DOI: 10.22059/ijswr.2021.317643.668875

تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۲، شماره ۵، مرداد ۱۴۰۰ (ص ۱۲۸۶-۱۲۷۵)

(علمی – پژوهشی)

Silicon Efficiency in Different *zea maise* Cultivars in a Calcareous Soil

FATEMEH PARVIZNIA[1], BABAK MOTESHAREZADEH[*1], HOSSEIN MIR SEYED HOSSEINI[1], SEYED MAJID MOUSAVI[2]

1. Department of Soil Science, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
2. Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

(Received: Jan. 23, 2021- Revised: Feb. 17, 2021- Accepted: Apr. 7, 2021)

ABSTRACT

Element efficiency is one of the most important characteristics of different plant cultivars for managing nutrition and fertilizer application in plants. This study was carried out to investigate the efficiency of silicon in different maize cultivars in a calcareous soil under greenhouse conditions. Treatments included five maize cultivars (single crosses 400 (ksc400), 410 (ksc410), 704 (ksc704), 705 (ksc705), 706 (ksc706)) and two silicon levels (0 and 100 mg silicon in 1 kg soil from potassium silicate source), which was performed in a factorial arrangement based on a completely randomized design. After eight weeks of vegetative period, plants harvested and factors such as shoot and root dry weight, leaf area, root volume and surface area and plant silicon uptake were measured. Efficiency element indices including adsorption and consumption efficiency of silicon and silicon efficiency of different cultivars were calculated. Among cultivars, ksc706 with 14.54 g yield, root weight of 6.7 g, leaf area of 173700 mm^2 and root area of 185185 mm^2 had the best results in terms of morphological characteristics and ksc410 cultivar with yield of 10.03 g, root weight of 5.25 g, leaf area of 2147900 mm^2 and root area of 136284 mm^2 showed the lowest desirable characteristics, compared to the control treatment. Yield increase of cultivars compared to the control treatment were: ksc400 (20.7%), ksc706 (17.8%), ksc410 (9.2%), ksc704 (8.9%) and ksc705 (4.8%). The highest silicon uptake efficiency was in ksc706 cultivar (85.7%) and the lowest in ksc704 (58.9%), and the highest silicon consumption efficiency was in ksc705 (12.52%) and the lowest in ksc400 (5.44%). With regard of increasing the area of root system in the treatment containing silicon compared to the control, and the effects of silicon on the uptake and transfer of more nutrients from the soil to the shoots, an increase in plant yield is evident. Accordingly, it is suggested to consider the development of planting the effective element plants with the aim of managing input consumption, soil fertility and sustainable agricultural goals.

Keywords: Silicon, Efficient Silicon, Absorption, Absorption Efficiency, Maize Cultivars.

* Corresponding Author’s Email: moteshare@ut.ac.ir

سیلیسیم‌کارایی ارقام مختلف ذرت در یک خاک آهکی

فاطمه پرویزنیا[۱]، بابک متشرع زاده*[۱]، حسین میرسیدحسینی[۱]، سید مجید موسوی[۲]

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۲. موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۴- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۱/۲۹- تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱/۱۸)

چکیده

عنصرکارایی از مهم‌ترین ویژگی‌های ارقام مختلف گیاهی برای مدیریت تغذیه و مصرف کود در گیاهان است. این پژوهش با هدف بررسی سیلیسیم‌کارایی ارقام مختلف ذرت در یک خاک آهکی تحت شرایط گلخانه‌ای طراحی و اجرا شد. تیمارها شامل پنج رقم ذرت (سینگل‌کراس‌های ۴۰۰ (ksc400)، ۴۱۰ (ksc410)، ۷۰۴ (ksc704)، ۷۰۵ (ksc705)، ۷۰۶ (ksc706)) و دو سطح سیلیسیم (صفر و ۱۰۰ میلی‌گرم سیلیسیم بر کیلوگرم خاک از منبع سیلیکات پتاسیم) بود، که به صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی اجرا گردید. پس از گذشت هشت هفته از دوره رویشی، گیاهان برداشت و فاکتورهایی نظیر وزن خشک اندام هوایی و ریشه، سطح برگ، حجم و سطح ریشه و مقدار جذب سیلیسیم گیاه اندازه‌گیری شد. شاخص‌های عنصرکارایی شامل کارایی جذب و مصرف سیلیسیم ارقام مختلف محاسبه گردید. در بین ارقام تیمار ksc706 با عملکرد ۱۴/۵۴ g و وزن ریشه ۶/۷ g و سطح برگ ۱۷۳۷۰۰ mm^2 و سطح ریشه ۱۸۵۱۸۵ mm^2 از لحاظ خصوصیات مورفولوژیکی بهترین نتایج را داشت و رقم ksc410 نیز با عملکرد ۱۰/۰۳ g و وزن ریشه ۵/۲۵ g و سطح برگ ۱۴۷۹۰۰ mm^2 و سطح ریشه ۱۳۶۲۸۴ mm^2 کمترین خصوصیات مطلوب را نسبت به تیمار شاهد نشان داد. افزایش عملکرد ارقام نسبت به تیمار شاهد به صورت: ksc400 (۲۰/۷٪)، ksc706 (۱۷/۸٪)، ksc410 (۹/۲٪)، ksc704 (۸/۹٪) و ksc705 (۴/۸٪) بود. بیشترین کارایی جذب سیلیسیم در رقم ksc706 (۸۵/۷٪) و کمترین آن در ksc704 (۵۸/۹٪)، و بیشترین کارایی مصرف سیلیسیم در ksc705 (۱۲/۵۲٪) و کمترین در ksc400 (۵/۴۴٪) بود. با توجه به افزایش سطح سیستم ریشه‌ای در تیمار حاوی سیلیسیم نسبت به شاهد، و اثرات سیلیسیم بر جذب و انتقال بیشتر عناصر غذایی از خاک به اندام هوایی، افزایش عملکرد گیاه مشهود است. براین‌اساس، توصیه می‌شود توسعه کاشت گیاهان عنصرکارا با هدف مدیریت مصرف نهاده‌ها، حاصل‌خیزی خاک و اهداف کشاورزی پایدار مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: سیلیسیم، سیلیسیم‌کارا، جذب، کارایی جذب، ارقام ذرت.

مقدمه

نیاز روزافزون بشر برای تولید محصولات کشاورزی، لزوم استفاده از راه‌کارهای افزایش تولید در واحد سطح را افزایش داده است (Singh *et al.*, 2020). طبق تعریف اپستین و بلوم (۲۰۰۵)، سیلیسیم عنصری شبه‌ضروری برای گیاهان عالی است. از آنجا که رشد رویشی و تولید دانه برای تعدادی از گیاهان زراعی (برنج، نیشکر، گندم، گوجه‌فرنگی و خیار) و غیرزراعی (دم‌اسبیان و فالاریس) بدون تغذیه سیلیسیمی نشانه‌های کمبود نظیر لکه-مردگی و پژمردگی در گیاه ظاهر می‌گردد (Singh *et al.*, 2005; Abro *et al.*, 2009). سیلیسیم برای رشد این گیاهان ضروری می‌باشد. به‌طورکلی مصرف سیلیسیم از دو طریق بر رشد و نمو گیاهان اثر دارد. نخست، بهبود تغذیه سیلیسیم موجب تقویت سیستم حفاظتی گیاه در شرایط نامساعد محیطی، بیماری و حشرات می‌گردد (Gomaa *et al.*, 2020; Mousavi *et al.*, 2018)، از طرفی تیمار سیلیسیم فعال از نظر ژئوشیمیایی سبب بهبود وضعیت آب در خاک، بهبود ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک و افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی برای گیاه شده و از این طریق حاصلخیزی خاک را بالا می‌برد (Beerling *et al.*, 2018; Caubet *et al.*, 2020). امروزه توانایی ژنوتیپ‌های مختلف گیاهی در جذب و مصرف عناصر غذایی، توسط دانشمندان بسیاری مورد توجه قرار گرفته است که تفاوت کارایی آن‌ها در استفاده از عناصر غذایی (Nutrient efficiency) به خاطر جذب بوسیله ریشه‌ها (Acquisition) یا مصرف توسط گیاه (Utilization) و یا هر دو متأثر می‌شود، که اهمیت نسبی این استراتژی‌ها بسته به نوع عنصر و نوع گونه گیاه می‌تواند متفاوت باشد (Marschner and Römheld 1998; Galindo *et al.*,

*نویسنده مسئول : moteshare@ut.ac.ir

2020). بر همین اساس ارقام سیلیسیم‌کارا ارقامی هستند که می‌توانند هم در شرایط کوددهی مناسب و هم در شرایط کمبود بالاترین مقدار جذب سیلیسیم و عملکرد را داشته باشند، تحقیقات بسیاری از محققین افزایش بازده تولید در محصولات مهمی مانند گندم و سورگوم تغذیه شده با سطوح مختلف سیلیسیم نشان می‌دهد (Ranjbar *et al.*, 2019; Rezakhani *et al.*, 2019).

سطح بحرانی سیلیسیم در خاک بسته به خصوصیات خاک و نوع عصاره‌گیر متفاوت بوده و در خاک‌های آهکی با عصاره‌گیر استات سدیم- اسید استیک ۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک و در خاک اسیدی در کشت برنج ۶۰-۳۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک گزارش شده است (Narayanaswamy and Prakash, 2009). تمامی گیاهانی که در خاک می‌رویند در بافت‌های خود دارای سیلیسیم می‌باشند اما تفاوت گسترده‌ای در مقدار سیلیسیم در بافت‌های سطحی در بین گونه‌ها و ژنوتیپ‌های مختلف گیاهان وجود دارد. تجزیه بافت انواع مختلف گیاهان نشان داد که غلظت سیلسیم بسته به نوع گیاه، از یک تا ۱۰۰ گرم سیلیسیم در هر کیلوگرم وزن خشک متغیر است. مقایسه این مقادیر با عناصری مانند فسفر، نیتروژن، کلسیم و سایر عناصر نشان می‌دهد که سیلیسیم در مقادیر معادل عناصر پرمصرف در گیاهان وجود دارد (Ma and Yamaji, 2008). درحالی‌که بسیاری از گیاهان توانایی جذب سیلیسیم را دارند، تجمع در گیاهان عالی بسیار متفاوت است؛ بنابراین، گیاهان بر اساس مقدار سیلیسیم شاخ و برگ طبقه‌بندی می‌شوند. این گیاهان به سه دسته تقسیم می‌شوند که بیشتر از ده درصد، یک الی سه درصد و کمتر از یک درصد سیلیسیم را جذب می‌کنند که به ترتیب به عنوان انباشتگر، متوسط و کم انباشتگر طبقه‌بندی می‌شوند. جذب سیلیسیم توسط گیاهان انباشتگر (*Oryza sativa* و *Zea mays*) و متوسط انباشتگر (*Benincase hispida* و *Helianthus annuus*) هر دو به صورت غیر فعال و فعال صورت می‌گیرد (Ma *et al.*, 2007). محققین، انتخاب ارقام کارا را یک متغیر مکمل و حتی جایگزین برای مصرف کودها در کشاورزی بیان‌کردند. ویژگی عنصرکارا بودن تحت تاثیر دو مولفه ژنتیک و عوامل محیطی است. از عوامل محیطی می‌توان به نقش ریشه و تارهای کشنده در تفاوت ارقام کارا اشاره کرد. برای جذب مواد مغذی، ترشحات و تراوشات ریشه در ریزوسفر تغییراتی در pH، پتانسیل احیا و آزادسازی ترکیبات با وزن مولکولی کم ایجاد می‌کند که از اهمیت بالایی برخوردار است (Marschner and Römheld, 1998).

شناسایی پاسخ ارقام مختلف گیاهی به عناصر ضروری و پرمصرف، گام اولیه برای توصیه کودی و مدیریت مصرف نهاده‌های کشاورزی بشمار می‌رود. این تحقیق با هدف سیلیسیم‌کارایی ارقام مختلف ذرت تحت شرایط گلخانه‌ای اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال ۱۳۹۸ در محل گلخانه تحقیقاتی گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تهران به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. فاکتور اول شامل تیمار سیلیسیم در دو سطح صفر (-Si) و صد میلی‌گرم سیلیسیم بر کیلوگرم خاک (+Si) ، از منبع سیلیکات پتاسیم بود (Rezakhani *et al.*, 2019) که سطح دوم به تیمارهای دارای سیلیسیم اضافه گردید، فاکتور دوم شامل پنج رقم ذرت تجاری شامل: ksc400 (Dehghan)، ksc410 (Taha)، ksc704، ksc705 و ksc706 که از موسسه اصلاح نهال و بذر کشور تهیه شد. خاک مورد نیاز برای کشت گلخانه‌ای با سیلیسیم کمتر از حد بحرانی ۹۰ میلی‌گرم سیلیسیم در کیلوگرم خاک از مزرعه پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در کرج با عرض جغرافیایی N "۳۵°۴۸´۲۲ و طول جغرافیایی E "۵۰°۵۷´۱۶ و با ارتفاع ۱۲۹۳متر از سطح دریا نمونه‌برداری شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد نظر از جمله: واکنش خاک (pH) و قابلیت هدایت الکتریکی (EC) عصاره اشباع خاک (Swift,1996) ، بافت خاک به روش هیدرومتری (Bouyoucos, 1962) و رطوبت ظرفیت مزرعه (FC) به روش گلدانی (Swift, 1996)، مشخص و نتایج آن در جدول (۱) ارائه شده است. سیلیسیم قابل استخراج خاک با اسیداستیک ۰/۵ مولار (Narayanaswamy and Prakash, 2009) ، نیتروژن کل خاک (Swift, 1996)، درصد کربن آلی خاک (Nelson and Sommers, 1996)، فسفر قابل جذب (Olsen and Sommers, 1982)، پتاسیم قابل جذب (Bremner, 1996)، کربنات کلسیم معادل (Loeppert and Suarez, 1996) و مقدار قابل جذب روی، مس، منگنز و آهن نیز به روش استخراج با DTPA (Sparks, 1996) اندازه‌گیری شد که نتایج آن در جدول (۱) آمده است. جهت اضافه کردن کود سیلیسیم به خاک با تیمار ۱۰۰میلی‌گرم سیلیسیم درکیلوگرم خاک، با توجه به وزن خاک داخل گلدان (سه و نیم کیلوگرم) مقدار کود مورد نظر محاسبه و به لایه‌های خاک اسپری شده و سپس خوب مخلوط گردید جهت یکسان شدن شرایط گلدان‌ها مقدار پتاسیم اضافه شده به گلدان‌ها را محاسبه به سایر گلدان‌های بدون تیمار سیلیسیم نیز، محلول پتاسیم از نمک پتاسیم کلرید داده شد. همچنین عناصر غذایی مورد نیاز در خاک به محیط کشت بر اساس آزمون خاک اضافه شد (Malakouti and Tehrani, 1999). جهت همگن شدن به

مدت سه هفته در اتاق انکوباسیون گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تهران قرار گرفت، سپس مجدداً جهت اطمینان از مخلوط شدن کامل و یک دست شدن کود با خاک مجدداً خاک‌ها خشک و در داخل گلدان مخلوط شد (Ranjbar *et al.*, 2019).

جدول ۱- خصوصیات مهم فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

pH	EC (dS/m)	کربنات کلسیم معادل(٪)	کلاس بافت خاک	FC (٪)	سیلیسیم (mg/kg)	نیتروژن‌کل (٪)
۸/۲۷	۱/۷۴	۱۳/۴۰	لوم	۱۸/۶۰	۵۲/۱۲	۰/۰۷
فسفر قابل جذب (mg/kg)	پتاسیم قابل جذب (mg/kg)	آهن (mg/kg)	روی (mg/kg)	مس (mg/kg)	منگنز (mg/kg)	کربن آلی (٪)
۷/۹۰	۱۲۰/۰۰	۴/۷۴	۰/۹۴	۱/۳۹	۶/۷۰	۰/۵۵

بعد از کشت بذرها و جوانه‌زنی بعد از گذشت ۱۵ روز در هر گلدان دو گیاهچه ذرت نگهداری شد. طی دوره رشد، گلدان‌ها با آب مقطر دیونیزه آبیاری و با توزین، رطوبت آن‌ها به روش وزنی، در حد ظرفیت زراعی (FC) نگه داشته شد. درجه حرارت روزانه و شبانه گلخانه به ترتیب ۲۵ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد و دوره نوری ۱۶ساعت روشنایی و هشت ساعت تاریکی، با شدت نور ۱۴۰۰۰ لوکس و رطوبت نسبی ۶۰٪ در نظر گرفته شد. بعد از گذشت دوره رشد هشت هفته‌ای و در انتهای دوره رشد رویشی، به منظور بررسی عملکرد ماده خشک گیاهان و مقایسه سیلیسیم‌کارایی آن‌ها با یکدیگر، ریشه و اندام هوایی گیاهان برداشت شده و شاخص‌هایی نظیر وزن خشک اندام هوایی و ریشه، سیلیسیم-کارآیی شاخساره، غلظت و مقدار سیلیسیم در ریشه و اندام هوایی و کارایی جذب (Acquisition) و مصرف (Utilization) سیلیسیم در اندام هوایی و ریشه و همینطور غلظت و جذب پتاسیم گیاه اندازه‌گیری گردید. برای تعیین شاخص‌های مورد نظر از روابط جدول (۲) استفاده شد.

برای اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوایی و ریشه‌ها پس از شسته شدن آن‌ها با آب مقطر در آون تهویه‌دار با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک گردید و جهت انجام تجزیه گیاه آسیاب شدند. برای تجزیه‌های شیمیایی به روش اکسیداسیون خشک، ابتدا یک گرم از ماده خشک گیاهی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد در کوره الکتریکی قرار گرفت و سپس خاکستر حاصل در ۲۰ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک یک نرمال حل و پس از عبور از کاغذ صافی مناسب با آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. محاسبه غلظت سیلیسیم در اندام هوایی از روش رنگ‌سنجی آمینومولیبدات آبی استفاده شد، به این صورت که پس از تهیه عصاره نمونه مورد نظر غلظت سیلیسیم در آن با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۵۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Elliot and Snyder, 1991). در پایان، داده‌های به دست آمده توسط نرم‌افزارهای SAS و EXCEL و آزمون مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد مورد مقایسه و بررسی قرار گرفت.

جدول ۲- روابط مربوط به شاخص‌های سیلیسیم‌کارآیی

منبع	فرمول محاسبه	نام اختصاری	کمیت
Ranjbar et al., 2019	$(SDW_{(-Si)}/SDW_{(+Si)}) \times 100$	SSE	شاخص سیلیسیم‌کارایی در اندام هوایی
Ranjbar et al., 2019	$(TSS_{(-Si)}/TSS_{(+Si)}) \times 100$	SACE	شاخص کارایی جذب سیلیسیم
Ranjbar et al., 2019	$(SDW/TSS) \times 100$	SUTE	شاخص کارایی مصرف سیلیسیم
Ranjbar et al., 2019	$SACE \times SUTE$	CSE	شاخص کارایی محاسبه شده سیلیسیم
Farshadfar and Sutka, 2002	$\{1 - (Ys/Yp)\}/SI$	SSI	شاخص حساسیت به تنش
Farshadfar and Sutka, 2002	$1 - (\bar{Y}s/\bar{Y}p)$	SI	شدت تنش
Farshadfar and Sutka, 2002	$(Yp.Ys)/(\bar{Y}p)^2$	STI	شاخص تحمل به تنش

TSS= کل سیلیسیم جذب شده در اندام هوایی و

SDW= ماده خشک تولیدی در شرایط عدم کاربرد (-Si) سیلیسیم شرایط کاربرد سیلیسیم (+Si)

نتایج

پاسخ‌های رشدی گیاه

نتایج تجزیه واریانس مربوط به تمامی صفات مورد بررسی در جدول (۳) نشان داده شده‌است. داده‌های این جدول نشان می دهد که کاربرد سیلیسیم، رقم ذرت و اثر متقابل آن‌ها بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه، ارتفاع بوته، قطر ساقه، حجم و سطح ریشه و همینطور بر میزان سبزینگی گیاه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. همان‌طور که در شکل (۱-الف) مشاهده می شود، نتایج نشان داد وزن خشک اندام هوایی ارقام به صورت: ksc400 (۲۰/۷٪)، ksc706 (۱۷/۸٪) ، ksc410 (۹/۲٪) ، ksc704

(۸/۹٪) و ksc705 (۴/۸٪) نسبت به تیمار شاهد افزایش داشته است. با توجه به شکل (۱-ب) هم به طور متوسط بیشترین مقدار وزن خشک ریشه در بین ارقام مختلف ذرت در تیمارهای حاوی سیلیسیم مربوط به ksc706 (۶/۶۷ گرم) و کم‌ترین آن مربوط به رقم ksc410 (۵/۲۵ گرم) است و بیشترین مقدار افزایش نسبت به تیمار شاهد در رقم ksc705 (۲۵/۲٪) و کمترین آن در ksc410 (۱/۱۹٪) مشاهده شد. در شکل (۱-پ) نتایج مربوط به ارتفاع اندام هوایی آمده است، بیشترین ارتفاع بوته در ارقام حاوی سیلیسیم بود که بیشترین مقدار مربوط به رقم ksc706 با ۶۰۱/۶۷ mm و سپس به ترتیب ksc705 (۵۸۱/۶۷ mm)، ksc704 (۵۷۱/۶۷ mm)، ksc400 (۵۵۶/۶۷ mm) و در نهایت ksc410 (۵۴۰/۶۷ mm) می‌باشد. بیشترین درصد افزایش نیز مربوط به رقم ksc706 (۹/۰۶٪) و کمترین مقدار مربوط به ksc410 (۰/۱۲٪) می‌باشد که افزایش چشمگیری نسبت به تیمار شاهد نداشته است.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر ارقام ذرت و تیمار سیلیسیم بر شاخص‌های رشدی در گیاه ذرت.

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		وزن خشک اندام هوایی	ارتفاع بوته	سطح برگ	قطرساقه
سطوح سیلیسیم	۱	۱۳/۵۷**	۳۵/۶۴**	۳۴۶۱۷۱/۶۹**	۰/۰۷۵**
ارقام ذرت	۴	۱۲/۷۶**	۱۱/۳۲**	۷۸۶۹۱/۸۳**	۰/۱۱۲**
سطوح سیلیسیم * ارقام ذرت	۴	۰/۸۳۸**	۵/۹۱**	۳۹۰۶۶/۵۲**	۰/۰۰۶**
خطا	۲۰	۰/۰۶۲	۰/۱۰۶	۷۳۴۴/۷۹	۰/۰۰۱
ضریب تغییرات		۲/۱۴	۰/۵۸۲	۵/۹۸	۲/۴۴

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		وزن خشک ریشه	حجم ریشه	سطح ریشه	شاخص کلروفیل برگ
سطوح سیلیسیم	۱	۲/۹۵**	۳۰۰/۸۳**	۳۵۷۴۳۲/۰۹**	۷/۲۶**
ارقام ذرت	۴	۱/۱۰**	۱۶۱/۴۵**	۱۵۸۰۷۵/۶۷**	۲۸/۷۳**
سطوح سیلیسیم * ارقام ذرت	۴	۰/۳۵۹**	۴۴/۰۸**	۲۳۱۳۹/۳۲**	۹/۰۵**
خطا	۲۰	۰/۰۳۳	۵/۱۰	۳۶۸۴/۱۳	۰/۱۹۶
ضریب تغییرات		۳/۲۱	۶/۰۴	۳/۹۴	۱/۱۴

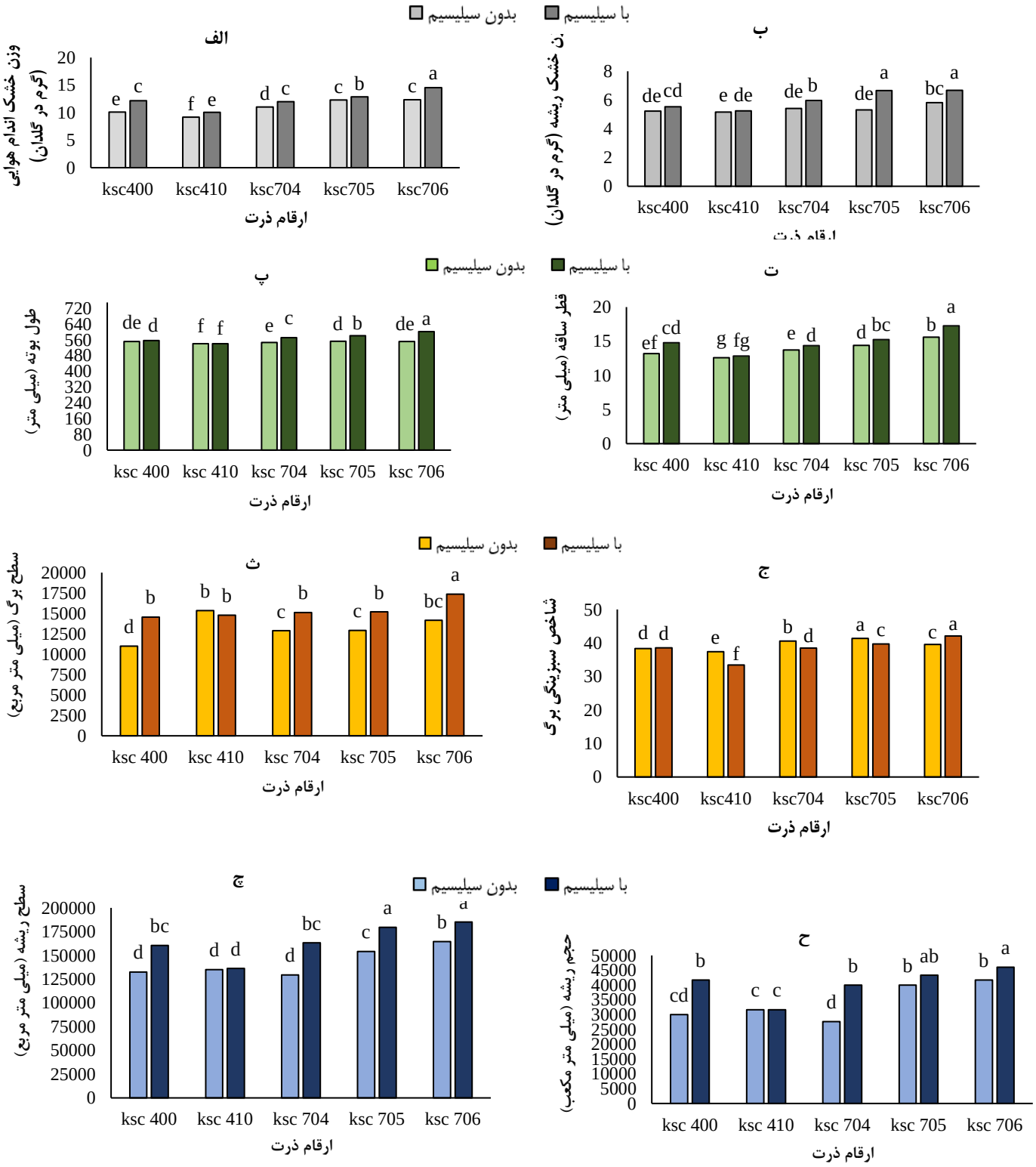
علامت ** نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۰/۰۱، * معنی‌دار بودن در سطح ۰/۰۵، ns غیر معنی‌دار بودن داده‌هاست.

در شکل (۱-ت) مشاهده می‌شود با کاربرد سیلیسیم بیشترین مقدار قطر ساقه ذرت در تیمار ksc706 (قطر: ۱۷/۲۷ mm و ۱۰/۷۶٪ افزایش قطر نسبت به تیمار شاهد) به عنوان تیمار برتر مشاهده شد. کمترین مقدار نیز در رقم ksc410 (قطر: ۱۲/۸۴ mm و ۲/۰۷٪ افزایش قطر نسبت به تیمار شاهد) بود. مقایسه میانگین نتایج نشان می‌دهد با وجود افزایش در مقدار سطح برگ در ارقام مختلف در تیمارهای حاوی سیلیسیم رقم ksc410 تغییر چندانی از نظر مقدار سطح برگ ندارد. اما در بقیه ارقام با افزایش مقدار سطح برگ در تیمارهای حاوی سیلیسیم نسبت به تیمار شاهد خود افزایش عملکرد داشتند و بیشترین افزایش سطح برگ مربوط به ksc400 با ۳۲/۶٪ افزایش نسبت به تیمار شاهد خود بود؛ همچنین مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد شاخص سبزینگی با کاربرد سیلیسیم، در رقم ksc706 افزایش (۶/۳۷٪) و در ارقام سینگل‌کراس ۷۰۵، ۷۰۴، ۴۱۰ کاهش و در رقم سینگل‌کراس ۴۰۰ تغییری نداشت (شکل۱- ث و ج). بیشترین مقدار حجم ریشه مربوط به تیمار حاوی سیلیسیم رقم ksc706 (۴۶۰۰۰ mm^3) است اما بیشترین افزایش حجم نسبت به تیمار شاهد در ارقام ksc704 (۴۴/۵۸٪) و ksc400 (۳۸/۸۹٪) مشاهده می‌شود (شکل ۱-ح)، با این حال در رقم ksc410 حجم ریشه در هر دو سطوح سیلیسیم صفر و ۱۰۰ میلی‌گرم درکیلوگرم خاک تغییر چندانی ندارد. مقایسه میانگین‌های مساحت سطح ریشه ارقام ذرت نشان می‌دهد که رقم ksc706 بیشترین مقدار مساحت سطح ریشه (۱۸۵۱۸۵/۵ mm^2) و بیشترین درصد افزایش سطح ریشه نسبت به تیمار شاهد مربوط به ksc704 با ۲۶/۲۰٪ افزایش بود. رقم ksc410 (با ۰/۹۸٪ افزایش نسبت به تیمار شاهد) نیز، از نظر آماری در بدترین گروه قرار گرفت (شکل۱- چ).

سیلیسیم کارایی ارقام ذرت

نتایج جدول (۴) نشان می‌دهد اثرات اصلی و متقابل ارقام ذرت و سطوح سیلیسیم برغلظت و مقدار جذب سیلیسیم در اندام هوایی و ریشه در سطح احتمال $p<0/01$ معنی‌دار است. بیشترین غلظت سیلیسیم در اندام هوایی در بین تیمارهای حاوی سیلیسیم و به

ترتیب برای ارقام به صورت ksc400 > ksc706 > ksc410 > ksc704 > ksc705 از نظر غلظت سیلیسیم بودند. در ریشه نیز بیشترین درصد غلظت به ترتیب در ارقام ksc400 > ksc706 > ksc410 > ksc704 > ksc705 مشاهده شد. در اندام هوایی میزان جذب سیلیسیم ارقام به صورت: ksc704 (۶۹/۸۷٪)، ksc705 (۵۶/۴۹٪)، ksc410 (۲۹/۴۰٪)، ksc400 (۲۲/۷۴٪) و ksc706 (۱۶/۶۲٪) نسبت به تیمار شاهد افزایش داشت؛ در ریشه نیز ksc704 (۱۴۱/۷٪)، ksc705 (۱۳۷٪)، ksc410 (۹۲/۲۱٪)، ksc706 (۷۷/۷٪) و ksc400 (۳۹/۴۸٪) نسبت به تیمارهای شاهد افزایش داشته است. در بین تیمارها رقم ksc706 بیشترین میزان جذب سیلیسیم را در هر دو تیمار شاهد و حاوی سیلیسیم در اندام هوایی را داراست و رقم ksc705 کمترین مقدار را دارد. در توانایی ژنوتیپ‌های مختلف در جذب عناصر قطعا تفاوت در عملکرد ریشه نیز تأثیرگذار است. بیشترین جذب سیلیسیم از خاک در رقم ksc706 دیده می‌شود و ارقام بعدی با تفاوت‌های اندکی در گروه‌های دیگر قرار گرفتند در بین تیمارهای شاهد نیز بیشترین مقدار به ksc706 و کمترین مقدار به ksc705 تعلق دارد. تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، تیمار سیلیسیم و ارقام ذرت و اثر متقابل آن‌ها بر تمامی شاخص‌های مربوط به سیلیسیم‌کارایی ارقام در سطح احتمال p <۰/۰۱ معنی‌دار است (جدول ۵). با توجه به مقایسه میانگین نتایج، سیلیسیم‌کارایی در ارقام مختلف ذرت، ارقام ksc705 و ksc704 و ksc410 در یک گروه آماری و در بالاترین سطح از نظر پاسخ به کاربرد کود سیلیسیم قرار دارند و ارقام ksc706 و ksc400 نیز، در گروه دوم قرار می‌گیرند (شکل۲- الف). به‌طورکلی، ارقام ذرت با کاربرد سیلیسیم افزایش عملکرد بین ۴ تا ۲۰٪ را نشان می‌دهند. تفاوت افزایش عملکرد در بین ارقام حاوی سیلیسیم در حدود ۱۵٪ تغییرکرد که نشان از تفاوت بین ارقام در جذب و متأثر شدن از سیلیسیم است. مطابق شکل (۲- ب) ارقام ksc706 > ksc400 > ksc410 > ksc705 = ksc704 بیشترین مقدار را در کارایی جذب داشتند. رقم ksc706 با ۸۵/۷۵٪ کارایی جذب و رقم ksc704 با ۵۹٪ کارایی جذب به ترتیب بیشترین و کمترین کارایی جذب را نشان می‌دهند و می‌توان استنباط کرد با مصرف سیلیسیم نسبت به تیمار شاهد حداقل ۵۹٪ افزایش کارایی جذب در ارقام مختلف مشاهده می‌شود. کارایی مصرف سیلیسیم تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال p<۰/۰۱ داشت. مقایسه نتایج نشان داد بیشترین کارایی مصرف سیلیسیم درتیمار شاهد (شکل۲- پ) در ارقام به ترتیب ksc705 (۱۲/۵۲٪)، kc704 (۱۰/۸۹٪)، ksc410 (۶/۹۹٪)، ksc400 (۵/۶۴٪) و ksc706 (۵/۴۴٪) بود. در تیمار حاوی سیلیسیم (شکل۲- ت) نیز کارایی مصرف سیلیسیم در رقم ksc705 (۸/۳۹٪)، kc704 (۶/۹۸٪)، ksc410 (۵/۹۰٪)، ksc706 (۵/۷۰٪) و ksc400 (۵/۳۵٪) بود. این نتایج به خوبی نشان می‌دهد با وجود بیشتر بودن مقدار سیلیسیم در ارقام ksc706 و ksc400 بیشترین کارایی مصرف سیلیسیم را ندارند. با توجه به شکل (۲- ث و ج) در تیمار شاهد بیشترین کارایی محاسبه شده سیلیسیم در رقم ksc705 و سپس ksc704 و ksc410 مشاهده شد و در نهایت ksc706 و ksc400 کمترین مقدار کارایی مصرف را دارند. این درحالیست که در تیمار حاوی سیلیسیم بیشترین کارایی محاسبه شده سیلیسیم به ترتیب در ارقام ksc705 (۸۰۰/۶۹٪)، kc704 (۶۴۲/۱۶٪)، ksc410 (۵۴۰/۳۳٪)، ksc706 (۴۸۳/۸۷٪) و ksc400 (۴۴۳/۶۰٪) بود. مشاهده می‌شود با افزایش سطح سیلیسیم خاک کارایی سیلیسیم در گیاه دچار تغییر شده و در ksc705 (۵۳۶/۴۹٪)، ksc706 (۴۸۹/۰۷٪)، ksc410 (۴۵۶/۵۲٪)، ksc400 (۴۳۶/۸۵٪) و ksc704 (۴۱۲٪) نسبت به تیمار شاهد خود افزایش یا کاهش داشتند. بیشترین میزان حساسیت به تنش سیلیسیم مربوط به ksc706 و ksc400 بوده و ارقام ksc705 و ksc704 و ksc410 از حساسیت کمتری نسبت به کمبود سیلیسیم برخوردار بودند. همچنین نتایج نشان داد بیشترین مقدار شاخص مقاومت به تنش به ترتیب مربوط به ksc706 > ksc705 > ksc704 > ksc400 > ksc410 بوده است. که با مقایسه عملکرد گیاه در شرایط کمبود سیلیسیم همخوانی داشته و نشان می‌دهد ارقام از نظر افزایش عملکرد در شرایط کمبود رفتارهای متفاوتی نشان می‌دهند و رقم ksc706 با توجه به کارا بودن آن در هردو شرایط کمبود و بدون کمبود بهترین رقم از لحاظ عنصرکارایی و حساس‌ترین رقم به نبود سیلیسیم در محلول غذایی است (شکل ۲- چ و ح).



شکل ۱- مقایسه اثرات متقابل ارقام ذرت و تیمار سیلیسیم بر الف) وزن خشک اندام هوایی (گرم در گلدان) ب) وزن خشک ریشه (گرم در گلدان) پ) ارتفاع بوته (میلی‌متر) ت) قطر ساقه (میلی‌متر) ث) سطح برگ (میلی‌متر مربع) ج) شاخص سبزینگی برگ چ) سطح ریشه (میلی‌مترمربع) ح) حجم ریشه (میلی‌متر مکعب). با استفاده از آزمون مقایسات میانگین دانکن (α=۰/۰۵)، اثرات با حروف مشترک دارای تفاوت معنی‌داری از نظر آماری نمی‌باشند.

جدول ۴- الف) تجزیه واریانس اثر ارقام ذرت و تیمار سیلیسیم بر غلظت و مقدار جذب سیلیسیم در گیاه. ب) میانگین غلظت و جذب سیلیسیم و غلظت پتاسیم ارقام ذرت در تیمار شاهد (-Si) و حاوی سیلیسیم (+Si)

(الف)

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		غلظت سیلیسیم اندام هوایی(٪)	غلظت سیلیسیم ریشه(٪)	جذب سیلیسیم هوایی (میلی‌گرم گلدان)	اندام جذب سیلیسیم بر ریشه(میلی‌گرم گلدان)	غلظت پتاسیم اندام هوایی(٪)	غلظت پتاسیم ریشه(٪)
سطوح سیلیسیم	۱	۰/۴۲**	۵/۱۲**	۱۷۷۵۲/۱۹**	۲۵۲۴۶/۹۶**	۰/۹۷**	۱/۶۱**
ارقام ذرت	۴	۰/۸۳**	۱/۸۶**	۱۳۸۳۱/۳۲**	۸۸۱۰/۸۹**	۱۲/۰۸**	۰/۹۲**
سطوح سیلیسیم * ارقام ذرت	۴	۰/۰۷۹**	۰/۰۷۵**	۳۱۰/۴۶**	۷۳۳/۹۴**	۰/۲۹**	۰/۰۶۳**
خطا	۲۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۲۶/۶۷	۲۲/۱۳	۰/۰۰۷	۰/۰۰۱
ضریب تغییرات		۲/۶۳	۱/۵۲	۳/۰۲	۴/۹۰	۲/۱۰	۲/۳۴

(ب)

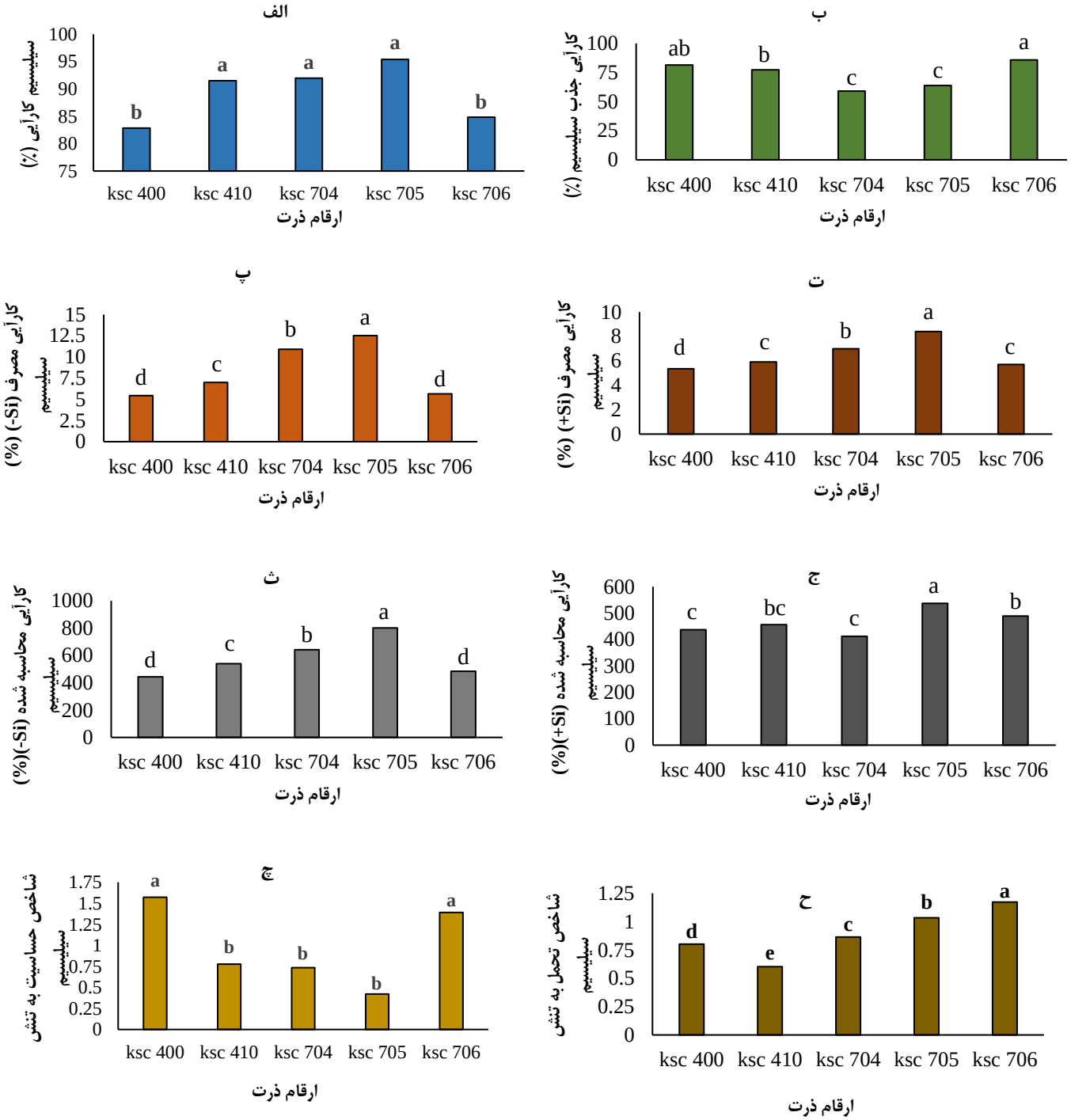
رقم	غلظت سیلیسیم اندام هوایی (٪)		غلظت سیلیسیم ریشه (٪)		جذب سیلیسیم اندام هوایی (میلی‌گرم بر گلدان)		جذب سیلیسیم ریشه (میلی‌گرم بر گلدان)		غلظت پتاسیم اندام هوایی (٪)		غلظت پتاسیم ریشه (٪)	
	(-Si)	(+Si)	(-Si)	(+Si)	(-Si)	(+Si)	(-Si)	(+Si)	(-Si)	(+Si)	(-Si)	(+Si)
ksc400	۱/۸۳	۱/۸۹	۱/۵۶	۲/۰۶	۱۸۵/۲۵	۲۲۷/۳۸	۸۱/۸۴	۱۱۴/۱۶	۳/۶۶	۴/۷	۱/۳۰	۱/۶۸
ksc410	۱/۴۳	۱/۶۹	۰/۹۱	۱/۷۲	۱۳۱/۴۳	۱۷۰/۰۷	۴۷/۰۵	۹۰/۴۳	۳/۳۰	۴/۰۷	۰/۷۱	۱/۲۲
Ksc704	۰/۹۱	۱/۴۳	۰/۷۹	۱/۷۴	۱۰۱/۲۶	۱۷۲/۰۱	۹۳/۴۲	۱۰۳/۷۷	۳/۴۵	۴/۵۲	۱/۲۰	۱/۹۸
Ksc705	۰/۷۹	۱/۱۹	۰/۸۶	۱/۶۴	۹۸/۰۵	۱۵۳/۴۴	۴۶/۱۱	۱۰۹/۲۸	۳/۶۶	۵/۲۷	۱/۷۹	۲/۰۱
Ksc706	۱/۷۵	۱/۷۷	۱/۹۹	۳/۰۹	۲۱۸/۶۷	۲۵۵/۰۲	۱۱۶/۲۲	۲۰۶/۶۱	۳/۸	۵/۶۵	۱/۷۲	۲/۱۵۱

جدول ۵- تجزیه واریانس سیلیسیم کارایی و شاخص‌های مربوط به آن در ارقام مختلف

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		سیلیسیم کارایی	کارایی جذب سیلیسیم	کارایی مصرف سیلیسیم (-Si)	کارایی مصرف سیلیسیم (+Si)
تیمار	۴	۰/۰۰۸**	۰/۰۱۸**	۲۱۹۹/۱**	۲۶۱/۵**
خطا	۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۹/۶۰	۰/۱۵
ضریب تغییرات		۳/۱۹	۴/۵۱	۴/۱۶	۰/۹۴

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		کارایی محاسبه شده (-Si)	کارایی محاسبه شده (+Si)	شاخص حساسیت به تنش	شاخص تحمل به تنش
تیمار	۴	۲۹۹/۸**	۵۶/۷**	۰/۵۵۶**	۰/۱۴۳**
خطا	۸	۱/۹۹	۱/۲۸	۰/۰۵۴	۰/۰۰۱
ضریب تغییرات		۳/۸۰	۵/۴۰	۲۶/۶۳	۲/۷۶

علامت ** نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۰/۰۱، * معنی‌دار بودن در سطح ۰/۰۵، ns غیر معنی‌دار بودن داده‌هاست. (-Si) = تیمار بدون سیلسیم و (+Si) = تیمارحاوی سیلیسیم است.



شکل ۲- مقایسه اثرات متقابل ارقام ذرت و تیمار سیلیسیم بر الف) سیلیسیم‌کارآیی ب) کارآیی جذب Si پ) کارآیی مصرف Si در تیمار شاهد ت) کارآیی مصرف Si در تیمار حاوی Si ث) کارآیی محاسبه شده Si در تیمار شاهد ج) کارآیی محاسبه شده Si در تیمار حاوی Si چ) شاخص حساسیت به تنش Si ح) شاخص تحمل به تنش Si با استفاده از آزمون مقایسات میانگین دانکن (α=۰/۰۵)، اثرات با حروف مشترک دارای تفاوت معنی‌داری از نظر آماری نمی‌باشند.

بحث

نتایج صفات مورفولوژیکی در ارقام حاوی سیلیسیم نسبت به تیمار شاهد افزایش مطلوبی در عملکرد گیاه را نشان داد. عملکرد ماده خشک در رقم ksc706 و ksc705 نسبت به سایر ارقام بیشتر بود. با توجه به نتایج ماده خشک ریشه نیز به راحتی میتوان استدلال کرد با افزایش غلظت سیلیسیم در ریشه توسعه و عملکرد ریشه نیز افزایش یافته است که در نتیجه آن وزن خشک اندام هوایی نیز افزایش یافته است. نتایج تحقیقات گذشته، افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه را در گیاهان تحت تنش را نیز، گزارش کردند (Dehghanipoodeh *et al.*, 2016; Mali and Aery, 2009). نقش سیلیسیم در تولید زیست توده بیشتر از طریق افزایش عملکرد و پارامترهای رشدی و همچنین افزایش فراهمی

سایر عناصر برای گیاهان و تعدیل کمبود سایر مواد غذایی، نتایج کاملاً منطقی می‌باشد که توسط بسیاری از محققان بیان شده است (Ahmad *et al.*, 2013, Korndorfer *et al.*, 2004).

کاربرد سیلیسیم، ارتفاع بوته را در ارقام ذرت بهبود بخشید، از دلایل این امر می‌توان به نقش سیلیسیم در استحکام دیواره سلولی و بخصوص نشت در منافذ خالی موجود در اندام هوایی و درنتیجه بر افراشتگی گیاه و کشیدگی و بزرگ شدن سلول‌ها اشاره کرد که حتی در شرایط تنش هم در سایر پژوهش‌ها به آن اشاره شده است (Semina *et al.*, 2020; Chen *et al.*, 2016). نتایج پژوهش‌های سایر محققین حاکی از آن است تغذیه سیلیسیم در حد مناسب و بهینه با ایجاد کمپلکس‌های پیچیده با ترکیبات دیواره سلول، در استحکام و اندازه منافذ دیواره و نیز رشد قطری و طولی سلول‌ها، می‌تواند نقش اساسی داشته باشد (Khoshgoftarmanesh, 2010)، همینطور افزایش قطر گیاهان را می‌توان در رابطه با افزایش مقدار لیگنین آنان دانست. در پژوهشی بر روی گیاهان دولپه‌ای کاربرد اسید سیلیسیک دارای قدرت قوی‌تری در ترکیب شدن با ترکیبات آلی پلی‌هیدروکسیل، که در سنتز لیگنین شرکت می‌کنند، بوده است (Fawe *et al.*, 2001).

افزایش سطح برگ در ارقام مختلف ذرت نسبت به تیمار شاهد خود به خوبی نشان‌دهنده اثر سیلیسیم بر توسعه برگ‌ها است. کاربرد سیلیسیم از چند طریق بر مقدار سطح برگ گیاهان موثر است. سیلیسیم موجب افزایش عملکرد و زیست توده گیاهان می‌شود (Oliveir *et al.*, 2020; Malmir *et al.*, 2017). بطورکلی از طریق رسوب سیلیسیم در پهنای برگ استحکام و ضخامت برگ افزایش و با افزایش استحکام ساقه موجب برافراشته ماندن برگ‌ها و به تعویق انداختن پیری برگ‌ها می‌شود. این ایستادگی عمودی برگ‌ها و مقاومت مکانیکی موجب تنظیم کردن مواد مغذی و حرکت آب درون گیاه می‌شود (Helaly *et al.*, 2017). تجمع مواد حاصل از فتوسنتز در گیاه، تقسیم و رشد سلول‌های گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد و باعث بهبود ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک می‌شود. این امر در نهایت منجر به افزایش اندام‌های رویشی نظیر تعداد برگ و سطح برگ می‌شود در تیمارهای حاوی سیلیسیم توسعه اندام هوایی نشان بر تاثیرات مستقیم و غیر مستقیم سیلیسیم بر فعالیت گیاه بوده است اما در برخی تیمارها شاخص سبزینگی تغییر چندانی نسبت به تیمار شاهد نداشت و یا کاهش یافت که می‌تواند به دلیل کاهش سرعت جابجایی ترکیبات در اندام‌های تولید مثلی باشد (Sirisuntornlak *et al.*, 2019).

اگرچه اثر سیلیسیم بر رشد ریشه همچنان مورد بحث است و اثرات متفاوتی از کاربرد سیلیسیم بر رشد ریشه مشاهده شده است، با این‌حال گزارشاتی مبنی بر اثر مثبت تغذیه سیلیسیم بر وزن خشک ریشه ارائه شده است. مورفولوژی و ساختار ریشه عوامل مهمی در جذب کارآمد سیلیسیم و سایر عناصرغذایی در خاک و همچنین آماده‌سازی گیاهان به شرایط کمبود آب و مواد غذایی در خاک می‌باشند. تغییرات مورفولوژی ریشه از طریق افزایش حجم خاک در دسترس ریشه یا افزایش سطوح جذب-کننده، افزایش ترشحات ریشه‌ای و همچنین افزایش وزن یا طول ریشه باعث افزایش جذب عناصرغذایی از جمله سیلیسیم و بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه می‌شود (Dehghanipoodeh *et al.*, 2016; Ma and Yamaji, 2006). نتایج بسیاری از تحقیقات بر روی اثر سیلیسیم بر گیاه ذرت، افزایش عملکرد را ناشی از، افزایش جذب از محلول خاک و تحرک بیشتر عناصر در شیره گیاه و افزایش میزان فتوسنتز و تبادلات گازی دانستند (Amin *et al.*, 2018). به طور کلی با افزایش جذب عناصر از خاک و افزایش سرعت انتقال عناصر به اندام هوایی و تبادلات گازی بیشتر گیاه زیست توده بیشتری تولید کرده و عملکرد وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاه افزایش می‌باشد. سازوکارهای دقیق ناشی از تأثیر سیلیسیم در گیاهان هنوز ناشناخته است اما به نظر می‌رسد بیشترین اثر آن مربوط به تأثیرات آن بر بیان ژن‌های تولید و انتقال آنزیم‌ها و ترکیبات فتوسنتزی باشد.

غلظت سیلیسیم در گیاهان مختلف متفاوت بوده و در موارد زیادی مقدار آن بیش از مقدار عناصر پرمصرف همچون فسفر، کلسیم، پتاسیم، و یا نیتروژن بوده است، و این تفاوت ناشی از تفات بین ژنوتیپ‌ها و گونه‌های گیاهی در فرایند جذب و تجمع سیلیسیم است. علاوه بر این سیلیسیم در بعضی گونه‌ها از مسیرهای جذب فعال و وابسته به انرژی نیز در گیاه منتقل می-شود و این نشان از نیاز گیاه به جذب آن دارد (Sahebi *et al.*, 2015). به نظر می‌رسد در تیمار شاهد بیشترین انتقال سیلیسیم در رقم ksc410 و کمترین مقدار آن در ارقام ksc705 و ksc706 باشد. اما در تیمار حاوی سیلیسیم بیشترین میزان انتقال مربوط به ارقام ksc400 و ksc410 و سپس ksc704 و ksc705 و درنهایت رقم ksc706 می‌باشد. تفاوت‌های موجود در ارقام مختلف از نظر غلظت و جذب سیلسیم و انتقال آن به اندام هوایی می‌تواند مربوط به شرایط فیزیولوژی ارقام و همینطور ترشحات ریشه آن‌ها باشد. ارقام مختلف از نظر ویژگی‌های جذب متفاوت بوده و در نتیجه غلظت عناصر در بافت‌های مختلف ارقام متفاوت بوده و تأثیرات متفاوتی بر سایر ویژگی‌های گیاه خواهد گذاشت. با توجه به نتایج عملکرد گیاه در حضور سیلیسیم و عدم حضور آن می‌توان گفت هرچه یک رقم از نظر جذب یک عنصر کارآمدتر و دارای عملکرد بیشتر باشد نسبت به کمبود آن عنصر نیز حساس‌تر و دچار تنش می‌شود. نتایج

تحقیقات بر روی گیاهان و ارقام مختلف حاکی از آن است که فرایند جذب سیلیسیم در گیاهانی همچون برنج، گندم و ذرت مشابه است و تنها در مقدار جذب سیلیسیم متفاوت هستند و همینطور در فرایند انتقال نیز چون سیلیسیم بصورت محلول در گیاه انتقال می‌یابد، انتقال آن به اندام هوایی تا حد بسیاری تابع میزان تبخیر و تعرق گیاه بوده که آن هم بسته به نوع گیاه و رقم آن متفاوت می‌باشد (Leng *et al.*, 2009; Ranjbar *et al.*, 2019).

نتیجه‌گیری

سیلیسیم از طریق افزایش مساحت سطح ریشه موجب جذب بیشتر از محلول خاک و در نهایت افزایش فتوسنتز و عملکرد در گیاه می‌شود. دو رقم ksc706 و ksc400 ارقامی هستند که در هردو تیمار کاراتر بوده و عملکرد بیشتری دارند و سه رقم ksc410 و ksc704 و ksc705 نیز با نتایج مشابه از نظر سیلیسیم کارایی در یک گروه هستند. باتوجه به شاخص جذب و مصرف سیلیسیم، شاخص حساسیت و تحمل به تنش سیلیسیم و همینطور عملکرد گیاه رقم ksc706 سیلیسیم‌کاراترین رقم از میان ارقام انتخاب شده بود. لذا جذب سیلیسیم در گیاهان به میزان زیادی وابسته به نوع گیاه و ژنتیک رقم آن می‌باشد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Abro, S. A., Qureshi, R., Soomro, F. M., Mirbahar, A. A., & Jakhar, G. S. (2009). Effects of silicon levels on growth and yield of wheat in silty loam soil. *Pakistan Journal of Botany*, *41*(3), 1385-1390.

Ahmad, A., Afzal, M., Ahmad, A. U. H., & Tahir, M. (2013). Effect of foliar application of silicon on yield and quality of rice (Oryza Sativa L). Cercetari agronomice in Moldova, 46(3), 21-28.

Beerling, D. J., Leake, J. R., Long, S. P., Scholes, J. D., Ton, J., Nelson, P. N. (2018). Farming with crops and rocks to address global climate, food and soil security. Nature Plants, 4(3), 138.

Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils 1. Agronomy Journal, 54(5), 464-465.

Caubet, M., Cornu, S., Saby, N. P. A., & Meunier, J. D. (2020). Agriculture increases the bioavailability of silicon, a beneficial element for crop, in temperate soils. Scientific reports, 10(1), 1-11.

Chen, D., Cao, B., Wang, S., Liu, P., Deng, X., Yin, L., & Zhang, S. (2016). Silicon moderated the K deficiency by improving the plant-water status in sorghum. Scientific Reports, 6, 22882.

Dehghanipoodeh, S., Ghobadi, C., Baninasab, B., Gheysari, M., & Bidabadi, S. S. (2016). Effects of potassium silicate and nanosilica on quantitative and qualitative characteristics of a commercial strawberry (fragaria× ananassa cv.'camarosa'). Journal of Plant Nutrition, 39(4), 502-507.

Farshadfar, E., & Sutka, J. (2002). Screening drought tolerance criteria in maize. Acta Agronomica Hungarica, 50(4), 411-416.

Fawe, A., Menzies, J. G., Chérif, M., & Bélanger, R. R. (2001). Silicon and disease resistance in dicotyledons. In Studies in plant science (Vol. 8, pp. 159-169). Elsevier.

Galindo, F. S., Pagliari, P. H., Rodrigues, W. L., de Azambuja Pereira, M. R., Buzetti, S., & Teixeira Filho, M. C. M. (2020). Investigation of Azospirillum brasilense Inoculation and Silicon Application on Corn Yield Responses. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 20(4), 2406-2418.

Gomaa, M. A., Kandil, E. E., El-Dein, A. A. Z., Abou-Donia, M. E., Ali, H. M., & Abdelsalam, N. R. (2020). Increase maize productivity and water use efficiency through application of potassium silicate under water stress. Scientific Reports, 11(1), 1-8.

Khoshgoftarmanesh, A.H. (2010). Advanced Concepts in Plant Nutrition, Isfahan Univesity of Technology Press, Number: 74, 383 p.

Loeppert, R. H., & Suarez, D. L. (1996). Carbonate and gypsum. Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods, 5, 437-474.

Ma, J. F., & Yamaji, N. (2006). Silicon uptake and accumulation in higher plants. Trends in Plant Science, 11(8), 392-397.

Ma, J. F., & Yamaji, N. (2008). Functions and transport of silicon in plants. Cellular and molecular life sciences, 65(19), 3049-3057.

Ma, J. F., Yamaji, N., Mitani, N., Tamai, K., Konishi, S., Fujiwara, T., & Yano, M. (2007). An efflux transporter of silicon in rice. Nature, 448(7150), 209.

Malakouti, M.J. and Tehrani, M.M. (1999). Effect of nutrients on the yield and quality of agricultural products. Tarbiayat Modarres Press, Tehran, 1-301.

Mali, M., & Aery, N. C. (2009). Effect of silicon on growth, biochemical constituents, and mineral nutrition of cowpea. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 40(7-8), 1041-1052.

Malmir, R., Motesharezadeh, B. and Tabrizi, L. (2017) Effect of silicon sources and Nano silicon on some morphophysiologic responses of *Stevia rebaudiana* Bertoni, 4th conference of Nanotechnology in agriculture, Karaj. Iran.

Marschner, H., & Römheld, V. (1998). Strategies of plants for acquisition of iron. Plant and Soil, 165(2), 261-274.

Mousavi, S. M., Motesharezadeh, B., Hosseini, H. M., Alikhani, H., & Zolfaghari, A. A. (2018). Geochemical fractions and phytoavailability of zinc in a contaminated calcareous soil affected by biotic and abiotic amendments. Environmental Geochemistry and Health, 40(4), 1221-1235.

Narayanaswamy, C. and Prakash, N. (2009). Calibration

and categorization of plant available silicon in rice soils of south India. Journal of plant nutrition, 32 (8), 1237-1254.

Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter. Methods of soil analysis: Part 3 Chemical Methods, 5, 961-1010.

Ranjbar, S. S., Motesharezadeh, B., Moshiri, F., Hosseini, H. M., & Alikhani, H. A. (2019). Silicon Utilization Efficiency of Different Wheat Cultivars in a Calcareous Soil. Silicon, 1-10.

Rezakhani, L., Motesharezadeh, B., Tehrani, M. M., Etesami, H., & Hosseini, H. M. (2019). Phosphate–solubilizing bacteria and silicon synergistically augment phosphorus (P) uptake by wheat (*Triticum aestivum* L.) plant fertilized with soluble or insoluble P source. Ecotoxicology and Environmental Safety, 173, 504-513.

Semina, S. A., Gavryushina, I. V., & Nikulina, E. V. (2020). Effect of silicon containing products on formation of corn yield. Volga Region Farmland, (1), 7-11.

Singh, A., Kumari, R., Yadav, A. N., Mishra, S., Sachan, A., & Sachan, S. G. (2020). Tiny microbes, big yields: Microorganisms for enhancing food crop production for sustainable development. In New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering (pp. 1-15). Elsevier.

Singh, B., Natesan, S. K. A., Singh, B. K., & Usha, K. (2005). Improving zinc efficiency of cereals under zinc deficiency. *Current science*, 36-44.

Sirisuntornlak, N., Ghafoori, S., Datta, A., & Arirob, W. (2019). Seed priming and soil incorporation with silicon influence growth and yield of maize under water-deficit stress. Archives of Agronomy and Soil Science, 65(2), 197-207.

Sparks, D.L. (1996). Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods. Soil science society, American society of Agronomy, American Inc.

Swift, R. S. (1996). Organic matter characterization. Methods of Soil Analysis, 1011-1069.