



دانشگاه گوارن و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک  
جلد بیست و چهارم، شماره پنجم، ۱۳۹۶  
<http://jwsc.gau.ac.ir>

## کاربرد اسیدهای آلی و معدنی بر آزادسازی عناصر غذایی در خاک‌های آهکی

مریم اعتمادیان<sup>۱</sup>، \* اکبر حسنی<sup>۲</sup>، مهدی نورزاده حداد<sup>۳</sup> و مهرداد حنیفه‌ئی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه زنجان، استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه زنجان،  
<sup>۲</sup> استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه پیام‌نور، <sup>۳</sup> دانش‌آموخته دکتری گروه اصلاح نباتات، دانشگاه تربیت مدرس  
تاریخ دریافت: ۹۵/۱۰/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۹

### چکیده

**سابقه و هدف:** تأثیر کاربرد اسیدهای آلی و معدنی در خاک‌های آهکی ایران به‌طور کامل بررسی نشده است. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر کاربرد اسیدهای آلی استیک، سیتریک و اگزالیک اسید و اسیدهای معدنی سولفوریک و فسفریک بر مقدار pH و EC خاک و همچنین رهاسازی عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان در محلول خاک می‌باشد.

**مواد و روش‌ها:** برای بررسی رهاسازی عناصر غذایی توسط اسیدهای آلی و معدنی از دو نمونه خاک آهکی با بافت لومی استفاده شد. عصاره‌گیری از خاک‌ها با محلول‌های اسیدهای سیتریک، اگزالیک، استیک، سولفوریک و فسفریک با غلظت‌های ۱، ۵ و ۱۰ میلی‌مولار (۲۵ میلی‌لیتر محلول و ۱۰ گرم خاک) و آب مقطر به‌عنوان شاهد به مدت یک ساعت انجام شد. مقدار pH و قابلیت هدایت الکتریکی محلول‌ها بلافاصله پس از عصاره‌گیری اندازه‌گیری شد. غلظت نترات، آمونیوم، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، روی، مس و منگنز در عصاره اندازه‌گیری شد.

**یافته‌ها:** به‌طورکلی با کاربرد اسیدها مقدار pH محلول خاک پس از گذشت یک ساعت بین ۰/۰۳ تا ۱/۶۶ واحد کاهش نشان داد. تیمار اسیدفسفریک با غلظت ۱۰ میلی‌مولار در هر دو نمونه خاک بیش‌ترین کاهش pH را نشان داد. تیمارهای مختلف اسیدهای آلی و معدنی بر مقدار فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، نترات، آمونیوم و عناصر کم‌مصرف استخراج‌شده از خاک‌ها تأثیر مثبت معنی‌دار داشت. بیش‌ترین غلظت فسفر (به‌جز عصاره‌گیر اسیدفسفریک)، کلسیم، منیزیم و آمونیوم استخراج‌شده به ترتیب با مقادیر ۴/۲۳، ۲۷۹۷، ۱۰۷۸ و ۶۷/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک و همچنین بیش‌ترین روی و مس استخراج‌شده با مقادیر ۶۱ و ۷۴ میکروگرم بر کیلوگرم خاک در تیمار اسیداستیک ۱۰ میلی‌مولار در خاک ۲ دیده شد. بیش‌ترین مقدار پتاسیم و نترات آزاد شده به ترتیب با مقادیر ۶۷۳، ۲۴۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک از تیمار ۱۰ میلی‌مولار اسیدفسفریک در خاک ۲ به‌دست آمد. بیش‌ترین مقدار آهن و منگنز استخراج‌شده نیز به ترتیب با مقادیر ۵۴۲۰ و ۱۰۳۲۰ میکروگرم بر کیلوگرم خاک در تیمار اسیدسیتریک ۱۰ میلی‌مولار در خاک ۲ دیده شد.

**نتیجه‌گیری:** نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که کاربرد اسیدهای آلی و معدنی در خاک بسته به نوع اسید باعث رهاسازی برخی عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان در زمان کوتاهی (یک ساعت) در محلول خاک می‌شود. همچنین از بین اسیدهای به‌کار رفته اسیدفسفریک بیش‌ترین تأثیر را در کاهش مقدار پی‌اچ خاک داشت.

**واژه‌های کلیدی:** اسیداستیک، اسید اگزالیک، اسید سولفوریک، اسید سیتریک، اسید فسفریک

\* مسئول مکاتبه: [akbar.hassani@znu.ir](mailto:akbar.hassani@znu.ir)

### مقدمه

سطح عمده‌ای از خاک‌های زراعی ایران را خاک‌های آهکی تشکیل می‌دهد. خاک‌های آهکی اغلب محتوی بیش از ۱۵ درصد کربنات کلسیم آزاد در خاک‌ریز می‌باشند (۱۱). به‌طور کلی بهره‌وری از خاک‌های آهکی در صورت وجود آب با کیفیت مناسب و همچنین مدیریت تغذیه‌ای صحیح، نسبتاً بالا می‌باشد. از دیدگاه مدیریتی، تولید محصول در خاک‌های آهکی با مشکلات ویژه‌ای همراه است که بخش عمده‌ای از این مشکلات به غلظت بالای یون بی‌کربنات و بالا بودن pH خاک مربوط می‌گردد (۱۱). به‌دلیل وابستگی قابلیت جذب فسفر و برخی عناصر غذایی کم‌مصرف به pH، معمولاً در چنین خاک‌هایی این عناصر تثبیت شده و از دسترس گیاه خارج می‌شوند (۲۲). کشاورزان برای تامین این عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان، با توجه به شدت کمبود و همچنین مقدار نیاز گیاهان از انواع مختلف کودهای شیمیایی استفاده می‌کنند. کودهای شیمیایی اگرچه در کوتاه‌مدت نیاز گیاهان را تأمین می‌کنند ولی مصرف بیش از اندازه آن‌ها علاوه بر بالا بردن هزینه تولید، تأثیرات آنتاگونیسمی بر یکدیگر داشته و از جذب آن‌ها توسط ریشه گیاهان جلوگیری می‌کنند. به‌عنوان مثال مصرف بیش از حد کود فسفوری در جذب عناصر کم‌مصرف مانند آهن و روی مشکلاتی ایجاد می‌کند. کشاورزان ناچار به افزایش کاربرد کود آهن و روی می‌شوند که کاربرد این دو ممکن است در جذب کاتیون‌های مشابه مانند مس و منگنز اختلال ایجاد نماید و این چرخه مصرف به‌تدریج منجر به تجمع کودها در خاک و افزایش هزینه تولید شود.

امروزه کشاورزان در کشت‌های گلخانه‌ای مقادیر زیادی کود شیمیایی مانند کود فسفوری و پتاسیمی استفاده می‌کنند. بخش قابل‌توجهی از فسفر و پتاسیم در خاک غیرمتحرک شده و این موضوع باعث تجمع

آن‌ها در خاک می‌شود بدون این‌که نقش تغذیه‌ای ایفا کنند. حتی دیده می‌شود که در آزمایش خاک گلخانه‌داران، فسفر و پتاسیم عصاره‌گیری شده با بیکربنات سدیم و استات آمونیوم که به‌طور معمول تحت عنوان فسفر و پتاسیم قابل‌جذب شناخته می‌شوند بالا است اما کشاورزان هم‌چنان در ابتدای هر کشت مقدار زیادی کودهای پتاسیمی و فسفوری استفاده می‌کنند و تأثیر آن را نیز مثبت ارزیابی می‌نمایند. شاید دلیل این موضوع غیرقابل استفاده بودن فسفر و پتاسیم موجود در عصاره‌گیرهای ذکر شده برای گیاهان باشد. در این میان ایجاد راه‌کاری که بتواند از پتانسیل خاک برای تغذیه بهتر گیاهان استفاده کند ضروری به‌نظر می‌رسد. استفاده از اسیدهای آلی و معدنی با توجه به تأثیر آن‌ها بر مقدار pH خاک و کمک به انحلال عناصر غذایی و قابل‌جذب نمودن آن‌ها می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد.

اسیدهای آلی ترکیباتی هیدروکربنی با جرم مولکولی پایین می‌باشند که معمولاً دارای یک یا چند گروه کربوکسیل می‌باشند. اسیدهای آلی با توجه به درصد تفکیک یونی و تعداد گروه‌های کربوکسیلیک، بار منفی پیدا می‌کنند و بنابراین قادرند کاتیون‌های فلزی موجود در محلول را کمپلکس کنند و با آنیون‌ها در سطوح کانی‌های خاک تبادل شوند (۲۸). به همین دلیل آن‌ها در بسیاری از فرایندهای خاک مانند تحرک و جذب عناصر غذایی توسط ریشه گیاهان و ریزجانداران، خثی کردن فلزات سمی (مانند آلومینیوم) توسط گیاهان، رشد ریزجانداران در ریزوسفر (۳۶) و حل شدن کانی‌های خاک مورد بررسی قرار می‌گیرند (۲۲). در حقیقت ترشح اسیدهای آلی توسط ریشه گیاهان یکی از راه‌کارهای گیاهان و ریزجانداران در تنش‌هایی مانند کمبود عناصر غذایی (۱۹) و سمیت فلزات می‌باشد.

برطرف شده بود. اختر و همکاران (۲۰۱۶) نیز با مقایسه کاربرد سه منبع کود فسفوری دی‌آمونیم فسفات، سوپرفسفات‌تریپل و اسیدفسفریک در مزرعه گندم گزارش نمودند که بیش‌ترین عملکرد در مورد اسیدفسفریک به‌دست آمد (۲). همچنین محمودآبادی و همکاران (۲۰۱۳) گزارش نمودند که مصرف اسیدسولفوریک در خاک‌های آهکی و سدیمی منجر به افزایش پتاسیم، کلسیم و منیزیم محلول در خاک می‌شود (۲۱). صدیق و همکاران (۲۰۰۷) نیز گزارش نمودند کاربرد اسیدسولفوریک منجر به افزایش محصول و همچنین اصلاح سریع‌تر خاک‌های شور و سدیمی می‌شود (۳۵).

کاربرد اسیدهای آلی ارزان‌قیمت مانند اسیدسیتریک و اسیداستیک در کنار اسیدهای معدنی هم‌چون اسیدسولفوریک و اسیدفسفریک در کشاورزی علی‌رغم پیامدهای مثبت آن در خاک‌های آهکی و همچنین قیمت مناسب آن‌ها، هنوز در کشور ایران چندان رایج نمی‌باشد. از دیدگاه اقتصادی هزینه کاربرد این اسیدها مانند کودهایی رایجی هم‌چون نترات پتاسیم و سولفات پتاسیم می‌باشد. یکی از دلایل این موضوع عدم پژوهش کافی در زمینه تأثیر اسیدهای آلی و معدنی در خاک‌های آهکی می‌باشد. کاربرد اسیدهای معدنی و آلی با تغییراتی که در شیمی خاک ایجاد می‌کنند، در کوتاه‌مدت باعث رهاسازی عناصر غذایی توسط گیاهان می‌شوند و اگر این عناصر غذایی رهاسازی شده در محلول خاک هم‌زمان با اوج فعالیت ریشه گیاهان برای جذب مواد غذایی باشد، قادر به تامین بخشی از نیاز غذایی گیاهان هستند. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر کوتاه‌مدت اسیدهای آلی استیک، سیتریک و اگزالیک و اسیدهای معدنی سولفوریک و فسفریک بر رهاسازی عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان در خاک‌های آهکی می‌باشد.

با در نظر گرفتن تغذیه گیاهان و ریزجانداران، به‌نظر می‌رسد اسیدهای آلی نقش مهمی در انحلال و آزادسازی عناصر غذایی کم‌محلول در خاک مانند آهن، روی، مس، منگنز و فسفر داشته باشند (۱۰ و ۴۰). همچنین اسیدهای آلی در فرایند تجزیه کانی‌های خاک توسط هیف‌های اکتومایکوریزا نقش مهمی دارند (۴۳). همه این ویژگی‌ها به توانایی این اسیدها در کمپلکس شدن با کاتیون‌های فلزی و همچنین جذب آن‌ها توسط ریزجانداران به‌عنوان منبع ساده کربن می‌باشد (۹).

استفاده از اسیدهای معدنی نیز در خاک‌های آهکی به‌دلیل تأثیر آن‌ها در کاهش مقدار pH محلول خاک رایج می‌باشد (۳، ۲۰ و ۳۴). کاربرد این اسیدها در کنار سایر کودهای شیمیایی باعث افزایش قابلیت جذب برخی عناصر غذایی شده و در نهایت منجر به افزایش عملکرد می‌شود (۲۳ و ۲۴). در پژوهشی هشمی و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که کاربرد اسیدفسفریک در خاک‌های آهکی نسبت به دی‌آمونیم فسفات منبع بهتری از فسفر بوده و محصول بیش‌تری به‌دست می‌دهد. آنان گزارش نمودند که بیش‌ترین کارایی مصرف فسفر در تیمار اسیدفسفریک و کم‌ترین کارایی نیز در تیمار دی‌آمونیم فسفات به‌دست آمد (۱۵). همچنین نعیم و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی اعلام نمودند که جذب سطحی فسفر در خاک از اسیدفسفریک کم‌تر از دی‌آمونیم فسفات می‌باشد. آنان همچنین گزارش نمودند که مقدار اسیدفسفریک مورد نیاز برای رسیدن به غلظت مطلوب فسفر در محلول خاک کم‌تر از دی‌آمونیم فسفات بود (۲۵). در یک نمونه خاک با ۲۰ درصد آهک مقدار دی‌آمونیم فسفات مورد نیاز برای رسیدن به حد مطلوب فسفر در محلول خاک ۱۱۳ کیلوگرم بوده در حالی‌که در همان خاک با ۹۸ کیلوگرم اسیدفسفریک این نیاز

## مواد و روش‌ها

نمونه‌های خاک شامل نمونه خاک یک: خاک دست‌نخوره از محوطه مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان و نمونه خاک دو از یک گلخانه نزدیک به دانشگاه زنجان که به مدت ۲۵ سال تحت کشت صیفی‌جات و مصرف سالیانه کودهای مختلف شیمیایی بود، تهیه شدند. دلیل انتخاب این دو خاک این بود که از نظر مواد مادری و شرایط جغرافیایی یکسان باشند و اما تفاوت آن‌ها در این باشد که در یکی از خاک‌ها تجمع کودهای شیمیایی (به دلیل مصرف طولانی‌مدت) وجود داشته باشد تا تأثیر اسیدها در هر دو نوع خاک مشخص شود. هر دو نمونه خاک از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری تهیه شدند. نمونه‌های خاک پس از کوبیدن با چکش لاستیکی و عبور از الک دو میلی‌متری در ظروف مناسب در آزمایشگاه نگهداری شدند. برخی ویژگی‌های اولیه خاک مانند بافت به روش هیدرومتری، شوری با دستگاه EC متر، پی‌اچ گل اشباع با دستگاه pH متر، آهک به روش واکنش با اسید، کربن آلی به روش والکلی بلک و عناصر غذایی نیز به روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شدند (۳۰). فسفر به روش اولسن، پتاسیم عصاره‌گیری‌شده با استات آمونیوم، نیتروژن به روش کجلدال و عناصر کم‌مصرف آهن، روی، مس و منگنز عصاره‌گیری‌شده با DTPA اندازه‌گیری شدند (۳۰).

برای بررسی رهاسازی عناصر غذایی توسط اسیدهای آلی و معدنی، ۱۰ گرم خاک هوا خشک با ۲۵ میلی‌لیتر محلول اسیدهای سیتریک ( $C_6H_8O_7$ )، اگزالیک ( $C_2H_2O_4$ )، استیک ( $C_2H_4O_2$ )، سولفوریک ( $H_2SO_4$ ) و فسفریک ( $H_3PO_4$ ) با غلظت‌های ۱، ۵ و ۱۰ میلی‌مولار و آب مقطر به‌عنوان شاهد به مدت یک ساعت روی دستگاه شیکر رفت و برگشتی با سرعت ۹۰ دور در دقیقه قرار گرفتند. سوسپانسیون‌های

حاصل را با استفاده از سانتریفیوژ ۴۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه از یکدیگر جدا نموده و از کاغذ صافی عبور داده شدند و عصاره به دست آمده در بطری‌های مخصوص نگهداری شدند. با توجه به یکسان بودن خاک‌ها و غلظت پایین اسیدها و زمان نسبتاً کم، از فعالیت میکروبی احتمالی صرف‌نظر شد. مقدار pH و هدایت الکتریکی محلول‌ها بلافاصله پس از عصاره‌گیری اندازه‌گیری شد. غلظت عناصر غذایی در عصاره به دست آمده نیز به روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شدند. نیترات و آمونیوم به روش رنگ‌سنجی، پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم‌فوتومتر، فسفر به روش رنگ‌سنجی (آبی) و با دستگاه اسپکتروفوتومتر و سایر عناصر با دستگاه جذب اتمی به روش کوره گرافیت اندازه‌گیری شدند (۳۰). آزمایش با ۱۶ تیمار و سه تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون LSD در سطح پنج درصد انجام شد. آنالیز آماری داده‌ها با نرم‌افزار SAS انجام شد.

## نتایج و بحث

برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی دو خاک مورد استفاده در جدول ۱ دیده می‌شود. هر دو خاک آهکی بوده و بافت هر دو یکسان می‌باشد. بر اساس این آزمایش خاک، غلظت عناصر غذایی در خاک ۱ کم‌تر از حد مطلوب و در خاک ۲ خیلی بیشتر از حد مطلوب می‌باشد. اگرچه واژه مطلوب در این‌جا بر اساس عصاره‌گیرهای رایج در آزمایشگاه‌ها بیان شده، خیلی کلی بوده و نوع گیاه، شرایط مزرعه و عوامل مؤثر دیگر نیز در آن دخیل نیست.

نتایج حاصل از کاربرد اسیدهای آلی و معدنی بر مقدار pH و EC بر دو نمونه خاک در جدول ۲ دیده می‌شود. با کاربرد اسیدها مقدار pH محلول خاک پس از گذشت یک ساعت بین ۰/۰۳ تا ۱/۶۶ واحد کاهش

نشان داد. نسبت کاهش pH در هر دو خاک تقریباً یکسان بود. با افزایش غلظت اسیدها مقدار pH کاهش بیش‌تری داشت. تیمار اسیدفسفریک با غلظت ۱۰ میلی‌مولار در هر دو نمونه خاک بیش‌ترین کاهش pH را نشان داد. کم‌ترین کاهش pH نیز متعلق به تیمارهای اسیداستیک و اگزالیک با غلظت ۱ میلی‌مولار بود.

در تطابق با این نتایج در پژوهشی زی-آن و همکاران (۲۰۰۸) گزارش نمودند که مخلوط کردن خاک با اسیدهای آلی باعث کاهش سریع در مقدار pH خاک می‌شود که در آن، مقدار کاهش pH به مقدار pH اولیه خاک و درجه تفکیک یونی اسید بستگی دارد (۴۷). آنان همچنین گزارش کردند که نمک‌های اسیدهای آلی باعث افزایش pH خاک می‌شود. در پژوهشی دیگر گزارش شد که استفاده از اسیدهای آلی استیک، سیتریک، مالیک و بنزوئیک در خاک‌های پادزول باعث کاهش سریع مقدار pH در خاک‌ها می‌شود (۳۲). در تطابق مجدد با این پژوهش، همچنین ریان و همکاران (۱۹۷۴) گزارش نمودند که استفاده از اسیدسولفوریک به مقدار ۵۰ درصد خاصیت بازی قابل تیتراسیون خاک‌های آهکی به سرعت باعث کاهش اسیدیته خاک به مقدار ۳-۴ واحد می‌شود ولی با گذشت یک هفته به حالت اولیه بازمی‌گردد (۳۴).

با توجه به نتایج، به‌نظر می‌رسد رفتار اسیدها در تأثیر آن بر pH خاک، پیچیده بوده و متفاوت از آن چیزی باشد که به‌طور متعارف انتظار می‌رود. اسیدفسفریک اگرچه در مقایسه با اسیدسولفوریک ضعیف‌تر می‌باشد اما بیش‌تر از آن باعث کاهش مقدار pH خاک شده است. واژه ضعیف و قوی در این مورد بیش‌تر به تفکیک پروتون این اسیدها در آب مرتبط می‌شود ولی به‌نظر می‌رسد رفتار اسیدها در

خاک متفاوت باشد. تعداد پروتون قابل تفکیک اسیدسیتریک با اسید فسفریک برابر است و هر دو اسید نیز در دسته اسیدهای ضعیف قرار دارند اما تأثیر اسیدفسفریک در کاهش مقدار pH خاک بیش‌تر است. از طرفی دیگر اسیدسولفوریک با داشتن تعداد پروتون قابل یونیزه‌شدن کم‌تر نسبت به اسیدسیتریک، قادر به کاهش pH بیش‌تری بود. به‌نظر می‌رسد نوع رفتار آنیون همراه این اسیدها در خاک در این مورد تأثیرگذار باشد. آنیون فسفات به‌شدت توسط سطوح باردار خاک جذب می‌شود (۴) و این موضوع به جداشدن پروتون اسید فسفریک کمک می‌کند و پروتون‌های آزاد شده باعث کاهش pH خاک می‌شوند. به‌نظر می‌رسد هرچه‌قدر آنیون‌های همراه با اسید، میل ترکیبی زیادی با اجزای خاک داشته باشند، پروتون‌های آن اسید بیش‌تر تفکیک شده و تأثیر بیش‌تری بر مقدار pH خاک می‌گذارند.

تأثیر نقش آنیون اسیدها توسط پژوهشگران دیگری نیز گزارش شده است (۳۱ و ۴۵). یان و همکاران (۱۹۹۶) گزارش نمودند که اضافه کردن آنیون سترات به خاک باعث افزایش pH خاک می‌شود (۴۵). همچنین روکسانا و همکاران (۲۰۱۴) نسبت‌های مختلف آنیون به اسید را به خاک اضافه نمودند و گزارش کردند که با افزایش نسبت نمک به اسید مقدار pH خاک نیز افزایش می‌یابد (۳۱). اگرچه اضافه نمودن اسید به‌تنهایی در زمان کوتاه باعث کاهش مقدار pH در خاک‌ها شد. به‌طورکلی نتایج نشان می‌دهد که کاربرد اسیدهای آلی و معدنی در خاک‌ها منجر به کاهش سریع در مقدار pH خاک‌ها می‌شود و این کاهش به غلظت اسید، درجه تفکیک یونی اسیدها، آنیون همراه و رفتار بیوشیمیایی آن‌ها در خاک دارد.

بیش‌تری از خاک‌ها استخراج شد. در همه تیمارها، خاک ۲ مقدار فسفر بیش‌تری نسبت به خاک ۱ رهاسازی نمود که با توجه به بالا بودن مقدار اولیه فسفر در خاک ۲ این موضوع منطقی به نظر می‌رسد. بیش‌ترین فسفر استخراج‌شده در تیمارهای غیر از اسیدفسفریک در تیمار اسیداستیک ۱۰ میلی‌مولار دیده شد.

اسیدهای آلی مانند اسیدآگزالیک قادرند فسفر قابل‌جذب خاک‌های آهکی را افزایش دهند (۵ و ۱۳). نتایج حاصل از این پژوهش در تطابق با نتایج برخی پژوهش‌های پیشین می‌باشد. ونگ و همکاران (۲۰۰۸) با تیمار یک نمونه خاک از رده اولتی سول با سه اسید آگزالیک، تارتاریک و سیتریک که به‌طور مداوم کوددهی شده بودند به این نتیجه رسیدند که فسفر قابل‌جذب (روش اولسن) تحت‌تأثیر این تیمارها افزایش می‌یابد (۴۴). در گزارش آنان تأثیر اسیدسیتریک بیش‌تر از بقیه و تأثیر اسیدآگزالیک کم‌تر از سایر تیمارها بود. همچنین در پژوهشی استروم و همکاران (۲۰۰۵) گزارش نمودند که تیمار خاک با محلول‌های اسیدآگزالیک و اسیدسیتریک با pHهای کم‌تر از ۳/۵ منجر به رهاسازی فسفر از خاک آهکی شد و در آن اسیدسیتریک نسبت به اسیدآگزالیک فسفر بیش‌تری آزاد نمود (۴۱). در پژوهشی دیگر پالومو و همکاران (۲۰۰۶) مشخص کردند که اضافه نمودن اسیدسیتریک و نمک پتاسیمی آن باعث افزایش غلظت فسفر محلول خاک در مقایسه با تیمار کنترل (آب دیونیزه) می‌شود (۲۹). تأثیر اسیدسیتریک نسبت به نمک آن در دقایق ابتدایی بیش‌تر بود اما پس از گذشت ۲۴ ساعت تأثیر نمک سترات در رهاسازی فسفر بسیار بیش‌تر (۱۰ برابر) از اسیدسیتریک بود.

کاربرد اسیدهای آلی باعث افزایش مقدار EC خاک‌ها شد. با افزایش غلظت اسیدها، مقدار EC نیز افزایش بیش‌تری داشت. بیش‌ترین EC در تیمار اسیدسولفوریک ۱۰ میلی‌مولار و کم‌ترین مقدار EC نیز بعد از تیمار شاهد در تیمارهای اسید آگزالیک و استیک ۱ میلی‌مولار دیده شد. اسید فسفریک با وجود این‌که بیش‌ترین کاهش pH را در خاک‌ها داشت اما نسبت به اسیدهایی مانند سیتریک اسید و سولفوریک اسید کم‌ترین افزایش EC را داشت. نسبت افزایش هدایت الکتریکی در هر دو خاک تقریباً یکسان بود. به‌نظر می‌رسد نوع تحرک یون همراه نیز در این مؤثر باشد. فسفات و سترات پس از جدا شدن از پروتون با اجزای خاک وارد واکنش‌های رسوبی و جذب سطحی می‌شوند که این موضوع برای سولفات و استات کم‌تر رخ می‌دهد (۱۶). در تطابق با این پژوهش، کریمی و همکاران (۲۰۰۲) افزایش شوری خاک ناشی از کاربرد اسیدسولفوریک را در پژوهشی با کاربرد ۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ گرم اسید در کیلوگرم خاک بررسی کردند و گزارش نمودند که با کاربرد اسید سولفوریک مقدار pH خاک کاهش و مقدار EC خاک افزایش یافت (۱۷).

نتایج به‌دست آمده از کاربرد اسیدهای آلی و معدنی در نمونه‌های خاک نشان داد که اثر تیمارهای مختلف اسیدهای آلی و معدنی بر مقدار فسفر و پتاسیم استخراج شده از خاک‌ها معنی‌دار می‌باشد (جدول ۳). بیش‌ترین مقدار فسفر آزادشده در تیمارهای اسیدفسفریک دیده شد که ناشی از فسفر اضافه شده به خاک بود و پس از آن بیش‌ترین غلظت فسفر در تیمارهای ۵ و ۱۰ میلی‌مولار اسیداستیک دیده شد. با افزایش غلظت اسیدها، مقدار فسفر

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی دو خاک مورد استفاده در این پژوهش.

Table 1. Some physical and chemical properties of the two soil samples used in this study.

منگنز Mn	مس Cu عصاره‌گیری با DTPA	روی Zn	آهن Fe	پتاسیم K عصاره‌گیری استات آمونیوم	فسفر P اولسن	کربن آلی OC	EC هدایت الکتریکی	pH بی‌اج	کربنات کلسیم معادل CaCO <sub>3</sub>	بافت texture	
	mg kg <sup>-1</sup>			mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	%	dS m <sup>-1</sup>		g kg <sup>-1</sup>		
7.33	1.27	0.83	4.78	187	10.2	0.43	0.86	7.49	172.5	لوم loam	خاک ۱ soil 1
21.67	3.46	5.34	26.1	966	94.3	0.52	1.67	7.54	174.6	لوم loam	خاک ۲ soil 2

جدول ۲- پیامد تیمارهای اسید بر مقدار pH و EC در دو خاک آهکی.

Table 2. Effect of acid treatments on the pH and EC of two calcareous soils.

هدایت الکتریکی (μS.cm <sup>-1</sup> ) EC		بی‌اج pH		غلظت اسید (mM) acid concentration	اسید Acid
خاک ۲ Soil 2	خاک ۱ Soil 1	خاک ۲ Soil 2	خاک ۱ Soil 1		
1190 <sup>ij</sup>	586 <sup>fg</sup>	7.75 <sup>ab</sup>	7.65 <sup>b</sup>	1	
2130 <sup>d</sup>	1054 <sup>cd</sup>	7.16 <sup>c</sup>	7.07 <sup>d</sup>	5	سیتریک citric
2894 <sup>c</sup>	1438 <sup>b</sup>	6.91 <sup>d</sup>	6.82 <sup>e</sup>	10	
1130 <sup>j</sup>	537 <sup>g</sup>	7.81 <sup>a</sup>	7.7 <sup>a</sup>	1	
2221 <sup>d</sup>	1101 <sup>c</sup>	7.37 <sup>bc</sup>	7.28 <sup>c</sup>	5	استیک acetic
2945 <sup>c</sup>	1435 <sup>b</sup>	7.18 <sup>c</sup>	7.09 <sup>d</sup>	10	
1034 <sup>j</sup>	487 <sup>g</sup>	7.80 <sup>a</sup>	7.75 <sup>ab</sup>	1	
1436 <sup>h</sup>	665 <sup>f</sup>	7.42 <sup>b</sup>	7.33 <sup>c</sup>	5	اگزالیک oxalic
1693 <sup>f</sup>	823 <sup>e</sup>	7.19 <sup>c</sup>	7.10 <sup>cd</sup>	10	
1571 <sup>g</sup>	756 <sup>ef</sup>	7.68 <sup>ab</sup>	7.58 <sup>b</sup>	1	
3456 <sup>b</sup>	1504 <sup>b</sup>	6.95 <sup>d</sup>	6.86 <sup>e</sup>	5	سولفوریک sulfuric
4114 <sup>a</sup>	2080 <sup>a</sup>	6.63 <sup>e</sup>	6.54 <sup>f</sup>	10	
1254 <sup>i</sup>	601 <sup>fg</sup>	7.56 <sup>b</sup>	7.47 <sup>bc</sup>	1	
1591 <sup>g</sup>	775 <sup>e</sup>	6.70 <sup>e</sup>	6.61 <sup>f</sup>	5	فسفریک phosphoric
1989 <sup>e</sup>	981 <sup>d</sup>	6.33 <sup>f</sup>	6.25 <sup>g</sup>	10	
857 <sup>k</sup>	420 <sup>g</sup>	7.84 <sup>a</sup>	7.91 <sup>a</sup>	0	شاهد control

حروف متفاوت در هر ستون از نظر آماری در سطح پنج درصد با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارند.

Means with different letters within the same column are significantly different (LSD, P≤0.05).

و همکاران (۱۹۹۲) گزارش نمودند که تیمار خاک با اسیدسیتریک در غلظت ۰/۵ میلی‌مولار به مدت ۳۲۰۰ ساعت منجر به انحلال پلی‌سیلیکات‌های تری‌اکتاهدرال و همچنین تبدیل میکاهای دی‌اکتاهدرال به ورمی‌کولیت می‌شود (۳۸). چترجی و همکاران (۲۰۱۵) نیز آزادسازی پتاسیم از خاک‌های آلفی‌سول، ورتی‌سول و اینسپتی‌سول را تحت تیمار اسیدسیتریک با غلظت ۴۰ میلی‌گرم در لیتر گزارش نمودند (۶). اگرچه الرحمان و همکاران (۲۰۱۲) گزارش دادند که با کاربرد ماده اصلاحی اسیدسیتریک در یک خاک شور تحت کشت گندم بعد از گذشت یک فصل زراعی، مقدار پتاسیم محلول خاک تغییر چندانی نداشته است (۱۰). این پژوهشگران بیان نمودند که اسیدسیتریک در طولانی‌مدت در خاک معدنی شده و تأثیر آن در این مدت دیده نمی‌شود. همچنین شو-زین و همکاران (۲۰۰۷) گزارش نمودند که تیمار خاک آهکی آلئوبیال با اسیدآگزالیک با غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار به مدت ۲۴ ساعت منجر به آزادسازی پتاسیم به مقدار ۶۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک می‌شود که این معادل با آزادسازی پتاسیم با محلول اسیدنیتریک یک مولار بود و این در حالی است که مقدار پتاسیم آزاد شده در این خاک با محلول استات آمونیم یک مولار کم‌تر از ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود (۳۷).

با توجه به نتایج به دست آمده اسیدسیتریک نسبت به اسیدآگزالیک مقدار فسفر بیش‌تری آزاد نمود. اما نظامی و ملکوتی (۲۰۱۶) گزارش نمودند اسیدآگزالیک مقدار فسفر بیش‌تری نسبت به اسیدسیتریک استخراج نمود. در گزارش آنان مقدار فسفر استخراج شده از اسیدسیتریک از تیمار شاهد (آب) نیز کم‌تر بود (۲۶). همچنین اسوریو و میکس (۲۰۱۶) در استخراج فسفر اولسن خاک در تیمار با غلظت‌های کم و زیاد اسیدسیتریک و آگزالیک تفاوت معنی‌داری مشاهده نکردند (۲۷). همچنین در گزارشی گرک و همکاران (۲۰۰۰) تأثیر اسیدسیتریک در رهاسازی فسفر در خاک در غلظت‌های کم‌تر از ۵ میلی‌مولار را ناچیز اعلام نمودند (۱۴). در مجموع به نظر می‌رسد اسیدهای آلی و معدنی با کاهش مقدار pH در خاک‌های آهکی به انحلال فسفر در خاک کمک می‌کنند اگرچه این موضوع احتمالاً در خاک ۲ که مقدار فسفر قابل‌جذب آن خیلی بالا می‌باشد چندان مدنظر نباشد ولی در خاک ۱ می‌تواند کمک کند.

نتایج اضافه نمودن اسیدهای آلی به خاک‌ها همچنین نشان داد که اسیدهای آلی و معدنی قادر به رهاسازی مقدار قابل‌توجهی پتاسیم در خاک می‌باشند که تأثیر اسیدفسفریک در این مورد بیش‌تر از سایر اسیدها می‌باشد (جدول ۳). سانگ و هووانگ (۱۹۸۸) نیز گزارش نمودند که تیمار کانی‌های دارای پتاسیم با اسیدسیتریک در غلظت ۱۰ میلی‌مولار به مدت یک ساعت، باعث استخراج پتاسیم از این کانی‌ها می‌شود (۳۹). همچنین سیمارد



جدول ۳- پیامد تیمارهای اسیدی بر رهاسازی فسفر و پتاسیم از دو خاک آهکی.

Table 3. Effect of acid treatment on the release of P and K from two calcareous soils.

پتاسیم (mg.kg <sup>-1</sup> ) K		فسفر (mg.kg <sup>-1</sup> ) P		غلظت اسید (mM) acid concentration	اسید Acid
خاک ۲ soil 2	خاک ۱ soil 1	خاک ۲ soil 2	خاک ۱ soil 1		
112.4 <sup>g</sup>	2.81 <sup>hi</sup>	0.56 <sup>i</sup>	0.25 <sup>g</sup>	1	
171.2 <sup>f</sup>	6.69 <sup>d</sup>	2.42 <sup>e</sup>	1.21 <sup>e</sup>	5	سیتریک citric
179.6 <sup>f</sup>	6.56 <sup>d</sup>	2.54 <sup>e</sup>	1.32 <sup>e</sup>	10	
271.2 <sup>e</sup>	5.53 <sup>e</sup>	2.17 <sup>f</sup>	1.21 <sup>e</sup>	1	
332.3 <sup>cd</sup>	8.89 <sup>b</sup>	4.11 <sup>d</sup>	2.18 <sup>d</sup>	5	استیک acetic
363.3 <sup>c</sup>	9.68 <sup>a</sup>	4.23 <sup>d</sup>	2.11 <sup>d</sup>	10	
107.1 <sup>g</sup>	2.34 <sup>i</sup>	0.63 <sup>i</sup>	0.28 <sup>g</sup>	1	
167.2 <sup>f</sup>	6.45 <sup>d</sup>	1.21 <sup>g</sup>	0.67 <sup>f</sup>	5	اگرالیک oxalic
183.2 <sup>f</sup>	6.72 <sup>d</sup>	1.10 <sup>gh</sup>	0.73 <sup>f</sup>	10	
174.2 <sup>f</sup>	2.85 <sup>h</sup>	0.27 <sup>j</sup>	0.21 <sup>g</sup>	1	
262.7 <sup>e</sup>	3.21 <sup>g</sup>	0.97 <sup>h</sup>	0.82 <sup>f</sup>	5	سولفوریک sulfuric
351.5 <sup>c</sup>	4.42 <sup>f</sup>	1.03 <sup>h</sup>	0.78 <sup>f</sup>	10	
311.2 <sup>d</sup>	4.39 <sup>f</sup>	6.41 <sup>c</sup>	4.92 <sup>c</sup>	1	
434.6 <sup>b</sup>	7.21 <sup>c</sup>	17.58 <sup>b</sup>	11.62 <sup>b</sup>	5	فسفریک phosphoric
673.7 <sup>a</sup>	9.67 <sup>a</sup>	28.22 <sup>a</sup>	19.37 <sup>a</sup>	10	
98.91 <sup>g</sup>	2.72 <sup>hi</sup>	0.33 <sup>j</sup>	0.24 <sup>g</sup>	0	شاهد control

حروف متفاوت در هر ستون از نظر آماری در سطح پنج درصد با یکدیگر اختلاف معنی دار دارند.

Means with different letters within the same column are significantly different (LSD, P≤0.05).

نسبت به اسیدهای معدنی کلسیم بیش‌تری آزاد کردند. این روند در منیزیم نیز تکرار شد. بیش‌ترین رهاسازی منیزیم در تیمارهای اسیداستیک به‌دست آمد. پس از آن اسیدسولفوریک منیزیم بیش‌تری نسبت به سایر تیمارها آزاد کرد.

به‌نظر می‌رسد افزون بر قدرت اسیدی هر یک از اسیدها، انحلال‌پذیری ترکیب‌های کلسیمی و منیزیمی آنیون‌های این اسیدها نیز در این مورد مؤثر باشد. در بین نمک‌های کلسیمی، استات کلسیم بیش‌ترین انحلال‌پذیری و فسفات و اگزالات کلسیم نیز کم‌ترین

نتایج رهاسازی مقدار کلسیم و منیزیم توسط اسیدهای آلی و معدنی در دو خاک مورد آزمایش در جدول ۴ دیده می‌شود. با افزایش غلظت اسیدهای آلی، مقدار کلسیم بیش‌تری از خاک آزاد شد. بیش‌ترین مقدار کلسیم آزادشده در تیمار با اسیداستیک مشاهده شد. خاک ۱ مقدار کلسیم بیش‌تری نسبت به خاک ۲ آزاد کرد. بیش‌ترین مقدار کلسیم آزادشده از تیمار اسیداستیک ۱۰ میلی‌مولار در خاک ۱ به‌دست آمد. کم‌ترین مقدار نیز از تیمار ۱ و ۵ میلی‌مولار اسیدسولفوریک به‌دست آمد. اسیدهای آلی

ناشی از انحلال کربنات‌ها در خاک‌های آهکی دوباره به‌صورت اگزالات کلسیم و یا فسفات کلسیم رسوب می‌کند. این مورد در نتایج استروم و همکاران (۲۰۰۵) نیز گزارش شد که در آن تیمار خاک با محلول‌های اسیدازگزالیک و اسیدسیتریک با pHهای کم‌تر از ۳/۵ منجر به رهاسازی کلسیم و منیزیم از خاک آهکی شد و در آن اسیدسیتریک نسبت به اسید اگزالیکی ۹ برابر کلسیم و ۲ برابر منیزیم بیش‌تری آزاد نمود (۴۱).

انحلال‌پذیری را دارند. در میان نمک‌های منیزی نیز استات منیزیم و سولفات منیزیم بالاترین انحلال‌پذیری و فسفات منیزیم کم‌ترین انحلال‌پذیری در آب را دارند. در تطابق با این نتایج، نظامی و ملکوتی (۲۰۱۶) گزارش نمودند که تأثیر اسیدسیتریک بر رهاسازی فسفر از خاک‌های آهکی بیش از اسیدازگزالیک می‌باشد. با توجه به این‌که آنیون‌هایی مانند اگزالات و فسفات تمایل زیادی برای تشکیل رسوب با کلسیم دارند، در نتیجه مقداری از کلسیم

جدول ۴- پیامد تیمارهای اسیدی بر رهاسازی کلسیم و منیزیم از دو خاک آهکی.

Table 4. Effect of acid treatments on the release of Ca and Mg from two calcareous soils.

منیزیم (mg.kg <sup>-1</sup> )		کلسیم (mg.kg <sup>-1</sup> )		غلظت اسید (mM) acid concentration	اسید Acid
Mg		Ca			
خاک ۲ soil 2	خاک ۱ soil 1	خاک ۲ soil 2	خاک ۱ soil 1		
264 <sup>h</sup>	375 <sup>gh</sup>	452 <sup>g</sup>	619 <sup>f</sup>	1	
432 <sup>e</sup>	542 <sup>e</sup>	721 <sup>d</sup>	895 <sup>d</sup>	5	سیتریک citric
741 <sup>c</sup>	850 <sup>b</sup>	1234 <sup>c</sup>	1433 <sup>c</sup>	10	
395 <sup>ef</sup>	499 <sup>f</sup>	658 <sup>e</sup>	832 <sup>e</sup>	1	
630 <sup>d</sup>	722 <sup>c</sup>	1456 <sup>b</sup>	1733 <sup>b</sup>	5	استیک acetic
1078 <sup>a</sup>	1156 <sup>a</sup>	2797 <sup>a</sup>	2927 <sup>a</sup>	10	
133 <sup>j</sup>	152 <sup>j</sup>	212 <sup>i</sup>	243 <sup>h</sup>	1	
197 <sup>i</sup>	212 <sup>i</sup>	337 <sup>h</sup>	358 <sup>g</sup>	5	اگزالیکی oxalic
341	337 <sup>h</sup>	582 <sup>f</sup>	572 <sup>f</sup>	10	
389 <sup>f</sup>	401 <sup>g</sup>	54 <sup>jk</sup>	75 <sup>i</sup>	1	
612 <sup>d</sup>	679 <sup>d</sup>	88 <sup>j</sup>	111 <sup>i</sup>	5	سولفوریک sulfuric
789 <sup>b</sup>	876 <sup>b</sup>	81 <sup>jk</sup>	108 <sup>i</sup>	10	
12 <sup>k</sup>	15 <sup>k</sup>	21 <sup>k</sup>	25 <sup>j</sup>	1	
11 <sup>k</sup>	17 <sup>k</sup>	17 <sup>k</sup>	29 <sup>j</sup>	5	فسفریک phosphoric
18 <sup>k</sup>	27 <sup>k</sup>	25 <sup>k</sup>	31 <sup>j</sup>	10	
10 <sup>k</sup>	11 <sup>k</sup>	19 <sup>k</sup>	27 <sup>j</sup>	0	شاهد control

حروف متفاوت در هر ستون از نظر آماری در سطح پنج درصد با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارند.

Means with different letters within the same column are significantly different (LSD, P≤0.05).

نتایج رهاسازی مقدار نترات و آمونیوم توسط اسیدهای آلی و معدنی در دو خاک مورد آزمایش در جدول ۵ دیده می‌شود. مقدار رهاسازی آمونیوم در تیمارهای اسیدفسفریک و اسیداستیک بیش‌تر از سایر تیمارها می‌باشد. بیش‌ترین آمونیوم آزاد شده متعلق به تیمار ۱۰ میلی‌مولار اسیدفسفریک و کم‌ترین آن بعد از تیمار شاهد متعلق به تیمار ۱ میلی‌مولار اسیدآگزالیک و سیتریک می‌باشد. درصد آمونیوم آزادشده از خاک ۱ بیش‌تر از خاک ۲ بود. هر دو نمونه خاک تحت‌تأثیر تیمار با اسیدهای آلی و معدنی نترات آزاد نمودند که بیش‌ترین نترات آزادشده از خاک‌ها در تیمار اسیدفسفریک دیده شد. تیمار خاک با سایر اسیدها نیز مقدار قابل‌توجهی نترات آزاد کرد که با افزایش غلظت اسیدها مقدار نترات بیش‌تری آزاد شد.

رهاسازی نیتروژن در خاک با توجه به اهمیت آن در رشد گیاه و افزایش محصول جایگاه ویژه‌ای دارد. به‌طورکلی نتایج این پژوهش نشان داد که تیمار خاک با اسیدهای آلی و معدنی منجر به افزایش نیتروژن قابل‌جذب خاک هم به شکل نترات و هم به شکل آمونیوم می‌شود. در تطابق با این نتایج، فو (۱۹۸۹) تأثیر تیمار خاک با اسیدهای آلی و معدنی را بر مقدار آمونیوم وارد شده به محلول خاک بررسی نمود (۱۲). این پژوهشگر گزارش

نمود که بیش‌ترین غلظت آمونیوم در عصاره خاک‌هایی که به‌مدت ده روز با اسیدهای معدنی فسفریک، سولفوریک، نیتریک و هیدروکلریک با غلظت ۱۰ میلی‌مولار تیمار شده بودند متعلق به اسیدفسفریک (۲۶/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود، اگرچه اختلاف آن‌ها در غلظت ۱ میلی‌مولار از این دو اسید زیاد نبود. پژوهش وی همچنین روی اسیدهای آلی انجام شد و مشخص شد که تأثیر اسیدهای آلی روی معدنی‌شدن نیتروژن با افزایش غلظت آن‌ها کاهش می‌یابد. بیش‌ترین رهاسازی در بین اسیدهای آلی در تیمار یک میلی‌مولار اسید آگزالیک رخ داد. در تناقض با این، روکشانا و همکاران (۲۰۱۴) گزارش نمودند که افزودن اسیدسیتریک و اسیدمالیک به خاک‌های پادزول پس از گذشت ۲ روز باعث کاهش غلظت آمونیوم و نترات در محلول خاک می‌شود. به‌نظر می‌رسد تأثیر تیمار خاک با اسیدهای آلی در خاک‌های آهکی در کوتاه‌مدت (۱ ساعت) به‌علت کاهش مقدار pH محلول خاک و همچنین تبادل یونی با فاز سطحی کلوئیدهای خاک منجر به افزایش غلظت آمونیوم در محلول خاک می‌شود.

جدول ۵- پیامد تیمارهای اسیدی بر رهاسازی نیترات و آمونیوم از دو خاک آهکی.

**Table 5. Effect of acid treatments on the release of  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{NH}_4^+$  from two calcareous soils.**

آمونیموم ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) $\text{NH}_4^+$		نیترات ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) $\text{NO}_3^-$		غلظت اسید (mM) acid concentration	اسید Acid
خاک ۲ soil 2	خاک ۱ soil 1	خاک ۲ soil 2	خاک ۱ soil 1		
22.48 <sup>gh</sup>	1.96 <sup>e</sup>	39.3 <sup>j</sup>	17.2 <sup>h</sup>	1	
34.24 <sup>e</sup>	4.57 <sup>b</sup>	112 <sup>f</sup>	41.2 <sup>f</sup>	5	سیتریک citric
35.12 <sup>d</sup>	4.59 <sup>b</sup>	153 <sup>d</sup>	66.1 <sup>e</sup>	10	
54.25 <sup>b</sup>	3.78 <sup>c</sup>	94.6 <sup>g</sup>	34.2 <sup>g</sup>	1	
66.72 <sup>a</sup>	6.22 <sup>a</sup>	182 <sup>c</sup>	68.3 <sup>e</sup>	5	استیک acetic
67.21 <sup>a</sup>	6.46 <sup>a</sup>	205 <sup>b</sup>	78.3 <sup>d</sup>	10	
21.42 <sup>gh</sup>	1.63 <sup>f</sup>	43.2 <sup>j</sup>	16.1 <sup>h</sup>	1	
30.45 <sup>f</sup>	4.89 <sup>b</sup>	49.9 <sup>i</sup>	36.1 <sup>g</sup>	5	اگزالیک oxalic
38.34 <sup>c</sup>	4.71 <sup>b</sup>	76.6 <sup>h</sup>	42.3 <sup>f</sup>	10	
34.84 <sup>e</sup>	1.95 <sup>ef</sup>	43.5 <sup>j</sup>	43.7 <sup>f</sup>	1	
52.12 <sup>b</sup>	2.25 <sup>e</sup>	110 <sup>f</sup>	76.4 <sup>d</sup>	5	سولفوریک sulfuric
67.58 <sup>a</sup>	3.89 <sup>c</sup>	132 <sup>e</sup>	107 <sup>c</sup>	10	
20.42 <sup>h</sup>	1.12 <sup>g</sup>	113 <sup>f</sup>	79.3 <sup>d</sup>	1	
23.47 <sup>g</sup>	2.87 <sup>d</sup>	207 <sup>b</sup>	133 <sup>b</sup>	5	فسفریک phosphoric
22.11 <sup>gh</sup>	2.93 <sup>d</sup>	247 <sup>a</sup>	203 <sup>a</sup>	10	
18.21 <sup>h</sup>	1.19 <sup>fg</sup>	24.2 <sup>k</sup>	15.3 <sup>h</sup>	0	شاهد control

حروف متفاوت در هر ستون از نظر آماری در سطح پنج درصد با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارند.

Means with different letters within the same column are significantly different (LSD,  $P \leq 0.05$ ).

تیمار شاهد نداشت. این روند در خاک ۲ نیز تکرار شد. مقدار آهن آزاد شده در خاک ۲ بیش‌تر از خاک ۱ بود. همچنین بر اساس نتایج به‌دست آمده تیمار خاک با اسیدهای آلی منجر به رهاسازی روی از هر دو خاک شد که بیش‌ترین مقدار روی آزاد شده در هر دو خاک از تیمار اسیداستیک ۱۰ میلی‌مولار به‌دست آمد. مقدار روی آزاد شده از تیمارهای شاهد، اسیدسولفوریک و اسیدفسفریک قابل تشخیص توسط دستگاه نبود.

نتایج رهاسازی مقدار آهن، روی، مس و منگنز توسط اسیدهای آلی و معدنی در دو خاک مورد آزمایش در جدول‌های ۶ و ۷ دیده می‌شود. در خاک یک بیش‌ترین آهن استخراج شده از تیمار اسیدسیتریک ۱۰ میلی‌مولار حاصل شد. تیمارهای اسیدسیتریک ۵ میلی‌مولار و اسید اگزالیک ۵ و ۱۰ میلی‌مولار نیز مقدار قابل توجهی آهن آزاد نمودند. مقدار آهن آزاد شده توسط غلظت‌های مختلف اسیدسولفوریک و اسیدفسفریک اختلاف معنی‌دار با

و روی بیش‌تری نسبت به محلول اسیدازلیک با pH طبیعی (کم‌تر از ۳/۵) آزاد می‌کند و این نشان می‌دهد اگر بحث کاهش مقدار pH خاک توسط اسیدهای آلی در نظر گرفته نشود، این اسیدها هم‌چنان قادر به آزادسازی عناصر فلزی کم‌مصرف هستند. اگرچه این موضوع در مورد عنصر روی صادق نبود و اسیدازلیک با pH طبیعی مقدار روی بیش‌تری آزاد نمود.

با افزایش غلظت اسیدها، مقدار عناصر کم‌مصرف بیش‌تری از خاک آزاد شد که در تطابق با نتایج این پژوهش یانگ‌لیانگ و همکاران (۲۰۰۲) نیز گزارش دادند که غلظت همه عناصر آهن، روی، مس و منگنز در محلول خاک با افزایش غلظت اسیدسیتریک افزایش می‌یابد (۴۶). همچنین طاق‌دیس و همکاران (۲۰۱۶) نیز آزادسازی روی از خاک‌های آهکی تحت تیمار با اسیدسیتریک و اسیدازلیک را گزارش نمودند (۴۲). اگرچه ریان و همکاران (۱۹۷۴) مشخص کردند که کاربرد اسیدسولفوریک به مقدار ظرفیت بازی خاک‌ها، باعث افزایش غلظت منگنز و آهن قابل‌جذب در خاک‌ها می‌شود اما بر مقدار روی قابل‌جذب خاک‌ها تأثیر چندانی نداشت (۳۳). در این مورد نتایج این پژوهش با نتایج خادمی (۲۰۰۶) مطابقت داشت (۱۸). همچنین نظامی و ملکوتی (۲۰۱۶) گزارش نمودند که تیمار اسیدسیتریک با اسیدازلیک در غلظت‌های ۰/۵ تا ۱۰ میلی‌مولار در زمان‌های مختلف بر رهاسازی روی از خاک تأثیر معنی‌دار نداشته است. با توجه به میل پایین روی در ایجاد کمپلکس با ترکیبات آلی نسبت به سایر عناصر (۸) و همچنین پیچیدگی جذب و واجذب آن در خاک‌ها این نتایج منطقی به‌نظر می‌رسد. در گزارشی چیانگ و همکاران (۲۰۰۶) بیان نمودند در صورتی که مقدار اکسیدهای آهن و منگنز خاک بالا باشد،

بر اساس نتایج به‌دست آمده، تیمار خاک یک با اسیدهای آلی فقط در تیمارهای اسیدسیتریک و اسیداستیک ۵ و ۱۰ میلی‌مولار منجر به آزادسازی معنی‌دار مس از خاک شد. بیش‌ترین مس آزادشده نیز از تیمار اسیداستیک ۱۰ میلی‌مولار به‌دست آمد. در خاک دو تیمار با اسیدهای آلی منجر به آزادسازی مس از خاک شد که با تیمار شاهد اختلاف معنی‌دار داشت. مقدار مس آزادشده از خاک دو بیش‌تر از خاک یک بود. همچنین تیمار خاک‌های آهکی با اسیدهای آلی و معدنی به‌طور معنی‌داری منجر به آزادسازی منگنز از خاک شد. اسیدسیتریک در هر دو خاک نسبت به سایر اسیدها به‌طور معنی‌داری مقدار منگنز بیش‌تری آزاد نمود. پس از اسیدسیتریک، اسیدازلیک نیز مقدار قابل‌توجهی منگنز از خاک آزاد نمود. تیمارهای ۵ و ۱۰ میلی‌مولار اسیدسولفوریک و فسفریک نیز نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌دار منگنز آزاد کردند اگرچه در مقایسه با اسیدهای آلی کم‌تر بود.

در مورد عناصر کم‌مصرف هم‌چون آهن، روی، مس و منگنز، به‌طورکلی نتایج به‌دست آمده از این پژوهش مشخص می‌کند که تیمار خاک با اسیدهای آلی در آزادسازی عناصر فلزی کم‌مصرف تأثیر بیش‌تری نسبت به اسیدهای معدنی دارد. این موضوع در خاک ۲ که در آن تجمع عناصر غذایی وجود دارد بیش‌تر دیده می‌شود. اسیدهای معدنی اگرچه در کاهش مقدار pH خاک (که منجر به افزایش انحلال‌پذیری عناصر فلزی کم‌مصرف می‌شود) نقش مؤثرتری داشتند ولی به‌نظر می‌رسد در این مورد قدرت کلات‌کنندگی اسیدهای آلی مؤثرتر باشد. در تطابق با این پژوهش استروم و همکاران (۲۰۰۵) گزارش نمودند که تیمار خاک با محلول اسیدازلیک که pH آن به ۷/۵ رسانده شده بود، مقدار آهن، منگنز

نتایج به‌دست آمده نشان داد که اسیدهای آلی قادر به آزادسازی روی از خاک می‌باشند و اگرچه مقدار آن کم است ولی با تیمار شاهد اختلاف معنی‌دار دارد. در این مورد تیمار خاک با اسیدهای معدنی تأثیری بر رهاسازی روی از خاک نداشت.

به‌علت جذب روی توسط این ذرات، مانع از رهاسازی آن می‌شوند (۷). در پژوهش ما مقدار روی آزادشده توسط اسیدهای آلی و معدنی با سیستم کوره گرافیت اندازه‌گیری شد که قادر به تشخیص روی تا غلظت‌های کم‌تر از ۵ میکروگرم بر لیتر نیز می‌باشد و

جدول ۶- پیامد تیمارهای اسیدی بر رهاسازی آهن و روی از دو خاک آهکی.

**Table 6. Effect of acid treatments on the release of Fe and Zn from two calcareous soils.**

روی ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ )		آهن ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ )		غلظت اسید (mM) Acid concentration	اسید Acid
Zn		Fe			
خاک ۲ soil 2	خاک ۱ soil 1	خاک ۲ soil 2	خاک ۱ soil 1		
5 <sup>f</sup>	nd	114 <sup>f</sup>	70.1 <sup>e</sup>	1	
19 <sup>d</sup>	12 <sup>c</sup>	1670 <sup>c</sup>	734 <sup>c</sup>	5	سیتریک citric
45 <sup>c</sup>	13 <sup>c</sup>	5420 <sup>a</sup>	1690 <sup>a</sup>	10	
11 <sup>e</sup>	7 <sup>d</sup>	25 <sup>i</sup>	6.5 <sup>h</sup>	1	
52 <sup>b</sup>	23 <sup>a</sup>	121 <sup>f</sup>	47 <sup>g</sup>	5	استیک acetic
61 <sup>a</sup>	25 <sup>a</sup>	237 <sup>e</sup>	76 <sup>e</sup>	10	
6 <sup>f</sup>	nd	97 <sup>g</sup>	58 <sup>f</sup>	1	
17 <sup>d</sup>	7 <sup>d</sup>	689 <sup>d</sup>	476 <sup>d</sup>	5	اگزالیک oxalic
52 <sup>b</sup>	18 <sup>b</sup>	2345 <sup>b</sup>	768 <sup>b</sup>	10	
nd	nd	21 <sup>i</sup>	6 <sup>h</sup>	1	
nd	nd	23 <sup>i</sup>	5 <sup>h</sup>	5	سولفوریک sulfuric
6 <sup>f</sup>	nd	37 <sup>h</sup>	14 <sup>h</sup>	10	
nd	nd	21 <sup>i</sup>	6 <sup>h</sup>	1	
nd	nd	18 <sup>i</sup>	5 <sup>h</sup>	5	فسفریک phosphoric
nd	nd	22 <sup>i</sup>	7 <sup>h</sup>	10	
nd	nd	20 <sup>i</sup>	5 <sup>h</sup>	0	شاهد control

حروف متفاوت در هر ستون از نظر آماری در سطح پنج درصد با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارند. nd به معنای عدم تشخیص توسط دستگاه می‌باشد.

Means with different letters within the same column are significantly different (LSD,  $P \leq 0.05$ ). nd: not detectable.

جدول ۷- پیامد تیمارهای اسیدی بر رهاسازی مس و منگنز از دو خاک آهکی.

Table 7. Effect of acid treatments on the release of Cu and Mn from two calcareous soils.

منگنز ( $\mu\text{g.kg}^{-1}$ ) Mn		مس ( $\mu\text{g.kg}^{-1}$ ) Cu		غلظت اسید (mM) acid concentration	اسید Acid
خاک ۲ soil 2	خاک ۱ soil 1	خاک ۲ soil 2	خاک ۱ soil 1		
127 <sup>j</sup>	14 <sup>i</sup>	56 <sup>c</sup>	nd	1	
6435 <sup>b</sup>	737 <sup>b</sup>	71 <sup>b</sup>	5 <sup>c</sup>	5	سیتریک citric
10320 <sup>a</sup>	2280 <sup>a</sup>	87 <sup>a</sup>	6 <sup>c</sup>	10	
171 <sup>h</sup>	26 <sup>h</sup>	37 <sup>d</sup>	nd	1	
1395 <sup>f</sup>	83 <sup>f</sup>	57 <sup>c</sup>	11 <sup>b</sup>	5	استیک acetic
2720 <sup>e</sup>	168 <sup>d</sup>	74 <sup>b</sup>	24 <sup>a</sup>	10	
125 <sup>j</sup>	10 <sup>i</sup>	24 <sup>e</sup>	nd	1	
2859 <sup>d</sup>	148 <sup>e</sup>	37 <sup>d</sup>	nd	5	اکزالیک oxalic
5678 <sup>c</sup>	378 <sup>c</sup>	39 <sup>d</sup>	4 <sup>c</sup>	10	
97 <sup>k</sup>	nd	5 <sup>g</sup>	nd	1	
117 <sup>jk</sup>	nd	11 <sup>f</sup>	nd	5	سولفوریک sulfuric
198 <sup>g</sup>	7 <sup>i</sup>	14 <sup>f</sup>	nd	10	
109 <sup>jk</sup>	nd	nd	nd	1	
146 <sup>i</sup>	11 <sup>i</sup>	6 <sup>g</sup>	nd	5	فسفریک phosphoric
188 <sup>gh</sup>	32 <sup>g</sup>	5 <sup>g</sup>	nd	10	
101 <sup>k</sup>	nd	5 <sup>g</sup>	nd	0	شاهد control

حروف متفاوت در هر ستون از نظر آماری در سطح پنج درصد با یکدیگر اختلاف معنی دار دارند. nd به معنای عدم تشخیص توسط دستگاه می باشد.

Means with different letters within the same column are significantly different (LSD,  $P \leq 0.05$ ). nd: not detectable.

باعث افزایش انحلال پذیری عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان شدند. اسیدفسفریک در رهاسازی نیتروژن و پتاسیم خاک مؤثرتر از سایر اسیدها بود. کلسیم و منیزیم نیز بیش تر تحت تأثیر تیمار با اسیداستیک قرار گرفتند. در عناصر کم مصرف تأثیر اسیدهای آلی در افزایش انحلال پذیری بیش تر از اسیدهای معدنی بود.

### نتیجه گیری کلی

به طور کلی نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تیمار خاک با اسیدهای آلی و معدنی در کوتاه مدت باعث کاهش مقدار pH محلول خاک و افزایش مقدار هدایت الکتریکی خاک های آهکی می شود. تیمار خاک با اسیدفسفریک بیش ترین تأثیر را بر کاهش pH خاک داشته و هم زمان شوری خاک را چندان افزایش نداد. همچنین اسیدهای آلی و معدنی در کوتاه مدت

### منابع

1. Adeleke, R., Nwangburuka, C., and Oboirien, B. 2017. Origins, roles and fate of organic acids in soils: A review. *South Afric. J. Bot.* 108: 393-406.
2. Akhtar, M., Yaqub, M., Naeem, A., Ashraf, M., and Hernandez, V.E. 2016. Improving phosphorus uptake and wheat productivity by phosphoric acid application in alkaline calcareous soils. *J. Sci. Food Agric.* 96: 3701-3707.
3. Bertrand, I., McLaughlin, M.J., Holloway, R.E., Armstrong, R.D., and McBeath, T. 2006. Changes in P bioavailability induced by the application of liquid and powder sources of P, N and Zn fertilizers in alkaline soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems.* 74: 1. 27-40.
4. Barrow, N.J. 2017. The effects of pH on phosphate uptake from the soil. *Plant and Soil.* 410: 1-2. 401-410.
5. Chatterjee, D., Datta, S.C., and Manjaiah, K.M. 2016. Citric acid induced potassium and silicon release in alfisols, vertisols and inceptisols of India. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences.* 86: 2. 429-439.
6. Chatterjee, D., Datta, S.C., and Manjaiah, K.M. 2015. Effect of citric acid treatment on release of phosphorus, aluminum and iron from three dissimilar soils of India. *Archives of Agronomy and Soil Science.* 61: 105-117.
7. Chiang, K., Wang, Y., Wang, M., and Chiang, P. 2006. Low molecular weight organic acids and metal speciation in rhizosphere and bulk soils of a temperate rain forest in Chitou, Taiwan. *Taiwan J. For. Sci.* 21: 3. 327-337.
8. Dessureault-Romppe, J., Nowack, B., Schulin, R., Tercier-Weber, M.L., and Luster, J. 2008. Metal solubility and speciation in the rhizosphere of *Lupinus albus* cluster roots. *Environmental Science and Technology.* 42: 7146-7151.
9. Eilers, K.G., Lauber, C.L., Knight, R., and Fierer, N. 2010. Shifts in bacterial community structure associated with inputs of low molecular weight carbon compounds to soil. *Soil Biology and Biochemistry.* 42: 6. 896-903.
10. Elrahman, S.H.A., Mostafa, M.A.M., Taha, T.A., Elsharawy, M.A.O., and Eid, M.A. 2012. Effect of different amendments on soil chemical characteristics, grain yield and elemental content of wheat plants grown on salt-affected soil irrigated with low quality water. *Annals of Agricultural Sciences.* 57: 2. 175-182.
11. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 1973. *FAO Soils Bulletin 21. Calcareous Soils.* FAO, Rome.
12. Fu, M. 1989. Effect of pH and organic acids on nitrogen transformations and metal dissolution in soils. Ph.D. dissertation of soil science. Iowa State University.
13. Gerke, J. 1994. Kinetics of soil phosphate desorption as affected by citric acid. *Zeitschrift fur Pflanzenernahrung und Bodenkunde.* 157: 17-22.
14. Gerke, J., Beißner, L., and Romer, W. 2000. The quantitative effect of chemical phosphate mobilization by carboxylate anions on P uptake by a single root. I. The basic concept and determination of soil parameters. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 163: 207-212.
15. Hashmi, Z.U.H., Khan, M.J., Akhtar, M., Sarwar, T., and Khan, M.J. 2017. Enhancing phosphorus uptake and yield of wheat with phosphoric acid application in calcareous soil. *J. Sci. Food Agric.* 97: 1733-1739.
16. Jones, D.L. 1998. Organic acids in the rhizosphere – a critical review. *Plant Soil.* 205: 25-44.
17. Karimi, H.R., Tafazolli Bandari, A., and Karimian, N. 2002. The effects of iron and sulfuric acid on some growth characteristics and yield of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch) in calcareous soils, short article. *Iran. J. Hort. Sci. Technol.* 3: 1-2. 28-39. (In Persian)
18. Khademi, Z. 2006. Organic acids behavior in calcareous soils. PhD. dissertation of soil science. School of agriculture and forest sciences, University of Wales, Bangor, Gwynedd.
19. Khademi, Z., Jones, D.L., Malakouti, M.J., Asadi, F., and Ardebili, M. 2009. Organic acid mediated nutrient extraction efficiency in three calcareous soils. *Austr. J. Soil Res.* 47: 213-220.



20. Khorsandi, F. 1994. Sulfuric acid effects on iron and phosphorus availability in two calcareous soils. *J. Plant Nutr.* 17: 9. 1611-1623.
21. Mahmoodabadi, M., Yazdanpanah, N., Sinobas, L.R., Pazira, E., and Neshat, A. 2013. Reclamation of calcareous saline sodic soil with different amendments (I): Redistribution of soluble cations within the soil profile. *Agricultural Water Management.* 120: 30-38.
22. Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants.* Academic Press, London.
23. Mikkelsen, R.L., and Jarrell, W.M. 1987. Application of urea phosphate and urea sulfate to drip-irrigated tomatoes grown in calcareous soil. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 51: 2. 464-468.
24. Miyamoto, S., Ryan, J., and Stroehlein, J.L. 1975. Potentially beneficial uses of sulfuric acid in southwestern agriculture. *J. Environ. Qual.* 4: 4. 431-437.
25. Naem, A., Akhtar, M., and Ahmad, W. 2013. Optimizing available phosphorus in calcareous soils fertilized with diammonium phosphate and phosphoric acid using Freundlich adsorption isotherm. *Sci. World J.* 2013: 1-5.
26. Nezami, S., and Malakouti, M.J. 2016. The Role of Organic Acids on the Release of Phosphorus and Zinc in a Calcareous Soil. *J. Water Soil.* 30: 3. 805-816. (In Persian)
27. Osorio, D., and Mix, K. 2015. Effects of Organic Acids Application on Olsen-extractable P and Eggplant (*Solanum melongena*) Yield. *Inter. J. Plant Soil Sci.* 10: 3. 1-12.
28. Oxtoby, D.W., Gillis, H.P., and Butler, L.J. 2015. *Principles of modern chemistry.* Cengage Learning.
29. Palomo, L., Claassen, N., and Jones, D.L. 2006. Differential mobilization of P in the maize rhizosphere by citric acid and potassium citrate. *Soil Biology and Biochemistry.* 38: 4. 683-692.
30. Pansu, M., and Gautheyrou, J. 2007. *Handbook of soil analysis: mineralogical, organic and inorganic methods.* Springer Science & Business Media.
31. Rukshana, F., Butterly, C.R., Xu, J.M., Baldock, J.A., and Tang, C. 2014. Organic anion-to-acid ratio influences pH change of soils differing in initial pH. *J. Soil Sed.* 14: 2. 407-414.
32. Rukshana, F., Butterly, C.R., Baldock, J.A., and Tang, C. 2011. Model organic compounds differ in their effects on pH changes of two soils differing in initial pH. *Biology and Fertility of Soils.* 47: 1. 51-62.
33. Ryan, J., Miyamoto, S., and Stroehlein, J.L. 1974. Solubility of manganese, iron and zinc as affected by application of sulfuric acid to calcareous soils. *Plant and Soil.* 40: 2. 421-427.
34. Ryan, J., and Stroehlein, J.L. 1979. Sulfuric acid treatment of calcareous soils: Effects on phosphorus solubility. Inorganic phosphorus forms and plant growth. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 43: 4. 731-735.
35. Sadiq, M., Hassan, G., Mehdi, S., Hussain, N., and Jamil, M. 2007. Amelioration of saline-sodic soils with tillage implements and sulfuric acid application. *Pedosphere.* 17: 182-190.
36. Shi, S., Richardson, A.E., O'Callaghan, M., DeAngelis, K.M., Jones, E.E., Stewart, A., Firestone, M.K., and Condon, L.M. 2011. Effects of selected root exudate components on soil bacterial communities. *FEMS microbiology ecology.* 77: 3. 600-610.
37. Shu-Xin, T.U., Zhi-Fen, G.U.O., and Jin-He, S.U.N. 2007. Effect of oxalic acid on potassium release from typical Chinese soils and minerals. *Pedosphere.* 17: 4. 457-466.
38. Simard, R.R., Zizka, J., and De Kimpe, C.R. 1992. Release of potassium and magnesium from soil fractions and its kinetics. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 56: 5. 1421-1428.
39. Song, S.K., and Huang, P.M. 1988. Dynamics of potassium release from potassium-bearing minerals as influenced by oxalic and citric acids. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 52: 2. 383-390.
40. Strom, L. 1997. Root exudation of organic acids: importance to nutrient availability and the calcifuge and calcicole behavior of plants. *Oikos.* 80: 459-466.
41. Ström, L., Owen, A.G., Godbold, D.L., and Jones, D.L. 2005. Organic acid behavior in a calcareous soil implications for rhizosphere nutrient cycling. *Soil Biology and Biochemistry.* 37: 11. 2046-2054.
42. Taghdis, S., Mehrizi, M.H., and Jalali, V. 2016. Effect of Oxalic and Citric Acids on Zinc Release Kinetic in two Calcareous Soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis.* 47: 22. 2479-2489.

43. Van Hees, P.A., Jones, D.L., Finlay, R., Godbold, D.L., and Lundström, U.S. 2005. The carbon we do not see-the impact of low molecular weight compounds on carbon dynamics and respiration in forest soils: a review. *Soil Biology and Biochemistry*. 37: 1. 1-13.
44. Wang, Y., He, Y., Zhang, H., Schroder, J., Li, C., and Zhou, D. 2008. Phosphate mobilization by citric, tartaric and oxalic acids in a clay loam Ultisol. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 72: 5. 1263-1268.
45. Yan, F., Schubert, S., and Mengel, K. 1996. Soil pH increase due to biological decarboxylation of organic anions. *Soil Biology and Biochemistry*. 28: 4. 617-624.
46. Yong-Liang, C., Yu-Qiang, G., Shi-Jie, H., Chung-Jing, Z., Yu-Mei, Z., and Guo-Ling, C. 2002. Effect of root organic acids on the activation of nutrients in the rhizosphere soil. *J. Forest. Res.* 13: 2. 115-118.
47. Zhi-An, L., Bi, Z., Hang-Ping, X., Yong-Zhen, D., Wan-Neng, T., and Sheng-Lei, F. 2008. Role of low- molecular weight organic acid and their salt in regulating soil pH. *Pedosphere*. 18: 2. 137-148.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 24(5), 2018*  
<http://jwsc.gau.ac.ir>

## **Effect of organic and inorganic acids on the release of nutrients in calcareous soils**

**M. Etemadian<sup>1</sup>, \*A. Hassani<sup>2</sup>, M. Nourzadeh Haddad<sup>3</sup> and M. Hanifei<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>M.Sc. Student, Dept. of Soil Science, University of Zanjan, <sup>2</sup>Assistant Prof., Dept. of Soil Science, University of Zanjan, <sup>3</sup>Assistant Prof., Dept. of Agriculture, Payame Noor University,

<sup>4</sup>Ph.D. Graduate, Dept. of Plant Breeding, Tarbiat Modares University

Received: 01/09/2017; Accepted: 12/30/2017

### **Abstract**

**Background and Objectives:** Effect of organic and inorganic acids in calcareous soils of Iran has not been properly investigated. The aim of this study was to evaluate the effect of organic acids of acetic, citric and oxalic acid and mineral acids of sulfuric and phosphoric acid on the soil pH and EC and release of essential nutrients in soil solution.

**Materials and Methods:** To investigate for releasing nutrient by organic and inorganic acids, the two calcareous loamy soil samples were used. Extraction of soil with solutions of citric, acetic, oxalic, sulfuric and phosphoric acid in concentrations of 1, 5 and 10 mM (25 ml of solution and 10 grams of soil) and deionized water as control for 1 hours was done. The pH value and electrical conductivity of solutions were measured immediately after extraction. Concentrations of potassium, phosphorus, calcium, magnesium, ammonium, nitrate, iron, zinc, copper and manganese was measured in the obtained extract.

**Results:** In general, the pH value of the soil extractions decreased after one hour between 0.03 to 1.66 unit. The pH reduction was almost the same in both soils. The pH value was reduced with increasing acid concentration. Phosphoric acid treatment with 10 mM concentration in both soil samples showed the greatest decrease in pH. Various concentrations of organic and inorganic acids had a significant positive effect on released phosphorus, potassium, calcium, magnesium, nitrate, ammonium and micronutrients. The highest released P, Ca, Mg and ammonium with amount of 4.23, 1078, 2797 and 67.2 mg per kg of soil respectively and also the highest amount of Zn and Cu with amount of 61 and 74 µg per kg of soil was seen in 10 mM concentration of acetic acid in soil 2. The highest released K and nitrate with amount of 673 and 247 mg per kg of soil respectively was seen in 10 mM concentration of phosphoric acid in soil 2. The highest released Fe and Mn with amount of 5420 and 10320 µg per kg of soil respectively was seen in 10 mM concentration of citric acid in soil 2.

**Conclusion:** The results of this study showed that the use of organic and inorganic acids in the soil, depend on acid type caused the release of essential nutrients in short time (1 hour) in the soil solution. Also phosphoric acid has the greatest effect on soil pH reduction.

**Keywords:** Acetic acid, Citric acid, Oxalic acid, Phosphoric acid, Sulfuric acid

---

\* Corresponding Author; Email: [akbar.hassani@znu.ir](mailto:akbar.hassani@znu.ir)

