

## بررسی امکان استفاده از خاک فسفات غنی شده برای تأمین فسفر در باغات چای

حسین بشارتی<sup>1</sup>، حمیدرضا دورودیان و کریم شهبازی

عضو هیأت علمی موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ [besharati1350@yahoo.com](mailto:besharati1350@yahoo.com)

استادیار دانشگاه آزاد واحد لاهیجان، گروه زراعت و اصلاح نباتات؛ [darya717@yahoo.com](mailto:darya717@yahoo.com)

عضو هیأت علمی موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ [shahbazikarim@yahoo.com](mailto:shahbazikarim@yahoo.com)

ص 259 - 274

دریافت: 1401/3/10 و پذیرش: 1401/9/2

### چکیده

استفاده مستقیم از خاک فسفات به عنوان یکی از جایگزین‌های سوپرفسفات مطرح است ولی در خاک‌های آهکی به علت حلالیت ناچیز خاک فسفات چندان مؤثر و ثمربخش نیست، ولی کاربرد آن در خاک‌های اسیدی اثر بخشی بیشتری دارد. با این وجود، کاربرد آن در خاک‌های اسیدی شمال کشور کمتر مورد توجه بوده است. پژوهش حاضر با هدف بررسی امکان جایگزینی خاک فسفات با کودهای شیمیایی فسفوری در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در باغ چند ساله چای واقع در لاهیجان انجام شد. تیمارها شامل: 1- شاهد (بدون کود)، 2- کود سوپرفسفات تریپل (براساس آزمون خاک)، 3- خاک فسفات (به میزانی که به اندازه کود سوپر فسفات سفر وارد خاک نماید)، 4- کمپوست به میزان 10 تن در هکتار، 5- خاک فسفات+ باکتری‌های حل‌کننده فسفات 6- خاک فسفات+ قارچ‌های حل‌کننده فسفات (گلو موس) 7- خاک فسفات+ کمپوست (10 تن در هکتار) 8- خاک فسفات+ کمپوست (10 تن در هکتار)+ باکتری‌های حل‌کننده فسفات (باکتری سودوموناس) 9- خاک فسفات+ قارچ‌های حل‌کننده فسفات+ کمپوست (10 تن در هکتار). صفات عملکرد برگ سبز چای (غنچه و دو برگ پایینی)، غلظت فسفر، منگنز، روی، آهن، مس در برگ و خاک و نیز اسیدیته و شوری خاک اندازه‌گیری شد. تیمار باکتری+ قارچ + کمپوست + خاک فسفات بعنوان بهترین تیمار افزایش دهنده شاخص‌های اندازه‌گیری شده در مقایسه با شاهد تشخیص داده شد و این تیمار با تیمارهای کاربرد باکتری + خاک فسفات، قارچ + خاک فسفات و کمپوست + خاک فسفات تفاوت معنی‌دار نشان نداد. تیمار مذکور فسفر خاک، فسفر برگ، عملکرد، آهن برگ و روی خاک را در مقایسه با شاهد به ترتیب 35، 6، 109، 6 و 12 درصد افزایش داد. مصرف خاک فسفات به تنهایی در مقایسه با شاهد فسفر قابل جذب خاک را بطور معنی‌دار افزایش داد ولی بیشترین مقدار فسفر خاک با کاربرد توامان خاک فسفات همراه با کمپوست و میکروارگانیزمها (کودزیستی): باکتری و قارچ) حاصل شد. از لحاظ عملکرد برگ سبز چای دو تیمار سوپر فسفات و خاک فسفات نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار نشان دادند ولی هر دو در یک سطح آماری قرار داشتند، از نظر فسفر قابل جذب خاک و فسفر برگ چای، کود سوپر فسفات تریپل برتر از شاهد و خاک فسفات تنها، ظاهر شد. ولی همچنان بهترین تیمار از لحاظ سه شاخص یادشده مصرف توامان خاک فسفات، کمپوست و میکروارگانیزمها بود.

واژه‌های کلیدی: باکتری‌های حل‌کننده فسفات، خاک فسفات، قارچ‌های حل‌کننده فسفات، مایکوریز، باغ چای

<sup>1</sup> نویسنده مسئول، آدرس: کرج - جاده مشکین دشت - بلوار امام خمینی (ره) - موسسه تحقیقات خاک و آب. 09123101247

## مقدمه

چای در کشور ایران از نظر میزان مصرف و سهم در الگوی تغذیه جایگاهی نظیر محصولات اساسی گندم، گوشت، شیر و غیره دارد. میزان مصرف سرانه چای در ایران از مقدار 1/18 کیلوگرم در سال 1356 به حدود 1/1 کیلوگرم در سال 1397 رسیده و لذا مصرف چای از 41/3 هزار تن به حدود 85 هزار تن رسیده است. سطح زیر-کشت باغات چای که با توجه به اقلیم مناسب برای کشت در مناطق شمالی کشور و عمدتاً در استان گیلان متمرکز می‌باشد، طی 47 سال گذشته (1350-1397) کاهش چشمگیر داشته و از 34 هزارهکتار به 28/2 هزار هکتار کاهش یافته است. ایران حدود 2 درصد تولید چای جهان را به خود اختصاص داده است.

تغذیه باغات چای یکی از عوامل مهم به‌زراعی برای بهبود کیفیت و افزایش تولید در واحد سطح می‌باشد. مقدار فسفر در بیش از 70 درصد اراضی کمتر از حد بحرانی (15 میلی گرم در کیلوگرم) بوده (شهبازی و بشارتی، 1392) و سالانه بیش از 700 هزارتن کود فسفوری در اراضی باید مصرف گردد تا فسفر مورد نیاز گیاهان تأمین گردد. بخش اعظم کود فسفوری مورد نیاز در کشور کود سوپرفسفات تریپل می‌باشد که وارداتی است و سالانه هزینه هنگفتی صرف تأمین و تدارک این کود می‌گردد. خاک فسفات منبع و ماده اولیه تهیه کودهای فسفاته در دنیا می‌باشد. تولید صنعتی کودهای فسفاته از خاک فسفات مستلزم داشتن تکنولوژی مربوطه و صرف هزینه است. به دلیل محدودیت منابع کودهای فسفر محلول و افزایش قیمت تجارت جهانی این محصول، استفاده مستقیم از خاک فسفات به عنوان یکی از روش‌های جایگزین مطرح شده است. کاربرد مستقیم خاک فسفات به عنوان یک کود فسفره که از ساده‌ترین و کم هزینه‌ترین روش‌های تأمین فسفر گیاه محسوب می‌شود، در خاکهای آهکی به علت حلالیت ناچیز خاک فسفات چندان مؤثر نبوده و ثمربخش نیست. لذا کاربرد مستقیم خاک فسفات معمولاً به همراه موادی که به آزادسازی فسفر از آن کمک

می‌کنند، توصیه شده است (سلیم پور و همکاران، 2010). کاربرد خاک فسفات مخلوط شده با گوگرد و مواد آلی و مصرف خاک فسفات همراه با میکروارگانیزم‌های مختلف و از جمله حل‌کننده‌های فسفات، اکسیدکننده‌های گوگرد و قارچ‌های میکوریزی، از جمله روش‌های مستقیم کاربرد خاک فسفات به شمار می‌روند. در خصوص کاربرد مستقیم خاک فسفات در اراضی آهکی کشور تحقیقات زیادی در طی یک دهه گذشته انجام شده است (بشارتی، 2017، بشارتی و همکاران، 2018، سلیم پور و همکاران، 2010). اما کاربرد آن در خاک‌های اسیدی شمال کشور کمتر مورد توجه بوده است. پژوهش‌ها نشان داده است که می‌توان با تیمار خاک فسفات با اسیدهای مختلف اثر بخشی استفاده از خاک فسفات را افزایش داد. در آزمایشی نقش اسیدهیومیک، کود گاوی، کود مرغی، اسیدهای نیتریک، سولفوریک و فسفریک در حلالیت فسفر دو نوع خاک فسفات (خام و تغلیظ شده)، شکل‌های شیمیایی فسفر خاک و اثر بخشی تیمارها در گیاهان ذرت و کلزا در یک خاک آهکی مورد بررسی قرار گرفت. تأثیر اسیدهای معدنی، کودهای آلی، نوع خاک فسفات در حلالیت فسفر خاک فسفات معنی‌دار بود (تهرانی و همکاران، 1394). میزان فسفر قابل استفاده خاک با کاربرد خاک فسفات جزیبی اسیدی شده با اسید فسفریک و سولفوریک به ویژه در سطح 50 میلی گرم فسفر در کیلوگرم خاک کاملاً مشابه با اثر کاربرد سوپرفسفات تریپل بود (تهرانی و همکاران، 1394).

منابع فسفات اثر مهمی بر فرایند حلالیت فسفر در خاک دارند. گونه‌های مختلف باسیلوس، فسفات کلسیم را به خوبی حل می‌کنند، ولی مطلقاً قابلیت انحلال فسفات آهن را ندارند. بطور کلی حلالیت فسفات آهن به وسیله میکروارگانیزم‌ها اندک است. یاداو و سینگ (1991) گزارش کردند که گونه‌های باسیلوس مگاتریوم و سرئوس، آسپیرژیلوس نیجر و پنسیلیوم دیجیتاتوم اسیدیته خاک را بطور معنی‌داری کاهش می‌دهند. در خاک‌های اسیدی، گروه قارچ‌های حل‌کننده فسفات بهتر از باکتری‌ها عمل می‌کنند (یاداو و سینگ، 1991). عواملی مانند

گیاهان خانواده کاملیا (مانند چای) توانایی زیادی برای بهره‌برداری از فسفر نسبتاً نامحلول خاک دارند (زویسا و همکاران، 1998). کمبود فسفر از مهمترین مشکلات چای در خاک‌های اسیدی و شدیداً هواده است. آزمایشی برای تعیین اثر خاک فسفات در خاک‌های اسیدی (با pH حدود 4/5) در بوته‌های چای 8 ماهه کشت شده در سریلانکا انجام شد که نشان داد 5 ماه پس از افزودن منابع فسفر، به علت خلالت بیشتر، کود سوپرفسفات تریپل در افزایش غلظت فسفر بر خاک فسفات برتری داشت، درحالی‌که 10 ماه پس از افزودن منابع فسفر، غلظت فسفر قابل جذب در تیمارهای حاوی خاک فسفات به علت خلالت در طی زمان طولانی، بیشتر بود. در کرت‌هایی که بوته چای کشت شده بود پس از 5 و 10 ماه به ترتیب 52 و 75 درصد فسفر از منبع خاک فسفات محلول گشت، درحالی‌که در کرت‌های بدون بوته چای این مقادیر به ترتیب در 5 و 10 ماه برابر با 40 و 55 درصد برآورد گردید (زویسا و همکاران، 1999).

برخلاف خاک‌های سایر نقاط کشور که آهکی و دارای pH بالا می‌باشند، خاک‌های زیرکشت باغات چای اسیدی بوده و در مواردی pH کمتر از 3 نیز گزارش شده است. در این شرایط مصرف کودهای گران قیمت و وارداتی نظیر کود سوپرفسفات تریپل جهت تأمین فسفر مورد نیاز گیاه مقرون به صرفه نخواهد بود. در چنین شرایطی کاربرد خاک فسفات بعنوان منبع تأمین کننده فسفر گیاه می‌تواند در شرایط اسیدی این خاک‌ها حل شده و بخشی از فسفر مورد نیاز گیاه را تأمین نماید. نتایج تجزیه خاک‌های باغات چای استان گیلان نشان می‌دهد، که با توجه به اسیدی بودن این خاک‌ها خاک فسفات می‌تواند خلالت بیشتری در این خاک‌ها داشته باشد. بی‌شک مواد آلی و حضور میکرو ارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات و ماد-آلی در این واکنش بسیار مؤثر خواهد بود. در ایران، تا کنون مطالعه‌ای در خصوص تأثیر خاک فسفات بر میزان جذب فسفر در خاک‌های اسیدی شمال صورت نگرفته شده است. لذا تحقیق حاضر بر روی منابع جایگزین داخلی و ارزان قیمت و تلفیقی خاک فسفات و کودهای آلی و زیستی در باغ چای صورت گرفت.

وضعیت حاصلخیزی خاک (بخصوص سطح نیتروژن و فسفر)، درجه حرارت، رطوبت، مواد آلی و ویژگی‌های فیزیکی خاک در تعداد باکتری‌های حل‌کننده فسفات مؤثرند (کوسی و لگت، 1989 یحیی و الاضاوی 1989). کلات کردن عناصری که فسفر را تثبیت می‌کنند، می‌تواند به عنوان یکی از مکانیسم‌های اثر مواد آلی بر افزایش خلالت فسفر در ریزوسفر خاک مطرح باشد (تیان و کولاول، 2004).

اندازه ذرات خاک فسفات نیز بر خلالت آن مؤثر است؛ چراکه خلالت یک واکنش سطحی است و با افزایش سطح آپاتیت خلالت آن افزایش می‌یابد. هر قدر این ذرات ریزتر باشند، سطح تماس با محیط و احتمال محلولیت آن بیشتر می‌شود. اسیدیته خاک، غلظت آنیون‌های رقیب فسفر و غلظت یون‌های کلسیم، آهن و آلومینیوم که می‌توانند بر تعادل رسوب/خلالت فسفر در خاک مؤثر باشند (هینسینگر، 2001). عوامل متعددی در تعیین درجه خلالت خاک فسفات توسط اسیدهای آلی و کارآیی زراعی آن در خاک نقش دارند: میزان انتشار اسیدهای ارگانیک در توده خاک - مدت زمان ارتباط بین سطح کانی آپاتیت و اسیدهای آلی - درجه تفکیک اسیدهای آلی - میل ترکیبی عامل کلات کننده به فلزات و کاتیون‌ها (کپومبلکو و طباطبایی، 1994) - عوامل مدیریتی مزرعه نظیر زمان و روش کاربرد خاک فسفات - ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک و مخصوصاً اسیدیته و قابلیت تثبیت فسفر - گونه گیاه زراعی و نیاز غذایی آن - ابعاد ذرات و سطح جانبی نسبی - مینرالوژی و خواص شیمیایی خاک فسفات - واکنش پذیری و خلالت خاک فسفات (گروور و همکاران، 2003).

کاربرد 2/5-40 تن درهکتار کمپوست، بیوماس میکروبی و تنفس خاک را در مقایسه با شاهد افزایش داد (باهااتاچاریا و همکاران، 2003). کاربرد 18-6 تن در هکتار کمپوست باعث کاهش اینوزیتول فسفات موجود در خاک گردید. در پی کاربرد 75 تن درهکتار کمپوست، فعالیت آنزیم‌های فسفودی استراز، الکالین فسفومونواستراز، آریل سولفاتاز، دی‌آمیناز، اوره‌آز و پروتئاز افزایش پیدا کرد (وارمان و مونرو، 2000).

## مواد و روش‌ها

آزمایش در یک باغ چای در روستای بندبن لاهیجان (37.2 N, 50.0 E) انجام گرفت که اقلیم منطقه معتدل و مرطوب با بارش متوسط 1100 میلی‌متر در سال می‌باشد. این آزمایش در قالب طرح بلوک کامل تصادفی درسال 1398 انجام شد. تیمارهای اعمال شده در باغ چای عبارت بودند از: شاهد (بدون استفاده از هیچ گونه مواد افزودنی)، کود سوپرفسفات تریپل (100 کیلوگرم در هکتار) (<https://teacash.ir>)، خاک فسفات (به میزانی که به اندازه کود سوپر فسفات فسفر وارد خاک نماید)، کمپوست به میزان 10 تن در هکتار، خاک فسفات+ باکتری‌های حل‌کننده فسفات (مخلوط به نسبت مساوی جنس‌های باسیلوس و سوموناس)، خاک فسفات+ قارچ‌های حل‌کننده فسفات (قارچ همزیست مایکوریزا از نوع گلوموس موسه)، خاک فسفات+ کمپوست 10 تن در هکتار، خاک فسفات+ باکتری‌های حل‌کننده فسفات+ کمپوست (10 تن در هکتار)، خاک فسفات+ قارچ‌های حل‌کننده فسفات+ کمپوست. تیمارها در مهرماه اعمال و از اردیبهشت برداشت انجام شد.

هر تیمار در 3 تکرار و در کرت‌هایی به ابعاد 3×3 متر اعمال گردید. کودهای بیولوژیک (باکتری حل‌کننده فسفات و قارچ) از بخش تحقیقات بیولوژی خاک موسسه تحقیقات خاک و آب کشور تهیه گردید. جمعیت باکتری‌ها  $10^7$  سلول و تراکم زادمایه (propagule) قارچ میکوریز 100 اندام فعال در هر گرم کود زیستی بود. مایه تلقیح قارچ و باکتری با خاک فسفات یا کمپوست به مقدار حدود 5 درصد مخلوط گردید. خاک فسفات از معدن آسفوردی یزد که از نوع رسوبی است، و کمپوست نیز از کارخانه کودآلی رشت تهیه شد. تیمارها در مهرماه در باغ چند ساله چای اعمال گردید. برای اختلاط تیمارهای کودی با خاک در کنار ردیف بوته‌ها کانالی ایجاد شد و پس از اختلاط مواد کودی با خاک، مواد با فوکا (بلو) با خاک سطحی مخلوط گردید. در طول مراحل آزمایش کلیه مراقبت‌های زراعی اعم از کوددهی، وجین

علف‌های هرز و مبارزه با آفات و بیماریها در موقع مقتضی انجام شد. نیتروژن و پتاسیم منبع اوره و سولفات پتاسیم به ترتیب به مقدار 300 و 100 کیلوگرم در هکتار مصرف گردید. در پایان آزمایش از سطح 2 مترمربع از هر کرت بطور تصادفی برداشت و جهت اندازه‌گیری عملکرد و اجزای عملکرد و غلظت عناصر در بوته و نیز در خاک کرت‌ها اندازه‌گیری گردید. با عنایت به اینکه پاسخ گیاه به اعمال تیمارها (از جمله مصرف خاک فسفات) به زمان طولانی نیازمند است، لذا اعمال تیمارها در شهریورماه و نمونه‌برداری از خاک و گیاه در اردیبهشت ماه صورت گرفت. برای اندازه‌گیری خصوصیات خاک از هر کرت سه نمونه تصادفی از نقاط مختلف کرت (به غیر از حاشیه‌ها) از عمق 0-30 سانتیمتری خاک برداشته شد. این نمونه‌ها در زمان رطوبت ظرفیت زراعی<sup>1</sup> تهیه شدند. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه، کاملاً هوا خشک شده و از الک 2 میلی‌متری رد شدند و برای آزمایش‌های مربوطه آماده گردیدند.

pH و هدایت الکتریکی (EC) خاک در نسبت (2/5: 1) آب به خاک اندازه‌گیری شد (توماس، 1996). بافت خاک به روش هیدرومتری (بایکاس، 1928)، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) خاک با روش استات آمونیوم در pH=7 (چاپمن و پرات، 1962) و ماده آلی خاک با استفاده از روش والکی بلاک اندازه‌گیری شدند (نلسون و سامرس، 1996). مقدار نیتروژن کل (TN) به روش کلدال اندازه‌گیری شد (برمر و مولوانی، 1996). پتاسیم قابل دسترس با عصاره‌گیری استات آمونیم و به وسیله شعله سنجی اندازه‌گیری شد (هلمک و اسپارکس، 1996). غلظت فسفر با استفاده از روش السن (السن، 1954) و سپس قرائت با دستگاه اسپکتروفتومتر تعیین گردید.

پس از برداشت برگ‌های غنچه بالایی در بوته‌های چای، برگ‌ها در پاکت‌های مناسب ریخته و بلافاصله به آزمایشگاه انتقال یافت. نمونه‌ها در آزمایشگاه

<sup>1</sup> Field Capacity

نرم‌افزار SPSS تجزیه و تحلیل و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح پنج درصد استفاده شد. برای رسم نمودارها از نرم افزار Excell استفاده گردید.

### نتایج و بحث

نتایج برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک کرت‌های آزمایشی قبل از اعمال تیمارها، در جدول 1 ارایه شده‌است. همانطوری که از جدول پیداست، خاک مورد آزمایش دارای pH اسیدی با محتوای ماده آلی 2/2 درصد، غیرشور با بافت سنگین (رسی) بوده و مقدار فسفر قابل جذب آن پایین (کمتر از 15 میلی گرم در کیلوگرم) بود.

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر ویژگی‌های خاک و گیاه در جداول 23 و 4 ارایه شده‌است. همانطوری که از جداول پیداست، اثر تیمارها بر تمامی شاخص‌های اندازه‌گیری شده در خاک و گیاه در سطح 5 درصد معنی‌دار بود.

ابتدا با آب معمولی و سپس با محلول رقیق اسید کلریدریک (یک دهم مولار) به خوبی شسته شده و پس از آن چندین بار با آب مقطر آب کشتی شدند. نمونه‌های در آون با دمای 70 درجه سلسیوس به مدت 48 ساعت خشک و سپس با آسیاب برقی پودر و از الک ریز (0/5 میلی متری) عبور داده شدند. برای اندازه‌گیری نیتروژن از روش هضم تر و سایر عناصر روش هضم خشک (Dry Ashing) استفاده شد (وسترم، 1990). اندازه‌گیری نیتروژن کل به روش تیتراسیون بعد از تقطیر و استفاده از سیستم اتوماتیک (کجل تک)، اندازه‌گیری فسفر به روش کالیمتری (رنگ زرد مولیدات - وانادات) (چاپمن و پرات، 1962) و اندازه‌گیری پتاسیم به روش نشر شعله ای (فلیم فتومتری) انجام شد (امامی، 1375). اندازه‌گیری عناصر کم‌مصرف در برگ چای به روش هضم تر و سپس قرائت با دستگاه اتمیک صورت گرفت (امامی، 1375). نتایج قرائت نمونه‌ها با قرائت محلول‌های استاندارد و شاهد مقایسه و در نهایت غلظت این عناصر در برگ تعیین گردید. داده‌های بدست آمده از آزمایش توسط

جدول 1- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از اجرای آزمایشی

اسیدیته pH	هدایت الکتریکی	ظرفیت تبادل کاتیونی	رس	سیلت	شن	ماده‌الی	نیتروژن کل	پتاسیم	فسفر
	( $\text{dS m}^{-1}$ )	( $\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$ )			(%)			mg/kg	
6/1	0/1	35	50	21	29	2/2	0/9	205	12

نتایج آنالیز کمپوست زباله شهری در جدول 2 نشان داده شده است.

جدول 2- برخی خصوصیات شیمیایی کمپوست زباله شهری

pH	EC ( $\text{dS/m}$ )	N			Fe		Zn	Cu	Mn
			P	K			mg/kg		
		1/80	0/7	1/2	11340	850	680	483	
7/8	12/4								

جدول 3 - تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر ویژگی‌های خاک

منبع تغییر S.O.V	اسیدیته خاک	شوری خاک	مگنز قابل جذب	روی قابل جذب	آهن قابل جذب	فسفر خاک	درجه آزادی
میانگین مربعات (Mean squares)							
تکرار	0/639	0/016	107	0/013	1160	5/26	2
تیمار	0/249*	0/012*	*167/6	0/16*	513*	27/3*	8
خطا	0/39	0/014	258/6	0/135	359	81/9	16
ضریب تغییرات	4/2	9/6	10/8	14/6	8/1	11/2	

\* معنی داری در سطح احتمال 5 درصد.

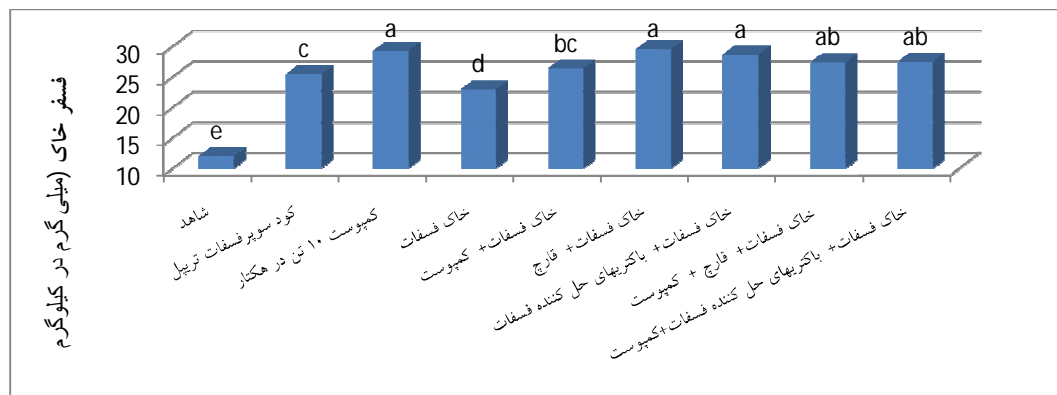
جدول 4 - تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر شاخص‌های گیاه (برگ چای)

منبع تغییر S.O.V	عملکرد برگ	منگنز	فسفر کل	آهن	روی	درجه آزادی
میانگین مربعات (Mean squares)						
تکرار	129881	817	31/1	30/3	15/8	2
تیمار	512777*	* 2724	38/7*	* 64/1	24/8*	8
خطا	113511	2749	3/46	82/3	45/1	16
ضریب تغییرات (CV)	21/1	16/6	9/3	8/12	19/1	

\* معنی داری در سطح احتمال 5 درصد.

باکتری‌های حل‌کننده فسفات و نیز تیمار کاربرد کمپوست بیشترین مقدار فسفر قابل جذب را به خود اختصاص دادند (شکل 1).

اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان فسفر قابل جذب خاک معنی‌دار بود (جدول 3). همه تیمارها در مقایسه با شاهد فسفر قابل جذب خاک را بطور معنی‌دار افزایش دادند، تیمارهای کاربرد خاک فسفات با قارچها و



شکل 1- اثر تیمارهای آزمایشی بر مقدار فسفر قابل جذب خاک

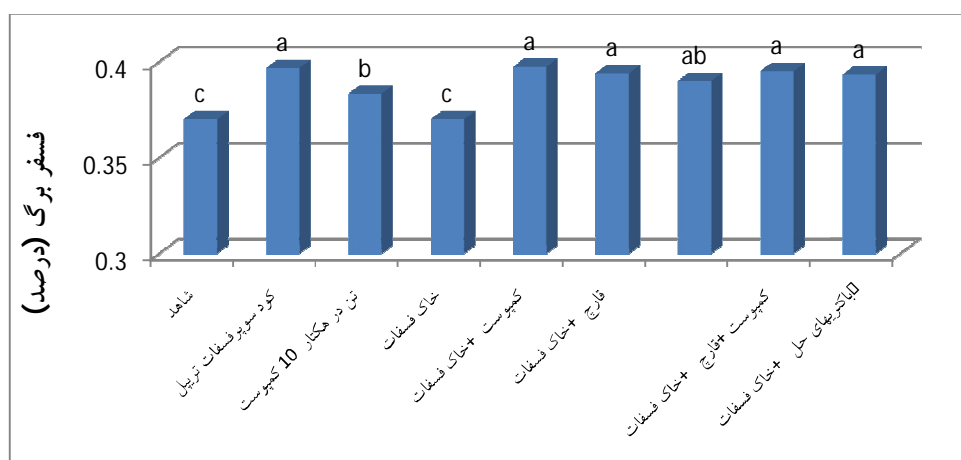
کمپوست در هکتار حتی بیش از کود سوپرفسفات تریپل در افزایش فسفر محلول خاک موثر است. علت این امر شاید به این دلیل باشد که تمام فسفر موجود در کود سوپرفسفات قابل جذب بوده و بلافاصله پس از انحلال در خاک به دلیل pH کم و فراوانی یونهای آهن و آلومینیم سرعت در خاک تثبیت می‌گردد. اثر کمپوست در حلالیت خاک فسفات و افزایش کارایی آن به طور معنی‌داری کمتر از قارچ و باکتری‌های حل‌کننده فسفات بود. تیمارهای آزمایشی فسفر محلول را از 20 میلی‌گرم در کیلوگرم در تیمار شاهد به 29 میلی‌گرم در کیلوگرم در تیمار خاک

تیمار خاک فسفات بعلاوه قارچ‌های حل‌کننده فسفات بالاترین اثر بر فسفر خاک را دارا بود. تیمارهای 10 تن در هکتار کمپوست و خاک فسفات به علاوه باکتری‌های حل‌کننده فسفات اختلاف معنی‌داری با بالاترین سطح نداشتند و در گروه بهترین سطح آماری قرار گرفتند. پایین‌ترین فسفر خاک متعلق به تیمار شاهد و پس از آن خاک فسفات تنها بود که نشان می‌دهد کاربرد خاک فسفات به تنهایی کمی بر میزان فسفر قابل استفاده می‌افزاید و کاربرد آن با قارچ یا باکتری‌های حل‌کننده فسفات بسیار در کارایی آن موثر است. افزودن ده تن

فسفر در برگ چای با میزان فسفر قابل جذب خاک قابل توجهی می‌باشد. اثر کود سوپرفسفات بر غلظت فسفر برگ موثر بود. استفاده از خاک فسفات و قارچ‌های حل‌کننده فسفات و نیز استفاده از خاک فسفات به علاوه کمپوست به اندازه مصرف کود سوپرفسفات تریپل منجر به افزایش غلظت فسفر برگ چای گردید؛ که اختلاف معنی داری با تیمار شاهد و خاک فسفات تنها داشت.

فسفات و قارچ‌های حل‌کننده فسفات و نیز تیمار ده‌تن کمپوست در هکتار، افزایش دادند (شکل 1).

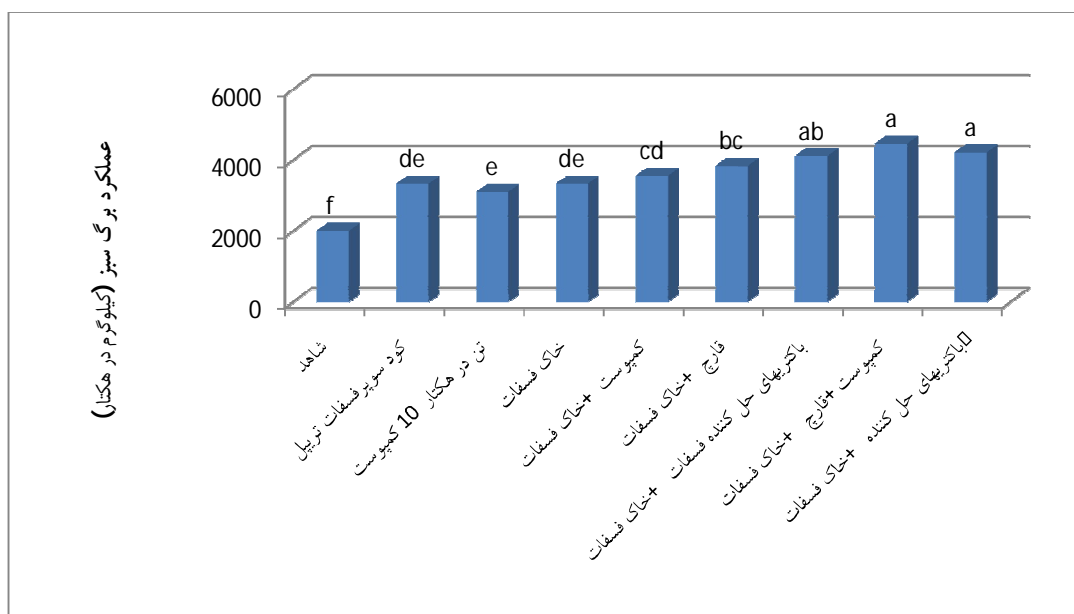
از لحاظ غلظت فسفر در برگ چای همه تیمارها، بجز تیمار خاک فسفات در مقایسه با شاهد باعث افزایش غلظت فسفر برگ چای شدند (شکل 2). همین روند در فسفر قابل جذب خاک در تیمارهای مختلف قابل مشاهده است. به عبارت دیگر روند تغییرات غلظت



شکل 2- اثر تیمارهای آزمایشی بر غلظت فسفر در برگ چای

عملکرد برگ سبز چای دارد. تیمار شاهد با عملکرد 2008 کیلوگرم در هکتار پایین‌ترین تیمار در میان تیمارهای آزمایشی را به خود اختصاص داد. یکی از دلایل احتمالی اثربخشی کمتر کود سوپرفسفات نسبت به سایر تیمارها این است که هم کمپوست و هم باکتری‌ها و قارچ‌های حل‌کننده فسفات اثرات دیگری علاوه بر جذب فسفر دارند. نتیجتاً با توجه به خواص دیگر آن کودها عملکرد کودهای آلی بالاتر از کود شیمیایی سوپرفسفات تریپل به دست آمد.

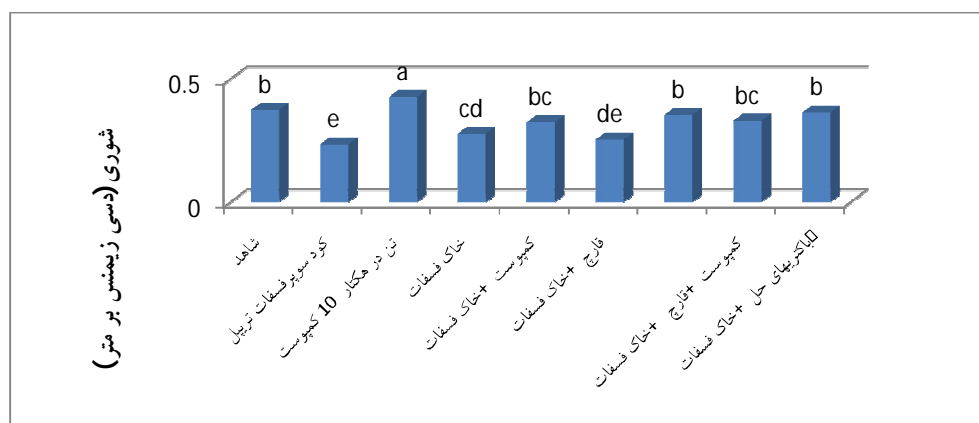
عملکرد برگ سبز قابل برداشت نیز تحت تأثیر تیمارهای مختلف قرار گرفت. همه تیمارها در مقایسه با شاهد عملکرد برگ سبز چای را بطور معنی‌دار افزایش دادند. بالاترین عملکرد از تیمارهای حاوی کمپوست به دست آمد. تیمارهای کاربرد خاک فسفات با باکتری، قارچ و کمپوست، به طور معنی‌داری بالاترین عملکرد برگ سبز چای را تولید نمودند پس از این تیمارها، تیمار کمپوست 10 تن در هکتار بالاترین عملکرد برگ سبز چای را ایجاد نمود که نشان از اثربخشی کمپوست به عنوان کود آلی در



شکل 3- اثر تیمارهای آزمایشی بر عملکرد برگ سبز چای

اندازه‌گیری شده، بعلت حلالیت زیاد کود و یا نامحلول شدن سریع آن به شکل فسفات آهن و آلومینیم، تأثیری بر شوری نداشته‌است. البته لازم به ذکر است که شوری به دست آمده حتی در بالاترین سطوح کمتر از آستانه خسارت به بوته چای بوده و تنها استفاده هر ساله و درازمدت این تیمارهای کودی ممکن است برای شوری باغات چای خطرآفرین باشد.

یکی از مشکلات استفاده از کودهای شیمیایی افزایش شوری خاک است. البته در اقلیم هیرکانی بارندگی بیش از 1000 میلی‌متر، باعث شستشوی املاح گردیده و از اثرات منفی شوری خاک را می‌کاهد. تیمار 10 تن کیپوست تنها تیماری بود که به طور معنی‌داری شوری خاک را در مقایسه با شاهد افزایش داد (شکل 4). در تیمار سوپرفسفات بعلت این که شوری در پایان آزمایش

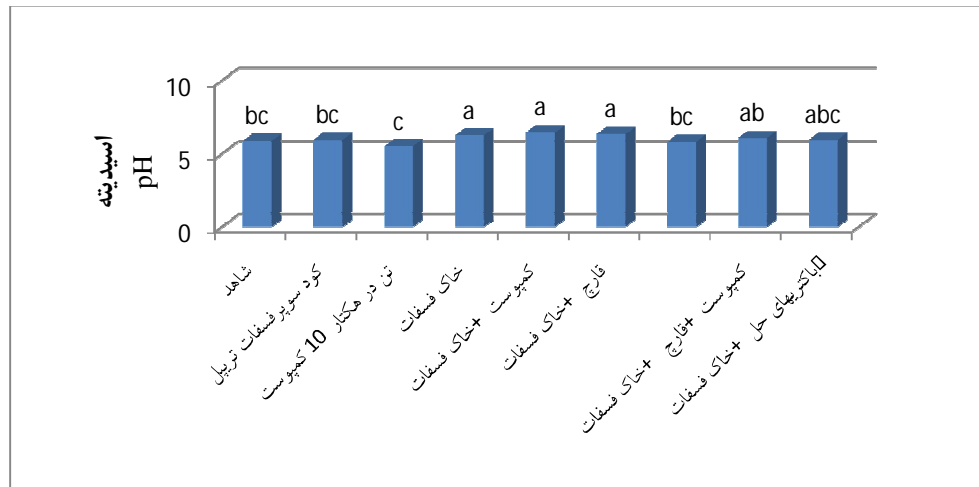


شکل 4- اثر تیمارهای آزمایشی بر شوری خاک



اینکه باکتریها و قارچهای حل‌کننده فسفات عمدتاً در ریزوسفر فعال هستند، اثرات آنها بر اسیدیته خاک در کل توده خاک شاید قابل توجه نباشد؛ ولی ممکن است در اطراف ریشه باعث تغییر اسیدیته شده باشند.

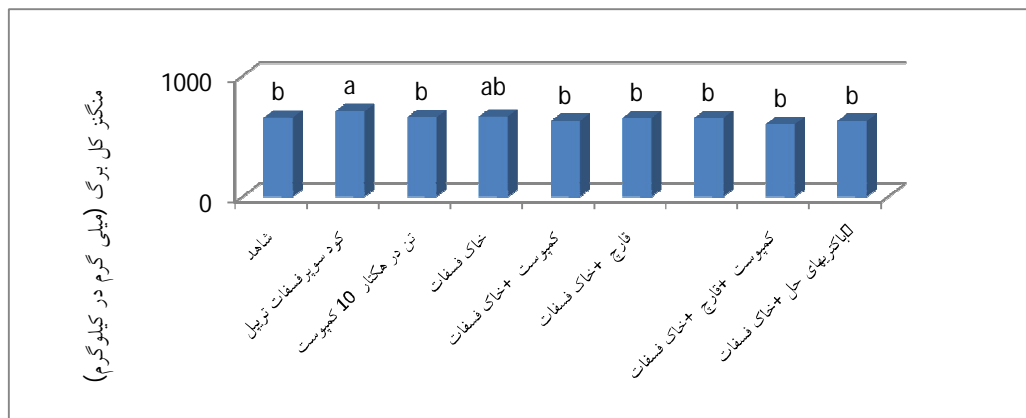
اثر کودها بر اسیدیته خاک نیز در سطح 5 درصد معنی‌دار گردید (جدول 3). تیمار خاک فسفات و خاک فسفات با کمپوست و قارچ‌های حل‌کننده فسفات به طور معنی‌داری اسیدیته بیشتری از تیمار شاهد و سایر تیمارها داشتند. کمترین اسیدیته در تیمار ده تن کمپوست مشاهده گردید. با توجه به



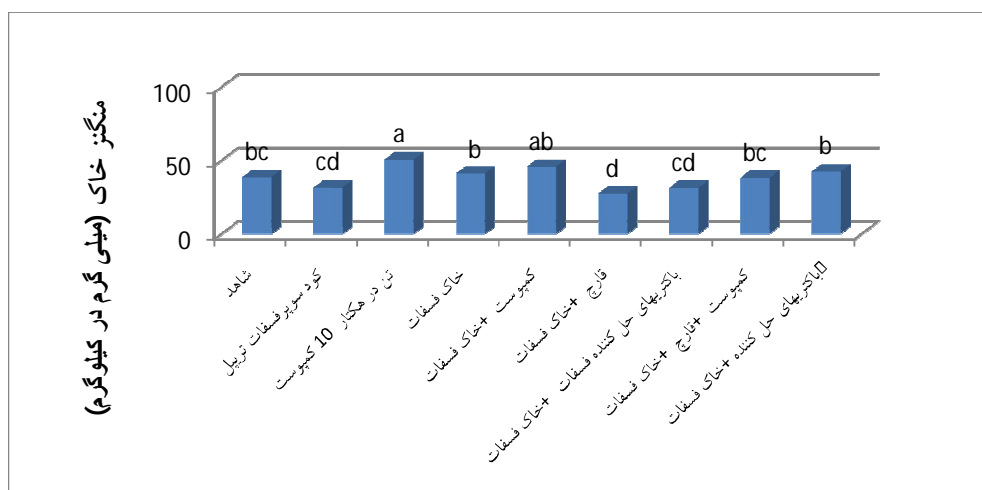
شکل 5- اثر تیمارهای آزمایشی بر اسیدیته خاک

جذب بهتر عناصر از جمله منگنز، غلظت آن در اندام هوایی تفاوت معنی‌داری با شاهد مشاهده نشد. بالاترین غلظت منگنز محلول در خاک در تیمار کمپوست مشاهده شد. بجز تیمار یادشده، سایر تیمارها با شاهد در یک سطح آماری قرار گرفتند (شکل 7).

بیشترین غلظت منگنز برگ در تیمار سوپرفسفات تریپل مشاهده شد. سایر تیمارها از نظر آماری در یک سطح قرار گرفتند و اختلاف معنی‌داری میان آنها نبود (شکل 6). در تیمارهای حاوی خاک فسفات و باکتریها و قارچهای حل‌کننده و نیز کمپوست، اعلی‌رغم



شکل 6- اثر تیمارهای آزمایشی بر غلظت منگنز برگ چای



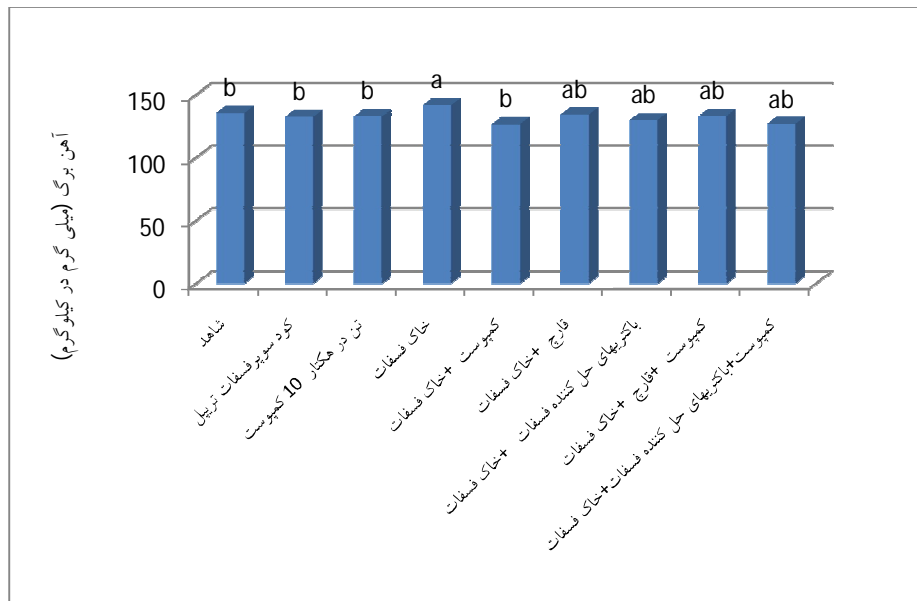
شکل 7- اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان منگنز قابل جذب خاک

بطوریکه در تمام تیمارها غلظت آهن قابل جذب خاک بیش از 200 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بود. تیمار خاک فسفات تنها، تنها تیماری بود که در آن غلظت آهن برگ چای از تیمار شاهد بطور معنی‌داری بیشتر بود. تمامی تیمارها بجز تیمار خاک فسفات در یک سطح آماری قرار گرفتند. (شکل 9).

هیچ‌یک از تیمارها نه تنها نتوانستند میزان آهن قابل جذب خاک را در مقایسه با شاهد افزایش دهند، بلکه در تعدادی از تیمارها نسبت به شاهد کاهش نشان داد و این کاهش در برخی تیمارها از جمله تیمارهای کمپوست، سوپر فسفات تریپل معنی‌دار بود (شکل 4-8). نکته حایز اهمیت در مورد آهن قابل جذب خاک، بالا بودن مقدار آن در تمام تیمارها می‌باشد که دلیل آن اسیدی بودن pH خاک و حلالیت بالای ترکیبات آهن می‌باشد،



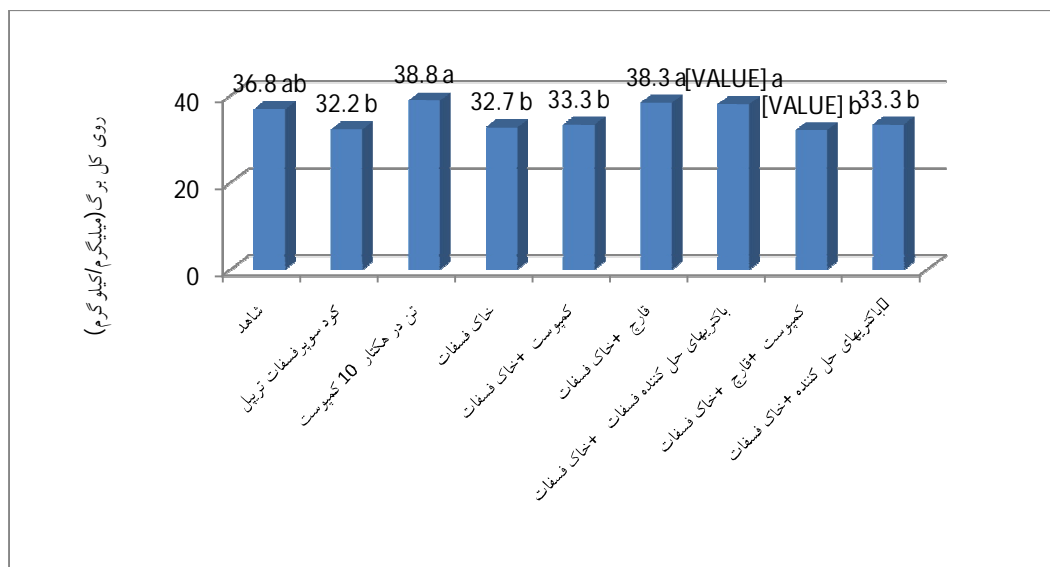
شکل 8- اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان آهن قابل جذب خاک



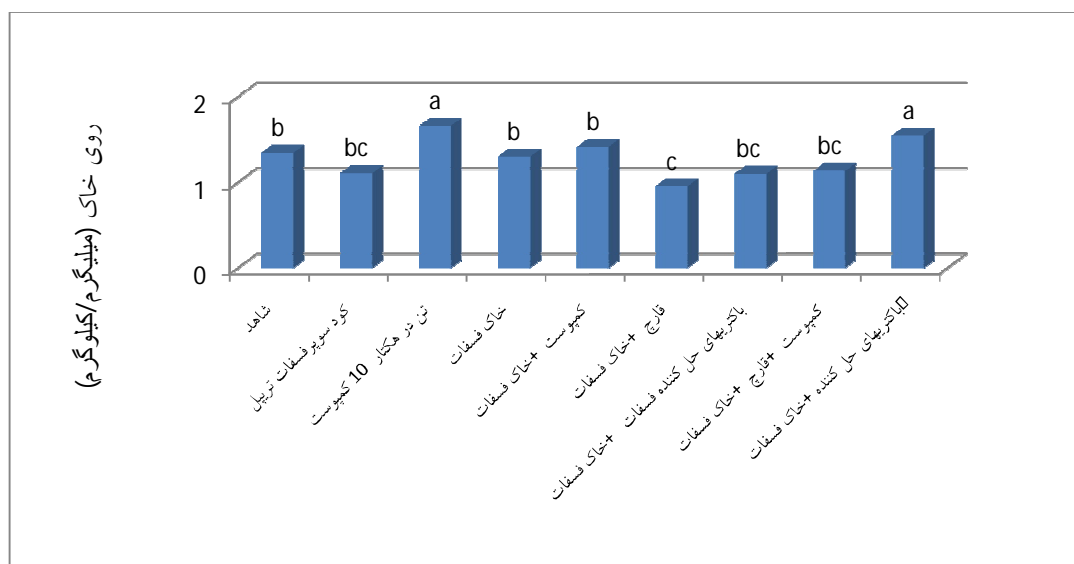
شکل 9- اثر تیمارهای آزمایشی بر غلظت آهن در برگ چای

تیمارهای سوپرفسفات تریپل و خاک فسفات نیز کمترین روی برگ را نشان دادند (شکل 10). از لحاظ روی قابل جذب خاک، دو تیمار 10 تن کمپوست در هکتار و تیمار کمپوست + خاک فسفات و باکتری‌های حل کننده فسفات، در مقایسه با شاهد و سایر تیمارها، غلظت روی بیشتری را نشان دادند و سایر تیمارها با شاهد تفاوت معنی‌دار نداشتند (شکل 11).

غلظت روی در برگ چای در تیمارهای مختلف از 32 میلی‌گرم در کیلوگرم تا حدود 39 میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بود. تیمار مصرف 10 تن در هکتار کمپوست که بیشترین مقدار روی قابل جذب خاک را به خود اختصاص داده بود (شکل 11)، بیشترین غلظت روی برگ چای را نیز دارا بود.



شکل 10- اثر تیمارهای آزمایشی بر غلظت روی در برگ چای



شکل 11- اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان روی قابل جذب خاک

### بحث درباره نتایج

سال در باغ چای انجام شد، بدون شک زمان برای انحلال و واکنش پذیری تمام خاک فسفات بکار رفته کافی نبوده و بخشی از خاک فسفات معمولاً در سال‌های بعد اثرات کاربردی نشان می‌دهد. احتمالاً اگر آزمایش در مدت زمان طولانی‌تری انجام می‌شد، نتایج کاربرد خاک فسفات بیش‌تر از مقداری که اندازه‌گیری شده، خود را نشان می‌داد. البته پژوهش حاضر نیز از ابتدا بعنوان آزمایش چند ساله طراحی شده بود ولیکن بدلیل مشکلاتی (از جمله کمبود اعتبارات پژوهشی) نتوانست برای سال‌های بعدی ادامه داشته باشد. توصیه می‌گردد انجام کارهای مشابه حداقل به مدت چند سال در باغات چای انجام شود تا نتایج با اطمینان بیشتری قابل تعمیم و توصیه باشند.

غالب محققینی که در خاک‌های اسیدی یا کمی اسیدی کمپوست را مصرف کرده‌اند، گزارش کردند که کاربرد کمپوست باعث افزایش اسیدیته خاک می‌گردد. این موضوع جزء فواید کمپوست برای خاک‌های اسیدی به شمار می‌رود (ژانگ و همکاران 2006). ژانگ و همکاران (2006) گزارش کردند که میزان فسفر موجود در کمپوست برای رشد غالب گیاهان کافی است. یکی از

گیاهان مختلف توانایی متفاوتی در استفاده از خاک فسفات به عنوان منبع فسفری دارند. در میان گیاهان آنهایی که دارای خصوصیت و گستردگی سیستم ریشه‌ای بیشتری هستند بهتر می‌توانند فسفر را از خاک فسفات جذب نمایند. اسیدهای آلی مترشح‌ه از ریشه گیاهان تأثیر بسزایی در قابلیت جذب فسفر از خاک دارد. گیاهان خانواده کاملیا (مانند چای) توانایی زیادی برای بهره برداری از فسفر نسبتاً نامحلول خاک دارند (زویسا و همکاران، 1997). دلیل افزایش فسفر در خاک و گیاه چای در برخی از تیمارها احتمالاً به این موضوع مربوط می‌شود که گیاه چای بدلیل سیستم ریشه‌ای که دارد توانسته از خاک فسفات استفاده نماید.

یکی از مشکلات تغذیه‌ای باغات چای کمبود فسفر در خاک‌های اسیدی و شدیداً هوادیده است. در آزمایشی خاک فسفات در خاک‌های اسیدی زیرکشت چای مصرف شد و نتایج نشان داد پس از 5 ماه کود سوپرفسفات تریپل در افزایش غلظت فسفر بر خاک فسفات برتری داشت در حالیکه پس از 10 ماه، غلظت فسفر قابل جذب در تیمارهای حاوی خاک فسفات بیشتر بود (زویسا و همکاران، 2001). آزمایش حاضر در یک

فسفر قابل جذب خاک، عملکرد و محتوای فسفر گیاه، نتایج بسیار خوبی در بر داشت.

بانیک و دی (1982) گزارش کردند که تلقیح خاک با باکتری‌های باسیلوس، در خاک‌های استریل بیش از خاک‌های غیر استریل مؤثر واقع شد؛ چرا که بخش عمده‌ای از فسفر حل شده توسط حل‌کننده‌های فسفات توسط سایر میکروارگانیسم‌ها جذب می‌شود. دلایل متعددی برای پاسخ ندادن گیاه به تلقیح با باکتری‌ها وجود دارد که می‌توان به کاهش تعداد باکتری‌ها بعد از تلقیح به خاک به علت ناکافی بودن ترشحات ریشه‌ای مغذی، مستقر نشدن باکتری در ریزوسفر، کاهش کارایی باکتری‌ها برای حل فسفات نامحلول و رقابت بین باکتری‌ها و گیاه برای جذب عناصر غذایی اشاره کرد. یکی دیگر از عوامل مؤثر در تعداد باکتری‌های حل‌کننده فسفات، pH مناسب برای فعالیت می‌باشد. میکروارگانیسم‌های مورد استفاده در این تحقیق از خاکهای غیر اسیدی جداسازی شده‌اند، فلذا اگر در مواردی کارایی آنها کمتر از حد مورد انتظار می‌باشد، این موضوع می‌تواند احتمالاً بدلیل شرایط محیطی خاک اسیدی باشد، لذا یکی از پیشنهادات این پژوهش برای تحقیقات مشابه آتی، جداسازی و استفاده از میکروارگانیسم‌های بومی خاک‌های اسیدی می‌باشد.

در ایران در مورد کاربرد خاک فسفات در خاک‌های اسیدی بویژه باغات چای تجربه‌ای وجود نداشته و لذا مقایسه نتایج این پژوهش با کارهای دیگران در این مقاله ممکن نشد و از این جنبه تحقیق حاضر دارای تازگی و نوآوری می‌باشد.

نکته حایز اهمیت بحث اقتصادی کاربرد خاک فسفات در خاکهای اسیدی باغات چای می‌باشد. هم‌اکنون قیمت هر کیلو کود سوپر فسفات تریپل بین 15 تا 20 هزار تومان متغیر می‌باشد، در حالیکه قیمت تمام شده خاک فسفات و کمپوست زباله شهری به ترتیب 5 هزار تومان و 200 تومان می‌باشد. لذا تهیه مخلوطی از خاک فسفات و کمپوست (و نیز مایه تلقیح میکروارگانیسمها)

علل آن نیز کاهش تثبیت فسفر در خاک‌ها در نتیجه مصرف کمپوست می‌باشد. برخی منابع نیز اشاره کرده‌اند که میزان فسفر محلول موجود در کمپوست با فسفر آزاد شده از کودهای شیمیایی برابری می‌کند (ایگلشیاژ و همکاران، 1993). فعالیت آنزیم فسفاتاز نیز با افزایش میزان کمپوست افزایش می‌یابد (کرسچیو و همکاران، 2004). در پژوهش حاضر نیز در تیمارهای حاوی کمپوست بدلیل بهبود ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و زیستی خاک (افزایش فعالیت آنزیمها و انحلال و آزادسازی عناصر) شاخص‌های اندازه‌گیری شده در خاک و گیاه نسبت به شاهد معنی‌دار گردید.

در خاک‌های اسیدی، گروه قارچ‌های حل‌کننده فسفات بهتر از باکتری‌ها عمل می‌کنند (یاداو و سینگ، 1991). پژوهش‌ها نشان داده است که می‌توان با تیمار سنگ فسفات با اسیدهای مختلف اثر بخشی استفاده از سنگ فسفات را افزایش داد. در آزمایشی تأثیر اسیدهای معدنی، کودهای آلی، نوع خاک فسفات در حلالیت فسفر خاک فسفات معنی‌دار هستند. (طهرانی و همکاران، 1394). در پژوهش حاضر نیز تاثیر کاربرد کود آلی (کمپوست زباله شهری) بر برخی از شاخص‌های اندازه‌گیری شده در خاک و گیاه معنی‌دار بود و کاربرد توامان آن با خاک فسفات و میکروارگانیسمها بعنوان بهترین تیمار بود.

از بین قارچ‌ها، قارچ‌های میکوریزی بخصوص آربوسکولار میکوریزا (AM)، و از بین باکتری‌ها سویه‌های *Bacillus* و *Pseudomonas* از مهمترین ارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات می‌باشند. نتایج تاها و همکاران (1969) نشان داد که تلقیح حل‌کننده‌های فسفات با خاک‌های استریل، وزن خشک، جذب فسفر و غلظت فسفر محلول خاک را افزایش می‌دهد. این پژوهش نیز با هدف یافتن ترکیبی از خاک فسفات با میکروارگانیسم‌های مؤثر بعنوان کود زیستی جایگزین کود شیمیایی فسفوری در باغات چای صورت گرفت و مخلوط خاک فسفات، کمپوست، باکتری باسیلوس و قارچ میکوریز در افزایش

که بتواند به اندازه سوپر فسفات تریپل در باغات چای فسفر گیاه را تأمین نماید، به لحاظ اقتصادی بسیار با صرفه تر می باشد. مضافاً اینکه سوپر فسفات تریپل وارداتی بوده و تأمین ارز در شرایط تحریم جهت تهیه و تدارک آن را نیز باید در نظر گرفت.

### نتیجه گیری

در اراضی زیرکشت چای در شمال کشور، کمبود فسفر مشاهده می شود زیرا فسفر قابل جذب خاک توسط یونهای آهن و آلومینیم فراوان موجود در خاک اسیدی تثبیت و از دسترس گیاه خارج می گردد.

حلالیت خاک فسفات و آزاد شدن فسفر در خاکهای اسیدی خیلی بیشتر از خاکهای آهکی است. به همین دلیل اثربخشی کاربرد مستقیم خاک فسفات در خاکهای اسیدی قابل توجه بوده و لذا کاربرد مستقیم خاک فسفات در خاکهای اسیدی بعنوان منبع تأمین فسفر مورد توجه می باشد. در این راستا همراه کردن خاک فسفات با مواد و ترکیباتی که به حلالیت آن کمک نماید، به اثربخشی بیشتر آن منتهی خواهد شد. لذا کاربرد خاک فسفات به همراه مواد آلی (کمپوست...) و نیز میکروارگانسیمهای حل کننده فسفات (باکتری و قارچ) بعنوان جایگزینی مناسب برای کودهای فسفوری وارداتی پیشنهاد می گردد که این موضوع در پژوهش حاضر تأیید گردید.

عملکرد برگ سبز چای در دو تیمار سوپر فسفات و خاک فسفات نسبت به شاهد افزایش معنی دار

نشان داد، ولی هر دو تیمار خاک فسفات تنها و کود سوپر فسفات تریپل در یک سطح آماری قرار داشتند، این در حالی بود که کود سوپر فسفات تریپل از نظر فسفر قابل جذب خاک و فسفر برگ چای برتر از شاهد و خاک فسفات تنها، ظاهر شد ولی همچنان بهترین تیمار از لحاظ سه شاخص یاد شده مصرف توامان خاک فسفات، کمپوست و میکروارگانسیمها بود. علیرغم نتایج مطلوب این تحقیق پیشنهاد می گردد با توجه به اینکه بوته چای گیاه چندساله می باشد و برخی تیمارها مانند کمپوست و نیز خاک فسفات اثرات باقی مانده دارند، لذا آزمایش چندساله بر روی چای انجام شود تا نتایج قابل توصیه و تعمیم در باغات چای باشند. البته در این آزمایش نیز با در نظر گرفتن این موضوع، اعمال تیمارها در شهریورماه و نمونه برداری از خاک و گیاه در اردیبهشت ماه سال بعد صورت گرفت تا فاصله زمانی کافی برای مشاهده اثرات تیمارها وجود داشته باشد. همچنین پیشنهاد می گردد به منظور تعیین مناسب ترین مقدار و زمان مصرف خاک فسفات در خاکهایی اسیدی زیرکشت چای، و نیز تعیین حداقل تعداد میکروارگانسیمهای حل کننده فسفات، برای اینکه حلالیت فسفر در حد معنی داری صورت گیرد، آزمایشاتی در باغات چای اجرا گردد. در پایان توصیه می گردد در آزمایشات مشابه از باکتریهای بومی باغات چای استفاده شده و خواص کیفی چای، عطر، طعم، رنگ دهی، غلظت آلومینیم و... اندازه گیری شود که در این پژوهش این فرصت میسر نگردید.

### فهرست منابع:

1. احمدی، ک. ح. ر. عبادزاده، ف. حاتمی، رحسین پور و ح. عبدالشاه. 1399. آمارنامه کشاورزیسال 1399 جلد 3 محصولات باغی. وزارت جهادکشاورزی، معاونت برنامه ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات. شابک 8-097-467-978-964 تهران. ایران.
2. امامی، عاکفه. 1375. روش های تجزیه گیاه (جلد اول). مؤسسه تحقیقات خاک و آب. نشریه شماره 982. ایران.
3. تهرانی، م. م.، مشیری، ف.، شهبازی، ک.، معبودی، ن.، طباحیان، ش.، و رضائی موفق، س. 1394. افزایش کارایی خاک فسفات بومی به منظور کاهش واردات کودهای فسفاتی. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی، شماره مصوب 01-10-10-9008. موسسه تحقیقات خاک و آب.

4. شهبازی، ک. و ح. بشارتی. 1392. بررسی اجمالی وضعیت حاصلخیزی خاک‌های کشاورزی ایران. نشریه مدیریت اراضی. جلد 1. شماره 1. 15-1.

5. Besharati, H. 2017. Effects of sulfur application and Thiobacillus inoculation on soil nutrient availability, wheat yield and plant nutrient concentration in calcareous soils with different calcium carbonate content. *Journal of Plant Nutrition*, 40(3): 447-456.
6. Besharati, H., N. Aliasgharzad, K. Khavazi and H. Asadi Rahmani. 2018. Soil biology and biotechnology. In: *The soils of Iran*. M. H. Roozitalab, H. Siadat, A. Farshad (eds.) pp: 189-212. Springer
7. Bouyoucos, G.J. 1928. The hydrometer method for studying soils. *Soil Science*, 25(5): 365-370.
8. Bremner, J.M., and Mulvaney, C.S. 1996. Nitrogen-Total. *Methods of Soil Analysis, Part 2. Soil Science Society of America Book Series*, 5: 1085–1121.
9. Chapman HD and Pratt PF, 1962. *Methods of Analysis for Soils, Plants and Waters*. *Soil Science* 93: 60-62.
10. Helmke, P.A., and Sparks, D.L. 1996. Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium. *Methods of Soil Analysis Part 3-Chemical Methods. Soil Science Society of America Journal*, 3: 551–574.
11. Kucey, R.M.N. and Leggett, M.E. 1989. Increased yields and phosphorus uptake by Westar canola (*Brassica napus* L.) inoculated with a phosphate-solubilizing isolate of *Penicillium bilaji*. *Canadian Journal of Soil Science*, 69, 425-432. <http://dx.doi.org/10.4141/cjss89-042>
12. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1996. Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. In: Sparks D.L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis -Part 3. Chemical Methods-SSSA book. Series No. 5. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison*, pp 961-1010.
13. Olsen, S.R. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *United States Department of Agriculture Circular*, 939: 1-19.
14. Salimpour, S. , K. Khavazi, H. Nadian, H. Besharati and M. Miransari. 2010. Enhancing phosphorous availability to canola (*Brassica napus* L.) using P solubilizing and sulfur oxidizing bacteria. *Australian Journal of Crop Science* 4(5): 20-35.
15. Thomas, G. W. 1996. Soil pH and Soil Acidity. In: Sparks, D.L. et. al., (Ed.). *Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods*, 5.3. *Soil Science Society of America, and American Society of Agronomy, Inc. Madison*, pp : 475-490.
16. Tian, G. and Kolawole, G. O. 2004 'Comparison of various plant residues as phosphate rock amendment on Savanna soils of west Africa, *Journal of Plant Nutrition*, 27: (4), 571 — 583. Chapman, H.D. 1965. Cation-exchange capacity. In: C.A. Black (ed.). *Methods of soil analysis - Chemical and microbiological properties. Agronomy* 9:891-901.
17. Westerm RL. 1990. *Soil testing and plant analysis*. *Soil Science Society of American. Madison Wisconsin, United States of America*.
18. Yadav, K & T. Singh 1991. Phosphorous solubilization by microbial isolate from cacifluent. *Journal of Indian Society of Soil Science*, 39: 89-93.
19. Yahya, A.I., Al-Azawi, S.K. 1989. Occurrence of phosphate-solubilizing bacteria in some Iraqi soils. *Plant and Soil* 117, 135–141.
20. Zoysa A.K.N., P. Loganathan, M.J. Hedley 1998. Phosphate rock dissolution and transformation in the rhizosphere of tea (*Camellia sinensis* L.) compared with other plant species: *European Journal of Soil Science* 49, (3): 477–486.
21. Zoysa, A.K.N., P. Loganathan and M.J. Hedley, 1999. Phosphorus utilisation efficiency and depletion of phosphate fractions in the rhizosphere of three tea (*Camellia sinensis* L.) clones *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 53: 189-201.
22. [www.worldbank.org](http://www.worldbank.org).

23. Zoysa A.K.N., P. Loganathan, M.J. Hedley. 2001. Comparison of the agronomic effectiveness of a phosphate rock and triple superphosphate as phosphate fertilisers for tea (*Camellia sinensis* L.) on a strongly acidic Ultisol. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 59: 2, pp 95-105. <https://teacash.ir>
24. Hinsinger P., 2001. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: *a review*. *Plant and Soil*: 237, Issue 2, pp 173-195.
25. Grover L M , J C Knowles, G J P Fleming, J E Barralet. 2003. In vitro ageing of brushite calcium phosphate cement. *Biomaterials*. 24(23):4133-41. doi: 10.1016/s0142-9612(03)00293-x.
26. Kpombekou-A K, Tabatabai MA. 1994 .Effect of organic acids on release of phosphorus from phosphate rocks. *Soil Sci.*;158:442-53.
27. Bhattacharyya, P., A. Chakraborty, B. Bhattacharya and K. Chakrabarti, 2003. Evaluation of MSW compost as a component of integrated nutrient management in wetland rice. *Compost Sci. Util.* 11 (4), 343-350.
28. Warman P.R. and Munroe, M.D. 2000. Analysis of total inositol phosphates in municipal solid waste compost-treated soils by two extraction methods. *Biol Fertil Soils* 32:89–93.
29. Banik S. and B. K. Dey, 1982, Available phosphate content of an alluvial soil is influenced by inoculation of some isolated phosphate-solubilizing microorganisms. *Plant Soil*. 69: 353–364.
30. Taha, S.M., S.A.Z. Mahmoud, A. Halim El Damaty and A.M. Abd. El. Hafez. 1969. Activity of phosphate dissolving bacteria in egyptian soils. *Plant and Soil* XXXI, No.1.
31. Crecchio C., Antonio Gelsomino, Roberto Ambrosoli, Pacifico Ruggiero. 2004. Functional and molecular responses of soil microbial communities under differing soil management practices. *Soil Biology and Biochemistry* 36:1873-1883.
32. Iglesias-Jimenez E. and C. E. Alvarez. 1993. Apparent availability of nitrogen in composted municipal refuse. *Biology and Fertility of Soils* volume 16, pages313–318.
33. Zhang M., Heaney D., Henriquez B., Solberg E., Bittner E. 2006. A fouryear study on influence of biosolids/MSW cocompost application in less productive soils in Alberta: nutrient dynamics, *Compost Sci. Util.* 14, 68–80.



## Investigating the Possibility of Using Enriched Rock Phosphate to Supply Phosphorus in Tea Plantations

**H. Besharati<sup>1</sup>, H. Doroodian, and K. Shahbazi**

Scientific board, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj. Iran; E-mail: besharati1350@yahoo.com

Assistant Professor, Azad University, Lahijan Branch, Department of Agronomy and Plant Breeding; E-mail: darya717@yahoo.com

Scientific board, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj. Iran; E-mail: shahbazikarim@yahoo.com

Received: June, 2022 , and Accepted: August, 2022

### Abstract

Direct use of rock phosphate is considered as one of the alternatives to superphosphate, however, its use in acidic soils in the north of Iran has received less attention. This experiment was conducted as randomized complete block design. The treatments included: 1) control, 2) triple superphosphate (Tsp) fertilizer (based on soil test), 3) rock phosphate (to the extent that P addition was the same as Tsp), 4) compost at the rate of 10 tons per hectare, 5) rock phosphate+phosphate solubilizing fungi, 6) rock phosphate+phosphate dissolving fungi (Glomos), 7) rock phosphate + 10 tons per hectare compost, 8) rock phosphate + compost + phosphate solubilizing fungi (Pseudomonas), 9) rock phosphate+phosphate solubilizing fungi +compost. The results indicated the possibility of substituting rock phosphate for Tsp in acidic soils of tea plantations, and organic matter plays an important role in better dissolution of rock phosphate by microorganisms in acidic soils. Application of bacteria, fungi, and compost treatments along with rock phosphate significantly increased the yield of green tea leaves as well as soil available P, compared to the control. Also, the concentration of trace elements in treatments containing compost showed a significant increase. The use of rock phosphate alone significantly increased the soil available P compared to the control, but the highest amount of soil P was obtained by simultaneous application of rock phosphate with compost and microorganisms (biofertilizers).

**Keywords:** Phosphate solubilizing bacteria, Rock Phosphate, Phosphate solubilizing fungi, Mycorrhiza, Tea garden

---

<sup>1</sup> Corresponding author: Soil and Water Research Institute, Imam Khomeini Boulevard, Meshkin Dasht Road, Karaj, Iran