



Foliar application of amino-chelated potassium and silicon on quantitative and qualitative attributes of sugarcane in plant and ratoon fields of southern Khuzestan

Rahim Karimi Majd¹ | Afrasyab Rahnama² | Habibolah Roshanfekr³ | Farshad Salehi⁴

1. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: r-karimi@mscstu.scu.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: a.rahnama@scu.ac.ir
3. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: h.roshanfekr@scu.ac.ir
4. Khuzestan Sugarcane Research and Training Institute, Ahvaz, Iran. E-mail: f.salehi@iscrti.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received 14 May 2026
Received in revised form
26 July 2026
Accepted 16 August 2026
Published online 22 September 2026

Keywords:

Brix
Cane yield
Pol
Ratoon
Sugar yield

ABSTRACT

Objective: The application of amino-chelated potassium and silicon enhances the quantitative and qualitative traits of sugarcane. This study investigated the effects of different concentrations of silica and amino-chelated potassium on the quantitative and qualitative traits of the sugarcane variety IRC69-1062 across plant and ratoon crops in Khuzestan.

Methods: A field experiment was conducted during the 2024–2025 growing season at the Dabal Khazaei Sugarcane Cultivation and Industry complex to investigate the effects of foliar application of silica and amino-chelated potassium on the quantitative and qualitative traits of sugarcane. The experiment used a split-plot arrangement in a randomized complete block design with three replications. Main plots consisted of plant and ratoon crops (plant crop, Ratoon 1, and Ratoon 2), and subplots consisted of four levels of silica and amino-chelated potassium: a control (no application) and three application rates of 2, 4, and 6 L ha⁻¹. The experiment was carried out on plant and ratoon crops of the IRC69-1062 variety.

Results: Plant age and foliar application of silica and amino-chelated potassium had a significant effect on sugarcane yield components. The highest values for stalk number (165,000 stalks ha⁻¹), single stalk weight (0.82 kg), stalk height (269 cm), cane yield (88 t ha⁻¹), and sugar yield (1.9 t ha⁻¹) were observed in the plant crop, whereas the greatest reductions were recorded in the second ratoon crop, with decreases of 20%, 35%, 17%, 38%, and 37%, respectively. With increasing plant age, recoverable sugar increased from 10.3% in the plant crop to 10.6% in Ratoon 2, and juice purity rose from 82% to 86%, indicating that older plants allocate more resources toward sugar synthesis and storage. Foliar application of silica and amino-chelated potassium at 6 L ha⁻¹ significantly increased single stalk weight (0.76 kg), stalk height (252 cm), cane yield (71 t ha⁻¹), sugar yield (5.7 t ha⁻¹), and juice sucrose content (17.5%). This treatment also increased stalk weight (29%), stalk height (10%), cane yield (15%), sugar yield (19%), and juice sucrose content (4%) compared with the untreated control. The interaction between plant age and foliar application showed that ratoon plants benefited most from the combined application of amino-chelated silicon and potassium, such that recoverable sugar in Ratoon 2 increased from 9.8% to 11% with foliar spraying at 4 L ha⁻¹.

Conclusion: These findings highlight that nutrient management with amino-chelated compounds, tailored to plant age, can simultaneously enhance both the quantitative yield and sugar quality of sugarcane without the need to alter planting time or substantially increase soil fertilizer inputs.

Cite this article: Karimi Majd, R., Rahnama, A., Roshanfekr, H., & Salehi, F. (2026). Foliar application of amino-chelated potassium and silicon on quantitative and qualitative attributes of sugarcane in plant and ratoon fields of southern Khuzestan. *Journal of Crops Improvement*, 28 (3), 337-353. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2026.414405.2983>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2026.414405.2983>

Publisher: University of Tehran Press.



تأثیر کاربرد برگی آمینوکلات سیلیس و پتاس بر ویژگی‌های کمی و کیفی نیشکر در مزارع پلنت و راتون جنوب خوزستان

رحیم کریمی مجد^۱ | افراسیاب راهنما^۲ | حبیب‌اله روشنفکر^۳ | فرشاد صالحی^۴

۱. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: r-karimi@msestu.scu.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: a.rahnama@scu.ac.ir
۳. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: h.rosanfekr@scu.ac.ir
۴. مؤسسه تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر و صنایع جانبی خوزستان، اهواز، ایران. رایانامه: f.salehi@iscrti.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	هدف: کاربرد آمینوکلات سیلیس و پتاس می‌تواند ویژگی‌های کمی و کیفی نیشکر را بهبود بخشد. این مطالعه با هدف بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف آمینوکلات سیلیس و پتاس بر ویژگی‌های کمی و کیفی واریته نیشکر IRC69-1062 در سنین بازرویی مختلف در خوزستان انجام شد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۲۴	روش پژوهش: به منظور بررسی اثر کاربرد آمینوکلات سیلیس و پتاس بر ویژگی‌های کمی و کیفی واریته نیشکر IRC69-1062 در سنین بازرویی مختلف، آزمایشی در سال زراعی ۱۴۰۴ در مزارع شرکت کشت و صنعت دعبل خزاعی واقع در جنوب استان خوزستان اجرا شد. آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. سنین بازرویی مختلف در سه سطح شامل پلنت، سن بازرویی اول و دوم به عنوان کرت اصلی و سطوح مختلف آمینوکلات سیلیس و پتاس در چهار سطح شامل شاهد بدون آمینوکلات سیلیس و پتاس، آمینوکلات سیلیس و پتاس با سه غلظت ۲، ۴ و ۶ لیتر در هکتار به عنوان کرت فرعی در نظر گرفته شدند.
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۵/۰۴	یافته‌ها: نتایج این مطالعه نشان داد که سن گیاه و محلول‌پاشی با آمینوکلات‌های ترکیبی سیلیس و پتاس تأثیر قابل‌توجهی بر اجزای عملکرد نیشکر داشتند. بیش‌ترین تعداد ساقه (۱۶۵ هزار ساقه در هکتار)، وزن تک‌ساقه (۰/۸۲ کیلوگرم)، ارتفاع ساقه (۲۶۹ سانتی‌متر)، عملکرد نی (۸۸ تن در هکتار) و عملکرد شکر (۱/۹ تن در هکتار) در مزرعه پلنت مشاهده شد، در حالی که بیش‌ترین مقادیر کاهش در سن بازرویی دوم به ترتیب به میزان ۲۰، ۳۵، ۱۷، ۳۸ و ۳۷ درصد مشاهده شد. با افزایش سن گیاه، شکر قابل استحصال از ۱۰/۳ درصد در مزرعه پلنت به ۱۰/۶ درصد در مزرعه بازرویی دوم افزایش یافت و خلوص شربت از ۸۲ به ۸۶ درصد رسید که نشان‌دهنده تمرکز منابع گیاهان بازرویی بر ساخت و ذخیره قندهاست. محلول‌پاشی با غلظت ۶ در هزار آمینوکلات سیلیس و پتاس منجر به افزایش معنی‌دار وزن ساقه (۲۹ درصد)، ارتفاع ساقه (۱۰ درصد)، عملکرد نی (۱۵ درصد)، عملکرد شکر (۱۹ درصد) و درصد ساکارز شربت (۴ درصد) در مقایسه با شاهد بدون محلول‌پاشی شد. برهم‌کنش سن گیاه و محلول‌پاشی نشان داد که گیاهان بازرویی بیش‌ترین بهره را از تغذیه ترکیبی آمینوکلات سیلیس و پتاس می‌برند، به طوری که شکر قابل استحصال در سن بازرویی دوم با محلول‌پاشی ۴ لیتر در هکتار از ۹/۸ به ۱۱ درصد رسید.
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۲۵	نتیجه‌گیری: به طور کلی این یافته‌ها تأکید می‌کند که مدیریت هوشمندانه تغذیه با آمینوکلات‌های ترکیبی، با توجه به سن گیاه، می‌تواند عملکرد کمی و کیفیت شکر نیشکر را به طور هم‌زمان افزایش دهد.
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۶/۲۱	

کلیدواژه‌ها:

بازرویی
بریکس
پل
عملکرد شکر
عملکرد نی

استناد: کریمی مجد، راهنما، افراسیاب، روشنفکر، حبیب‌اله و صالحی، فرشاد (۱۴۰۵). تأثیر کاربرد برگی آمینوکلات سیلیس و پتاس بر ویژگی‌های کمی و کیفی نیشکر در مزارع پلنت و راتون جنوب خوزستان. *به زراعی کشاورزی*، ۲۸ (۳)، ۳۳۷-۳۵۳.

DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2026.414405.2983>



۱. مقدمه

نیشکر یکی از مهم‌ترین گیاهان صنعتی و اقتصادی در مناطق گرمسیری ایران و جهان به‌شمار می‌رود. این گیاه علاوه بر تولید شکر، نقش مهمی در صنایع غذایی و صنعتی دارد. کیفیت و کمیت محصول این گیاه تحت تأثیر تغذیه مناسب و مدیریت عناصر غذایی گیاه قرار دارد (بات^۱، ۲۰۲۰) و تغذیه بهینه این گیاه، به‌ویژه تأمین عناصر میکرو و ماکرو، عامل اصلی افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصول محسوب می‌شود. سیلیس، به‌عنوان دومین عنصر فراوان خاک، یکی از عناصر مفید است که می‌تواند رشد و سلامت گیاه را افزایش دهد و با تأثیر بر کلروفیل، فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی و تثبیت دی‌اکسیدکربن و استحکام برگ‌ها، عملکرد گیاه را بهبود بخشد و تولید ماده خشک و عملکرد شکر را افزایش دهد (مقصودی^۲ و همکاران، ۲۰۱۳؛ عبدالل^۳ و همکاران، ۲۰۲۰؛ مارتوس گارسیا^۴ و همکاران، ۲۰۲۴). پتاسیم نیز به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عناصر پرمصرف در تغذیه نیشکر، با تنظیم فشار اسمزی، فعال‌سازی آنزیم‌ها، بهبود انتقال قندها و افزایش کارایی فتوسنتز، نقش کلیدی در رشد، تجمع زیست‌توده و بهبود عملکرد و کیفیت شربت نیشکر دارد (ترانکنر^۵ و همکاران، ۲۰۱۸). هم‌چنین، پتاسیم با افزایش تحمل گیاه به تنش‌های غیرزیستی مانند خشکی، شوری و دمای بالا، بهبود کارایی مصرف آب و کاهش آسیب‌های ناشی از تنش اکسیداتیو، باعث پایداری بیش‌تر عملکرد و کیفیت محصول می‌شود (حسن الزمان^۶ و همکاران، ۲۰۱۸). کودهای آمینوکلات به‌دلیل قابلیت جذب بالا، افزایش دسترسی گیاه به عناصر غذایی و اثر مطلوب بر فعالیت آنزیمی، به‌عنوان جایگزینی کارآمد و مؤثر برای کودهای سنتی موردتوجه قرار گرفته‌اند (برادلی^۷، ۲۰۱۰؛ امین^۸ و همکاران، ۲۰۱۱). مطالعات اخیر نیز نشان داده‌اند که ترکیب سیلیس و آمینوکلات‌ها می‌تواند تحمل گیاه را در برابر تنش‌های محیطی افزایش دهد و ویژگی‌های مورفولوژیک و بیوشیمیایی را بهبود بخشد (بوختیار^۹ و همکاران، ۲۰۱۲؛ جاکوماسی^{۱۰} و همکاران، ۲۰۲۴).

با وجود گزارش‌های متعدد درباره نقش سیلیس، پتاسیم، اسیدهای آمینه و آمینوکلات‌ها در بهبود رشد، عملکرد و افزایش تحمل تنش در گیاهان، اغلب پژوهش‌ها اثر این ترکیبات را به‌صورت جداگانه در محصولات زراعی به‌غیر از نیشکر بررسی کرده‌اند. هم‌چنین، اطلاعات محدودی در زمینه کاربرد هم‌زمان آمینوکلات سیلیس و پتاس بر ویژگی‌های مورفولوژیک، فیزیولوژیک، عملکردی و کیفی نیشکر، به‌ویژه در سنین مختلف بازرویی (پلنت، راتون اول و راتون دوم) و تحت شرایط اقلیمی جنوب خوزستان وجود دارد. از سوی دیگر، از آنجاکه سن بازرویی بر توان جذب عناصر غذایی و واکنش گیاه به مدیریت تغذیه‌ای اثر می‌گذارد، بررسی این موضوع از نظر علمی و کاربردی ضروری است. هم‌چنین استفاده از مزارع بازرویی به‌دلیل کاهش هزینه‌های آماده‌سازی زمین و کاشت مجدد، یکی از مهم‌ترین راه‌کارهای افزایش بهره‌وری اقتصادی در تولید نیشکر است. با این‌حال، افزایش تعداد راتون‌ها معمولاً با کاهش تدریجی عملکرد و کیفیت محصول همراه است که به عواملی مانند کاهش توان ریشه، کاهش جذب عناصر غذایی، افزایش فشار آفات و بیماری‌ها و تغییرات نامطلوب خاک نسبت داده می‌شود (پارک^{۱۱} و همکاران، ۲۰۰۵). در این شرایط، کاربرد کودهای برگی با قابلیت

1. Bhatt
2. Maghsoudi
3. Abdelaal
4. Martos-García
5. Tränkner
5. Hasanuzzaman
7. Bradley
8. Amin
9. Bokhtiar
10. Jacomassi
11. Park

جذب بالا، از جمله آمینوکلات‌های حاوی سیلیس و پتاس، می‌تواند با بهبود وضعیت تغذیه‌ای و فیزیولوژیک گیاه، اثرات منفی افزایش سن بازرویی را کاهش داده و طول عمر اقتصادی مزارع را افزایش دهد (کومار^۱ و همکاران، ۲۰۲۳). بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی اثر محلول‌پاشی آمینوکلات سیلیس و پتاس بر عملکرد، کیفیت شربت و برخی شاخص‌های فیزیولوژیک واریته CP69-1062 نیشکر در سنین مختلف بازرویی انجام شد تا ضمن پاسخ به برخی پرسش‌های علمی و پژوهشی، اطلاعات لازم برای بهینه‌سازی مدیریت تغذیه‌ای این محصول راهبردی در شرایط جنوب خوزستان فراهم شود.

۲. پیشینه پژوهش

نیشکر به‌عنوان یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی و صنعتی در جهان و به‌ویژه در مناطق گرمسیری، نقش اساسی در تولید شکر و محصولات جانبی دارد. کیفیت و کمیت محصول نیشکر به‌شدت تحت تأثیر مدیریت تغذیه‌ای گیاه قرار دارد. در سال‌های اخیر توجه پژوهش‌گران به استفاده از کودهای کلاته، به‌ویژه آمینوکلات‌ها و همچنین عناصر مفید غیرضروری مانند سیلیس معطوف شده است. این عناصر می‌توانند با بهبود رشد گیاه، افزایش فعالیت آنزیم‌ها و ارتقای فرایندهای فتوسنتزی، باعث افزایش عملکرد و کیفیت محصول شوند.

مطالعات نشان داده‌اند که کاربرد سیلیس در نیشکر می‌تواند باعث افزایش استحکام برگ‌ها، بهبود تراکم کلروفیل و افزایش فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی شود. برای مثال، بوختیار و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که گیاهان نیشکر تیمار شده با سیلیکات کلسیم، سیلیس بیش‌تری را در لایه‌های اپیدرمی خود ذخیره می‌کنند و از طریق کاهش تعرق، رطوبت بیش‌تری در برگ‌ها حفظ شده و در نتیجه عملکرد بالاتری نسبت به گیاهان شاهد دارند. همچنین، دجادی^۲ و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که محلول‌پاشی سیلیس و پس از آن کاربرد کود آلی، منجر به افزایش چشم‌گیر تولید نیشکر شده است. مطالعه میسر^۳ و همکاران (۲۰۲۳) نیز نشان داده‌اند که استفاده از کودهای سیلیسی فرموله شده، جذب مؤثر این عنصر توسط گیاه را بهبود می‌بخشد و عملکرد و کیفیت محصول را افزایش می‌دهد.

پتاسیم نیز یکی از عناصر پرمصرف و ضروری در تغذیه نیشکر است که در تنظیم فشار اسمزی، فعال‌سازی آنزیم‌های مرتبط با فتوسنتز و متابولیسم کربوهیدرات‌ها، انتقال مواد فتوسنتزی و بارگیری ساکارز در آوند آبکش نقش دارد. تأمین کافی پتاسیم موجب افزایش انتقال کربوهیدرات‌ها از برگ به ساقه، تجمع بیش‌تر ساکارز در میان‌گره‌ها و بهبود شاخص‌های کیفی شربت، از جمله بریکس و پل، خلوص شربت و عملکرد شکر می‌شود. در مقابل، کمبود پتاسیم با کاهش انتقال ساکارز، کاهش تجمع قند، کاهش عملکرد نی و کاهش کیفیت ماده اولیه شکر همراه است. همچنین، مدیریت مناسب تغذیه پتاسیم، به‌ویژه در مزارع راتون، می‌تواند رشد، فتوسنتز، عملکرد ساقه و شکر و کارایی مصرف عناصر غذایی را افزایش دهد (شوکل^۴ و همکاران، ۲۰۰۹ و ۲۰۲۳).

پژوهش‌های مختلف نشان داده‌اند که کودهای آمینوکلات با قابلیت جذب بالاتر نسبت به کودهای معمولی، می‌توانند رشد و عملکرد گیاهان را افزایش دهند. این کودها که براساس کلات کردن عناصر با اسیدهای آمینه ساخته می‌شوند، علاوه بر تسهیل دسترسی گیاه به عناصر غذایی، می‌توانند فعالیت آنزیم‌ها و فرایندهای متابولیک گیاه را نیز بهبود بخشند. خوشوقتی و تاج‌بخش (۱۴۰۱) با بررسی تأثیر کودهای نانوکلات و آمینواسید بر ذرت نشان دادند که بیش‌ترین

1. Kumar
2. Djajadi
3. Misra
4. Shukla

عملکرد زیست توده، میزان نشاسته و پروتئین دانه مربوط به تیمارهای نانوکلات نیتروژن، فسفر و پتاسیم و بیش‌ترین عملکرد دانه و روغن مربوط به آمینوکلات آهن بوده است. همچنین، جاکوماسی و همکاران (۲۰۲۴) نشان دادند که محلول‌پاشی اسیدهای آمینه و مواد مغذی در شرایط کم‌آبی باعث افزایش عملکرد ساقه و تجمع ساکارز در نیشکر شد و تعادل اکسیداسیون و احیای سلولی گیاه را بهبود بخشید.

شعبانی^۱ و همکاران (۱۴۰۴) نشان دادند که کاربرد آمینوکلات سیلیسیم همراه با کود فسفر، باعث افزایش میزان کلروفیل و درصد ماده خشک میوه توت‌فرنگی شد. نتایج این مطالعه نشان داد که آمینوکلات‌ها می‌توانند اثر هم‌افزایی با عناصر پرمصرف مانند فسفر و پتاس داشته باشند و موجب افزایش رشد و عملکرد محصول شوند. دالوند و همکاران (۱۴۰۴) در بررسی تأثیر محلول‌پاشی اسیدهای آمینه مختلف بر شنبلیله نشان دادند که محلول‌پاشی گلوتامیک‌اسید و آسپارتیک‌اسید باعث افزایش وزن خشک کل بوته و شاخص‌های کلروفیل می‌شود و بیش‌ترین تأثیر مثبت مربوط به آسپارتیک‌اسید بود. هوانگ‌های رونگ^۲ و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که سیلیکات‌کلسیم سبب افزایش ارتفاع بوته و عملکرد نیشکر و بهبود ویژگی‌های خاک و غلظت عناصر غذایی برگ شد. در مطالعه سیل‌پور^۳ (۱۴۰۱)، مشخص شد که بیش‌ترین عملکرد میوه و شاخص کلروفیل برگ خیار در اثر مصرف هم‌زمان هیومیک‌اسید و آمینوکلات حاصل شده است.

با توجه به مطالعات انجام‌شده، ترکیب آمینوکلات‌ها و سیلیس می‌تواند نقش مؤثری در بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی نیشکر داشته باشد. با وجود این، اطلاعات محدودی در زمینه اثر کاربرد آمینوکلات پتاس در ترکیب با آمینوکلات سیلیس بر عملکرد و کیفیت نیشکر، به‌ویژه در سنین مختلف بازرویی، وجود دارد و این موضوع ضرورت انجام پژوهش حاضر را نشان می‌دهد. بنابراین، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر کاربرد آمینوکلات سیلیس و پتاس بر ویژگی‌های کمی و کیفی واریته CP69-1062 نیشکر در مزارع پلنت و راتون جنوب خوزستان، انجام شده است و اطلاعات به‌دست‌آمده می‌تواند مبنای بهبود مدیریت تغذیه‌ای این محصول راهبردی مهم باشد.

۳. روش‌شناسی پژوهش

۳.۱. روش کار و تیمارهای آزمایش

به‌منظور بررسی اثر کاربرد آمینوکلات سیلیس و پتاس بر ویژگی‌های کمی و کیفی واریته نیشکر IRC69-1062 در سنین بازرویی مختلف، آزمایشی در سال زراعی ۱۴۰۲ در مزارع شرکت کشت و صنعت دعبل خزاعی واقع در جنوب استان خوزستان اجرا شد. این منطقه در طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۰۸ دقیقه شمالی و در ارتفاع ۱۳ متر از سطح دریا قرار دارد. منطقه مورد مطالعه دارای اقلیم گرم و نیمه‌خشک بوده و میانگین دمای سالانه، حداقل و حداکثر دمای سالانه به‌ترتیب حدود ۲۵/۵، ۱۸/۵ و ۳۲/۵ درجه سانتی‌گراد است. همچنین میانگین رطوبت نسبی سالانه ۵۲ درصد، میانگین بارندگی سالانه حدود ۱۶۰ میلی‌متر و میانگین تبخیر سالانه حدود ۳۲۰۰ میلی‌متر است.

پیش از شروع آزمایش، به‌منظور تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه، از عمق صفر تا ۶۰ سانتی‌متری و از بخش‌های مختلف مزرعه نمونه‌برداری انجام شد. نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل انجام آزمایش

سال	عمق خاک	پتاسیم (میلی گرم بر کیلوگرم)	فسفر (میلی گرم بر کیلوگرم)	نیترژن (درصد)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	بافت خاک	اسیدیته
۱۴۰۴	۰-۶۰	۸۰	۱۵	۰/۰۴	۲/۷	لومی	۷/۴

آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. سنین بازرویی مختلف در سه سطح شامل پلنت، سن بازرویی اول و دوم به عنوان کرت اصلی و سطوح مختلف آمینوکلات سیلیس و پتاس در چهار سطح شامل شاهد بدون آمینوکلات سیلیس و پتاس، آمینوکلات سیلیس و پتاس با سه غلظت ۲، ۴ و ۶ لیتر در هکتار به عنوان کرت فرعی در نظر گرفته شد. در مزارع بازرویی موردنظر ابتدا عملیات زیرشکنی و سپس دیسک انجام شد. آبیاری اول بلافاصله پس از تهیه و آماده‌سازی زمین انجام شد. جهت مبارزه با علف هرز سوروف از علف‌کش متریبوزین به میزان ۲/۵ کیلوگرم در هکتار و جهت مبارزه با علف‌های هرز پهن برگ از علف‌کش توفوردی به میزان ۲/۵ لیتر در هکتار مطابق دستورالعمل فنی و توصیه‌های رایج مدیریت علف‌های هرز در مزارع نیشکر خوزستان استفاده شد.

۲.۳. نحوه اعمال تیمارها

در هر سن بازرویی، به منظور اجرای تیمار آمینوکلات سیلیس و پتاس از سه قطعه زمین به طول ۲۵۰ متر استفاده شد. کود اوره مطابق دستورالعمل شرکت در سه نوبت به هر سه قطعه زمین اختصاص یافت. از محلول پاشی آمینوکلات سیلیس و پتاس در دو مرحله پنجه‌زنی و مرحله رشد سریع یا طولی شدن ساقه (به ترتیب مرحله ۳۹-۳۰ و مرحله ۶۹-۵۰ براساس مقیاس BBCH) به صورت کاربرد برگی و با غلظت‌های صفر، ۲، ۴، ۶ لیتر در هکتار استفاده شد. کود مایع آمینوکلات سیلیس و پتاس مورد استفاده در این آزمایش از شرکت دانش بنیان فناوران کوهرنگ با نام تجاری سیلیکامین پتاسه (ارگانامین + سیلیس + نیترات پتاسیم) تأمین شد.

کشت به صورت دو ردیفه روی پشته، با فاصله ۱۸۰ سانتی متر مرکز تا مرکز فاروها و با تراکم ۱۰ تا ۱۲ ساقه قابل برداشت در هر متر طول ردیف انجام شد. هر کرت آزمایشی شامل پنج خط کاشت به طول ۱۰ متر بود. بین هر واحد آزمایشی پنج خط کاشت به عنوان حاشیه در نظر گرفته شد. نمونه برداری از تیمارهای آزمایشی از خطوط وسط هر کرت انجام شد.

به منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های مورفولوژیک و عملکردی، در انتهای دوره رشد گیاه (نیمه اول آبان‌ماه)، ۳۰ ساقه از هر واحد آزمایشی از سطح خاک به صورت کف برداشت و از مزرعه خارج شد. سپس طول ساقه‌ها تا مریستم انتهایی اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها به عنوان ارتفاع نهایی هر تیمار در نظر گرفته شد. در ادامه، وزن خشک تک ساقه اندازه‌گیری گردید. در انتهای دوره رشد و پیش از برداشت، تعداد ساقه‌های قابل آسیاب در هر واحد آزمایشی در سطحی معادل ۵/۵ مترمربع (سه متر طولی از ردیف کاشت) شمارش و بر این اساس تعداد ساقه قابل آسیاب در واحد سطح برآورد شد. در نهایت، ساقه‌ها به صورت کف برداشت و پس از توزین، عملکرد ساقه هر واحد آزمایشی ثبت گردید.

به منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های کیفی، تعداد ۲۰ ساقه از هر واحد آزمایشی انتخاب و به آزمایشگاه کنترل کیفیت جهت توزین و اندازه‌گیری ویژگی‌های کیفی منتقل گردید. برای تعیین ویژگی‌های کیفی، پس از عصاره‌گیری شربت نیشکر با استفاده از دستگاه آسیاب، درصد ساکارز شربت (پل) و کل مواد جامد محلول (بریکس)

اندازه‌گیری شد. در ادامه، درجه خلوص شربت و درصد قند قابل استحصال براساس داده‌های به‌دست‌آمده محاسبه گردید (اولیویرا^۱ و همکاران، ۲۰۲۲).

درصد ساکارز شربت نیشکر با استفاده از دستگاه ساکاری‌متر (SUMA, 2010. Japan) اندازه‌گیری شد. مقادیر به‌دست‌آمده با بهره‌گیری از جدول پل فاکتور (ضریب اصلاح پل) تصحیح گردید و مقدار پل واقعی براساس رابطه (۱) محاسبه شد.

رابطه (۱) پل فاکتور $\times$ عدد قرائت‌شده توسط دستگاه = پل (درصد)
درصد بریکس شربت حاصل از تیمارهای مختلف با استفاده از دستگاه رفراکتومتر یا بریکس‌متر (SUMA, 2010. Japan) اندازه‌گیری شد. پس از تعیین مقادیر پل و بریکس، درجه خلوص شربت (خلوص) از طریق تقسیم مقدار پل بر بریکس و براساس رابطه (۲) محاسبه گردید.

$$\text{رابطه (۲)} \quad \text{درصد خلوص شربت} = \frac{\text{پل}}{\text{بریکس}} \times 100$$

درصد شکر قابل استحصال با استفاده از روابط (۳) و (۴) محاسبه شد.

$$\text{رابطه (۳)} \quad \text{درصد شکر ناخالص موجود در ساقه} = \frac{100}{\text{کیفیت شربت}}$$

$$\text{رابطه (۴)} \quad \text{درصد شکر ناخالص موجود در ساقه} = 0.83 \times \text{درصد شکر قابل استحصال (درصد)}$$

عملکرد شکر از حاصل ضرب عملکرد ساقه در درصد قند قابل استحصال محاسبه شد.

۳.۳. محاسبات آماری

پیش از انجام تحلیل‌های آماری، نرمال‌بودن داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک بررسی شد و نتایج نشان داد که تمامی متغیرها از توزیع نرمال برخوردار بودند. تجزیه واریانس (ANOVA) داده‌ها با بهره‌گیری از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۳ (SAS Institute, 2012) انجام گرفت و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD)^۲ در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

۴. یافته‌های پژوهشی

۴.۱. تعداد ساقه در واحد سطح

تعداد ساقه در هکتار به‌عنوان یکی از اجزای مهم عملکرد نیشکر به‌طور مستقیم بر تولید ماده خشک و عملکرد شکر اثر می‌گذارد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سن گیاه بر تعداد ساقه در واحد سطح در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری داشت، اما محلول‌پاشی و برهم‌کنش سن گیاه و محلول‌پاشی اثر معنی‌داری بر این ویژگی نداشتند (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین تعداد ساقه مربوط به مزرعه پلنت (۱۶۵ هزار ساقه در هکتار) و کم‌ترین تعداد مربوط به سن بازرویی دوم (۱۳۱ هزار ساقه در هکتار) بود (جدول ۳).

1. Oliveira

2. Least Significant Difference

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد نیشکر تحت سطوح تیماری سن گیاه و محلول‌پاشی

منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد ساقه در هکتار	وزن خشک تک‌ساقه	ارتفاع ساقه	عملکرد نی	عملکرد شکر
بلوک	۲	۲/۶۴	۰/۰۱۱	۱۶۹	۳۲	۰/۶۸
سن گیاه	۲	۳۶/۱**	۰/۲۶۳**	۶۷۰۲**	۳۹۴۹**	۳۸/۷**
خطای a	۴	۰/۵۹	۰/۰۰۵	۵۸۸	۹/۶۱	۰/۳۱
محلول‌پاشی	۳	۱/۱۸ ns	۰/۰۶۳**	۷۶۸**	۱۶۷**	۲/۷۰**
سن گیاه × محلول‌پاشی	۶	۰/۹۸ ns	۰/۰۰۲ ns	۹۷ ns	۱۹/۱ ns	۰/۲۶۹ ns
خطای b	۱۸	۰/۶۰	۰/۰۰۴	۱۴۱	۱۳/۵	۰/۲۲۲
ضریب تغییرات (درصد)		۵/۳۱	۹/۰۶	۴/۸۹	۵/۴۲	۶/۷۹

ns و **: به ترتیب عدم معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد براساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD).

جدول ۳. مقایسه میانگین اثرات سن گیاه و محلول‌پاشی آمینوکلات سیلیس و پتاس بر عملکرد و اجزای عملکرد نیشکر

سطوح تیماری	تعداد ساقه در متر مربع	وزن خشک تک‌ساقه (کیلوگرم)	ارتفاع ساقه (سانتی‌متر)	عملکرد نی (تن در هکتار)	عملکرد شکر (تن در هکتار)
پلنت	۱۶/۵a	۰/۸۲a	۲۶۹/۲a	۸۸/۲a	۹/۱a
کرت اصلی (سن گیاه)	بازرویی اول	۱۴/۱b	۰/۷۵a	۲۳۶/۲b	۶۱b
	بازرویی دوم	۱۳/۱c	۰/۵۳b	۲۲۲/۶b	۵۴c
بدون محلول‌پاشی (شاهد)	۱۴/۱a	۰/۵۹b	۲۳۱/۴b	۶۱/۸b	۶/۳b
کرت فرعی (لیتر در هکتار محلول‌پاشی)	۲	۱۴/۹a	۰/۷۱a	۲۴۰/۱a	۶۸/۲a
	۴	۱۴/۵a	۰/۷۴a	۲۴۸/۲a	۷۰/۳a
	۶	۱۴/۸a	۰/۷۶a	۲۵۲/۳a	۷۱a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون براساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

۲.۴. وزن خشک تک‌ساقه

وزن تک‌ساقه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سن گیاه و محلول‌پاشی قرار گرفت، اما برهم‌کنش سن گیاه و محلول‌پاشی بر این ویژگی اثری نداشت (جدول ۲). بیش‌ترین وزن تک‌ساقه در مزرعه پلنت (۰/۸۲ کیلوگرم) و کم‌ترین مقدار آن در بازرویی دوم (۰/۵۳ کیلوگرم) مشاهده شد که با کاهش ۳۵ درصدی روبه‌رو شد. این تفاوت‌ها احتمالاً ناشی از برتری فیزیولوژیک کشت پلنت نسبت به سنین بازرویی است. در کشت پلنت، سیستم ریشه‌ای جوان‌تر و فعال‌تر، ظرفیت بیش‌تری برای جذب آب و عناصر غذایی فراهم می‌کند که این امر موجب حفظ هدایت روزنه‌ای، افزایش سرعت فتوسنتز و تولید بیش‌تر مواد فتوسنتزی می‌شود. علاوه بر این، کارایی بالاتر انتقال مواد فتوسنتزی از برگ‌ها (منبع) به ساقه (مخزن) و تخصیص مؤثرتر ماده خشک، تجمع بیش‌تر ساکارز و در نهایت افزایش عملکرد و کیفیت محصول را به‌دنبال دارد. در مقابل، در سنین بازرویی متوالی، کاهش تدریجی فعالیت و کارایی سیستم ریشه، کاهش جذب عناصر غذایی، کاهش ظرفیت فتوسنتزی و محدودشدن انتقال ساکارز به ساقه از مهم‌ترین عوامل کاهش عملکرد و کیفیت گزارش شده‌اند (پارک و همکاران، ۲۰۰۵؛ شوکلا و همکاران، ۲۰۰۹). هم‌چنین محلول‌پاشی آمینوکلات سیلیس و پتاس پس از شکل‌گیری ساقه‌ها منجر به افزایش معنی‌دار وزن خشک تک‌ساقه شد، به‌طوری‌که کم‌ترین وزن تک‌ساقه مربوط به تیمار بدون محلول‌پاشی (۰/۵۹ کیلوگرم) و بالاترین وزن در غلظت ۶ در هزار (۰/۷۶ کیلوگرم) و با افزایش ۲۹ درصدی ثبت شد.

۳.۴. ارتفاع ساقه

ارتفاع ساقه نیشکر به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سن گیاه و محلول‌پاشی با آمینوکلات سیلیس و پتاس قرار گرفت، اما برهم‌کنش سن گیاه و محلول‌پاشی بر این ویژگی تأثیری نداشت (جدول ۲). بیش‌ترین ارتفاع ساقه در مزرعه پلنت (۲۶۹ سانتی‌متر) و کم‌ترین ارتفاع مربوط به سن بازرویی دوم (۲۲۳ سانتی‌متر) با کاهش ۱۷ درصدی در مقایسه با مزرعه پلنت مشاهده شد. تیمار بدون محلول‌پاشی کم‌ترین ارتفاع ساقه (۲۳۱ سانتی‌متر) را به خود اختصاص داد، درحالی‌که در بین غلظت‌های کودی محلول‌پاشی با غلظت ۶ در هزار (۲۵۲ سانتی‌متر) با افزایش ۱۳ درصدی در مقایسه با شاهد بدون محلول‌پاشی دارای بیش‌ترین ارتفاع ساقه بود. این تفاوت‌ها نشان می‌دهد که هر دو عامل سن گیاه و تقویت با عناصر میکرو و ماکرو نقش مهمی در رشد و ارتفاع ساقه دارند. در این پژوهش، سن گیاه تأثیر قابل‌توجهی بر ارتفاع ساقه داشت، به‌طوری‌که گیاهان بازرویی اول و دوم به‌ترتیب ارتفاع کم‌تری نسبت به گیاهان پلنت به میزان ۱۲ و ۱۷ درصد داشتند. از سوی دیگر، محلول‌پاشی با آمینوکلات سیلیس و پتاس با غلظت ۲، ۴ و ۶ لیتر در هکتار به‌ترتیب موجب افزایش ۴، ۷ و ۱۰ درصدی ارتفاع ساقه شد.

۴.۴. عملکرد نی

عملکرد نی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر هر دو عامل سن گیاه و محلول‌پاشی آمینوکلات ترکیبی سیلیس و پتاس قرار گرفت، اما برهم‌کنش سن گیاه و محلول‌پاشی بر این ویژگی اثری نداشت (جدول ۲). بیش‌ترین عملکرد نی در گیاهان پلنت (۸۸ تن در هکتار) و کم‌ترین آن در سن بازرویی دوم (۵۴ تن در هکتار) با کاهش ۳۸ درصدی مشاهده شد. هم‌چنین محلول‌پاشی با غلظت بالاتر آمینوکلات از طریق بالاترین ارتفاع ساقه منجر به افزایش ۱۵ درصدی عملکرد نی (۷۱ تن در هکتار) در مقایسه با تیمار بدون محلول‌پاشی (۶۲ تن در هکتار) شد (جدول ۳). اگرچه افزایش ارتفاع ساقه می‌تواند با افزایش عملکرد نی همراه باشد، اما عملکرد نهایی حاصل برهم‌کنش چندین مؤلفه عملکرد از جمله تعداد ساقه قابل برداشت در واحد سطح، قطر ساقه، وزن تک‌ساقه، تجمع ماده خشک و کارایی فتوسنتز است. بنابراین، افزایش عملکرد مشاهده‌شده در این پژوهش را نمی‌توان تنها به افزایش ارتفاع ساقه نسبت داد، بلکه احتمالاً بهبود هم‌زمان ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه، از جمله افزایش تولید و انتقال مواد فتوسنتزی، تخصیص بهتر ماده خشک به ساقه و بهبود جذب آب و عناصر غذایی، در این واکنش نقش داشته است. چنین نتایجی با گزارش‌های پیشین در نیشکر مطابقت دارد که عملکرد ساقه را نتیجه اثر تجمعی مؤلفه‌های مختلف رشد و عملکرد نشان داده‌اند (پارک و همکاران، ۲۰۰۵).

۵.۴. عملکرد شکر

عملکرد شکر به‌طور معنی‌داری تنها تحت تأثیر هر دو عامل سن گیاه و محلول‌پاشی آمینوکلات ترکیبی سیلیس و پتاس قرار گرفت، اما برهم‌کنش سن گیاه و محلول‌پاشی بر این ویژگی اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۲). بیش‌ترین عملکرد شکر در گیاهان پلنت (۹/۱ تن در هکتار) و کم‌ترین مقدار آن در سن بازرویی دوم (۵/۱ تن در هکتار) مشاهده شد. هم‌چنین کم‌ترین عملکرد شکر مربوط تیمار بدون محلول‌پاشی (۶/۳ تن در هکتار) بود، درحالی‌که محلول‌پاشی با غلظت بالاتر آمینوکلات مورد استفاده از طریق بالاترین عملکرد نی منجر به عملکرد بالاتر شکر (۷/۵ تن در هکتار) با افزایش ۱۹ درصدی در مقایسه با تیمار بدون محلول‌پاشی شد.

۴.۶. شکر قابل استحصال

شکر قابل استحصال تحت تأثیر سن گیاه و محلول‌پاشی و هم‌چنین برهم‌کنش سن گیاه و محلول‌پاشی قرار گرفت (جدول ۴). برهم‌کنش سن گیاه و محلول‌پاشی نیز نشان داد که اثر محلول‌پاشی در سنین مختلف بازرویی گیاه متفاوت بود و بیش‌ترین میزان شکر قابل استحصال در سن بازرویی دوم و محلول‌پاشی غلظت ۴ در هزار (۱۱ درصد) مشاهده شد (جدول ۶)، به‌عبارت دیگر، گیاهان بازرویی که ظرفیت بالاتری برای تجمع قند داشتند، بیش‌ترین بهره‌برداری از محلول‌پاشی را نشان دادند.

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس صفات کیفی شربت نیشکر، درصد رطوبت و نیتروژن غلاف برگ تحت سطوح تیماری سن گیاه و محلول‌پاشی

منابع تغییر	درجه آزادی	شکر قابل استحصال	کل مواد جامد محلول شربت	ساکارز شربت	خلوص شربت	رطوبت غلاف برگ	درصد نیتروژن برگ
بلوک	۲	۰/۱۰۵	۰/۱۹	۰/۰۷	۵/۴۳	۱/۳۶	۰/۰۰۳
سن گیاه	۲	۰/۲۳*	۴/۲۵**	۰/۱۱ns	۵۰/۹**	۲/۷۸**	۰/۰۱*
خطای a	۴	۰/۰۵۳	۰/۰۳	۰/۰۳۰	۱/۳۱	۰/۱۹	۰/۰۰۸
محلول‌پاشی	۳	۰/۶۷**	۰/۱۸ ns	۰/۷۱**	۷/۵۰*	۱۱/۹**	۰/۰۰۵ ns
سن گیاه × محلول‌پاشی	۶	۰/۲۶*	۰/۴۶**	۰/۳۰**	۱۲/۰**	۱۴/۱**	۰/۰۲۱**
خطای b	۱۸	۰/۰۶۷	۰/۰۷	۰/۰۵۶	۲/۲۴	۱/۲۵	۰/۰۰۴
ضریب تغییرات (درصد)	—	۲/۴۹	۱/۳۶	۱/۳۸	۱/۷۷	۱/۵۶	۴/۹۸

ns و **: به‌ترتیب عدم معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد براساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD).

جدول ۵. مقایسه میانگین برهم‌کنش سن گیاه و محلول‌پاشی از نظر صفات کیفی شربت نیشکر، درصد رطوبت و نیتروژن غلاف برگ

سن گیاه	سطوح محلول‌پاشی (لیتر در هکتار)	درصد شکر قابل استحصال	درصد کل مواد جامد محلول شربت	درصد ساکارز شربت	درصد خلوص شربت	درصد رطوبت غلاف برگ	درصد نیتروژن برگ
پلنت	بدون محلول‌پاشی (شاهد)	۱۰/۲d-f	۲۰/۶cd	۱۷/۲bc	۸۲/۴c	۷۱/۲bc	۱/۲c-e
	۲	۱۰/۳c-e	۲۱/۶a	۱۷/۲ab	۸۰/۲c	۷۱/۹a-c	۱/۲e
	۴	۱۰/۱ef	۲۱/۲ab	۱۷/۱bc	۸۰/۷de	۷۲/۵ab	۱/۴a
	۶	۱۰/۶a-d	۲۱/۱bc	۱۷/۷a	۸۴bc	۷۲/۵ab	۱/۲de
بازرویی اول	بدون محلول‌پاشی (شاهد)	۱۰/۱ef	۲۰/۲d-f	۱۶/۹cd	۸۲/۴c	۶۸/۱d	۱/۲c-e
	۲	۱۰/۷a-c	۲۰/۲d-f	۱۷/۴ab	۸۶/۲ab	۷۱/۱bc	۱/۲de
	۴	۱۰/۵b-e	۲۰/۳d-f	۱۷/۲bc	۸۴/۴bc	۷۲/۵ab	۱/۲c-e
	۶	۱۰/۴b-e	۱۹/۹fg	۱۷/۱bc	۸۶/۲ab	۷۲/۵ab	۱/۲b-e
بازرویی دوم	بدون محلول‌پاشی (شاهد)	۹/۸f	۱۹/۹fg	۱۶/۵d	۸۲/۹cd	۷۰/۷bc	۱/۴ab
	۲	۱۰/۷a-c	۱۹/۶g	۱۷/۲bc	۸۷/۶a	۷۱/۸a-c	۱/۳a-c
	۴	۱۱a	۲۰/۱e-f	۱۷/۶a	۸۷/۷a	۷۰/۱c	۱/۲c-e
	۶	۱۰/۸ab	۲۰/۵de	۱۷/۶a	۸۶ab	۷۲/۳a	۱/۳b-d

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون براساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

۴.۷. کل مواد جامد محلول شربت

کل مواد جامد محلول شربت تحت تأثیر معنی‌دار سن گیاه و برهم‌کنش سن گیاه و محلول‌پاشی قرار گرفت (جدول ۴). برهم‌کنش‌ها نشان داد که واکنش کل مواد جامد محلول شربت به محلول‌پاشی در سنین مختلف بازرویی متفاوت بود (جدول ۵). در گیاهان پلنت، بیش‌ترین مقدار در غلظت ۲ لیتر در هکتار (۲۱/۶ درصد) و کم‌ترین مقدار در تیمار شاهد (۲۰/۶ درصد) مشاهده شد. در سن بازرویی اول، این تغییرات در اثر محلول‌پاشی محدود بود و در گیاهان بازرویی دوم نیز

اگرچه محلول‌پاشی با غلظت ۶ لیتر در هکتار موجب افزایش کل مواد جامد محلول شربت شد، اما غلظت‌های ۲ و ۴ لیتر در هکتار تغییر محسوسی نسبت به شاهد ایجاد نکردند. این نتایج نشان می‌دهد که اثر محلول‌پاشی بر کل مواد جامد محلول شربت به سن گیاه وابسته بوده و واکنش این ویژگی در مراحل مختلف بازرویی یکسان نبود.

۴.۸. درصد ساکارز شربت

درصد ساکارز شربت تحت تأثیر محلول‌پاشی و برهم‌کنش سن گیاه و محلول‌پاشی قرار گرفت (جدول ۴). برهم‌کنش معنی‌دار سن گیاه و محلول‌پاشی نشان داد که واکنش درصد ساکارز شربت به محلول‌پاشی در سنین مختلف بازرویی متفاوت بود. در گیاهان بازرویی دوم، محلول‌پاشی با غلظت‌های ۴ و ۶ لیتر در هکتار، درصد ساکارز شربت را از ۱۶/۵ درصد در تیمار شاهد به ۱۷/۶ درصد افزایش داد، درحالی‌که میزان افزایش در گیاهان پلنت و بازرویی اول کم‌تر بود (جدول ۵). این نتایج نشان می‌دهد که افزایش درصد ساکارز شربت در واکنش گیاه به محلول‌پاشی به سن بازرویی وابسته است و اثر این تیمار در گیاهان بازرویی دوم بارزتر از سایر سنین بود. این واکنش احتمالاً به تفاوت‌های فیزیولوژیکی گیاهان در مراحل مختلف بازرویی و بهبود انتقال و تجمع ساکارز در اثر تأمین پتاسیم و سیلیس مرتبط است، اگرچه سازوکارهای دقیق آن نیاز به بررسی و مطالعات بیش‌تری دارد.

۴.۹. خلوص شربت

خلوص شربت تحت تأثیر سن گیاه، محلول‌پاشی و برهم‌کنش سن گیاه و محلول‌پاشی قرار گرفت (جدول ۴). واکنش خلوص شربت به محلول‌پاشی در سنین مختلف بازرویی یکسان نبود (جدول ۵). در گیاهان پلنت، محلول‌پاشی تأثیر محدودی بر خلوص شربت داشت و مقادیر خلوص در دامنه ۸۰/۳ تا ۸۴ درصد قرار گرفت. در بازرویی اول، کاربرد آمینوکلات سیلیس و پتاس، به‌ویژه در غلظت‌های ۲ و ۶ لیتر در هکتار، موجب افزایش خلوص شربت تا ۸۶/۲ درصد شد. بیش‌ترین خلوص شربت نیز در گیاهان بازرویی دوم و در تیمارهای ۲ و ۴ لیتر در هکتار به‌ترتیب با مقادیر ۸۷/۶ و ۸۷/۷ درصد مشاهده شد، درحالی‌که کم‌ترین مقدار مربوط به گیاهان پلنت تیمار شده با غلظت ۲ لیتر در هکتار (۸۰/۳ درصد) بود. این نتایج نشان می‌دهد که گیاهان بازرویی، به‌ویژه بازرویی دوم، نسبت به محلول‌پاشی آمینوکلات سیلیس و پتاس واکنش مطلوب‌تری از نظر بهبود خلوص شربت داشتند. به‌طور کلی، افزایش خلوص شربت با افزایش سن بازرویی گیاه را می‌توان به افزایش نسبت ساکارز به کل مواد جامد محلول و کاهش ترکیبات غیرقندی نسبت داد که در مراحل اولیه رشد بیش‌تر در فرایندهای رویشی مصرف می‌شوند (پارک و همکاران، ۲۰۰۵). هم‌چنین، محلول‌پاشی آمینوکلات سیلیس و پتاس احتمالاً از طریق بهبود فتوسنتز، افزایش انتقال ساکارز به ساقه و کاهش تجمع ناخالصی‌های محلول در شربت، موجب افزایش خلوص شربت شده است. این موضوع بیانگر آن است که کارایی محلول‌پاشی در بهبود کیفیت شربت، به مرحله رشد و سن بازرویی گیاه وابسته بوده و در گیاهان بازرویی بیش از گیاهان پلنت است.

۴.۱۰. رطوبت غلاف برگ

رطوبت غلاف برگ به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سن گیاه و محلول‌پاشی و برهم‌کنش سن گیاه و محلول‌پاشی قرار گرفت (جدول ۴). واکنش رطوبت غلاف برگ به محلول‌پاشی در سنین مختلف بازرویی متفاوت بود (جدول ۵). در گیاهان پلنت، محلول‌پاشی باعث افزایش جزئی رطوبت غلاف برگ شد و بیش‌ترین مقدار در غلظت‌های ۴ و ۶ لیتر در هکتار (۷۲/۵ درصد) مشاهده شد. در بازرویی اول نیز بیش‌ترین رطوبت غلاف برگ در غلظت‌های ۴ و ۶ لیتر در هکتار

(۷۲/۵ درصد) و کم‌ترین مقدار در تیمار شاهد (۶۸/۱ درصد) ثبت شد. در بازروی دوم، بیش‌ترین رطوبت در غلظت ۶ لیتر در هکتار (۷۳/۳ درصد) و کم‌ترین مقدار در غلظت ۴ لیتر در هکتار (۷۰/۱ درصد) مشاهده شد. این نتایج نشان داد که واکنش رطوبت غلاف برگ به محلول‌پاشی وابسته به سن بازروی بوده و گیاهان بازرویی، به‌ویژه بازروی اول، واکنش بیش‌تری نسبت به گیاهان پلنت داشتند. به‌طور کلی، افزایش رطوبت غلاف برگ در تیمارهای محلول‌پاشی را می‌توان به نقش پتاسیم در تنظیم فشار اسمزی و نقش سیلیس در کاهش تعرق و بهبود وضعیت آبی گیاه نسبت داد که موجب افزایش ظرفیت نگهداری آب در بافت‌های برگ، به‌ویژه در گیاهان بازرویی، شده است.

۴.۱۱. درصد نیتروژن برگ

نتایج نشان داد که درصد نیتروژن برگ تحت تأثیر سن گیاه و برهم‌کنش سن گیاه و محلول‌پاشی قرار گرفت (جدول ۴). برهم‌کنش‌ها نیز نشان داد که در گیاهان بازرویی، محلول‌پاشی با آمینوکلات سیلیس و پتاس باعث افزایش اندک درصد نیتروژن برگ شد (جدول ۵). به‌طور کلی، درصد نیتروژن برگ با سن گیاه افزایش یافت و محلول‌پاشی نقش بهبوددهنده داشت. این امر به‌ویژه در گیاهان بازرویی که توانایی جذب و ذخیره‌سازی نیتروژن کاهش یافته است بیش‌تر مشهود بود.

۵. بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که سنین مختلف پلنت و بازرویی گیاه نقش تعیین‌کننده‌ای در شکل‌گیری اجزای عملکرد نیشکر دارد، به‌طوری‌که با افزایش سن از مرحله پلنت به بازرویی‌ها، تعداد ساقه در واحد سطح کاهش یافت. این کاهش را می‌توان به رقابت درون بوته‌ای، کاهش فعالیت سیستم ریشه‌ای، کاهش فعالیت مرستم‌های جانبی و کاهش توان تولید جوانه‌های جدید در سنین بازرویی نسبت داد. در گیاهان پلنت، وجود ریشه‌های جوان و فعال و قلمه‌های سالم، امکان تولید ساقه‌های جانبی بیش‌تری را فراهم می‌کند، درحالی‌که در بازرویی‌ها به‌ویژه بازرویی دوم، کاهش کیفیت ریزوم‌ها و مصرف ذخایر قبلی، ظرفیت تولید ساقه را محدود می‌کند. این نتایج با گزارش‌های پارک و همکاران (۲۰۰۵) و شوکلا و همکاران (۲۰۲۳) مبنی بر کاهش تدریجی عملکرد و اجزای عملکرد در اثر افزایش سن بازرویی و کاهش کارایی سیستم ریشه و جذب عناصر غذایی مطابقت داشت. اورگسا^۱ و کیاتا^۲ (۲۰۲۱) نیز کاهش تعداد ساقه در واحد سطح را در گیاهان بازرویی نسبت به کشت پلنت گزارش کرده‌اند.

عدم تأثیر معنی‌دار محلول‌پاشی بر تعداد ساقه نشان می‌دهد که این ویژگی بیش‌تر در مراحل اولیه رشد و استقرار گیاه تعیین می‌شود و کاربرد تیمارهای تغذیه‌ای پس از تشکیل ساقه‌ها تأثیر محسوسی بر تعداد ساقه‌های قابل برداشت ندارد. در مقابل، ویژگی‌های رشدی ساقه شامل وزن تک‌ساقه و ارتفاع ساقه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سن گیاه و محلول‌پاشی قرار گرفتند. برتری گیاهان پلنت در این ویژگی‌ها را می‌توان به فعالیت بیش‌تر سیستم ریشه، جذب مؤثرتر آب و عناصر غذایی و ظرفیت بالاتر فتوسنتز و تولید ماده خشک نسبت داد. کاهش این صفات در گیاهان بازرویی نیز احتمالاً ناشی از کاهش تدریجی کارایی سیستم ریشه، کاهش جذب عناصر غذایی و محدود شدن انتقال مواد فتوسنتزی به ساقه است (پارک و همکاران، ۲۰۰۵؛ شوکلا و همکاران، ۲۰۲۳). از سوی دیگر، افزایش وزن خشک تک‌ساقه و ارتفاع ساقه در اثر محلول‌پاشی آمینوکلات سیلیس و پتاس را می‌توان به نقش پتاسیم در تنظیم فشار اسمزی، فعال‌سازی آنزیم‌ها و انتقال کربوهیدرات‌ها و نیز نقش سیلیس در بهبود استحکام دیواره سلولی، افزایش کارایی فتوسنتز و بهبود

جذب عناصر غذایی نسبت داد (اپستین^۱، ۱۹۹۹؛ میتال^۲ و همکاران، ۲۰۲۰؛ حمدی شنگری، ۱۴۰۴). همچنین ساختار کلاتی این ترکیب موجب بهبود جذب و تحرک عناصر غذایی شده و امکان استفاده مؤثر از آن‌ها را حتی در مراحل پس از تشکیل ساقه فراهم می‌کند. این نتایج با یافته‌های سایر پژوهش‌گران مبنی بر نقش اسیدهای آمینه در افزایش کارایی جذب عناصر و بهبود رشد گیاه مطابقت داشت (سوری^۳ و همکاران، ۲۰۱۶؛ جاکوماسی و همکاران، ۲۰۲۴).

عملکرد نی به‌عنوان برآیند اجزای عملکرد، به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سن گیاه و محلول‌پاشی قرار گرفت. با این‌حال، نتایج نشان داد که سهم سن گیاه در تغییرات عملکرد نی به‌مراتب بیش‌تر از محلول‌پاشی بود. به‌گونه‌ای که بیش‌ترین عملکرد در گیاهان پلنت و کم‌ترین مقدار در بازرویی دوم مشاهده شد. این موضوع بیانگر آن است که وضعیت فیزیولوژیک گیاه و کاهش تدریجی کارایی سیستم ریشه با افزایش سن بازرویی، مهم‌ترین عامل محدودکننده عملکرد نی است (پارک و همکاران، ۲۰۰۵؛ شوکلا و همکاران، ۲۰۲۳). در مقابل، محلول‌پاشی آمینوکلات سیلیس و پتاس با بهبود فرایندهای فتوسنتزی، افزایش استحکام ساقه و تسهیل انتقال مواد فتوسنتزی، موجب افزایش عملکرد نی در تمامی سنین شد، اما نتوانست اختلاف عملکرد ناشی از افزایش سن بازرویی را به‌طور کامل جبران کند. از آنجاکه برهم‌کنش سن گیاه و محلول‌پاشی برای عملکرد نی معنی‌دار نبود، می‌توان نتیجه گرفت که پاسخ گیاه به محلول‌پاشی در سنین مختلف بازرویی تقریباً مشابه بوده و این تیمار صرف‌نظر از سن گیاه، موجب بهبود عملکرد نی شده است. این نتایج با گزارش‌های مربوط به نقش پتاسیم در انتقال کربوهیدرات‌ها و نقش سیلیس در بهبود فتوسنتز، افزایش تحمل تنش و افزایش زیست‌توده مطابقت داشت (بوختیار و همکاران، ۲۰۱۲؛ د کامارگو^۴ و همکاران، ۲۰۱۷؛ جاکوماسی و همکاران، ۲۰۲۴؛ شعبانی و همکاران، ۱۴۰۴). در مورد عملکرد شکر نیز اگرچه هر دو عامل سن گیاه و محلول‌پاشی اثر معنی‌داری داشتند، اما اثر سن گیاه قوی‌تر از محلول‌پاشی بود، به‌طوری‌که بیش‌ترین عملکرد شکر در گیاهان پلنت به‌دست آمد و با افزایش سن بازرویی کاهش یافت. در مقابل، محلول‌پاشی موجب افزایش عملکرد شکر در تمام سنین شد، اما برهم‌کنش سن گیاه و محلول‌پاشی معنی‌دار نبود. بنابراین، اثر مثبت آمینوکلات سیلیس و پتاس بر عملکرد شکر مستقل از سن گیاه بوده و شدت واکنش در پلنت و بازرویی‌ها تفاوت معنی‌داری نداشت.

افزایش عملکرد شکر در اثر محلول‌پاشی آمینوکلات سیلیس و پتاس را می‌توان به نقش مکمل سیلیس و پتاسیم در بهبود فرایندهای فیزیولوژیک گیاه نسبت داد. پتاسیم با افزایش کارایی فتوسنتز، فعال‌سازی آنزیم‌های مرتبط با متابولیسم کربوهیدرات، تنظیم فشار اسمزی و تسهیل انتقال ساکارز از برگ‌ها به ساقه، موجب افزایش تجمع ساکارز و بهبود شاخص‌های کیفی شربت می‌شود. از سوی دیگر، سیلیس با حفظ پایداری غشاها و کلروپلاست، افزایش محتوای کلروفیل، بهبود کارایی فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و کارایی مصرف آب، ضمن کاهش اثرات تنش‌های محیطی، تولید فتوسنتزکننده‌ها را افزایش می‌دهد. برهم‌کنش هم‌افزایی این دو عنصر با افزایش تولید، انتقال و ذخیره ساکارز در ساقه به بهبود هم‌زمان عملکرد نی، کیفیت شربت و در نهایت عملکرد شکر منجر می‌شود (جاکوماسی و همکاران، ۲۰۲۴؛ شوکلا و همکاران، ۲۰۲۳؛ خونتیانگ^۵ و همکاران، ۲۰۲۵).

نتایج مربوط به شکر قابل‌استحصال، درصد ساکارز و خلوص شربت نشان داد که این ویژگی‌ها علاوه بر تأثیر سن بازرویی گیاه، به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر محلول‌پاشی و برهم‌کنش آن با سن بازرویی قرار گرفتند. افزایش این شاخص‌ها در گیاهان بازرویی احتمالاً نشان‌دهنده تغییر در کیفیت شربت و نسبت ساکارز به سایر مواد محلول است. با

1. Epstein

2. Mittal

3. Souri

4. De Camargo

5. Khontiang

این‌حال، از آنجاکه در این پژوهش مقدار کل ساکارز اندازه‌گیری نشده است، این نتایج را نمی‌توان به افزایش تجمع کل ساکارز در ساقه نسبت داد. اثر مثبت محلول‌پاشی نیز به بهبود انتقال کربوهیدرات‌ها، افزایش فعالیت فتوسنتزی و کاهش اتلاف شیره قابل‌استحصال نسبت داده می‌شود (خونتیانگ و همکاران، ۲۰۲۵). سیلیس با افزایش تجمع ساکارز و کاهش آسیب‌های ناشی از تنش، کیفیت عصاره نیشکر را ارتقا می‌دهد (ال سید^۱ و همکاران، ۲۰۱۲). علاوه بر این، ترکیب سیلیس با عناصری مانند پتاسیم می‌تواند از طریق بهبود پاسخ‌های فیزیولوژیک، مانند افزایش هدایت روزنه‌ای و تجمع مواد جامد محلول، به بازیابی شکر و افزایش قند قابل‌استحصال کمک کند (ال سید و همکاران، ۲۰۱۲؛ حمدی شنگری و همکاران، ۱۴۰۴). نتایج سایر پژوهش‌گران نیز نشان دادند که کاربرد آمینوکلات‌ها و عناصر غذایی می‌تواند محتوای ساکارز و کیفیت شیره نیشکر را افزایش دهد (چن^۲ و همکاران، ۲۰۲۱؛ دونگ^۳ و همکاران، ۲۰۱۹). همچنین افزایش خلوص شربت با کاهش قندهای احیاکننده و افزایش نسبت ساکارز به مواد جامد محلول مرتبط است (سیلوا^۴ و همکاران، ۲۰۲۲). در خصوص کل مواد جامد محلول شربت، برهم‌کنش محلول‌پاشی با سن بازروی گیاه نشان داد که واکنش این ویژگی به تیمارهای تغذیه‌ای به سنین بازروی وابسته است. به‌طوری‌که در برخی سنین بازروی، محلول‌پاشی موجب افزایش کل مواد جامد محلول شربت شد. این تفاوت احتمالاً ناشی از تغییر الگوی تخصیص مواد فتوسنتزی و وضعیت فیزیولوژیک گیاه در مراحل مختلف رشد است و نشان می‌دهد که تأثیر آمینوکلات سیلیس و پتاسیم به زمان کاربرد و مرحله‌نموی گیاه بستگی دارد. این نتایج با گزارش پارک و همکاران (۲۰۰۵) مبنی بر تغییر الگوی تجمع مواد محلول در مراحل مختلف رشد نیشکر مطابقت داشت.

ویژگی‌های فیزیولوژیک برگ نیز تحت تأثیر سنین مختلف بازروی و محلول‌پاشی قرار گرفتند، به‌طوری‌که در بازروی‌ها محلول‌پاشی آمینوکلات سیلیس و پتاس موجب افزایش معنی‌دار رطوبت برگ شد، اما در گیاهان پلنت تغییر محسوسی مشاهده نشد. این نتایج نشان می‌دهد محلول‌پاشی با بهبود استحکام دیواره سلولی (سیلیس) و تنظیم فشار اسمزی (پتاس)، ظرفیت حفظ آب و تحمل تنش را به‌ویژه در گیاهان بازروی افزایش می‌دهد، درحالی‌که برگ‌های جوان پلنت به‌طور ذاتی توان نگهداری آب بالاتری داشتند. کاهش رطوبت غلاف برگ با افزایش سن بازروی نشان‌دهنده کاهش ظرفیت نگهداری آب در بافت‌های گیاهان بازروی است، درحالی‌که محلول‌پاشی با تنظیم فشار اسمزی توسط پتاس و کاهش تعرق به‌واسطه سیلیس، موجب افزایش رطوبت برگ‌ها به‌ویژه در بازروی‌ها شد (بوختیار و همکاران، ۲۰۱۲). در این پژوهش افزایش نیتروژن برگ با افزایش سن بازروی گیاه می‌تواند به‌دلیل کاهش رشد سریع ساقه و تمرکز انرژی و منابع در برگ‌ها و بافت‌های مسن‌تر باشد، که امکان جذب و ذخیره‌سازی بیش‌تر نیتروژن را فراهم می‌کند (پارک و همکاران، ۲۰۰۵). اثر مثبت محلول‌پاشی بر این ویژگی نیز می‌تواند ناشی از بهبود جذب و انتقال نیتروژن توسط ساختار کلاتی عناصر باشد، که امکان استفاده مؤثرتر از نیتروژن موجود در خاک را فراهم می‌کند (خونتیانگ و همکاران، ۲۰۲۵). به‌طورکلی، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که سن گیاه و مدیریت تغذیه برگ‌ها هر دو بر کمیت و کیفیت محصول نیشکر تأثیرگذار هستند. گیاهان پلنت از نظر تولید زیست‌توده برتری نسبی داشتند، درحالی‌که گیاهان بازروی از نظر برخی شاخص‌های کیفی شربت، از جمله شکر قابل‌استحصال، درصد ساکارز و خلوص شربت، مقادیر بالاتری نشان دادند. محلول‌پاشی آمینوکلات سیلیس و پتاس به‌عنوان یک راه‌کار تغذیه‌ای مؤثر، با افزایش ارتفاع و وزن تک‌ساقه، بهبود عملکرد نی و عملکرد شکر و همچنین بهبود برخی شاخص‌های کیفی شربت، توانست بخشی از کاهش عملکرد

ناشی از افزایش سن بازرویی را جبران کند. این اثر احتمالاً از طریق بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه، افزایش کارایی فتوسنتز، تسهیل انتقال کربوهیدرات‌ها و بهبود کارایی مصرف آب حاصل شده است.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که سن گیاه مهم‌ترین عامل مؤثر بر عملکرد و کیفیت نیشکر بود. گیاهان پلنت از نظر تعداد ساقه، وزن خشک تک‌ساقه، ارتفاع ساقه، عملکرد نی و عملکرد شکر برتری داشتند، درحالی‌که گیاهان بازرویی از نظر شکر قابل‌استحصال، درصد ساکارز و خلوص شربت مقادیر بالاتری را نشان دادند. محلول‌پاشی آمینوکلات ترکیبی سیلیس و پتاس نیز باعث بهبود وزن خشک تک‌ساقه، ارتفاع ساقه، عملکرد نی، عملکرد شکر و برخی شاخص‌های کیفی شربت شد. هم‌چنین، معنی‌دار بودن برهم‌کنش سن گیاه و محلول‌پاشی برای برخی ویژگی‌های کیفی نشان داد که واکنش این ویژگی‌ها به محلول‌پاشی به سن بازرویی گیاه وابسته است. بر این اساس، استفاده از آمینوکلات ترکیبی سیلیس و پتاس، به‌عنوان مکمل برنامه تغذیه خاکی، به‌ویژه در مزارع بازرویی، می‌تواند راه‌کاری مناسب برای بهبود عملکرد و کیفیت محصول باشد. با این‌حال، با توجه به نیاز غذایی بالای نیشکر برای تولید زیست‌توده، محلول‌پاشی کود یک جایگزین مطلق برای کوددهی خاکی محسوب نمی‌شود و باید در قالب یک برنامه تغذیه تلفیقی و با انتخاب غلظت و زمان کاربرد متناسب با سن بازرویی مزرعه مورد استفاده قرار گیرد.

۷. تشکر و قدردانی

از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز در راستای تأمین بخشی از هزینه‌های این پژوهش به‌شماره پژوهانه SCU.AA1402.96، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

- حمدی سنگری، علی؛ راهنما، افراسیاب؛ منصفی، علی؛ روشنفکر، حبیب‌اله و نوروزی، حسین (۱۴۰۴). اثر محلول‌پاشی برگ‌ی سیلیکون بر عملکرد و کیفیت نیشکر (*Saccharum officinarum* L.) در شرایط کم‌آبایی. *نشریه علوم زراعی/ایران*، ۲۷(۱)، ۳۹-۲۳.
- خوشوقتی، حسین و تاج‌بخش، مهدی (۱۴۰۱). بررسی تأثیر محلول‌پاشی کودهای مختلف نانو و آمینو اسید بر برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی دانه و عملکرد گیاه ذرت. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۴(۱)، ۲۳۷-۲۵۲.
- دالوند، سپیده؛ مومینوند، حسن؛ زاهدی، بهمن و احتشام‌نیا، عبدالله (۱۴۰۴). اثر محلول‌پاشی برگ‌ی گلوتامیک‌اسید، آسپارتیک‌اسید و نیکوتینیک‌اسید بر رشد، عملکرد و ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.). *تولیدات گیاهی*، ۴۸(۳)، ۴۰۱-۴۱۸.
- سیلپسور، محسن (۱۴۰۱). مطالعه تأثیر روش‌های مختلف کاربرد هیومیک اسید و آمینوکلات بر ویژگی‌های رشد، عملکرد و غلظت عناصر غذایی خیار گلخانه‌ای واریته سوپرسلطان. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۴(۲)، ۶۷۳-۶۸۴.
- شعبانی، ادريس؛ زیودار، شهره؛ راهنما قهفرخی، افراسیاب؛ دانایی‌فر، عباس و داودی ارشد، مهران (۱۴۰۴). اثرات ترکیبی آمینوکلات سیلیسیم و فسفر بر شاخص‌های فتوسنتزی و ویژگی‌های کمی و کیفی توت‌فرنگی رقم پاروس (*Fragaria ananassa* cv. Paros) در کشت خاکی گلخانه‌ای. *تولیدات گیاهی*، ۴۸(۲)، ۲۲۷-۲۴۵.

References

- Abdelaal, K. A., Mazrou, Y. S., & Hafez, Y. M. (2020). Silicon foliar application mitigates salt stress in sweet pepper plants by enhancing water status, photosynthesis, antioxidant enzyme activity and fruit yield. *Plants*, 9(6), 733.
- Al-Sayed, H., Fateh, H. S., Fares, W. M., & Attaya, A. (2012). Multivariate analysis of sugar yield factors in sugar cane. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, 6, 44-50.
- Amin, A. A., Gharib, F. A. E., El-Awadia, M., & Rashad, E. S. M. (2011). Physiological response of onion plants to foliar application of putrescine and glutamine. *Scientia Horticulturae*, 129, 353-360.
- Bhatt, R. (2020). Resources Management for Sustainable Sugarcane Production. In: Kumar, S., Meena, R.S., Jhariya, M.K. (eds) Resources Use Efficiency in Agriculture. *Springer, Singapore*.
- Bokhtiar, S. M., Huang, H. R., & Li, Y. R. (2012). Response of sugarcane to calcium silicate on yield, gas exchange characteristics, leaf nutrient concentrations, and soil properties in two different soils. *Commun. Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 43(10), 1363-1381.
- Bradley, K. (2010). A description of amino acid chelate fertilizers and their mode of action. Modern Plant Nutrition Pty Ltd.
- Chen, D., Zhou, W., Yang, J., Ao, J., Huang, Y., Shen, D., Jiang, Y., Huang, Z., & Shen, H. (2021). Effects of seaweed extracts on the growth, physiological activity, cane yield and sucrose content of sugarcane in China. *Frontiers in Soil Science*, 12, 865.
- Dalvand, S., Mumivand, H., Zahedi, B., & Ehtesham Nia, A. (2025). The effect of foliar application of glutamic acid, aspartic acid, and nicotinic acid on the growth, yield, and morpho-physiological and biochemical characteristics of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Plant Productions*, 48(3), 401-418. (In Persian)
- De Camargo, M. S., Bezerra, B. K. L., Vitti, A. C., Silva, M. A., & Oliveira, A. L. (2017). Silicon fertilization reduces the deleterious effects of water deficit in sugarcane. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 17(1), 99-111.
- Djajadi, D., Hidayati, S. N., & Syaputra, R. (2016). Effect of organic matter and Si liquid fertilizer on growth and yield of sugar cane. *Berkala Penelitian Hayati*, 22(1), 22-26.
- Dong, S., & Beckles, D.M. (2019). Dynamic changes in the starch-sugar interconversion within plant source and sink tissues promote a better abiotic stress response. *Journal of Plant Physiology*, 234-235, 80-93.
- Epstein, E. (1999). Silicon. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 50, 641-664.
- Hamdi Shengri, A., Rahnama, A., Monsefi, A., Roshanfekar, H., & Noroozi H. (2025). Effect of foliar application of silicon on yield and quality of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) under deficit irrigation conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 27(1), 23-39. (In Persian).
- Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. H. M. B., Nahar, K., Hossain, M. S., Mahmud, J. A., Hossen, M. S., Masud, A. A. C., Moumita, & Fujita, M. (2018). Potassium: A vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses. *Agronomy*, 8(3), 31.
- Huang Rong, H., Lin, X., Bokhtiar, L., Srivastav, M. K., Yang-Rui, L., & Li Tao, Y. (2011). Effect of calcium silicate fertilizer on soil characteristics, sugarcane nutrients and its yield parameters. *Journal of Southern Agriculture*, 42(7), 756-759.
- Jacomassi, L. M., Pacola, M., Momesso, L., Viveiros, J., Júnior, O. A., Siqueira, G. F. D., Campos, M., & Crusciol, C. A. C. (2024). Foliar application of amino acids and nutrients as a tool to mitigate water stress and stabilize sugarcane yield and bioenergy generation. *Plants*, 13(3), 461.
- Khontiang, K., Ketrot, D., Tawornpruek, S., Wongleecharoen, C., Inboonchuay, T., & Wongsuksri, A. (2025). Influence of foliar and soil potassium fertilizer on ratoon sugarcane performance: yield, quality, and nutrient uptake. *Frontiers in Soil Science*, 5, 1502972.
- Kumar, N., Rana, L., Singh, A. K., Pramanick, B., Gaber, A., Alsuhaibani, A. M., Skalicky, M., & Hossain, A. (2023). Precise macronutrient application can improve cane yield and nutrient uptake in widely spaced plant-ratoon cycles in the Indo-Gangetic plains of India. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 1223881.
- Khoshvaghti, H., & Taj Bakhsh, M. (2022). The effect of foliar application of nano and amino acid fertilizers on some biochemical properties of grain and yield of corn. *Journal of Crops Improvement*, 24(1), 237-252. (In Persian).
- Maghsoudi, K., Emam, Y., & Pessarakli, M. (2013). Effect of silicon on photosynthetic gas exchange, photosynthetic pigments, cell membrane stability and relative water content of different wheat cultivars under drought stress conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 39(7), 1001-1015.

- Martos-García, I., Fernández-Escobar, R., & Benlloch-González, M. (2024). Silicon is a non-essential element but promotes growth in olive plants. *Scientia Horticulturae*, 323, 112541.
- Misra, V., Mall, A. K., Ansari, S. A., Raheem, A., Tripathi, M. K., & Ansari, M. I. (2023). Silicon as a beneficial nutrient for productivity augmentation and abiotic/biotic stress tolerance in sugarcane. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 5(2), 412-432.
- Mittal, D., Kaur, G., Singh, P., Yadav, K., & Ali, S.A. (2020). Nanoparticle-based sustainable agriculture and food science: Recent advances and future outlook. *Frontiers in Nanotechnology*, 2, 579954.
- Oliveira, C. L. B. D., Cassimiro, J. B., Lira, M. V. D. S., Boni, A. D. S., Donato, N. D. L., Reis Jr, R. D. A., & Heinrichs, R. (2022). Sugarcane ratoon yield and soil phosphorus availability in response to enhanced efficiency phosphate fertilizer. *Agronomy*, 12(11), 2817-2826.
- Park, S.E., Robertson, M., & Inman-Bamber, N.G. (2005). Decline in the growth of a sugarcane crop with age under high input conditions, *Field Crops Research*, 92(2-3), 305-320.
- Seilsepour, M. (2022). Study of the effect of different methods of application of humic acid and aminochelate on Growth characteristics, yield, and concentration of nutrients in greenhouses cucumber Var. Supersultan. *Journal of Crops Improvement*, 24(2), 673-684. (In Persian)
- Shabani, E., Zivdar, S., Rahnama Ghahfarokhi, A., Danaeifar, A., & Davoudi Arshad, M. (2025). Combined effects of silicon amino-chelate and phosphorus on photosynthetic indices and quantitative and qualitative characteristics of strawberry (*Fragaria ananassa* cv. Paros) in greenhouse soil culture. *Plant Productions*, 48(2), 227-245. (In Persian)
- Shukla, S. K., Yadav, R. L., Singh, P. N., & Singh, I. (2009). Potassium nutrition for improving stubble bud sprouting, dry matter partitioning, nutrient uptake and winter-initiated sugarcane (*Saccharum* spp. *hybrid complex*) ratoon yield. *European Journal of Agronomy*, 30(1), 27-33.
- Shukla, S. K., Jaiswal, V. P., Sharma, L., Gaur, A., Tiwari, R., & Srivastava, A. (2023). Growth analysis in sugarcane ratoon crop as influenced by potassium nutrition in subtropical India. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 54(1), 83-95.
- de Silva, D.P., Oliveira, M.P., Oliveira, J.A.V., Jacomassi, L.M., Momesso, L., Garcia, A., Ferraz de Siqueira, G., Foltran, R., Soratto, R.P., Dinardo-Miranda, L.L., & Crusciol, C.A.C. (2022). Phytotonic effects of thiamethoxam on *Sugarcane* managed with glyphosate as a ripener. *Pest Management Science*, 78, 4006-4017.
- Souri, M.K. (2016). Amino-chelate Fertilizers: The New Approach to the Old Problem; A Review. *Open Agriculture*, 1, 118-123.
- Tränkner, M., Tavakol, E., & Jákli, B. (2018). Functioning of potassium and magnesium in photosynthesis, photosynthate translocation and photoprotection. *Physiologia Plantarum*, 163(3), 414-431.
- Urgesa, G.D., & Keyata, E.O. (2021). Effect of harvesting ages on yield and yield components of sugar cane varieties cultivated at Finchaa sugar factory, Oromia, Ethiopia. *International Journal of Food Science*, 2702095.