

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی
پژوهشکده پسته

دستنامه کاربرد اسیدسولفوریک در آب آبیاری در فصل رشد باغ‌های پسته



سید جواد حسینی فرد، ناصر صداقتی،
عصمت اسماعیل زاده، علی اسماعیل پور، ماریه نادی،
محمد عبدالهی عزت آبادی، محمدرضا نیکویی دستجردی

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه	۱
.....	
چرا در باغ‌های پسته از اسیدسولفوریک استفاده می‌شود؟.....	۶
در چه خاک‌هایی کاربرد اسیدسولفوریک می‌تواند مفید باشد؟	۹
۱- شور یا شور و سدیمی بودن خاک در ناحیه ریشه.....	۹
۲- کافی بودن عناصر غذایی در خاک	۱۱
۳- نفوذپذیری پایین خاک نسبت به آب.....	۱۳
در چه خاک‌هایی کاربرد اسیدسولفوریک مفید نیست؟.....	۱۳
۱- خاک‌های با بافت شنی و سبک.....	۱۴
۲- خاک‌های حاصلخیز و با درصد ماده آلی مناسب.....	۱۴
۳- خاک‌های دارای لایه سخت و غیرقابل نفوذ.....	۱۵
حجم اسیدسولفوریک مصرفی و اسیدیته (pH) آب آبیاری چه مقدار باشد؟.....	۱۵
در طول فصل رشد چند نوبت از اسیدسولفوریک می‌توان استفاده کرد؟.....	۱۸
روش اسیددهی در آبیاری غرقابی چگونه است؟.....	۲۰
آیا در تانکر اسیددهی نیاز به مخلوط کردن اسیدسولفوریک با آب وجود دارد؟.....	۲۲

- ۲۲ ۱- اسیددهی در سطح زیاد (مثلاً یک هکتار).....
- ۲۳ ۲- اسیددهی در یک یا تعداد معدودی ردیف.....
- ۲۵ چگونه اسیدیته (pH) آب آبیاری را کنترل نماییم؟.....
- ۲۵ ۱- استفاده از دستگاه pH متر قابل حمل.....
- ۲۶ ۲- استفاده از کاغذ pH سنج.....
- ۲۷ چرا اسیدیته (pH) آب آبیاری در طول کرت باید کنترل شود؟..
- ۲۸
استفاده از اسیدسولفوریک در فصل رشد باغ‌های پسته چه اثرات
مطلوبی دارد؟.....
- ۲۹ الف- افزایش عملکرد درختان پسته.....
- ۳۰ ب- افزایش کیفیت میوه پسته.....
- ۳۱ ج- بهبود صفات رویشی و زایشی درختان پسته.....
- ۳۲ د- کاهش اسیدیته (pH) خاک.....
- ۳۲ ه- کاهش درصد آهک خاک.....
- ۳۳ و- کاهش شوری خاک.....
- ز- کاهش نسبت جذب سدیم (SAR) یا درصد سدیم تبادلی
..... (ESP)
- ۳۵ ح- بهبود وضعیت برخی از عناصر غذایی خاک و برگ.....
- استفاده از اسیدسولفوریک در باغ‌های پسته چه اثرات نامطلوبی
می‌تواند داشته باشد؟.....
- ۴۰ آیا کاربرد اسیدسولفوریک در فصل رشد باغ‌های پسته اقتصادی

۴۳	است؟
۴۴	چه نکات ایمنی را حتماً باید رعایت کرد؟
۴۸	لیست خلاصه کارهایی که برای کاربرد اسیدسولفوریک در باغ بایدانجام داد.
۵۰	منابع

مقدمه

خاک‌های مناطق پسته‌کاری کشور دارای درصد آهک بالا بوده و در محدوده اسیدیته (pH) قلیایی قرار می‌گیرند. این خاک‌ها همچنین محدودیت‌های مختلف شوری و سدیمی بودن دارند. در این شرایط جذب اغلب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه با مشکل روبرو بوده و رشد و عملکرد کمی و کیفی محصول تحت تأثیر قرار می‌گیرد. کاربرد مواد آلی، گوگرد، گچ و اسیدسولفوریک از جمله راه‌های تعدیل و اصلاح اسیدیته (pH) و همچنین سدیمی بودن خاک به شمار می‌آیند.

در اغلب تحقیقات انجام‌شده نشان داده شده است که اسید سولفوریک اثرات اصلاحی خود را در خاک و به دنبال آن روی گیاه سریع‌تر ظاهر می‌سازد. اسیدسولفوریک با کاهش اسیدیته خاک (pH) به صورت موضعی در محیط اطراف ریشه، می‌تواند باعث جذب بیشتر عناصر غذایی مهمی مانند فسفر، آهن، روی، منگنز و مس شود. همچنین با انحلال کربنات کلسیم موجود در خاک و آزادسازی کلسیم باعث جایگزینی سدیم سطح ذرات خاک با کلسیم و اصلاح خاک‌های شور و سدیمی گردد. گرچه اصلاح خاک عملیاتی معمول در فصل زمستان است اما نتایج کار تحقیقاتی انجام‌شده در طول فصل

رشد درختان پسته، که این نشریه به آن خواهد پرداخت، نشان داد که کاربرد اسیدسولفوریک در فصل رشد درختان می‌تواند سبب کاهش شوری (هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک؛ E_c^1) و نسبت جذب سدیم (SAR^2) خاک شود، اما برای استفاده از اسیدسولفوریک در فصل رشد باید تمهیداتی در نظر گرفته و رعایت شود که در این دستورالعمل به آن پرداخته خواهد شد.

آهکی بودن و شور و سدیمی شدن خاک، بخش‌های وسیعی از مناطق خشک و نیمه‌خشک را تحت تأثیر قرار داده است. حدود نیمی از اراضی زیر کشت آبی دنیا مورد تهدید شوری و سدیم قرار گرفته‌اند (فلاژلا و همکاران، ۲۰۰۲). در ایران خاک‌های شور و سدیمی، وسعتی حدود ۱۵ تا ۲۶ میلیون هکتار (۱۰ تا ۱۵ درصد مساحت کشور) را به خود اختصاص داده‌اند (چرم و رنگازامی، ۱۹۹۷؛ مصطفی‌زاده فرد و همکاران، ۲۰۰۷). خاک‌های شور و سدیمی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی نامطلوبی دارند که باعث کاهش عرضه عناصر غذایی و در نهایت افت رشد و عملکرد گیاه می‌گردد (کویرک،

¹ Electrical Conductivity

² Sodium Absorption Ratio

۲۰۰۱؛ قدیر و اوستر، ۲۰۰۴). به دلیل محدودیت‌های خاک‌های شور و سدیمی، ضرورت اصلاح و احیا این اراضی که پتانسیل و قابلیت کشت و کار در آنها وجود دارد، امری اجتناب‌ناپذیر است. ازاین‌رو برای اصلاح خاک‌های شور و سدیمی، روش‌های متفاوتی توسط محققان استفاده شده است (قدیر و همکاران، ۲۰۰۱؛ والزانو و همکاران، ۲۰۰۱؛ وانگ و همکاران، ۲۰۰۹). مبنای اصلاح خاک‌های سدیمی جایگزین نمودن سدیم تبدلی توسط کلسیم است. سدیم جایگزین شده با آبشویی از ناحیه ریشه و یا نیمرخ خاک خارج می‌شود. منبع رایج برای تأمین کلسیم ماده‌ای است که خود دارای کلسیم باشد و یا اینکه پس از مصرف باعث انحلال آن در خاک گردد. بنابراین، دو روش برای اصلاح چنین خاک‌هایی وجود دارد که شامل نخست افزودن منبع حاوی کلسیم به خاک به‌ویژه خاک‌های غیرآهکی و دوم افزایش حلالیت کلسیم موجود در خاک‌های آهکی است (کویرک، ۲۰۰۱).

ماده آلی (والزانو و همکاران، ۲۰۰۱؛ لی و کرن، ۲۰۰۹؛ وانگ و همکاران ۲۰۰۹) گچ (میشل و همکاران، ۲۰۰۰؛ وانگ و همکاران، ۲۰۰۹) و اسیدسولفوریک (آمزکتا و همکاران،

۲۰۰۵؛ صدیق و همکاران، ۲۰۰۷) برخی از این اصلاح‌کننده‌ها هستند که مورد استفاده قرار می‌گیرند.

یکی از فاکتورهای اساسی در جذب مواد غذایی توسط درختان از خاک، اسیدیته (pH) خاک است. اسیدیته (pH) خاک به صورت مستقیم روی خصوصیات شیمیایی، میکروارگانیسم‌های موجود در خاک و در نهایت جذب عناصر و مواد غذایی مختلف تأثیر می‌گذارد. پی اچ خاک مشخص می‌کند کدام عناصر توسط ریشه‌ها جذب شوند. عناصری مانند آهن، روی، منگنز و مس از مهم‌ترین عناصری هستند که در شرایط اسیدیته (pH) کمتر خاک، توانایی جذب بیشتر توسط گیاهان دارند. در باغ‌های پسته استان کرمان نیز به دلیل اسیدیته (pH) بالای خاک، کمبود عناصر کم‌مصرف تقریباً در تمامی باغ‌های پسته مشاهده می‌شود. استفاده از اسیدسولفوریک در آب آبیاری می‌تواند دسترسی گیاه به مواد مغذی را افزایش دهد. به علاوه، در خاک‌های آهکی که دارای اسیدیته (pH) بالا هستند، استفاده از اسید در آب آبیاری به دلیل افزایش در دسترس بودن مواد مغذی مورد استفاده برای گیاه، به مصرف کمتر کود منجر می‌شود (مالثاس و کاپلند، ۲۰۱۸). اسیدی شدن آب باعث افزایش نفوذ آب در خاک می‌شود (میاماتو و استرولین، ۱۹۸۶).

اصلاح خاک در باغ‌های پسته از اولویت‌های مدیریت جذب عناصر غذایی به شمار می‌آید. بنابراین کاربرد اسیدسولفوریک در خاک از دو جنبه قابل بررسی است: ۱- اثر بر اسیدیته (pH) محیط اطراف ریشه و بهبود جذب عناصر غذایی ۲- کمک به اصلاح خاک‌های شور و سدیمی از طریق جایگزینی سدیم روی سطح ذرات خاک با کلسیم آزادشده از اثر اسیدسولفوریک بر آهک موجود در خاک. البته این دو اثر در ارتباط باهم هستند. در این دستنامه به شرایط و چگونگی کاربرد اسیدسولفوریک در آب آبیاری باغ‌های پسته در فصل رشد پرداخته شده است. هدف این است که باغداران بتوانند با اطلاع از اثرات اسیدسولفوریک در خاک و رعایت شرایط از کاربرد این ماده بهره کافی برده و در مواردی که لازم نیست از آن استفاده ننمایند. با توجه به اینکه در استفاده از اسیدسولفوریک در باغ‌های پسته در ابتدای راه هستیم و باغداران خود تجربه لازم در این مورد را ندارند باید توجه نمود این ماده در برخی خاک‌ها و با رعایت شرایط خاص اثرات مثبت خواهد داشت و نباید آن را در همه شرایط و بدون رعایت مسائل فنی به کار برد و یا انتظار معجزه از آن داشت.

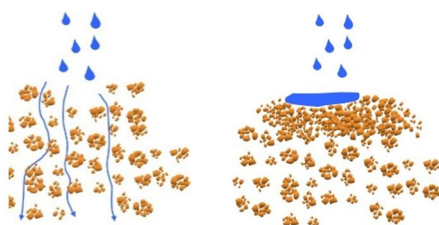
چرا در باغ‌های پسته از اسیدسولفوریک استفاده می‌شود؟

باغ‌های پسته در مناطق خشک و نیمه‌خشک واقع شده‌اند و این باعث می‌شود که این خاک‌ها دو ویژگی اصلی و مهم داشته باشند:

۱- خاک‌های مناطق پسته‌کاری آهکی و دارای اسیدیته (pH) بالا بوده و قلیایی هستند. اسیدیته (pH) بالا جذب اکثر عناصر غذایی به‌وسیله گیاهان را با مشکل روبرو می‌نماید (شکل ۱). بهترین اسیدیته (pH) برای جذب اکثر عناصر غذایی ۶/۵ تا ۷ است. جذب عناصر مهمی مانند فسفر (P)، آهن (Fe)، روی (Zn)، منگنز (Mn) و مس (Cu) در خاک‌های مناطق پسته‌کاری و با افزایش اسیدیته (pH) کاهش می‌یابد. همه خاک‌های این مناطق اسیدیته (pH) بالاتر از ۷ دارند و گاهی به حدود ۸/۵ هم می‌رسد.

گرچه اسیدیته (pH) خاک به‌سختی تغییر می‌کند اما کاربرد مواد اصلاح‌کننده مانند مواد آلی و اسیدها می‌تواند سبب کاهش موضعی اسیدیته (pH) محیط اطراف ریشه و در نتیجه جذب بیشتر عناصر غذایی شود.

دارای کلسیم باشد و یا اینکه پس از مصرف باعث انحلال آن در خاک گردد. بنابراین، دو روش برای اصلاح چنین خاک‌هایی وجود دارد که شامل الف) افزودن منبع حاوی کلسیم مانند گچ به خاک به‌ویژه خاک‌های غیرآهکی و ب) افزایش حلالیت کلسیم موجود در خاک‌های آهکی است (کویرک، ۲۰۰۱). خاکهای مناطق پسته‌کاری کشور به طور متوسط حاوی ۱۵-۳۰ درصد آهک هستند. استفاده از اسیدسولفوریک در آب آبیاری می‌تواند مقداری از آهک موجود در خاک را حل نموده و کلسیم را در محلول خاک آزاد کند. کلسیم آزاد شده جایگزین سدیم روی سطح ذرات خاک شده و با خروج سدیم از ناحیه ریشه هم اثرات سمیت آن کاهش یافته (کاهش درصد سدیم تبدلی یا نسبت جذب سدیم خاک) و هم نفوذپذیری خاک بهبود می‌یابد. استفاده از اسید همچنین سبب کاهش مقاومت خاک و افزایش هدایت هیدرولیکی و در نتیجه افزایش نفوذپذیری خاک می‌شود. دلایل این امر بهبود ساختمان خاک و توزیع اندازه خلل و فرج موجود در خاک می‌تواند باشد. بهبود نفوذپذیری باعث عبور بهتر آب و نمک از خاک و کاهش شوری آن می‌شود.



شکل ۲- اثر سدیم (راست) و کلسیم (چپ) تبادل بر نفوذپذیری خاک

(در خاک‌های دارای درصد سدیم تبادل بیشتر ذرات خاک پراکنده و نفوذپذیری آب کم است درحالی‌که در خاک کلسیمی خاکدانه‌ها بهتر تشکیل شده و نفوذپذیری آنها نسبت به آب بیشتر است).

در چه خاک‌هایی کاربرد اسیدسولفوریک می‌تواند مفید باشد؟

صرف‌نظر از چگونگی و روش استفاده از اسید، کاربرد اسیدسولفوریک در همه خاک‌های مناطق پسته‌کاری لازم نیست و خاک باید شرایط ویژه‌ای داشته باشد تا استفاده از اسیدسولفوریک مفید واقع شود. برخی از این شرایط عبارتند از:

۱- شور یا شور و سدیمی بودن خاک در ناحیه ریشه: همان‌گونه که توضیح داده شد اسیدسولفوریک با حل کردن مقداری آهک و آزاد نمودن کلسیم باعث بهبود نفوذپذیری

خاک شده و حرکت نمک‌ها و آب به لایه‌های زیرین خاک را بهبود می‌بخشد. بنابراین کاربرد آن در خاک‌های شور و شور سدیمی می‌تواند مفید بوده و باعث کاهش شوری و سدیم تبادلی خاک گردد اما باید دقت نمود کاربرد اسیدسولفوریک در فصل رشد در خاک‌هایی صورت گیرد که شوری و سدیم تبادلی بالا، در ناحیه تراکم ریشه‌ها باشد تا با آبیاری با آب اسیدی شده، نمک‌ها به لایه‌های پایین‌تر از ناحیه ریشه هدایت شده و تأثیر منفی نمک بر ریشه را کاهش دهد. اگر تجمع شوری در سطح خاک یا لایه‌های بالاتر از ناحیه ریشه باشد، آبیاری با آب همراه اسیدسولفوریک، به احتمال زیاد (با توجه به حجم آب در آبیاری‌های مرسوم باغ‌های پسته) نمک‌ها را به ناحیه ریشه رسانده و باعث تشدید تأثیر منفی نمک‌ها بر ریشه‌ها می‌شود. بدیهی است شناسایی خاک و لایه‌های مختلف آن از جمله لایه تراکم ریشه‌های ریز و انجام آزمایش خاک و تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن از جمله درصد رس و شن، شوری، نسبت جذب سدیم (SAR) و یا درصد سدیم تبادلی در هر لایه برای استفاده صحیح و اصولی از اسیدسولفوریک در باغ لازم و ضروری است.

۲- کافی بودن عناصر غذایی در خاک و پایین بودن غلظت آنها در برگ:

اگر در آزمایش‌های خاک و برگ انجام شده مربوط به یک باغ، غلظت عناصر غذایی در خاک در حد استاندارد و کافی باشد (بیشتر از مقادیر ارائه شده در جدول ۱) ولی غلظت آنها در برگ کمتر از استاندارد بوده و کمبود نشان دهد (کمتر از مقادیر ارائه شده در جدول ۲)، احتمالاً شرایط خاک سبب کاهش جذب عناصر غذایی به وسیله گیاهان شده است. از مهمترین این شرایط نیز اسیدیته یا pH بالا (بیشتر از ۷) در خاک است. در این شرایط کاربرد اسید سولفوریک می‌تواند به جذب بیشتر عناصر کمک نماید.

یکی از اثرات کاربرد اسیدسولفوریک در آب آبیاری، کاهش موضعی اسیدیته (pH) محیط اطراف ریشه و جذب بیشتر عناصر غذایی است. بنابراین اگر در خاک مقدار عناصر غذایی موجود به اندازه کافی نباشد استفاده از اسیدسولفوریک نمی‌تواند باعث جذب بهتر و بیشتر آنها شود. برای تشخیص این مورد هم آزمایش خاک به‌ویژه اندازه‌گیری عناصر غذایی در ناحیه تراکم ریشه‌های ریز درختان پسته لازم و ضروری است. بهتر است عناصر مهمی مانند فسفر، آهن، روی، منگنز و مس اندازه‌گیری شود. براساس تجارب به دست آمده، در جدول ۱ حداقل غلظت عناصر غذایی خاک برای اینکه کاربرد اسید سولفوریک بتواند

سبب افزایش جذب آنها شود، پیشنهاد شده است. در جدول ۲ نیز حداقل غلظت عناصر غذایی در برگ برای تشخیص کمبود عناصر غذایی ارائه شده است. مقادیر کمتر از غلظت عناصر غذایی این جدول نشان‌دهنده کمبود عناصر در برگ است و در این شرایط اگر در خاک غلظت عناصر غذایی به حد کفایت باشد (بیشتر از مقادیر جدول ۱) استفاده از اسید سولفوریک برای افزایش جذب آنها می‌تواند مفید باشد.

جدول ۱- حداقل غلظت پیشنهادی کفایت عناصر غذایی در خاک برای بهره‌وری بیشتر کاربرد اسید سولفوریک*

عنصر غذایی	دامنه کفایت در خاک (میلی گرم بر کیلوگرم خاک؛ ppm)
فسفر (P)	۱۵-۱۰
آهن (Fe)	۷-۳
روی (Zn)	۲-۱
منگنز (Mn)	۱۰-۵
مس (Cu)	۰/۵-۱

*مقادیر کمتر از غلظت عناصر غذایی این جدول نشان‌دهنده کمبود عناصر در خاک و مفید نبودن اسید سولفوریک برای افزایش جذب آنهاست.

جدول ۲- حداقل غلظت پیشنهادی عناصر غذایی در برگ*

عنصر غذایی	حداقل غلظت لازم در برگ پسته
فسفر (P)	۰/۱ (گرم بر صد گرم؛ درصد)
آهن (Fe)	۱۰۰ (میکروگرم بر گرم؛ ppm)
روی (Zn)	۱۰ (میکروگرم بر گرم؛ ppm)
منگنز (Mn)	۳۰ (میکروگرم بر گرم؛ ppm)
مس (Cu)	۵ (میکروگرم بر گرم؛ ppm)

*مقادیر کمتر از غلظت عناصر غذایی این جدول نشان‌دهنده کمبود عناصر در برگ است و در این شرایط اگر در خاک غلظت عناصر غذایی به حد کفایت باشد (بیشتر از مقادیر جدول ۱) استفاده از اسید سولفوریک برای افزایش جذب آنها می‌تواند مفید باشد.

۳- نفوذپذیری پایین خاک نسبت به آب: در صورتی که ساختمان و نفوذپذیری خاک مناسب نباشد کاربرد اسیدسولفوریک با آزاد کردن کلسیم می‌تواند به خاکدانه‌سازی و بهبود ساختمان و نفوذپذیری کمک نماید. باید دقت نمود که عدم نفوذپذیری به دلیل لایه سخت غیرقابل نفوذ نباشد.

در چه خاک‌هایی کاربرد اسیدسولفوریک مفید نیست؟

با توجه به موارد گفته‌شده، کاربرد اسیدسولفوریک در شرایط خاصی از نظر خصوصیات خاک می‌تواند مفید باشد اما برای تأکید بیشتر به دلیل اهمیت زیاد این موضوع بد نیست

برخی از شرایطی را که کاربرد اسید مفید نیست را هم یادآور شد که از آن جمله می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

۱- **خاک‌های با بافت شنی و سبک:** در این نوع خاک‌ها معمولاً تجمع نمک و شوری وجود ندارد و همچنین از ذخیره کافی عناصر غذایی برخوردار نیستند. بنابراین کاربرد اسیدسولفوریک در این شرایط نه تنها کمکی نخواهد کرد بلکه می‌تواند مضر هم باشد. چراکه امکان دارد مقداری از عناصر غذایی مفید را از دسترس ریشه خارج نماید یا باعث کاهش ماده آلی موجود در خاک شود.

۲- **خاک‌های حاصلخیز و با درصد ماده آلی مناسب:** برخی از خاک‌ها در مناطق پسته‌کاری وجود دارد که ماهیتاً یا با مدیریت مطلوبی که طی سالیان داشته‌اند وضعیت مناسبی داشته و ذخیره خوبی از نظر مواد آلی (به دلیل استفاده از کودهای حیوانی) دارند. شوری پایین‌تر از ۸ دسی زیمنس بر متر در لایه‌های مختلف خاک به‌ویژه در ناحیه ریشه، نسبت جذب سدیم (SAR) کمتر از ۱۳ یا درصد سدیم تبادلی (ESP) کمتر از ۱۵، درصد مواد آلی بیشتر از ۱ در ناحیه ریشه، ساختمان و نفوذپذیری خوب، وجود مقادیر مناسب و متعادل از عناصر غذایی قابل جذب در ناحیه ریشه ازجمله خصوصیات این

خاک‌ها به شمار می‌روند. چنین خاک‌هایی نیاز به استفاده از اسیدسولفوریک ندارند و کاربرد خودسرانه آن می‌تواند مضر بوده و از حاصلخیزی مناسب خاک بکاهد. **در باغ‌هایی که از کود حیوانی استفاده شده است بهتر است حتی‌المقدور یک تا دو سال از اسیدسولفوریک استفاده نشود.**

۳- خاک‌های دارای لایه سخت و غیرقابل نفوذ: در خاک‌هایی که لایه‌ای سخت و غیرقابل نفوذ تا عمق ۱-۱/۵ متری دارند چون نفوذ آب و نمکها در آنها با مشکل روبروست کاربرد اسیدسولفوریک در آب آبیاری کمکی به بهبود وضعیت نخواهد کرد.

حجم اسیدسولفوریک مصرفی و اسیدیته (pH) آب آبیاری چه مقدار باشد؟

مقدار استفاده از اسیدسولفوریک در آب آبیاری باغ‌های پسته به میزان کاهش مورد انتظار اسیدیته (pH) آب بستگی دارد. بنابراین در کنار مقدار اسید، شدت ورود آن به آب آبیاری در باغ که با اسیدیته (pH) آب تعیین می‌شود، مهم و دارای اهمیت است. شدت ورود اسید به معنی مقدار اسید ورودی به آب در

واحد زمان است مثلاً لیتر بر دقیقه. پس در گام اول باید مشخص شود که هدف از کاربرد اسیدسولفوریک چه مقدار کاهش در اسیدیته (pH) آب می‌باشد. نتایج تحقیقات انجام شده در باغ‌های پسته گوناگون نشان داد که یکی از مهمترین عوامل تعیین میزان کاهش اسیدیته (pH)، **بافت خاک** است. بسته به نوع بافت خاک مشخص می‌شود که اسیدیته (pH) آب آبیاری چه مقدار می‌تواند کاهش یابد. در جدول ۳ مقدار کاهش اسیدیته (pH) آب آبیاری بر اساس بافت خاک آمده است.

بعد از مشخص شدن نوع خاک و اسیدیته (pH) آب آبیاری باید تعیین شود که چه حجم اسیدسولفوریک برای رساندن آب به اسیدیته (pH) موردنظر لازم است برای این کار باید در آزمایشگاه با آب آبیاری موردنظر هر باغدار اندازه‌گیری‌هایی انجام شود تا مقدار اسیدسولفوریک لازم برای رسیدن به pH های مشخص شده در جدول ۳ مشخص گردد. این بدان مفهوم است که علاوه بر اسیدیته (pH) آب آبیاری، سایر خصوصیات آب مانند شوری، نوع کاتیون‌ها و آنیون‌های موجود در آن روی

مقدار اسیدسولفوریک لازم مورد استفاده برای هر آب آبیاری مؤثر است و باید در نظر گرفته شود.

جدول ۳- مقدار مجاز کاهش اسیدیته (pH) آب آبیاری برای کاربرد اسیدسولفوریک در باغ‌های پسته (حسینی فرد و همکاران، ۱۴۰۰)

اسیدیته (pH) مجاز آب آبیاری برای کاربرد اسید سولفوریک*	انواع بافت خاک در گروه مربوطه	گروه بافت خاک
۵	شن ^۱ ، شن-لومی ^۲	سبک (درشت بافت)
۴	لوم ^۳ ، لوم-شنی ^۴ ، لوم-رسی ^۵ ، سیلت-لومی ^۶ ، سیلت ^۷ ، لوم-رسی-شنی ^۸	متوسط
۳	رس ^۱ ، رس-شنی ^۲ ، لوم-رسی-سیلتی ^۳ ، رس-سیلتی ^۴	سنگین (ریز بافت)

^۱ Sand

^۲ Loamy sand

^۳ Loam

^۴ Sandy loam

^۵ Clay Loam

^۶ Silt loam

^۷ Silt

^۸ Sandy clay loam

*این اسیدیته (pH) باید در وسط طول هر ردیف درختان توسط دستگاه pH متر یا کاغذ pH سنج تعیین شود.

بنابراین بهترین راه این است که برای هر موتورپمپ با تجزیه آب آبیاری و انجام آزمایش‌های لازم توسط متخصصین، مقدار اسیدسولفوریک برای استفاده در آب آبیاری جهت رسیدن به هر یک از اسیدیته‌های (pH) پیشنهادشده برای خاک‌های مختلف (جدول ۳) تعیین شود. اما به‌طور کلی و بر اساس آزمایش‌های انجام‌شده توسط پژوهشکده پسته تاکنون و با اطلاعات فعلی، **در هر نوبت حدود ۲۰۰ لیتر اسیدسولفوریک غلیظ ۹۸ درصد در هر هکتار باغ** قابل استفاده است. باغداران باید با این حجم اسیدسولفوریک ورودی آن به آب آبیاری باغ خود را طوری تنظیم نمایند تا اسیدیته (pH) آب آبیاری در وسط طول هر ردیف درختان برحسب نوع خاک (جدول ۳) به عدد موردنظر برسد. مسلماً مقدار دبی آب (حجم آب در واحد زمان؛ لیتر بر ثانیه) و زمان آبیاری در هر ردیف بر حجم ورودی اسید تأثیرگذار است. باغداران برحسب شرایط خود باید شیر تانکر اسید را طوری

¹ Clay

² Sandy clay

³ Silty clay loam

⁴ Silty clay

تنظیم نمایند تا اسیدیته (pH) آب در وسط ردیف به مقدار مشخص شده در جدول ۳ برای هر بافت خاک برسد.

در طول فصل رشد چند نوبت از اسیدسولفوریک می‌توان استفاده کرد؟

کاربرد اسیدسولفوریک در طول فصل رشد (شروع سبز شدن درختان تا برداشت پسته) **دو نوبت** از سه نوبت آبیاری‌های زیر در نظر گرفته شود:

- ۱- نوبت آبیاری قبل از شروع سبز شدن درختان
- ۲- نوبت آبیاری بعد از تشکیل و رشد اولیه میوه (ارزنی شدن میوه)
- ۳- نوبت آبیاری قبل از شروع پرشدن دانه (پر شدن مغز)

بنابراین در مجموع **حدود ۴۰۰ لیتر اسیدسولفوریک در هر هکتار در دو نوبت استفاده در طول فصل رشد قابل توصیه است.**

زمان‌های موردنظر از مهم‌ترین زمان‌های رشد درختان و جذب عناصر غذایی توسط درختان به شمار می‌آید. با اطلاعات موجود به دلیل برخی اثرات نامطلوب کاربرد اسیدسولفوریک (کاهش ماده آلی و تنفس میکروبی خاک) که در ادامه در مورد آن‌ها صحبت خواهد شد، بهتر است به دو نوبت کاربرد اسیدسولفوریک در طول فصل رشد اکتفا شود.

لازم به توضیح است که اواخر پاییز و فصل زمستان نیز جزو زمان‌های کاربرد اسیدسولفوریک برای اصلاح خاک‌های شور و سدیمی به شمار می‌رود. در این خصوص یک طرح تحقیقاتی در دست اجراست که در آن کاربرد اسیدسولفوریک با گچ مقایسه شده است. شرایط و چگونگی آن بعد از اتمام کار منتشر خواهد شد.

روش اسیددهی در آبیاری غرقابی چگونه است؟

با توجه به نوع آبیاری باغ، روش اسیددهی متفاوت است. در سیستم‌های آبیاری تحت فشار (قطره‌ای سطحی، قطره‌ای زیرسطحی و ...) به شرط آنکه تمهیدات لازم برای جلوگیری از خوردگی لوله‌ها و اتصالات توسط اسید در نظر گرفته شود، می‌توان تانکری ویژه تزریق اسید در سیستم آبیاری در نظر گرفت و از مزایای آن برای شستشوی سیستم آبیاری و قطره‌چکان‌ها،



شکل ۳- تانکر ویژه تزریق اسیدسولفوریک در سیستم‌های آبیاری تحت فشار (راست)، نمونه‌ای دیگر از یک تانکر ویژه اسید در سیستم‌های آبیاری تحت فشار به همراه پمپ تزریق مخصوص اسید

اصلاح pH آب و خاک در طول فصل و اصلاح خاک در زمستان بهره برد (شکل ۳).

در آبیاری غرقابی هنگام آبیاری با استفاده از تانکرهای پلی‌اتیلنی مخصوص اسید، اسید به مقدار مشخص و مناسب به آب آبیاری اضافه شده و ضمن اصلاح pH آب می‌تواند باعث اصلاح موضعی pH خاک اطراف ریشه‌های ریز گیاه شده و جذب عناصر غذایی را افزایش دهد (شکل ۴).



شکل ۴- نمونه‌ای از تانکر پلی‌اتیلنی ویژه کاربرد اسیدسولفوریک در آبیاری غرقابی سستی در باغ‌های پسته

آیا در تانکر اسیددهی نیاز به مخلوط کردن اسیدسولفوریک با آب وجود دارد؟

برای پاسخ به این سؤال با توجه به سطح اسیددهی، دو حالت وجود دارد:

۱- اسیددهی در سطح زیاد (مثلاً یک هکتار):

در این حالت وضعیت جوی‌های آبیاری یا لوله‌های اصلی باغ به گونه‌ای است که می‌توان کل اسید غلیظ موردنیاز برای سطح یک هکتار را در یک تانکر با حجم مناسب (مثلاً ۲۰۰ لیتری) ریخت و با تنظیم شیر تانکر، خروجی اسید را به نحو مناسب برای رسیدن به اسیدیته (pH) موردنظر در کل زمان آبیاری برای آن سطح تنظیم نمود. در این حالت نیازی به اختلاط اسید با آب نیست.

۲- اسیددهی در یک یا تعداد معدودی ردیف:

در این حالت تانکر در ابتدای ورودی آب به یک یا چند ردیف درخت قرار گرفته و اسیددهی انجام می‌شود. در این شیوه حجم اسید غلیظ مورد استفاده نسبتاً کم است (مثلاً حدود ۵-۱۰ لیتر) و امکان تنظیم ورودی اسید به آب آبیاری به‌طوری که کل زمان آبیاری (مثلاً حدود ۵/۰ تا یک ساعت) را پوشش دهد، وجود نداشته یا سخت است. همچنین در این زمان کم و حجم کم اسید، امکان دستیابی به اسیدیته (pH) موردنظر دشوار

می‌شود، بنابراین بهتر است با ریختن اسیدسولفوریک روی مقداری آب (به عنوان مثال ریختن ۵ لیتر اسید روی حدود ۹۰ لیتر آب در یک تانکر ۱۰۰ لیتری)، زمان و حجم کافی برای رسیدن به اسیدیته (pH) مورد نیاز در طول مدت زمان انجام آبیاری فراهم شود.

نکته ایمنی بسیار مهم: حتماً باید اسید به آب اضافه شود. اضافه کردن آب به اسید بسیار خطرناک بوده و حتی می‌تواند منجر به انفجار و آسیب جدی شود.

برای ریختن اسیدسولفوریک در تانکر آب باید از لباس مخصوص ضد اسید، ماسک مخصوص ضد اسید (ماسک 3M) و محافظ صورت استفاده شود (شکل ۵). در صورت عدم دسترسی به ماسک 3M، حداقل از ماسک معمولی استفاده شود. استفاده از ماسک به این دلیل است که ریختن اسید روی آب باعث متصاعد شدن گازهای سمی خطرناک شده و این گازها به ریه آسیب می‌زنند.



شکل ۵- اضافه کردن اسیدسولفوریک به تانکر
آب با رعایت نکات ایمنی

چگونه اسیدیته (pH) آب آبیاری را کنترل نماییم؟
برای اندازه‌گیری و کنترل اسیدیته (pH) آب آبیاری در طول ردیف درختان، به‌ویژه در وسط کرت که معیار مناسبی از رسیدن اسیدیته (pH) به مقدار موردنظر برحسب نوع خاک (جدول ۳) می‌باشد از دو روش می‌توان استفاده نمود:

۱- استفاده از دستگاه pH متر قابل حمل:

pH متر دستی یا قابل حمل دستگاهی است که به‌وسیله آن می‌توان اسیدیته (pH) آب آبیاری را اندازه‌گیری نمود. نمونه‌ای از آن در شکل ۶ نشان داده شده است. این دستگاه قبل از استفاده باید به‌وسیله محلول‌هایی که همراه آن هست کالیبره شود.



شکل ۶- نمونه‌ای از دستگاه قابل حمل اندازه‌گیری
اسیدیته (pH) (بالا) و اندازه‌گیری اسیدیته (pH)
به‌وسیله آن در آب آبیاری باغ‌های پسته

۲- استفاده از کاغذ pH سنج:

کاغذ مخصوص سنجش pH، کاغذی است که وقتی در تماس با آب یا هر محلول دیگری قرار گیرد رنگ آن تغییر می‌کند. یک راهنما همراه کاغذ pH سنج وجود دارد که نشان می‌دهد هر رنگ مربوط به چه اسیدیته (pH) می‌باشد (شکل ۶). استفاده از کاغذ در مقایسه با دستگاه اندازه‌گیری pH از دقت پایین‌تری برخوردار بوده اما مقرون به صرفه‌تر است.



شکل ۷- کاغذ pH سنج

چرا اسیدیته (pH) آب آبیاری در طول کرت باید کنترل شود؟

به چند دلیل اسیدیته (pH) آب آبیاری در داخل کرت باید کنترل شود:

- ۱- طبق جدول ۳ با توجه به نوع خاک (بافت خاک)، اسیدیته (pH) خاصی مناسب است و در آن اسیدیته (pH) است که کاربرد اسیدسولفوریک بیشترین اثرات مثبت خود را نشان خواهد داد.
- ۲- کاهش اسیدیته (pH) آب آبیاری از استاندارد تعیین شده در جدول ۳ می‌تواند به خاک و درختان آسیب وارد نماید.
- ۳- افزایش اسیدیته (pH) آب آبیاری تأثیر اسید را کم می‌کند.

آیا اسیدیته (pH) آب آبیاری در طول کرت یکسان و یکنواخت است؟

معمولاً pH آب آبیاری در طول کرت یکنواخت نیست. فاصله از منبع اسید، دبی (لیتر بر ثانیه) آب آبیاری ورودی به کرت، تلاطم، چرخش و جهت حرکت آب از عواملی هستند که باعث تغییر و عدم یکنواختی اسیدیته (pH) در طول کرت خواهد شد. اسیدیته (pH) آب معمولاً در ابتدای کرت پایین‌تر و در انتهای کرت بالاتر از حد انتظار است و در اواسط کرت به مقدار موردنظر نزدیک می‌شود. بنابراین برای کنترل اسیدیته (pH) باید آن را در وسط طول کرت اندازه‌گیری کرد (شکل ۸). البته باید دقت نمود که اسیدیته (pH) آب آبیاری در ابتدای کرت خیلی پایین نباید (کمتر از ۳ نباشد) و در انتهای کرت

خیلی بالا نرود (بالا تر از ۶ نباشد) تا از یک طرف اسیددهی اثر مثبت داشته باشد و از طرف دیگر اثر نامناسب بر خاک و درختان نگذارد.



شکل ۸- اندازه‌گیری اسیدیته یا pH آب آبیاری در وسط کرت هنگام اسیددهی

استفاده از اسیدسولفوریک در فصل رشد باغ‌های پسته چه اثرات مطلوبی دارد؟

تحقیقات انجام‌شده در مورد کاربرد اسیدسولفوریک در فصل رشد باغ‌های پسته در سه نوع بافت خاک اثرات مثبتی بر عملکرد، کیفیت میوه، برخی خصوصیات شیمیایی خاک، غلظت قابل جذب عناصر غذایی خاک و غلظت عناصر غذایی برگ داشت که به‌طور خلاصه به آنها اشاره می‌شود:

الف- افزایش عملکرد درختان پسته

عملکرد درختان پسته در هر سه نوع خاک با اسیدی شدن pH آب آبیاری افزایش یافت.

در خاک سبک (درشت‌بافت) میانگین عملکرد (وزن خشک محصول پسته) دوساله درختان آبیاری شده با $pH=5$ (طبق جدول ۳) نسبت به درختان آبیاری شده با آب آبیاری باغ ($pH=7/7$) شرایط بدون کاربرد اسیدسولفوریک یا شاهد ($72/5$ کیلوگرم در هکتار افزایش پیدا کرد).

در خاک متوسط میانگین افزایش عملکرد دوساله درختان آبیاری شده با $pH=4$ (طبق جدول ۳) نسبت به درختان آبیاری شده با آب آبیاری باغ ($pH=7/6$) شرایط بدون کاربرد اسیدسولفوریک یا شاهد ($269/2$ کیلوگرم در هکتار بود).

در خاک سنگین (ریزبافت) میانگین افزایش عملکرد دوساله درختان آبیاری شده با $pH=3$ (طبق جدول ۳) نسبت به درختان آبیاری شده با آب آبیاری باغ ($pH=7/6$) شرایط بدون کاربرد اسیدسولفوریک یا شاهد ($118/2$ کیلوگرم در هکتار بود).

ب- افزایش کیفیت میوه پسته

بر اساس نتایج آزمایش‌های انجام شده در خاک سبک این خصوصیات کیفی تحت تأثیر قرار نگرفتند. اما در خاک متوسط درصد خندانی و انس میوه و در خاک سنگین انس پسته بهبود یافتند.

در خاک متوسط، میوه درختان آبیاری شده با $\text{pH}=4$ (طبق جدول ۳) نسبت به درختان آبیاری شده با آب آبیاری باغ ($\text{pH}=7/6$)؛ شرایط بدون کاربرد اسیدسولفوریک یا شاهد) افزایش خندانی حدود ۸ درصد و کاهش انس حدود ۲ واحد را نشان دادند.

در خاک سنگین، فقط انس میوه در درختان آبیاری شده با $\text{pH}=3$ نسبت به درختان آبیاری شده با آب آبیاری باغ ($\text{pH}=7/7$)؛ شرایط بدون کاربرد اسیدسولفوریک یا شاهد)، ۱/۹ واحد کاهش نشان داده و بهبود یافت.

ج- بهبود صفات رویشی و زایشی درختان پسته

در هر سه نوع خاک، صفات رویشی و زایشی شامل رشد شاخه سال جاری، قطر شاخه، تعداد جوانه زایشی و تعداد جوانه ریزش کرده تحت تأثیر کاربرد اسیدسولفوریک در آب آبیاری قرار گرفته و بهبود یافتند. این تأثیر در خاک‌های سبک و

متوسط در هر سه pH کاهش یافته آب آبیاری (۳، ۴ و ۵) و در خاک سنگین بیشتر در $\text{pH}=3$ اتفاق افتاد.

د- کاهش اسیدیته (pH) خاک

طی آزمایش‌های دوساله انجام‌شده کاهش pH خاک در سال دوم اجرای آزمایش اتفاق افتاد و در مقادیر مختلف کاربرد اسیدسولفوریک نسبت به شرایط بدون کاربرد اسیدسولفوریک یا شاهد حداکثر $0/3$ واحد بود. در عمق ۴۰-۰ سانتیمتری، در خاک سبک در هر سه pH کاهش یافته آب آبیاری (۳، ۴ و ۵)، در خاک متوسط در ۴ و $\text{pH}=3$ و در خاک سنگین در $\text{pH}=3$ آب آبیاری، pH خاک حدود $0/2$ واحد کاهش نشان داد. در عمق ۸۰-۴۰ سانتیمتری برای خاک سنگین تغییری در pH دیده نشد. اما خاک‌های سبک و متوسط تحت تأثیر هر سه pH کاهش یافته آب آبیاری (۳، ۴ و ۵) قرار گرفتند. کاهش pH در این عمق خاک متوسط $0/2 - 0/1$ واحد و در خاک سبک $0/3 - 0/2$ واحد اتفاق افتاد.

ه- کاهش درصد آهک خاک

در عمق ۴۰-۰ سانتی‌متری درصد آهک خاک سبک

در هر سه pH کاهش یافته آب آبیاری (۳، ۴ و ۵) حدود ۲-۴ درصد کاهش نشان داد. در خاک متوسط این کاهش حدود یک درصد بود. در خاک سنگین در اعمال $pH=3$ آب آبیاری حدود ۵ درصد آهک خاک کاهش نشان داد.

در عمق ۸۰-۴۰ سانتی‌متری، در خاک سنگین درصد

آهک تغییری نداشت ولی در خاک سبک و متوسط کاهش درصد آهک در کاربرد آب آبیاری با ۴ و $pH=3$ اتفاق افتاد. این کاهش در خاک سبک ۳/۵ درصد و در خاک متوسط حدود ۱ درصد بود.

و- کاهش شوری خاک

از خصوصیات دیگر مهم خاک که تحت تأثیر آبیاری با اسیدیته پایین قرار گرفته است قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (ECe) یا شوری است. شوری خاک در هر دو عمق خاک بسته به نوع بافت خاک از کاربرد اسیدسولفوریک متأثر شده است.

در عمق ۴۰-۰ سانتی‌متری خاک سبک در هر سه pH

کاهش یافته آب آبیاری (۳، ۴ و ۵) شوری خاک نسبت به

شرایط بدون کاربرد اسیدسولفوریک یا شاهد (آبیاری با آب با $\text{pH}=7/7$) کاهش یافته است. به طوری که این کاهش حدود ۳-۴ دسی زیمنس بر متر بود. در خاک متوسط در سطح خاک و هر سه pH کاهش یافته آب آبیاری (۳، ۴ و ۵) شوری $0/5 - 0/8$ واحد نسبت به شرایط بدون کاربرد اسیدسولفوریک یا شاهد (آبیاری با آب با $\text{pH}=7/6$) کاهش نشان داد. در خاک سنگین نیز این کاهش‌ها به ترتیب $1/5 - 0/3$ دسی زیمنس بر متر در مقایسه با شرایط بدون کاربرد اسیدسولفوریک یا شاهد (آبیاری با آب با $\text{pH}=7/6$) بود.

در عمق ۸۰-۴۰ سانتی متری خاک سبک در هر سه pH
کاهش یافته آب آبیاری (۳، ۴ و ۵) شوری خاک نسبت به شرایط بدون کاربرد اسیدسولفوریک یا شاهد (آبیاری با آب با $\text{pH}=7/7$) کاهش یافته است. به طوری که بیشترین کاهش در $\text{pH}=3$ و به مقدار $2/7$ دسی زیمنس بر متر بود. در خاک متوسط نیز در هر سه pH کاهش یافته آب آبیاری (۳، ۴ و ۵) شوری خاک نسبت به شاهد (آبیاری با آب با $\text{pH}=7/6$) کاهش نشان داد که بیشترین کاهش مربوط به $\text{pH}=3$ و $4/4$ دسی زیمنس بر متر بوده است. کاهش شوری در این عمق خاک سنگین در هر سه pH کاهش یافته آب آبیاری (۳، ۴ و ۵) نسبت به شرایط

بدون کاربرد اسیدسولفوریک یا شاهد (آبیاری با آب با $\text{pH}=7/6$) و به مقدار حدود یک دسی زیمنس بر متر بود. با کاربرد اسیدسولفوریک در آب آبیاری، آهک خاک حل شده و غلظت کلسیم در محلول خاک بالا می‌رود که اضافه شدن کلسیم روی سطح ذرات خاک می‌تواند باعث بهبود ساختمان خاک و افزایش نفوذپذیری آب و املاح محلول در خاک شده و شوری کاهش یابد.

ز- کاهش نسبت جذب سدیم (SAR) یا درصد سدیم تبدیلی (ESP)

نسبت جذب سدیم (SAR) در هر دو عمق هر سه نوع خاک در اثر کاربرد اسیدسولفوریک در آب آبیاری و کاهش pH ، در مقایسه با شرایط بدون کاربرد اسیدسولفوریک یا شاهد کاهش یافت.

در عمق ۰-۴۰ سانتی‌متری خاک در هر سه نوع بافت خاک، نسبت جذب سدیم در حدود یک واحد کاهش نشان داد درحالی‌که در عمق ۴۰-۸۰ سانتی‌متری در خاک سبک، متوسط و سنگین به ترتیب ۲، ۳ و ۱ واحد کاهش اتفاق افتاد. بنابراین بیشترین کاهش نسبت جذب سدیم (SAR) در عمق

۸۰-۴۰ سانتی متری خاک متوسط و به میزان ۴۰ درصد رخ داده است که بیشترین افزایش عملکرد را نیز داشته است. این عمق بیشترین تراکم ریشه‌های ریز درختان پسته را داراست و بهبود خصوصیات خاک در این عمق از نظر جذب آب و عناصر غذایی حائز اهمیت زیادی است.

اسیدسولفوریک با حل نمودن آهک خاک و فراهم نمودن کلسیم و جایگزینی آن به جای سدیم در مکان‌های تبدالی (روی سطح ذرات خاک)، می‌تواند باعث کاهش نسبت جذب سدیم و سدیم تبدالی و افزایش نفوذپذیری خاک گردد (اوراستریت و همکاران، ۱۹۸۰، آمزکتا و همکاران، ۲۰۰۵؛ وانگ و همکاران، ۲۰۰۹). اسید حرکت سریع‌تر آب را نسبت به مقدار معادل گچ در خاک‌های آهکی - شور سدیمی فراهم می‌کند (میاموتو و استرولین، ۱۹۸۶). بنابراین در آزمایش‌های انجام‌شده در باغ‌های پسته با کاهش نسبت جذب سدیم در اثر کاربرد اسیدسولفوریک، نفوذپذیری خاک نسبت به آب و نمک‌ها افزایش یافته که باعث کاهش شوری خاک شده است و این عوامل می‌تواند بر رشد و عملکرد درختان تأثیر مثبت داشته باشد.

ح- بهبود وضعیت برخی از عناصر غذایی خاک و برگ

غلظت عناصر غذایی به‌ویژه عناصر کم‌مصرف (میکرو) در خاک و برگ تحت تأثیر کاربرد اسیدسولفوریک در آب آبیاری قرار گرفتند.

در خاک سبک، عناصر آهن، روی، منگنز و مس در هر دو عمق بررسی شده خاک تحت تأثیر کاربرد اسیدسولفوریک قرار گرفتند. غلظت قابل جذب آهن در هر دو عمق ۴۰- و ۸۰- سانتی‌متری خاک در هر سه pH کاهش یافته آب آبیاری (۳، ۴ و ۵) در نتیجه کاربرد اسیدسولفوریک نسبت به شرایط بدون کاربرد اسیدسولفوریک یا شاهد (آبیاری با آب با $pH=7/7$) افزایش نشان داد. اما برای عناصر روی، منگنز و مس نیز این افزایش برای عمق اول اتفاق افتاد. در عمق ۴۰-۸۰ سانتی‌متری فقط در سال دوم افزایش غلظت اندازه‌گیری شد که در مورد عنصر روی این افزایش در ۴ و $pH=3$ بیشتر از $pH=5$ بود. نتایج تجزیه برگ باغ با خاک سبک نیز افزایش غلظت عناصر کم‌مصرف آهن، روی، منگنز و مس را نشان داد.

در خاک متوسط، عناصر روی، مس و بُر در هر دو عمق بررسی شده خاک تحت تأثیر کاربرد اسیدسولفوریک قرار گرفتند. این تأثیر که برای عناصر روی و مس افزایشی و برای بُر کاهشی بود بیشتر در ۴ و $pH=3$ اتفاق افتاد. اما غلظت بُر تحت

تأثیر $\text{pH}=5$ نیز کاهش یافت. در این خاک، از عناصر پرمصرف نیز غلظت فسفر قابل جذب خاک در عمق ۸۰-۴۰ سانتی‌متری خاک در حدود ۱/۵ میلی گرم بر کیلوگرم خاک و در ۴ و $\text{pH}=3$ در نتیجه کاربرد اسیدسولفوریک نسبت به شرایط بدون کاربرد اسیدسولفوریک یا شاهد (آبیاری با آب با $\text{pH}=7/6$) افزایش یافت.

نتایج تجزیه برگ باغ با خاک متوسط نیز افزایش غلظت عناصر کم مصرف روی و مس و کاهش غلظت بُر را نشان داد. این تغییرات در غلظت عناصر برگ بیشتر در ۴ و $\text{pH}=3$ در نتیجه کاربرد اسیدسولفوریک نسبت به شرایط بدون کاربرد اسیدسولفوریک یا شاهد (آبیاری با آب با $\text{pH}=7/6$) رخ داد.

در خاک سنگین، غلظت قابل جذب فسفر در هر دو عمق ۴۰-۰ و ۸۰-۴۰ سانتی‌متری خاک تحت تأثیر کاربرد اسیدسولفوریک در آب آبیاری و کاهش pH از ۷/۶ در شرایط بدون کاربرد اسیدسولفوریک یا شاهد به ۳، از ۲ (در عمق ۴۰-۰ سانتی‌متری) تا ۵ (در عمق ۸۰-۴۰ سانتی‌متری) میلی گرم بر کیلوگرم خاک افزایش یافت. در این خاک در عمق ۴۰-۰ سانتی‌متری، غلظت قابل جذب عناصر کم مصرف روی و مس نیز در هر سه pH کاهش یافته آب آبیاری (۳، ۴ و ۵) در نتیجه

کاربرد اسیدسولفوریک نسبت به شرایط بدون کاربرد اسیدسولفوریک یا شاهد (آبیاری با آب با $\text{pH}=7/6$) افزایش نشان داد. اما در عمق ۴۰-۸۰ سانتی‌متری، از بین عناصر کم‌مصرف فقط غلظت عنصر روی تحت تأثیر کاربرد اسیدسولفوریک در آب آبیاری و کاهش pH از ۷/۶ در شرایط بدون کاربرد اسیدسولفوریک یا شاهد به ۳، به مقدار ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک (۵۵ درصد نسبت به شرایط بدون کاربرد اسیدسولفوریک یا شاهد) افزایش یافت.

نتایج تجزیه برگ باغ با خاک سنگین نیز افزایش غلظت عناصر کم‌مصرف روی و مس را در هر سه pH کاهش یافته آب آبیاری (۳، ۴ و ۵) در نتیجه کاربرد اسیدسولفوریک نسبت به شرایط بدون کاربرد اسیدسولفوریک یا شاهد (آبیاری با آب با $\text{pH}=7/6$) نشان داد. گرچه افزایش غلظت روی بیشتر تحت تأثیر $\text{pH}=3$ بود. این افزایش غلظت به مقدار ۲۱ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک (در حدود سه برابر نسبت به شرایط بدون کاربرد اسیدسولفوریک یا شاهد) بود. علیرغم افزایش غلظت فسفر قابل جذب خاک در باغ دارای خاک سنگین، غلظت فسفر برگ تغییری را نشان نداد.

به‌طور کلی pH خاک مشخص می‌کند کدام عناصر توسط ریشه‌ها جذب شوند. عناصری مانند آهن، روی، منگنز و مس از مهم‌ترین عناصری هستند که در شرایط pH های کمتر خاک، توانایی جذب بیشتر توسط گیاهان دارند. در باغ‌های پسته ایران نیز به دلیل pH بالای خاک، کمبود عناصر کم‌مصرف تقریباً در تمامی باغ‌های پسته مشاهده می‌شود و نتایج آزمایش‌های ما نشان داد که استفاده از اسیدسولفوریک در آب آبیاری برای کاهش pH آب باعث کاهش pH خاک و افزایش فراهمی عناصر فسفر، آهن، روی منگنز و مس در خاک می‌شود. افزایش فراهمی در خاک برای عناصر کم‌مصرف آهن، روی، منگنز و مس باعث افزایش غلظت آنها در برگ نیز می‌شود ولی برای عنصر پرمصرف فسفر این‌گونه نبوده است.

استفاده از اسیدسولفوریک در باغ‌های پسته چه اثرات نامطلوبی می‌تواند داشته باشد؟

در آزمایش انجام‌شده کاربرد اسیدسولفوریک در فصل رشد در باغ‌های پسته دو شاخص درصد ماده آلی و تنفس میکروبی خاک در مواردی کاهش نشان دادند. کاهش ماده آلی خاک به عنوان یک نکته منفی قلمداد می‌شود چون بالا بودن

مقدار ماده آلی در یک خاک نشان‌دهنده حاصلخیزی و بهره‌وری بیشتر و مطلوب‌تر است. بنابراین در کاربرد اسیدسولفوریک در آب آبیاری باغ‌های پسته باید به این مسئله دقت نمود و هرگونه توصیه کاربرد اسیدسولفوریک باید با در نظر گرفتن همه جوانب و خصوصیات خاک و باغ و در صورت لزوم انجام شود. به همین دلیل توصیه می‌شود در سالی که از کودهای حیوانی در باغ استفاده می‌شود از به کار بردن اسیدسولفوریک خودداری شود.

تنفس میکروبی (تنفس خاک) ناشی از تجزیه مواد آلی و معدنی شدن توسط ریزجانداران^۱ خاک می‌باشد. کاهش تنفس میکروبی خاک نشان‌دهنده کاهش فعالیت ریزجانداران خاک است ولی چون در اندازه‌گیری تنفس میکروبی، نوع ریزجانداران و مفید یا مضر بودن آنها مشخص نبوده و در نظر گرفته نمی‌شود نمی‌توان در مورد مفید یا مضر بودن کاهش آن اظهار نظر کرد و در این مورد نیاز به تحقیقات بیشتر وجود دارد. اما از آنجاییکه احتمال دارد کاهش تنفس میکروبی به دلیل اثر اسیدسولفوریک بر ریزجانداران مفید نیز باشد، تا تکمیل

¹ Microorganisms

تحقیقات لازم، ترجیح آن است که این کاهش به‌عنوان اثری نامطلوب در نظر گرفته شود.

در آزمایش‌های انجام‌شده در باغ‌های پسته، ماده آلی در عمق ۴۰-۰ سانتی‌متری **خاک سبک (درشت‌بافت)**، تحت تأثیر کاربرد اسیدسولفوریک در آب آبیاری و کاهش pH قرار گرفت و به مقدار ۰/۲-۰/۳ درصد کاهش را نسبت به شاهد (آبیاری با آب با $pH=7/7$) نشان داد. در **خاک متوسط** کاهش ماده آلی خاک، فقط در آبیاری با آب با $pH=3$ و به مقدار ۰/۲ درصد بود. در این عمق خاک و در **خاک سنگین (ریزبافت)** کاهش pH آب به ۳ و ۴، ماده آلی خاک را به مقدار ۰/۳-۰/۴ درصد نسبت به شاهد (آبیاری با آب با $pH=7/7$) کاهش داد.

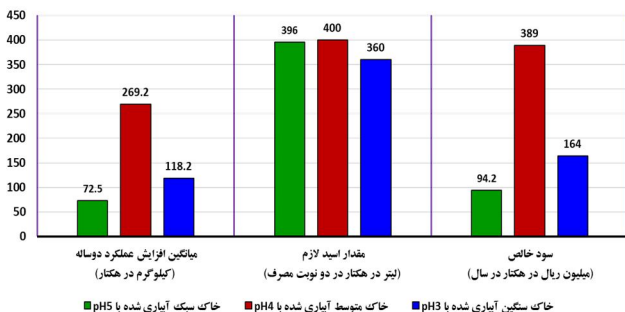
در عمق ۸۰-۴۰ سانتی‌متری خاک که علاوه بر ماده آلی، تنفس میکروبی خاک اندازه‌گیری شد، در **خاک سبک** درصد ماده آلی و تنفس میکروبی خاک در هر سه pH کاهش یافته آب آبیاری (۳، ۴ و ۵) در نتیجه کاربرد اسیدسولفوریک نسبت به تیمار شاهد (آبیاری با آب با $pH=7/7$) کاهش نشان دادند. در **خاک متوسط** کاهش

ماده آلی در هر سه pH کاهش یافته آب آبیاری (۳، ۴ و ۵) در نتیجه کاربرد اسیدسولفوریک و به مقدار حدود ۰/۳ واحد اتفاق افتاد. تنفس میکروبی در این خاک در ۴ و pH=۳ آب آبیاری کاهش نشان داد. در **خاک سنگین** در این عمق، ماده آلی تحت تأثیر کاربرد اسیدسولفوریک قرار نگرفت ولی تنفس میکروبی خاک تحت تأثیر آبیاری با آب با pH=۳ کاهش یافت. بنابراین در خاک سبک و در مرتبه بعدی خاک متوسط هر گونه کاهش pH آب آبیاری می‌تواند منجر به کاهش نسبی مواد آلی و تنفس میکروبی خاک گردد اما در خاک سنگین pH های پایین (pH=۳) سبب چنین کاهشی شده است.

آیا کاربرد اسیدسولفوریک در فصل رشد باغ‌های پسته اقتصادی است؟

ارزیابی اقتصادی آزمایش‌های انجام شده در مورد استفاده از اسیدسولفوریک در آب آبیاری باغ‌های پسته بر اساس مقادیر به کاررفته در هر نوع خاک و دو نوبت استفاده نشان داد که در شرایط انجام آزمایش‌ها کاربرد اسیدسولفوریک در هر سه نوع

خاک کاملاً اقتصادی بوده و در خاک متوسط، سنگین و سبک به ترتیب سود خالص ۳۹۰، ۱۶۵ و ۹۵ میلیون ریال ایجاد نمود. در شکل ۹ مقدار میانگین دوساله افزایش عملکرد در خاک‌های با بافت مختلف در بهترین کاهش pH آب آبیاری در کنار مقدار اسید لازم در آن برای دو نوبت مصرف در هکتار در سال و سود خالص مربوطه برای مقایسه آورده شده است. این شکل نشان می‌دهد که در شرایط انجام این آزمایش‌ها، استفاده از اسیدسولفوریک در خاک با بافت متوسط بیشترین منافع و در خاک با بافت سبک، کمترین منافع را ایجاد می‌کند. این در حالی است که استفاده از اسیدسولفوریک در باغ‌های پسته با بافت سنگین، منافی حد واسط بین منافع دو بافت خاک دیگر دارد.



شکل ۹- میانگین دوساله افزایش عملکرد در خاک‌های با بافت مختلف در بهترین کاهش pH آب آبیاری و مقدار اسید لازم در آن pH، برای دو نوبت مصرف در هکتار در سال و سود خالص مربوطه

چه نکات ایمنی را حتماً باید رعایت کرد؟

اسیدسولفوریک اسید بسیار قوی است که خاصیت خوردندگی شدید دارد و در صورت ریختن روی لباس و بدن آسیب شدید و اغلب جبران‌ناپذیر وارد می‌نماید. بنابراین در استفاده از آن باید بسیار دقت نموده و نکات ایمنی را به‌طور کامل و با جدیت رعایت نمود. مهم‌ترین این نکات عبارتند از:

- ۱- برای حمل، انتقال و استفاده از اسیدسولفوریک از لباس مخصوص ضد اسید استفاده کرد. به این منظور استفاده از چکمه و لباس پلاستیکی ضد اسید پیشنهاد می‌شود (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- لباس و چکمه پلاستیکی ضد اسید

۲- استفاده از ماسک مخصوص 3M هنگام ریختن اسید روی آب که منجر به متصاعد شدن گازهای خطرناک (بخارات اسیدسولفوریک، دی‌اکسید سولفور، دی‌اکسید کربن و منواکسید کربن) می‌شود (اسپهدی و سجادی، ۱۳۹۸). در صورت عدم دسترسی به ماسک مخصوص، حداقل از دو ماسک‌های معمولی استفاده شود تا گاز متصاعد شده به ریه‌ها آسیبی نرساند (شکل ۱۱).

۳- استفاده از محافظ صورت جهت جلوگیری از خطر پاشش احتمالی اسید به‌ویژه هنگام ریختن اسید از ظرفی به ظرف دیگر یا اضافه کردن آن به آب (شکل ۱۱).



شکل ۱۱- استفاده از ماسک 3M و محافظ صورت به همراه لباس
ضد اسید

۴- برای اضافه کردن اسید به آب همیشه باید اسید به آرامی روی آب ریخته شود. ریختن اسید روی آب گرمای زیاد تولید می‌کند و امکان فوران و حتی پاشیدن آن نیز وجود دارد (اسپهدی و سجادی، ۱۳۹۸).

۵- وزن بیست لیتری اسیدسولفوریک حدوداً ۳۷-۳۸ کیلوگرم است. بنابراین برای جابجایی اسیدسولفوریک در حجم‌های کم باید از ظروف محکم و دارای استقامت کافی برای تحمل این وزن استفاده نمود. ضمن اینکه ظروف باید پلی اتیلنی و در برابر خوردندگی اسید مقاوم باشد.

- ۶- اسیدسولفوریک باعث خوردگی فلزات می‌شود و در این مورد فقط استیل‌های ضد اسید مقاوم هستند. بنابراین در شبکه‌های آبیاری با اتصالات فلزی نباید از اسیدها استفاده نمود.
- ۷- در صورتی که پوست با مقدار کمی اسید تماس داشت، سریعاً با مقدار زیاد آب شسته شود (اسپهدی و سجادی، ۱۳۹۸).
- ۸- در صورت پاشیدن اسید به چشم، بلافاصله به مدت ۱۵ دقیقه آب به درون چشم بدون پلک زدن پاشیده شود. پلک‌ها تا انجام کمک‌های فوری پزشکی باز باشد (اسپهدی و سجادی، ۱۳۹۸).
- ۹- ظروف حاوی اسید باید دور از گرما، جرقه، آتش روباز، مواد ناسازگار (مانند فلزات، انواع کودهای شیمیایی، مواد غذایی و....) و به صورت در بسته و در جای خشک و خنک و دور از آفتاب نگهداری شود (اسپهدی و سجادی، ۱۳۹۸).
- ۱۰- در محل انبار و استفاده اسید، تهویه مناسب باشد (اسپهدی و سجادی، ۱۳۹۸).
- ۱۱- بعد از هر بار تماس با ظروف حاوی اسید، دست‌ها حتماً شسته شوند و از تماس با چشم شدیداً خودداری شود.
- ۱۲- محل نگهداری اسید، مجهز به تجهیزات ضدحریق باشد (اسپهدی و سجادی، ۱۳۹۸).

لیست خلاصه کارهایی که برای کاربرد اسیدسولفوریک در باغ باید انجام داد

- ۱- آشنایی به خطرات کار با اسید و رعایت نکات ایمنی قبل از هر اقدامی لازم و ضروری است.
- ۲- هدف و دلیل استفاده از اسیدسولفوریک در هر باغ مشخص شود.
- ۳- مشخص شود آیا خاک باغ جزء خاک‌هایی است که اسیددهی برای آن مفید است.
- ۴- آب آبیاری و خاک باغ آزمایش شود تا بر اساس آن‌ها مقدار اسید و اسیدیته یا pH کاربرد آن مشخص شود.
- ۵- روش کاربرد اسید بر اساس سیستم آبیاری (تحت فشار یا غرقابی) تعیین شود.
- ۶- اسیدسولفوریک باکیفیت و بدون آلودگی به فلزات سنگین تهیه شود.
- ۷- کاغذ یا دستگاه pH سنج برای اندازه‌گیری اسیدیته (pH) تهیه شود. در صورت تهیه دستگاه، به کمک راهنمای همراه یا یک فرد آشنا به pH سنج، کالیبره شود.

۸- نیاز به اختلاط یا عدم اختلاط آب و اسید مشخص شود. یعنی باید مشخص شود که حجم اسید به تنهایی کافی است یا باید با **اضافه کردن آب به اسید** حجم آن را اضافه نمود.

۹- هنگام اسیددهی ورود اسید به آب طوری تنظیم شود تا اولاً اسیدیته یا pH آب آبیاری طبق جدول ۳ باشد و ثانیاً کل مدت آبیاری اسیددهی انجام شود.

۱۰- اسیدیته یا pH آب آبیاری در وسط طول ردیف درختان اندازه‌گیری شود تا در حد اسیدیته انتخابی بر اساس جدول ۳ باشد.

توضیحات کامل عملیات لیست شده، در متن کتاب آمده است.

منابع

اسپهبودی، م. و س.ع. سجادی. ۱۳۹۸. اطلاعات فنی و حفاظت ایمنی اسید سولفوریک تولید شده در کارخانه اسید مجتمع مس سرچشمه. انتشارات روابط عمومی مجتمع مس سرچشمه.

حسینی فرد، س. ج.، ن. صداقتی، م. نادی، ع. اسماعیل پور، م. نیکویی دستجردی. ۱۳۹۹. ارزیابی اثرات کاربرد اسید سولفوریک تولیدی مجتمع مس سرچشمه در آب آبیاری بر خصوصیات بیوشیمیایی خاک، رشد و عملکرد کمی و کیفی درختان پسته. گزارش سالانه طرح تحقیقاتی با شماره مصوب ۹۷۰۲۹-۹۱-۳۳-۰۶-۰۱۴، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، پژوهشگاه پسته.

حسینی فرد، س. ج.، ن. صداقتی، م. نادی، ع. اسماعیل پور، م. نیکویی دستجردی. ۱۴۰۰. ارزیابی اثرات کاربرد اسید سولفوریک تولیدی مجتمع مس سرچشمه در آب آبیاری بر خصوصیات بیوشیمیایی خاک، رشد و عملکرد

کمی و کیفی درختان پسته. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی ارائه شده به مجتمع مس سرچشمه با شماره قرارداد ۲۰۹۷۵۶۸۳، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، پژوهشکده پسته.

- Amezketta, E., Aragues, R., & Gazol, R. 2005. Efficiency of sulfuric acid, mined gypsum and two gypsum by products in soil crusting prevention and sodic soil reclamation. *Agronomy Journal*, 97, 983-989.
- Chorom, M., & Rengasamy, P. 1997. Carbonate chemistry, pH and physical properties of an alkaline sodic soil as affected by various amendments. *Australian Journal of Soil Research*, 35, 149-161.
- Flagella, Z., Cantore, V., Giuliani, M. M., Tarantino, E., & De Caro, A. 2002. Crop salt tolerance: Physiological, yield and quality aspects. *Recent Research Development Plant Biology*, 2, 155-186.
- Li, F. H., & Keren, R. 2009. Calcareous sodic soil reclamation as affected by corn stalk application and incubation: A laboratory study. *Pedosphere*, 19, 465-475.
- Maltas, A. S., Kaplan, M. 2018. Effect of different amounts of acid application in fertigation on calcareous soil Ph. *Journal*

- of Plant Nutrition. Vol. 41, No. 4. Pp. 520-525.
- Mitchell, J. P., Shennan, C., Singer, M. J., Peters, D. W., Miller, R. O., Prichard, T., Grattan, S. R., Rhoades, J. D., May, D. M., & Munk, D. S. 2000. Impacts of gypsum and winter cover crops on soil physical properties and crop productivity when irrigated with saline water. *Agricultural Water Management*, 45, 55-71.
- Miyamoto, S., Stroehlein, J. L. 1986. Sulfuric Acid effects on water irrigation and water Chemical properties of alkaline soils and water. *American Society of Agricultural Engineers*, 29 (5): 1288-1296.
- Mostafazadeh-Farad, B., Heidarpour, M. Aghakhani, A., & Feizi, M. 2007. Effects of irrigation water salinity and leaching on soil chemical properties in an arid region. *International Journal of Agriculture and Biology*, 9, 466-469.
- Qadir, M., & Oster, J. D. 2004. Review, crop and irrigation management strategies for saline-sodic soils and waters aimed at environmentally sustainable agriculture. *Science of Total Environment*, 323, 1-19.
- Qadir, M., Ghafoor, A., & Murtaza, G. 2001. Use of saline-sodic waters through phytoremediation of calcareous saline-sodic soils. *Agricultural Water Management*, 50, 197-210.

- Quirk, J. P. 2001. The significance of the threshold and turbidity concentrations in relation to sodicity and microstructure. *Australian Journal of Soil Research*, 39, 1185-1217.
- Sadiq, M., Hassan, G., Mehdi, S. M., Hussain, N., & Jamil, M. 2007. Amelioration of saline-sodic soils with tillage implements and sulfuric acid application. *Pedosphere*, 17, 182-190.
- Valzano, F. P., Greene, R. S. B., Murphy, B. W., Rengasamy, P., & Jarwal, S. D. 2001. Effects of gypsum and stubble retention on the chemical and physical properties of a sodic grey Vertosol in western Victoria. *Australian Journal of Soil Research*, 39, 1333-1347.
- Wong, V. N. L., Dalal, R. C., & Greene, R. S. B. 2009. Carbon dynamics of sodic and saline soils following gypsum and organic material additions: A laboratory incubation. *Applied Soil Ecology*, 41, 29-40.

**Ministry of Agriculture-Jahad
Agriculture Research Education and Extension Organization
Horticultural Sciences Research Institute
Pistachio Research Center**

Handbook

**Application of sulfuric acid in irrigation water
during the growing season of pistachio orchards**

Authors:

Seyed Javad Hosseinifard, Nasser Sedaghati, Esmat
Esmaeilzadeh, Ali Esmaeelpour, Marieh Nadi, Mohammad
Abdolahi Ezatabadi, Mohammadreza Nikoukei Dastjerdi

2021