Crop Science Research in Arid Regions

homepage: https://cropscience.uoz.ac.ir/

Research Article
Volume 7, Issue 1, 2025, P. 1-17

Effects of foliar application of potassium silicate and calcium nitrate on grain yield, photosynthetic pigments and concentration of mineral elements of in seed of safflower at a dry condition

Ali Shadrooz [a], Mostafa Heidari [*b], Mehdi Baradaran Firouzabadi [b]

[a] Master's student, Agronomy and Plant Breeding Department, Agricultural Collage, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran
[b] Agronomy and Plant Breeding Department, Agricultural Collage, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran
[*]Corresponding Author: haydari2005@gmail.com

Received: 13 October 2023 Accepted: 8 February 2024 **DOI: 10.22034/CSRAR.2024.420599.1375**

How to cite this article:
Shadrooz, A., Heidari, M. and Baradaran Firouzabadi, M., 2025. Effects of foliar application of potassium silicate and calcium nitrate on grain yield, photosynthetic pigments and concentration of mineral elements of in seed of safflower at a dry condition. *Crop Science Research in Arid Regions*, *7*(1), 1-17. https://doi.org/10.22034/csrar.2024.420599.1375

Abstract

Introduction: Water is a limiting factor in agriculture, deficit of water reducing plant development and yield. The need to maintain quality in water scarcity condition, mineral nutrition plays a beneficial role in developing environmental stress tolerance in crop plants. Potassium (K^+) is a phyto-beneficial macro-element that performs a pivotal role in organizing physio-biochemical processes to support plant survival against abiotic stresses. Also Silicate fertilization is a promising technology because silicon (Si) has been used as an elicitor of resistance in plants under conditions of abiotic stress, such as saline, heavy metal poisoning or water stress. The accumulation of Si in transpiration organs causes the formation of a double layer of silic, with a subtle decrease in opening of the stomata, reducing leaf transpiration, which restricts the loss of water without influencing growth. Calcium is an essential element for plants, functioning as a second messenger in cells, and can influence aquaporin on membrane structures, helping plants resist many kinds of environmental stress. It is widely accepted that Calcium ions (Ca^{2+}) can facilitate plants resist drought stress. Among exogenous substances discovered to alleviate plant stresses, calcium ion has proven to be more effective and the cost/benefit efficient, not only as an essential nutrient for the plant growth actively involving in a various metabolic activities and as an intracellular messenger for many signal transductions, such as abscise acid (ABA), reactive oxygen species (ROS), nitric oxide.
Materials and Methods: In order to investigate foliar application application of calcium nitrate and potassium silicate on photosynthetic pigments and concentration of mineral elements in seed of safflower in a dry condition, a factorial experiment as randomized complete block design with threereplications, was conducted. The treatments included potassium silicate at three level: (PS): 0, 1, and 2 and calcium nitrate at three level: (CaN): 0, 1, and 2 kg per thousand liters of water. Foliar application was done in two times. The first time at the beginning of the spring growing season. The second foliar application was done two weeks after the first one.

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

Results and Discussion: The results showed that the interaction between CaN and PS had a significant effect on grain yield and yield components. The highest grain yield was related to the second level of PS and CaN (1034 kg ha^{-1}). Maximum biological yield (31.6%) and the number of branches in per plant (28.1%) were obtained at the second level of PS and the third level of CaN. Except flavonoid, interaction between PS and CaN had a significant effect on the chlorophyll “a”, “b”, carotenoid and anthocyanin in leaves. The highest amount of chlorophyll “a “and carotenoid was in the third level of CaN and PS, and about anthocyanin, it was in the third level of CaN and the second level of PS. The concentration of nitrogen and potassium in the seed were increased by increasing the concentration of PS and CaN. The highest concentration of nitrogen was at the third level of PS and CaN (5.01%), and about potassium, it was 4.97% in the third level of PS and the second level of CaN.

Conclusion: The use of compounds that help plants in low humidity conditions can partially reduce the adverse effects of dehydration on plants and prevent the reduction of production performance in these conditions. Based on the results obtained in this experiment, it can be stated that calcium nitrate and potassium silicate had a positive role in the safflower plant in dry conditions, so that the use of these two compounds improved the grain yield and grain yield components. This increase was due to the improvement of photosynthetic pigments and physiological parameters.

Keywords: Dry farming, Nutrient elements, Physiological characteristics, Quantitative yield

تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد هفتم، شماره اول، بهار ۱۴۰۴، ص ۱۷-۱

مقاله پژوهشی

تأثیر محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم و نیترات کلسیم بر عملکرد دانه، رنگدانه‌های فتوسنتزی و غلظت عناصر معدنی دانه گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) در شرایط دیم

علی شادروز[۱]، مصطفی حیدری*[۲]، مهدی برادران فیروزآبادی[۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

۲- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

* مسئول مکاتبه: haydari2005@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۲۶ **DOI: 10.22034/CSRAR.2024.420599.1375**

چکیده

به منظور بررسی محلول‌پاشی نیترات کلسیم و سیلیکات پتاسیم بر گیاه گلرنگ در شرایط دیم، آزمایشی بصورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل سیلیکات پتاسیم و نیترات کلسیم هر یک در سه سطح صفر، ۱ و ۲ کیلوگرم در هزار لیتر آب بودند. نتایج نشان داد اثر متقابل نیترات کلسیم و سیلیکات پتاسیم تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه، عملکرد زیستی، تعداد شاخه جانبی و وزن هزار دانه داشت و سبب افزایش آنها شد. بیشترین عملکرد دانه در سطح یک کیلوگرم در هزار لیتر آب سیلیکات پتاسیم و نیترات کلسیم (۱۰۳۴ کیلوگرم در هکتار) بود. بجز فلاونوئید اثر متقابل سیلیکات پتاسیم و نیترات کلسیم تأثیر معنی‌داری بر مقدار کلروفیل a، b، کارتنوئید و آنتوسیانین در برگ داشت. بیشترین مقدار کلروفیل a و کارتنوئید در سطح دو کیلوگرم در هزار لیتر آب نیترات کلسیم و سیلیکات پتاسیم بود. غلظت نیتروژن و پتاسیم دانه همراه با افزایش غلظت سیلیکات پتاسیم و نیترات کلسیم افزایش یافت بطوریکه بیشترین درصد نیتروژن دانه در سطح دو کیلوگرم در هزار لیتر آب سیلیکات پتاسیم و نیترات کلسیم (۵/۰۱ درصد) و در مورد پتاسیم دانه در سطح دو و یک کیلوگرم در هزار لیتر آب سیلیکات پتاسیم و نیترات کلسیم (۴/۹۷ درصد) حاصل شد. براساس نتایج این آزمایش می‌توان بیان کرد که محلول‌پاشی یک کیلوگرم سیلیکات پتاسیم و دو کیلوگرم نیترات کلسیم در هزار لیتر آب برای گلرنگ در شرایط دیم مناسبتر است.

واژه‌های کلیدی: خصوصیات فیزیولوژیکی، دیمکاری، عملکرد کمی، عناصر غذایی

مقدمه

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L) از دانه‌های روغنی بومی ایران، سازگار با شرایط آب و هوایی با بارندگی زمستانه و بهاره کم و هوای خشک بخصوص در دوره گلدهی و پر شدن دانه است. ریشه‌های این گیاه طویل و دارای توان جذب آب از بخش‌های عمیق خاک است. از این‌رو به عنوان یک گیاه مقاوم به کمبود آب به حساب می‌آید (Hussain *et al.*, 2016; Shahrokhnia and Khadem Hamzeh, 2022). امروزه ارقام متعددی از این گیاه تولید و در مناطق مختلف و سازگار با آب و هوای گوناگون ارایه شدند. در آزمایشی در منطقه یاسوج بر روی چهار رقم گلرنگ گلدشت، اصفهان ۱۴، محلی اصفهان و سینا، مشخص شد رقم گلدشت از نظر مقاومت به کم آبی نسبت به سایر رقم‌های مورد مطالعه، مناسبتر بود (Merajipour *et al.*, 2013). کم شدن آب قابل دسترس به سبب نبود آب کافی در طی دوره رشد می‌تواند منجر به کوتاه شدن طول دوره رشد گیاه، کاهش سطح برگ و پیری زودرس برگ‌ها و در نتیجه کاهش عملکرد اقتصادی در گیاهان شود (Anjum *et al.*, 2011). علاوه بر کمبود رطوبت، مطالعات صورت گرفته نشان داده که اکثر خاک‌های ایران دارای pH بالاتر از ۷ و همچنین دارای مقادیر بالای آهک هستند. این امر منجر به کاهش قابلیت در دسترس بودن عناصر غذایی و بخصوص عناصر کم مصرف برای گیاهان در صورت نبود آب کافی یا در اثر تنش خشکی می‌شود. با تغذیه خاکی و یا محلول‌پاشی عناصر غذایی می‌توان تا حدی اثرات کمبود آنها در گیاهان را کاهش داد (Flagella *et al.*, 2002).

بدلیل اهمیت آب به عنوان یکی از عوامل محدود کننده تولید در مناطق خشک و نیمه خشک، استفاده از ترکیبات مختلف برای کاهش میزان آب مصرفی در گیاهان یکی از اولویت‌های مهم می‌باشد. سیلیکون عنصری غیر ضرور برای رشد گیاهان است. با این حال پژوهش‌های متعددی نشان داده

که کاربرد سیلیسیم بطور معنی‌داری رشد گیاهان را در شرایط نرمال و حتی در شرایط تنش‌های زیستی و غیر زیستی افزایش می‌دهد (Romero-Aranda *et al.*, 2006). در بررسی سیلیسیم و سازوکار مقاومت به خشکی در سورگوم گزارش شد که سیلیسیم سبب افزایش شاخص سطح برگ، وزن مخصوص برگ (SLW)، محتوای کلروفیل، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه و وزن خشک ریشه شد (Ahmed *et al.*, 2011). این عنصر سبب تغییر در تبادلات گازی برگ، سنتز املاح سازگار کننده، تنظیم اسمزی و کاهش اثرات تنش خشکی می‌شود. اثر محلول‌پاشی این عنصر در شرایط تنش خشکی بر کلزا منجر به کاهش آسیب این تنش شد (Payandeh *et al.*, 2018).

سیلیسیم بصورت ترکیبی با سایر عناصر برای مصارف کشاورزی ارایه می‌شوند که یکی از آنها نیز سیلیکات پتاسیم است. پتاسیم یک عنصر ضروری سیتوپلاسمی است که با کاهش اتلاف آب از گیاه به صورت تبخیر و تعرق، باعث مقاومت به خشکی شده و موجب افزایش عملکرد در شرایط تنش رطوبتی می‌شود. تنظیم فشار اسمزی، تنظیم pH سلول، شرکت در ساخت پروتئین‌ها و فعال کردن برخی از آنزیم‌ها از جمله نقش‌های پتاسیم در گیاهان می‌باشد (Anrist-Rangel, 2008).

یکی دیگر از عناصر غذایی برای گیاهان کلسیم است که نقش مؤثری در حفظ ساختار غشاء سلول و کیفیت و ماندگاری محصولات کشاورزی دارد. علاوه بر حفظ دیواره سلول، کلسیم در فرآیندهای رشد و نمو از جمله نقسیم سلولی، رشد طولی سلول و نیز به عنوان پیام آور ثانویه در پاسخ به تنش‌های زیستی و غیر زیستی عمل می‌کند (Ruiz *et al.*, 2013). نقش کلسیم در چرخه متابولیسم اسیدهای فنلیک به خوبی مشخص شده است. کلسیم از طریق تأثیر بر آنزیم‌های فنیل آلانین آمونیالیاز، پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز نقش خود را ایفا می‌کند. این آنزیم‌ها در سنتز و اکسیداسیون فنل‌ها نقش دارند (Dordas, 2009). مطالعات انجام شده نشان داد که کلسیم نقش مؤثری در مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی و از جمله شوری در گیاهان دارد. در شرایط تنش خشکی و کمبود آب هم این عنصر می‌تواند تا حدی بر مقاومت گیاهان افزوده و سبب بهبود رشد و عملکرد گیاهان در این شرایط شود (Barker and Pilbeam, 2007). کلسیم اثرات قابل توجهی در فرآیندهای فیزیولوژیک گیاهان داشته و صفات مورفولوژیک و بیوشیمیایی گیاهانی که تحت تنش قرار گرفته‌اند را بهبود می‌دهد. در آزمایشی بر روی کنجد مشخص شد که محلول‌پاشی کلسیم با تأثیر بر اجزای عملکرد سبب افزایش عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی شد (Ahmadi *et al.*, 2012).

هر چند سیلسیم به عنوان یک عنصر غیر ضرور برای گیاهان به شمار می‌رود اما نقش مفیدی در مقاومت گیاهان بخصوص در شرایط بروز آفات نباتی و نیز کمبود آب در گیاهان دارد. با توجه به اینکه گزارشی در مورد تأثیر محلول‌پاشی هم‌زمان دو عنصر کلسیم و پتاسیم بصورت نیترات کلسیم و سیلیکات پتاسیم در گیاه گلرنگ در شرایط دیم ارایه نشده، این آزمایش با هدف بررسی اثرات محلول‌پاشی این دو عنصر بر عملکرد کمی و برخی خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه گلرنگ در شرایط دیم صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در منطقه تخته باغلق شهرستان راز و جرگلان واقع در استان خراسان شمالی با طول جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۱۱ درجه و ۸۹ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۱۸۱ متر از سطح دریا انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بود. تیمارهای آزمایش شامل سیلیکات پتاسیم در سه سطح صفر، ۱ و ۲ کیلوگرم در هزار لیتر آب و نیترات کلسیم سه سطح صفر، ۱ و ۲ کیلوگرم در هزار لیتر آب بودند (Khayat Moghadam *et al.*, 2021). هر کرت آزمایشی شامل پنج ردیف کاشت به طول پنج متر و فواصل بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر بود. فاصله بین بلوک‌ها از یکدیگر دو متر و فاصله کرت‌ها از هم یک متر لحاظ گردید. قبل از کاشت، نمونه‌برداری از خاک در عمق ۳۰ سانتی‌متر جهت تجزیه شیمیایی و فیزیکی صورت و به آزمایشگاه منتقل شد. نتایج آن در جدول ۱ ارایه شده است.

قطعه زمین مورد نظر برای این طرح ابتدا توسط گاو آهن برگرداندار شخم، سپس برای نرم کردن کلوخه‌ها دوبار دیسک زده شد. همچنین از کودهای پایه نیتروژن از منبع اوره به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و فسفات آمونیم به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار در زمان کاشت استفاده شد. گلرنگ رقم اصفهان با

تراکم ۴۰۰ هزار بوته در هکتار به عمق ۴-۲ سانتی‌متر در ۱۰ اسفندماه سال ۱۴۰۰ کشت شد. کشت به‌صورت خشکه‌کاری انجام و محلول‌پاشی در دو نوبت به فاصله دو هفته از هم انجام شد که نوبت اول در آغاز شروع فصل رشد بهاره و در هفته آخر فروردین ماه در مرحله ۴-۶ برگی (ابتدای مرحله ساقه‌دهی) صورت گرفت ابتدا محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم روز بعد از محلول‌پاشی نیترات کلسیم صورت گرفت. در تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی)، محلول‌پاشی با آب مقطر انجام شد. چون آزمایش به‌صورت دیم بود در آن آبیاری صورت نگرفت (جدول ۲ آمار هواشناسی). نیترات کلسیم مورد استفاده در این آزمایش دارای ۱۵درصد ازت نیتراتی و ۲۶ درصد کلسیم بود. همچنین سیلیکات پتاسیم دارای ۱۲/۵ درصد پتاسیم و ۲۵ درصد سیلیکون بود. برداشت گلرنگ در انتهای دوره رشد و در زمان زرد متمایل به قهوه‌ای شدن طبق‌ها صورت گرفت.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکو شیمیایی خاک محل آزمایش در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری

Table 1- Physicochemical properties of soil at a depth of 0-30 cm

بافت خاک Soil texture	شن Sand (%)	رس Clay (%)	سیلت Loam (%)	نیتروژن کل Total nitrogen (%)	پتاسیم Potassium ($mg.kg^{-1}$)	فسفر Phosphorus ($mg.kg^{-1}$)	کربن آلی Organic carbon (%)	اسیدیته pH	شوری Electrical conductivity ($dS\ m^{-1}$)
لومی رسی Loam-Clay	28	42	30	0.04	210	5.55	0.53	7.5	2.1

جدول ۲- هواشناسی منطقه متوسط ۵ سال زراعی (۱۳۹۵-۱۴۰۰) از اسفند تا شهریورماه

Table 2- Average meteorological data (2016-2021) from March to September

ماه Months	مینیم دمای مطلق Absolute minimum temperature (°C)	متوسط درجه حرارت Average temperature (°C)	درصد رطوبت نسبی Relative humidity percentage (%)	ماکزیمم دمای مطلق Maximum absolute temperature (°C)	بارندگی Rainfall (mm)
اسفند March	-10	8.2	65	27.6	33.15
فروردین April	-1	9.5	64	32.2	48.5
اردیبهشت May	5.2	15	57	28	25
خرداد June	7.4	20.4	40	33	10
تیر July	14.8	25	35	38	5.25
مرداد August	9.6	25.3	37.7	37.2	7
شهریور September	9.2	25.7	46	35.6	2

جهت تعیین عملکرد زیستی و عملکرد دانه، بعد از حذف حاشیه، کل بوته‌های واقع در یک متر مربع وسط هر کرت در پانزدهم مردادماه ۱۴۰۱ برداشت شدند. برای اندازه‌گیری تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه، ۵ بوته از سطح هر کرت برداشت و اندازه‌گیری‌ها صورت گرفت. جهت تعیین مقادیر عناصر پتاسیم و فسفر دانه از روش خاکسترگیری خشک استفاده شد. مقادیر پتاسیم با استفاده از دستگاه فلم‌فتومتر، مقدار فسفر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Cottenie, 1980) و درصد نیتروژن دانه از روش کجلدال اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری مقادیر کلروفیل a، b و میزان کارتونید از بافت تر برگ‌ها در شروع مرحله گلدهی نمونه‌برداری صورت و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر و در طول موج‌های ۶۴۵، ۶۶۵ و ۴۷۰ نانومتر صورت گرفت (Prochazka *et al.*, 1998). مقادیر فلاونوئید براساس روش

کریزک و همکاران (Krizek *et al.*, 1993) و آنتوسیانین براساس گیتز و همکاران (Gitz *et al.*, 1998) اندازه‌گیری شدند. در پایان داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 تجزیه و مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ انجام پذیرفت. برای رسم نمودارها از برنامه EXCEL استفاده شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر متقابل نیترات کلسیم و سیلیکات پتاسیم تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه گلرنگ داشت (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم و نیترات کلسیم سبب افزایش عملکرد دانه در گلرنگ شد بطوری‌که بیشترین عملکرد دانه مربوط به سطح یک کیلوگرم در هزار لیتر آب نیترات کلسیم و سیلیکات پتاسیم به میزان ۱۰۳۴ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین کمترین عملکرد دانه مربوط به تیمار عدم استفاده از نیترات کلسیم و سیلیکات پتاسیم به میزان ۷۰۶/۳ کیلوگرم در هکتار بود. مقدار افزایش عملکرد دانه در یک کیلوگرم در هزار لیتر آب نیترات کلسیم و سیلیکات پتاسیم نسبت به تیمار شاهد ۳۱/۶ درصد بود (شکل ۱). محققین گزارش کردند محلول‌پاشی عناصر کلسیم و روی سبب افزایش عملکرد دانه در کنجد شد. این تأثیر از طریق اثر مثبت آنها بر اجزای عملکرد دانه بود. کلسیم در خاک‌های مناطق خشک نسبت به سایر عناصر غذایی به مقدار بیشتری وجود دارد، اما این عنصر از عناصر تقریباً غیرمتحرک بوده و انتقال آن به داخل گیاه بسیار کم است (Ahmadi *et al.*, 2012). کاربرد کلسیم از طریق افزایش سبزینگی، محتوای نسبی آب، سطح برگ و زیست‌توده تولیدی سبب افزایش عملکرد دانه گلرنگ شد (Jamshidi *et al.*, 2017). سیلیسیم هم می‌تواند در شرایط کمبود آب تأثیر مثبتی بر عملکرد گیاهان داشته باشد. در تحقیقات بر روی برنج مشخص شد سیلیسیم و یا ترکیبات حاوی سیلیس تأثیر مثبتی بر تعداد خوشه‌چه در هر خوشه برنج دارد و گاها در برخی از ارقام تا ۴۰ درصد بر تعداد خوشه‌چه پر تأثیر مثبت داشته، لذا می‌توانند در افزایش عملکرد دانه در برنج مؤثر باشند (Ma *et al.*, 2007). مطالعات بر روی ذرت نشان داد که تنش خشکی سبب کاهش وزن تر و خشک و میزان بیوماس تولیدی در آن شد. در این شرایط استفاده از سیلیسیم منجر به افزایش عملکرد دانه شد (Kaya *et al.*, 2006). اثرات سیلیسیم در غلظت‌های مختلف بر رشد دانه، تولید ماده خشک و تغذیه معدنی گندم مورد مطالعه قرار گرفت و مشخص شد که سیلیسیم در مقادیر کم به طور معنی‌داری خواص فیزیکی گیاه از جمله تعداد دانه، عملکرد دانه و نیز رشد ریشه و ساقه را افزایش می‌دهد (Asadi *et al.*, 2013).

جدول ۳ - تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد دانه گلرنگ تحت تأثیر سیلیکات پتاسیم و نیترات کلسیم

Table 3- Variance analysis of grain yield and yield components in safflower affected by potassium silicate and calcium nitrate

		میانگین مربعات (MS) Mean Square					
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی Df	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد زیستی Biomass yield	تعداد شاخه جانبی در بوته Number of branch per plant	تعداد طبق در بوته Capitul per plant	تعداد دانه در طبق Seeds in capitul	وزن هزار دانه 1000 seed weight
تکرار Block	2	6706.9^{ns}	44063.5^{ns}	0.093^{ns}	4.9^{ns}	12.4*	18.9^{ns}
سیلیکات پتاسیم Potassium silicate (KS)	2	10666.9*	3610539.5**	11.6**	145.9**	230.7**	231.1**
نیترات کلسیم Calcium nitrate (Ca N)	2	96592.4**	2682278.9**	1.75**	55.4**	114.4**	43.8**
KS*Ca N	4	15419.1**	299308.3**	0.56*	3.12^{ns}	8.05^{ns}	62.9**
خطا Error	16	1903.7	18127.1	0145	5.47	7.61	5.19
C.V (%)		4.8	2.5	4.6	8.1	4.9	6.3

^{ns} ، * و** به ترتیب نشانگر عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

ns: non significant, * and **: significant at α=0.05 and α=0.01 of probability levels, respectively

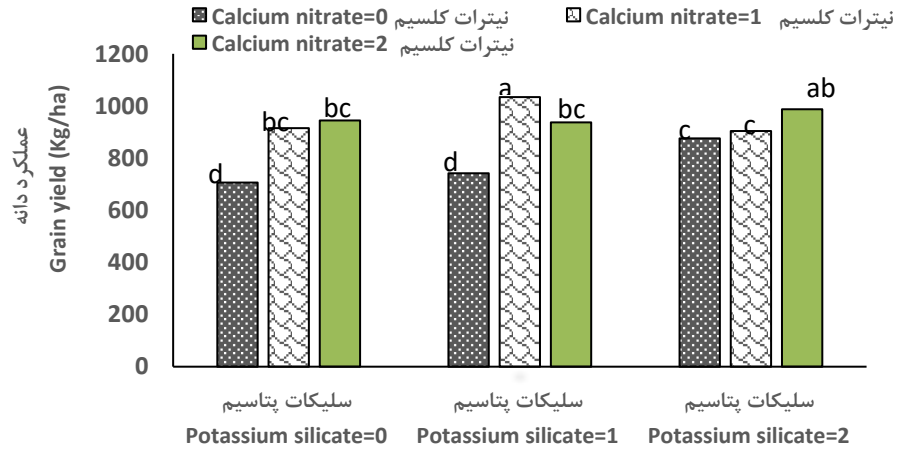
جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات اصلی سیلیکات پتاسیم و نیترات کلسیم بر تعداد طبق در بوته، دانه در طبق و میزان فلاونوئید در گلرنگ

Table 4- Mean comparison the main effects of potassium silicate and calcium nitrate on number of capitul per plant, seed per capitul and flavonoid in safflower

تیمار Treatments	طبق در بوته Capitul per plant	دانه در طبق Seeds in capitul	فلاونوئید Flavonoid ($\mu g\ g.\ Fw^{-1}$)
	سیلیکات پتاسیم Potassium silicate		
Potassium silicate=1	30.7a	55.8b	5.7a
Potassium silicate=2	31.6a	60.4a	5.8a
	نیترات کلسیم Calcium nitrate		
Calcium nitrate=0	26.3b	51.4b	5.06b
Calcium nitrate=1	29.2a	57.5a	5.23b
Calcium nitrate=2	31.2a	57.6a	5.85a

ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با آزمون LSD ندارند.

Column with the same letters are not significantly different at 5% of probability level (LSD).



شکل ۱- اثر متقابل نیترات کلسیم و سیلیکات پتاسیم بر عملکرد دانه

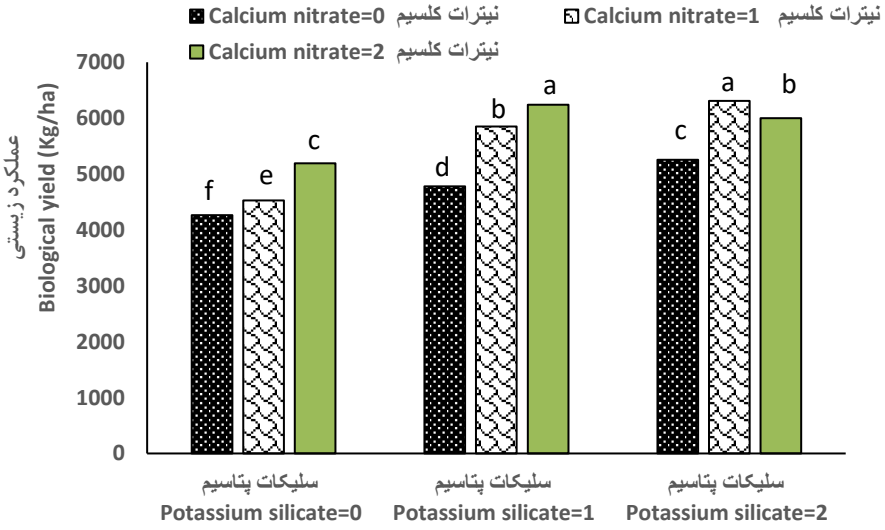
Figure 1- Interaction of calcium nitrate and potassium silicate on grain yield

عملکرد زیستی و اجزای عملکرد دانه

نتایج تجزیه آماری داده‌ها نشـان داد اثر متقابل سـیلیکات پتاسیم و نیترات کلسیم بجز تعداد طبق در بوته و تعداد دانه در طبق، تأثیر معنی‌داری بر عملکرد زیسـتی، تعداد شـاخه جانبی و وزن هزار دانه داشـت (جدول ۳). همانطور که در شـکل ۲ تا ۴ مشاهده می‌شود محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم و نیترات کلسیم سبب افزایش این صفات شد بطوری‌که بیشترین عملکرد زیستی و تعداد شاخه جانبی در بوته در طی استفاده از یک کیلوگرم در هزار لیتر آب سـیلیکات پتاسـیم و دو کیلوگرم در هزار لیتر آب نیترات کلسیم بدست آمد. مقدار عملکرد زیستی در این سطح برابر ۶۲۳۹ کیلوگرم در هکتار و تعداد شـاخه جانبی برابر ۹/۲۳ بود. کمترین این دو صـفت هم مربوط به تیمار شـاهد یا عدم استفاده از محلول‌پاشـی نیترات کلسـیم و سـیلیکات پتاسـیم با متوسط ۴۲۶۲ کیلوگرم در هکتار و ۶/۶۳ به ترتیب برای عملکرد زیسـتی و تعداد شـاخه جانبی در بوته بودند. میزان افزایش برای عملکرد زیسـتی معادل ۳۱/۶ و تعداد شـاخه جانبی در بوته برابر ۲۸/۱ درصـد بود (شـکل‌های ۲ و ۳). در شـکل ۴ اثر متقابل نیترات کلسیم و سیلیکات پتاسیم بر صفت وزن هزار دانه آورده شـده اسـت. در این شـکل مشـاهده می‌شـود بیشـترین وزن هزار دانه با متوسـط ۴۴ گرم مربوط به تیمار عدم اسـتفاده از نیترات کلسیم و یک کیلوگرم در هزار لیتر آب سـیلیکات پتاسیم است. کمترین مقدار آن نیز در مربوط به تیمار شـاهد به مقدار ۲۷/۶ گرم می باشد.

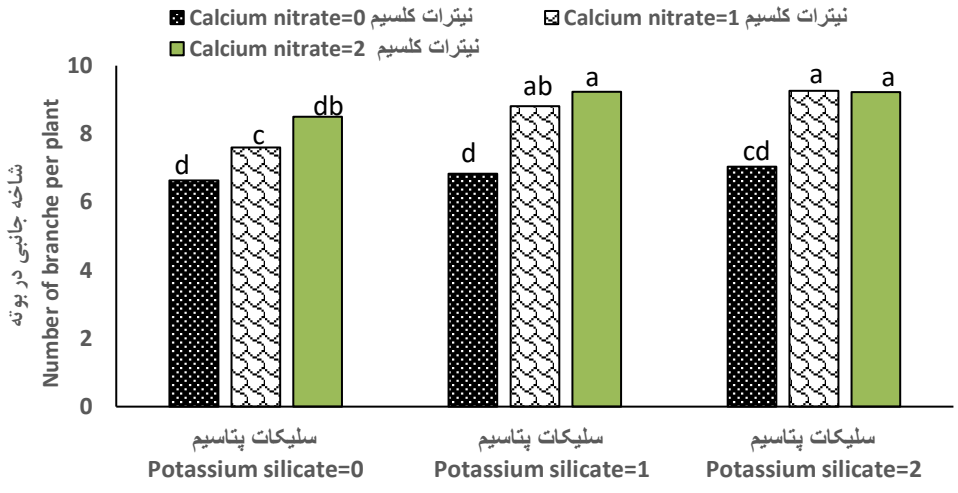
نتایج جدول تجزیه واریانس در مورد تعداد طبق در بوته و تعداد دانه در طبق نشان داد این دو صفت تنها تحت تأثیر تیمار سـیلیکات پتاسـیم و نیترات کلسـیم قرار گرفت و اثر متقابل آنها

تأثیر معنی‌داری بر آنها نداشت (جدول ۳). در مورد تعداد طبق در بوته، مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد در هر دو تیمار، استفاده سیلیکات پتاسیم و نیترات کلسیم در سطح عدم استفاده (شاهد) کمترین تعداد طبق در بوته حاصل شد. در سطح دوم و سوم هر دو این عناصر، عدد بدست آمده بین دو سطح از نظر آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد هرچند در سطح سوم (دو کیلو گرم در هزار لیتر آب) آن‌ها تعداد طبق در بوته بیشتری بدست آمد (جدول ۴). اما در مورد تعداد دانه در طبق نتایج نشان داد سیلیکات پتاسیم در این آزمایش سبب افزایش مقدار این صفت شد بطوری‌که در سطح دو کیلوگرم در هزار لیتر آب سیلیکات پتاسیم بیشترین تعداد دانه با متوسط ۶۰/۴۴ دانه در طبق و کمترین مقدار آن در عدم استفاده از این عنصر حاصل شد که متوسط ۵۰/۳۳ دانه در طبق بود که حدود شش درصد مقدار آن با افزایش مقدار سیلیکات پتاسیم افزایش یافت. همچنین با کاربرد نیترات کلسیم افزایش تعداد دلنه در طبق حاصل شد بطوری‌که بیشترین مقدار تعداد دانه در طبق در سطح دو کیلوگرم در هزار لیتر آب نیترات کلسیم با متوسط عددی ۵۷/۶۷ حاصل شد و کمترین مقدار آن در سطح اول (عدم مصرف) با متوسط عددی ۵۱/۴۴ به دست آمد (جدول ۴).



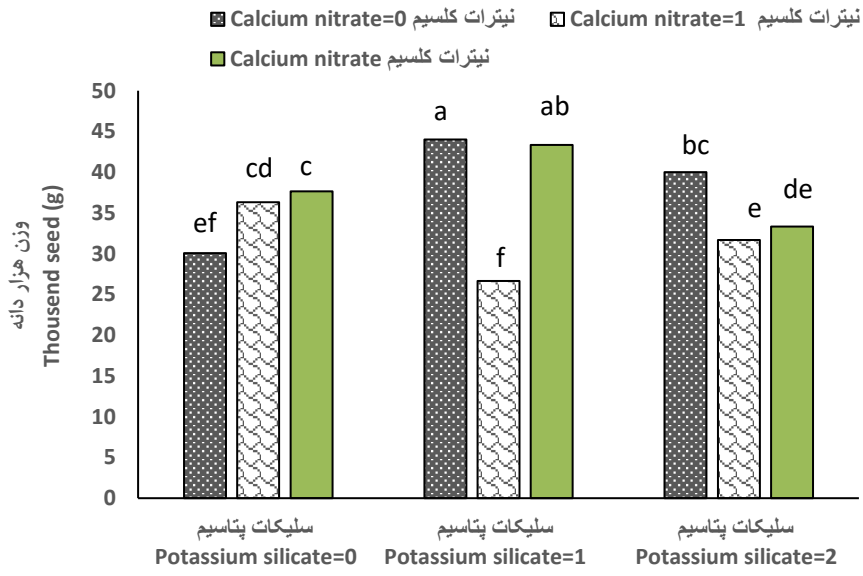
شکل ۲- اثر متقابل نیترات کلسیم و سیلیکات پتاسیم بر عملکرد زیستی

Figure 2- Interaction of calcium nitrate and potassium silicate on biomass



شکل ۳- اثر متقابل نیترات کلسیم و سیلیکات پتاسیم بر تعداد شاخه جانبی در بوته

Figure 3- Interaction of calcium nitrate and potassium silicate on number of branches per plant



شکل ۴- اثر متقابل نیترات کلسیم و سیلیکات پتاسیم بر وزن هزار دانه

Figure 4- Interaction of calcium nitrate and potassium silicate on thousand seed

تعداد دانه در طبق یکی از اجزای عملکرد دانه در گلرنگ است که تنش‌های رطوبتی به عنوان یک عامل محیطی در زمان گرده‌افشانی باعث نمو غیرطبیعی کیسه جنینی و عقیمی دانه گرده و در پی آن کاهش تعداد دانه در طبق می‌شوند. در چنین شرایطی بررسی روابط بین اجزای عملکرد دانه باعث شناسایی ارقام دارای اجزای عملکرد دانه مناسب می‌شود (Malekinejad, and Majidi, 2015). رشد و عملکرد در شرایط تنش‌های محیطی احتمالاً به علت تغییر در انتقال فرآورده‌های فتوسنتزی و کاهش رشد بخش هوایی گیاه است و به نظر می‌رسد بهبود شرایط تغذیه‌ای و نقش مثبت محلول‌پاشی سیلیکات در فتوسنتز می‌تواند در افزایش رشد و عملکرد گیاه نقش داشته باشد (Haghighi and Pessarakli, 2013). محققان عنوان کردند که کمبود سیلیسیم می‌تواند منجر به کاهش مقدار کلروفیل برگ و بدنبال آن کاهش میزان فتوسنتز در برگ شود. این امر به دلیل نقش سیلیسیم در زنجیره فتوسنتزی و ممانعت از تخریب کلروفیل و نیز بهبود فعالیت آنزیم ریبولوز بی فسفات کربوکسیلاز است (Zuccarini, 2008).

افزایش مصرف نیترات کلسیم با توجه به اینکه مقدار نیترات در گیاه افزایش می‌یابد می‌تواند سبب افزایش رشد رویشی گیاه و تعداد شاخه‌های جانبی شود. با توجه به اینکه نیتروژن افزایش یافته در گیاه به واسطه افزایش مصرف نیترات کلسیم، در ساختارهای مهم متابولیکی مثل کلروفیل و سیتوکروم نقش داشته که این ساختارها برای انجام فتوسنتز و تنفس ضروری هستند. همچنین نیتروژن برای سنتز آنزیم‌ها و پروتئین‌ها ضروریست(Liu *et al.*, 2017)، کاربرد بهینه نیتروژن باعث افزایش رشد رویشی، اندام‌های سبزینه‌ای و عملکرد بیولوژیکی می‌شود. نتایج این آزمایش با نتایج آزمایش محققانی که بیان کردند هدف از محلول‌پاشی عناصر غذایی در گیاهان افزایش دوره سبزینگی و فعالیت برگ‌ها به عنوان اندام اصلی تولید و انتقال مواد فتوسنتزی می‌باشند همسو است (Mohammadi and Sohrabi, 2014).

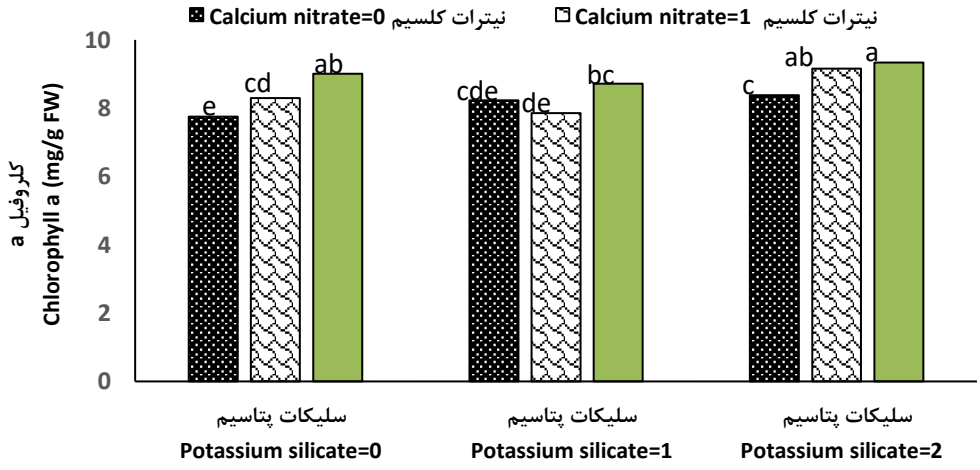
رنگدانه‌های فتوسنتزی

نتایج تجزیه آماری داده‌ها نشان داد بجز فلاونوئید اثر متقابل سیلیکات پتاسیم و نیترات کلسیم تأثیر معنی‌داری بر سایر رنگدانه‌های فتوسنتزی همانند کلروفیل a، کلروفیل b، کارتنوئید و آنتوسیانین در برگ‌های گلرنگ داشت (جدول ۵). شکل‌های ۵ تا ۸ تغییرات در میزان این رنگدانه‌های در واکنش به محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم و نیترات کلسیم در برگ‌ها را نشان می‌دهد. هر چند محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم و نیترات کلسیم سبب افزایش آنها شد اما تغییرات در مورد کلروفیل a

نسبت به سایر رنگیزه‌ها کمتر بود. بطوری‌که بیشترین مقدار کلروفیل a به میزان ۹/۳۴ میلی‌گرم در گرم وزن تر در دو کیلوگرم در هزار لیتر آب نیترات کلسیم و سیلیکات پتاسیم بدست آمد که نسبت به سطح شاهد از افزایشی معادل ۱۷/۱ درصد برخوردار بود (شکل ۵). در مورد کلروفیل b، میزان افزایش تنها تا یک کیلوگرم در هزار لیتر آب نیترات کلسیم و دو کیلوگرم در هزار لیتر آب سیلیکات پتاسیم (۳/۲ میلی‌گرم در گرم وزن تر) بود که از افزایشی معادل ۴۳/۱ درصد نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف) که از کمترین مقدار (به میزان ۱/۸۲ میلی‌گرم در گرم وزن تر) برخودار بود، مشاهده شد (شکل ۶). در مورد کارتنوئید هر چند بیشترین مقدار در تیمار دو کیلوگرم در هزار لیتر آب نیترات کلسیم و سیلیکات پتاسیم (۳/۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر) بدست آمد اما تفاوت معنی‌داری بین سطح دو کیلوگرم در هزار لیتر آب نیترات کلسیم و سطح یک کیلوگرم در هزار لیتر آب سیلیکات پتاسیم (۳/۲۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر) با سطح سوم آنها مشاهده نشد. کمترین مقدار (۱/۰۴ میلی‌گرم در گرم وزن تر) آن در تیمار شاهد بدست آمد. میزان افزایش در سطح سوم دو تیمار نسبت به شاهد ۶۸/۴ درصد بود (شکل ۷). مقدار آنتوسیانین هم تحت تأثیر دو تیمار افزایش یافت اما این افزایش برای نیترات کلسیم تا سطح دو کیلوگرم در هزار لیتر آب و در مورد سیلیکات پتاسیم تا یک کیلوگرم در هزار لیتر آب بود. میزان افزایش آن نسبت به تیمار شاهد ۳۴/۵ درصد بود (شکل ۸).

در این آزمایش بیشترین افزایش در طی محلول‌پاشی نیترات کلسیم و سلیکات پتاسیم مربوط به کارتنوئید بود. در مورد فلاونوئید تنها اثر ساده سیلیکات پتاسیم و نیترات کلسیم معنی‌دار و اثر متقابل آن‌ها از تأثیر معنی‌داری برخودار نبود (جدول ۴). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد استفاده از سیلیکات پتاسیم هر چند سبب افزایش مقدار فلاونوئید در برگ‌ها شد اما تفاوت معنی‌داری بین سطح دوم و سوم آنها مشاهده نشد. در مورد نیترات کلسیم هم استفاده از آن تا سطح دو کیلوگرم در هزار (سطح سوم) سبب افزایش مقدار فلاونوئید گردید مقدار آن۵/۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر بود (جدول ۴).

کلسیم از طریق تأثیر بر آنزیم‌های فنیل آلانین آمیلاز، پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز نقش خود را ایفا می‌کند، این آنزیم‌ها در سنتز و اکسیداسیون فنل‌ها و فلاونوییدها نقش دارند (Ruiz *et al.*, 2013). محققان اظهار داشتند که کمبود آب سبب کاهش مقادیر فلاونوییدهای برگ گندم دوروم شد (Balouchi *et al.*, 2008). محققین گزارش کردند بالا رفتن فعالیت‌های فتوسنتزی ناشی از افزایش محتوی کلروفیل در برگ‌ها می‌تواند به‌واسطه نقش پتاسیم در سنتز پیش ماده رنگدانه‌های کلروفیل (Kumar and Kumar, 2008) و همچنین به دلیل نقش پتاسیم در تثبیت دی اکسید کربن در کلروپلاست باشد (Kanai *et al.*, 2007). محققان دیگر گزارش کردند محلول‌پاشی ۲۵ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم در گیاه چچم میزان کلروفیل را ۱۱/۶ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (Mir Abbasi Najaf Abadi *et al.*, 2013).



شکل ۵- اثر متقابل نیترات کلسیم و سیلیکات پتاسیم بر میزان کلروفیل a در برگ

Figure 5- Interaction of calcium nitrate and potassium silicate on chlorophyll "a"

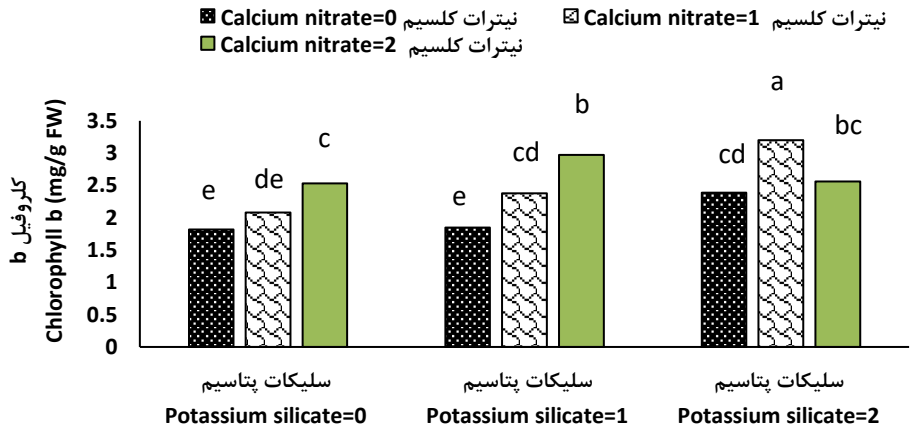
جدول ۵- تجزیه واریانس غلظت عناصر غذایی دانه و رنگدانه‌های فتوسنتزی گلرنگ تحت تأثیر سیلیکات پتاسیم و نیترات کلسیم

Table 5- Variance analysis of photosynthesis pigments and nutrient elements in seed of safflower affected by potassium silicate and calcium nitrate

		Mean Square (MS) میانگین مربعات							
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی Df	نیتروژن Nitrogen	فسفر Phosphorus	پتاسیم Potassium	کلروفیل a Chlorophyll "a"	کلروفیل b Chlorophyll "b"	کارتنوئید Carotenoid	فلاونوئید Flavonoid	آنتوسیانین Anthocyanin
تکرار Block	2	0.002^{ns}	0.012^{ns}	0.005^{ns}	0.08^{ns}	0.15^{ns}	0.07^{ns}	0.28^{ns}	0.005^{ns}
سلیکات پتاسیم Potassium silicate (KS)	2	0.67*	0.37^{ns}	1.33**	1.77**	1.11*	3.5**	4.57**	4.53**
نیترات کلسیم Calcium nitrate (Ca N)	2	5.5**	2.53^{ns}	119.9**	1.32**	0.73*	4.56**	1.5*	0.4*
KS*Ca N	4	0.165*	0.065^{ns}	0.23*	0.35*	0.37*	0.355**	1.77^{ns}	0.313*
خطا Error	16	0.036	0.036	0.036	0.086	0.057	0.041	0.089	0.102
C.V (%)		2.4	5.12	3.7	3.46	9.8	9.5	5.5	6.1

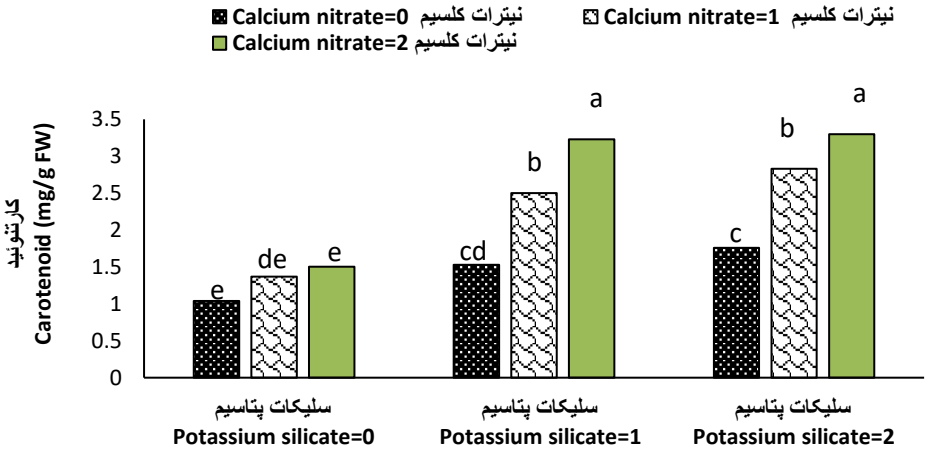
^{ns}، * و** به ترتیب نشانگر عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

ns :non significant, * and **: significant at α=0.05 and α=0.01 of probability levels, respectively



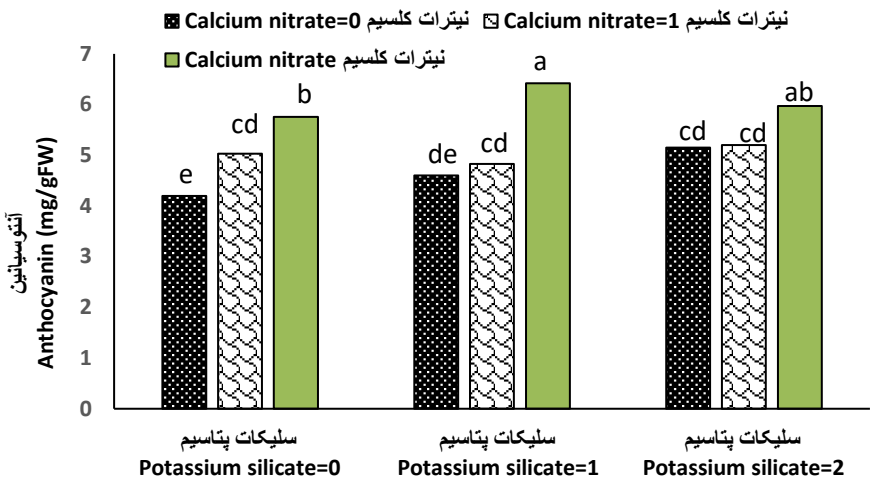
شکل ۶- اثر متقابل نیترات کلسیم و سیلیکات پتاسیم بر میزان کلروفیل b در برگ

Figure 6- Interaction of calcium nitrate and potassium silicate on chlorophyll "b"



شکل ۷- اثر متقابل نیترات کلسیم و سیلیکات پتاسیم بر میزان کارتنوئید در برگ

Figure 7- Interaction of calcium nitrate and potassium silicate on carotenoid



شکل ۸- اثر متقابل نیترات کلسیم و سلیکات پتاسیم بر میزان آنتوسیانین در برگ

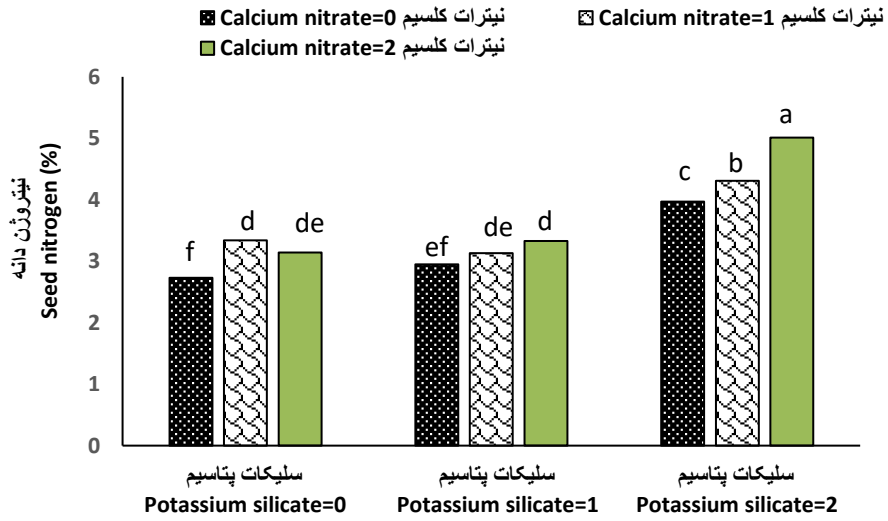
Figure 8- Interaction of calcium nitrate and potassium silicate on anthocyanin

کاروتنوئیدها ترکیباتی هستند که در غشاء تیلاکوئیدهای کلروپلاست‌ها یافت می‌شوند و نقش مهمی در فرآیندهای گیاهی از جمله در شرایط دیم و کم‌آبی دارند. کاروتنوئیدها در جذب نور در گیاهان نقش مهمی داشته، می‌توانند اعمال فیزیولوژیکی متفاوتی را در گیاه انجام دهند. این ترکیبات برای سیستم فتوسنتزی ضروری بوده و نقش اساسی در ممانعت از آسیب ناشی از اکسیداسیون نوری بازی می‌کنند. اهمیت کاروتنوئیدها در رشد و تکامل گیاهان ثابت شده است (Arango *et al.*, 2010). آنتوسیانین‌ها هم گروهی از فلاونوئیدهای محلول در آب هستند که بیشتر این ترکیبات در لایه‌های سطحی مزوفیل و اپیدرم برگ‌ها انباشته می‌شوند (Ahmed *et al.*, 2011). اینها رنگیزهای محافظ بوده که گیاه را در برابر تنش‌های محیطی محافظت می‌کنند. بررسی‌ها نشان داد که در شرایط مختلفی از جمله دیم و تنش خشکی می‌تواند نقش حفاظت نوری را در گیاه داشته و سبب حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن در طی تنش اکسیداتیو شوند (Hatier and Gould, 2008). محققین گزارش کردند استفاده از سیلیکات پتاسیم مقدار تولید آنتوسیانین در گیاهان افزایش می‌دهد (Savvas and Ntatsi, 2015). افزایش مقدار رنگدانه‌های غیر آنزیمی (آنتوسیانین) توسط کاربرد سیلیکات پتاسیم و نیترات کلسیم می‌تواند از تخریب کلروفیل‌ها جلوگیری کند و به طور غیرمستقیم سبب افزایش آنها شود. چرا که آنتوسیانین‌ها از ساختارهای حساسی همانند غشاها حفاظت کرده و از زوال کلروفیل جلوگیری می‌کنند (leng *et al.*, 2000). تشدید فعالیت آنزیم‌های کلروفیلاز و پراکسیداز، تولید ترکیبات فنلی، افزایش رادیکال‌های فعال اکسیژن و آسیب رساندن به غشاء کلروپلاست از مهمترین عوامل کاهنده غلظت کلروفیل در شرایط تنش‌ها به شمار می‌روند. در این زمان مطالعات نشان داده بر میزان کارتنوئید و آنتوسیانین در برگ‌های گیاهان افزوده می‌شود. افزایش این ترکیبات به واسطه نقش حفاظتی این رنگیزه‌هاست که باعث محافظت از کلروفیل در برابر اکسیداسون نوری می‌شوند (Inze and Montagu, 2019).

غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه

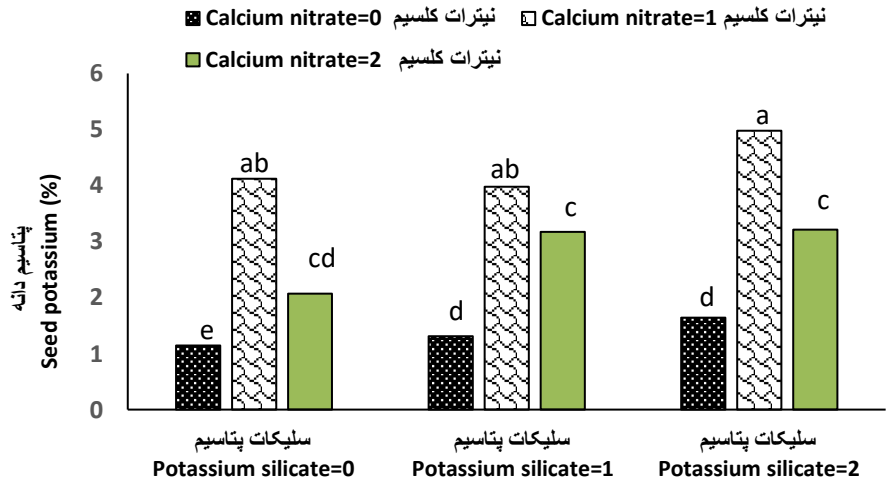
نتایج تجزیه آماری داده‌ها نشان داد اثر متقابل سیلیکات پتاسیم و نیترات کلسیم تأثیر معنی‌داری بر درصد نیتروژن و غلظت پتاسیم در دانه گلرنگ داشت. در این بین نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثرات ساده و اثرات متقابل سیلیکات پتاسیم و نیترات کلسیم از تأثیر معنی‌داری بر غلظت فسفر دانه برخودار نبود (جدول ۵). در شکل‌های ۹ و ۱۰ مشاهده می‌شود غلظت دو عنصر نیتروژن و پتاسیم دانه همراه با محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم و نیترات کلسیم افزایش می‌یابد. در این بین با افزایش غلظت نیترات کلسیم و سیلیکات پتاسیم از صفر به یک کیلوگرم در هزار لیتر آب، تغییری در غلظت نیتروژن مشاهده نشد و این دو از لحاظ آماری در یک سطح قرار گرفتند. با

افزایش غلظت نیترات کلسیم و سیلیکات پتاسیم به دو کیلوگرم در هزار لیتر آب، غلظت نیتروژن دانه افزایش معنی‌داری یافت بطوری‌که بیشترین درصد نیتروژن دانه در سطح دو کیلوگرم در هزار لیتر آب سیلیکات پتاسیم و نیترات کلسیم به میزان ۵/۰۱ درصد و کمترین آن در سطح شاهد (عدم مصرف) به میزان ۲/۷درصد حاصل شد. میزان افزایش برابر ۴۶/۱ درصد بود (شکل ۹). نیترات کلسیم حاوی مقادیر کافی کلسیم و نیتروژن است که نیاز گیاه برای زنده ماندن را تأمین می‌کند در نتیجه با افزایش مقدار نیترات کلسیم مقدار نیتروژن گیاه افزوده شده است.



شکل ۹- اثر متقابل نیترات کلسیم و سیلیکات پتاسیم بر غلظت نیتروژن دانه

Figure 9- Interaction of calcium nitrate and potassium silicate on nitrogen in seed



شکل ۱۰- اثر متقابل نیترات کلسیم و سیلیکات پتاسیم بر غلظت پتاسیم دانه

Figure 10- Interaction of calcium nitrate and potassium silicate on potassium in seed

از طرفی آنیون نیترات به عنوان یون همراه پتاسیم جذب گیاه شده و با افزایش سیلیکات پتاسیم، غلظت نیتروژن در گیاه افزایش می‌یابد (Mei *et al.*, 2001). همچنین در بررسی اثر متقابل سلیکات پتاسیم و نیترات کلسیم در مورد پتاسیم دانه نیز مشخص شد که بیشترین مقدار پتاسیم مربوط به سطح دو کیلوگرم در هزار لیتر سیلیکات پتاسیم و سطح یک کیلوگرم در هزار لیتر نیترات کلسیم به میزان ۴/۹۷ درصد بود. کمترین آن مربوط به تیمار شاهد (عدم استفاده از سیلیکات پتاسیم و

نیترات کلسیم) به میزان ۱/۱۴ درصد بود. میزان افزایش درصد پتاسیم دانه برابر ۷۷/۱ درصد بود (شکل ۱۰). محققین گزارش کردند که در شرایط تنش خشکی میزان پتاسیم جذب شده نسبت به شرایط معمول در گیاه افزایش می‌یابد. این افزایش کمک زیادی به تنظیم اسمزی و جذب بهتر آب در گیاه کرده، همچنین در تنظیم اسمزی برای کنترل باز و بسته شدن روزنه‌ها کمک می‌کند (Dastbandan Nejad *et al.*, 2010). آنها همچنین بیان کردند که که علت افزایش جذب پتاسیم تحت شرایط تنش خشکی را می‌توان به مکانیسم جذب فعال این یون به وسیله گیاه نسبت داد که بدین طریق مقاومت خود را در برابر تنش بالا می‌برد و در نهایت این امر می‌تواند به افزایش غلظت پتاسیم در دانه گیاهان هم کمک نماید.

نتیجه‌گیری کلی

استفاده از ترکیبات کمک کننده به گیاهان در شرایط کمی رطوبت می‌تولند تا حدی از بروز اثرات سوء کم آبی بر گیاهان بکاهد و مانع کاهش عملکرد تولیدی در این شرایط شود. براساس نتایج بدست آمده در این آزمایش می‌توان بیان کرد که نیترات کلسیم و سیلیکات پتاسیم نقش مثبتی در گیاه گلرنگ و در شرایط دیم داشتند، بطوری‌که استفاده از این دو ترکیب سبب بهبود عملکرد دانه و اجزای عملکرد دانه (عملکرد بیولوژیکی، وزن هزار دانه، تعداد طبق در بوته و تعداد دانه در طبق) شد. این افزایش به سبب بهبود رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b، کارتنوئید و آنتوسیانین) بود. در این بین هر چند محلول‌پاشی ۲ کیلوگرم در هزار لیتر آب از نیترات کلسیم و سیلیکات پتاسیم در شرایط دیم مؤثر بود اما در بررسی صفات مختلف گلرنگ مشخص شد که استفاده از یک کیلوگرم سیلیکات پتاسیم و دو کیلوگرم نیترات کلسیم مناسب تر است. لذا برای گلرنگ (رقم اصفهانی) و در شرایط دیم محلول‌پاشی یک کیلوگرم سیلیکات پتاسیم و دو کیلوگرم نیترات کلسیم توصیه می‌شود.

References

Ahmadi, J., Seyfi, M.M. and Amini, M. 2012. Effect of spraying micronutrients Fe, Zn and Ca on grain and oil yield of sesame (*Sesamus indicum* L.) varieties. *Electronic Journal of Crop Production, 5*(3), pp.115-130. [In Persian].

Ahmed, M., Hassen, F. and Khurshid, Y., 2011. Does silicon and irrigation have impact on drought tolerance mechanism of sorghum? *Agricultural Water Management, 98*, pp.1808-1812. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.07.003

Anjum, S.A., Xie, X.Y., Wang, L.C., Saleem, M.F., Man, C. and Lei, W., 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*, *6*(9), pp.2026-2032. https://doi.org/10.5897/ajar10.027

Anrist-Rangel, Y., 2008. Quantifying mineral source of potassium in agricultural soils. PhD Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, 105 p.

Arango, J., Wust, F., Beyer, P. and Welsch, R., 2010. Characterization of phytoene synthases from cassava and their involvement in abiotic stress -mediated responses. *Planta, 232*, pp.1251-1262. https://doi.org/10.1007/s00425-010-1250-6

Asadi, A., Haqqania, M., Lekzian, A. and Mafotun, M., 2013. The effect of different amounts of silicon and nitrogen on morphological characteristics, performance and yield components of two wheat cultivars. *Applied Field Crops Research, 103*(4), pp.66-78. [In Persian].

Balouchi, H.R., Modarres Sanavy, S.A.M., Emam, Y. and Barzegar, M., 2008. Effect of Water Deficit, Ultraviolet Radiation and Carbon Dioxide Enrichment on flag Leaf Qualitative Characters of Durum Wheat (*Triticum*

turgidum L.). *Journal of Agricultural Science and Technology and Natural Resources*, *12*(45), pp.167-181. [In Persian].

Barker, A. and Pilbeam, D., 2007. *Plant nutrition*. CRC Press. USA. 2007, pp. 125- 128.

Cottenie, A., 1980. Fractionation and determination of trace elements in plants, soils and sediments. In *27th International of Pure and Applied Chemistry* (pp. 45–53). https://doi.org/10.1351/pac198052010045

Dastbandan Nejad, S., Saki Nejad, T. and Lack, S., 2010. Effect of drought stress and different levels of potassium fertilizer on K^+ accumulation in corn. *Natural Sciences*, *8*(5), pp.23-27.

Dordas, D., 2009. Foliar application of calcium and magnesium improves growth, yield, and essential oil yield of oregano (*Origanum vulgare* ssp. hirtum). *Industrial Crops and Products*, *29*, pp.599-608. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.11.004

Flagella, Z., Rotunno, T., Tarantino, E., Dicatarina, R. and De Caro, A., 2002. Changes in seed yield and oil fatty acid composition of sunflower (*Hellianthus annuus* L.) hybrid in relation to the sowing data and the water regime. *European Journal of Agronomy*, 1*7*(3), pp.221-230. https://doi.org/10.1016/s1161-0301(02)00012-6

Gitz, D.C., Liu, L. and McClure, J.W., 1998. Phenolic metabolism, growth and UV-B tolerance in phenylalanine ammonialyase-inhibited red cabbage seedlings. *Phytochem*, *49*(2), pp.377-386. https://doi.org/10.1016/s0031-9422(98)00011-9

Haghighi, M. and Pessarakli, M., 2013. Influence of silicon and nano -silicon on salinity tolerance of cherry tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) at early growth stage. *Scientia Horticulturae*, *161*, pp.111-117. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.06.034

Hatier, J.B. and Gould, K.S., 2008 .Foliar anthocyanins as modulators of stress signals. *Journal of Theoretical Biology*, *253*, pp.625-627. https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2008.04.018

Hussain, M.I., Lyra, D.A., Farooq, M., Nikoloudakis, N. and Khalid, N., 2016. Salt and drought stresses in safflower: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, *36*(1), No.4. https://doi.org/10.1007/s13593-015-0344-8

Inze, D. and Montagu, M.V., 2019. Oxidative stress in plants. *Current Opinion in Biotechnology*, pp.153-158.

Jamshidi, P., Baradaran Firoozabadi, M., Oloumi, H. and Naghavi, H., 2017. Evaluation of Foliar Spraying of Zinc and Calcium Fertilizers on Yield and Physiological Traits of Safflower under Lead Stress. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *15*(2), pp.368-379. [In Persian].

Kanai, S., Ohkura, K., Adu-Gyamfi, J., Mohapatra, P., Saneoka, H. and Fujita, K., 2007. Depression of sink activity precedes the inhibition of biomass production in tomato plants subjected to potassium deficiency stress. *Journal of Experimental Botany*, *58*(11), pp.2917-2928. https://doi.org/10.1093/jxb/erm149

Kaya, C., Tuna, L. and Higgs, D., 2006. Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown. Under water- stress condition. *Journal of Plant Nutrition*, *29*(8), pp.1469-1480. https://doi.org/10.1080/01904160600837238

Khayat Moghadam, M.S., Gholami, A., Shirani rad, A, H., Baradaran Firoozabadi, M. and Abbasdokht, H., 2021. The effect of potassium silicate and late-season drought stress on the physiological characters of canola. *Journal of Crops Improvement, 23*(4), pp.761-776. [In Persian].

Krizek, D.T., Kramer, G.F., Upadhyaya, A. and Mirecki, R.M., 1993. UV-B Response of cucumber seedling grown under metal halide and high pressure sodium/deluxe lamps. *Plant Physiology*, *88*, pp.350-358. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1993.tb05509.x

Kumar, A.R. and Kumar, M., 2008 .Studies on the efficacy of sulphate of potash on physiological, yield and quality parameters of Banana cv. Robusta (Cavendish- AAA). *Asian Journal Biological of Science*, *2*(12), pp.102-109.

Leng, P., Itamura, H.B., Yamamura, H.B. and Deng, X, M., 2000. Anthocyanin accumulation in apple and peach shoots during cold acclimation. *Science Horticulture*, *83*, pp.43-50. https://doi.org/10.1016/s0304-4238(99)00065-5

Liu, Z., Rong, Q., Zhou, W. and Liang, G., 2017. Effects of inorganic and organic amendment on soil chemical properties, enzyme activities, microbial community and soil quality in yellow clayey soil. *Plos one, 12*, pp.3. e0172767. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172767

Ma, J. F., Yamaji, N., Tamai, K. and Mitani, N., 2007. Genotypic difference in silicon uptake and expression of silicon transporter genes in rice. *Plant Physiology*, *145*(3), pp.919-924. https://doi.org/10.1104/pp.107.107599

Malekinejad, R. and Majidi, M., 2015. Association of seed yield, oil and related traits in safflower genotypes under normal and drought stress**.** *Iranian Journal of Field Crops Research, 13*(1), pp.109-119. [In Persian].

Mei, S.H., Lai, L.T. and Hui, X., 2001. Effects of potassium fertilizer on nutrient absorption and growth of tomato in the greenhouse. *China Vegetables, Institute of Vegetables and Flowers, Beijing*, *China*, *4*, pp.14-16.

Merajipour, M., Movahhedi Dehnavi, M., Dehdari, A., Farajee, H. and Meerajipour, M., 2013. Effect of drought stress on some physiological characteristics of four spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars in Yasouj. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *5*(2), pp.125-134. [In Persian].

Mir Abbasi Najaf Abadi, N., Nikbakht, A., Etemadi, N., & Sabz Alian, M., 2013. The effect of different concentrations of potassium silicate, nano silica and calcium chloride concentrations of potassium, calcium and magnesium, chlorophyll content index and the number of Asian Lilium flower varieties brunello. *Greenhouse Culture Science and Technology*, *4*(14), pp.41-49. [In Persian].

Mohammadi, K. and Sohrabi, Y., 2014. Effect of integrated methods of fertilization on soil nitrogen, phosphorus biological properties and canola traits. *Soil Research Journal*, *28*, pp.27-38. [In Persian]. https://doi.org/10.22092/ijsr.2014.120116

Payandeh, K.H., Mojdam, M. and Derogar, N., 2018. Application of micronutrient elements on quantitative and qualitative yield of rapeseed under drought tension conditions. *Crop Physiology*, *10*(38), pp.23-37. [In Persian].

Prochazka, S., Machaackova, I., Kreekule, J. and Sebanek, J., 1998. *Plant physiology*. Academia. Praha.

Romero-Aranda, M.R., Jurado, O. and Cuartero, J., 2006. Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. *Journal Plant Physiology*, *163*, pp.847–855. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2005.05.010

Ruiz, J.M., Rivero, R.M., Lo´pez-Cantarero, I. and Romero, L., 2013. Role of Ca^{2+} in the metabolism of phenolic compounds in tobacco leaves (*Nicotiana tabacum* L.). *Plant Growth Regulation*, *41*, pp.173-177. https://doi.org/10.1023/a:1027358423187

Savvas, D. and Ntatsi, G., 2015. Biostimulant activity of silicon in horticulture. *Scientia Horticulturae*, *196*, pp.66-81. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.010

Shahrokhnia, M.A. and Khadem Hamzeh, H.R., 2022. Investigation of the effect of drought stress on safflower cultivars and presentation of critical stress limits based on plant canopy temperature. *Iranian Water Research Journal*, *16*(3), pp.1-12. [In Persian].

Zuccarini, P., 2008. Effect of silicon on photosynthesis water relation and nutrition uptake of *phseolus vulgaris* under NaCl stress. *Biologia Plantarum*, *52*, pp.157-160. https://doi.org/10.1007/s10535-008-0034-3