۹۵۸)، تغییر جمعیت میکروبی (باترلی و همکاران ۲۰۰۶)، تعادل یونی و فرآیند اکسایش (بلکول و همکاران ۲۰۰۹)، بلکول و همکاران ۲۰۱۰) می‌شود. تمام این موارد می‌توانند قابلیت جذب عناصر غذایی را تغییر دهند.

اطلاعات در زمینه شیمی فسفر در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک که ایران هم جزو این مناطق است، محدود می‌باشد. همچنین اطلاع از سرنوشت کود فسفر مصرف شده در خاک می‌تواند در افزایش بازیابی کود و بهبود تغذیه گیاه مؤثر باشد. در تحقیقات قبلی (سادلر و استیوارت ۱۹۷۴، هولفورد و پاتریک ۱۹۷۹، چائوهان و همکاران ۱۹۸۱، اوستان و توفیقی ۱۳۸۳، نجفی و توفیقی ۱۳۹۰) قابلیت استخراج فسفر پس از مصرف کود فسفر عمدتاً در رطوبت ثابت خاک بررسی شده است در حالی‌که در شرایط واقعی مزرعه، بر اثر آبیاری و بارندگی، خاک با چرخه‌های متناوب مرطوب و خشک شدن مواجه می‌شود. همچنین، اثر متقابل روی و فسفر بر فسفر قابل‌استخراج خاک می‌تواند تحت تأثیر شرایط آزمایش قرار گیرد. با توجه کمبود اطلاعات در این زمینه و نبود مطالعه در مورد اثر چرخه‌های مرطوب و خشک شدن خاک بر آن (رحمان و همکاران ۲۰۱۲)، تحقیق حاضر برای بررسی تغییرات فسفر قابل‌استخراج خاک با و بدون مصرف کودهای سولفات روی و سوپرفسفات تریپل (مونوکلسیم فسفات) در شرایط رطوبتی مختلف در یک خاک آهکی دارای کمبود فسفر و روی انجام گردید.

#### مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق خاکی لازم بود که غلظت روی و فسفر قابل‌جذب گیاه در آن کمتر از سطح بحرانی باشد (فسفر و روی قابل‌جذب به ترتیب کمتر از ۱۰ و کمتر از ۰/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک (جونز

افزوده شده به خاک (باروو ۱۹۸۹، ساتیا و همکاران ۲۰۰۹)، کاتیون‌های فلزی مانند روی (ساتیا و همکاران ۲۰۰۹)، آنیون‌های خاک مخصوصاً آنیون‌های آلی (سیرز و روکیون ۱۹۸۹) و رطوبت خاک قرار می‌گیرد (ساتیا و همکاران ۲۰۰۹). رژیم رطوبتی خاک می‌تواند شیمی فسفر در خاک را با تأثیر بر میزان رطوبت و شرایط فیزیکی‌شیمیایی خاک متأثر نماید (کیرک و همکاران ۱۹۸۹). افزون‌بر این، رطوبت خاک می‌تواند از طریق تأثیر بر فعالیت‌های آنزیمی مانند آنزیم فسفاتاز قابلیت استخراج فسفر را تغییر دهد (ساردانز و پنولاس ۲۰۰۴). کمبود آب در خاک می‌تواند بلوری‌شدن و پایداری ساختمان اکسیدهای آهن و آلومینیوم را تقویت کرده و باعث غیرمتحرک شدن عناصر از جمله فسفر در طول زمان گردد (تک و همکاران ۲۰۰۶).

مرطوب و خشک شدن یکی از پدیده‌های متداول است که در خاک اتفاق می‌افتد (بلکول و همکاران ۲۰۰۹). خاکها بر اثر عامل‌های مختلفی مانند آب و هوا، توپوگرافی و نوع آبیاری تحت اثر چرخه‌های مرطوب و خشک شدن قرار می‌گیرند (میسرا و تیلر ۲۰۰۰). آبیاری دوره‌ای در مناطق خشک و نیمه‌خشک با دمای بالا، در طول فصل رشد گیاه، خاک را با چرخه‌های متناوب مرطوب و خشک شدن مواجه می‌کند. از طرفی، عناصر غذایی قابل‌جذب گیاه مانند فسفر و پتاسیم در خاک خشک اندازه‌گیری می‌شوند (کندرون و نیومن ۲۰۱۱). خشک کردن یک خاک مرطوب باعث تغییر فسفر قابل استخراج از آن می‌گردد (تورنر و همکاران ۲۰۰۳، تورنر و رومرو ۲۰۱۰، زو و همکاران ۲۰۱۱). تأثیر چرخه‌های مرطوب و خشک شدن بر قابلیت جذب عناصر در خاک به‌طور دقیق مشخص نیست. مرطوب و خشک شدن ممکن است باعث تخریب مواد آلی و سلول‌های ریزجانداران (اسپارلینگ و همکاران ۱۹۸۷، وو و بروکز ۲۰۰۵، زو و همکاران ۲۰۱۱، آچات و همکاران ۲۰۱۲)، بر اثر تغییرات سریع در پتانسیل ماتریک آب خاک و عدم تطابق غشاء با رطوبت جدید (میخا و همکاران ۲۰۰۵) گردد. همچنین، مرطوب و خشک شدن باعث

بود. شاید این مقدار کود روی بیشتر از مقدار مصرف رایج آن در کشاورزی باشد ولی این مقدار به این دلیل انتخاب شد که بتوان اثر کود روی بر فسفر قابل استخراج خاک را با دقت خوب بررسی کرد. اگر روی به مقدار کم استفاده می‌شد، این نگرانی بود که اثر روی بر فسفر قابل استخراج قابل مشاهده نباشد. لازم است ذکر گردد که این میزان روی در مطالعات دیگری هم استفاده شده است که در این ارتباط می‌توان به مطالعات ترهان و شرما (۲۰۰۳)، کوللی و همکاران (۲۰۰۴)، تولالی و همکاران (۲۰۰۹)، گونس و همکاران (۲۰۰۹) و پک و مکدونالد (۲۰۱۰) اشاره کرد. قبل از شروع آزمایش‌های فوق، طی یک آزمایش، مدت زمان لازم برای انجام یک چرخه مرطوب و خشک شدن خاک، ۳ روز تعیین گردید. درصد رطوبت FC با استفاده از صفحه‌های فشاری و در مکش ۳۰۰ کیلوپاسکال تعیین (کیرکام ۲۰۰۴) و آب لازم برای رساندن رطوبت خاک به FC و ۰/۶FC از طریق توزین افزوده شد. مقدار کودهای مورد نیاز هر یک از ترکیبات تیماری روی و فسفر محاسبه و در آب مقطر حل شد. محلول‌های حاوی روی و فسفر طوری تهیه شدند که با افزودن حجم معینی از آنها به خاک، هم رطوبت خاک به FC یا ۰/۶FC رسانده می‌شد و هم سطوح مختلف فسفر و روی در خاک ایجاد می‌شد. برای این منظور، ابتدا خاک مورد نیاز برای ترکیبات تیماری یکنواخت، در داخل بشرهای ۵۰۰ میلی‌لیتری ریخته شد؛ سپس به آن آب مقطر دیونیزه یا محلول کود مورد نظر افزوده و خوب مخلوط شد تا نمونه کاملاً یکنواخت تهیه گردد. سپس معادل ۱۰ گرم خاک خشک از خاک‌های آماده شده با ترازوی ۰/۰۰۱± گرم توزین و در داخل ظرف‌های پلی-اتیلنی ۵۰ میلی‌لیتری ریخته شد. درب ظرف‌ها بسته شد و برای تبادل هوا سوراخ کوچکی در آن ایجاد شد (نجفی و توفیقی ۱۳۹۰). سپس ظرف‌ها در داخل انکوباتور و در دمای ۲۵±۰/۵ درجه سلسیوس نگهداری شد. کنترل مقدار رطوبت نمونه‌ها، از طریق توزین روزانه ظرف‌ها و افزودن آب مقطر دیونیزه انجام گردید. در چرخه‌های مرطوب و خشک شدن رطوبت

۲۰۰۱، آلووی ۲۰۰۸). این خاک با استفاده از اطلاعات موجود در گروه علوم خاک دانشگاه تبریز از عمق ۰-۳۰ مزرعه‌ای واقع در روستای اسپیران در شمال غرب تبریز با طول جغرافیایی (۵۳° ۱۹' ۴۶ شرقی) و عرض جغرافیایی (۵۷° ۱۵' ۳۸ شمالی) تهیه و به آزمایشگاه منتقل و هواخشک شد. پس از کوبیدن و عبور دادن خاک از الک ۲ میلی‌متری، برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن شامل فسفر قابل جذب گیاه در خاک به روش اولسن (جونز ۲۰۰۱)، روی، آهن، منگنز و مس قابل جذب گیاه در خاک با عصاره‌گیر DTPA (لیندزی و نورول ۱۹۷۸)، پتاسیم قابل جذب گیاه در خاک به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم یک نرمال (جونز ۲۰۰۱)، بافت خاک به روش هیدرومتری با چهار قرائت (گی و بائودر ۱۹۸۶)، کربن آلی به روش اکسایش تر (نلسون و سامرز ۱۹۹۶)، pH خاک در سوسپانسیون ۱:۱ آب به خاک (مککلین ۱۹۸۲)، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) محلول ۱:۱ آب به خاک (جونز ۲۰۰۱) و کربنات کلسیم معادل خاک به روش خنثی‌سازی با اسید و تیترا کردن با سود (ریچاردز ۱۹۶۹) تعیین شدند. سپس، دو آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی و با دو تکرار در سال ۱۳۹۱ و در شرایط آزمایشگاهی انجام گردید. آزمایش اول با چهار فاکتور شامل فسفر در دو سطح (صفر و ۶۰ میلی‌گرم P بر کیلوگرم خاک از منبع  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  تولید شده توسط شرکت SIGMA-ALDRICH)، روی در دو سطح (صفر و ۲۰ میلی‌گرم Zn بر کیلوگرم خاک از منبع  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  تولید شده توسط شرکت AppliChem)، رطوبت خاک در دو سطح (FC و ۰/۶FC) و زمان انکوباسیون در چهار سطح (۱، ۱۰، ۳۰ و ۶۰ روز) و آزمایش دوم با سه فاکتور شامل فسفر در دو سطح (۰ و ۶۰ میلی‌گرم P بر کیلوگرم خاک)، روی در دو سطح (صفر و ۲۰ میلی‌گرم Zn بر کیلوگرم خاک) و چرخه‌های مرطوب و خشک شدن در سه سطح (۱، ۱۰ و ۲۰ چرخه) انجام شدند. اگر مقدار کود روی و فسفر مصرف شده در خاک در سطح یک هکتار محاسبه شود، معادل ۴۰ و ۱۲۰ کیلوگرم روی و فسفر خواهد

تیمار با کود فسفر و  $Q_{ex0}$  مقدار فسفر استخراج شده از تیمار شاهد می‌باشد. تحلیل آماری داده‌ها از قبیل آزمون نرمال بودن توزیع داده‌ها، تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها (با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد) با نرم‌افزار MSTATC انجام و شکل‌ها با نرم‌افزار Excel رسم شد.

### نتایج و بحث

برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در این آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود خاک مذکور دارای بافت لوم رسی و با آهک نسبتاً زیاد و بدون مشکل شوری یا قلیائیت بود و مقدار رطوبت FC آن ۱۸/۵ درصد بود. همچنین مقدار فسفر و روی قابل‌جذب آن کمتر از سطح بحرانی مورد نیاز برای بسیاری از گیاهان زراعی بود (جونز ۲۰۰۱).

خاک به FC رسانده شد و اجازه داده شد در طی ۳ روز خشک گردند و بعد از ۳ روز رطوبت خاک دوباره به حد FC رسانده شد. در پایان هر کدام از زمان‌های انکوباسیون (۱، ۱۰، ۳۰ و ۶۰ روز) یا چرخه‌های مرطوب و خشک شدن (۱، ۱۰ و ۲۰ چرخه)، عصاره‌گیری با روش سلطانیپور و شواب (۱۹۷۷) انجام و غلظت فسفر معدنی موجود در داخل عصاره‌ها به روش اسید آسکوربیک یا روش آبی مولیبدوفسفریک اسید و با دستگاه اسپکتروفتومتر (Spectronic-100, Shimadzu, Japan) و در طول موج ۷۳۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (مورفی و ریلی ۱۹۶۲، کوو ۱۹۹۶). درصد بازیابی کود فسفر از رابطه زیر به دست آمد (اوستان و توفیقی ۱۳۸۳):

$$R = [(Q_{ex} - Q_{ex0}) / Q_a] \times 10 \quad [1]$$

که در آن R درصد بازیابی،  $Q_a$  مقدار فسفر افزوده شده به خاک،  $Q_{ex}$  مقدار فسفر استخراج شده از

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش.

Cu	Mn	Zn	Fe	K	P	EC (1:1)	pH	OC	FC	SP	CCE	گروه بافت
		(mg/kg)				(dS/m)	( <sup>۱۱</sup> )			(%)		
۲/۲	۷/۰۱	۰/۵۲	۳/۹۸	۵۵۶	۸/۷	۰/۴۷	۷	۰/۵	۱۸/۵	۴۴/۴	۱۵/۲۵	لوم رسی

CCE: کربنات کلسیم معادل، FC: رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای، OC: کربن آلی، SP: درصد رطوبت اشباع

با و بدون مصرف فسفر مشاهده گردید. شکل‌های ۱ و ۲ نشان می‌دهند که کاهش فسفر قابل‌استخراج خاک در شرایط مصرف فسفر قابل‌ملاحظه بود (حدود ۵۰ درصد). همچنین، درصد بازیابی فسفر افزوده شده به خاک با ۷۰ درصد کاهش از ۷۲/۹ درصد در روز اول به ۴۴/۹ درصد در روز دهم انکوباسیون رسید. کاهش شدید فسفر قابل‌استخراج احتمالاً به علت غیرمتحرک شدن آن توسط ریزجانداران (ساتیا و همکاران ۲۰۰۹)، رسوب همراه با کاتیون‌های خاک از جمله کلسیم (ساتیا و همکاران ۲۰۰۹) بر روی ذرات جامد خاک (جلالی و کلاچی ۱۳۸۴) و یا جذب سطحی بر روی سطوح اکسیدهای آهن و آلومینیوم (رید و همکاران ۲۰۱۱)،

همان‌طور که در جدول‌های ۲ و ۳ مشاهده می‌شود اثرهای اصلی زمان انکوباسیون، روی، فسفر و چرخه‌های مرطوب و خشک شدن و اثرهای متقابل زمان انکوباسیون×روی، زمان انکوباسیون×فسفر، رطوبت خاک×فسفر، روی×فسفر، زمان انکوباسیون×روی×فسفر و چرخه‌های مرطوب و خشک شدن×فسفر بر فسفر قابل‌استخراج خاک معنی‌دار بودند.

شکل‌های ۱ تا ۴ نشان می‌دهند که بیشترین میزان فسفر قابل‌استخراج از تیمارهایی به دست آمد که فسفر به میزان ۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک مصرف شده بود. با افزایش زمان انکوباسیون خاک فسفر قابل‌استخراج کاهش یافت و این کاهش در هر دو شرایط

است که فعالیت میکروبی شدیداً افزایش می‌یابد (آدام و اندرسون ۱۹۸۳) حتی اگر مواد آلی خاک خیلی بالا نباشد. همچنین غیرمتحرک شدن فسفر در خاک بیشتر به نسبت کربن به فسفر مواد آلی بستگی دارد؛ اگر نسبت کربن به فسفر مواد آلی بیشتر از ۲۰۰ باشد، فسفر معدنی خاک غیرمتحرک می‌شود و اگر کمتر از آن باشد، فسفر معدنی خاک افزایش می‌یابد (هاولین و همکاران ۲۰۰۴).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر فاکتورها بر فسفر قابل استخراج خاک در آزمایش اول

میانگین مربعات	درجه آزادی	منبع تغییر
۴۵۳**	۳	زمان انکوباسیون
۲/۱۰ <sup>ns</sup>	۱	رطوبت خاک
۰/۰۵ <sup>ns</sup>	۳	زمان انکوباسیون*رطوبت خاک
۱۲۴**	۱	روی
۵/۸**	۳	زمان انکوباسیون*روی
۰/۱۶ <sup>ns</sup>	۱	رطوبت خاک*روی
۰/۲۲ <sup>ns</sup>	۳	زمان انکوباسیون*رطوبت خاک*روی
۱۳۹۸۵*	۱	فسفر
۳۶۶/۳**	۳	زمان انکوباسیون*فسفر
۵/۴*	۱	رطوبت خاک*فسفر
۰/۱۶ <sup>ns</sup>	۳	زمان انکوباسیون*رطوبت خاک*فسفر
۹۸/۹**	۱	روی*فسفر
۶/۳**	۳	زمان انکوباسیون*روی*فسفر
۰/۰۲ <sup>ns</sup>	۱	رطوبت خاک*روی*فسفر
۰/۰۷ <sup>ns</sup>	۳	زمان انکوباسیون*رطوبت خاک*روی*فسفر
۱/۰۴	۳۱	خطا
۵/۵۴		ضریب تغییرات (%)

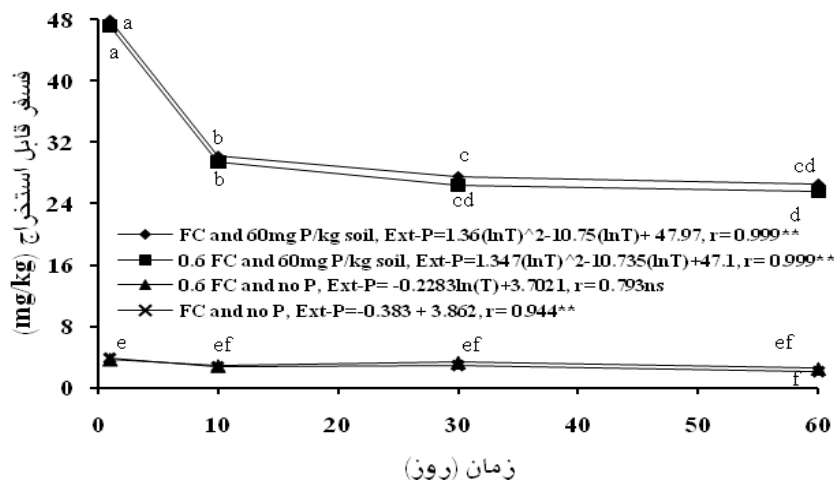
ns، \* و \*\* به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر فاکتورها بر فسفر قابل استخراج خاک در آزمایش دوم.

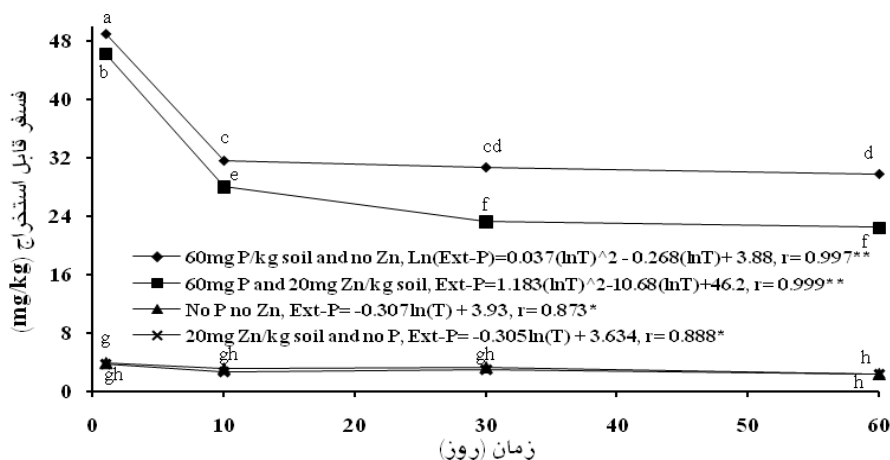
میانگین مربعات	درجه آزادی	منبع تغییر
۲۵۸**	۲	چرخه
۱۶/۸**	۱	روی
۰/۲۴ <sup>ns</sup>	۲	چرخه*روی
۶۲۸۴**	۱	فسفر
۳۱۲**	۲	چرخه*فسفر
۸/۹**	۱	روی*فسفر
۰/۸ <sup>ns</sup>	۲	چرخه*روی*فسفر
۰/۶	۱۲	خطا
۳/۸۶		ضریب تغییرات (%)

ns، \* و \*\* به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

رس‌ها (ساتیا و همکاران ۲۰۰۹) و آهک می‌باشد (ساتیا و همکاران ۲۰۰۹). سادلر و استیوارت (۱۹۷۴) گزارش نمودند که با انکوباسیون خاک به مدت ۲ ماه در شرایط غیرغرقاب حدود ۵۰ درصد فسفر افزوده شده قابل‌بازیابی بود. کاهش شدید فسفر قابل‌استخراج در زمان‌های اولیه انکوباسیون با نتایج سایر محققان مطابقت داشت ( الخطیب و همکاران ۱۹۸۶، جاوید و رول ۲۰۰۲، اوستان و توفیقی ۱۳۸۳). حداکثر کاهش فسفر قابل‌استخراج در شرایط مصرف فسفر در ۱۰ روز اول مشاهده گردید و بعد از ۱۰ روز نسبتاً ثابت ماند. تحلیل رگرسیونی نشان داد که بین زمان انکوباسیون (T) و فسفر قابل‌استخراج خاک (Ext-P) در اکثر موارد یک رابطه معنی‌دار با ضریب همبستگی بالای ۰/۹۸ وجود داشت (شکل‌های ۱، ۲ و ۴). رابطه لگاریتمی بین زمان و فسفر قابل‌استخراج نشان داد که اثر زمان انکوباسیون بر فسفر قابل‌استخراج تجمعی نبوده و بعد از مدتی فسفر مصرف شده با شرایط خاک به تعادل می‌رسد و از آن به بعد تأثیر زمان انکوباسیون بر فسفر قابل‌استخراج بسیار ضعیف می‌گردد (ریمر و همکاران ۱۹۹۳). در شرایط عدم مصرف فسفر، فسفر قابل‌استخراج با افزایش زمان انکوباسیون کاهش یافت (شکل‌های ۱ و ۲) به طوری که از ۳/۸۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک در روز اول انکوباسیون در رطوبت FC با ۸۲ درصد کاهش به ۲/۱۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک در روز آخر انکوباسیون کاهش یافت و این کاهش برای رطوبت FC ۰/۶۴ درصد بود. همچنین، در شرایط عدم مصرف فسفر، با مصرف یا عدم مصرف روی حدود ۶۰ درصد کاهش در فسفر قابل‌استخراج بعد از ۶۰ روز انکوباسیون در مقایسه با روز اول مشاهده گردید. کاهش فسفر قابل‌استخراج با گذشت زمان احتمالاً به علت غیرمتحرک شدن فسفر بر اثر فعالیت‌های میکروبی (گریسون و همکاران ۱۹۹۹)، کمبود مواد آلی (جدول ۱) و یا فرآیندهای جذب سطحی و رسوب (ساتیا و همکاران ۲۰۰۹) می‌باشد که با نتایج تحقیقات تورنر و هایگارت (۲۰۰۳) مطابقت داشت. بر اثر انکوباسیون خاک در رطوبت ثابت مناسب مثل FC مشاهده شده



شکل ۱- تغییرات فسفر قابل استخراج برای ترکیبات تیماری زمان انکوباسیون، رطوبت خاک و P.



شکل ۲- تغییرات فسفر قابل استخراج خاک برای ترکیبات تیماری زمان انکوباسیون، Zn و P.

بازیابی فسفر از ۴۸/۳ درصد در سطح FC ۰/۶ به ۵۰/۲ درصد در رطوبت FC افزایش یافت که در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار بود. افزایش فسفر قابل استخراج با افزایش رطوبت خاک می تواند به علت افزایش حل پذیری مواد آلی و انتشار آن، افزایش فعالیت میکروبی و سرعت معدنی شدن فسفر (گریسون و همکاران ۱۹۹۹)، کاهش ظرفیت جذبی فسفر خاک و آزاد شدن فسفر جذب شده (نجفی و توفیقی ۱۳۹۰) باشد. ساردانز و پنولاس (۲۰۰۴) در یک بررسی سه ساله، تأثیر تنش کمبود آب را بر فراهمی فسفر و غلظت آن در جنگل های

افزایش رطوبت خاک از ۰/۶FC به FC باعث افزایش فسفر استخراج شده از خاک گردید (شکل ۳). افزایش رطوبت خاک در تمام زمان های انکوباسیون و با مصرف فسفر باعث افزایش استخراج فسفر گردید ولی در تیمارهای عدم مصرف فسفر، فسفر قابل استخراج با افزایش رطوبت به طور جزئی کاهش یافت که معنی دار نبود (شکل ۴). افزایش استخراج فسفر در رطوبت بالاتر همراه با مصرف کود فسفر نشان داد که بازیابی فسفر افزوده شده به خاک با افزایش سطوح رطوبت خاک، افزایش یافت. در این تحقیق درصد

فسفر قابل استخراج تأثیر معنی‌داری نداشت (شکل ۲). در هر دو سطح رطوبت خاک، مصرف روی باعث کاهش فسفر قابل استخراج گردید (شکل ۴). این موضوع نشان می‌دهد که واکنش روی و فسفر در خاک چندان تحت تأثیر رطوبت قرار نگرفته و مستقل از رطوبت عمل کرده است. تأثیر کود روی بر فسفر قابل استخراج در زمان‌های بعدی انکوباسیون بارزتر بود و مصرف ۲۰ میلی‌گرم روی بر کیلوگرم خاک پس از ۶۰ روز انکوباسیون، فسفر قابل استخراج را حدود ۴ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک کاهش داد. رسوب فسفر با روی یکی از عامل‌هایی است که باعث کاهش قابلیت استخراج هر دو عنصر می‌شود (مندل و هادلر ۱۹۸۰، تاکار و همکاران ۱۹۸۵). نتایج متفاوت و گاه متناقضی توسط محققان مختلف در مورد اثر مصرف روی و فسفر بر قابلیت استخراج یکدیگر گزارش شده است (راتان و دب ۱۹۸۱). همچنین، اثر متقابل روی و فسفر به منبع فسفر مصرفی هم بستگی دارد و بسته به این‌که کاتیون همراه فسفر چه باشد، می‌تواند نتایج اثر متقابل روی و فسفر هم تغییر یابد. همچنین بسته به تغییرات pH شدت اثر متقابل روی و فسفر تغییر می‌یابد. در این تحقیق pH واحدهای آزمایشی به دلیل نبود رطوبت کافی قابل-اندازه‌گیری نبود. هرچند محققان دیگری مانند میسرا و تیلر (۲۰۰۰) تأثیر pH را بر حل‌پذیری فسفر و روی قبلاً گزارش نموده‌اند. مندل و مندل (۱۹۹۰) گزارش نمودند که مصرف همزمان روی و فسفر باعث تغییر شکل کود روی مصرف شده از حالت محلول و قابل استخراج به حالت پیوند یافته با سزکوئی اکسیدها گردید. تأثیر منفی روی و فسفر بر قابلیت جذب همدیگر توسط ترهان و شرما (۲۰۰۰)، بارین و همکاران (۲۰۱۰) و عروجی و گلچین (۱۳۹۱) نیز گزارش شده است. در این تحقیقات عواملی مانند افزایش رسوب روی با فسفر، افزایش جذب سطحی روی به دلیل تغییرات بار سطحی سطوح بر اثر بار منفی فسفر، تأثیر نوع کاتیون همراه فسفر و تغییرات pH در اثر متقابل روی و فسفر مؤثر دانسته شده‌اند. از رابطه‌های رگرسونی ارائه شده در شکل ۴ می‌توان فسفر قابل استخراج خاک را در شرایط مختلف

بلوط مدیریتانه‌ای بررسی و گزارش کردند که کاهش ۲۲ درصدی رطوبت خاک در طی سه سال ۴۰ درصد تجمع فسفر در بخش هوایی را کاهش داد؛ این در حالی بود که فسفر آلی خاک ۲۵ درصد افزایش و فسفر معدنی کاهش یافت که نشان دهنده کاهش فعالیت میکروبی خاک بر اثر تنش کمبود آب بود.

میسرا و تیلر (۱۹۹۹) گزارش نمودند که با افزایش رطوبت خاک از ۰/۳FC به FC فسفر قابل استخراج حدود ۲ برابر شد. آنان این افزایش را به تغییرات pH و کاهش واکنش فسفر با کلسیم بر اثر رسوب کلسیم با بیکربنات نسبت دادند. با این حال، اسپارلینگ و همکاران (۱۹۸۷) تغییرات فسفر قابل استخراج بر اثر تغییرات رطوبت را عمدتاً به فعالیت-های میکروبی مربوط دانستند. افزایش قابلیت استخراج فسفر با افزایش رطوبت خاک با نتایج سایر محققان (میسرا و تیلر ۱۹۹۹، گریسون و همکاران ۱۹۹۹) مطابقت داشت. مصرف ۲۰ میلی‌گرم روی بر کیلوگرم خاک فسفر قابل استخراج را شدیداً کاهش داد و این کاهش در تمام زمان‌های انکوباسیون در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (شکل‌های ۲ و ۴). مصرف روی درصد بازیابی فسفر را به‌طور معنی‌داری کاهش داد (۱۸ درصد) به طوری که درصد بازیابی فسفر از ۵۳/۴ درصد در شرایط بدون روی به ۴۵/۱ درصد در شرایط مصرف ۲۰ میلی‌گرم روی بر کیلوگرم خاک رسید. در تمام زمان‌های انکوباسیون، تیمار ۲۰ میلی‌گرم روی بر کیلوگرم خاک و بدون مصرف فسفر کمترین و تیمار ۶۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک و بدون مصرف روی بیشترین فسفر قابل استخراج را داشتند (شکل ۲). با افزایش زمان انکوباسیون تأثیر مصرف روی بر فسفر قابل استخراج بارزتر بود و اختلاف فسفر قابل استخراج بین دو سطح صفر و ۲۰ میلی‌گرم روی بر کیلوگرم خاک در شرایط با کود فسفر (۶۰ mg/kg) مشخص‌تر بود که بیانگر این نکته است که روی باعث بروز واکنش‌های بیشتر با فسفر مصرفی در خاک شده و غلظت فسفر قابل استخراج را کاهش می‌دهد. در شرایط عدم مصرف کود فسفر، افزودن کود روی به خاک بر

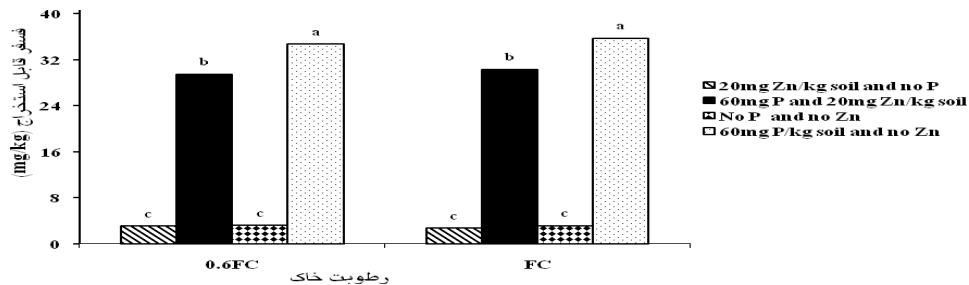


فسفر آلی و تجزیه مواد آلی و تبدیل فسفر آلی به فسفر معدنی (اسپارلینگ و همکاران ۱۹۸۷، مجید و نیلسن ۱۹۹۲، وو و بروکز ۲۰۰۵، زو و همکاران ۲۰۱۱، آچات و همکاران ۲۰۱۲) و تجزیه هوموس (بیرچ ۱۹۵۸) بر اثر چرخه‌های متناوب مرطوب و خشک شدن خاک می‌باشد و با نتایج اولسن و کورت (۱۹۸۲) و ریمر و همکاران (۱۹۹۳) مطابقت داشت. این موضوع نشان می‌دهد که در شرایط واقعی مزرعه که چرخه‌های مرطوب و خشک شدن تکرار می‌شود، قابلیت استخراج فسفر خاک افزایش می‌یابد.

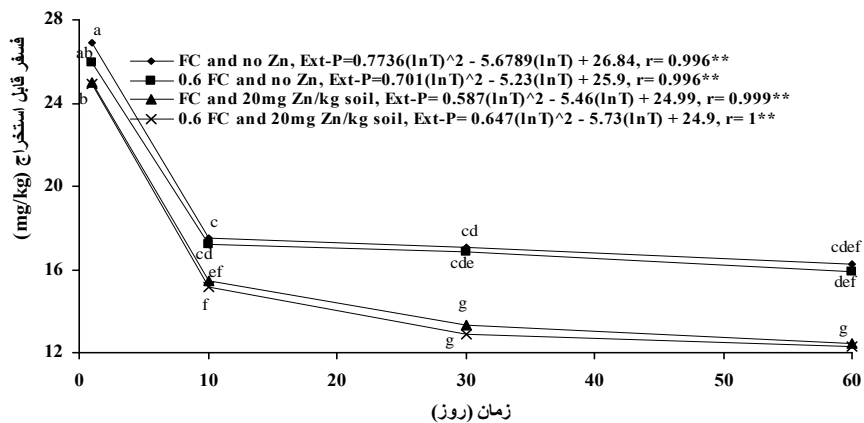
اولسن و کورت (۱۹۸۲) گزارش کردند که چرخه‌های مرطوب و خشک شدن باعث تشکیل سطوح جدید در ذرات خاک می‌گردد که فسفر از این سطوح می‌تواند آزاد گردد. از طرفی، همین سطوح خود می‌توانند مناطق جدیدی را برای جذب ایجاد نمایند. خالص اثر این سطوح به میزان فسفر مصرفی و قدرت جذب سطوح جدید بستگی دارد. به‌طور کلی، تأثیر چرخه‌های مرطوب و خشک شدن بر فسفر قابل‌استخراج هنوز به‌طور دقیق مشخص نیست (آچات و همکاران ۲۰۱۲) و نتایج ضد و نقیضی در این مورد گزارش شده است. بالدوین و میشل (۲۰۰۰) و لکزیان و همکاران (۱۳۸۹) کاهش فراهمی و چکونی و همکاران (۲۰۰۱) افزایش فراهمی فسفر را بر اثر چرخه‌های مرطوب و خشک شدن خاک گزارش نمودند در حالی‌که ونترینگ و همکاران (۲۰۰۲) گزارش نمودند که تأثیر چرخه‌های مرطوب و خشک شدن خاک بر فراهمی فسفر معنی‌دار نبود. عوامل متعددی می‌توانند در این نتایج ضد و نقیض مؤثر باشند که از آن‌جمله می‌توان به شرایط آزمایش (مدت چرخه، تعداد چرخه، دمای انکوباسیون و سرعت خشک شدن خاک‌ها)، ویژگی‌های خاک مورد آزمایش (میزان فسفر و سایر عناصر، pH، نوع رس‌ها و کانی‌های خاک) و نوع و میزان کود فسفوری اشاره کرد.

رطوبت خاک و مقادیر متفاوت روی با دقت مناسبی به‌دست آورد. تحلیل رگرسیونی نشان داد که بین زمان انکوباسیون (T) و فسفر قابل‌استخراج خاک (Ext-P) در شرایط متفاوت رطوبت خاک و روی یک رابطه معنی‌دار با ضریب همبستگی بالای ۰/۹۹ وجود داشت (شکل ۴).

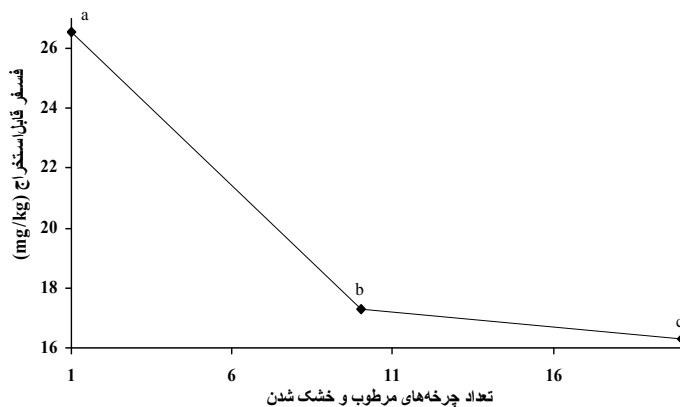
چرخه‌های مرطوب و خشک شدن در مجموع باعث کاهش فسفر قابل‌استخراج خاک شدند (شکل ۵). این کاهش مخصوصاً در فاصله ۱۰ چرخه اول بسیار شدیدتر بود به‌طوری‌که فسفر قابل‌استخراج از ۲۶/۵۷ به ۱۶/۲۸ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک (۴۰٪ کاهش در فسفر قابل‌استخراج) در فاصله ۱۰ چرخه اول مرطوب و خشک شدن کاهش یافت (شکل ۵). بعد از ۱۰ چرخه، فسفر قابل‌استخراج روند تقریباً ثابتی به خود گرفت و در فاصله ۱۰ چرخه بعدی فقط ۵ درصد کاهش یافت. کاهش شدید فسفر قابل‌استخراج در ۱۰ چرخه اول خشک و مرطوب شدن ناشی از فرآیندهای دخیل در کاهش سریع قابلیت استخراج فسفر بر اثر مصرف کود فسفر از جمله رسوب همراه با کاتیون‌های خاک از جمله کلسیم (ساتیا و همکاران ۲۰۰۹) بر روی ذرات جامد خاک (جلالی و کلاه‌چی ۱۳۸۴) و یا جذب سطحی بر روی سطوح اکسیدهای آهن و آلومینیوم (رید و همکاران ۲۰۱۱)، رس‌ها (ساتیا و همکاران ۲۰۰۹) و آهک می‌باشد (ساتیا و همکاران ۲۰۰۹). این موضوع در شکل ۶ به‌وضوح قابل‌مشاهده است چرا که در شرایط مصرف کود فسفر، به‌دلایل فوق قابلیت استخراج فسفر در فاصله ۱۰ چرخه اول مرطوب و خشک شدن کاهش یافت؛ این در حالی بود که در شرایط بدون فسفر با روندی مخالف (بر اثر نبود عوامل رسوب و یا جذب سطحی) فسفر قابل‌استخراج ۲۰ و ۴۶ درصد به‌ترتیب در شرایط با و بدون روی افزایش یافت. افزایش فسفر قابل‌استخراج در شرایط بدون کود فسفر احتمالاً به‌علت تبدیل شکل‌های کمتر محلول فسفر به شکل قابل‌جذب و محلول (ریمر و همکاران ۱۹۹۳) و یا افزایش حل‌پذیری



شکل ۳- تغییرات فسفر قابل استخراج برای ترکیبات تیماری رطوبت خاک، P و Zn.



شکل ۴- تغییرات فسفر قابل استخراج برای ترکیبات تیماری زمان انکوباسیون، رطوبت خاک و Zn.



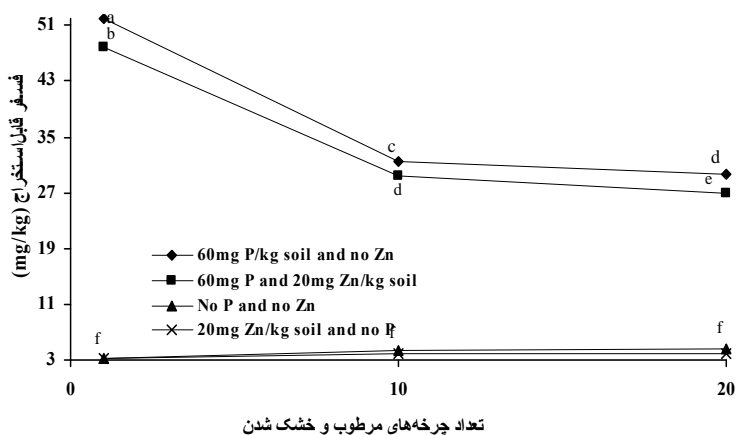
شکل ۵- تأثیر چرخه‌های مرطوب و خشک شدن بر فسفر قابل استخراج خاک (میانگین سطوح روی، فسفر و تکرار، n=۸).

شرایط بدون کود فسفر داشت. مصرف کود فسفر و رطوبت ثابت باعث افزایش قابلیت استخراج فسفر از خاک گردید. بیشترین میزان فسفر قابل استخراج (mg/kg)

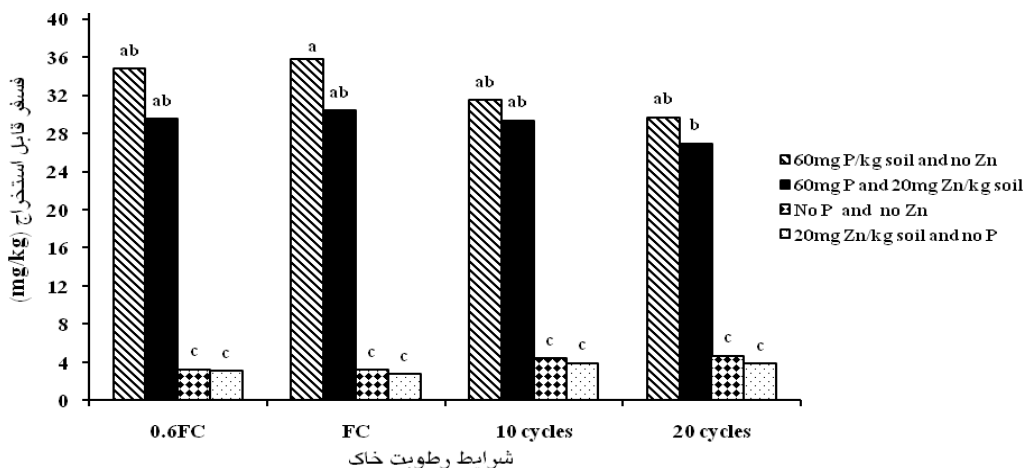
شکل ۷ نشان می‌دهد که تأثیر چرخه‌های مرطوب و خشک شدن و رطوبت ثابت بر فسفر استخراج شده از خاک در شرایط مصرف فسفر روندی کاملاً متفاوت با

شدن با خشک شدن خاک فسفر بر روی سطوح جذب سطحی شده و یا رسوب می‌نماید. همچنین چرخه‌های متناوب مرطوب و خشک شدن فعالیت میکروبی را کاهش داده و استخراج فسفر را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

از آنکوباسیون در رطوبت ثابت FC به دست آمد در حالی که مرطوب و خشک شدن باعث کاهش فسفر قابل استخراج گردید که این کاهش در ۲۰ چرخه مرطوب و خشک شدن بیشتر مشهود بود. اولسن و کورت (۱۹۸۲) بیان کردند که در چرخه‌های مرطوب و خشک



شکل ۶- تغییرات فسفر قابل استخراج برای ترکیبات تیماری چرخه‌های مرطوب و خشک شدن، Zn و P.



شکل ۷- تأثیر رطوبت خاک، چرخه‌های مرطوب و خشک شدن، Zn و P بر فسفر قابل استخراج خاک.

از ۲۰ چرخه مرطوب و خشک شدن و بدون روی و کمترین آن (۲/۷۱ mg/kg) از آنکوباسیون در رطوبت ثابت FC همراه با مصرف ۲۰ میلی‌گرم روی بر کیلوگرم خاک به دست آمد. در شرایط عدم مصرف

در شرایط بدون کود فسفر (فسفر بومی خاک)، چرخه‌های مرطوب و خشک شدن باعث افزایش قابلیت استخراج فسفر از خاک گردید. در شرایط عدم مصرف فسفر، بیشترین میزان فسفر قابل استخراج (۴/۶۶ mg/kg)

کاهش فسفر قابل استخراج در رطوبت  $0.6FC$  بیشتر از رطوبت  $FC$  بود (۴۵ درصد برای رطوبت  $0.6FC$  و ۴۲ درصد برای رطوبت  $FC$ ). نگهداری خاک در شرایط رطوبت ظرفیت مزرعه در تمام موارد باعث افزایش قابلیت استخراج فسفر گردید. نتایج همچنین نشان داد که اثر متقابل روی و فسفر در خاک هم اتفاق می افتد. مصرف کود روی در تمام شرایط رطوبتی خاک، قابلیت استخراج فسفر را کاهش داد و این کاهش با افزایش زمان انکوباسیون تشدید شد.

نتایج نشان داد که عامل‌های متعددی از جمله رطوبت خاک، میزان و منبع کود فسفر، روی مصرفی و مرطوب و خشک شدن متناوب خاک می‌توانند بر قابلیت جذب عناصر غذایی تأثیرگذار باشند و در بررسی تأثیر عناصر بر رشد گیاه علاوه بر عامل‌های گیاهی حتماً باید به عامل‌های خاکی مؤثر هم توجه کافی مبذول گردد. با توجه به اینکه برای انجام آزمون خاک فسفر در آزمایشگاه از خاک هواخشک استفاده می‌شود، نتایج این بررسی نشان داد که به دلیل تغییر شرایط رطوبت خاک در مزرعه، سطح فسفر قابل استخراج تعیین شده در آزمایشگاه می‌تواند با شرایط واقعی مزرعه تفاوت جدی داشته باشد. لذا، انجام مطالعات بیشتر در این زمینه مخصوصاً در شرایط واقعی مزرعه قابل توصیه می‌باشد.

#### سپاسگزاری

از معاونت پژوهش و فن‌آوری دانشگاه تبریز به خاطر حمایت مالی در اجرای طرح پژوهشی شماره ۲۶۴۰/۲۷/ص که این مقاله حاوی قسمتی از نتایج آن است، تشکر و قدردانی می‌شود.

فسفر، مرطوب و خشک شدن متوالی خاک باعث تغییر اندازه ذرات خاک گردید و فسفر جذب شده بر روی این سطوح جدید آزاد شد (پاولسون و جنکینسون ۱۹۷۶، وو و بروکز ۲۰۰۵). همچنین شکل‌های کمتر محلول فسفر به شکل قابل جذب و محلول (ریمر و همکاران ۱۹۹۳) در آمده، حل‌پذیری فسفر آلی و تجزیه مواد آلی (اسپارلینگ و همکاران ۱۹۸۷، مجید و نیلسن ۱۹۹۲، وو و بروکز ۲۰۰۵، زو و همکاران ۲۰۱۱، آچات و همکاران ۲۰۱۲) و تجزیه هوموس (بیرچ ۱۹۵۸، آچات و همکاران ۲۰۱۲) بر اثر چرخه‌های متناوب مرطوب و خشک شدن افزایش می‌یابد.

#### نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که چرخه‌های مرطوب و خشک شدن مانند آنچه که در شرایط واقعی مزرعه در مناطق خشک و نیمه‌خشک اتفاق می‌افتد، باعث افزایش فسفر قابل استخراج با عصاره‌گیر سلطانیپور و شواب (۱۹۷۷) در شرایط عدم مصرف فسفر شد. افزایش تعداد چرخه‌های مرطوب و خشک شدن باعث افزایش بیشتر قابلیت استخراج فسفر با عصاره‌گیر سلطانیپور و شواب (۱۹۷۷) گردید درحالی‌که در شرایط مصرف فسفر چرخه‌های متناوب مرطوب و خشک شدن باعث افزایش واکنش فسفر اضافه‌شده با اجزای خاک و کاهش شدید قابلیت استخراج آن در مقایسه با رطوبت ثابت گردید. اثر چرخه‌های مذکور بر فسفر اضافه‌شده به صورت کود در ۱۰ چرخه اول خیلی شدیدتر بود.

در هر دو شرایط با و بدون کود فسفر، انکوباسیون در شرایط رطوبت ثابت باعث کاهش قابلیت استخراج فسفر از خاک گردید. در شرایط مصرف فسفر

#### منابع مورد استفاده

- اوستان ش و توفیقی ح، ۱۳۸۳. برآورد فسفر قابل استفاده باقیمانده در برخی از خاک‌های ایران. مجله علوم کشاورزی ایران، جلد ۲۵، شماره ۳، صفحه‌های ۵۳۱ تا ۵۴۱.
- جلالی م و کلاهی ز، ۱۳۸۴. فراهمی فسفر خاک بر اثر افزودن مقادیر مختلف کود فسفوری در خاک‌های استان همدان. مجله علوم خاک و آب، جلد ۱۹، شماره ۱، صفحه‌های ۵۹ تا ۶۸.

- عروجی ه و گلچین ا، ۱۳۹۱. تأثیر روی، منگنز و مس بر عملکرد غده و فسفر و آهن در برگ و غده سیبزمینی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، جلد ۱۶، شماره ۶۱، صفحه‌های ۲۲۱ تا ۲۲۹.
- لکزیان ا، حلاج نیا ا و رحمانی ح، ۱۳۸۹. تأثیر چرخه‌های متناوب خشک و مرطوب شدن خاک بر کربن آلی، فسفر و نیتروژن آلی و معدنی محلول. نشریه آب و خاک، جلد ۲۴، شماره ۲، صفحه‌های ۲۳۴ تا ۲۴۳.
- نجفی ن و توفیقی ح، ۱۳۹۰. اثر رژیم رطوبتی و کود فسفر بر فسفر قابل جذب و شکل‌های فسفر معدنی در برخی خاک‌های شالیزاری شمال ایران. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، جلد ۴۲، شماره ۲، صفحه‌های ۱ تا ۱۴.
- Achat DL, Augusto L, Gallet-Budynek A and Bakker MR, 2012. Drying-induced changes in phosphorus status of soils with contrasting soil organic matter contents-Implications for laboratory approaches. *Geoderma* 187-188: 41-48.
- Adam AI and Anderson WB, 1983. Soil moisture influence on micronutrient cation availability under aerobic conditions. *Plant Soil* 72: 77-83.
- Al-Khateeb IK, Rajhan MJ and Askar SR, 1986. Phase equilibria and kinetics of orthophosphate in some Iraqi soils. *Soil Sci* 141: 31-37.
- Alloway BJ, 2008. Zinc in Soils and Crop Nutrition. Second Edition, IZA and IFA, France.
- Baldwin DS and Mitchell AM, 2000. The effects of drying and re-flooding on the sediment and soil nutrient dynamics of lowland river-floodplain systems: a synthesis. *Rivers Res Appl* 16: 457-467.
- Barben SA, Hopkins BG, Jolley VD, Webb BL and Nicholas BA, 2010. Phosphorus and zinc interactions in chelator-buffered solution grown russet Burbank potato. *J Plant Nutr* 33: 587-601.
- Barrow NJ, 1989. Relating chemical processes to management systems. Pp. 199-211. Proceeding of a Symposium on Phosphorus Requirements for Sustainable Agriculture in Asia and Oceania. 6-10 March, Int Rice Res Inst, Philippines.
- Blackwell MSA, Brookes PC, Fuente-Martinez N, Gordon H, Murray PJ, Snars KE, Williams JK and Haygarth PM, 2010. Chapter 1 - phosphorus solubilization and potential transfer to surface waters from the soil microbial biomass following drying–rewetting and freezing–thawing. *Adv Agron* 106: 1-35.
- Birch HF, 1958. The effect of soil drying on humus decomposition and nitrogen availability. *Plant Soil* 10: 9-31.
- Blackwell MSA, Brookes PC, Fuente-Martinez N, Murray PJ, Snars KE, Williams JK and Haygarth PM, 2009. Effects of soil drying and rate of re-wetting on concentrations and forms of phosphorus in leachate. *Biol Fertil Soils* 45: 635-643.
- Butterly CR, Marschner P and Baldock J, 2006. Drying and wetting cycles and phosphorus dynamics. Proceeding of 18<sup>th</sup> World Congress of Soil Science. 9-15 July, Philadelphia, Pennsylvania, USA.
- Chauhan BS, Stewart JWB and Paul EA, 1981. Effects of labile inorganic phosphate status and organic carbon additions on the microbial uptake of phosphorus in soils. *Can J Soil Sci* 61: 373-385.
- Chepkwony CK, Haynes RJ, Swift RS and Harrison R, 2001. Mineralization of soil organic P induced by drying and wetting as a source of plant-available P in limed and unlimed samples of an acid soil. *Plant Soil* 234: 83-90.
- Condrón LM and Newman S, 2011. Revisiting the fundamentals of phosphorus fractionation of sediments and soils. *J Soils Sediments* 11: 830-840.
- Gee GW and Bauder JWC, 1986. Particle size analysis. Pp. 383-412. In: Klute A (ed). *Methods of Soil Analysis: Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. Second Edition, Soil Sci Soc Am Book Ser, Madison, WI, USA.
- Grierson PF, Comerford NB and Jokela EJ, 1999. Phosphorus mineralization and microbial biomass in a Florida Spodosol: effects of water potential, temperature and fertilizer application. *Biol Fertil Soils* 28: 244-252.
- Gunes A, Inal A, Bağcı EG, 2009. Recovery of bean plants from boron-induced oxidative damage by zinc supply. *Russian J Plant Physiol* 56(4): 503-509.
- Havlin JL, Beaton JD, Tisdale SL and Nelson WL, 2004. *Soil Fertility and Fertilizers an Introduction to Nutrient Management*. 7<sup>th</sup> Edition, Prentice Hall, USA.
- Holford ICR and Patrik WH, 1979. Effects of reduction and pH changes on phosphate sorption and mobility in an acid soil. *Soil Sci Soc Am J* 43: 292-297.
- Javid S and Rowell DL, 2002. A laboratory study of the effect of time and temperature on the decline in Olsen P following phosphate adding to calcareous soils. *Soil Use Manag* 18: 127-134.
- Jones J, 2001. *Laboratory Guide for Conducting Soil Tests and Plant Analysis*. CRC Press, LLC. USA.
- Kirk GJD, Tian-ren Y and Choudhury FA, 1989. Phosphorus chemistry in relation to water regime. Pp. 211-225. Proceeding of a Symposium on Phosphorus Requirements for Sustainable Agriculture in Asia and Oceania. 6-10 March, Int Rice Res Inst, Philippines.
- Kirkham MB, 2004. *Principles of Soil and Plant Water Relations*. Academic Press, USA.

- Koleli N, Eker S, Cakmak I, 2004. Effect of zinc fertilization on cadmium toxicity in durum and bread wheat grown in zinc-deficient soil. *Environ Pollut* 131: 453-459.
- Kuo S, 1996. Phosphorus. Pp. 869-919. In: Sparks DL, Page AL, Helmke PA, Loeppert RH, Soltanpour PN, Tabatabaei MA, Johnson CT and Sumner ME (eds). *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. Soil Sci Soc Am Book Ser, Madison, WI, USA*
- Lindsay WL and Norvell WA, 1978. Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci Soc Am J* 42: 421-428.
- Magid J and Nielsen NE, 1992. Seasonal variation in organic and inorganic phosphorus fractions of temperate climate sandy soils. *Plant Soil* 144: 155-165.
- Mandal LN and Haldar M, 1980. Influence of phosphorus and zinc application on the availability of zinc, copper, iron, manganese and phosphorus in waterlogged rice soil. *Soil Sci* 130: 251-257.
- Mandal B and Mandal LN, 1990. Effect of phosphorus application on transformation of zinc fraction in soil and on the zinc nutrition of lowland rice. *Plant Soil* 121: 115-123.
- McLean EO, 1982. Soil pH and lime requirement. In: Page AL, Miller RH, and Keeney DR (eds). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Soil Sci Soc Am Book Ser, Madison, WI, USA.*
- Mikha MM, Rice CW and Milliken GA, 2005. Carbon and nitrogen mineralization as affected by drying and wetting cycles. *Soil Biol Biochem* 37: 339-347.
- Misra A and Tyler G, 1999. Influence of soil moisture on soil solution chemistry and concentrations of minerals in the calcicoles *Phleum phleoides* and *Veronica spicata* Grown on a limestone soil. *Annals Bot* 84: 401-410.
- Misra A and Tyler G, 2000. Effect of wet and dry cycles in calcareous soil on mineral nutrient uptake of two grasses, *Agrostis stolonifera* L. and *Festuca ovina* L. *Plant Soil* 224: 297-303.
- Murphy J and Riley JP, 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal Chim Acta* 27: 31-36.
- Nelson DWLE and Sommers LE, 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. Pp. 967-1010. In: Sparks DL, Page AL, Helmke PA, Loeppert RH, Soltanpour PN, Tabatabaei MA, Johnson CT and Sumner ME (eds). *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. Soil Sci Soc Am Book Ser, Madison, WI, USA.*
- Nevo Z and Hagin J, 1966. Changes occurring in soil samples during air-dry storage. *Soil Sci* 102:157-160.
- Olsen RG and Court MN, 1982. Effect of wetting-drying of soils on phosphate adsorption and resin extraction of soil phosphate. *J Soil Sci* 33: 709-717.
- Peck AW, McDonald GK, 2010. Adequate zinc nutrition alleviates the adverse effects of heat stress in bread wheat. *Plant Soil* 337: 355-374.
- Powelson DS and Jenkinson DS, 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil-II. Gamma irradiation, autoclaving, air drying and fumigation. *Soil Biol Biochem* 8: 179-188.
- Rattan RK and Deb DL, 1981. Self diffusion of zinc and iron in soils as affected by pH, CaCO<sub>3</sub>, moisture, carrier and phosphorus levels. *Plant Soil* 63: 377-393.
- Reed SC, Townsend AR, Taylor PG and Cleveland CC, 2011. Phosphorus cycling in tropical forests growing on highly weathered soils. Pp. 339-369. In: Bunemann, EK, Oberson and Frossard E (eds). *Phosphorus in Action: Biological Processing in Soil Phosphorus Cycling. Springer, Berlin, Germany.*
- Rehman H, Aziz T, Farooq M, Wakeel A and Rengel Z, 2012. Zinc nutrition in rice production systems: a review. *Plant Soil* 361: 203-226.
- Richards LA, 1969. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. US Salinity Laboratory Staff. Agricultural Handbook. No.60. USDA.USA.*
- Rimmer DL, Hamad ME and Syers JK, 1993. Effect of wetting and drying on P availability in calcareous arid region soils. *Arid Soil Res Rehab* 7(3): 265-273.
- Sadler JM and Stewart WB, 1974. Changes with time in form and availability of residual fertilizer phosphorus in a catenary sequence of Chernozemic soils. *Can J Soil Sci* 55: 149-159.
- Sardans J and Peñuelas J, 2004. Increasing drought decreases phosphorus availability in an evergreen Mediterranean forest. *Plant Soil* 267: 367-377.
- Sathya S, Pitchai GJ and Indirani R, 2009. Effect of soil properties on availability of nitrogen and phosphorus in submerged and upland soil- a review. *Agric Rev* 30(1): 71-79.
- Soltanpour PN and Schwab AP, 1977. A new soil test for simultaneous extraction of macro and micronutrients in alkaline soils. *Commun Soil Sci Plant Anal* 8: 195-207.
- Sparling GP, Milne JDG and Vincent KW, 1987. Effect of soil moisture regime on the microbial contribution to Olsen phosphorus values. *NZ J Agric Res* 30: 79-84.
- Syers JK and Ru-Kun L, 1989. Inorganic reactions influencing phosphorus cycling in soils. Pp. 191-199. *Proceeding of a Symposium on Phosphorus Requirements for Sustainable Agriculture in Asia and Oceania. 6-10 March, Int Rice Res Inst, Philippines.*
- Tack FMG, Ranst EV, Lievens C and Vandenberghe RE, 2006. Soil solution Cd, Cu and Zn concentrations as affected by short-time drying or wetting: The role of hydrous oxides of Fe and Mn. *Geoderma* 137: 83-89.

- Takkar PN, Chhibba IM and Mehta SK, 1985. Eighteenth Annual Report of All India Coordinated Scheme of Micronutrients in Soil and Plants for the Year 1984-85. ICAR, New Delhi, India
- Tavallali V, Rahemi M, Maftoun M, Panahi B, Karimi S, Ramezani A and Vaezpour M, 2009. Zinc influence and salt stress on photosynthesis, water relations, and carbonic anhydrase activity in pistachio. *Sci Hort* 123: 272-279.
- Thao HTB, George T, Yamakawa T and Widowati LR, 2008. Effects of soil aggregate size on phosphorus extractability and uptake by rice (*Oryza sativa* L.) and corn (*Zea mays* L.) in two ultisols from the Philippines. *Soil Sci Plant Nutr* 54: 148-158.
- Trehan SP and Sharma RC, 2000. Phosphorus and zinc uptake efficiency of potato (*Solanum tuberosum* L.) in comparison to wheat (*Triticum aestivum* L.), maize (*Zea mays* L.) and sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Indian J Agric Sci* 70: 840-845.
- Trehan SP and Sharma RC, 2003. Root–shoot ratio as indicator of zinc uptake efficiency of different potato cultivars. *Commun Soil Sci Plant Anal* 34 (7-8): 919-932.
- Turner BL and Romero TE, 2010. Stability of hydrolytic enzyme activity and microbial phosphorus during storage of tropical rain forest soils. *Soil Biol Biochem* 42: 459-465.
- Turner BL, Driessen JP, Haygarth PM and Mckelvie ID, 2003. Potential contribution of lysed bacterial cells to phosphorus solubilisation in two rewetted Australian pasture soils. *Soil Biol Biochem* 35: 187-189.
- Turner BL and Haygarth PM, 2003. Changes in bicarbonate-extractable inorganic and organic phosphorus by drying pasture soils. *Soil Sci Soc Am J* 67: 344-350.
- Venterink HO, Davidsson TE, Kiehl K and Leonardson L, 2002. Impact of drying and re-wetting on N, P and K dynamics in a wetland soil. *Plant Soil* 243: 119-130.
- Wu J and Brookes PC, 2005. The proportional mineralisation of microbial biomass and organic matter caused by air-drying and rewetting of a grassland soil. *Soil Biol Biochem* 37: 507-515.
- Xu G, Sun JN, Xu RF, Lv YC, Shao HB, Yan K, Zhang LH and Blackwell MSA, 2011. Effects of air-drying and freezing on phosphorus fractions in soils with different organic matter contents. *Plant Soil Environ* 57: 228-234.