



وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
موسسه تحقیقات خاک و آب کشور

پیشرفت‌ها در مدیریت تغذیه گوگرد در گیاهان

نگارندگان

فریدون نورقلی پور¹، جلال قادری²، نصرت اله منتجبی³، محمد پسندیده⁴، حسین بشارتی⁵

^{1,4,5} اعضای هیات علمی موسسه تحقیقات خاک و آب کشور

² عضو هیات علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه

³ عضو هیات علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان

نشریه فنی: 663

1404

مشخصات اثر

عنوان: پیشرفت‌ها در مدیریت تغذیه گوگرد در گیاهان

نگارندگان: فریدون نورقلی‌پور، جلال قادری، نصرت اله منتجبی، محمد پسندیده و حسین بشارتی

ناشر: موسسه تحقیقات خاک و آب کشور

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: انتشارات اسرار علم

کارشناس انتشارات: سمانه پورمنصور

ویراستار ادبی: آرش تافته

طراح جلد: سید هادی میرغیاثی

سال انتشار: 1404

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

این نشریه با شماره 68560 در تاریخ 1404/10/6 در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی به ثبت رسیده است.

نقل مطالب با ذکر منبع بلامانع است.

نشانی: کرج، میدان استاندارد، جاده مشکین دشت، بلوار امام خمینی (ره)، موسسه تحقیقات خاک و آب کشور

صندوق پستی: 311-31785

کد پستی: 3177993545

تلفن: 026-36201900

نمابر: 02636210121

پست الکترونیکی: info.swri@areeo.ac.ir

وبسایت: <http://www.swri.ir>

مسئولیت صحت مطالب به عهده نگارندگان است.

چکیده

گوگرد، عنصری حیاتی برای تغذیه گیاهان بوده و در ساخت پروتئین و روغن دخالت دارد. کمبود آن موجب تجمع نیتروژن غیر پروتئینی در گیاه می‌شود که مصرف آن، برای انسان و حیوانات نشخوارکننده مضر است. در ایران، به دلیل آهکی بودن اکثر خاک‌ها و pH بالا، کارایی زراعی کودهای فسفاتی و اکثر عناصر ریزمغذی (به‌جز مولیبدن) به دلیل تشکیل ترکیبات نامحلول، پایین است. از مهم‌ترین راهکارهای کاهش pH و افزایش فراهمی عناصر غذایی و درنتیجه، افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات زراعی، استفاده از کودهای اسیدزا مانند گوگرد همراه با باکتری تیوباسیلوس است. مصرف این نهاده، pH خاک را حداقل در اطراف ریشه‌ها کاهش داده و قابلیت جذب عناصر غذایی را افزایش می‌دهد. در مورد عنصر گوگرد، در کشور و در طول سالیان گذشته، تحقیقات متعددی در زمینه‌های مختلف گوگرد، شامل عصاره‌گیر مناسب برای اندازه‌گیری آن در گیاه، حد بحرانی گوگرد در خاک، وضعیت آن در استان‌های مختلف، توصیه بهینه کودی برای محصولات زارعی مختلف و غیره اجرا شده است. این نشریه، با توجه به نتایج و دستاوردهای بیان‌شده، به نقش این عنصر در خصوصیات شیمیایی خاک، عملکرد کمی و کیفی محصولات کشاورزی، کودهای شیمیایی و بیولوژیک حاوی این عنصر و دستورالعمل‌های توصیه کودهای گوگردی برای محصولات مختلف تهیه‌شده است. بر اساس نتایج پروژه‌های تحقیقاتی، عصاره‌گیر منو کلسیم فسفات، به‌عنوان مناسب‌ترین عصاره‌گیر جهت تخمین میزان گوگرد قابل جذب گیاه تعیین‌شده است. حد بهینه گوگرد بسته به نوع گیاه متفاوت بوده و به‌طور کلی در محدوده 0/5-0/7 درصد در گیاه می‌باشد. حد بحرانی این عنصر در خاک بسته به نوع گیاه متغیر می‌باشد. اگر در آزمون خاک، مقدار گوگرد قابل جذب کمتر از حد بحرانی و در آب آبیاری کمتر از 5 میلی‌گرم در کیلوگرم باشد، باید از ترکیبات گوگردی استفاده نمود. حد بحرانی گوگرد قابل استفاده برای گیاه گندم و کلزا، به ترتیب مقدار 12 و 20/7 میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. در اراضی زیر کشت گندم در 15 استان کشور، در استان‌های اردبیل، لرستان، کردستان، همدان، فارس، آذربایجان غربی، کرمانشاه و آذربایجان شرقی به ترتیب 91، 88، 78، 71، 63، 54، 38 و 33 درصد خاک‌های زیر کشت گندم دارای کمبود گوگرد می‌باشند. با در نظر گرفتن این‌که اکثر مناطق کشت گندم در تناوب کلزا نیز قرار می‌گیرند و با در نظر گرفتن حد بحرانی معادل 21 میلی‌گرم در کیلوگرم برای گیاه کلزا، سطح بیشتری از مناطق برای زراعت کلزا دچار کمبود خواهد بود. علاوه بر این، برای توصیه بهینه کودی، نسبت نیتروژن به گوگرد (N/S) در بافت گیاهی نیز مهم است که معمولاً، به ازای هر 12 تا 15 قسمت نیتروژن در گیاه، یک قسمت گوگرد می‌بایست وجود داشته باشد. کودهای مختلف گوگردی در حال حاضر قابل استفاده

می‌باشند. در موارد اطمینان از کمبود گوگرد و یا مشکوک بودن به کمبود آن، استفاده از کود سولفات آمونیوم نسبت به نیتрат آمونیوم یا اوره و استفاده از سوپر فسفات ساده نسبت به سوپر فسفات تریپل یا فسفات آمونیوم و استفاده از سولفات پتاسیم نسبت به کلرید پتاسیم یا سایر مواد گوگرددار، برتری دارد. همچنین، گوگرد عنصری نیز می‌تواند در توصیه کودی مدنظر قرار بگیرد. هنگام استفاده از گوگرد عنصری می‌بایست شرایط لازم برای اکسیداسیون آن (تبدیل‌شده به شکل قابل‌جذب "یعنی سولفات") در خاک فراهم گردد. لذا، در این صورت کاربرد گوگرد به همراه باکتری‌های تیوباسیلوس توصیه می‌شود.

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

1	مقدمه
2	1- گوگرد در خاک
2	1-1- رابطه گوگرد و ویژگی‌های خاک
4	2-1- حد بحرانی گوگرد در خاک
5	1-3-1- ارزیابی وضعیت گوگرد در خاک‌ها بر اساس حد بحرانی
7	2-3-1- ارزیابی وضعیت گوگرد در خاک‌ها براساس طبقه‌بندی خاک و رژیم‌های حرارتی مناطق
9	4-1- تأثیر کاربرد گوگرد بر ویژگیهای شیمیایی خاک
13	2- گوگرد در گیاه
13	2-1- اهمیت گوگرد در گیاهان
16	2-2- تأثیر مصرف گوگرد بر عملکرد و کیفیت محصولات زراعی
19	3-2- شاخص N/S در گیاه برای ارزیابی بهتر گوگرد در گیاه
20	3- آزمون خاک برای توصیه علمی کودهای گوگردی
21	4- انواع مختلف کودهای گوگردی و راهکار رفع کمبود گوگرد
26	5- توصیه کودی گوگرد برای چند محصول زراعی (کلزا، سویا، گلرنگ، پنبه و پیاز)
26	5-1- گیاه کلزا
29	5-2- گیاه سویا
31	5-3- گیاه پنبه
33	5-4- گیاه گلرنگ
35	5-5- پیاز
66	6- جمع بندی مطالب
67	7- پیشنهادها
41	8- منابع

مقدمه

به‌منظور بهبود وضعیت تغذیه گیاهان در خاک‌های آهکی، بررسی‌ها و تحقیقات زیادی در مراکز تحقیقاتی و دانشگاهی، در نقاط مختلف دنیا ازجمله ایران انجام‌شده است که از مهم‌ترین راهکارهای ارائه‌شده برای کاهش pH و اصلاح خاک، افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات زراعی، استفاده از کودهای اسید زا مانند گوگرد همراه با باکتری تیوباسیلوس، اسیدسولفوریک و سولفات آمونیوم است. کاربرد این ترکیبات pH خاک را حداقل در مقیاس کوچک اطراف ریشه‌ها کاهش داده و قابلیت جذب عناصر غذایی مانند فسفات، آهن و روی قابل‌استفاده را افزایش می‌دهد (منتجبی، 1396). حضور گوگرد در ساختمان ترکیبات بتامین، تیامین، بیوتین، کوآنزیم، اسیدهای آمینه گوگرددار، سولفو لیپیدها، سولفوکسیدها و متالوتیونین‌ها موجب نقش کلیدی این عنصر در فعال کردن بسیاری از آنزیم‌ها، تنفس، پروتئین‌سازی، دفع حشرات و تعدیل سمیت بعضی عناصر سنگین در گیاهان شده است (ذبیحی و نوری حسینی، 1396).

گوگرد در 70 کشور جهان تولید و مقدار آن در کشورهای مختلف متفاوت می‌باشد. آرژانتین با حدود هزار تن در سال کوچک‌ترین و آمریکای شمالی با حدود 20 میلیون تن بزرگ‌ترین تولیدکنندگان گوگرد می‌باشند. ایالات‌متحده، کانادا، روسیه، عربستان، ژاپن، آلمان، امارات متحده عربی، قزاقستان، ایران، مکزیک و لهستان تولیدکنندگان عمده گوگرد دنیا بوده و در سال 2002 حدود 80 درصد گوگرد دنیا را تولید نمودند (بشارتی، 1395). در ایران نیز با آغاز تولید گوگرد در حوزه گازی پارس جنوبی و اجرای فازهای بعدی، افزایش تولید در پالایشگاه گاز خانگیران، تولید سالیانه آن، بالغ بر دو میلیون تن رسیده است که در خاورمیانه جایگاه سوم را بعد از عربستان و امارات متحده عربی به خود اختصاص داده است (بشارتی و همکاران، 1395). با کاربرد بهینه آن، می‌توان علاوه بر اصلاح خاک‌ها، افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی تثبیت‌شده، تأمین سولفات موردنیاز گیاه، مبارزه با برخی از عوامل بیماری‌زای گیاهی، عملکرد و کیفیت بسیاری از محصولات زراعی را نیز افزایش داد.

اولین دوره تحقیقات جامع در مورد کاربرد و نقش گوگرد در کشاورزی ایران از سال 1363 به‌صورت مشترک بین موسسه تحقیقات خاک و آب و شرکت ملی گاز ایران آغاز شد (67 طرح) که نتایج آن به‌صورت خلاصه در سال 1374 به‌وسیله آقای مهندس توسلی تهیه گردید (توسلی، 1374). این مجموعه از طرح‌ها شامل موارد اصلاح و بهسازی خاک‌ها و تغذیه گیاه بود. پس‌از آن نیز تحقیقات پراکنده‌ای در خصوص گوگرد انجام شد ولی تحقیق کامل‌تر بعدی، در سال‌های

1381-1386 در طرح گندم، در موسسه تحقیقات خاک و آب انجام شد (خادمی و همکاران، 1390). دوره بعدی تحقیقات جامع در خصوص گوگرد با طرح‌های مشترک بین موسسه تحقیقات خاک و آب و شرکت ملی گاز در سال 1390 آغاز شد که هدایت آن‌ها بر عهده بخش بیولوژی خاک موسسه بود. این نشریه، با توجه به نتایج و دستاوردهای بیان‌شده، به نقش این عنصر در ویژگی‌های شیمیایی خاک، عملکرد کمی و کیفی محصولات کشاورزی، کودهای شیمیایی و بیولوژیک حاوی این عنصر و دستورالعمل‌های توصیه کودهای گوگردی برای محصولات مختلف تهیه‌شده است.

1- گوگرد در خاک

1-1- رابطه گوگرد و ویژگی‌های خاک

گوگرد عنصری در خاک، به‌خودی‌خود یک ماده بی‌اثر بوده و بروز اثرات مفید آن در خاک و یا جذب توسط گیاه، منوط به اکسایش و تبدیل آن به سولفات می‌باشد. اکسیداسیون گوگرد در خاک عمدتاً به طریق بیولوژیک صورت می‌گیرد و شدت اکسایش آن، علاوه بر خواص کمی و کیفی گوگرد عنصری (نظیر درصد خلوص، اندازه ذرات، مقدار، زمان و روش مصرف)، متأثر از شرایط محیطی از قبیل pH، رطوبت، تهویه، حرارت، سطح حاصلخیزی و جمعیت میکروارگانیسم‌های اکسیدکننده گوگرد در خاک می‌باشد.

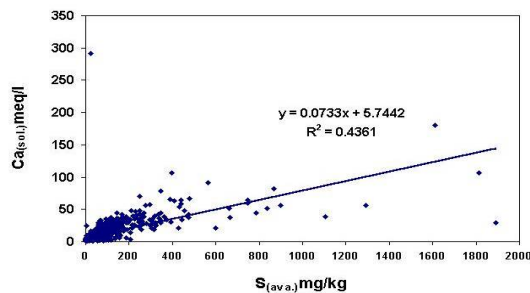
بر اساس نتایج تحقیقات به‌دست‌آمده، بین گوگرد عصاره‌گیری شده به روش‌های مختلف و خصوصیات خاک، معادلات رگرسیونی بسیار معنی‌داری ($p < 0.001$) وجود دارد. در تمام عصاره‌گیرها، مقدار گوگرد خاک با شوری خاک همبستگی مثبتی را نشان دادند. این موضوع، نشان‌دهنده تجمع سولفات محلول در مناطق شور می‌باشد. عصاره‌گیر منوکلسیم فسفات در جایگزینی سولفات جذب‌شده (در سطوح رس‌ها و اکسیدهای آهن و آلومینیوم) توانایی بیشتری داشته و با pH و درصد رس رابطه منفی نشان داد (معادلات 2 و 3)، درحالی‌که با میزان شوری خاک (EC)، مواد آلی و کربنات کلسیم معادل، این رابطه مثبت بود (معادلات 1، 2 و 3) و در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند (فیض‌اله‌زاده اردبیلی و خادمی، 1390).

$$\text{معادله (1)} \quad S = 1/8 + 10/3EC - \text{منو کلسیم فسفات}$$

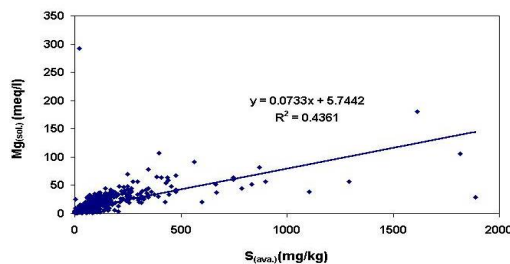
$$\text{معادله (2)} \quad S = 1/8 + 10/3EC - 4/42 \text{ pH} - \text{منو کلسیم فسفات}$$

$$\text{معادله (3)} \quad S = 40/9 + 10/3 EC - 5/51 \text{ pH} - 0/038 \text{ Clay} + 1/68 + 1/68 \text{ OM} + 0/21 \text{ CCE} - \text{منو کلسیم فسفات}$$

در بین مؤلفه‌های شیمیایی نمونه‌های خاک مطالعه شده در فاز اول طرح گندم نیز، مقدار گوگرد قابل جذب، تنها باقابلیت هدایت الکتریکی گل اشباع رابطه تنگاتنگی نشان داد. این رابطه، در بررسی‌های قبلی نیز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار ($r=0/90$) شده بود (فیض‌اله‌زاده، 1383). همبستگی مثبت و معنی‌داری نیز در سطح یک درصد بین گوگرد خاک باقابلیت هدایت الکتریکی خاک (EC) ($r=0/727$) در پروژه گوگرد گندم در کشور به‌دست آمده و بین گوگرد و pH همبستگی معنی‌دار و منفی حاصل شد ($r = - 0/733$). میزان گوگرد قابل جذب در خاک‌ها، با کلسیم و منیزیم محلول رابطه ضعیفی نشان داد ($r=0/4$) (شکل 1 و 2). در این بررسی، بین میزان گوگرد قابل جذب در خاک‌ها با سایر عوامل مورد آزمایش نیز رابطه معنی‌داری به دست نیامد. در 15 نمونه خاک استان فارس نیز ضرایب همبستگی بین گوگرد خاک، گوگرد و نیتروژن گیاه با خصوصیات شیمیایی خاک از قبیل اسیدیته خاک، شوری، درصد مواد آلی و درصد آهک خاک تعیین گردید. قوی‌ترین ضریب همبستگی ($r=0/959$) بین گوگرد خاک با قابلیت هدایت الکتریکی خاک در سطح یک درصد از لحاظ آماری معنی‌دار شد، درحالی‌که بین گوگرد خاک و pH ضریب همبستگی منفی ($r = - 0/768$) به دست آمد.



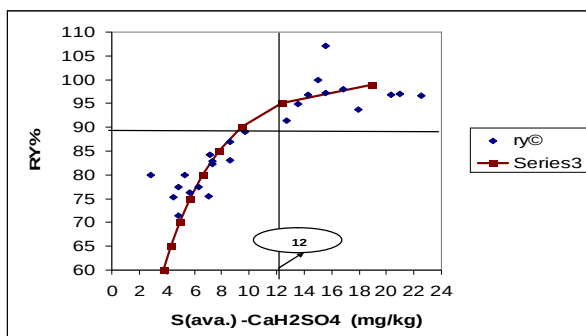
شکل 1- رابطه بین مقدار گوگرد قابل جذب و کلسیم محلول خاک در واحدهای کاری نمونه برداری شده از 15 استان کشور (خادمی و همکاران، 1390)



شکل 2- رابطه بین مقدار گوگرد قابل جذب و منیزیم محلول خاک در واحدهای کاری نمونه برداری شده از 15 استان کشور (خادمی و همکاران، 1390)

1-2- حد بحرانی گوگرد در خاک

حد بحرانی گوگرد قابل استفاده در خاک معمولاً با استفاده از روش نموداری کیت- نلسون و میچرلیخ تعیین می‌گردد. به عنوان مثال، در شکل (3) نمودار پراکنشی حد بحرانی گوگرد به این روش در گیاه گندم نشان داده شده است. حد بحرانی گوگرد در خاک، بسته به نوع محصول و نوع عصاره گیر به کاررفته متفاوت است. عصاره گیرهای منوکلسیم فسفات، کلرورکلسیم و استات آمونیوم از جمله عصاره گیرهایی هستند که در آزمایشگاه برای تعیین مقدار گوگرد در خاک به کار می‌روند (فیض‌اله‌زاده اردبیلی و خادمی و همکاران، 1390). در جدول 1 حدود بحرانی این عنصر در محصولات مختلف گزارش شده است.



شکل 3 - نمودار پراکنش تعیین سطح بحرانی گوگرد به روش کیت - نلسون و میچرلیخ (عصاره گیر منو کلسیم فسفات) (خادمی و همکاران، 1390)

جدول 1 - حد بحرانی گوگرد در خاک برای برخی از محصولات زراعی

منبع علمی	مقدار گوگرد خاک (میلی گرم در کیلوگرم)	عصاره گیر	محصول
خادمی و همکاران، 1390 فیض‌اله‌زاده اردبیلی (1383)	12	منوکلسیم فسفات	گندم
	10/3	کلرورکلسیم	
	17/2	استات آمونیوم	
1985. Palaskar و Ghosh	30	استات آمونیوم - اسیداستیک	ذرت و برنج
Grobler و همکاران (1999)	10	منوکلسیم فسفات	
فیض‌اله‌زاده (1383)	20/7	منوکلسیم فسفات	کلزا
	15/2	کلرورکلسیم	
Li و همکاران (2005)	20	-	دانه‌های روغنی و سویا

3-1- ارزیابی وضعیت گوگرد در خاک‌ها

3-1-1- ارزیابی وضعیت گوگرد در خاک‌ها بر اساس حد بحرانی

در مورد وضعیت گوگرد، تحقیقات زیادی در ایران انجام نشده است. به دلیل آن که چنین تصور می‌شده است که مصرف کودهایی که دارای گوگرد نیز می‌باشند، نیاز گوگردی گیاه را هم تأمین می‌کند. به‌هرحال، در تحقیقی که توسط فیض‌اله‌زاده اردبیلی (1383) بر روی 19 نمونه خاک جمع‌آوری‌شده از مزارع تحت کشت کلزا در استان‌های فارس، کرمانشاه و مازندران انجام گردید، میزان گوگرد با استفاده از عصاره‌گیر منو فسفات کلسیم، بین 6/2 تا 155 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک اندازه‌گیری شد. شواهدی در دست است که نشان می‌دهد کمبود گوگرد در اکثر مناطق، در حال افزایش است. در تحقیقی که توسط سازمان FAO در سال‌های 1987 تا 1989 در حدود 125 مزرعه انجام شد، مشاهده گردید که در 50 درصد موارد، گیاهان پاسخ معنی‌داری به گوگرد می‌دهند (Biswas و Tewatia, 1991).

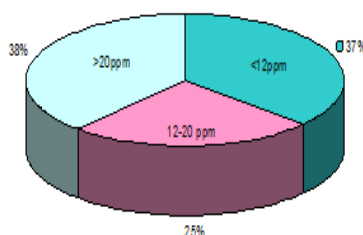
در جدول (2)، درصد فراوانی نمونه‌ها در گروه‌های 0-12، 12-20 و 20 > میلی‌گرم در کیلوگرم گوگرد قابل‌استفاده با عصاره‌گیر منوکلسیم فسفات با غلظت 500 میلی‌گرم در کیلوگرم به تفکیک استانی و کشوری در مناطق مورد مطالعه و تحت کشت گندم، نشان داده شده است (خادمی و همکاران، 1390).

جدول 2- درصد فراوانی مقادیر گوگرد قابل جذب خاک به تفکیک استان در مناطق کشت گندم

(خادمی و همکاران، 1390)

استان	0-12	12-20	>20
	میلی گرم در کیلوگرم		
آذربایجان شرقی	33	26	41
آذربایجان غربی	54	32	14
اردبیل	91	9	0
اصفهان	11	24	65
تهران	17	35	48
خراسان	21	36	43
خوزستان	1	17	82
فارس	63	18	19
قزوین	7	32	61
کردستان	78	16	6
کرمانشاه	38	13	49
گلستان	31	25	44
لرستان	88	12	0
مرکزی	23	37	40
همدان	71	18	11
جمع کل مناطق	41/8	23/33	34/87

نتایج جمع‌بندی‌ها نشان داد که اگر حد بحرانی گوگرد قابل استفاده را 12 میلی گرم در کیلوگرم (باتوجه به پروژه مقایسه روش‌های عصاره‌گیری گوگرد قابل جذب در آزمایش‌های گلخانه‌ای که به‌منظور تعیین حد بحرانی این عنصر در خاک‌های زیر کشت گندم انجام شده بود) در نظر بگیریم، تنها 25 درصد مناطق مورد بررسی در محدوده 12-20 میلی گرم در کیلوگرم گوگرد قابل استفاده با عصاره‌گیر منوکلسیم فسفات قرار دارد و مابقی (38 درصد) بالاتر و (37 درصد) پایین‌تر از آن محدوده قرار دارند (شکل 4).



شکل 4- پراکنش درصدی نمونه‌های خاک برداشت شده در هر یک از دامنه‌های گوگرد قابل جذب خاک در واحدهای کاری تحت کشت گندم در 15 استان (خادمی و همکاران، 1390)

به عبارت دیگر، در 38 درصد نمونه‌های خاک، مشکل کمبود گوگرد قابل استفاده در خاک وجود ندارد. این وضعیت در استان‌های مختلف نیز مورد بررسی قرار گرفته است. تقریباً صد در صد اراضی تحت کشت گندم در استان‌های اردبیل و لرستان دچار کمبود گوگرد قابل استفاده هستند. همچنین، بخش قابل توجهی از استان‌های همدان، کردستان، فارس، آذربایجان غربی، دچار کمبود گوگرد (کمتر از 12 میلی گرم در کیلوگرم) بوده و در مقابل، استان‌های خوزستان، اصفهان، خراسان، قزوین، مرکزی و غیره از مقادیر بالای گوگرد برخوردار هستند.

میزان گوگرد 15 نمونه خاک که از مزارع گندم استان فارس به صورت هدفمند انتخاب شده و به روش Schulze و Eik (1988) اندازه‌گیری گردید. این میزان از 3/4 میلی گرم در کیلوگرم خاک تا 216 میلی گرم در کیلوگرم خاک متغیر بود. باتوجه به مطالعات فیض‌الهزاده (1383) و با در نظر گرفتن 12 میلی گرم در کیلوگرم گوگرد به شکل سولفات به عنوان حد بحرانی برای گندم، حدود 60 درصد از نمونه‌های خاک در استان فارس کمبود گوگرد دارند. این درصد کمبود، تأییدکننده نتیجه مطالعه‌ای است که در فاز اول طرح گندم در خاک‌های استان فارس انجام گردید. بنا به گزارش ارائه شده در زراعت گندم، هنگامی حداکثر عملکرد حاصل می‌شود که غلظت گوگرد در قسمت هوایی، مساوی یا بیشتر از 0/4 درصد باشد (لطف‌اللهی و همکاران، 1383). باتوجه به این

مسئله، اکثریت خاک‌های استان فارس در محدوده کمبود قرار می‌گیرند. از 33 نمونه خاک مورد مطالعه در استان خراسان، 15 نمونه دارای گوگرد سولفاتی کمتر از 12 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بود که این امر، مبین کمبود گوگرد در 45 درصد خاک‌های استان خراسان است.

حداقل میزان گوگرد در خاک‌های مزارع گندم نمونه‌برداری شده در استان کرمانشاه، 3/1 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک و حداکثر آن، 21/4 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بود. با در نظر گرفتن 12 میلی‌گرم در کیلوگرم گوگرد خاک به عنوان حد بحرانی برای گیاه گندم، حدود 50 درصد از نمونه خاک‌های مزارع گندم در استان کرمانشاه از نظر گوگرد سولفاتی دچار کمبود هستند.

نتیجه مطالعات در مورد وضعیت گوگرد در استان خوزستان بیانگر آن است که کلیه خاک‌های مورد مطالعه از نظر گوگرد غنی هستند. حداقل میزان گوگرد در خاک‌های این استان، در حدود 23/55 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بود و حداکثر میزان آن، بالغ بر 554/75 میلی‌گرم در کیلوگرم بود. نتایج اندازه‌گیری گوگرد در گیاه هم تأییدکننده این مسئله است که هیچ‌کدام از گیاهان مورد بررسی در دامنه کمبود گوگرد قرار نمی‌گیرند. همچنین، اگر نسبت نیتروژن به گوگرد نیز به عنوان مبنا در نظر گرفته شود، حداکثر نسبت معادل 11/91 می‌باشد که باتوجه به دامنه کمبود گوگرد که در نسبت‌های بالاتر از 17 در نظر گرفته می‌شود، خوشبختانه خاک‌های استان خوزستان از این نظر فاقد محدودیت می‌باشند.

حداقل میزان گوگرد نمونه خاک‌های مورد مطالعه در استان آذربایجان غربی، 3/2 میلی‌گرم در کیلوگرم و حداکثر آن، 81/7 میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد. با در نظر گرفتن عدد 12 میلی‌گرم گوگرد در کیلوگرم خاک به عنوان حد بحرانی (فیض‌اله‌زاده اردبیلی، 1383)، حدود 48 درصد از نمونه خاک‌های مورد مطالعه، دارای کمبود گوگرد هستند. درحالی‌که اگر نسبت نیتروژن به گوگرد معادل 17 و بالاتر برای نشان دادن کمبود در نظر گرفته شود (Zhao و همکاران، 1997)، نمونه‌های گیاه فاقد کمبود گوگرد هستند.

در خصوص محصول کلزا در سه استان مازندران، فارس و کرمانشاه، تغییرات گوگرد قابل‌استفاده را از 6/2 تا 155 میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است که بیش از نیمی از این خاک‌ها به افزایش گوگرد پاسخ مثبت نشان داده بودند (فیض‌اله‌زاده، 1383).

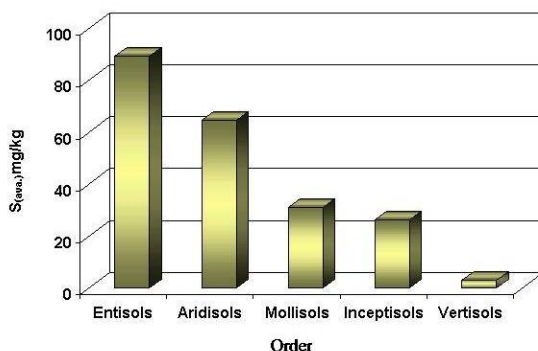
1-3-2- ارزیابی وضعیت گوگرد در خاک‌ها براساس طبقه‌بندی خاک و رژیم‌های حرارتی مناطق

از نقطه نظر مطالعات خاک‌شناسی، میانگین مقدار گوگرد قابل جذب در رده‌ها مورد مقایسه قرار گرفت که بیشترین مقدار در رده انتی سول و کمترین آن در رده ورتی سول مشاهده شد (شکل

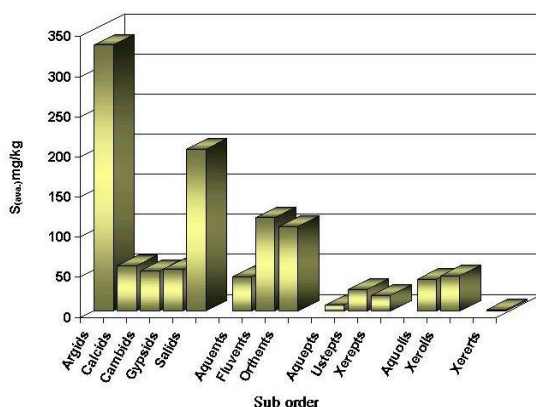
(5). این امر می‌تواند متأثر از مواد مادری که خاک‌ها از آن‌ها تشکیل شده، شرایط رطوبتی و دمایی منطقه و میزان اکسایش مواد آلی خاک باشد (Yasasvi و همکاران، 2022). در زیررده‌ها نیز بر اساس بررسی‌های انجام شده میانگین میزان گوگرد قابل جذب خاک‌های مورد مطالعه از این ترتیب تبعیت نمود:

Argids > Salids > Fluvents > Orthents $\geq$ Calcids $\cong$ Gypsids $\cong$ Cambids > Xerolls $\cong$ Aguolls > Ustepts > Xerepts > Aquepts > Xerets

زیررده Argid بیشترین مقدار و زیررده Xeret کمترین مقدار گوگرد قابل جذب را داشت (شکل 6).

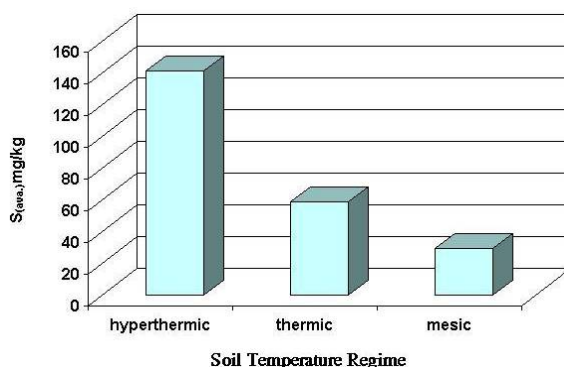


شکل 5 - مقایسه میانگین مقدار گوگرد قابل استفاده خاک در هر یک از رده‌های واحدهای کاری نمونه‌برداری شده 15 استان کشور (خادمی و همکاران، 1390)



شکل 6 - مقایسه میانگین مقدار گوگرد قابل جذب خاک در هر یک از تحت رده‌های واحدهای کاری نمونه‌برداری شده 15 استان کشور (خادمی و همکاران، 1390)

در خصوص ارزیابی وضعیت گوگرد، باتوجه به رژیم‌های حرارتی مناطق می‌توان گفت که رژیم‌های حرارتی نیز در تغییرات میزان گوگرد بی‌تأثیر نبود، به‌طوری‌که در رژیم حرارتی Hyperthermic بیشترین مقدار گوگرد و در رژیم Mesic کمترین مقدار گوگرد مشاهده شد (شکل 7). ممکن است حرارت باعث آزادشدن مقدار بیشتر گوگرد از ترکیبات آلی خاک و سایر ترکیبات در رژیم حرارتی Hyperthermic نسبت به رژیم Mesic شده باشد. منتجی و همکاران (1397) نیز بر تأثیر رطوبت و دما بر مقدار گوگرد و سایر عناصر قابل جذب در خاک اشاره نموده‌اند.



شکل 7- مقایسه میانگین مقدار گوگرد قابل جذب خاک بر حسب رژیم حرارتی واحدهای کاری 15 استان کشور (خادمی و همکاران، 1390)

1-4- تأثیر کاربرد گوگرد بر ویژگی‌های شیمیایی خاک

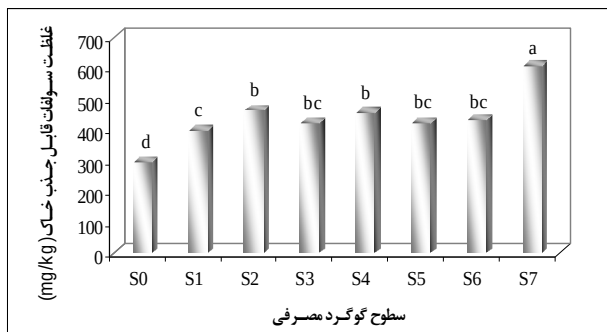
استفاده از گوگرد برای کاهش pH خاک‌های قلیایی و آهنی، افزایش حلالیت و قابلیت جذب عناصر غذایی، تأمین سولفات برای گیاه و کنترل بعضی از بیماری‌ها از سال‌های اخیر موردتوجه محققین بوده است. اثربخشی گوگرد عنصری بستگی به مقدار اکسیداسیون آن دارد که عمدتاً یک فرآیند بیوشیمیایی است و تحت تأثیر عواملی مانند اندازه گوگرد عنصری، رطوبت و درجه حرارت خاک، pH، وضعیت عناصر غذایی و فعالیت میکروارگانیسم‌ها قرار می‌گیرد (Janzen و Bettany, 1987). با افزایش گوگرد به خاک، pH خاک کاهش و فسفر، منگنز، آهن و مس قابل استفاده افزایش می‌یابند (Neilsen و همکاران، 1993). همچنین گزارش شده است که مصرف گوگرد عنصری باعث افزایش پتاسیم، روی و کادمیوم قابل استفاده شده است (Kayser و همکاران، 2001; Tsadilas و Chouliaras, 1996).

مصرف گوگرد و تولید اسیدسولفوریک در نتیجه اکسایش آن، باعث تأمین سولفات موردنیاز گیاهان، افزایش عملکرد و مقدار کلروفیل می‌شود (El-Kholy و همکاران، 2013). Erdal و همکاران (2000) نشان دادند که با مصرف گوگرد عنصری، علاوه بر کاهش pH خاک در حدود 0/11 الی 37/1، واحد، عملکرد و مقدار جذب فسفر توسط ذرت دانه‌ای نیز افزایش یافت. در یک آزمایش گلخانه‌ای، pH خاک در نتیجه مصرف گوگرد 0/2 تا 0/9 واحد کاهش و عملکرد گیاه ذرت و مقدار عناصر کم‌مصرف افزایش یافت.

بعضی از محققین نیز گزارش کردند که مصرف گوگرد عنصری به‌عنوان یک اصلاح‌کننده، تأثیر قابل توجهی بر ویژگی‌های شیمیایی خاک مانند pH خاک و عناصر غذایی مانند فسفر، آهن و روی قابل‌استفاده خاک ندارد (Sameni و Kasraian، 2004). صرف‌نظر از مقدار گوگرد مصرفی، دلیل این مشاهدات به اکسیداسیون ناقص گوگرد مصرفی، مقدار کربنات بالای خاک و ظرفیت بافری در خاک‌های مورد آزمایش نسبت داده شده است. بر اساس نتایج تحقیقات انجام‌شده با مصرف 4500 کیلوگرم در هکتار گوگرد و 50 تن در هکتار کود کمپوست می‌توان شاهد کمترین مقدار pH و بیشترین مقدار فسفر، پتاسیم و نیتروژن کل بود (Karimi و همکاران، 2012). همچنین نتایج برخی از تحقیقات نشان داده است که کاربرد 500 کیلوگرم گوگرد عنصری همراه با باکتری تیوباسیلوس باعث کاهش pH خاک و افزایش عملکرد دانه، مقدار روغن و غلظت فسفر و آهن دانه ذرت شده است (Ansori و Gholami، 2015). در این خصوص گوهرگانی (1394) گزارش کرد که مصرف 800 کیلوگرم در هکتار گوگرد توأم با تیوباسیلوس موجب افزایش معنی‌دار آهن و روی خاک و آهن در دانه کلزا شد، اما تأثیری بر عناصر غذایی روی و منگنز دانه نداشت.

در بررسی انجام‌گرفته برای گیاه گندم، مصرف گوگرد همراه با مایه تلقیح تیوباسیلوس (10^4 سلول به ازای هر گرم خاک) نسبت به شاهد (بدون مصرف گوگرد) pH خاک را به‌طور معنی‌داری در هر چهار زمان نمونه‌برداری (14، 30، 60 و 90 روز) کاهش داد. پس از 14، 30 و 60 روز، تیمار مایه تلقیح تیوباسیلوس (10^4 سلول به ازای هر گرم خاک) نسبت به شاهد بدون باکتری، باعث کاهش معنی‌دار pH خاک گردید. باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده از این آزمایش، اثر اصلی تیمار گوگرد، مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس و ماده آلی بر قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک، باگذشت 14، 30، 60 و 90 روز از شروع آزمایش، در سطح آماری یک درصد معنی‌دار شد. به نظر می‌رسد اکسیداسیون گوگرد و افزایش غلظت سولفات، کاهش pH و در نتیجه افزایش حلالیت عناصر غذایی طی مدت آزمایش، موجب افزایش قابلیت هدایت الکتریکی شده بود (خادمی و همکاران، 1390).

طی بررسی انجام گرفته در خاک‌های لرستان و کرج، روند صعودی غلظت سولفات قابل جذب خاک طی 90 روز دوره آزمایش کاملاً مشهود بود، اما میزان افزایش غلظت در خاک لرستان بیش از خاک کرج بود. باتوجه به اینکه ویژگی‌های فیزیکی (تهویه، نفوذپذیری خاک، ظرفیت نگهداری رطوبت) خاک لرستان بهتر از خاک کرج بود، احتمالاً فعالیت ریز جانداران و اکسیداسیون گوگرد در این خاک افزایش یافته است. دو تا سه ماه پس از شروع آزمایش، تفاوت بین سطوح مختلف گوگرد با شاهد بدون گوگرد (S_0) معنی‌دار بود. به نظر می‌رسد که باگذشت زمان فرصت کافی برای اکسیداسیون گوگرد مهیا شده است (خادمی و همکاران، 1390).



شکل 8- مقایسه میانگین اثر گوگرد بر غلظت سولفات قابل جذب خاک دو ماه پس از شروع آزمایش (خادمی و همکاران، 1390)

در این بررسی اثر اصلی تیمارهای مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس بر غلظت سولفات قابل جذب خاک، باگذشت 60 و 90 روز از شروع آزمایش در سطح آماری یک درصد، معنی‌دار شد. همچنین با مقایسه میانگین‌ها، مشخص شد که تیمار 10^4 سلول در هر گرم خاک پس از دو و سه ماه، به ترتیب با میانگین‌های 459/07 و 600/35 میلی گرم بر کیلوگرم، بیشترین غلظت گوگرد قابل جذب خاک را داشت. اثر اصلی ماده آلی بر غلظت گوگرد قابل جذب خاک باگذشت 60 و 90 روز از شروع آزمایش در سطح آماری یک درصد معنی‌دار شد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار مصرف ماده آلی پس از 60 و 90 روز، به ترتیب با میانگین‌های 464/49 و 602/07 میلی گرم بر کیلوگرم بیشترین غلظت گوگرد قابل جذب خاک را نسبت به تیمار صفر ماده آلی داشت. با افزایش ماده آلی جمعیت میکروبی هم‌افزایش یافت (خادمی و همکاران، 1390).

1-5- چرخه و سرنوشت گوگرد در خاک

چرخه گوگرد شامل فرایندهای مختلف زمینی و جوی است که از واکنش‌های اکسیداسیون و کاهش مختلف تشکیل شده است. مراحل زیر در چرخه گوگرد آمده است:

گوگرد در اتمسفر: گوگرد در اتمسفر بیشتر به صورت SO_2 وجود دارد. بیشتر SO_2 موجود در جو از فعالیت‌های انسانی مانند احتراق سوخت‌های فسیلی ناشی می‌شود. فرایندهای طبیعی مانند فوران‌های آتشفشانی نیز نقش اساسی در افزایش غلظت SO_2 در جو دارند. H_2S گاز مهم دیگری است که در جو وجود دارد. منبع اصلی H_2S در اتمسفر، گازی است که از اثر میکروبی روی موجودات زنده در حال پوسیدگی، آزاد می‌شود. میکروب‌های موجود در زیستگاه‌های خشکی و آبرزی اشکال آلی و معدنی را به صورت بی‌هوازی تجزیه می‌کنند. تجزیه بی‌هوازی منجر به آزاد شدن H_2S می‌شود که سپس در هوا اکسید می‌شود و SO_2 را تشکیل می‌دهد. ریز جانداران کاهنده سولفات که در فرایند تجزیه نقش دارند معمولاً بی‌هوازی هستند و در آنجا H_2S را از فرم اکسیدشده گوگرد تولید می‌کنند (Badr و Probert، 1994).

گوگرد در بیوسفر: گوگرد از جو و یا هوازدگی سنگ وارد بیوسفر می‌شود. در هر یک از این دو راه، گوگرد در نهایت راه خود را به خاک و سپس اقیانوس باز می‌کند. گوگرد موجود در جو با افزایش تعداد قطرات ابر و کاهش اندازه قطرات به تشکیل ابر کمک می‌کند. ذرات گوگرد که آئروسول نیز نامیده می‌شوند، از جو به بیوسفر می‌ریزند. دی‌اکسید گوگرد موجود در جو، با حل شدن گاز در آب باران و تشکیل قطرات ضعیف اسید سولفوریک، به بیوسفر می‌رسد. علاوه بر این، هوازدگی شیمیایی در فرآیند پدوژنز همچنین منجر به حرکت گوگرد از سنگ‌ها به خاک و آب می‌شود. هوازدگی، همچنین باعث آزاد شدن گوگرد در هوا می‌شود؛ زیرا مقداری از آن به سولفات تبدیل می‌شود (Aryal و Sapkota، 2023).

گوگرد در خاک: منابع اصلی گوگرد در زمین لیتوسفر و هیدروسفر می‌باشد. مقدار متوسط گوگرد در پوسته زمین حدود 0/4 درصد است و از نظر فراوانی سیزدهمین عنصر است. دامنه تغییرات مقدار گوگرد در خاک‌ها زیاد بوده و کمترین آن در خاک‌های شنی می‌باشد. منشأ اصلی گوگرد در خاک، کانی پیریت موجود در سنگ‌های آذرین است. در طی هوازدگی و تشکیل خاک، گوگرد پیریت اکسیدشده و به فرمی که قابل جذب می‌باشد در می‌آید و در نهایت در ترکیب مواد آلی قرار می‌گیرد. در برخی خاک‌ها بخشی از گوگرد به فرم ژئوسوم ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) و اپسومایت ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) باقی‌مانده یا آبشویی می‌شود. در مناطق خشک که بارندگی برای

آبشویی کافی نیست گچ چون محلول‌تر از آهک است در زیر ناحیه تجمع آهک پروفیل خاک جمع می‌شود. بی‌شک منبع اصلی گوگرد خاک، سولفیدهای فلزی موجود در سنگ‌های پلوتونیک است (Sharma و همکاران، 2024).

جذب گیاهان و حیوانات: هنگامی که گوگرد به بیوسفر زمینی و آبی می‌رسد، توسط گیاهان و میکروارگانیسم‌ها جذب می‌شود. گروهی از باکتری‌ها به نام باکتری‌های گوگرد سبز، به‌عنوان باکتری‌های فوتوتوتروف عمل می‌کنند و از گوگرد به‌عنوان نوعی انرژی استفاده می‌کنند. سایر میکروارگانیسم‌های موجود در خاک نیز به در دسترس قرار دادن گوگرد برای گیاهان کمک می‌کنند تا بتوانند آن را از خاک جذب کنند. گوگرد جذب‌شده توسط موجودات زنده سپس در تشکیل مولکول‌های زیستی مانند پروتئین‌ها و نوکلئوتیدها استفاده می‌شود. در اکوسیستم اقیانوسی، میکروارگانیسم‌های شیمیایی اتوتروف از گوگرد برای تولید ترکیبات آلی به شکل سولفات استفاده می‌کنند (Aryal و Sapkota، 2023).

درکل، گوگرد موجود در بیوسفر، از طریق زنجیره غذایی به گردش درمی‌آید؛ زیرا مصرف‌کنندگان از تولیدکنندگان تغذیه کرده و سپس به زنجیره‌های میکروبی می‌رسند. گوگردی که گردش نمی‌کند به اعماق زیستگاه‌های خشکی و دریایی رسیده و به شکل ترکیبی (FeS) در سنگ‌ها باقی می‌ماند. گوگرد موجود در زنجیره غذایی، تحت فرآیند تجزیه قرار گرفته و سولفات را به سولفید تبدیل می‌کند تا بتوان آن‌ها را به جو بازگرداند. باکتری‌های کاهنده گوگرد بر روی اشکال آلی گوگرد عمل می‌کنند و اشکال معدنی مانند سولفید هیدروژن (H_2S) را تشکیل می‌دهند که بیشتر به S کاهش می‌یابد. گوگرد موجود در لیتوسفر نیز در نتیجه فعالیت‌های آتشفشانی به جو باز می‌گردد (Aryal و Sapkota، 2023).

2- گوگرد در گیاه

2-1- اهمیت گوگرد در گیاهان

گوگرد (S) یکی از هفده عنصر غذایی است که برای رشد و توسعه گیاهان ضروری و از لحاظ مقدار، مشابه فسفات و حتی در مواردی، بیش‌تر از آن نیز می‌باشد. گوگرد پس از عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم چهارمین عنصر عمده موردنیاز اکثر گیاهان زراعی می‌باشد (Hitsuda و همکاران، 2005) و در دانه‌های روغنی، میزان جذب گوگرد بیش از فسفر می‌باشد. گیاهان بیش‌تر گوگرد را به شکل سولفات (SO_4^{2-}) از طریق ریشه‌ها جذب می‌کنند و لازم است

گوگرد با کمک ریز جانداران اکسیدکننده گوگرد به صورت یون سولفات درآید. البته گیاهان به مقدار کمی، گوگرد را به صورت SO_2 از طریق اتمسفر نیز جذب می‌کنند. وقتی خاکی کمبود گوگرد داشته باشد، گیاهان حتی اگر بقیه عناصر غذایی به حد کافی در خاک وجود داشته باشد، به حداکثر تولید نخواهند رسید (Narayan و همکاران، 2023). از مهم‌ترین نقش‌های گوگرد در گیاهان، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- تشکیل اسیدهای آمینه متیونین، سیستئین و سیستین
- تشکیل کلروفیل
- ساخته‌شدن بیوتین، تیامین، گلوتامین و کوآنزیم A
- تشکیل گروه‌های دی‌سولفید و سولفیدریل در ساختمان پروتئین‌ها
- تشکیل روغن‌های گلوکوزیدی در پیازها و گیاهان تیره شب بو
- تشکیل نیتروژناز.

متخصصین تغذیه گیاه سه عنصر نیتروژن (N)، فسفر (P) و پتاسیم (K) را که غلظت آن‌ها در برگ‌های گیاهان در حدود 2/50، 15/0 و 2/0 درصد است، جزء عناصر غذایی اصلی (پرمصرف) و گوگرد (S) را جزو عناصر غذایی ثانویه، طبقه‌بندی کرده‌اند.

نظر به اینکه شکل قابل جذب گوگرد توسط گیاهان به صورت یون سولفات (SO_4^{2-}) است، میزان گوگرد برای رشد مطلوب گیاه، بین 2/0 تا 5/0 درصد وزن خشک گیاهان متغیر است. در میان خانواده‌های گیاهان زراعی، نیاز به گوگرد به این ترتیب افزایش می‌یابد:

خانواده شب بو < خانواده لگومینوز < خانواده گندمیان

میزان گوگرد (درصد وزن خشک) در دانه‌های گیاهان خانواده‌های بالا نیز، به همین ترتیب متغیر است:

$$1/1-1/7 < 0/3-0/25 < 0/19-0/18$$

میزان گوگرد پروتئین نیز میان پروتئین‌های مختلف سلول‌ها و گونه‌های گیاهی، تفاوت قابل توجه دارد. به طور میانگین، پروتئین‌های گیاهان تیره نخود نسبت به پروتئین گندمیان، گوگرد کمتری دارند. نسبت نیتروژن به گوگرد (N/S) در این تیره‌ها به ترتیب 40:1 و 30:1 است (Marshner, 1995).

در خصوص اهمیت گوگرد از دید تغذیه گیاه، همین کافی است که در اکثر محصولات کشاورزی نسبت نیتروژن به گوگرد (N/S) لازم است در محدوده 15-10 و در دانه‌های روغنی این نسبت برای دستیابی به افزایش عملکرد و بهبود کیفیت، باید کم‌تر از 10 باشد. در جدول 2 میزان گوگرد برداشتی توسط محصولات زراعی مختلف با عملکرد معین نشان داده شده است. نسبت نیتروژن به گوگرد در ترکیب پروتئین گیاه نقش دارد. این نسبت در میان خانواده‌های مختلف،

متفاوت است و این نسبت حدود 40 برای لگومینوزها و 30 برای غلات می‌باشد و برای دانه‌های روغنی کمتر از 10 است (Marshner, 1995). در مورد گیاهان روغنی، کودهای گوگردی از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشند، زیرا دانه‌های روغنی در مقایسه با غلات نیاز بیش‌تری به گوگرد دارند، به‌طوری‌که مقدار گوگرد موردنیاز برای برداشت هر تن غلات حدود 3 الی 4 کیلوگرم، گیاهان لگوم 8 و دانه‌های روغنی 5 الی 20 کیلوگرم می‌باشد. در حالت معمول نیاز دانه‌های روغنی به گوگرد، جهت حداکثر تولید و کیفیت عالی هم‌اندازه و یا بیشتر از نیاز آن‌ها به فسفات می‌باشد و به همان اندازه که نیاز به فسفات دارند، به گوگرد نیز نیاز دارند (جدول 3). حد بهینه گوگرد (درصد) در برگ و دانه، در برخی از محصولات زراعی، باغی، سبزی و صیفی در جدول‌های چهار، پنج و شش نشان داده شده است.

جدول 3- مقدار برداشت گوگرد و برخی عناصر غذایی در گیاهان مختلف (Tandon, 1991)

گیاه	عملکرد (تن بر هکتار)	نیتروژن	فسفر (کیلوگرم بر هکتار)	پتاسیم	گوگرد
برنج	7	150	25	150	20
گندم	4	168	34	110	25
ذرت	9	360	52	230	50
سویا	2/5	200	25	110	15
کلزا	2	90	16	110	35

جدول 4- حد بهینه گوگرد در برگ و دانه محصولات زراعی (ملکوتی و همکاران، 1387)

گیاه	برگ	دانه (درصد)
گندم	برگ پرچم	0/2 - 0/5
برنج	در اواسط پنجه‌زنی تا ابتدای تشکیل خوشه	0/2
ذرت	از ظهور گل‌آذین نر تا آغاز مرحله تشکیل کامل	0/25
سورگوم	برگ‌های کامل و بالغ در مرحله رشد رویشی قبل از خوشه‌دهی	0/25
نیشکر	پهنک‌برگ با حذف رگبرگ میانی	0/3
پنبه	برگ‌های بالغ سوم و چهارم بر روی ساقه‌های رویشی در فاصله یک هفته پیش و یک هفته پس از اولین شکوفه‌دهی	0/2 - 0/8
سویا	از پهنک‌برگ‌های کامل بالغ پیش از تشکیل غلاف	0/3 - 0/4
بادام‌زمینی	برگ‌های بالغ، پیش از تشکیل گل	0/3 - 0/5
یونجه	در 10 درصد مرحله شکوفه‌دهی	0/2 - 1/5
چغندر قند	پس از 50 تا 80 روز کشت گیاه در اواسط خردادماه تا اواخر تیرماه	0/3 - 0/5
آفتابگردان	از برگ‌های پنجم و ششم بالایی	0/5 - 0/7
کلزا	برگ‌های توسعه‌یافته بر روی ساقه اصلی و در ابتدای طویل شدن ساقه	0/5 - 0/7
نخود	در ابتدای شکوفه دهی، 50 برگچه از برگچه‌های بالغ جدید	0/2

جدول 5- حد بهینه گوگرد در برگ در برخی از محصولات باغی (ملکوتی و همکاران، 1387)

گیاه	برگ	مرحله نمونه‌برداری	گوگرد (درصد)
سیب	حدود 8 تا 10 هفته پس از شکوفه دهی کامل	0/3	
پرتغال	5 تا 7 ماه پیش از میوه دهی	0/2 - 0/4	
انگور	از برگ‌های بالغ جدید که روبروی خوشه‌های انگور قرار دارند و در اواسط تابستان پیش از متورم‌شدن حبه‌های انگور	0/3	
هلو و گلابی	در اواسط فصل رشد و از برگ‌های بالغ جدید	0/2 - 0/3	
گردو	از برگ‌های بالغ جدید در اواسط تیر و مرداد	0/3	
زیتون	از 50 برگ کاملاً توسعه‌یافته در وسط شاخه‌ها	0/1 - 0/3	
بادام	در اواسط فصل رشد (تیرماه) به تعداد 50 برگ کاملاً توسعه‌یافته از وسط شاخه‌ها	0/4	

جدول 6- حد بهینه گوگرد در برگ در برخی از محصولات سبزی و صیفی (ملکوتی و همکاران، 1387)

گیاه	برگ	مرحله نمونه‌برداری	گوگرد (درصد)
پیاز	پیش از تشکیل غده پیاز و از برگ‌های جدید بالغ	0/3	
کاهو	12 برگ از پیرترین برگ‌ها در مرحله 8 برگی	0/2	
خیار	حدود 15 تا 20 برگ کاملاً باز و بالغ از برگ‌های چهارم و پنجم	0/2 - 0/7	
گوجه‌فرنگی	از برگ‌های بالغ چهارم و پنجم در اواسط شکوفه دهی و از روبروی شکوفه‌ها یا میوه‌های بالایی	4/0 - 0/8	
هندوانه	در زمان گلدهی و یا اوایل تشکیل میوه و از برگ‌های بالغ	0/2 - 0/4	

2-2- تأثیر مصرف گوگرد بر عملکرد و کیفیت محصولات زراعی

در مناطق مختلف کشور، اثر مثبت کاربرد گوگرد در افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاهان مختلف به شرح زیر گزارش شده است.

کلزا: در ایرانشهر، بیشترین عملکرد دانه از کاربرد 7 تن ماده آلی در هکتار و بیشترین درصد روغن از 200 کیلوگرم گوگرد حاصل شد. در شهرکرد، بیشترین عملکرد دانه از کاربرد 100 کیلوگرم در هکتار گوگرد و تیوباسیلوس و بیشترین درصد روغن از کاربرد 300 کیلوگرم گوگرد با 7 تن ماده آلی حاصل شد. در کرمانشاه، بیشترین عملکرد دانه از کاربرد تیمار 200 کیلوگرم در

هکتار گوگرد با 7 تن ماده آلی و بیشترین درصد روغن از 200 کیلوگرم گوگرد حاصل شد. در دزفول، بیشترین عملکرد دانه از کاربرد 200 کیلوگرم در هکتار گوگرد با 7 تن ماده آلی و بیشترین درصد روغن از کاربرد 50 کیلوگرم گوگرد با 7 تن ماده آلی حاصل شد. در داراب، بیشترین عملکرد دانه از کاربرد 300 کیلوگرم در هکتار گوگرد با 7 تن ماده آلی و بیشترین درصد روغن، از کاربرد 50 کیلوگرم گوگرد حاصل شد (نورقلی پور و همکاران 1390a). رحیمیان (1390) گزارش کرده‌اند که با افزایش میزان گوگرد تا سطح 500 کیلوگرم در هکتار، عملکرد دانه و ماده خشک کل و درصد روغن به ترتیب 4/39، 15/38 و 1/69 درصد، افزایش یافت. Karimi و همکاران (2012) به این نتیجه رسیدند که کمترین مقدار pH خاک، بیشترین مقدار فسفر، پتاسیم و نیتروژن کل در خاک و بیشترین مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم در دانه کلزا با مصرف 4500 کیلوگرم در هکتار گوگرد و 50 تن در هکتار کود کمپوست بود. همچنین، این محققین اشاره کردند که مصرف توأم گوگرد عنصری و کود دامی موجب افزایش ماده خشک گیاه کلزا می‌شود و بیشترین مقدار ماده خشک کل و درصد روغن با کاربرد 3000 کیلوگرم گوگرد عنصری همراه با 50 تن در هکتار کمپوست بود. در بررسی انجام‌گرفته در محصول کلزا، در بین مناطق گرم، بیشترین عملکرد مربوط به گنبد و پس از آن داراب، دزفول و مازندران قرار داشتند. کاربرد گوگرد به مقدار 100 کیلوگرم SO_4^{2-} باعث افزایش عملکرد شد. مابین سه منبع گوگرد سولفات آمونیوم، گوگرد پودری و گچ، دو منبع اول به‌صورت معنی‌داری بهتر از گچ بود (نورقلی پور و همکاران، 1390b).

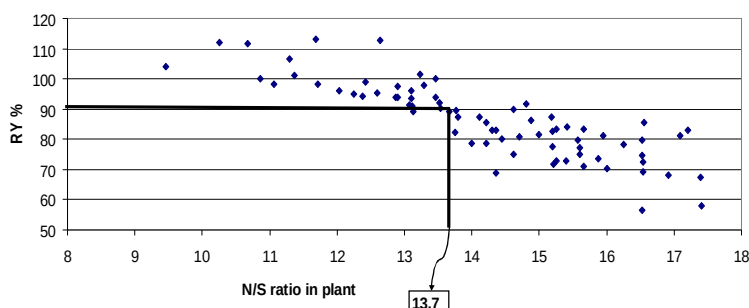
گندم: مصرف توأم ماده آلی و گوگرد در افزایش عملکرد گندم می‌تواند مؤثر بوده و این تیمار نسبت به شاهد، حدود 900 کیلوگرم افزایش عملکرد داشته باشد (خلج و مستشاری، 1380). در تحقیقی که در منطقه سمنان بر روی گندم انجام‌شده بود، مشخص شد که با افزایش میزان گوگرد و کمپوست، عملکرد دانه، وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله، ارتفاع بوته و شاخص‌های سطح برگ، به‌طور معنی‌داری افزایش‌یافته و بیشترین عملکرد دانه و شاخص‌های ذکرشده، با مصرف 400 کیلوگرم گوگرد همراه با 20 تن در هکتار کمپوست بود (مؤمن و همکاران، 1390). بر اساس تحقیقات انجام‌گرفته، مصرف گوگرد در حد 800 کیلوگرم گوگرد عنصری، می‌تواند عملکرد دانه گندم را به‌طور معنی‌داری از 6319 کیلوگرم در هکتار به 7095 کیلوگرم در هکتار افزایش دهد. مصرف 1000 کیلوگرم گوگرد عنصری و در زمان‌های 2 الی 4 ماه قبل از کشت، بهترین تیمار برای افزایش عملکرد کمی و کیفی گندم در استان‌های خراسان رضوی، فارس و

کرمانشاه پیشنهاد شده است (خادمی و همکاران، 1390). مصرف 600 کیلوگرم در هکتار گوگرد همراه با 20 تن در هکتار کمپوست می‌تواند عملکرد و اجزای عملکرد گندم را افزایش دهد، از 1625 کیلوگرم در هکتار به 5249 کیلوگرم در هکتار، افزایش دهد. علاوه بر اثرات مشاهده شده در تغییر غلظت فسفر، پتاسیم، آهن، منگنز، روی و مس، نیتروژن و پروتئین دانه گندم، تأثیر معنی‌دار کاربرد گوگرد بر صفات کمی و کیفی گندم مثل درصد گلوتن و خاصیت خمیرایی آن توسط محققین داخل کشور گزارش گردید (فیض‌اله‌زاده، 1383؛ نورقلی پور و توحیدلو، 1398). بنا به گزارش Flaete و همکاران (2005)، عدم وجود گوگرد کافی در خاک (به مقدار گوگرد در خاک اشاره نشده)، عملکرد گندم و همچنین کیفیت گلوتن آرد را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنا بر نتایج، در سطوح بالای کاربرد کود نیتروژن (300 کیلوگرم نیتروژن)، واکنش معنی‌داری نسبت به مصرف کود گوگرد به دست آمد که خود تأکیدی بر نیاز به کاربرد دقیق گوگرد در سامانه‌های گسترده تولید گندم است.

ذرت: چقازردی و همکاران (1391) گزارش کردند که کاربرد 750 کیلوگرم گوگرد به همراه 8 یا 12 تن کود دامی در هکتار، باعث بیشترین میانگین برای عملکرد و اجزای عملکرد دانه ذرت در خاک‌های آهکی استان کرمانشاه شد. کاربرد 500 کیلوگرم گوگرد عنصری همراه با باکتری تیوباسیلوس باعث کاهش pH خاک و افزایش عملکرد دانه، مقدار روغن و غلظت فسفر و آهن در دانه ذرت می‌شود (Ansori و Gholami، 2015). بشارتی و همکاران (1395) در تحقیقی تحت عنوان بررسی اثر تیوباسیلوس، گوگرد و فسفر بر شاخص‌های رشد ذرت در برخی از مناطق ایران، به این نتیجه رسیدند که اثر گوگرد، فسفر و اثر متقابل آن‌ها بر وزن تر و خشک ذرت در سطح یک درصد معنی‌دار بود و سطوح گوگرد در مقایسه با شاهد وزن تر و خشک ذرت را افزایش داد و کاربرد 1000 کیلوگرم در هکتار گوگرد همراه با باکتری تیوباسیلوس در مزارع ذرت پیشنهاد کردند. با اضافه کردن گوگرد به خاک، می‌توان افزایش عملکرد علوفه را به میزان 41 تا 78 درصد و میزان پروتئین آن 80 تا 123 درصد افزایش داد (Khan و همکاران، 1986). با کاربرد 400 کیلوگرم در هکتار گوگرد، می‌توان شاهد افزایش میزان عملکرد، مقدار آهن و روی جذب شده توسط ذرت نسبت به شاهد بود. در آزمایش‌های گلخانه‌ای، گزارش شده است که استفاده از خاک فسفات به همراه گوگرد و باکتری تیوباسیلوس، وزن خشک ذرت را در دو برداشت نسبت به شاهد، به صورت معنی‌داری افزایش داد (خاوازی و همکاران، 1380).

2-3- شاخص N/S در گیاه برای ارزیابی بهتر گوگرد در گیاه

اخیراً، از شاخص N/St برای ارزیابی وضعیت گوگرد در گیاه استفاده می‌شود (Jamal و همکاران، 2010). برای به‌دست‌آوردن این شاخص، غلظت نیتروژن و گوگرد کل در گیاه گندم اندازه‌گیری می‌شود (Sedlár و همکاران، 2019). برای نمونه‌های گندم بررسی‌شده در ایران، عدد 13/7 (شکل 9) حاصل شد (خادمی و همکاران، 1390). این بدین معنی است که در شرایط کمبود گوگرد، نیتروژن در اندام‌های گیاهی تجمع‌یافته و این نسبت، افزایش می‌یابد که اگر بزرگ‌تر از 13/7 باشد، کاهش عملکرد را در پی خواهد داشت و بالعکس. Zhao و همکاران (1997)، غلظت کمتر از 1/2 میلی‌گرم در گرم دانه گندم و نسبت $N: S < 17$ را دلیلی بر کمبود گوگرد، ذکر کرده و عدد 10 را برای گیاه کلزا گزارش کردند. فیض‌اله‌زاده (1383)، در تحقیق مشابهی، عدد 11 میلی‌گرم در کیلوگرم را برای گیاه کلزا به دست آورد.



شکل 9- نسبت نیتروژن به گوگرد در بافت گیاهی گندم (خادمی و همکاران، 1390).

در بررسی انجام‌شده در پروژه گندم (خادمی و همکاران، 1390) در شرایط مزرعه‌ای و در دانه در سطح یک درصد، اثر کاربرد دو عنصر نیتروژن و گوگرد بر این نسبت در دانه نیز، معنی‌دار گردیده و میانگین تیمارهای محلول‌پاشی توأم نیتروژن و گوگرد در مراحل رشد پنجه رفتن و ساقه رفتن در پایین‌ترین نسبت N/S قرار گرفتند. Schulte و Kelling (2004) اظهار داشتند که گوگرد به‌عنوان جزئی که تشکیل‌دهنده آنزیم نیترات‌ردوکتاز بوده و در تبدیل نیترات به نیتروژن آلی نقش دارد و کمبود آن با متابولیسم نیتروژن در ارتباط است. به همین دلیل، کمبود گوگرد به کمبود نیتروژن شبیه است. در زمینه تأثیر کاربرد گوگرد در گندم برعکس نیتروژن، تحقیقات انجام‌شده در کشور محدود می‌باشد. در تحقیقات انجام‌شده، به گزارش نتیجه عملکرد بسنده شده و به فاکتورهای مقدار گوگرد خاک، آب، دانه و یا کاه، کمتر اشاره شده است (داوودی و همکاران، 1397).

بررسی منابع داخل کشور، نشان می‌دهد که تحقیقات انجام‌شده در زمینه کاربرد توأم گوگرد و نیتروژن در گیاه گندم نیز محدود بوده و در مطالعات انجام‌شده نیز به خصوصیات کیفی گندم اشاره‌ای نشده است. در صورتی که مطابق مطالعات انجام‌گرفته، بسیاری از خصوصیات کیفی گندم و آرد تحت‌تأثیر میزان نیتروژن و گوگرد استفاده‌شده و یا موجود در خاک، قرار می‌گیرد (Hogel و همکاران، 2005؛ Flaete و همکاران، 2005؛ Thomason و همکاران، 2007 و Järvan و همکاران، 2017). بنا به نظر Zaidel و همکاران (2010)، آرد باکیفیت نسبت به آرد بی‌کیفیت، گلوتن و کیفیت خمیر بهتری از بابت حجم نان و افزایش حجم تولید می‌نماید. در آرد باکیفیت، تراکم ذرات بیشتر است و نفوذ آب در آن‌ها آهسته‌تر بوده و به علت تراکم بیشتر ذرات، آب بیشتری نیز برای تهیه خمیر موردنیاز است. نورقلی پور و توحیدلو (1398) گزارش کردند که کاربرد گوگرد باعث افزایش شاخص‌های کیفی گندم ازجمله درصد پروتئین، شاخص سختی و مقدار رطوبت خمیر نسبت به شرایط عدم کاربرد آن شد. با کاربرد 100 کیلوگرم در هکتار گوگرد از منبع سولفات آمونیوم درصد پروتئین از 10/73 به 11/89 افزایش یافت.

3- آزمون خاک برای توصیه علمی کودهای گوگردی

آزمون خاک معمولاً دارای سه مرحله اجرائی به‌صورت زیر می‌باشد:

- مرحله اول: نمونه‌برداری خاک
 - مرحله دوم: عصاره‌گیری و تعیین مقدار عناصر غذایی قابل جذب گیاه در عصاره
 - مرحله سوم: تفسیر نتایج آزمایشگاهی و ارائه توصیه‌های کودی
- مرحله اول آزمون خاک در فاز اول طرح گندم (خادمی و همکاران، 1390) باهدف انتخاب هدفمند نمونه‌ها تحقق پیدا کرد. برای تحقق مرحله دوم آزمون خاک پروژه مقایسه روش‌های عصاره‌گیری گوگرد قابل جذب در آزمایش‌های گلخانه‌ای به‌منظور تعیین حد بحرانی در خاک‌های زیر کشت گندم» انجام شد. توانایی عصاره‌گیرهای مختلف در استخراج گوگرد از خاک با یکدیگر متفاوت و به شرح زیر بود:

کلرورکلسیم > منو کلسیم فسفات > استات آمونیوم

Fox و همکاران (1964) نمک منوکلسیم فسفات را با غلظت 500 میلی گرم در لیتر فسفر برای جابه‌جایی سولفات در بیشتر خاک‌ها مناسب گزارش کردند. Beaton و همکاران (1968) و Jones (1986) نیز از نظر تئوری، ترتیب جابه‌جایی در سطوح جذبی را به‌صورت زیر گزارش کردند:

کلراید = نیترات > استات = سولفات > فسفات > هیدروکسیل.

این امر ترتیبی که از عصاره‌گیرهای استفاده شده در طرح گندم کشور به دست آمد را تأیید می‌نماید. روش استات آمونیوم، بیشترین مقدار گوگرد را استخراج کرد. ضرایب همبستگی معنی‌داری بین گوگرد عصاره‌گیری شده توسط این روش‌ها به دست آمد. قوی‌ترین همبستگی بین کلرورکلسیم و منوکلسیم فسفات ($r = 0/932$)، بین کلرورکلسیم و استات آمونیوم ($r = 0/916$)، بین استات آمونیوم و منوکلسیم فسفات ($r = 0/897$) مشاهده شد. به‌طور کلی، همه روش‌ها با یکدیگر همبستگی بسیار معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، نشان دادند (فیض‌اله‌زاده اردبیلی و خادمی، 1390).

مرحله سوم آزمون خاک در پروژه گندم به این شرح بود. باتوجه‌به حد بحرانی 12 میلی‌گرم گوگرد قابل‌استفاده در کیلوگرم خاک، تیمارهای گوگردی 0، 15، 30، 45 و 100 کیلوگرم در هکتار گوگرد از منبع سولفات کلسیم در کرت‌های آزمایشی در مازندران آزمایش شد (دلیل استفاده از این ترکیب در گزارش مشخص نشده است). تأثیر مصرف گوگرد بر عملکرد دانه معنی‌دار نشد اما مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه دانکن نشان داد که مصرف 100 کیلوگرم گوگرد خالص از منبع سولفات کلسیم با 5609 کیلوگرم در هکتار، بیشترین عملکرد دانه و تیمار شاهد با 5076 کیلوگرم در هکتار، کمترین مقدار عملکرد دانه را تولید نمود.

4- انواع مختلف کودهای گوگردی و راهکار رفع کمبود گوگرد

کودهای شیمیایی گوگردی جامد

- **سولفات آمونیوم:** این کود از ترکیب آمونیاک و اسیدسولفوریک به دست می‌آید. به علت اسیدزایی هنگام اضافه‌شدن به خاک، pH ریزوسفر را تا حدودی پائین می‌آورد. این کود یکی از کودهای مناسب برای خاک‌های آهکی به شمار می‌رود. چون هم دارای گوگرد بوده و هم اسیدزا می‌باشد، این کود دارای 24 درصد گوگرد و 21 درصد نیتروژن است. کاربرد آن برای تمام گیاهان به‌ویژه برای محصولات باغی و سبزی و صیفی که تولیدکننده به دنبال بهبود کیفیت محصولات تولیدی خود می‌باشد اکیداً توصیه می‌گردد. این کود را می‌توان قبل از کاشت (هنگام کاشت) یا به‌صورت سرک همراه با آب آبیاری استفاده نمود (نورقلی‌پور و همکاران، 1390b).

- **سولفات پتاسیم:** یک منبع بسیار عالی برای تأمین پتاسیم و گوگرد موردنیاز گیاه می‌باشد. در شرایطی که یون کلر برای گیاه زیان‌بار باشد، بهتر است، پتاسیم به‌صورت سولفات و یا نترات باشد. این کودها از اثر اسیدسولفوریک و یا اسید نیتریک بر کلرور پتاسیم به دست

می‌آید. سولفات پتاسیم محتوی 40 درصد پتاسیم (50 درصد اکسید پتاسیم) و 18 درصد گوگرد می‌باشد. این کود را می‌توان قبل از کاشت و یا به‌صورت سرک همراه با آب آبیاری استفاده کرد (سلیم‌پور، 1390).

• **سولوپتاس (سولفات پتاسیم 100% محلول در آب):** سولوپتاس با مقادیر بهینه از عناصر پتاسیم و گوگرد ترکیب شده که به سهولت قابل جذب ریشه گیاهان می‌باشند. از آنجاکه سولوپتاس از 51 درصد K_2O و 46 درصد SO_4 (18/7 درصد گوگرد) تشکیل یافته است. سولوپتاس تقریباً فاقد کلر می‌باشد. کود سولوپتاس به‌صورت پودر نرم سفیدرنگ وجود داشته و محلول آن اسیدی است. سولوپتاس را می‌توان با اکثر سموم حشره‌کش و ضدقارچ به‌منظور برگ پاشی مخلوط نمود. می‌توان از این کود به مقدار 15-25 کیلوگرم بر هکتار همراه با آب آبیاری و یا به میزان 5 کیلوگرم بر هکتار محلول پاشی (برگ پاشی) استفاده نمود (Tessenderlo, 2020).

• **گوگرد عنصری:** ترکیبات حاصل از گوگرد عنصری از غلیظ‌ترین کودهای حاوی گوگرد می‌باشد. گوگرد عنصری برای اینکه قابل جذب گیاه باشد، پس از اضافه‌شدن به خاک به همراه مواد آلی و جایگذاری عمقی و در رطوبت مناسب باید اکسیده و به سولفات تبدیل شود تا توسط گیاه قابل جذب باشد. همان‌طور که گفته شد این اکسیداسیون توسط میکروارگانیسم‌های خاک صورت می‌گیرد و عواملی که بر روی این اکسیداسیون مؤثرند عبارت‌اند از اندازه ذرات گوگرد، درجه تماس با خاک، درجه حرارت، رطوبت، تهویه، ویژگی‌های خاک از جمله ماده آلی و وضعیت آب و هوایی، هنگامی که گوگرد کاملاً ریز و با خاک دارای ظرفیت بالای اکسید مخلوط شود، منبع کودی مناسبی خواهد شد. زمان مصرف گوگرد عنصری بسیار مهم بوده و آن را حداقل 3 تا 4 هفته قبل از کشت گیاه همراه با باکتری تیوباسیلوس و مواد آلی بایستی مصرف کرد (بشارتی، 1395).

• **گوگرد کشاورزی گرانول:** این کود حداقل حاوی 85 درصد گوگرد است. مقدار مصرف ساری کود در مزارع باتوجه به نقش بسیار مثبت آن، حداقل 300 کیلوگرم در هکتار است. برای اینکه این کود مؤثر واقع شود، ساری کود را باید همراه با مواد آلی مصرف نمود و همچنین رطوبت خاک نیز کافی باشد. زمان مصرف این کود قبل از کاشت محصولات زراعی بوده و برای تضمین اثربخشی آن، باید همراه با مواد آلی، زیر خاک شود (سلیم‌پور، 1390).

• **گوگرد آلی گرانول:** این کود یکی از تولیدات داخل کشور بوده و در راستای نیل به افزایش مواد آلی خاک‌ها، اصلاح pH خاک و نیل به کشاورزی پایدار تولیدشده است. این کود

محتوی حدوداً 45 درصد گوگرد، 45 درصد مواد آلی و 10 درصد بنتونیت می‌باشد که 90 درصد اندازه ذرات آن 2-4 میلی‌متر بوده و در کیسه‌های 25 کیلوگرمی عرضه می‌گردد. این کود قبل از کاشت باید در عمق خاک (با شخم) جایگذاری و رطوبت نیز کافی باشد تا امکان تبدیل گوگرد به سولفات (فرم قابل‌استفاده گیاهان) فراهم آید (سلیم‌پور، 1390). مقدار مصرف گوگرد آلی گرانول حداقل 500 کیلوگرم بر هکتار می‌باشد.

• **گوگرد بنتونیت‌دار گرانول (کود گوگرد پاستیل):** این کود دارای 88 درصد گوگرد، 12 درصد رس بنتونیت و به رنگ سبز متمایل به زرد می‌باشد. این کود فراوان‌ترین، بهترین و اقتصادی‌ترین ماده اسید زا برای کاهش pH خاک‌ها و افزایش حلالیت عناصر غذایی به‌خصوص عناصر غذایی کم‌مصرف است. ازجمله مزایای آن می‌توان به مواردی نظیر دارابودن غلظت بالای از گوگرد، هزینه کمتر حمل‌ونقل، آبشویی کمتر، امکان کاربرد یک‌باره و تأمین گوگرد چند فصل رشد اشاره کرد؛ بنابراین از آن می‌توان به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک‌های آهکی، کود، تأمین عناصر غذایی کم‌مصرف برای گیاه و به‌عنوان آفت‌کش استفاده کرد. با به‌کاربردن گوگرد بنتونیتی در خاک، بنتونیت موجود در آن به‌مرورزمان رطوبت خاک را جذب نموده و متورم (افزایش حجم) می‌گردد. در اثر افزایش تورم، گوگرد بنتونیتی در خاک متلاشی و گوگرد موجود در آن به ذرات بسیار ریز تبدیل‌شده که این امر، باعث سهولت جذب ذرات گوگرد توسط مولکول‌های خاک می‌شود و در نتیجه اکسیداسیون گوگرد سریع‌تر اتفاق می‌افتد. بنتونیت نقش سازنده‌ای در فرایند اکسیداسیون گوگرد در خاک دارد. اندازه ذرات کود متلاشی‌شده در محدوده چند میکرو تا چند دهم میلی‌متر است. زمان مصرف آن قبل از کاشت همراه با سایر کودهای شیمیایی و همراه با باکتری تیوباسیلوس پیشنهاد می‌شود (سلیم‌پور، 1390).

در زمان استفاده از کودهای شیمیایی گوگردی به‌صورت عنصری استفاده از کودهای زیستی لازم خواهد بود. کودهای زیستی، زیست‌کودها یا کودهای بیولوژیک (Biofertilizer) به مواد حاصلخیزکننده‌ای گفته می‌شود که دارای تعداد کافی از یک یا چندگونه از ریزجانداران سودمند خاک‌زی یا همزیست با ریشه هستند. مصرف کودهای زیستی کم‌هزینه‌تر بوده و در اکوسیستم آلودگی به وجود نمی‌آورد. به‌طور کلی، کود بیولوژیک تراکم زیادی از یک یا چند نوع جاندار مفید خاک‌زی و یا مواد متابولیک این موجودات است که با یک ماده نگهدارنده همراه است و صرفاً به‌منظور تأمین عناصر غذایی موردنیاز گیاه، تولید می‌شود. کودهای زیستی باتوجه‌به نوع ریزجانداران (ریزجانداران سودمند، باکتریایی، قارچی، جلبکی و اکتینومیست‌ها) دسته‌بندی می‌شوند. مایه تلقیح باکتری‌های تیوباسیلوس یکی از کودهای بیولوژیک است که به‌صورت پودر نرم

و نمناک حاوی بیش از 10 میلیون سلول باکتری تیوباسیلوس در هر گرم می‌باشد. این فرمولاسیون می‌تواند باکتری‌ها را برای مدت طولانی به‌صورت فعال در خود نگه دارد.

تیوباسیلوس جنسی از باکتری‌های اتوتروف اسیدوفیل اکسیدکننده آهن یا گوگرد می‌باشد که هنگامی که محیط مناسبی برای رشد داشته باشند، انرژی موردنیاز و غذای خود را از اکسیداسیون گوگرد و آهن به دست می‌آورند. باکتری‌های جنس تیوباسیلوس که تاکنون 20 گونه از آنها شناسایی شده‌اند، مهم‌ترین اکسیدکنندگان گوگرد در خاک‌ها می‌باشند. اهمیت اکسیداسیون گوگرد به این دلیل است که فرم قابل جذب آن، به‌صورت سولفات می‌باشد. علاوه بر آن، تأثیر گوگرد در اصلاح خاک‌های شور و قلیایی بدون اکسیداسیون آن نتیجه‌بخش نخواهد بود. به‌طور کلی، افزودن گوگرد به خاک‌ها در بیشتر موارد به دلیل اکسیداسیون کند این عنصر چاره‌ساز نبوده و لازم است با کاربرد باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد به‌ویژه تیوباسیلوس، سرعت بیشتری یابد (بشارتی و همکاران، 1395).

به‌طور کلی، در خصوص اهمیت استفاده از کود بیولوژیک تیوباسیلوس، می‌توان گفت که در ایران، به دلیل آهکی بودن خاک اراضی کشاورزی بعضی از عناصر غذایی ضروری گیاه مانند فسفر، آهن، روی، مس، منگنز تثبیت و از دسترس گیاه خارج شده است؛ بنابراین، کمبود عناصر غذایی و پایین بودن کارایی مصرف کود یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید محصولات زراعی و باغی محسوب می‌شود. از سوی دیگر، ایران به علت نفت‌خیز بودن، دارای مقدار زیادی گوگرد است که از پالایشگاه‌های نفت و گاز تولید می‌شود. استفاده از گوگرد به‌عنوان فراوان‌ترین و اقتصادی‌ترین ماده اسیدزا، یکی از راهکارهای مقابله با کمبود عناصر غذایی و بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاهان در خاک‌های آهکی است؛ لذا می‌توان از این گوگردها به‌عنوان ماده اسیدزا استفاده کرده و PH خاک را کاهش و عناصر غذایی تثبیت‌شده و خارج‌شده از دسترس گیاه را جذب کنیم. معمولاً، به‌ازای هر 50 کیلوگرم گوگرد، باید یک کیلوگرم مایه تلقیح تیوباسیلوس و قبل از کشت مصرف نمود (بشارتی، 1395). در حال حاضر پالایشگاه گاز خانگیران اقدام به تولید گوگرد بنتونیتی پاستیلی به فرم عدس نموده است که به‌سرعت در خاک پخشیده می‌شود و از کارایی بالاتری نسبت به سایر شکل‌های گوگرد برخوردار است.

گوگرد مایع: وقتی گوگرد عنصری اکسید شود، از حالت عنصری به گاز SO_2 تبدیل شده و خاصیت قارچ‌کشی دارد. پس از طی مراحل اکسایش، یون سولفات تولید می‌شود که شکل قابل جذب گوگرد برای گیاهان است. فرم جامد گوگرد عنصری، پس از کاشت محصول قابل مصرف

نیست و در خیلی از موارد افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی خاک در اثر مصرف گوگرد، هم‌زمان با حداکثر نیاز گیاه به این عناصر غذایی، اتفاق نمی‌افتد.

گوگرد مایع به دلیل اثرگذاری بیشتر و سهولت استفاده از آن با آب آبیاری و قابلیت محلول‌پاشی در مراحل مختلف رشد گیاه، دارای مزایا و کارایی بیشتری نسبت به گوگرد جامد بوده و استفاده از آن بسیار آسان است (Twinstat، 2024). گوگرد مایع به دلیل این‌که با حجم بیشتری از خاک و ریزجانداران اکسیدکننده گوگرد موجود در خاک در تماس است، در صد بیشتری از آن اکسایش می‌یابد.

در سال‌های اخیر تولید و مصرف گوگرد مایع افزایش قابل‌توجهی داشته است؛ ولی هیچ‌گونه کار تحقیقاتی در مورد میزان و چگونگی مصرف و نحوه اثرگذاری آن در قالب پروژه تحقیقاتی صورت نگرفته است. گوگرد مایع به شکل‌های تیوسولفات، عنصری، سولفید و دیگر شکل‌های محلول تولید می‌شود. از مزایای گوگرد عنصری مایع نسبت به شکل جامد آن این است که پس از کاشت محصول نیز به راحتی با آب آبیاری قابل مصرف است؛ بنابراین، می‌توان شکل مایع گوگرد عنصری را در زمان حداکثر نیاز گیاه با سیستم آبیاری مصرف کرد. همچنین از دیگر مزایای گوگرد مایع این است که می‌توان آن را با ترکیبات نیتروژن، کلسیم، پتاسیم و بعضی از اسیدهای آلی غنی‌سازی کرد. از طرفی برگ‌پاشی گوگرد عنصری مایع نسبت به شکل جامد آن بسیار راحت‌تر است. طی سال‌های اخیر با انجام تحقیقات، نسبت به غنی‌سازی و افزایش خصوصیات کیفی و تغذیه‌ای کودهای گوگردی مایع اقدام شده است. به‌طوری‌که، گوگرد موجود در آن به چند فرم مختلف بوده و دارای خواص تغذیه‌ای و قارچ‌کشی می‌باشد.

نانو کودهای گوگردی: به‌طور کلی، محلول‌پاشی نانو کودهای گوگردی می‌تواند قابلیت تولید را در کشاورزی بهبود بخشد و درعین حال اثرات مضر تنش شوری بر گیاهان را به حداقل برساند؛ بنابراین، این ترکیبات می‌توانند به‌عنوان جایگزین کودهای معمولی حاوی گوگرد برای کاهش اثرات مضر تنش شوری و افزایش بهره‌وری گیاه در نظر گرفته شوند. تحقیقات بیشتر در زمینه این کودها در جهان در حال انجام است (SUN و همکاران، 2024).

سوپر فسفات ساده: این کود علاوه بر فسفر حاوی حداقل 12 درصد عنصر گوگرد به شکل بنیان سولفات است؛ بنابراین انواع سوپر فسفات ساده می‌تواند در خاک‌هایی که با کمبود هر دوی این عناصر مواجه‌اند مورد استفاده قرار گیرد. در کل، علت برتری این کود نسبت به سایر کودهای فسفردار را می‌توان به داشتن گوگرد نیز نسبت داد.

زمان مصرف کودهای گوگردی: نتایج بررسی انجام گرفته در سه استان فارس، کرمانشاه و خراسان در مورد گیاه گندم نشانگر این بود که تیمار مصرف 1000 کیلوگرم گوگرد عنصری 4 ماه قبل از کشت و یا مصرف 96 کیلوگرم گوگرد در زمان کاشت به صورت سولفات آمونیوم، معادل 400 کیلوگرم در هکتار سولفات آمونیوم (حاوی 24% گوگرد و 21% نیتروژن) بیشترین عملکرد را نسبت به سایر تیمارها تولید نمود (خادمی و همکاران، 1390). صرف نظر از زمان‌های مختلف مصرف گوگرد، مصرف کودهای گوگردی موجب افزایش قابلیت جذب عناصر فسفر، آهن، روی و منگنز خاک در همه تیمارها نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف گوگرد) شد. به طوری که، بیشترین قابلیت دسترسی عناصر آهن و روی خاک از تیمار مصرف 1000 کیلوگرم در هکتار گوگرد عنصری چهار ماه قبل از کاشت نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف گوگرد) به ترتیب به میزان 44/14 و 71 درصد افزایش حاصل کرد.

5- توصیه کودی گوگرد برای چند محصول زراعی (کلزا، سویا، گلرنگ، پنبه و پیاز)

باتوجه به مطالعات انجام گرفته در طول سال‌های گذشته، در کشور، توصیه‌های کودی گوگرد برای محصول‌های زراعی مختلف ارائه شده و در مراحل، این توصیه‌ها به روزرسانی گردیده است. در قسمت‌های زیر توصیه‌ها برای هر محصول ارائه شده است.

5-1- گیاه کلزا

بهترین زمان برای تعیین وضعیت عناصر غذایی در گیاه کلزا کامل‌ترین برگ جوان در ابتدای گلدهی می‌باشد. در جدول (7) حدود بهینه عناصر غذایی در برگ کلزا ارائه شده است.

جدول 7- حدود بهینه عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف در برگ کاملاً توسعه یافته بر روی ساقه اصلی در ابتدای طویل شدن ساقه کلزا (نورقلی پور و همکاران، 1393)

عناصر پرمصرف (درصد)	گوگرد	منیزیم	کلسیم	پتاسیم	فسفر	نیتروژن
0/5 – 0/7	0/1 – 0/2	1/0 – 2/2	3/0 – 4/5	0/3 – 0/5	4/0 – 5/5	
عناصر کم‌مصرف (میلی گرم در کیلوگرم)	مولیبدن	بور	مس	روی	منگنز	آهن
0/5 – 0/7	20-40	5-10	40-70	50-100	100-200	

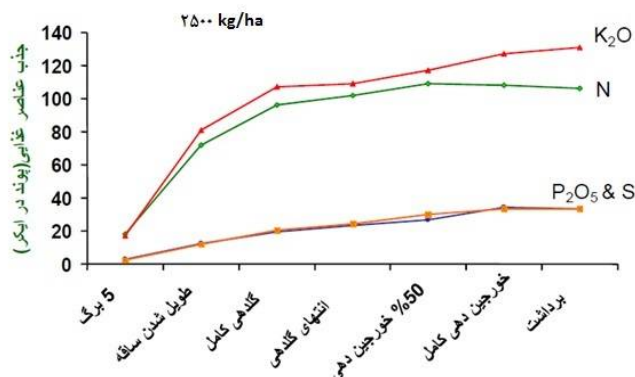
علائم ظاهری کمبود گوگرد در کلزا: گوگرد چهارمین عنصر غذایی موردنیاز کلزا می‌باشد که برای رشد کافی و مناسب ضروری است. قبل از آنکه علائم کمبود ظاهر شود، کمبود آن سبب کاهش شدید عملکرد می‌گردد. به‌طور کلی، علائم کمبود گوگرد بسیار مشابه با نیتروژن بوده و در مراحل غنچه‌دهی و گلدهی دیده می‌شود. زیرا، نیاز گیاه به گوگرد در طی این دوره بالا می‌باشد. علائم کمبود، برعکس نیتروژن، ابتدا در برگ‌های بالایی ظاهر می‌شود. لذا در برگ‌های جدید، گل‌ها و در نوک خورجین‌ها، کمبود مشاهده می‌گردد. شاخه‌های در حال رشد بیشتر از برگ‌های پیر در معرض کمبود گوگرد قرار دارند. کمبود گوگرد سبب زرد شدن برگ‌های جوان در مراحل ابتدایی شده و این زرد شدگی به‌تدریج به همه برگ‌ها پیشرفت می‌کند. آزمون بافت نیز می‌تواند در شناخت کمبود گوگرد استفاده شود. نسبت نیتروژن به گوگرد در بافت گیاهی نیز در تشخیص کمبود مهم است. در کمبود شدید گوگرد، برگ‌ها رشد ضعیفی داشته و در بخش‌های فوقانی گیاه به‌صورت فنجانی شکل درآمده و رنگ ارغوانی در پشت برگ‌ها، مشاهده می‌شود (شکل 10). گل‌ها نیز اغلب رنگ‌پریده‌تر از حالت طبیعی می‌باشند (Canola encyclopedia, 2024).



شکل 10- کمبود گوگرد در برگ کلزا (لکه‌های زرد و سبز روشن شدن برگ)
(Canola encyclopedia, 2024).

الگوی جذب عناصر غذایی در کلزا: در شکل (11) الگوی جذب عناصر غذایی توسط کلزا نشان داده شده است. الگوی جذب نیتروژن و تولید ماده خشک کلزا، مشابه گندم است. حداکثر تولید ماده خشک و تجمع نیتروژن بین آغاز ساقه‌دهی یا شاخه‌دهی و پایان گلدهی است. هرگونه

تنش در این زمان تجمع ماده خشک و جذب نیتروژن را محدود خواهد کرد. از طرفی عملکرد دانه به دلیل کاهش شاخه فرعی و گلدهی می‌یابد (Koenig و همکاران، 2011).



شکل 11- مراحل و میزان جذب نیتروژن، فسفر، پتاسیم و گوگرد برای کل گیاه کلزا (Koenig و همکاران، 2011)

کلزا و بذرهای آن حاوی مقادیر بالایی پروتئین می‌باشند تا آنجا که هر تن کلزا 4-5 برابر گندم گوگرد از خاک خارج می‌کند. پروتئین نیز از واحدهای ساده‌ای به نام اسیدآمینه تشکیل شده است که در آن گوگرد به کاررفته است که نسبت نیتروژن به گوگرد (N/S) در آن 7-10 به یک می‌باشد. گوگرد هرچند جزئی از کلروفیل نیست، اما برای تشکیل کلروفیل برای فرایند فتوسنتز، ضروری می‌باشد.

توصیه مصرف گوگرد در کلزا: گوگرد چهارمین عنصر غذایی موردنیاز کلزا می‌باشد که برای رشد کافی و مناسب کلزا ضروری است. هر تن کلزا 4 تا 5 برابر گندم گوگرد از خاک خارج می‌کند. مقدار کافی گوگرد به شکل سولفات در خاک به صورت قابل توجهی رشد رویشی و تولید ماده خشک را افزایش می‌دهد و سبب افزایش تعداد خورجین و عملکرد بذر با افزایش مقدار پروتئین در بذرهای می‌گردد. گیاه، گوگرد را به صورت سولفات از خاک جذب می‌کند. تغذیه گوگرد بستگی بسیار زیادی به معدنی شدن مواد آلی خاک دارد. تأمین گوگرد کافی برای زراعت بستگی به برخی عوامل مانند مقدار گوگرد جذب شده از اتمسفر و مقدار سولفات موجود در آب آبیاری نیز دارد. معمولاً بیشتر گوگرد موجود در خاک به شکل آلی بوده و قابل جذب سریع توسط گیاه نمی‌باشد. با توجه باینکه معدنی شدن یک فرایند زیستی (بیولوژیک) است، بنابراین با شرایط

محیطی از جمله جمعیت ریز جانداران اکسیدکننده گوگرد (که از عمده آن‌ها می‌توان باکتری‌های خانواده تیوباسیلوس را نام برد) رطوبت، دما و ماده آلی مرتبط می‌باشد (Canola encyclopedia, 2024).

کودهای مختلف گوگردی در حال حاضر قابل استفاده می‌باشند. ترکیبات سولفاتی را می‌توان هنگام کاشت مصرف نمود؛ اما شکل گوگرد عنصری بایستی توسط ریز جانداران در خاک به شکل سولفات درآیند تا قابل استفاده گیاه شوند. تبدیل گوگرد عنصری نیاز به حداقل چندین هفته شرایط گرم و رطوبت مناسب خاک دارد. به هر حال هنگامی که کمبود علائم خود را ظاهر می‌سازد بایستی از فرم‌های سولفاتی استفاده نمود.

استفاده از گوگرد عنصری در حالت پودری و یا به شکل پاستیل قابل توصیه است. به علاوه می‌توان از گوگرد آلی گرانول نیز استفاده کرد. این کودها پیش از کشت مصرف می‌گردند. در صورت استفاده از گوگرد عنصری می‌بایست شرایط لازم برای اکسیداسیون آن در خاک فراهم گردد. در این صورت کاربرد گوگرد به همراه باکتری‌های تیوباسیلوس توصیه می‌شود. در صورتی که کود سولفات آمونیوم در دسترس باشد می‌توان 100 کیلوگرم در هکتار کود سولفات آمونیوم را در مرحله کاشت جایگزین 50 کیلوگرم در هکتار کود اوره نمود. البته باید توجه داشت در صورتی که برای جبران کمبود عناصر در خاک مثل پتاسیم، منیزیم، روی، منگنز و مس از شکل سولفات این عناصر استفاده گردد می‌تواند تأمین کننده گوگرد مورد نیاز گیاه نیز باشد.

بررسی‌های موجود نشان داده که کاربرد گوگرد به مقدار 250 تا 500 کیلوگرم در هکتار در مناطقی مثل داراب، دزفول، شهرکرد و مازندران و در منطقه‌ای مثل قم کاربرد 1000 کیلوگرم در هکتار به همراه تیوباسیلوس، باعث واکنش مثبت گیاه و افزایش معنی‌دار عملکرد کلزا شده است.

2-5- گیاه سویا

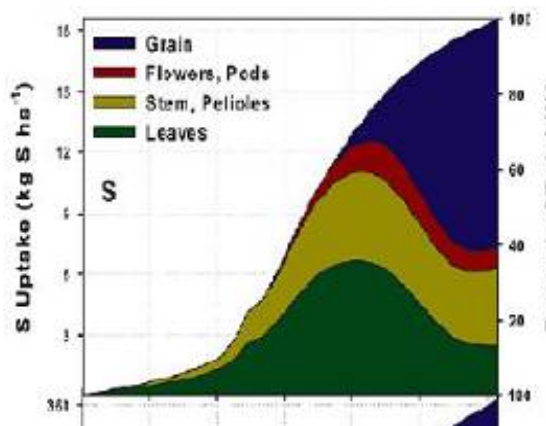
حدود بهینه عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف در برگ کاملاً توسعه یافته سویا در جدول (8) و مقدار کل جذب عناصر غذایی توسط گیاه سویا در عملکردهای مختلف در جدول (9) ارائه شده است. گیاهان دانه روغنی از جمله سویا نسبت به محصولات دیگر به مقدار بیشتر گوگرد نیاز دارند. این عنصر در کنار عنصر منیزیم در ساخت روغن در گیاهان دانه روغنی مؤثر است (Walker و Booth, 2003). در شکل (12) الگوی جذب گوگرد در دانه، گل‌ها، غلاف، ساقه،

دمبرگ و برگ‌های سویا در روزهای پس از کشت یا مراحل رشد سویا نشان داده شده است. در شکل (13) علائم کمبود گوگرد در سویا نشان داده شده است. کمبود گوگرد در صورت بروز از لحاظ ظاهر، همانند کمبود نیتروژن است با این تفاوت که کمبود نیتروژن ابتدا در برگ‌های پیر، ظاهر می‌شود، اما کمبود گوگرد در برگ‌های جوان ظاهر می‌گردد. همچنین، در سنتز کلروفیل نیز دخیل می‌باشد. کمبود گوگرد اغلب به پایین بودن میزان مواد آلی خاک ارتباط داشته و سبب کاهش وزن گره‌ها و کاهش تثبیت نیتروژن می‌گردد (Cropwatch, 2017).

جدول 8- حدود بهینه عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف در برگ کاملاً توسعه یافته سویا قبل از تشکیل غلاف

عناصر پرمصرف (درصد)	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	گوگرد
	3/5 – 5/5	0/3 – 0/4	1/7 – 2/5	1/1 – 2/2	0/3 – 1/0	0/3 – 0/4
عناصر کم‌مصرف (میلی گرم در کیلوگرم)	آهن	منگنز	روی	مس	بر	مولیبدن
	100-200	50-100	30-80	10-30	30-60	3

(نورقلی پور و همکاران، 1398)



شکل 12 - الگوی جذب گوگرد در دانه، گل‌ها، غلاف، ساقه، دمبرگ و برگ‌های سویا در روزهای پس از کشت یا مراحل رشد سویا (Bender و همکاران، 2015)

جدول 9 - مقدار عناصر غذایی برداشت‌شده در دانه و کل گیاه سویا (Brown, 2008)

عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)					
5100	4080	3060	2040	1020	
295	238	178	116	58/6	دانه
445	359	269	176	88/2	کل گیاه
59	45/8	34/3	15/8	6/6	دانه
79	61/6	46/2	21/3	8/9	کل گیاه
122	89	66/7	41/4	21/7	دانه
227	165	124	77	40/4	کل گیاه
8/5	6/7	5/3	4/0	2/0	دانه
38/3	30/6	24/2	18	8/3	کل گیاه
9/7	7/7	5/8	3/5	1/6	دانه
24/2	19/4	14/6	8/8	4/2	کل گیاه
16/6	13/3	8/8	6/4	3/6	دانه
50/3	40/2	26/5	19/5	11	کل گیاه



شکل 13 - علائم کمبود گوگرد در مزرعه سویا (Cropwatch, 2017)

5-3- گیاه پنبه

نیاز غذایی پنبه: پنبه‌مانند سایر گیاهان به نیتروژن، فسفر، پتاسیم در درجه اول و کلسیم، گوگرد، منیزیم، بور، آهن و روی در درجه دوم احتیاج دارد. عناصر غذایی دسته دوم از نظر مقدار، کمتر از عناصر غذایی دسته اول به مصرف گیاه می‌رسند، اما تمام عناصر ذکرشده در رشد و نمو بوته پنبه اهمیت خاصی دارند. تولید هر تن وش (دانه همراه با الیاف) موجب خروج 32 تا 46 کیلوگرم نیتروژن، 12 تا 15 کیلوگرم فسفر، 32 تا 43 کیلوگرم پتاسیم و 8 تا 10 کیلوگرم منیزیم از خاک می‌گردد (ضیائی‌ان و همکاران، 1384). برای جبران عناصر غذایی خارج‌شده و

به‌منظور رشد و نمو بهینه نیازمند استفاده از کودهای شیمیائی و آلی می‌باشیم. در جدول (10) برداشت تقریبی عناصر غذایی توسط یک تن وش (الیاف) پنبه و در جدول (11) حدود کفایت عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف در پهنک‌برگ پنبه نشان داده شده است.

جدول 10- برداشت تقریبی عناصر غذایی توسط یک تن وش (الیاف) پنبه (ضیائی‌ان و همکاران، 1384)

نیتروژن	فسفر	پتاسیم	منیزیم	گوگرد	آهن	روی	بور	مس	منگنز	مولیبدن
کیلوگرم در هکتار					گرم در هکتار					
55	13	17	5	6	814	430-645	165-260	48-121	313-408	2-4

جدول 11- حدود کفایت عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف در پهنک‌برگ پنبه (ضیائی‌ان و همکاران، 1384)

عناصر غذایی پرمصرف (%)						زمان نمونه‌برداری
نیتروژن	فسفر	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	گوگرد	
3-4/5	0/2-0/6	1/5-3	2-3/5	0/3-0/9	0/2-0/8	ابتدای گلدهی
3-4/5	0/1-0/6	0/7-2/5	2-4	0/3-0/9	0/3-0/9	رسیدن محصول

عناصر غذایی کم‌مصرف (میلی گرم در کیلوگرم)						زمان نمونه‌برداری
مس	روی	آهن	منگنز	بور		
5-25	20-200	50-250	25-350	20-80		ابتدای گلدهی
-	50-300	50-300	10-400	15-200		رسیدن محصول

کمبود گوگرد در پنبه: مشخص‌ترین علائم کمبود گوگرد، ظهور برگ‌های رنگ‌پریده (سبز روشن) در قسمت‌های بالایی بوته است (شکل 14). تحت شرایط کمبود شدید گوگرد، رشد زایشی بوته متوقف می‌شود و شاخه‌های جانبی به‌شدت کاهش می‌یابد. علائم کمبود گوگرد به طور معمول با علائم کمبود سایر عناصر غذایی در پنبه اشتباه می‌شوند؛ لذا باید برای مشخص‌شدن کمبود از دیگر روش‌ها نیز استفاده نمود. نتایج تجزیه گیاه نیز از روش‌های مهم جهت تشخیص وضعیت تغذیه‌ای گوگرد در گیاه است. علاوه بر این حد بحرانی گوگرد در برگ برای پنبه 0/2 درصد در مرحله ابتدای ظهور غنچه‌های گل گزارش شده است (ضیائی‌ان و همکاران، 1384). از آنجایی که گوگرد در تشکیل کلروفیل نیز دخالت دارد، لذا علائم کمبود آن در پنبه شبیه کلروز ناشی از کمبود نیتروژن است با این تفاوت که کمبود گوگرد برخلاف کمبود نیتروژن بیشتر در برگ‌های جوان دیده می‌شود.



شکل 14- علائم کمبود گوگرد در پنبه (ضیائیان و همکاران، 1384)

توصیه مصرف گوگرد در پنبه: گیاه پنبه نسبت به سایر گیاهان نیاز بیشتری به گوگرد داشته و به همین دلیل برخلاف سایر گیاهان مقدار کل گوگرد در پنبه بیشتر از کل مقدار فسفر است. از کل گوگرد جذب‌شده توسط پنبه نصف آن در بذر وجود دارد. به‌ازای هر 12 تا 15 قسمت نیتروژن در گیاه، یک قسمت گوگرد می‌بایست وجود داشته باشد. در جدول (12) درصد گوگرد در ماده خشک برای تعیین وضعیت تغذیه‌ای گوگرد در پنبه ارائه‌شده است. حد بحرانی گوگرد در خاک با روش عصاره‌گیری با استات، 14 میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد (ضیائیان و همکاران، 1384). به‌عبارت‌دیگر خاک‌هایی که کمتر از 14 میلی‌گرم در کیلوگرم گوگرد قابل‌جذب دارند نیازمند کاربرد کودهای گوگردی می‌باشند. علاوه بر این حد بحرانی گوگرد در برگ توسط محققان مختلف 0/15-0/2 درصد گزارش شده است.

جدول 12- درصد گوگرد در ماده خشک برای تعیین وضعیت تغذیه‌ای گوگرد در پنبه

نوع برگ	حدود طبیعی	حدود کمبود
جوان	1/5	0/17
پیر	0/75	0/34

5-4- گیاه گلرنگ

گوگرد چهارمین عنصر غذایی موردنیاز گلرنگ می‌باشد که برای رشد کافی و مناسب ضروری است. قبل از آن‌که علائم کمبود ظاهر شود، کمبود آن سبب کاهش شدید عملکرد می‌گردد (بایبوردی و نورقلی پور، 1398). به‌طور کلی علائم کمبود گوگرد بسیار مشابه با نیتروژن بوده و در مراحل غنچه‌دهی و گلدهی دیده می‌شود زیرا نیاز گیاه به گوگرد در طی این دوره زیاد می‌باشد.

علائم کمبود برعکس نیتروژن ابتدا در برگ‌های بالایی ظاهر می‌شود. لذا در برگ‌های جدید، گل‌ها و در نوک غوزه‌ها، کمبود مشاهده می‌گردد. شاخه‌های در حال رشد بیشتر از برگ‌های پیر در معرض کمبود گوگرد قرار دارند. کمبود گوگرد سبب زرد شدن برگ‌های جوان در مراحل ابتدایی شده و این زرد شدگی به تدریج به همه برگ‌ها پیشرفت می‌کند. آزمون بافت نیز می‌تواند در شناخت کمبود گوگرد استفاده شود. نسبت نیتروژن به گوگرد (N/S) در بافت گیاهی نیز در تشخیص کمبود مهم است (بایبوردی و نورقلی پور، 1398). در کمبود شدید گل‌ها نیز اغلب رنگ‌پریده‌تر از حالت طبیعی می‌باشند (شکل‌های 15 و 16).



شکل 15: علائم ظاهری کمبود گوگرد در گیاه گلرنگ و مقایسه آن با کمبود نیتروژن و فسفر (Bonfim-Silva و همکاران، 2016)



شکل 16 - کمبود گوگرد در بوته گلرنگ (Bonfim-Silva و همکاران، 2016)

توصیه کودی گوگرد در گیاه گلرنگ: گوگرد برای گلرنگ همانند سایر زراعت‌های خانواده براسیکا و لگوم یک ماده غذایی مهم به شمار می‌رود. واکنش مثبت عملکرد به کاربرد گوگرد در

بسیاری از کشورها از جمله کانادا، فرانسه و سوئد، گزارش شده است. البته تأمین گوگرد کافی بستگی به برخی عوامل مانند مقدار گوگرد خاک، مقدار گوگرد منتقل شده به خاک توسط باران یا مقدار گوگرد جذب شده از اتمسفر دارد که این عوامل عمدتاً با دودهای گوگردار کارخانه‌ها و استفاده از کودهای گوگردار نظیر سولفات آمونیوم یا سوپر فسفات مرتبط می‌باشد. مقدار گوگرد دانه از 0/36 تا 1/80 درصد ماده خشک در زراعت‌هایی که گوگرد دریافت کرده‌اند، تغییر می‌کند. بر مبنای محاسبه متوسط یک درصد گوگرد در ماده خشک، میزان انتقال گوگرد، 11 کیلوگرم به ازاء تولید هر تن دانه با 10 درصد رطوبت می‌باشد (Dahnke و همکاران، 1990). نظر به اینکه بیشترین مقدار گوگرد خاک به شکل آلی است، لذا میزان سولفات قابل دسترس گیاه از منابع خاک به میزان معدنی شدن این مواد آلی بستگی دارد. کمبود، اغلب در سال‌هایی اتفاق می‌افتد که بارندگی زیاد بوده و سولفات خاک شسته می‌شود (مخصوصاً در خاک‌های سبک). معدنی شدن سولفات خاک در اوایل بهار به آرامی صورت می‌گیرد ولی با بالا رفتن سریع دمای محیط، رشد گلرنگ نیز آهنگ سریع‌تری یافته و نیاز آن به گوگرد بیشتر می‌شود و لذا گوگرد معدنی شده موجود در خاک در این زمان برای تأمین نیاز آن کافی نمی‌باشد. کود نیتروژن می‌تواند در واکنش گلرنگ به گوگرد مؤثر باشد. استفاده از نیتروژن بدون گوگرد باعث می‌شود که نبات رشد رویشی و گلدهی قابل توجهی داشته باشد، اما تشکیل دانه کاهش یافته و گلدهی به‌طور نامحدود تا پائیز ادامه یابد (Dahnke و همکاران، 1990). باتوجه به اینکه گلرنگ پاییزه رشد رویشی و عملکرد بیشتری نسبت به گلرنگ بهاره دارد، مقدار گوگرد بیشتری نیاز دارد (بایبوردی و نورقلی-پور، 1398). در مواردی که به دلیل شرایط مرطوب اقلیمی در منطقه کشت، امکان گسترش بیماری قارچی در مزرعه گلرنگ وجود داشته باشد کاربرد گوگرد به‌صورت مایع و محلول‌پاشی آن و یا کاربرد پودری آن به‌صورت پاشش سطحی در کاهش اثرات تنش‌های زنده نیز مفید خواهد بود (بارندگی‌های بهاره).

5-5- پیاز

در گیاه پیاز، کاربرد گوگرد در مرحله پیش کشت باعث تقویت رشد گیاه شده و در مرحله رشد رویشی، نقش مؤثری در تشکیل ماده تند پیاز داشته و در مرحله پر شدن سوخ بستگی به‌تندی مطلوب پیاز دارد (Forney و همکاران، 2009). گوگرد عنصر غذایی ضروری برای پیاز بوده و طعم مخصوص آن وابسته به این عنصر است. برخی از ترکیبات گوگرددار، باعث تند پیاز

شده و از رشد قارچ و باکتری ممانعت نموده و باعث کاهش ضایعات در زمان انبارداری می‌گردد. زمانی که پیاز بریده می‌شود، ترکیبات فرار گوگرد در اثر عکس‌العمل آنزیم آلیناز آزاد می‌گردند. ارقام مختلف پیاز، از لحاظ غلظت ترکیبات گوگرد، با یکدیگر متفاوت هستند (Boyhan, 2008). در هندوستان، گوگرد به مقدار 200-250 کیلوگرم در هکتار در هر 2-3 سال، مصرف می‌گردد. نیاز گیاه به مواد غذایی و آب در مراحل رشد و پر شدن سوخ (پیاز)، بیشتر از سایر مراحل می‌باشد. لذا در این مرحله، مقدار جذب گوگرد نیز بیشتر است.

پیاز خشک نیاز کمی به گوگرد دارد و بیشترین زمان جذب گوگرد در گیاه در اواخر مرحله بلوغ گل است، پس برای داشتن پیازهایی شیرین باید در اوایل مرحله بلوغ گل، محصول را برداشت کرد و یا مقدار گوگرد در خاک گیاه را به حداقل رساند. اگر محصول را به‌صورت پیازچه برداشت کنید مسلماً تندی بسیار کمی خواهد داشت، چراکه میزان جذب گوگرد آن بسیار کم بوده است.

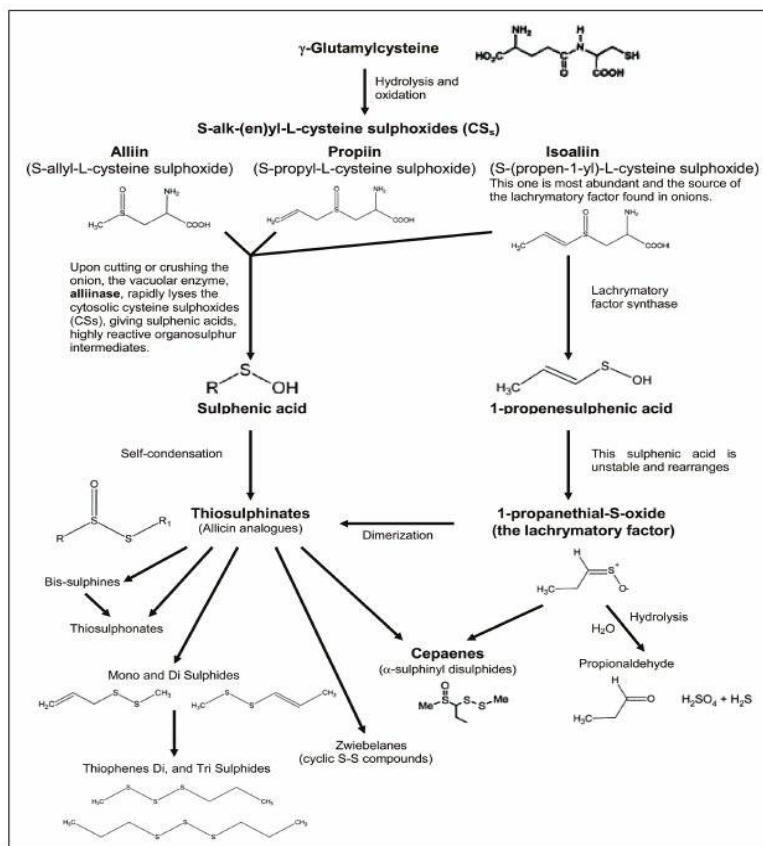
اگر در آزمون خاک، مقدار گوگرد قابل جذب کمتر از 15 (20-10) میلی‌گرم در کیلوگرم و در آب آبیاری کمتر از 5 میلی‌گرم در کیلوگرم باشد، باید از ترکیبات گوگردی استفاده نمود. غلظت بحرانی، کمبود و سمیت گوگرد در پیاز (برگ‌های 5 ماه انتهایی) به ترتیب 0/3-0/49، 0/5-1 و بیش از 1 درصد است. در برخی از منابع، مقدار کفایت آن 0/2-0/6 درصد، بیان شده است. در بسیاری از موارد، بیشترین مقدار عملکرد در محدوده کاربرد 300-45 کیلوگرم در هکتار گوگرد حاصل شده است. در ایران، کاربرد 200-250 کیلوگرم در هکتار گوگرد عنصری همراه باکتری‌های اکسیدکننده برای گیاه پیاز، قبل کشت قابل توصیه است (توسلی و بصیرت، 1393). در صورت عدم مصرف در مرحله پیش کشت می‌توان از کود گوگرد مایع به مقدار 3 تا 5 لیتر در هکتار با 400 لیتر آب در مرحله قبل از تشکیل غده یا به‌صورت کودآبیاری به مقدار 15-10 لیتر در هکتار از طریق شیر بشکه استفاده نمود. استفاده از کود نیتрат به‌جای کود سولفات در ابتدای کشت باعث کاهش تندی پیاز خواهد شد.

در شکل (17) علائم کمبود گوگرد در پیاز و در شکل (18) تشکیل ترکیبات آلی گوگرد در طی مسیرهای متابولیک در پیاز فراوری شده نشان داده شده است. در شکل 19 جذب تجمعی گوگرد در پیاز اراده شده است.



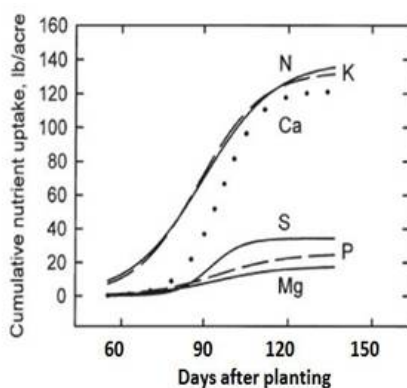
شکل 17- علائم کمبود گوگرد در پیاز

(برگ‌های جدید به رنگ زرد کم‌رنگ - راست، کاهش تعداد برگ - چپ) (YARA 2024)



شکل 18- تشکیل ترکیبات آلی گوگرد در طی مسیرهای متابولیک در پیاز فرآوری شده

(Corzo-Martínez and Villamiel, 2012)



شکل 19- جذب تجمعی گوگرد در پیاز (محور افقی، روز پس از کشت و محور عمودی جذب تجمعی پوند در ایگر) (Sullivan و همکاران، 2001)

6- جمع‌بندی مطالب

- در ایران، به دلیل آهکی بودن اکثر خاک‌ها و pH بالا، کارایی زراعی کودهای فسفاتی و اکثر عناصر ریزمغذی (به جز مولیبدن) به دلیل تشکیل ترکیبات نامحلول، پایین است. از مهم‌ترین راهکارهای کاهش pH و افزایش فراهمی عناصر غذایی استفاده از کودهای اسیدزا مانند گوگرد همراه با باکتری تیوباسیلوس است.
- علاوه بر این، خود گوگرد نیز در بافت گیاهان باید به میزان کافی وجود داشته باشد. حد بهینه گوگرد بسته به نوع گیاه متفاوت بوده و به‌طور کلی در محدوده 0/5-0/7 درصد می‌باشد. گیاهان دانه روغنی از جمله کلزا و سویا نسبت به محصولات دیگر به مقدار بیشتر گوگرد نیاز دارند. این عنصر در کنار عنصر منیزیم در ساخت روغن در گیاهان دانه روغنی مؤثر است.
- حد بحرانی گوگرد قابل‌استفاده در خاک نیز از عوامل مهم در تغذیه گیاهان به حساب می‌آیند. حد بحرانی این عنصر در خاک بسته به نوع گیاه از 12 تا 15 میلی‌گرم در کیلوگرم متغیر می‌باشد. اگر در آزمون خاک، مقدار گوگرد قابل‌جذب کمتر از حد بحرانی و در آب آبیاری کمتر از 5 میلی‌گرم در کیلوگرم باشد، باید از ترکیبات گوگردی استفاده نمود.
- علاوه بر حد بهینه گوگرد در گیاه و حد بحرانی آن در خاک، نسبت نیتروژن به گوگرد (N/S) در بافت گیاهی نیز مهم است معمولاً، به‌ازای هر 12 تا 15 قسمت نیتروژن در گیاه، یک قسمت گوگرد می‌بایست وجود داشته باشد.

- در صورت عدم مصرف بهینه کود (و یا در شرایط بارندگی زیاد در خاک‌های سبک) کمبود گوگرد در گیاهان مشاهده می‌شود که از لحاظ علائم ظاهری، همانند کمبود نیتروژن است با این تفاوت که کمبود نیتروژن ابتدا در برگ‌های پیر، ظاهر می‌شود؛ ولی کمبود گوگرد در برگ‌های جوان ظاهر می‌گردد. موضوع مهم در این خصوص این است که قبل از آنکه علائم کمبود این عنصر در گیاه ظاهر شود، کمبود آن سبب کاهش شدید عملکرد می‌گردد.
- کودهای مختلف گوگردی در حال حاضر قابل استفاده می‌باشد. ترکیبات سولفاتی را می‌توان هنگام کاشت مصرف نمود. رایج‌ترین نحوه مصرف گوگرد استفاده از آن به صورت سولفات در کودهای مختلف می‌باشد. در موارد اطمینان از کمبود گوگرد و یا مشکوک بودن به کمبود آن، استفاده از کود سولفات آمونیوم نسبت به نترات آمونیوم یا اوره و استفاده از سوپر فسفات ساده نسبت به سوپر فسفات تریپل یا فسفات آمونیوم و استفاده از سولفات پتاسیم نسبت به کلرید پتاسیم یا سایر مواد گوگرددار، برتری دارد.
- شکل گوگرد عنصری نیز می‌تواند در توصیه کودی مدنظر قرار بگیرد. در مصرف گوگرد عنصری باید دقت شود که گوگرد توسط ریز جانداران در خاک به شکل سولفات تبدیل شود تا قابل استفاده گیاه شوند. تبدیل گوگرد عنصری نیاز به چندین هفته شرایط گرم و رطوبت مناسب خاک دارد. در صورت استفاده از گوگرد عنصری می‌بایست شرایط لازم برای اکسیداسیون آن در خاک فراهم گردد. در این صورت کاربرد گوگرد به همراه باکتری‌های تیوباسیلوس توصیه می‌شود.
- تأمین گوگرد کافی برای زراعت به عوامل دیگری از جمله مقدار گوگرد جذب شده از اتمسفر و مقدار سولفات موجود در آب آبیاری نیز بستگی دارد.

7- پیشنهادها

- باتوجه به اثر مثبت گوگرد در افزایش عملکرد محصولات زراعی و درصد روغن دانه‌های روغنی، کاربرد کودهای محتوی گوگرد همراه با سایر کودها در خاک‌های آهکی در برنامه‌های توصیه کودی کشور قرار گیرد.
- برای تسریع اکسیداسیون، لازم است مواد آلی همراه با گوگرد و باکتری تیوباسیلوس به خاک اضافه شود.
- برای فعالیت ریز جانداران اکسیدکننده گوگرد، لازم است رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی باشد.

- در صورت عدم کاربرد گوگرد قبل از کاشت، نسبت به محلول‌پاشی با گوگرد مایع یا سولوپتاس یا سولفات آمونیوم با غلظت‌های توصیه‌شده که در قسمت توصیه کودی برای هرکدام محصولات ذکر شده، استفاده شود.
- برای مواردی که به دلیل شرایط اقلیمی امکان گسترش بیماری‌های قارچی در مزرعه وجود دارد کاربرد آن به‌صورت پودر و یا مایع پس از کشت نیز در نظر گرفته شود.

8- منابع

- بای بوردی ا. و ف. نورقلی پور، 1398. دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گلرنگ. موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.
- بشارتی، ح. ن. علی‌اصغرزاد، ک. خاوازی و ه. اسدی رحمانی، 1395. مروری بر تحقیقات بیولوژی خاک و ویژگی‌های زیستی خاک‌های ایران. مجله زیست‌شناسی خاک، سال چهارم شماره 122-89.2.
- توسلی ا. 1374. بررسی‌های مربوط به کاربرد گوگرد و مشتقات آن (در موسسه تحقیقات خاک و آب 1373-1354). نشریه فنی 948. موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.
- خادمی ز. م. ر. بلالی، ف. اسدی، ک. شهبازی، ح. رضایی، م. فیض‌اله‌زاده اردبیلی، ک. بازرگان، م. م. طهرانی، 1390. افزایش کارایی کودهای پرمصرف و بررسی نقش گوگرد و منیزیم برافزایش عملکرد و بهبود کیفیت گندم. گزارش نهایی، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج.
- خاوازی، ک. م. ر. بلالی، ک. بازرگان، م. م. طهرانی، ح. رضایی، ه. اسدی رحمانی، م. ن. غیبی، م. ح. داوودی، س. سعادت، ف. مشیری و ن. دواتگر. 1393. برنامه جامع حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه در راستای افزایش خوداتکایی محصولات راهبردی زراعی 1393-1404 (جلد اول و دوم). چاپ اول. موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.
- داوودی، ح. ج. قادری و ک. خاوازی، 1397. تأثیر گوگرد بر برخی از خصوصیات شیمیایی خاک و غلظت عناصر غذایی در دانه گندم. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، (5) 25، 280-265.
- ذبیحی ح. ر. و م. نوری حسینی، 1396. ضرورت مصرف گوگرد در خاکه‌ای آهکی و شور- سدیمی استان خراسان رضوی به‌منظور افزایش عملکرد گیاهان. مدیریت اراضی، جلد 5، شماره یک، 43-50.
- رضائیان، س. 1388. تأثیر کودهای ازته (اوره با پوشش گوگردی) توأم با کود حیوانی بر روی عملکرد زعفران و تعیین نقطه بحرانی برای ازت آن. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی، شماره 1425، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.
- سلیم پور، س. 1390. اثر گوگرد درافزایش عملکرد و بهبود محصولات کشاورزی. نشریه ترویجی. نشر آموزش (مؤسسه آموزش و ترویج کشاورزی)، نشریه شماره 350.

صارمی، م. 1372. مقایسه اثرات کود اوره معمولی و اوره پوشش شده با گوگرد بر عملکرد برنج رقم آمل 3. بخش خاک و آب خوزستان، گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی، شماره 77/72، موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.

فیض‌اله‌زاده اردبیلی م. 1383. مقایسه روش‌های اندازه‌گیری گوگرد قابل جذب در رابطه با جذب آن در گیاه کلزا N/S توسط کلزا و به‌دست‌آوردن بهترین نسبت. گزارش نهایی، موسسه تحقیقات خاک و آب.

فیض‌اله‌زاده اردبیلی م. و ز. خادمی. 1390. مقایسه روش‌های عصاره‌گیری گوگرد قابل جذب در آزمایشات گلخانه‌ای به‌منظور تعیین حد بحرانی در خاک‌های زیر کشت گندم. گزارش نهایی، 89 / نشریه شماره 775، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.

گلچین، ا. و م. اسماعیلی. 1386. بررسی تأثیر مقادیر اوره با پوشش گوگردی و سایر منابع کود ازته بر میزان عملکرد، ازت جذب‌شده و تجمع نیترات در پیاز. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی، شماره 1319، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.

لطف الهی، م. م. ج. ملکوتی و ح. صفاری. 1383. افزایش کارایی نیتروژن با استفاده از اوره با پوشش گوگردی در خاک‌های با بافت سبک. کرج. مجموعه مقالات روش‌های نوین تغذیه گندم. وزارت جهاد کشاورزی، دفتر طرح خودکفایی گندم.

مشیری، ف. ع. ا. شهابی، پ. کشاورز، ز. خوگر، و. فیضی اصل، م. م. طهرانی، ه. اسدی رحمانی، س. سماوات، م. ن. غیبی. 1393. دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گندم. نشریه فنی، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.

منتجبی ن. ا. 1396. تأثیر رطوبت و حرارت بر اکسایش گوگرد و عناصر غذایی قابل جذب در خاک غیر آهکی. پانزدهمین کنگره علوم خاک ایران، اصفهان، ایران.

منتجبی ن. م. فیضیان، م. ح. داودی، ا. سهرابی، س. م. شریعت. 1397. تأثیر شرایط مختلف رطوبتی و حرارتی بر اکسایش گوگرد و غلظت عناصر غذایی در خاک. نشریه تحقیقات کاربردی خاک، سال ششم شماره 4، 133-145.

نورقلی پور ف. ح. رضایی، ک. میرزاشاهی، ح. حقیقت‌نیا، م. رمضانپور، م. ارزانش، ه. رحمانی، م. میرزاپور، ص. زمانی، ر. محمدی کیا و م. افضلی. 1393. دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه کلزا، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.

نورقلی پور ف، ه، اسدی رحمانی، م، ح، ارزانش، ک، میرزاشاهی، ح، حقیقت نیا، م، رمضانپور، ص، زمانی، ر، محمدی کیا، م، افضلی، 1398. دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه سویا، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.

نورقلی پور، ف، و س، توحیدلو، 1398. بررسی تغییرات کیفی گندم در رابطه با کاربرد کودهای نیتروژنه و گوگردی، شانزدهمین کنگره علوم خاک ایران، زنجان، ایران.

نورقلی پور، ف، ح، بشارتی، ف، نوایی، ف، حامدی، ع، محنت کش، س، سلیم پور، م، قنبرپوری، 1390a. بررسی اثرات مصرف گوگرد و تیوباسیلوس بر خصوصیات کمی و کیفی کلزا، گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی ملی، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.

نورقلی پور، ف، م، صادقی مطلق، ی، محمد نژاد، م، محمدی، ا، قاسمی، م، رجایی، ر، مطلبی فر، ع، منتظری و ک، میرزاشاهی، 1390b. بررسی تأثیر مصرف نیتروژن و گوگرد بر عملکرد دانه و روغن کلزا، گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی ملی، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.

Badr, O. and Probert S.D. 1994. Atmospheric sulphur: trends, sources, sinks and environmental impacts. *Applied Energy*, 47(1), pp.1-67.

Beaton, J. D., Burns G. R. and Platou J. 1968. Determination of sulfur in soils and plant material, Tech. Bull. 14, The Sulfur inst., Washington, D.C.

Bender, R.R., Haegele J.W., and Below F. E. 2015. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern soybean varieties. *Agronomy Journal*, 107(2):563-573.

Biswas, B. C. and Tewatia R. K. 1991. Results of FAO sulfur trials network in India. *Fert. News*, 36 (4), 11-35.

Bonfim-Silva E. M., Adriano Bicioni Pacheco, Tonny José Araújo da Silva, Éllen Souza do Espírito Santo, Carina Sthefanie Lemes e Lima Bär and Helon Héban de Freitas Sousa. 2016. Biometric characteristics and visual diagnosis of safflower plants under macro and micronutrient omission. *International Journal of Current Research*. Vol. 8, Issue, 05, pp.31071-31076,

Brown, P. H. 2008. Micronutrient use in agriculture in the United States of America. In B. J. Hallaway (ed.) *Micronutrient deficiencies in global crop production*. Springer. 353 p.

Canola encyclopedia. 2024. Nutrient management. Sulfur. <https://www.canolacouncil.org/canola-encyclopedia/fertility/sulphur/#:~:text=canola%20seed%20contains%20about%200.4,as%20that%20in%20the%20seed>.

Cropwatch. 2017. Symptom identification key for nutrient deficiencies in soybeans. University of Nebraska–Lincoln. Institute of Agriculture and Natural Resources. <https://cropwatch.unl.edu/soils/soybean-nutrients>.

- Dahnke, W.C., Fanning, C. and Cattamach A. 1990. Fertilizing safflower. AGR-8-1 (SF-727 revised), NDSU Extension Service/North Dakota State University, Fargo, ND. 2 pp.
- Flaete. N. E. S., Hollung, K., Ruud, L., Sogn, T., Faergestad, E. M., Skarpeid, H. J., Magnus E. M. and Uhlen, A. K. 2005. Combined nitrogen and sulphur fertilization and its effect on wheat quality and protein composition measured by SE- FPLC and proteomics. *Journal of Cereal Science*, 41: 357-369.
- Forney, C.F., Jordan, M.A., Campbell-Palmer, L., Fillmore, S., McRae, K. and Best, K., 2009, April. Sulfur fertilization affects onion quality and flavor chemistry during storage. In *VI International Postharvest Symposium 877* (pp. 163-168).
- Fox, R. L., Olsen R. A., and Rhodes. H. F. 1964. Evaluating the sulfur status of soils by plants and soil tests. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 28: 243-246.
- Hagel, I. 2005. Sulfur and baking-quality of bread making wheat. *Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft*, 283: 23-36.
- <https://www.thepharmajournal.com/archives/2022/vol11issue7S/PartB/S-11-6-293-881.pdf>.
- Jamal, A., Moon, Y.S. and Zainul Abdin, M., 2010. Sulphur-a general overview and interaction with nitrogen. *Australian Journal of Crop Science*, 4(7), pp.523-529.
- Järvan, M., Lukme, L., Adamson, A. and Akk A. 2017. Responses of wheat yield, quality and bread-making properties on the sulphur fertilization. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, 67(5), 444-452.
- Jones, M. B. 1986. Sulfur availability indexes. pp: 549-566 in: M.A. Tabatabai (ed.). *Sulfur in agriculture agronomy*, 27, American Society of Agronomy. Madison, WI.
- Marshner H, 1995. *Mineral Nutrient of Higher Plants*. Academic press, London.
- Narayan, O.P., Kumar, P., Yadav, B., Dua, M. and Johri A.K. 2023. Sulfur nutrition and its role in plant growth and development. *Plant Signaling & Behavior*, 18(1), p.2030082.
- Palaskar, m. S., and Ghosh A. B. 1985. An appraisal of some soil test procedures for diagnosing sulfur availability to maize (*Zea mays* L.). Grown on alluvial soils, *Fert. News* 30: 25-30.
- Quin, B.F. and Woods P.H. 1976. Rapid manual determination of sulfur and phosphorus in plant material. *Communications in soil science and plant analysis*, 7(4), pp.415-426.
- Sapkota A. and Aryal S. 2023. Sulfur Cycle- Definition, Steps, Examples, Significance, Human Impacts. <https://microbenotes.com/sulfur-cycle/>
- Schulte, E. E., and Eik K. 1988. Recommended sulfates- S test. PP: 17-20. In: W. C. Dahnke (ed.) *Recommended chemical soil test procedures for the north central region*, North Dakota Agric. Stn. Bull. 499.
- Schulte; E. E. and Kelling. K. A. 2004. Understanding plant nutrients, Soil and applied sulfur./ URL: <http://corn.agronomy.wisc.edu/Management/pdfs/a2525.pdf>.

- Sedlár, O., Balík, J., Kulhánek, M., Cerný, J. and Suran, P., 2019. Sulphur nutrition index in relation to nitrogen uptake and quality of winter wheat grain. *Chilean journal of agricultural research*, 79(3), pp.486-492.
- Sharma, R.K., Cox, M.S., Oglesby, C. and Dhillon, J.S., 2024. Revisiting the role of sulfur in crop production: a narrative review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 15, p.101013.
- Sullivan, D.M., Brown, B.D., Shock, C.C., Horneck, D.A., Stevens, R.G., Pelter, G.Q. and Feibert, E.B.G., 2001. Nutrient management for onions in the Pacific Northwest. *Pacific Northwest Ext. Publ*, 546. [file:///C:/Users/fnoorgholipoor/Downloads/pnw546%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/fnoorgholipoor/Downloads/pnw546%20(1).pdf).
- Sun, Y., Jiang, Y., Li, Y., Wang, Q., Zhu, G., Yi, T., Wang, Q., Wang, Y., Dhankher, O.P., Tan, Z. and Lynch, I., 2024. Unlocking the potential of nanoscale sulfur in sustainable agriculture. *Chemical Science*.
- Tessenderlo, 2020. Solupotasse, application guide. <https://www.tessenderlokerley.com/en/solupotasser>.
- Thomason, W. E., Phillips, S. B., Pridgen, T. H., Kenner, J. C., Griffey, C. A., Beahm, B. R. and Seabourn B.W. 2007. Managing nitrogen and sulfur fertilization for improved bread wheat quality in humid environments. *Cereal chemistry*, 84(5), 450-462.
- Tisdale, S.L., Nelson, W.L., Beaton, J.D. and Havlin J.L. 1993. Soil Fertility and Fertilizers. 5th ed. Mcmillon Publishing Co., New York.
- Twinstate. 2024. Why Use Sulfur Liquid Fertilizers? <https://www.twinstateinc.com/fertilizer-products/liquid-sulfur-fertilizers/>.
- Walker, K.C. and Booth E.J., 2003. Sulphur nutrition and oilseed quality. In: *Sulphur in Plants* (pp. 323-339). Springer, Dordrecht.
- YARA.2024. onion nutrient deficiencies. <https://www.yara.co.uk/crop-nutrition/onion/nutrient-deficiencies-onions/>.
- Yasasvi, B., Vishnu, P., Reddy, Y.H.S., Ganesh, B. and Ahmed, M., 2022. Sulphur fractionation in different soils: A review. *The Pharma Innovation Journal* 2022; SP-11(7): 86-90.
- Zaidel, D. A., Chin, N. L. and Yusof Y. A. 2010. A review on rheological properties and measurements of dough and gluten. *Journal of Applied Sciences*, 10(20), 2478-2490.
- Zhao, F. J., Bilsborrow P. E., Evans E. J., and McGrath S. P. 1997. Nitrogen to sulfur ratio in rapeseed and in rapeseed protein and its use in diagnosing sulfur deficiency. *J. Plant Nutr.* 20:549- 558.

پیوست

جدول پیوست 1: ضرایب تبدیل برای عناصر غذائی در کودهای مختلف

برای رسیدن به این شکل	ضرب در این عدد	برای رسیدن به این شکل / یا از این شکل	ضرب در این عدد	از این شکل
NO_3	0.226	N	4.427	NO_3
NH_3	0.820	N	1.216	NH_3
NH_4	0.776	N	1.288	NH_4
$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ -urea	0.463	N	2.160	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ -urea
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	0.212	N	4.716	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
NH_4NO_3	0.350	N	2.857	NH_4NO_3
P_2O_5	0.436	P	2.291	P_2O_5
$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	0.458	P_2O_5	2.182	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$
K_2O	0.830	K	1.205	K_2O
KCl	0.632	K_2O	1.580	KCl
KCl	0.525	K	1.905	KCl
$\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0.360	Zn	2.778	$\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	0.230	Zn	4.348	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$
SO_2	0.501	S	1.997	SO_2
SO_4	0.334	S	2.996	SO_4
MgSO_4	0.267	S	3.750	MgSO_4
$\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0.230	S	4.310	$\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
$\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	0.130	S	7.680	$\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	0.250	S	3.995	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
SiO_2	0.468	Si	2.139	SiO_2
CaSiO_3	0.242	Si	4.135	CaSiO_3
MgSiO_3	0.280	Si	3.574	MgSiO_3
MgO	0.603	Mg	1.658	MgO
MgO	2.986	MgSO_4	0.335	MgO
MgO	3.432	$\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0.290	MgO
MgO	6.250	$\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	0.160	MgO
MgO	2.091	MgCO_3	0.478	MgO
CaO	0.715	Ca	1.399	CaO
CaCO_3	0.560	CaO	1.780	CaCO_3
CaCl_2	0.358	Ca	2.794	CaCl_2
CaSO_4	0.294	Ca	3.397	CaSO_4
$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	0.388	Ca	2.580	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$
FeSO_4	0.368	Fe	2.720	FeSO_4
MnSO_4	0.364	Mn	2.748	MnSO_4

جدول پیوست 2: محتوای گوگرد برخی از کودها

SULPHUR FERTILIZERS	CONTENT (%)			
	S	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Ammonium Nitrate with Ammonium Sulphate or Ammonium Nitrate Sulphate	7 to 16	up to 30	0	0
Ammonium Nitrate with Gypsum	3 to 6	24 to 27	0	0
Ammonium Phosphate Sulphate	6 to 17	Variable	Variable	0
Ammonium Sulphate	24	21	0	0
Ammonium Sulphate Liquid	9	8	0	0
Ammonium Thiosulphate Solid	43	19.5	0	0
Ammonium Thiosulphate Solution	26	12	0	0
Calcium Nitrate with Sulphur	1 to 5	15	0	0
Calcium Sulphate (Dihydrate Gypsum)	17 to 18	0	0	0
Calcium Sulphate (Hemihydrate Gypsum)	19 to 22	0	0	0
Calcium Sulphate (Anhydrite Gypsum)	22 to 24	0	0	0
Iron Pyrites	54	0	0	0
Magnesium Sulphate (Epsom Salt)	13	0	0	0
Magnesium Sulphate (Kieserite)	10 to 23	0	0	0
Micronized Sulphur*	50 to 99	0	0	0
Mixed-Grade NKs with Sulphur	5.2 to 10	Variable	0	Variable
Mixed-Grade NPs with Sulphur	2 to 21	Variable	Variable	0
Mixed-Grade NPKs with Sulphur	2 to 17	Variable	Variable	Variable
Mixed-Grade PKs with Sulphur	2 to 15	0	Variable	Variable
Nitrogen-Sulphur Solutions	2 to 6	7 to 35	0	0
Potassium Magnesium Sulphate	22	0	0	22
Potassium Sulphate	17 to 18	0	0	48 to 52
Potassium Thiosulphate	17	0	0	25
Single Superphosphate - SSP	11 to 14	0	16 to 20	0
Single Superphosphate - Fortified	28 to 50	0	5 to 16	0
Sulphur (Elemental)	50 to 100	0	0	0
Sulphur Bentonite	85 to 90	0	0	0
Sulphur-Coated DAP	12	12 to 15	40	0
Sulphur-Coated MAP	12	8 to 10	44	0
Sulphur-Coated TSP	10 to 20	0	38 to 43	0
Sulphur-Coated Urea	10 to 14	38 to 40	0	0
Sulphur with Micronutrients	2 to 80	0	0	0
Urea with Sulphur	5 to 18	40	0	0
Urea Sulphuric Acid	9 to 18	10 to 28	0	0
Zinc Sulphate	11	0	0	0

*Includes wettable/dusting powders (dry powder) and flowable sulphur (liquid suspension)