

## بررسی امکان استفاده از اگزالیک اسید به منظور افزایش بهره‌وری کود فسفر در خاک

سیما دبستانی رضوی<sup>۱\*</sup>، رضا خراسانی<sup>۲</sup>، امیر فتوت<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد. (۰۹۱۵۹۲۵۲۴۶۴)

[Dabestani.s84@Gmail.com](mailto:Dabestani.s84@Gmail.com)

<sup>۲</sup> استادیار، عضو هیئت علمی و مدیر گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.

[Khorasani@ferdowsi.um.ac.ir](mailto:Khorasani@ferdowsi.um.ac.ir)

<sup>۳</sup> دانشیار، عضو هیئت علمی گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.

[afotovat@um.ac.ir](mailto:afotovat@um.ac.ir)

### چکیده

یکی از مهمترین دلایل آلودگی محیط زیست استفاده بیش از حد کودهای شیمیایی است. خاک‌های آهکی کشور ما با قابلیت دسترسی فسفر کم کشاورزان را مخصوصاً به استفاده بیش از حد کودهای فسفر ترغیب می‌کند که عواقب و پیامدهای زیانبار زیادی را برای محیط زیست به دنبال خواهد داشت. برای غلبه بر چنین شرایطی گیاهان معمولاً تراوش ترکیباتی از ریشه از جمله اگزالیک اسید را افزایش می‌دهند. در همین راستا به تقلید از گیاهان و با هدف کاهش کاربرد کود فسفر مصرفی در خاک چهار تیمار کودی مرکب از کود فسفر و اگزالیک اسید از لحاظ عملکرد و محتوای فسفر با تیماری که تمام نیاز گیاه از طریق کود تأمین شده بود مقایسه شد. چیدمان ترکیب‌های کودی به شکلی بود که در آن‌ها میزان کود فسفر مصرفی رو به کاهش بود و به‌جای آن مصرف اگزالیک اسید افزایش داشت. نتایج مطالعه حاکی از آن بود که کاهش کود فسفر در خاک و در عوض همراه کردن آن با اگزالیک اسید نه تنها به عملکرد گیاه لطمه‌ای نمی‌زند بلکه می‌تواند به افزایش بهره‌وری فسفر از خاک نیز کمک کند.

واژه‌های کلیدی: اگزالیک اسید، کود فسفر، محیط زیست، آلودگی

## ۱- مقدمه

آلودگی محیط زیست از منابع گوناگون صورت می‌گیرد. یکی از مهمترین این موارد استفاده بیش از حد کودهای شیمیایی است. گرچه کودهای شیمیایی به‌عنوان اقتصادی‌ترین ابزار برای رسیدن به حداکثر تولید در واحد سطح می‌باشد اما غالباً مصرف این کودها نامتعادل و بیش از حد لازم صورت می‌گیرد که اختلالات عمده‌ای را در محیط زیست باعث شده و به مرور به استهلاک قلب اصلی آن یعنی خاک منجر خواهد شد.

خاک‌های آهکی کشور ما با قابلیت دسترسی فسفر کم کشاورزان را مخصوصاً به استفاده بیش از حد کودهای فسفر ترغیب می‌کند غافل از آن‌که مصرف نامتعادل آن عواقب و پیامدهای زیانبار زیادی را به‌دنبال خواهد داشت. استفاده بیش از حد کودهای فسفر اکوسیستم‌های اطراف زمین‌های کشاورزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اضافه شدن بیش از حد عناصر غذایی به منابع آبی منجر به تولید بیش از حد اتوتروف‌ها به‌خصوص جلبک‌ها و سیانوباکتری‌ها می‌شود. این تولید زیاد باکتری‌ها منجر به تنفس زیاد و کمبود اکسیژن خواهد شد که مرگ آبزیان را به دنبال دارد. بنابراین تجمع عناصر غذایی از جمله فسفر در محیط‌های آبی که به اتوتروفیکاسیون<sup>۱</sup> معروف است با افزایش BOD<sup>۲</sup> آب از کیفیت آن خواهد کاست (کارپنتر و همکاران، ۱۹۹۸).

علاوه بر این استفاده طولانی مدت از عناصر غذایی در خاک می‌تواند سبب برهم زدن تعادل عناصر غذایی شود. استفاده بیش از حد فسفر به‌خصوص در خاک‌های خنثی و قلیایی سبب کمبود عنصر روی خواهد شد (داس و همکاران، ۲۰۰۵).

آلودگی کودهای فسفر به برخی از عناصر سنگین از جمله دیگر مشکلات این کودهاست. سنگ فسفات ممکن است بالغ بر ۶۴۰ میلی‌گرم کادمیوم در هر کیلوگرم فسفر (آلووای و استینس، ۱۹۹۹) و بالغ بر ۱/۳ گرم اورانیوم در هر کیلوگرم فسفر را دربرگیرد (گزمان و همکاران، ۱۹۹۵). گزارش شده است که کاربرد پی در پی این کود می‌تواند مقدار کادمیوم را در خاک و به دنبال آن در گیاه افزایش دهد (گرت و همکاران، ۲۰۱۰).

با توجه به مشکلات یاد شده و همچنین محدودیت منابع فسفر به‌عنوان منابع غیرقابل تجدید نیاز به استفاده از آن با کارایی بالاتر یا استفاده از روش‌های ثانویه جهت افزایش قابلیت استفاده فسفر برای گیاهان احساس می‌گردد.

گیاهان برای استقرار و رشد کردن به شکل بهینه بر روی خاک‌های آهکی نیاز به انطباق با وضعیت‌های کمبود عناصر غذایی در این خاک‌ها دارند، روش‌های گیاهان در این خصوص غالباً امن‌ترین و بی‌خطرترین راه جهت حفظ محیط زیست است؛ یکی از این روش‌ها تراوشات ترکیباتی از ریشه است که حلالیت مواد معدنی را افزایش داده، به معدنی شدن مواد آلی منجر شده و جذب از منابع غذایی محلول ریزوسفر را افزایش می‌دهد (لیپتون و همکاران، ۱۹۸۷). پیشنهاد شده است که تراوشات ریشه نقش محوری را در مکانیسم‌های استفاده از عناصر غذایی در خاک‌های آهکی ایفا می‌کنند (جونز، ۱۹۹۸). گیاهان کلسیم‌دوست به‌طور معمول میزان تراوش اسیدهای آلی به‌خصوص اسیدهای دی و تری کربوکسیلیک از جمله سیترات و اگزالات یا آنیون‌های این اسیدها را در مقایسه با گیاهان غیرکلسیم‌دوست افزایش می‌دهند (اشتورم و همکاران، ۱۹۹۴؛ تیلور و اشتورم، ۱۹۹۵). در این رابطه توجه ویژه‌ای به گیاه *Lupinus albus L.* از خانواده *Fabaceae* شده است. تراوش سیترات به‌وسیله‌ی این گیاه از نواحی خاصی از ریشه‌ها (ریشه‌های خوشه‌ای<sup>۳</sup>) انجام شده و بسیار قابل توجه است. به طوری که میزان آن در گیاهانی که سه هفته از رشدشان در خاک آهکی دچار کمبود فسفر گذشته بود ۱۲ درصد بیومس (جانسون و همکاران، ۱۹۹۶) و در گیاهانی با ۱۳ هفته رشد در این خاک بالغ بر ۲۳ درصد بیومس تخمین زده شده است (دینکلاکر و همکاران، ۱۹۸۹). و در گزارشی دیگر برآورد غلظت اسیدهای آلی اطراف ریشه‌های این گیاه ۵۸ میلی‌مولار بوده است (ونکلاس و همکاران، ۲۰۰۳).

در همین راستا این تحقیق با در نظر گرفتن این خصوصیت ویژه‌ی گیاهان به‌منظور بررسی امکان استفاده از اگزالیک اسید برای افزایش جذب فسفر و در نتیجه افزایش بهره‌وری کود فسفر مصرفی در خاک و حتی امکان کاهش کاربرد آن انجام گرفت. در واقع به‌دنبال پاسخ این پرسش بودیم که آیا کاهش کاربرد کود فسفر با اضافه کردن اگزالیک اسید قابل جبران است یا خیر؟

<sup>۱</sup>Eutrophication

<sup>۲</sup>Biological Oxygen Demand

<sup>۳</sup>Cluster roots

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۱-۲- نمونه‌برداری و آنالیز خاک

نمونه خاک از محل پردیس دانشگاه فردوسی مشهد از لایه سطحی برداشت شد. به منظور آنالیز خاک نمونه بعد از هوا خشک شدن از الک دو میلی‌متری عبور داده شد و سپس pH، EC، بافت، درصد آهک، درصد کربن آلی و عناصر پرمصرف (نیتروژن، پتاسیم، فسفر) در آن تعیین شدند. بافت خاک به کمک مثلث بافت خاک مشخص گردید (گی و بودر، ۱۹۸۶). آهک از طریق خنثی‌سازی با اسید و تیتراسیون با سود اندازه‌گیری شد (ریچاردز، ۱۹۵۴). برای تعیین کربن آلی خاک از روش اکسیداسیون به وسیله دی‌کرومات پتاسیم استفاده شد (والکلی و بلاک، ۱۹۳۴). به منظور محاسبه‌ی نیاز کودی خاک نیتروژن کل از روش کج‌لدال (برمنر، ۱۹۹۶) فسفر قابل استفاده به روش مولیبدات آمونیوم (مورفی و ریلی، ۱۹۶۲) و پتاسیم به کمک استات آمونیوم (چاپمن و پرات، ۱۹۶۱) تعیین گردید.

### ۲-۲- کشت گلخانه

کشت گیاهان به شکل گلخانه‌ای انجام و برای این منظور از گلدان‌هایی با ظرفیت ۳ کیلوگرم خاک استفاده شد و قبل از آن کمبود عناصر غذایی نیتروژن، پتاسیم و روی با توجه به نتایج آنالیز خاک جبران شد. تیمارهای آزمایش در دو مرحله اعمال شد؛ در مرحله ی اول کود فسفات کلسیم در پنج مقدار ۶۸، ۴۰/۸، ۲۷/۲، ۱۳/۶ (به ترتیب به عنوان ۱۰۰٪، ۶۰٪، ۴۰٪ و ۲۰٪ نیاز گیاه) و صفر میلی گرم بر کیلوگرم خاک به گلدان‌ها داده شد. سپس ۱۲ عدد بذر گندم از رقم پارسا در گلدان کشت شد و رطوبت خاک به حد ظرفیت زراعی رسید. گلدان‌ها هر روز به‌طور تصادفی توزین و کاهش وزن آن با آبیاری به کمک آب مقطر جبران شد تا رطوبت خاک در حدود ظرفیت زراعی حفظ گردد. یک هفته بعد از کشت، گیاهان تنک شدند و تعداد آن در هر گلدان به نصف کاهش پیدا کرد. در مرحله ی دوم پنج غلظت اگزالیک اسید (صفر، ۱/۶، ۲/۴، ۳/۲ و ۴ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) به ترتیب به ۵ تیمار فسفر فوق الذکر (از غلظت زیاد به کم) به صورت محلول هنگام آبیاری افزوده شد. تیمار دریافت‌کننده ی ۶۸ ppm فسفات کلسیم و صفر اگزالیک اسید به عنوان تیمار کنترل در نظر گرفته شد. آزمایش در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با آرایش فاکتوریل با سه تکرار اجرا شد. بعد از گذشت دو ماه گیاهان برداشت شدند، پس از تعیین وزن تر و خشک، نمونه‌ها خرد شد و از الک ۰/۵ میلی‌متری عبور داده شد. نمونه‌ها با روش اکسیداسیون خشک<sup>۱</sup> هضم شدند و فسفر آن توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید.

### ۲-۳- آنالیز آماری

آنالیز داده‌ها به کمک نرم‌افزار MSTATC 1.42 انجام و برای مقایسه‌ی میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد استفاده شد.

<sup>1</sup> Dry Ashing

### ۳- نتایج

ویژگی‌های خاک مورد استفاده در آزمایش در جدول (۱) آمده است.

جدول (۱) برخی خصوصیات خاک مورد استفاده در آزمایش

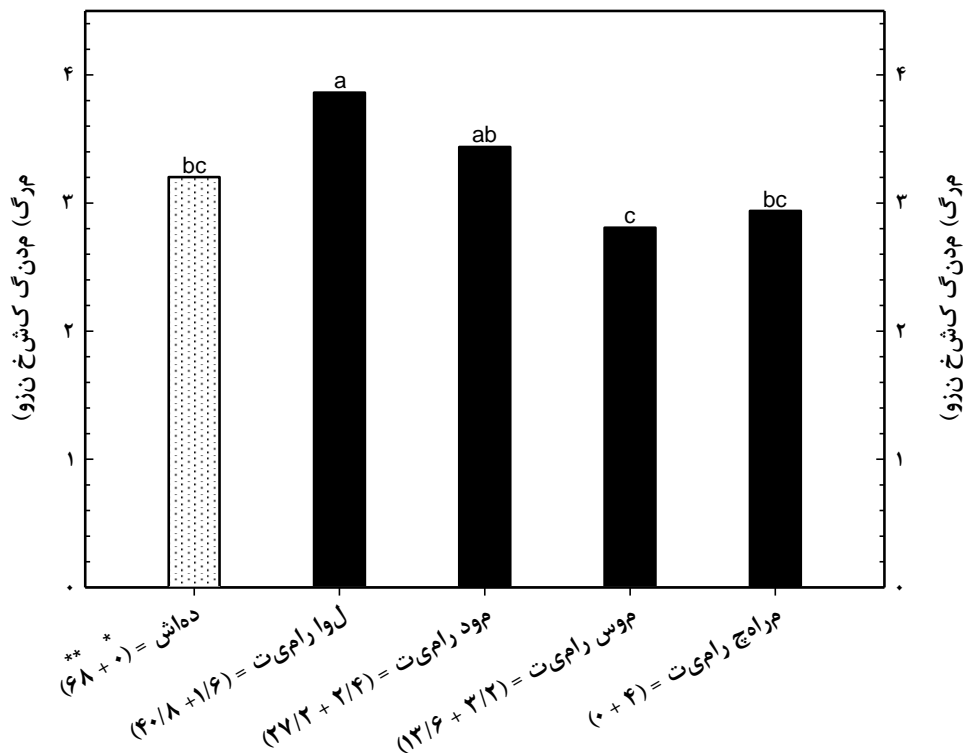
CaCO <sub>3</sub> %	OM%	K <sub>(av)</sub> <sup>1</sup>	P <sub>(av)</sub>	N <sub>(t)</sub> <sup>2</sup>	pH	EC(ds/m)	بافت
۱۶/۲۵	۰/۷۷۵	۱۵۰/۷۲	۱۰	۳۹۳/۷۵	۷/۶۴	۱/۸۶	Loam

ppm

1: av = available

2: t = total

نتایج مربوط به عملکرد رویشی (وزن خشک اندام هوایی) گیاه گندم در شکل (۱) خلاصه شده است. اولین ستون مربوط به تیمار شاهد است که به آن اسید آلی اضافه نشده است. ستون‌های بعدی به ترتیب معرف وضعیت تیمارهای دریافت‌کننده ترکیبات مختلف کود فسفر و اگزالیک اسید می‌باشد.



ترکیبات مختلف کود فسفات کلسیم و اگزالیک اسید

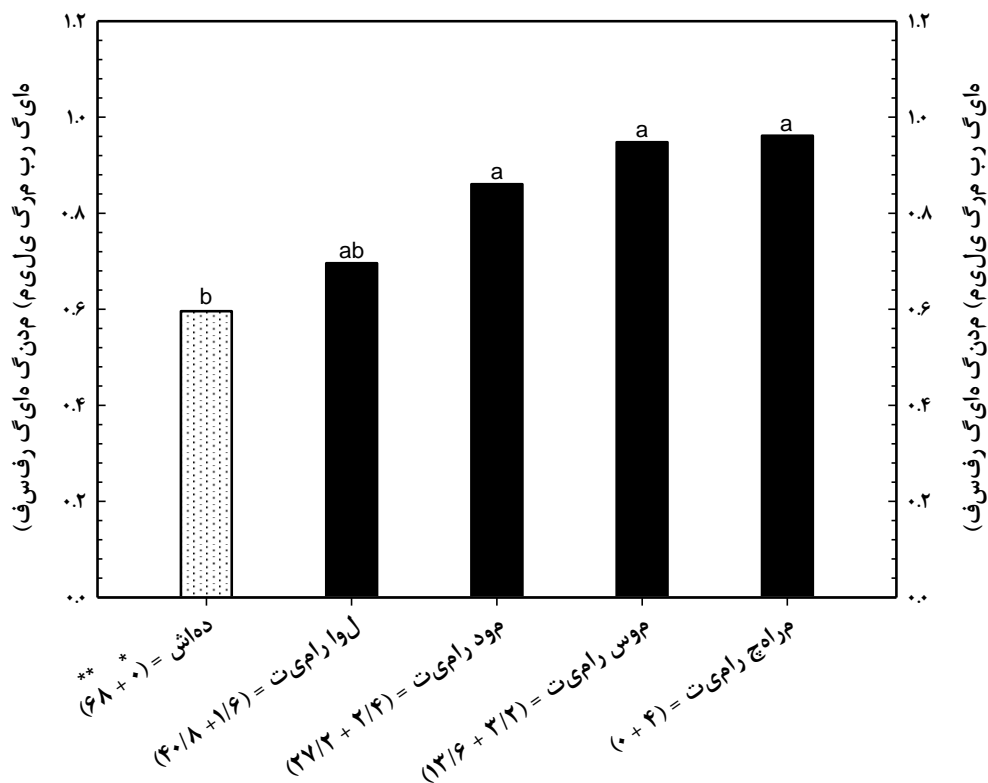
شکل (۱) اثر ترکیبات مختلف کود فسفات کلسیم و اگزالیک اسید بر وزن خشک گندم

\* نشانگر مقدار اگزالیک اسید بر حسب میلی‌مول بر کیلوگرم خاک و \*\* نشانگر میزان کود فسفات کلسیم بر

حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک است. حروف مشترک بین تیمارها نشان از عدم معنی‌داری آن‌هاست.

همان‌طور که شکل نشان می‌دهد کاهش میزان کود فسفر مصرف‌شده از ۶۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک تا ۶۰، ۴۰ و ۲۰ درصد آن و حتی وضعیتی که هیچ کود فسفوری به خاک اضافه نشده است اختلافی در وزن خشک گندم ایجاد نکرده است که دلیل آن اضافه شدن اگزالیک اسید است. حتی در تیمار اول که ۴۰/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفات کلسیم با ۱/۶ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک از اگزالیک اسید ترکیب شده است افزایش معنی‌دار در عملکرد رویشی گیاه نسبت به شاهد ایجاد شده است.

شکل (۲) محتوای فسفر گیاه گندم را در تیمارهای مختلف بر حسب میلی‌گرم بر گیاه نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که به جز تیمار اول که کمترین میزان اگزالیک اسید را دریافت کرده است در سایر تیمارها افزایش معنی‌دار در محتوای فسفر گیاه نسبت به شاهد وجود دارد.



ترکیبات مختلف کود فسفات کلسیم و اگزالیک اسید

شکل (۲) اثر ترکیبات مختلف کود فسفات کلسیم و اگزالیک اسید بر محتوای فسفر گیاه گندم

\* نشانگر مقدار اگزالیک اسید بر حسب میلی‌مول بر کیلوگرم خاک و \*\* نشانگر میزان کود فسفات کلسیم بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک است. حروف مشترک بین تیمارها نشان از عدم معنی‌داری آن‌هاست.

#### ۴- بحث

در تیمار اول که میزان کود فسفر مصرف‌شده نسبت به شاهد کاهش پیدا کرده و در عوض به خاک اگزالیک اسید با غلظت ۱/۶ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک اضافه شده است تغییری در میزان جذب فسفر گیاه ایجاد نشده است، این خود نتیجه‌ی مثبتی است چرا که نشان می‌دهد امکان کاهش کاربرد کود مصرفی و تعدیل آن با اضافه کردن ماده ثانویه وجود دارد. البته عدم تأثیرگذاری اگزالیک اسید بر افزایش حلالیت و در نتیجه جذب فسفر احتمالاً به دلیل غلظت کم مورد استفاده آن است. در مطالعات اشتورم و همکاران (۲۰۰۲) و خادمی و همکاران (۲۰۱۰) نیز اشاره شده است حداقل غلظت اسیدهای آلی در محلول کردن فسفر خاک ۲/۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک است. البته در این تیمار عملکرد رویشی گیاه افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان می‌دهد، این‌طور

به نظر می‌رسد اگزالیک اسید علاوه بر اثر مثبت بر افزایش قابلیت استفاده عناصری مثل فسفر بر جنبه‌های دیگر خاک نیز تأثیرات مثبتی خواهد گذاشت مثلاً محققان معتقدند تجزیه زیاد و چرخه سریع این ترکیبات آلی می‌تواند نقش مهمی را در تنفس خاک ایفا کند (ون هیس و همکاران، ۲۰۰۲؛ فوجی و همکاران، ۲۰۱۰).

تیمارهای بعدی حتی نتایج بهتری را نیز باعث شده‌اند، در این تیمارها با کاهش بیشتر کود فسفر و افزایش بیشتر اگزالیک اسید محتوای کل فسفر گیاه نه تنها نسبت به شاهد تغییری نکرده بلکه افزایش معنی‌داری را نیز نشان می‌دهد که حاکی از اثر مثبت افزایش غلظت اگزالیک اسید بر افزایش قابلیت استفاده فسفر در خاک و به دنبال آن جذب توسط گیاه است. اشتورم و همکاران (۲۰۰۵) سه اسید آلی مالیک، سیتریک و اگزالیک را در مقادیر ۲/۵ تا ۲۵۰ میلی‌مول بر هر کیلوگرم خاک اضافه کردند و مشاهده کردند با افزایش غلظت اسید آلی، فسفر بیشتری از خاک استخراج می‌شود.

تیمار آخر نیز نتیجه‌ی جالبی دارد؛ علی‌رغم عدم استفاده از کود فسفر محتوای فسفر گیاه نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار نشان می‌دهد که کاملاً حکایت از اثر مثبت اگزالیک اسید در افزایش قابلیت استفاده فسفر خاک آهکی و به دنبال آن جذب توسط گیاه دارد که در مطالعات مختلف به آن اشاره شده است (خادمی و همکاران، ۲۰۰۹؛ ۲۰۱۰؛ اشتورم و همکاران، ۲۰۰۲؛ فنگ و همکاران؛ ۲۰۰۴). حتی وزن خشک اندام هوایی این تیمار مشابه با تیمارهای دوم و سوم که فسفر کمتری دریافت کرده‌اند می‌باشد که حکایت از اثر مثبت اگزالیک اسید بر افزایش عملکرد ماده‌ی خشک گیاه دارد. بولان و همکاران (۱۹۹۴) نیز افزایش عملکرد ماده‌ی خشک چاودار را در حضور اگزالیک اسید و سیتریک اسید نشان دادند.

## ۵- نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست‌آمده در این مطالعه حاکی از آن است که با کاهش کاربرد کود فسفر مصرف‌شده در خاک توأم با افزایش اگزالیک اسید علاوه بر این که کاهش عملکرد در گیاه مشاهده نخواهد شد بلکه حتی می‌توان به افزایش بهره‌وری فسفر از خاک توسط گیاه نیز کمک کرد ولی برای دستیابی به ترکیب ایده‌آل فسفر و اگزالیک اسید برای رسیدن به بالاترین بهره‌وری و البته صرف کمترین هزینه بررسی بیشتر در این زمینه پیشنهاد می‌گردد. البته باید گفت هدف از این تحقیق استفاده از اگزالیک اسید خالص در مقادیر زیاد به عنوان کود جایگزین فسفر نیست بلکه هدف از این تحقیق در مرحله اول بررسی علمی امکان استفاده از یک ترکیب آلی برای افزایش بهره‌وری کود فسفر مصرفی در خاک بود.

## ۶- فهرست منابع

1. Alloway, B. J., and Steinnes, E. 1999. Anthropogenic additions of cadmium to soils, in: Cadmium in Soils and Plants, Mc Laughlin, M. J., and Sigh, B. R.(eds), Kluwer Academic, Dordrecht, The Netherlands.
2. Bolan, N. S., Naidu, R., Mahimairaja, S., and Baskaran, S. 1994. Influence of low-molecular-weight organic acids on the solubilization of phosphates. *Biology and Fertility of Soils*, 18(4): 311-319.
3. Bremner, J. M. 1996. Nitrogen\_Total, in: *Methods of Soil Analysis*, part 3, Sparks, D. L.(eds), Madison, Wisconsin, USA.
4. Carpenter, S. R., Caraco, N. F., Correll, D. L., Howarth, R. W., Sharpley, A. N. and Smith, V. H. 1998. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications*, 8: 559-568.
5. Chapman, H.D., and Pratt, P.F. 1961. *Methods of Analysis for Soils, Plants and Waters*. USDA. Washington D C.
6. Das, K., Dang, R., Shivananda, T. N., and Sur, P. 2005. Interaction effect between phosphorus and zinc on their availability in soil in relation to their contents in stevia (*Stevia rebaudiana*). *The Scientific World Journal*, 5: 490-495.
7. Dinkelaker, B., Romheld, V., and Marschner, H. 1989. Citric acid excretion and precipitation of calcium citrate in the rhizosphere of white lupin (*Lupinus albus* L.). *Plant, Cell and Environment*, 12(3): 285-292.
8. Feng, K., Lu, H. M., Sheng, H. J., Wang, X. L., and Mao, J. 2004. Effect of organic ligands on biological availability of inorganic phosphorus in soils. *Pedosphere*, 14(1): 85-92.

9. Fujii, K., Hayakawa, C., Van Hees, P. A. W., Funakawa, S., and Kosaki, T. 2010. Biodegradation of low molecular weight organic compounds and their contribution to heterotrophic soil respiration in three Japanese forest soils. *Plant and Soil*, 334(1-2): 475-489.
10. Gee, G. H., and Bauder, J. W. 1986. Particle size analysis, in: *Methods of Soil Analysis: Physical Properties*, Klute, A.(ed), Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
11. Grant, C., Flaten, D., Tenuta, M., Gao, X., Mahli, S., and Gowalko, E. 2010. Impact of long-term application of phosphate fertilizer on cadmium accumulation in crops. 19<sup>th</sup> World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, 1-6 August, Brisbane, Australia.
12. Guzman, E. T. R., Rios, M. S., Garcia, J. L. I., and Regil, E.O. 1995. Uranium in phosphate rock and derivatives. *Journal of Radioanalytical and Nuclear chemistry*, 189(2): 301-306.
13. Johnson, J. F., Allan, D. L., Vance, C. P., and Weiblen, G. 1996. Root carbon dioxide fixation by phosphorus-deficient *Lupinus albus*: contribution to organic acid exudation by proteoid root. *Plant Physiology*, 112(1): 19-30.
14. Jones, D. L. 1998. Organic acids in the rhizosphere – a critical review. *Plant and Soil*, 205(1): 25-44.
15. Khademi, Z., Jones, D. L., Malakouti, M. J., and Asadi, F., and Ardebili, M. 2009. Organic acid mediated nutrient extraction efficiency in three calcareous soils. *Soil Research*, 47(2): 213-220.
16. Khademi, Z., Jones, D. L., Malakouti, M. J., and Asadi, F. 2010. Organic acids differ in enhancing phosphorus uptake by *Triticum aestivum* L. effects of rhizosphere concentration and counterion. *Plant and Soil*, 334(1-2): 151-159.
17. Lipton, D. S., Blanchar, R.W., and Blevins, D. G. 1987. Citrate, malate, and succinate concentration in exudates from P- sufficient and P-stressed *Medicago sativa* L. seedlings. *Plant Physiology*, 85(2): 315-317.
18. Murphy and Riley, J. P. 1962. A Modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 27: 31-36.
19. Richards, L. A. 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. USDA. Washington D C.
20. Strom, L., Owen, A. g., Godbold, D. L., and Jones, D. L. 2002. Organic mediated P mobilization in the rhizosphere and uptake by maize roots. *Soil Biology and Biochemistry*, 34(5): 703-710.
21. Strom, L., Owen, A. G., Godbold, D. L., and Jones, D. L. 2005. Organic acid in a calcareous soil implications for rhizosphere nutrient cycling. *Soil Biology and Biochemistry*, 37(11): 2046-2054.
22. Strom, L., Olssen, T., and Tyler, G. 1994. Differences between calcifuges and acidifuge plants in root exudation of low molecular organic acids. *Plant and Soil*, 167(2): 239-245.
23. Tyler, G., and Strom, L. 1995. Differing organic acid exudation pattern explains calcifuge and acidifuge behavior of plants. *Annals of Botany*, 75(1): 75-78.
24. Van Hess, P. A. W., Jones, D. L., and Godbold, D. L. 2002. Biodegradation of low molecular weight organic acids in coniferous forest podzolic soils. *Soils Biology and Biochemistry*, 34(9): 1261-1272.
25. Veneklaas, E. J. Stevens, J., Cawthray, G. R., Turner, S., Grigg, A. M., and Lambers, H. 2003. Chickpea and white lupin rhizosphere carboxylates vary with soil properties and enhance phosphorus uptake. *Plant and Soil*, 248(1): 187-197.
26. Walkley, A., and Black, I. A. 1934. An examination of Degtjareff method for determination soil organic matter and a proposed modification of the chromic and titration method. *Soil Science*, 37(1): 29-38.