نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد ششم، شماره دوم، ۱۳۹۵
http://ejsms.gau.ac.ir

تأثیر مقادیر و منابع گوگرد بر رشد و برخی خواص کیفی میوه سیب رقم زرد

*عزیز مجیدی[۱] و محمدجعفر ملکوتی[۲]
[۱]استادیار پژوهش مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان‌غربی، [۲]استاد گروه علوم خاک، دانشگاه تربیت مدرس
تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۱۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۸/۱۸

چکیده

سابقه و هدف: گوگرد، عنصری پرمصرف و ضروری بوده که بر رشد گیاه، کیفیت و سلامت محصولات کشاورزی مؤثر است. مصرف گوگرد به‌طور فزاینده‌ای در کشاورزی ایران اهمیت می‌یابد. از سال ۱۳۷۲ تاکنون، کود به‌ویژه در ارتباط با پنج عنصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، روی و گوگرد به‌صورت متعادلی به مصرف می‌رسد. در برنامه تغذیه بهینه سیب، همراه با عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم و روی، گوگرد نیز در مقادیر ۵۰۰-۲۵۰ کیلوگرم در هکتار مورد استفاده قرار می‌گیرد. اطلاعات مدون محدودی در رابطه با چگونگی اثربخشی گوگرد در باغ‌های سیب کشور وجود دارد. بنابراین، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر مقادیر و منابع گوگرد بر رشد و کیفیت میوه سیب رقم زرد در استان آذربایجان‌غربی به اجرا گذاشته شد.

مواد و روش‌ها: آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار به‌مدت چهار سال زراعی (۸۶-۱۳۸۲) انجام گرفت. هر درخت با دو منبع گوگرد (آلی و معدنی) در سه سطح صفر، دو و چهار کیلوگرم مورد تغذیه قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که تأثیر سطوح گوگرد بر pH خاک و قابلیت استفاده عناصر فسفر، آهن و روی در خاک معنی‌دار بود. کم‌ترین pH و بیش‌ترین قابلیت استفاده فسفر، روی و آهن با مصرف چهار کیلوگرم گوگرد به‌دست آمد. نتایج تجزیه برگ مشخص کرد که رابطه بین سطوح گوگرد و غلظت عناصر غذایی به‌جز کلسیم و منیزیم، معنی‌دار بود. تغذیه با گوگرد، غلظت عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، منگنز، روی و مس را در برگ نسبت به شاهد افزایش داد. گوگرد مصرفی تأثیری بر سفتی بافت میوه نداشت. با این وجود، بالاترین وزن، درصد مواد جامد محلول و اسیدیته کل میوه در تیمار مصرف چهار کیلوگرم گوگرد از منبع آلی حاصل شد. مقدار کلروفیل به‌طور معنی‌داری با سطوح گوگرد افزایش یافت. بیش‌ترین مقدار کلروفیل در تیمار دو کیلوگرم گوگرد از منبع آلی به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش پیشنهاد می‌کند که گوگرد به‌عنوان یک عنصر غذایی کلیدی، می‌تواند نقش مهمی در تعادل تغذیه‌ای، بهبود کمیت و کیفیت محصول سیب در خاک‌های آهکی ایران داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: سیب (*Malus domestica L.*)، کلروفیل، عناصر غذایی برگ، pH خاک، کوددهی گوگرد

* مسئول مکاتبه: az.majidi89@gmail.com

مقدمه

گوگرد (S) یکی از عناصر پرمصرف ضروری برای رشد گیاه است که در ساختمان اسیدهای آمینه سیستئین و متیونین، کوآنزیم‌ها و گروه‌های پروستتیک، تنفس و چندین مسیر سوخت و ساز دیگر در فیزیولوژی گیاهان دخالت دارد. در شرایط کمبود گوگرد در گیاهان، تولید پروتئین کاهش یافته و انباشتگی نیتروژن آلی به‌ویژه آمیدها و نیترات صورت می‌گیرد که موجب بروز زردبرگی در گیاه می‌شود (٢٩، ٢٥). نیاز درختان سیب به گوگرد تقریباً مشابه نیاز به فسفر است. غلظت بهینه عناصر گوگرد و فسفر در برگ درختان سیب به‌ترتیب در محدوده ٪٠/٢٠-٠/١٤ و ٪٠/٤-٠/٢ است (١٨). علاوه بر نقش مهم گوگرد در گیاهان، این عنصر از نظر شیمیایی اسیدزا بوده و مصرف آن در خاک‌های آهکی موجب کاهش موضعی pH خاک می‌شود (١٥). مهم‌ترین مشکل موجود در خاک باغ‌های سیب تحت کشت در خاک‌های آهکی، وجود آهک زیاد و pH بالای خاک بوده که موجب کاهش جذب عناصر غذایی به‌ویژه فسفر و عناصر کم‌مصرف مثل آهن و روی در محیط ریزوسفر گیاه می‌شود. اساسی‌ترین مشکل آب‌های آبیاری در این مناطق وجود بی‌کربنات فراوان در آب است. احتمالاً این عامل باعث افزایش pH شیره سلولی و رسوب عناصر غذایی به‌ویژه آهن، روی، منگنز و مس در آوندها شده و تحت چنین شرایطی علائم ظاهری کمبود آن‌ها در باغ‌های سیب کشور دیده می‌شود (٢٣).

تاثیر مصرف گوگرد بر کاهش pH، افزایش حلالیت و قابلیت جذب عناصر غذایی در خاک‌های آهکی منوط به اکسیداسیون کامل گوگرد عنصری و تبدیل آن به یون سولفات (SO_4^{2-}) است (٤١). pH خاک از طریق تغییر حلالیت و قابلیت استفاده عناصر غذایی مورد نیاز، مستقیماً رشد گیاهان را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. در محدوده pH ٦/٥-٦، بیش‌تر عناصر غذایی در قابل‌استفاده‌ترین حالت برای رشد بهینه اکثر محصولات باغی و زراعی قرار دارند. یک عنصر غذائی باید محلول بوده و به‌مدت طولانی به‌حالت محلول باقی بماند تا به‌طور موفقیت‌آمیزی به سوی ریشه‌ها حرکت کند. pH خاک از سایر جنبه‌ها نیز حائز اهمیت است. pH در فرآیند تجزیه سنگ‌های معدنی در طبیعت و تبدیل آن به عناصر قابل‌جذب گیاه نقش دارد. فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک که در زیست‌فراهمی عناصر مورد نیاز گیاهان نقش دارند نیز به pH خاک وابسته‌اند. خاک‌های آهکی دارای pH قلیائی بیش‌تر از هفت بوده و هرچه مقدار آن بیش‌تر باشد، قابلیت استفاده تعداد زیادی از عناصر ضروری گیاه کاهش می‌یابد. استفاده از گوگرد و باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد[1] سبب کاهش pH خاک‌های آهکی می‌شود. باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد، گوگرد عنصری را به‌منظور تأمین نیازهای انرژی خودشان اکسید کرده و به سولفات تبدیل می‌کنند (٣٩). اکسیداسیون باکتریائی گوگرد، مقدار قابل‌توجهی اسید سولفوریک تولید می‌کند که قادر است ترکیبات معدنی فسفات‌های کلسیم غیرمحلول مانند فلوروآپاتیت ($Ca(PO_4)_3F$) و کلسایت ($CaCO_3$) را مورد حمله قرار داده و به اشکال فسفر قابل‌استفاده گیاه تبدیل کند (٣٨، ٤). در این حالت، حلالیت فسفات در نتیجه اکسیداسیون بیولوژیکی گوگرد از کارآیی بالایی برخوردار بوده (٤) و همبستگی مثبتی با مقدار اسیدسولفوریک تولید شده توسط فعالیت باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد دارد (٧). معادله شیمیایی تولید اسیدسولفوریک توسط اکسیداسیون زیستی گوگرد مطابق زیر است که در طی آن به‌ازای اکسیداسیون یک مول گوگرد عنصری یک مول سولفات و دو مول یون هیدروژن تولید می‌شود (٣٩).

1- Soluble Oxidizing Bacteria (SOB)

$$S^{\circ} + 1.5O_2 + H_2O \xrightarrow{Thiobacilli} SO_4^{2-} + 2H^+$$
$$(\Delta G = -587.1 \frac{k_j}{reaction})$$

سولفات شکل اصلی گوگرد است که توسط ریشه درختان میوه جذب می‌شود. گوگرد موجود در مواد آلی بسیار کم بوده و قابلیت جذب خیلی کمی برای گیاهان دارند (۱۲). بنابراین، بخش عمده گوگرد مورد نیاز گیاه از اکسیداسیون گوگرد معدنی در خاک عمدتاً به‌صورت زیستی و توسط میکروارگانیسم‌های مختلف، از جمله باکتری‌های جنس تیوباسیلوس، تأمین می‌شود (٤٠). نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که با مصرف توأم گوگرد عنصری و باکتری‌های تیوباسیلوس، pH خاک کاهش یافته (٤٢) و با کاهش آن، حلالیت و قابلیت جذب عناصر غذایی مانند فسفر در خاک افزایش می‌یابد (۳۹، ۱۵). پژوهش‌های زیادی در رابطه با اثرات مصرف گوگرد و باکتری‌های تیوباسیلوس بر رشد کمی و کیفی درختان میوه در خاک‌های آهکی صورت گرفته است. سمر و شهابیان (۲۰۰۳) دریافتند با افزایش توأم گوگرد و سولفات آهن، غلظت آهن قابل عصاره‌گیری تا ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم در خاک باغات سیب منطقه دماوند افزایش یافت (۳۵). سرچشمه‌پور (۲۰۰۳) با بررسی نقش گوگرد در تغذیه باغات پسته استان کرمان به این نتیجه رسید که مصرف سطحی گوگرد به‌تنهایی و یا همراه با کود حیوانی بر رشد درختان پسته بی‌تأثیر بود. به‌طوری‌که، ذرات گوگرد در لایه سطحی خاک حتی همراه با کود حیوانی بعد از چند سال کاملاً قابل رویت بودند. اما، گوگرد مخلوط‌شده با کود حیوانی که در عمق خاک به‌صورت کانال کود مصرف‌شده بود موجب بهبود رشد و ارتقاء کیفیت محصول پسته شد (۳٦). پسندیده و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که مصرف گوگرد و باکتری‌های تیوباسیلوس همراه با خاک فسفات و کود حیوانی، علاوه بر کاهش pH خاک، موجب افزایش قابلیت جذب فسفر و تأمین فسفر مورد نیاز درختان سیب از این منبع شد (۲۸). نتایج مشابهی نیز قبلاً توسط بختیاری و همکاران (۲۰۰۱) در این رابطه گزارش شده است (۵).

هر چند که نتایج مذکور بیانگر اثرات مثبت مصرف گوگرد معدنی و باکتری‌های تیوباسیلوس بر رشد درختان سیب است ولی، میزان کارآیی منابع آلی تأمین گوگرد در مقایسه با منابع معدنی آن کم‌تر مورد مطالعه قرار گرفته است. بنابراین، هدف از اجرای پژوهش حاضر، مقایسه تأثیر مقادیر و منابع آلی و معدنی گوگرد برکاهش pH ریزوسفر و میزان زیست‌فراهمی عناصر ضروری به‌ویژه عناصر کم‌مصرف و تأثیر آن بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی محصول باغات سیب در استان آذربایجان‌غربی بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور اجرای آزمایش، این طرح تحقیقاتی به‌صورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار به‌مدت چهار سال زراعی (۸٦-۱۳۸۲) در استان آذربایجان‌غربی به اجرا گذاشته شد. عامل اول مربوط به سطوح مختلف گوگرد شامل صفر، دو و چهار کیلوگرم گوگرد خالص به‌ازای هر درخت و عامل دوم شامل دو منبع آلی و معدنی گوگرد همراه با مایه تلقیح تیوباسیلوس[1] (جمعیت باکتری 10^7 در هر گرم مایه تلقیح) بودند. منبع آلی گوگرد شامل ٪۲۰ گوگرد عنصری، ٪۲۰ بنتونیت و ٪٦۰ مواد آلی و منبع معدنی آن شامل ٪۷۰ گوگرد و ٪۳۰ بنتونیت بود. در بهار سال ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳، محل‌های مناسب اجرای طرح در باغ‌های سیب شهرستان ارومیه انتخاب شدند. در سال‌های بعد، آزمایش مذکور در باغ‌های سیب

1- *Thiobacillus. spp*

شهرستان مهاباد اجرا شد. محل‌های مذکور به‌گونه‌ای انتخاب شدند که از نظر شرایط اقلیمی (رژیم رطوبتی و حرارتی) مشابه و از نظر میزان ناهمگونی خاک یکنواخت باشند (٢١). بر این اساس، خاک محل‌های اجرای طرح در هر دو شهرستان ارومیه و مهاباد در محدوده سری غالب تحت کشت باغ‌های سیب در منطقه یعنی سری fine loamy mixed superactive mesic Typic Haploxerepts بودند (١٤). در نقاط مذکور، یادداشت‌برداری‌های لازم در ارتباط با مدیریت حاصلخیزی خاک و تغذیه باغ، روش آبیاری و ... در پرسش‌نامه‌هایی که قبلاً برای این کار تهیه شده بود، صورت گرفت. در هر کدام از باغ‌های مذکور تعداد ٣٦ درخت هم سن و یکسان از نظر شرایط رشد انتخاب شدند. هر کرت آزمایشی شامل دو درخت بود. قبل از اعمال تیمارها، نمونه‌های مرکب خاک از دو عمق ٣٠-٠ و ٦٠-٣٠ سانتی‌متری از محل یک سوم بیرونی سایه‌انداز درختان در هر تکرار در اوایل خردادماه به‌طور تصادفی تهیه شد. هر نمونه مرکب خاک شامل ١٢ نمونه ساده بود. همچنین نمونه آب مورد استفاده برای آبیاری نیز تهیه و جهت انجام اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی به آزمایشگاه بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان‌غربی منتقل و با روش‌های استاندارد مؤسسه تحقیقات خاک و آب آماده‌سازی و مورد تجزیه قرار گرفتند (٣، ٢). در پاییز هر کدام از سال‌های اجرای آزمایش، نسبت به احداث چال کود (تعداد شش چاله به عمق ٥٠ و به قطر ٣٠ تا ٤٠ سانتی‌متر در یک سوم بیرونی سایه‌انداز درختان) اقدام و تیمارهای کودی اعمال شدند. کود پایه شامل ٣٠٠ گرم اوره به‌ازای هر درخت بود که نصف آن همراه با سطوح کودی در چال‌کودها و نصف دیگر آن در مرحله فندقی شدن میوه در بهار سال بعد به‌صورت سرک همراه با آب آبیاری در سایه‌انداز درخت مصرف شد. در اوایل خردادماه هر سال در هر کدام از تیمارها، نسبت به اندازه‌گیری شاخص کلروفیل برگ با استفاده از کلروفیل‌سنج SPAD-502 Minolta اقدام و نمونه‌برداری از برگ‌های کامل قسمت میانی شاخه‌های یک‌ساله (١٨)، جهت اندازه‌گیری غلظت عناصر غذایی صورت گرفت. از هر کرت تعداد ٢٠ عدد میوه به‌طور تصادفی در ١٤٥ روز بعداز تمام گل برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد. در آزمایشگاه ابعاد میوه با استفاده از کولیس، وزن میوه‌ها و سفتی آن‌ها با استفاده از پنترومتر اندازه‌گیری شدند. همچنین pH میوه، اسیدیته کل، میزان مواد جامد محلول آب میوه با روش‌های متداول مؤسسه تحقیقات خاک و آب اندازه‌گیری شدند (١١). پس از برداشت میوه، نمونه‌برداری خاک از محل چال‌کودها در هر کدام از کرت‌های آزمایشی انجام شد. در نمونه‌های مذکور pH گل اشباع با استفاده از الکترود شیشه، غلظت عناصر فسفر قابل‌جذب به روش اولسن، پتاسیم قابل‌جذب به روش استات آمونیوم، آهن و روی قابل عصاره‌گیری به روش DTPA با استفاده از دستگاه جذب اتمی پرکینز المر مدل ١٢٨٠ مطابق استانداردهای مؤسسه تحقیقات خاک و آب اندازه‌گیری شدند (٢). تجزیه و تحلیل داده‌ها بر اساس آزمایش فاکتوریل در پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با استفاده از نرم‌افزار آماری MSTATC انجام شد. برای انجام مقایسه میانگین تیمارها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج

ویژگی‌های خاک و آب آبیاری: نتایج ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و ویژگی‌های شیمیایی آب به‌ترتیب در جدول‌های ١ و ٢ آورده شده است. نتایج حاصله از تجزیه خاک باغات نشان داد که خاک‌ها

عموماً با بافت متوسط تا سنگین، نسبتاً آهکی تا آهکی زیاد (کربنات کلسیم غالباً بالاتر از ۱۰ درصد)، pH قلیایی و از نظر مقدار کربن آلی در شرایط متوسطی قرار داشتند. مقدار فسفر قابل‌جذب خاک در محدوده متوسط تا مطلوب بوده که با افزایش عمق کاهش می‌یابد. سایر عناصر غذایی شامل پتاسیم، آهن، روی، منگنز و مس قابل‌جذب خاک نیز در شرایط متوسط تا مطلوب قرار داشتند (۲٤). آب‌های آبیاری در مناطق مذکور دارای بی‌کربنات زیاد (در محدوده ٦ تا ۹ میلی‌اکی‌والان در لیتر معادل ۳٦۰ تا ۵۵۰ میلی‌گرم در لیتر)، از نظر شوری در حد متوسط تا زیاد و از نظر نسبت جذب سدیم در حد کم بودند.

جدول ۱- میانگین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در مکان‌های اجرای آزمایش (۸٦-۱۳۸۲).

Table 1. The mean of soil physical and chemical properties of experimental sites (2003-2007).

چهارم Fourth		سوم Third		دوم Second		اول First		سال اجراء Execution Year
31-60	0-30	31-60	0-30	31-60	0-30	31-60	0-30	عمق (Depth, cm)
42	47	68	73	51	56	41	47	درصد اشباع (SP, %)
0.37	0.34	1.53	0.96	0.50	0.50	0.64	0.47	هدایت الکتریکی (EC, ds/m)
7.14	7.01	7.7	7.8	8.1	7.9	7.7	7.7	pH
10.4	9.9	21.1	19.3	11	3	12	12	درصد مواد خنثی‌شونده (TNV, %)
0.61	0.95	1.82	1.13	0.50	1.30	0.83	1.28	کربن آلی (OC, %)
11.2	16.9	9.5	18.1	5.2	15.2	10.2	14.8	فسفر قابل‌استفاده (P_{ava}, mg kg^{-1})
314	291	345	337	267	255	284	275	پتاسیم قابل‌استفاده (K_{ava}, mg kg^{-1})
0.97	1.21	1.12	1.42	0.65	0.78	1.30	1.28	روی قابل‌استفاده (Zn_{ava}, mg kg^{-1})
3.4	5.9	2.7	4.6	4.3	5.5	7.50	8.00	آهن قابل‌استفاده (Fe_{ava}, mg kg^{-1})
4.2	3.4	6.8	6.2	4.8	4.2	6.2	5.14	منگنز قابل‌استفاده (Mn_{ava}, mg kg^{-1})
0.94	1.21	0.87	1.01	1.3	1.4	1.9	1.7	مس قابل‌استفاده (Cu_{ava}, mg/kg)
25	21	21	18	31	29	28	25	درصد رس (C., %)
39	36	40	37	16	18	35	30	درصد شن (Sa.,%)
L	L	L	L	SiCL	SiCL	CL	L	بافت (Tex.)

* هر عدد میانگین سه تکرار می‌باشد.

* Each number is the mean of three replications.

جدول ٢- نتایج تجزیه شیمیایی آب آبیاری مورد استفاده (٨٦-١٣٨٢).

Table 2. The chemical analysis of used irrigation water (2003-2007).

طبقه‌بندی Classification	B ($mg\ L^{-1}$)	SAR	میلی‌اکی‌والان در لیتر ($meq\ L^{-1}$)							pH	EC (µs/m)	سال اجرا Execution Year
			Na^{+}	Mg^{++}	Ca^{++}	SO_4^{2-}	Cl^{-}	HCO_3^{-}	CO_3^{2-}			
C_2S_1	0.2	0.79	0.6	4.0	2.7	0.1	1.4	6.1	0	7.0	653	اول (1^{st})
C_3S_1	0.4	1.07	2.5	4.6	6.4	3.1	7.6	8.8	0	7.0	1054	دوم (2^{nd})
C_3S_1	0.3	4.8	3.8	4.7	5.2	0.25	1.5	9.0	0	7.1	1135	سوم (3^{rd})
C_2S_1	0.3	1.4	1.1	5.1	2.1	0.05	0.7	6.8	0	7.3	720	چهارم (4^{th})

اثر تیمارها بر برخی عوامل رشد کمی: نتایج تجزیه واریانس و میانگین اثر تیمارها بر شاخص کلروفیل برگ، طول، عرض و وزن میوه به‌ترتیب در جداول ٣ و ٤ نشان داده شده است. هم‌چنان که در جداول مذکور مشهود است، اثرات مستقل سطوح گوگرد بر شاخص کلروفیل برگ از نظر آماری معنی‌دار بود ($P\leq$٠/٠٥). بیش‌ترین مقدار شاخص کلروفیل با مصرف دو کیلوگرم گوگرد حاصل شد که نسبت به تیمار شاهد، ٧ درصد افزایش نشان داد. مصرف بیش‌تر گوگرد تأثیری بر شاخص کلروفیل برگ نداشت. اثرات مستقل منابع گوگرد نیز بر شاخص مذکور معنی‌دار شد به‌طوری‌که، منبع گوگرد آلی در کلاس اول و منبع گوگرد معدنی در کلاس دوم آماری قرار گرفتند. اثرات متقابل مقادیر و منابع گوگرد بر شاخص کلروفیل برگ معنی‌دار بود (جدول ٣). بیش‌ترین مقدار آن با مصرف دو کیلوگرم گوگرد خالص از منبع گوگرد آلی حاصل شد که نسبت به شاهد ٥/٨٤ درصد افزایش نشان داد (جدول ٤). اثرات مستقل سطوح گوگرد بر طول، عرض و وزن میوه نیز معنی‌دار بود (جدول‌های ٣ و ٤). به‌طوری‌که بیش‌ترین مقادیر آن‌ها از سطح دوم گوگرد به‌دست آمد که با سطح سوم آن در یک کلاس آماری قرار گرفتند. اثر مستقل منابع گوگرد بر عوامل مذکور معنی‌دار نشد ولی، اثر متقابل مقادیر و منابع کودی بر طول، عرض و وزن میوه معنی‌دار و بیش‌ترین میزان طول، عرض و وزن از سطح دوم گوگرد از منبع آلی حاصل شد که نسبت به شاهد به‌ترتیب ٧/١٣، ٤/٣٤ و ١٨/٥٢ درصد بیش‌تر بودند.

اثر تیمارها بر برخی ویژگی‌های کیفی میوه: نتایج تجزیه واریانس و میانگین اثر مقادیر و منابع گوگرد بر سفتی بافت میوه، pH، اسیدیته کل و مواد جامد محلول میوه در جدول‌های ٣ و ٥ نشان داده شده است. نتایج تجزیه و تحلیل آماری طرح نشان داد که تأثیر مقادیر، منابع و اثر متقابل مقادیر و منابع گوگرد بر سفتی بافت میوه سیب معنی‌دار نشد ($P\leq$٠/٠٥). pH میوه تحت‌تأثیر سطوح کودی گوگرد قرار گرفت و کم‌ترین مقدار آن در سطح دوم گوگرد مشاهده شد. مصرف بیش‌تر گوگرد کاهش بیش‌تر pH را در پی نداشت. تفاوت

معنی‌داری بین منابع گوگرد از نظر pH وجود نداشت. ولی تفاوت معنی‌داری در مورد اثرات متقابل مقادیر و منابع گوگرد بر pH میوه وجود داشته و کم‌ترین pH از سطح دوم گوگرد از منبع آلی حاصل شد. اثرات مستقل سطوح و منابع گوگرد بر اسیدیته کل میوه معنی‌دار نشد ولی، اثر متقابل آن‌ها در سطح پنج درصد معنی‌دار شده و بیش‌ترین مقدار اسیدیته کل از سطح دوم گوگرد از منبع آلی حاصل شد. با افزایش مقادیر مصرف گوگرد، درصد مواد جامد محلول افزایش یافت (جدول ۵). تأثیر منابع گوگرد بر درصد مواد جامد محلول معنی‌دار نشد. اثر متقابل مقادیر و منابع گوگرد بر درصد مواد جامد محلول در سطح پنج درصد معنی‌دار شده و بیش‌ترین مقدار مواد جامد محلول در سطح سوم گوگرد از منبع آلی به‌دست آمد که با همان تیمار سطوح گوگرد از منبع معدنی در یک کلاس آماری قرار گرفتند (جدول ۵).

اثر تیمارها بر pH ریزوسفر و قابلیت جذب عناصر فسفر، روی و آهن در خاک: هم‌چنان که در جدول‌های ۳ و ٦ مشاهده می‌گردد، اثرات مستقل مقادیر گوگرد بر pH خاک از نظر آماری معنی‌دار شد.

pH ریزوسفر با افزایش مصرف گوگرد به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافت ولی، روند کاهش آن در سطح دوم گوگرد نسبت به سطح سوم آن بیش‌تر بود. تفاوتی بین منابع گوگرد از این نظر مشاهده نشد. اثرات متقابل مقادیر و منابع گوگرد بر خصوصیت مذکور معنی‌دار و بیش‌ترین کاهش pH ریزوسفر، که نسبت به شاهد معادل ۱/۳ است، از سطح سوم گوگرد تأمین شده از منبع آلی به‌دست آمد که معادل ۱۵/۷٦ درصد بود (جدول‌های ۳ و ٦). قابلیت جذب عناصر فسفر، آهن و روی در خاک تحت‌تأثیر سطوح کودی گوگرد قرار گرفت و با افزایش مقادیر مصرف گوگرد قابلیت جذب آن‌ها افزایش یافت. تفاوت معنی‌داری نیز بین منابع گوگرد از نظر قابلیت جذب عناصر مذکور وجود داشت. در مورد عنصر فسفر، منبع معدنی بر منبع آلی برتری داشت ولی قابلیت جذب عناصر آهن و روی در تیمار منبع آلی بر تیمار منبع معدنی ارجحیت داشتند. اثرات متقابل مقادیر و منابع گوگرد بر قابلیت جذب عناصر فسفر، آهن و روی نیز معنی‌دار شد. بیش‌ترین مقدار فسفر قابل جذب خاک از سطح سوم گوگرد از منبع معدنی ولی بیش‌ترین مقادیر قابل‌جذب عناصر آهن و روی از سطح سوم گوگرد از منبع آلی به‌دست آمدند (جدول‌های ۳ و ٦).

جدول ٣- تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی در طی چهار سال (٨٦-١٣٨٢).

Table 3. The variance analysis of evaluated traits during four years (2003-2007).

منبع تغییر variation Source	درجه آزادی D_f	شاخص کلروفیل Chloro. index	طول میوه Fruit length	عرض میوه fruit width	وزن میوه Fruit weight	سفتی بافت Firmness	pH میوه Fruit pH	اسیدیته کل TA	جامد محلول TSS	pH ریزوسفر Rhizos. pH	فسفر خاک P_{ava}	آهن خاک DTPA-Fe
سال (Year)	3	303.96**	1.68**	1.35**	2385**	0.64**	0.15**	0.03**	63.24**	1.88**	13795**	35594**
سال × تکرار (Y.*Rep.)	8	15.69^{ns}	0.07*	0.09^{ns}	155*	0.26^{ns}	0.09**	0.004*	0.37^{ns}	0.14^{ns}	69.34**	1191^{ns}
سطوح گوگرد (S rates)	2	39.53*	0.27**	0.19*	124**	0.06^{ns}	0.04**	0.001^{ns}	4.95**	7.95**	79**	121**
سال × سطوح (Rates × Y.)	6	19.9^{ns}	0.41**	0.18**	343**	0.65**	0.46**	0.031**	3.64**	0.69**	609**	456**
منبع گوگرد (S source)	1	56.5*	0.006^{ns}	0.02^{ns}	22^{ns}	0.057^{ns}	0.002^{ns}	0.001^{ns}	0.13^{ns}	0.21^{ns}	115**	578**
سال × منبع (Y. × source)	3	8.53^{ns}	0.04^{ns}	0.06^{ns}	130^{ns}	0.13^{ns}	0.005**	0.007**	1.38^{ns}	0.27^{ns}	573.5**	122**
سطوح × منبع (rates × source)	2	36.4**	0.37**	0.11*	730**	0.01^{ns}	0.009**	0.006**	2.5*	0.63*	33**	23**
سال × سطوح × منبع (Y. × rate × source)	6	8.09^{ns}	0.3**	0.08^{ns}	63**	0.03^{ns}	0.004**	0.004**	0.64^{ns}	0.32^{ns}	16**	73**
خطا (Error)	40	9.6	0.03	0.04	58	0.12	0.001	0.001	0.52	0.19	15.34	159
ضریب تغییرات (CV, %)	-	7.4	2.4	3.04	5.09	6.3	0.96	7.69	5.2	5.8	2.4	13.8

ادامه جدول ۳-

Continue Table 3.

منبع تغییر variation Source	روی خاک DTPA-Zn	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	کلسیم Ca	منیزیم Mg	آهن Fe	منگنز Mn	روی Zn	مس Cu
					برگ (Leaf)					
سال (Year)	633**	0.51**	0.054**	1.6**	1.2**	0.006**	329**	859.6**	358.6**	18.7*
سال × تکرار (Y.*Rep.)	15^{ns}	0.02**	0.004**	0.03**	0.03*	0.005**	7.04**	1.6**	1.07**	1.01**
سطوح گوگرد (S rates)	734**	0.03**	0.006**	0.006*	0.009^{ns}	0.0001^{ns}	74**	6.4**	165.9**	2.7**
سال × سطوح (Rates × Y.)	36**	0.10**	0.005**	0.172**	0.041*	0.001**	24**	32.9**	144.1**	3.5**
منبع گوگرد (S source)	145**	0.25**	0.002*	0.08**	0.009^{ns}	0.0001^{ns}	728**	47.5**	78.1**	0.08^{ns}
سال × منبع (Y. × source)	99**	0.005^{ns}	0.001^{ns}	0.0017**	0.005^{ns}	0.009**	74**	13.89**	59.7**	1.02**
سطوح × منبع (rates × source)	56**	0.06**	0.002**	0.17**	.04^{ns}	0.0001^{ns}	604**	23.4**	102.2**	9.9**
سال × سطوح × منبع (Y. × rate × source)	49**	0.12**	0.001^{ns}	0.071**	0.032^{ns}	0.001**	56**	15.5**	61.3**	1.55**
خطا (Error)	16.56	0.003	0.0009	0.001	0.016	0.0001	0.05	0.5	0.18	0.04
ضریب تغییرات (CV, %)	2.5	2.4	8.07	1.7	7.5	1.6	0.06	1.9	1.3	1.7

*، ** و ^{ns} به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد و غیرمعنی‌دار.

*, **, ^{ns} means significant in 1 and 5 percent level and no significant, respectively.

جدول ٤- میانگین اثر تیمارها بر شاخص کلروفیل برگ، طول، عرض و وزن میوه (٨٦-١٣٨٢).

Table 4. Mean of treatments effect on chlorophyll content, length, width and weight of the fruit (2003-2007).

ویژگی Property	مقدار Rate	منبع Source	معدنی Mineral	آلی Organic	میانگین Average
شاخص کلروفیل Chlorophyll index	S_0		40.41 B*	40.39 B	40.40 B
	S_1		41.34 B	44.59 B	42.97 B
	S_2		40.67 B	42.75 B	41.71 B
	میانگین Average		40.81 B	42.58 B	
طول میوه Fruit Length (cm)	S_0		6.71 B	6.45 C	6.58 B
	S_1		6.68 B	6.91 A	6.79 A
	S_2		6.72 B	6.71 B	6.71 A
	میانگین Average		6.70 A	6.68 A	
عرض میوه Fruit width (cm)	S_0		7.08 AB	6.91 B	6.99 B
	S_1		7.13 A	7.21 A	7.17 A
	S_2		7.07 AB	7.08 AB	7.08 AB
	میانگین Average		7.09 A	7.07 A	
وزن میوه Fruit weight (cm)	S_0		151.00 B	136.60 C	143.80 C
	S_1		152.70 B	161.90 A	157.30 C
	S_2		149.30 B	151.10 B	151.20 B
	میانگین Average		151.00 A	149.88 A	

جدول ٥- میانگین اثر تیمارها بر برخی خواص کیفی میوه سیب (٨٦-١٣٨٢).

Table 5. Mean of treatments effect on some quality properties of fruit (2003-2007).

ویژگی Property	مقدار Rate	منبع Source	معدنی Mineral	آلی Organic	میانگین Average
سفتی (N) Firmness	S_0		5.59 A*	5.58 A	5.58 A
	S_1		5.67 A	5.59 A	5.64 A
	S_2		5.57 A	5.51 A	5.54 A
	میانگین Average		5.62 A	5.56 A	
pH میوه Fruit pH	S_0		3.65 A	3.65 A	3.65 A
	S_1		3.60 B	3.54 C	3.57 C
	S_2		3.62 B	3.62 B	3.62 B
	میانگین Average		3.63 A	3.60 A	
اسیدیته کل Total acidity (٪)	S_0		0.47 AB	0.45 BC	0.46 A
	S_1		0.44 BC	0.48 A	0.46 A
	S_2		0.46 ABC	0.44 C	0.45 A
	میانگین Average		0.46 A	0.46 A	
مواد جامد محلول TSS	S_0		13.69 B	13.84 B	13.77 B
	S_1		14.02 AB	13.61 B	13.81 B
	S_2		14.57 A	14.57 A	14.57 A
	میانگین Average		14.09 A	14.00 A	

* حروف بزرگ مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد است.

* Similar letters indicate no significant differences in 5% level.

اثر تیمارها بر غلظت عناصر غذایی در بـرگ: نتـایج تجزیه واریانس و میانگین اثر تیمارها بر غلظت عناصر پرمصرف در برگ در جـدول‌هـای ۳ و ۷ ارائـه شـده است. بر اساس نتایج حاصله، اثر سطوح کودی گوگرد بر غلظت نیتروژن معنی‌دار و بیش‌ترین غلظت نیتروژن برگ از سطح دوم تیمار گوگرد به‌دست آمد. اثر منـابع گوگرد نیز بر غلظت نیتروژن برگ معنی‌دار و منبع آلی نسبت به منبع معدنی موجب افزایش بیش‌تر نیتـروژن برگ شد. بیش‌ترین غلظت نیتروژن برگ در تیمار سطح دوم گوگرد از منبع آلی به‌دست آمد که نسبت به شاهد ۸/۱۳ درصد غلظت نیتروژن برگ را افزایش داد. غلظت فسفر تحت‌تأثیر سطوح کودی گـوگرد قـرار گرفتـه و سطوح سوم گوگرد، غلظـت فـسفر را بـه‌طـور کـاملاً معنی‌داری افزایش داد (جدول‌های ۳ و ۷).

جدول ٦- میانگین اثر تیمارها بر pH ریزوسفر و قابلیت جذب عناصر فسفر، روی و آهن در خاک (٨٦-١٣٨٢).

Table 6. Mean of treatments effect on rhizosphere pH and available phosphorus, zinc and iron in the soil (2003-2007).

ویژگی Property	مقدار Rate	منبع Source	معدنی Mineral	آلی Organic	میانگین Average
pH ریزوسفر Rhizosphere pH		S_0	8.28 A*	8.25 A	8.27 A
		S_1	7.32 B	7.28 B	7.4 B
		S_2	7.42 B	6.95 C	7.18 B
		میانگین Average	7.67 A	7.56 A	
فسفر خاک P_{ava} ($mg\ kg^{-1}$)		S_0	16.37 BC	11.63 D	14.10 C
		S_1	16.57 B	16.13 C	16.25 B
		S_2	18.93 A	16.53 BC	17.73 A
		میانگین Average	17.29 A	14.76 B	
آهن خاک DTPA-Zn ($mg\ kg^{-1}$)		S_0	3.44 E	3.70 DE	3.57 C
		S_1	4.33 CD	4.9 C	4.62 B
		S_2	7.40 C	11.03 A	9.22 A
		میانگین Average	5.05B	6.54 A	
روی خاک DTPA-Zn ($mg\ kg^{-1}$)		S_0	2.91 DE	2.86 E	2.89 C
		S_1	3.05 C	2.99 CD	3.02 B
		S_2	3.65 B	4.16 A	3.91 A
		میانگین Average	3.20 B	3.34 A	

* حروف بزرگ مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد است.

* Similar letters indicate no significant differences in 5% level.

اثر منابع گوگرد نیز بر غلظـت فـسفر معنـی‌دار و غلظت فسفر برگ در تیمار منبع معدنی بیش‌تر از منبع آلی بود. اثرات متقابل منابع در مقادیر گوگرد معنی‌دار و با مصرف گـوگرد از هـر دو منبـع معـدنی، غلظـت فسفر برگ به‌طور یکسان افزایش یافت. غلظت پتاسیم با افزایش سطوح گوگرد افزایش یافتـه و بـیش‌تـرین مقدار آن در سطح دوم تیمار گوگرد به‌دست آمد که با سطح سوم آن در یـک کـلاس آمـاری قـرار گرفتنـد. تفاوت معنی‌داری نیز بین منابع تامین گـوگرد از نظـر غلظت پتاسیم برگ مشاهده شد و غلظت آن در منبـع معدنی گوگرد بیش از منبع آلی بود. بیش‌ترین غلظـت پتاسیم برگ در تیمار سطح دوم گوگرد از منبع معدنی به‌دست آمد که به تنهایی در یک کلاس آمـاری قـرار داشـت و نـسبت بـه شـاهد ۷/۳٤٪ بـیش‌تـر بـود

(جدول‌های ٣ و ٦). اثرات مستقل و متقابل مقادیر و منابع گوگرد بر هیچ‌کدام از غلظت‌های عناصر منیزیم و کلسیم برگ معنی‌دار نشد ($P\leq ۰/۰۵$).

اثر تیمارها بر غلظت عناصر غذایی کم‌مصرف در برگ: نتایج تجزیه واریانس و میانگین اثر تیمارها بر غلظت عناصر کم‌مصرف در برگ به‌ترتیب در جدول‌های ٣ و ٨ آورده شده است. هم‌چنان که در جداول مذکور مشاهده می‌گردد اثر تیمارهای سطوح گوگرد بر غلظت عنصر آهن برگ معنی‌دار و با افزایش سطوح گوگرد، یک روند افزایشی را نشان داد. بیش‌ترین غلظت آهن در تیمار سطح سوم گوگرد به‌دست آمد که نسبت به شاهد ١٥٨ درصد افزایش یافت. تفاوت معنی‌داری بین منابع تامین گوگرد مشاهده نشد. اثرات متقابل تیمارها بر غلظت آهن در برگ کاملاً معنی‌دار و بیش‌ترین غلظت آهن در برگ در سطح سوم تیمار گوگرد از منبع آلی حاصل شد که به تنهایی در یک کلاس آماری قرار گرفت و نسبت به شاهد ١٩٨ درصد افزایش نشان داد. غلظت منگنز برگ نیز با افزایش سطوح گوگرد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و بیش‌ترین غلظت آن در سطح سوم منگنز به‌دست آمد. تأثیر منابع گوگرد بر غلظت منگنز برگ معنی‌دار بوده و غلظت آن در تیمار منبع آلی بیش‌تر بود. همچنین اثرات متقابل منابع و مقادیر گوگرد بر غلظت منگنز معنی‌دار و بیش‌ترین غلظت منگنز در تیمار سطح دوم گوگرد از منبع آلی به‌دست آمد که با سطح سوم گوگرد از همان منبع در یک کلاس آماری قرار گرفتند (جدول‌های ٣ و ٨).

جدول ٧- میانگین اثر تیمارها بر غلظت عناصر پرمصرف (٪) در برگ (٨٦-١٣٨٢).

Table 7. Mean of treatments effect on the macronutrients concentration (%) in leaf (2003-2007).

عنصر غذایی Nutrient	مقدار Rate	منبع Source	معدنی Mineral	آلی Organic	میانگین Average
نیتروژن (N)		S_0	2.09 C*	2.09 C	2.09 B
		S_1	2.06 CD	2.26 A	2.16 A
		S_2	2.02 D	2.18 B	2.10 B
		میانگین Average	2.05 B	2.17 A	
فسفر (p)		S_0	0.23 A	0.23 A	0.23 A
		S_1	0.20 B	0.20 B	0.20 A
		S_2	0.20 B	0.20 B	0.20A
		میانگین Average	0.22 A	0.21 B	
پتاسیم (k)		S_0	2.18 C	2.18 C	2.18 B
		S_1	2.34 A	2.08 D	2.21 A
		S_2	2.16 C	2.23 D	2.19 AB
		میانگین Average	2.23 A	2.16 B	
کلسیم (Ca)		S_0	1.67 A	1.70 A	1.68 A
		S_1	1.69 A	1.60 A	1.65 A
		S_2	1.64 A	1.69 A	1.66 A
		میانگین Average	1.67 A	1.66 A	
منیزیم (Mg)		S_0	0.32	0.32 A	0.32 A
		S_1	0.33 A	0.33 A	0.33 A
		S_2	0.33 A	0.33A	0.33 A
		میانگین Average	0.33 A	0.33A	

* حروف بزرگ مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد است.

* Similar letters indicate no significant differences in 5% level.

اثرات مستقل سطوح گوگرد بر غلظت روی در برگ معنی‌دار و بیش‌ترین غلظت روی در سطح سوم گوگرد به‌دست آمد. همچنین تفاوت معنی‌داری بین منابع گوگرد از این لحاظ وجود داشت و غلظت روی در منبع آلی نسبت به منبع معدنی بیش‌تر بود. اثرات متقابل مقادیر و منابع گوگرد بر غلظت روی برگ نیز معنی‌دار و بیش‌ترین غلظت روی در تیمار سطح سوم گوگرد از منبع آلی به‌دست آمد (جدول‌های ۳ و ۸). اثر سطوح گوگرد بر غلظت مس برگ کاملاً معنی‌دار و مقدار آن در سطح دوم گوگرد بیش‌تر بود. تفاوت معنی‌داری بین منابع تامین گوگرد مشاهده نشد ولی، اثرات متقابل مقادیر و منابع گوگرد بر غلظت مس در برگ معنی‌دار و غلظت آن در تیمار سطح دوم گوگرد از منبع آلی بیش‌تر بود.

بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که با مصرف گوگرد، شاخص کلروفیل برگ افزایش یافت (جدول ٤). در شرایط کمبود گوگرد، پایین بودن مقدار کلروفیل یکی از ناهنجاری‌های مهم گیاهان است. چنین عارضه‌ای به‌ویژه در برگ‌هایی که بخش قابل‌توجهی از پروتئین‌های آن در کلروپلاست سلول‌ها تجمع یافته‌اند، بیش‌تر مشاهده می‌شود. در نتیجه بروز کمبود گوگرد در گیاه نه تنها از سنتز پروتئین‌های حاوی اسیدهای آمینه سیستئین و متیونین ممانعت می‌شود بلکه، مقدار کلروفیل برگ نیز به طرز مشابهی کاهش می‌یابد (۲۵).

جدول ۸- میانگین اثر تیمارها بر غلظت عناصر کم‌مصرف ($mg\ kg^{-1}$) در برگ‌ها (۸۶-۱۳۸۲).

Table 8. Mean of treatments effect on micronutrients concentration ($mg\ kg^{-1}$) in leaves (2003-2007).

عنصر غذایی Nutrient	مقدار Rate	منبع Source	معدنی Mineral	آلی Organic	میانگین Average
آهن (Fe)		S_0	345.62 D*	345.63 D	345.62 C
		S_1	345.80 D	346.95 D	346.37 B
		S_2	367.49 B	385.43 A	376.45 A
		میانگین Average	352.96 A	359.33 A	
منگنز (Mn)		S_0	37.5 BC	37.5 BC	37.5 BC
		S_1	36.75 CD	37.80 B	37.27 B
		S_2	36.35 D	40.17 A	38.26 A
		میانگین Average	36.87 B	38.49 A	
روی (Zn)		S_0	28.65 D	29.27 C	29.44 C
		S_1	29.62 C	34.57 B	32.07 B
		S_2	34.82 B	35.50 A	34.70 A
		میانگین Average	31.03 B	33.11 A	
مس (Cu)		S_0	11.48 CD	1143 D	11.45 B
		S_1	11.73 B	12.23 A	11.97 A
		S_2	11.68 BC	11.03 E	11.35 B
		میانگین Average	11.62 A	11.56 A	

* حروف بزرگ مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد است.

* Similar letters indicate no significant differences in 5% level.

معمولاً مقدار کلروفیل برگ به‌عنوان معیاری مهم برای تولید محصول و شرایط رشد محصولات دائمی در نظر گرفته می‌شود. بنابراین، افزایش مقدار آن بیانگر بهبود تولید محصول و شرایط رشد سیب است. افزایش شاخص کلروفیل برگ ناشی از اثرات تیمارهای کوددهی گوگرد به‌طور مستقیم به افزایش غلظت گوگرد در سیب و ارتقاء توازن تغذیه‌ای آن و به‌طور غیرمستقیم به تأثیر آن بر برخی خصوصیات شیمیایی محیط ریزوسفر گیاه مربوط می‌شود. با در نظر گرفتن غلظت بهینه گوگرد در سیب که در محدوده ٠/٤-٠/٢ درصد برآورد شده است (١٨)، چنین استنباط می‌گردد که قدرت بافری خاک از نظر عرضه گوگرد قابل جذب به محیط ریشه گیاه در شرایط بهینه‌ای قرار داشت. به‌طوری‌که غلظت گوگرد در تیمار شاهد در حد بهینه بوده (جدول ٧) و بعید به‌نظر می‌رسد که تحت چنین شرایطی افزایش شاخص کلروفیل تحت‌تأثیر غلظت گوگرد برگ قرار داشته باشد. از طرفی گوگرد موجب تغییرات معنی‌داری در غلظت عناصر نیتروژن، پتاسیم، روی، منگنز، مس و آهن برگ شده و با افزایش مقادیر گوگرد مصرفی غلظت آن‌ها در برگ به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش داشته است. نتایج بررسی‌ها نشان داده است که از نظر متابولیکی بین عناصر گوگرد و نیتروژن ارتباط مثبت و معنی‌داری وجود دارد (١). مصرف گوگرد میزان کارایی جذب نیتروژن را افزایش داده و تلفات آن را از سیستم خاک- آب- گیاه کاهش می‌دهد (١٠). نتایج مشابهی نیز در رابطه با تأثیر مثبت گوگرد در افزایش غلظت فسفر، پتاسیم، روی و منگنز در برگ و میوه خرما در خاک‌های آهکی گزارش شده است (١٩). بنابراین، می‌توان انتظار داشت که در خاک‌های آهکی گوگرد نقش مستقیمی در بهبود تعادل تغذیه‌ای درختان سیب داشته و افزایش میزان شاخص کلروفیل برگ نیز می‌تواند ناشی از این عامل باشد. از دلایل دیگر این موضوع، می‌توان به افزایش ابعاد میوه سیب ناشی از مصرف گوگرد (جدول ٤) اشاره نمود که ارتباط مستقیمی با شاخص تعادل تغذیه‌ای سیب دارد. متأسفانه به‌دلیل عدم برآورد نرم‌های سیستم تلفیقی تشخیص و توصیه[1] برای باغات سیب استان امکان برآورد شاخص مذکور مقدور نبوده و بنابراین نمی‌توان بر اساس محاسبات کمی اظهار نظر نمود ولی وجود چنین رابطه مثبت و معنی‌داری بین توازن تغذیه‌ای گیاه و عملکرد محصول به اثبات رسیده و معمولاً هرچه این توازن بیش‌تر باشد، عملکرد محصول نیز بیش‌تر است (٢٦). نتایج مذکور با نتایج رام و همکاران (٢٠٠٦) مطابقت دارد (٣٢).

اثر غیرمستقیم گوگرد بر بهبود شرایط تغذیه‌ای سیب می‌تواند به تأثیر آن بر کاهش pH موضعی خاک ناشی از اکسیداسیون بیولوژیکی عنصر گوگرد مربوط باشد. فسفر اندازه‌گیری شده به روش اولسن در خاک، معیاری از فسفر قابل دسترس خاک است. کوددهی گوگرد تا حد ٤ کیلوگرم به همراه باکتری‌های تیوباسیلوس به‌ازای هر درخت به‌طور معنی‌داری غلظت فسفر قابل دسترس[2] خاک را در طی مدت ١٢ ماه افزایش داد (جدول ٦) که نشان‌دهنده نقش مهم گوگرد و باکتری‌های تیوباسیلوس در افزایش قابلیت استفاده فسفر در خاک است (٣٣، ٩). دو مکانیسم برای نقش گوگرد در افزایش قابلیت استفاده عناصر به‌ویژه فسفر وجود دارد: ١- کاهش pH (١٣) و ٢- جانشینی PO_4^{2-} با SO_4^{2-} و رهاسازی فسفر از پیوند با ذرات کلوئیدی خاک و ترکیبات کلسیم (١٦، ٣٩). این نتایج به واسطه این واقعیت که فسفر قابل دسترس به‌طور هماهنگی با کاهش pH افزایش یافت با نتایج فوق مطابقت دارد (جدول ٦). روند افزایش

1- Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS)
2- Labile-P

قابلیت جذب فسفر در سطح اول گوگرد بیش از سطح دوم آن بود. این مطلب مؤید این نکته است که تأثیر گوگرد روی کاهش pH خاک توسط ظرفیت بافری بالای خاک‌های آهکی محدود می‌شود (۳۷، ۱٦). افزایش قابلیت جذب عناصر روی و آهن در نتیجه مصرف گوگرد نیز می‌تواند با اثرات جانبی آن بر کاهش pH محیط ریزوسفر ریشه گیاه مربوط باشد (جدول ٦). مقدار متوسط روی در خاک‌ها ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک برآورد شده است (۲۲). بخش عمده ترکیبات معدنی روی در خاک غیرمحلول بوده و در نتیجه تأمین‌کننده نیاز گیاهان نیست. نتایج بررسی‌ها نشان داده است که pH تاثیر مستقیمی روی حلالیت عنصر روی دارد به‌طوری‌که، حلالیت آن به‌ازای کاهش یک واحد pH، ۱۰۰ مرتبه افزایش می‌یابد (۲۲). آهن نیز یکی از عناصر غالب در خاک بوده و مقدار متوسط آن در خاک‌ها در حدود ۳/۸٪ تخمین زده می‌شود. در طی مراحل هوادیدگی ترکیبات معدنی اولیه آهن به‌صورت ترکیبات اکسید و هیدروکسیدهای فریک (Fe^{3+}) رسوب می‌کنند. این شکل آهن برای گیاهان غیرقابل جذب است. حلالیت Fe^{3+} موجود در ترکیبات اکسیدی به‌ازای کاهش هر واحد pH در حدود ۱۰۰۰ مرتبه افزایش می‌یابد (۲۲). بنابراین، افزایش بیش‌تر قابلیت جذب آهن نسبت به عنصر روی با توجه به وابستگی رفتار شیمیایی آن‌ها به pH خاک قابل درک است.

قابلیت جذب عناصر آهن و روی در منبع آلی گوگرد بیش از منبع معدنی آن بود (جدول ٦). چنین نتیجه‌ای احتمالاً هم به‌علت وجود عناصر مذکور در ترکیبات منبع آلی گوگرد و هم ناشی از تشکیل کلات‌های این عناصر در محیط ریزوسفر گیاه از منبع آلی است. هر دو مکانیسم به‌طور هم‌زمان بر قابلیت جذب عناصر مذکور تأثیر گذاشته و مقدار آن را افزایش می‌دهند (٦، ۲۰). از طرف دیگر، منبع گوگرد آلی ممکن است بستر مناسب‌تری برای فعالیت باکتری‌های تیوباسیلوس فراهم آورد. چنین استنباط می‌گردد که اساساً ترکیبات آلی موجود در گوگرد آلی بر فعالیت باکتری‌های تیوباسیلوس به‌طور مستقیم نقشی نداشته باشند زیرا این باکتری‌ها شیمیولیتوتروف بوده و انرژی مورد نیاز خود را از اکسیداسیون ترکیبات معدنی به‌دست می‌آورند (۱۵). در هر صورت ضروری است پژوهش‌های آتی در این زمینه ادامه یابد.

pH میوه و اسیدیته کل آن تحت‌تأثیر تیمارهای گوگرد قرار گرفت و با مصرف آن به‌ویژه از منبع آلی، pH آب میوه کاهش و اسیدیته کل آن افزایش نشان داد (جدول ۵). اسیدیته کل و pH از ویژگی‌های بسیار مهم آب میوه سیب در صنایع تبدیلی است. pH آب میوه سیب مستقیماً بر فعالیت‌های بیوشیمیایی تخمیر سیب تأثیر می‌گذارد. تغییرات آن معمولاً در محدوده ٤/۵-۳ بوده و اگر مقدار آن بیش‌تر از ۳/۸ باشد معمولاً با اضافه کردن اسید مالیک و سپس SO_2 به پایین‌تر از ۳/۸ کاهش می‌دهند (۱۷). نتایج این پژوهش نشان داد که مصرف گوگرد در محیط ریزوسفر موجب کاهش معنی‌دار pH و افزایش اسیدیته کل آب میوه می‌گردد. با مصرف گوگرد، مواد جامد محلول در میوه سیب افزایش یافت (جدول ۵). تغییرات مواد جامد محلول با تغییرات وزن میوه سیب (جدول ۵) متأثر از مصرف گوگرد هماهنگ بود. نتایج بررسی‌ها نشان داده است که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین مواد جامد محلول میوه سیب با اندازه میوه‌ها وجود داشته و با افزایش طول مدت دوره رشد به‌طور هماهنگی افزایش می‌یابند (۳٤).

سفتی بافت میوه یکی دیگر از خصوصیات کیفی میوه سیب بوده که بسیار مورد توجه باغداران منطقه است. نتایج این پژوهش نشان داد که سفتی بافت میوه تحت‌تأثیر مصرف گوگرد قرار نگرفت. معمولاً

میوه‌های سیب با درجه کم‌تر از ٤/٥ نیوتن توسط مشتریان مورد پذیرش قرار نگرفته و بنابراین، حداقل سطح سفتی قابل پذیرش برای بسیاری از ارقام سیب این مقدار در نظر گرفته می‌شود (٣٠). هر چند که مصرف گوگرد تأثیری بر سفتی بافت میوه نداشت ولی مقدار آن در تمامی تیمارها به‌طور طبیعی بالا بوده و به‌طور متوسط معادل ٥/٥٩ نیوتن بود (جدول ٦). عدم تأثیر مصرف گوگرد بر سفتی بافت میوه با نتایج تأثیر تیمارهای گوگرد بر غلظت کلسیم در برگ هماهنگ بود. گزارش‌هایی مبنی بر نقش کلسیم بر سفتی بافت میوه وجود داشته که مؤید تأثیر مثبت آن بر افزایش سفتی بافت میوه سیب است (٣١). از طرفی، نتایج بررسی‌ها نشان داده است که نیتروژن در افزایش اندازه میوه سیب نقش داشته و غلظت‌های بالای آن در سیب منجر به بروز عوارض فیزیولوژیک کمبود کلسیم و کاهش سفتی میوه سیب می‌گردد (٨). نتایج این پژوهش نشان داد که هر چند مصرف گوگرد، افزایش غلظت نیتروژن برگ را به همراه داشت ولی افزایش غلظت نیتروژن آن تأثیری بر سفتی بافت میوه نداشت. پژوهشگران بر این باورند که وجود غلظت‌های متعادل نیتروژن در سیب بر کاهش سفتی بافت میوه بی‌تأثیر بوده و عوارض فیزیولوژیک مذکور فقط در شرایط مصرف بی‌رویه کودهای نیتروژنی و در نتیجه بالا رفتن زیاد غلظت این عنصر در میوه بروز می‌کند (٢٧).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که pH موضعی خاک و قابلیت استفاده عناصر فسفر، روی و آهن در خاک به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر سطوح مصرف گوگرد قرار گرفتند. کم‌ترین pH و بالاترین مقادیر قابلیت استفاده عناصر مذکور با مصرف ٤ کیلوگرم گوگرد عنصری به‌ازای هر درخت سیب به‌دست آمد. نتایج تجزیه برگ بیانگر وجود رابطه مستقیم بین سطوح مصرف گوگرد و غلظت عناصر معدنی برگ بود. مقادیر عناصر گوگرد، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، منگنز و مس با مصرف گوگرد نسبت به شرایط عدم مصرف آن (تیمار شاهد) افزایش یافت. این مطلب اثبات می‌کند که اضافه کردن گوگرد به محیط ریزوسفر درختان سیب در خاک‌های آهکی نقشی انکارناپذیر در جذب سایر عناصر غذایی مورد نیاز گیاه داشته و می‌تواند به ارتقاء تعادل تغذیه‌ای گیاه منجر شود. از نتایج بارز چنین تأثیر مثبتی می‌توان به بهبود رشد درختان (افزایش کلروفیل برگ)، بهبود شاخص‌های کیفی میوه مانند وزن و اندازه آن، درصد مواد جامد محلول، pH و اسیدیته کل میوه اشاره نمود که با افزایش سطوح گوگرد مرتبط بود. تامین گوگرد از منابع آلی احتمالاً به‌دلیل فراهم کردن بستر مناسب برای فعالیت باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد، تشکیل کلات‌های عناصر و تحرک بیشتر آن‌ها در محیط ریزوسفر گیاه بر منبع معدنی گوگرد ارجحیت دارد. این مطلب، به‌ویژه از نظر قابلیت جذب عناصر روی، آهن، منگنز و مس در خاک و بهبود وضعیت تعادل عناصر غذایی در برگ، با توجه به کمبود شدید این عناصر در باغات منطقه (٢٣)، حائز اهمیت است. به‌طورکلی، چنین به‌نظر می‌رسد که تیمار ٢ کیلوگرم گوگرد خالص از منبع آلی نه تنها بیش‌ترین تأثیر را بر رشد و عملکرد محصول داشته است بلکه موجب ارتقاء کیفیت میوه سیب تحت شرایط این آزمایش عمدتاً به‌دلیل بهبود ویژگی‌های شیمیایی خاک شده است.

منابع

1.Amancio, S., Diogo, E., and Clarkson, D.T. 1998. Interaction between nitrogen and sulghur metabolism: metabolic pathway and its regulation. Plant Sulfur Research Fundamental, Agronomical and Environmental Aspects of Sulfur Nutrition and Assimilation in Plants. Available at: http://www.cost829.org/reports/sia1.htm.

2.Aliehyaie, M. 1997. The Description of Soil Chemical Analysis Methods, part 2. Technical Pub No: 1024, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Organization, Agriculture Ministry. Tehran, Iran. (In Persian)

3.Aliehyaie, M., and Behbahanizada, A.A. 1993. The Description of Soil Chemical Analysis Methods, part 1 Technical Pub No: 983, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Organization, Agriculture Ministry. Tehran, Iran. (In Persian)

4.Arai, Y., and Sparks, D.L. 2007. Phosphate reaction dynamics in soils and soil minerals: a multiscale approach. Advanced Agronomy. 94: 135-179.

5.Bakhtiari, V., Malakouti, M.J., Khavazi, K., and Baibordi, A. 2001. Replacement of golden biophosphate for triple superphosphate in apple orchards of Iran. J. Soil Water Sci. 12: 14. 235-242. (In Persian)

6.Benbia, D.K., and Brar, S.P.S. 1992. Dependence of DTPA-extractable Zn, Fe, Mn and Cu availability on organic carbon presence in arid and semiarid soils of Punjab. Arid Soil Research and Rehabilitation. 6: 207-216.

7.Bhatti, T.M., and Yawar, W. 2010. Bacterial solubilization of phosphorus from phosphate rock containing sulfur-mud. Hydrometallurgy. 103: 54-59.

8.Bramlage, W.J., Drake, M., and Lord, W.J. 1980. The influence of mineral nutrition onthe quality and storage performance of pome fruits grown in North America. Acta Horticulture. 92: 29-40.

9.Codling, E.E. 2008. Effects of soil acidity and cropping on solubility of by-product-immobilized phosphorus and extractable aluminum, calcium, and iron from two high-phosphorus soils. Soil Science. 173: 552-559.

10.Brown, L., Jewjes, E.C., and Scholefield, D. 1999. The effect of sulfur application on efficiency of nitrogen use in grassland: some preliminary results. Accounting for Nutrients BGS Occasional Symposium. 33: 63-67.

11.Emami, A. 1994. Methods of plant analysis (Vol. 1). Soil and Water Research Institute, No. 982, Tehran, Iran, 128p. (In Persian)

12.Eriksen, J., Olesen, J.E., and Askegaard, M. 2002. Sulphate leaching and sulphur balances of an organic crop rotation on three Danish soils. Europ. J. Agron. 17: 1-9.

13.Gabriel, M., Redfield, G., and Rumbold, D. 2008. Sulfur as a regional water quality concern in south Florida. South Florida Envirnmental Report, South Florida Water Management District, West Palm Beach. FL. Appendix.3B-2.

14.Ghaemian, N. 2000. Update of soil semi-detailed survey of southern Urmia plain. Technical Publication No: 102/79/1532. Agricultural Research Center of West Azerbaijan, Urmia, Iran, 87p. (In Persian)

15.Heydarnezhad, F., Shahinrokhsar, P., Shokri Vahed, H., and Besharati, H. 2012. Influence of Elemental Sulfur and Sulfur Oxidizing Bacteria on Some Nutrient Deficiency in Calcareous Soils. Inter. J. Agric. Crop Sci. 4: 12. 735-739.

16.Jaggi, R.C., Aulakh, M.S., and Sharma, A.R. 2005. Impacts of elemental S applied under various temperature and moisture regimes on pH and available P in acidic, neutral and alkaline soils. Biology and Fertility of Soils. 41: 52-58.

17.Jolicoeur, C. 2013. Acidity and pH of apple juice. Available at: http:// cjoliprsf.awardspace.biz./

18.Jones, J.B., Wolf, J.B., and Mills, H.A. 1991. Plant analysis Handbook: a practical sampling, preparation, analysis ,and interpretation guide. Micro-Macro Publishing, Inc.

19.Kassem, H.A. 2012. The response of date palm to calcareous soil fertilization. J. Soil Sci. Plant Nutr. 12: 45-58.

20.Kumar, M., and Babel, A.L. 2011. Available micronutrient status and their relationship with soil properties of Jhunjhunu Tehsil, District Jhunjhunu, Rajasthan, India. J. Agric. Sci. 3: 97-106.
21.Lin, C.S., and Bnns, M.R. 1988. A method of analysis cultivars location year experiments: A new stability parameter. Theoretical and Applied Genetics. 76: 425-430.
22.Lindsay, W.L. 1979. Chemical Equilibria in Soils. John Wiley and Sons, Inc. USA.
23.Majidi, A. 2013. Assessing the nutritional status of apple orchards in western Azerbaijan, and guidelines to improve the quantity and quality of product. The First Scientific Conference on Agricultural and Rural Development with a Focus on National Production, Piranshahr, Iran. (In Persian)
24.Malakouti, M.J., Moshiri, F., Ghibi, M.N., and Molavi, S. 2005. Optimal nutrient concentration in the soil and some horticultural products (Part I). Council of Policy Development and Optimal Use of Fertilizers, Pesticides and Biological Materials Used in Agriculture. Technical Publication. No. 406, Sana Publications, Tehran, Iran. (In Persian)
25.Marschner, H. 1995. Mineral nutritionof higher plants. 2ed. Elsevier Ltd.
26.Nachtigall, G.R., and Dechen, A.R. 2007. DRIS norms for evaluating the nutritional state of apple tree. Science of Agriculture. 64: 282-287.
27.Opara, L.U., Studman,C.J., and Banks, N.H. 1997. Physico-mechanical properties of 'Gala' apples and stem-end splitting as influenced by orchard management practices and harvest date. J. Agric. Engin. Res. 68: 139-146.
28.Pasandidah, M., Nourgholipor, F., and Besharati, H. 2010. Comparing effects of treated rock phosphate and TSP on soil P availability and P concentration in apple (Malus pumila) trees. J. Res. Agric. Sci. 6: 11-18.
29.Peterson, A.B., Robert, G.S., and Bramlage, W.J. 1994. Tree Fruit Nutrition: A Comprehensive Manual of DeciduousTree Fruit Nutrient Needs Good Fruit Growers, Washington State Fruit Commission. USA.
30.Prange, R.K., Meheriuk, M., Lougheed, E.C., and Lidster, P.D. 1993. Harvest and storage. Pp 64-69, In: C.G. Embree (Ed.), Producing Apples in Eastern and Central Canada. Agriculture Canada, Publication 1899/E.
31.Raese, J.T., and Drake, S.R. 1993. Effects of preharvest calcium sprays on apple and pear quality. J. Plant Nutr. 16: 1807-1819.
32.Ram, K., Praveen, R., Narayan, N., and Mahesh, M. 2006. Effect of sulfur and iron on enzymatic activity and chlorophyll content of Mungbean. J. Plant Nutr. 29: 1451-1467.
33.Rongzhong Ye, J., McCray, M., and Wright, A.L. 2011. Microbial response of a calcareous Histosol to sulfur amendment. Soil Science. 176: 479-486.
34.Rutkowski, K.P., Michalczuk, B., and Konopacki, P. 2008. Nondestructive determination of Golden Delicious apple quality and hervest maturity. J. Fruit Ornamen. Plant Res. 16: 39-52.
35.Samar, S.M., and Shahabian, M. 2003. Effect of organic manure enrichment with sulfur and sulfate on increasing availibility of iron in a calcareous soil. National Seminar of production and application of sulfur in the country. Mashhad, Iran. (In Persian)
36.Sarcheshmapoor, M. 2003. Sulfur nutrition of pistachio orchards in Kerman and necessity of sulfur application method amendment. National Seminar of production and application of sulfur in the country. Mashhad, Iran. (In Persian)
37.Snyder, G.H. 2005. Everglades Agricultural Area soil subsidence and land use projections. Soil Crop Science Society, Florida Proceeding. 64: 44-51.
38.Stamford, N.P., Santos, P.R., Moura, A.M., Santos, C.E.S., and Freitas, A.D.S. 2003. Biofertilizer with natural phosphate, sulphur and Acidithiobacillus in a soil with low available-P. Science Agricola. 60: 767-773.
39.Ullah, I., Jilani, G., UlHaq, M.I., and Khan, A. 2013. Enhancing bio-available phosphorous in soil through sulfur oxidation by Thiobacilli. British Microbiol. Res. J. 3: 378-392.
40.Vidyalakshmi, R., and Sridar, R. 2007. Isolation and characterization of sulphur oxidizing bacteria. J. Cul. Coll. 5: 73-77.

41. Vidyalakshmi, R., Paranthaman, R., and Bhakyaraj, R. 2009. Sulphur Oxidizing Bacteria and Pulse Nutrition, A Review. World J. Agric. Sci. 5: 270-278.
42. Zhi-Hui1, Y., Stoven, K., Haneklus, S., Singh, B.R., and Schnug, E. 2010. Elemental sulfur oxidation by *Thiobacillus. spp*. and aerobic heterotrophic sulfur-oxidizing bacteria. Pedosphere. 20: 71-79.

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 6(2), 2016
http://ejsms.gau.ac.ir

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Effects of sulfur rates and sources on growth and fruit quality of apple var. Golden Delicious

***A. Majidi[1] and M.J. Malakouti[2]**
[1]Assistant Prof., Agricultural and Natural Resources Research Center of West Azerbaijan,
[2]Professor, Dept. of Soil Science, University of Tarbiat Moddares
Received: 11/01/2013; Accepted: 11/09/2014

Abstract
Background and Objectives: Sulfur (S) is an essential macronutrient influencing plant growth, nutrient efficiency, quality and health of agricultural crops. Sulfur is becoming more and more important in Iranian agriculture. Since 1992, Iran introduced balance fertilizer application, particularly relating five nutrients, namely nitrogen, phosphorus, potassium, sulfur and zinc. In the apple optimum fertilization program, beside nitrogen, phosphorus potassium and zinc, sulfur is also applied at a rate of 250-500 $kg.ha^{-1}$. There is limited information available that apple orchards are responsive to sulfur application. Therefore, the purpose of this research was to study the effects of S rates and sources on growth and fruit quality of apple (*Malus domestica* L.) trees of 'Golden Delicious' at West Azerbaijan, Iran.
Materials and Methods: Experiment was conducted during four seasons (2003-2007), using a factorial randomized complete block design (RCBD) with three replications. The treatments included two sources of S (organic and inorganic S with *Thiobacillus* inoculums), each applied at three different rates (0, 2 and 4 Kg S/tree).
Results: The results showed soil pH and availability of P, Fe and Zn were significantly influenced by S application rates. The lowest pH and the highest values of P, Zn and Fe availability in soil were achieved with 4 kg S/tree. Leaf chemical analysis revealed significant relationship between S rates and leaf nutrient contents except of Ca and Mg. Leaf N, P, K, Fe, Mn, Zn and Cu contents increased with S application as compared with the control. The added S had no effect on fruit firmness but, the highest weight, total soluble solid and total acidity of fruit was recorded in 4 kg S/tree from organic source. Chlorophyll content significantly increased with S application rates. The highest chlorophyll content was obtained in 2 kg S/tree treatment from organic source.
Conclusion: The results suggested that, S is a key nutrient which has important role in balance nutrition, fruit quality and quantity enhancement of apple orchards in calcareous soils of Iran.

Keywords: Apple (*Malus domestica* L.), Chlorophyll, Leaf nutrients, Soil pH, Sulfur fertilization

* Corresponding Authors; Email: az.majidi89@gmail.com