



Research Article

Vol. 24, No. 3, Fall 2026, p. 315-329

Enhancing Quinoa (*Chenopodium quinoa*) Growth and Yield Through Seed Pretreatment and Foliar Application of Serine and Glutamine

R. Rabei¹, M. Baradaran Firouzabadi^{1*}, M. Heidari¹

1- Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

(*- Corresponding author's Email: m.baradaran.f@gmail.com)**How to cite this article:**

Received: 18 September 2025

Revised: 12 November 2025

Accepted: 1 February 2026

Available Online: 12 May 2026

Rabei, R., Baradaran Firouzabadi, M., & Heidari, M. (2026). Enhancing quinoa (*Chenopodium quinoa*) growth and yield through seed pretreatment and foliar application of serine and glutamine. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 24(3), 315-329. (In Persian)<https://doi.org/10.22067/jcsc.2026.95496.1425>

Introduction

One way to increase seed yield of plants is to use amino acids as biostimulants and growth regulators. Amino acids are the main components of proteins. About 20 types of important amino acids are involved in the synthesis of proteins in the cell. Amino acids play essential roles in plant metabolism, growth, and development. Among them, glutamine is particularly important because it serves as a key intermediate linking carbon and nitrogen metabolism. It also functions as a major nitrogen donor and precursor for the biosynthesis of several amino acids and other nitrogen-containing compounds, thereby contributing to numerous physiological and metabolic processes in plants. Another amino acid that can lead to improved performance in plants under stress and non-stress conditions is serine. The amino acid serine is essential for some cellular processes, including protein synthesis and some amino acids such as glycine, cysteine and methionine in plants. In order to investigate the effect of amino acids on improving quinoa (*Chenopodium quinoa*) grain yield, an experiment was conducted in 2013 in the laboratory and research farm of the Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology.

Materials and Methods

The experiment was conducted as a factorial arrangement in a randomized complete block design with three replications. The treatments consisted of two factors: seed pretreatment and foliar application. Seed pretreatment was applied at four levels: no pretreatment, distilled water, serine, and glutamine, with serine and glutamine applied at a concentration of 200 mg L⁻¹. Foliar application was also performed at four levels: distilled water (control), serine, glutamine, and a combination of serine and glutamine, each applied at a concentration of 200 mg L⁻¹. Pretreatment of seeds with the above-mentioned substances and concentrations was carried out for three hours, observing the principles of seed aeration. After that, the seeds were dried in the shade and used to continue the experiment and measure the traits. Foliar application with the desired concentrations was carried out before flowering of the plant under suitable conditions so that the leaves were completely wet. Two weeks after foliar application, the measurement of the traits began.

Results and Discussion

The results showed that foliar application of glutamine alone and combined application of serine and glutamine resulted in a significant increase of 7.41 and 8.58 percent in relative leaf water content compared to the control, respectively. Four treatment combinations, pretreatment and application with serine, pretreatment and application with glutamine, pretreatment with serine application with serine and glutamine, pretreatment

Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).<https://doi.org/10.22067/jcsc.2026.95496.1425>

with glutamine and application with these two substances increased the weight of 1000 grains in the range of 10.27 to 12.20 percent and increased the number of grains in the panicle in the range of 9.10 to 11.97 percent. Combined foliar application of serine and glutamine as well as application of glutamine and serine alone resulted in an increase of 0.82, 0.59, and 0.52 percent in grain protein, respectively. The highest seed yield was obtained with the application of pretreatment and foliar application of serine, pretreatment and foliar application of glutamine and pretreatment with glutamine along with combined foliar application of serine and glutamine, which showed an increase of 30.52, 30.91, and 31.02 percent compared to the control, respectively.

Conclusion

Finally, within the scope of the research conducted, the use of pretreatment of seeds with serine and glutamine along with foliar application of these two substances is recommended to increase protein and seed yield of quinoa. When each of these two amino acids was used as a pretreatment and foliar application, they showed a greater effect on the aforementioned traits. Among the four foliar application treatments, the combined application of serine and glutamine performed better. Finally, within the scope of this study, the use of the two amino acids serine and glutamine (200 mg L^{-1}) as foliar application is recommended to improve protein content and quinoa seed yield.

Keywords: Grain protein, Lipid peroxidation, 1000-seed weight

مقاله پژوهشی

جلد ۲۴، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۵، ص ۳۲۹-۳۱۵

بهبود رشد و عملکرد گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa*) از طریق پیش تیمار بذر و

محلول پاشی با اسیدهای آمینه سرین و گلوتامین

ریحانه رباعی^۱، مهدی برادران فیروزآبادی^{۱*}، مصطفی حیدری^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۲

چکیده

به منظور بررسی تأثیر اسیدهای آمینه بر بهبود پروتئین و عملکرد دانه کینوا (*Chenopodium quinoa*)، آزمایشی طی سال ۱۴۰۲ در آزمایشگاه و مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود اجرا گردید. این پژوهش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل پیش تیمار بذر در چهار سطح (صفر (عدم پیش تیمار)، آب مقطر، سرین و گلوتامین هر کدام با غلظت ۲۰۰ میلی گرم در لیتر) و محلول پاشی برگ در چهار سطح (شاهد (آب مقطر)، سرین، گلوتامین، ترکیب توأم سرین و گلوتامین هر کدام با غلظت ۲۰۰ میلی گرم در لیتر) بود. پیش تیمار بذور با مواد و غلظت‌های یادشده با رعایت اصول هوادهی بذر به مدت سه ساعت و محلول پاشی برگ قبل از گل دهی گیاه در شرایط مناسب انجام شد. نتایج نشان داد که اسیدهای آمینه ضمن کاهش پراکسیداسیون لیپیدها و بهبود وضعیت آب برگ سبب افزایش عملکرد شدند. پیش تیمار و محلول پاشی با سرین، پیش تیمار و محلول پاشی با گلوتامین، پیش تیمار با سرین به همراه محلول پاشی توأم سرین و گلوتامین، پیش تیمار با گلوتامین و محلول پاشی توأم این دو ماده موجب افزایش وزن هزار دانه در محدوده ۱۰/۲۷ تا ۱۲/۲۰ درصد و افزایش تعداد دانه در خوشه در محدوده ۹/۱۰ تا ۱۱/۹۷ درصد گردیدند. محلول پاشی توأم سرین و گلوتامین و هم چنین محلول پاشی گلوتامین و سرین به تنهایی به ترتیب منجر به افزایش ۰/۸۲، ۰/۵۹ و ۰/۵۲ درصدی پروتئین دانه شدند. بیشترین عملکرد دانه مربوط به کاربرد پیش تیمار و محلول پاشی سرین، پیش تیمار و محلول پاشی گلوتامین و پیش تیمار با گلوتامین به همراه محلول پاشی توأم سرین و گلوتامین بود که به ترتیب نسبت به شاهد افزایش ۳۰/۵۲، ۳۰/۹۱ و ۳۱/۰۲ درصدی را نشان دادند. در نهایت در محدوده پژوهش انجام شده، کاربرد پیش تیمار بذرها با سرین و گلوتامین به همراه محلول پاشی برگ توأم این دو ماده جهت افزایش پروتئین و عملکرد دانه کینوا توصیه می گردد.

واژه‌های کلیدی: پراکسیداسیون لیپیدها، پروتئین دانه، وزن هزار دانه

مقدمه

محرك‌های زیستی و تنظیم کننده‌های رشد است. اسیدهای آمینه از اجزای اصلی پروتئین‌ها می باشند. حدود ۲۰ نوع اسید آمینه مهم در سنتز پروتئین‌ها در سلول درگیر هستند. اسیدهای آمینه می توانند تأثیر بسیار مهمی بر فعالیت‌های حیاتی و ساختارهای گیاهی داشته باشند (EL-Zefzafy et al., 2016). ثابت شده است که اسیدهای آمینه به عنوان منبعی از نیتروژن در سنتز هورمون‌های رشد نقش دارند و جزء مهم ترین متابولیت‌های اولیه محسوب می شوند (Rouphael & Colla, 2018). مقدار و کیفیت اسیدهای آمینه موجود در گیاهان زراعی بر کمیت و کیفیت محصول تأثیر گذار است. اسیدهای آمینه بعد از ورود به سلول‌های گیاهی، به دلیل خلوص بالایی که دارند به سادگی توسط گیاه جذب می گردند و موجب می شوند که انرژی گیاه برای

کینوا (*Chenopodium quinoa*) یکی از مهم ترین گیاهان زراعی از خانواده تاج خروس است که ارزش غذایی بالایی دارد و با شرایط آب و هوایی مختلف سازگار می باشد. کینوا به دلیل ارزش غذایی بالا، می تواند به عنوان مکمل مناسبی برای غلات در رژیم غذایی انسان مورد استفاده قرار گیرد (Prager et al., 2018). یکی از راه های افزایش عملکرد در گیاهان، استفاده از اسیدهای آمینه به عنوان

۱- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران
(*) نویسنده مسئول: (Email: m.baradaran.f@gmail.com)
<https://doi.org/10.22067/jcesc.2026.95496.1425>

(2023).

با توجه به نقش کلیدی اسیدهای آمینه در متابولیسم نیتروژن، تنظیم وضعیت آبی، کاهش تنش اکسیداتیو و بهبود اجزای عملکرد، هدف از این تحقیق، بررسی اثرات پیش تیمار بذر و محلول پاشی برگ با اسیدهای آمینه سرین و گلوتامین، به صورت جداگانه و توأم، بر بعضی از صفات فیزیولوژیکی (محتوای نسبی آب برگ، مالون دی آلدئید، کلروفیل کل و کربوهیدرات های محلول)، صفات کیفی (پروتئین دانه)، اجزای عملکرد و عملکرد دانه گیاه کینوا در شرایط مزرعه ای بود.

مواد و روش ها

پژوهش حاضر در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود روی گیاه کینوا رقم صدوق، با قابلیت جوانه زنی سریع و استقرار اولیه مناسب اجرا شد. این رقم زودرس، دارای سرعت جوانه زنی و استقرار اولیه مناسب بوده و از تحمل نسبی به شوری برخوردار است. تیمارهای آزمایش شامل پیش تیمار بذر با اسیدهای آمینه در چهار سطح (صفر) عدم پیش تیمار، آب مقطر، سرین و گلوتامین هر کدام با غلظت ۲۰۰ میلی گرم در لیتر) و محلول پاشی برگ اسیدهای آمینه در چهار سطح (شاهد (آب مقطر)، سرین، گلوتامین، ترکیب توأم سرین و گلوتامین هر کدام با غلظت ۲۰۰ میلی گرم در لیتر) بود. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. شرایط آب و هوایی و خاک منطقه آزمایش، به ترتیب در جدول ۱ و ۲ گزارش شده است.

پیش تیمار بذر با مواد و غلظت های یاد شده، با رعایت اصول هوادهی بذر به مدت سه ساعت انجام شد. پس از آن، بذر ها در سایه خشک و سپس در تاریخ ۲۰ مرداد ۱۴۰۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود کشت گردید. پیش از کاشت، زمین یک بار شخم عمیق به عمق حدود ۳۰ سانتی متر و سپس یک بار دیسک زده شد. پس از تسطیح و یکنواخت سازی سطح، کرت بندی انجام گرفت و بستر بذر به صورت یکنواخت آماده سازی شد تا استقرار یکنواخت گیاهچه ها تضمین گردد.

در مجموع، ۴۸ کرت آزمایشی وجود داشت که در هر کرت چهار خط کاشت به طول پنج متر، با فاصله بین ردیف ها ۵۰ سانتی متر و فاصله بوته ها روی ردیف پنج سانتی متر در نظر گرفته شد. آبیاری در طول فصل رشد به فاصله هفت روز یک بار انجام گرفت. این تناوب آبیاری براساس شرایط اقلیمی منطقه شاهرود، که دارای اقلیم نیمه خشک با میانگین دمای روزانه ۲۸ تا ۳۲ درجه سانتی گراد و تبخیر بالا است، و همچنین براساس نیاز آبی گیاه کینوا در خاک های لوم شنی منطقه تعیین گردید؛ به گونه ای که ضمن تأمین رطوبت کافی، از

مقابله با تنش های محیطی ذخیره گردد (Elshamly et al., 2024). به طور کلی می توان این طور بیان کرد که اسیدهای آمینه موادی هستند که موجب تحریک سوخت و ساز و فرآیندهای متابولیکی گیاه در جهت افزایش کارایی آن ها می شوند (Bashir et al., 2018).

یکی از انواع اسیدهای آمینه مهم در گیاهان، گلوتامین است. گلوتامین با دو چرخه مهم متابولیکی یعنی چرخه کربن و چرخه نیتروژن در گیاهان در ارتباط می باشد. گلوتامین پیش ماده برخی اسیدهای آمینه از جمله اسید آسپارتیک، سرین، آلانین، لیزین و پرولین می باشد (Hussain et al., 2018). گلوتامین، آرژنین و آسپارژین، اسیدهای آمینه اصلی هستند که در بسیاری از واکنش های متابولیکی و بیوشیمیایی در گیاهان از جمله سم زدایی سموم و خنثی کردن H^+ تولید شده در گیاهان تغذیه شده با آمونیوم نقش دارند (Noroozlo et al., 2019). گلوتامین، شایع ترین نوع گوگرد آلی در گیاهان است و به عنوان یک آنتی اکسیدان مهم در سیستم دفاعی گیاهان ایفای نقش می کند. گلوتامین یک ترکیب تری پپتید مهم با ساختارهای اسیدهای آمینه گلايسين، سيستئين و اسيد گلوتاميك است که همراه با آنزیم های گلوتامین ردوکتاز و پراکسیداز در چرخه آسدا-هالیول نقش ایفا می کند (Kao, 2015). پژوهش ها نشان داده است که با استفاده از محلول پاشی اسید آمینه گلوتامین می توان مخزن گلوتامین در گیاهان را تقویت کرد و بدین ترتیب گیاهان را در برابر تنش ها مقاوم کرد (Noroozlo et al., 2019).

یکی دیگر از اسیدهای آمینه که در گیاهان می تواند منجر به بهبود عملکرد در شرایط تنش و عدم تنش شود، سرین است. اسید آمینه سرین، برای برخی از فرآیندهای سلولی از جمله ساخت پروتئین و بعضی از اسیدهای آمینه مانند گلايسين، سيستئين و متيونين در گیاهان ضروری است (Rosa-Tellez et al., 2023). دو مسیر برای بیوسنتز سرین در گیاهان وجود دارد. مسیر اول، مسیر گلیکولات در تنفس نوری است که مهم ترین مسیر در نظر گرفته می شود. مسیر دیگر شامل مسیر فسفریله می باشد (Ros et al., 2014). سیستئین، اسید آمینه ای با ساختار گوگرد است که پیش ساز آن اسید آمینه سرین است. این ماده بیشتر در سیتوسول تشکیل و ذخیره می شود و هم-چنین در کلروپلاست ها و میتوکندری نیز یافت می شود. این مولکول نقش اصلی را در سم زدایی دارد و نقش مهمی در ظرفیت اکسیداتیو و ارتباط مستقیم با مقاومت گیاه دارد (Romero et al., 2014). محققان دریافته اند که کاربرد خارجی گلوتامین و سرین موجب افزایش کلروفیل برگ، وزن خشک اندام هوایی، شاخص پایداری غشاء سلول، میزان نیتروژن موجود در گیاه گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) گردید (Sharif Zade Ehteshami & Danaee, 2023). محلول پاشی سرین روی گیاه گندم (*Triticum aestivum*) موجب افزایش کلروفیل، کاروتنوئید، اجزای عملکرد و عملکرد دانه شد و اثرات تنش خشکی را به طور معنی داری کاهش داد (Hameed et al., 2023).

قطع و پس از خشک شدن در سایه، صفات کمی و کیفی مورد ارزیابی قرار گرفتند.

برای بررسی خالص اثر پیش تیمار بذر و محلول پاشی اسیدهای آمینه، در طول فصل رشد هیچ گونه کود شیمیایی به مزرعه اضافه نشد. تغذیه گیاه صرفاً براساس حاصل خیزی اولیه خاک انجام گرفت (جدول ۱).

تجزیه و تحلیل آماری داده ها با استفاده از نرم افزار SAS (نسخه ۹/۴) انجام شد. برای بررسی اثر تیمارها از تجزیه واریانس براساس طرح بلوک های کامل تصادفی به صورت فاکتوریل استفاده گردید. مقایسه میانگین ها با آزمون حداقل اختلاف معنی دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. ترسیم نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel انجام گرفت.

غرق آبی و کمبود اکسیژن در ناحیه ریشه جلوگیری شود. وجین علف های هرز به صورت دستی و به طور پیوسته در طول فصل رشد انجام شد.

محلول پاشی برگی با غلظت های مورد نظر، پیش از گل دهی (۶۰ روز پس از کاشت) و در ساعات عصر (حدود ساعت ۵ بعد از ظهر) در شرایط مناسب محیطی شامل دمای ۲۵ تا ۲۸ درجه ی سانتی گراد، سرعت باد کمتر از پنج کیلومتر بر ساعت و رطوبت نسبی حدود ۵۵ تا ۶۰ درصد انجام شد؛ به گونه ای که سطح برگ ها به طور کامل خیس شدند. برای این منظور از سم پاش پشتی دستی با نازل مخروطی ریزپاش استفاده گردید.

دو هفته پس از انجام محلول پاشی، اندازه گیری صفات مورد بررسی آغاز شد و برداشت نهایی در تاریخ ۱۰ آبان ۱۴۰۳ انجام گرفت. در زمان برداشت، گیاهان هر کرت به طور کامل از سطح زمین

جدول ۱- ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 1- Physico-chemical properties of the experimental soil

بافت	اسیدیته	هدایت الکتریکی	کربن آلی	نیتروژن کل	فسفر	پتاسیم
Texture	pH	EC (dS m ⁻¹)	Organic carbon (%)	N (%)	P (%)	K (%)
لوم سیلتی Silty loam	7.36	0.71	0.60	0.066	5.54	240

جدول ۲- داده های هواشناسی منطقه در سال مورد آزمایش (اداره هواشناسی استان سمنان)

Table 2- Meteorological data for the field sites during experiment (Semnan province Meteorological Office)

ماه	بارندگی	رطوبت نسبی	میانگین حداکثر دما	میانگین حداقل دما	میانگین دما
Month	Precipitation (mm)	Relative humidity (%)	Mean maximum temperature (°C)	Mean minimum temperature (°C)	Mean temperature (°C)
فروردین April	35.8	42	22.8	7.2	15
اردیبهشت May	5.8	37	28.3	12.1	20.2
خرداد June	1.7	36	34.7	17.5	26.1
تیر July	0.0	30	42.3	20.4	31.4
مرداد August	0.0	28	42.5	19.8	31.1
شهریور September	0.0	32	35.9	14.7	25.3
مهر October	3.3	33	29.5	9.0	19.3
آبان November	5.8	38	24.4	3.8	14.1

نتایج و بحث

نگرفتند (جدول ۳). ولی محتوای نسبی آب برگ به طور معنی داری تحت تأثیر محلول پاشی با اسیدهای آمینه ($P < 0.05$) قرار گرفت (جدول ۳). محلول پاشی گلوتامین به تنهایی و کاربرد توأم سرین و

ارتفاع و قطر ساقه کینوا تحت تأثیر تیمارهای آزمایش قرار

گلوتامین به ترتیب منجر به افزایش معنی دار ۷/۴۱ و ۸/۵۸ درصدی محتوای نسبی آب برگ نسبت به شاهد گردید (شکل ۱). محققان اعلام کردند که سرین و گلوتامین به عنوان اسمولیت های آلی در سلول های گیاهی عمل می کنند. این مواد باعث کاهش پتانسیل آب سلول می شوند و به جذب و حفظ آب کمک می کنند (Sadak et al., 2015). گلوتامین در تنظیم متابولیسم نیتروژن و سرین در تنظیم مسیرهای متابولیکی (مانند فتوسنتز و تنفس) نقش دارند. این بهینه سازی متابولیکی باعث کارآمدی بیشتر در مصرف آب می شود (Li et al., 2025).

مالون دی آلدئید تحت تأثیر پیش تیمار، محلول پاشی و برهم کنش دوجانبه عامل ها قرار گرفت (جدول ۳). بررسی برهم کنش دوجانبه پیش تیمار و محلول پاشی نشان داد که کمترین میزان مالون دی آلدئید مربوط به چهار ترکیب تیماری شامل پیش تیمار بذری با سرین به همراه محلول پاشی سرین و محلول پاشی توأم سرین و گلوتامین، پیش تیمار بذری با گلوتامین به همراه محلول پاشی گلوتامین و محلول پاشی توأم سرین و گلوتامین بود. سایر ترکیبات تیماری از لحاظ میزان مالون دی آلدئید اختلافی با شاهد نشان ندادند (شکل ۲).

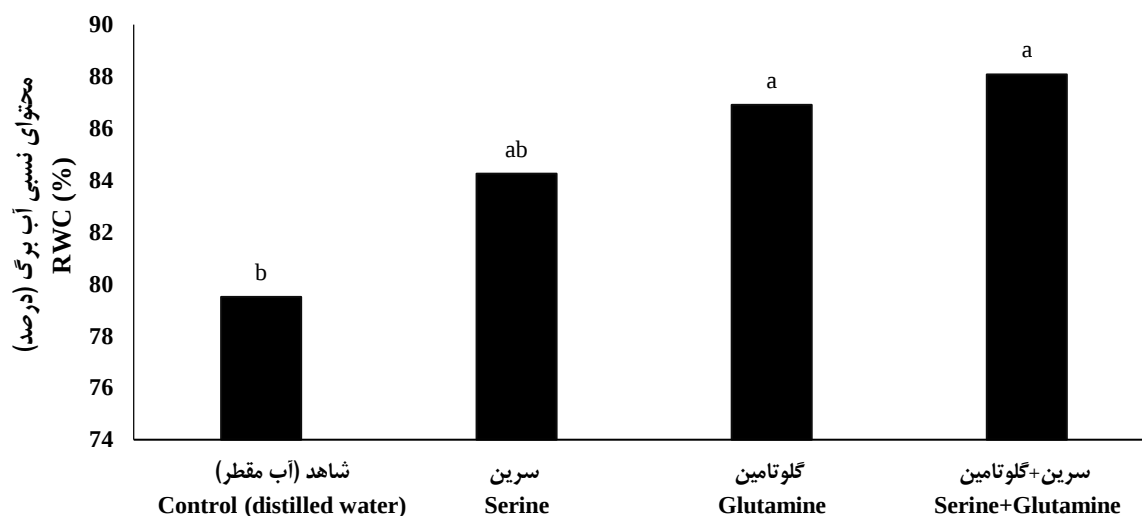
در شرایط بدون تنش، دلیل کاهش میزان مالون دی آلدئید با کاربرد سرین و گلوتامین می تواند به بهبود وضعیت آنتی اکسیدانی و کاهش پراکسیداسیون لیپیدها در سلول های گیاهی مرتبط باشد. این اسیدهای آمینه از طریق افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان، تثبیت غشاهای سلولی و کمک به تعادل متابولیسم نیتروژن، نقش مؤثری در کاهش تنش اکسیداتیو و حفظ ساختار سلولی ایفا می کنند (Ali et al., 2024). محققان اعلام کردند که کاربرد سرین و گلوتامین موجب افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی مانند سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز می شوند. این آنزیم ها با حذف رادیکال های آزاد اکسیژن، مانع از آسیب به لیپیدهای غشاء سلولی و در نتیجه تولید مالون دی آلدئید می گردند (Jahanbani et al., 2024). سرین جزء پیش سازهای مهم در مسیر سنتز فسفولیپیدها و گلوکاتینون محسوب می شود. این ترکیبات به حفظ ساختار غشاها و کاهش آسیب اکسیداتیو کمک می کنند و در نتیجه میزان مالون دی آلدئید تولیدشده کمتر می شود (Zimmermann et al., 2021).

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات اندازه گیری شده در کینوا تحت تأثیر پیش تیمار و محلول پاشی با سرین و گلوتامین
Table 3- Variance analysis (mean of squares) of traits measured in quinoa affected by pretreatment and foliar application with Serine and Glutamine

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع ساقه Stem height	قطر ساقه Stem diameter	محتوای نسبی آب برگ RWC	مالون دی آلدئید MDA	کربوهیدرات های محلول برگ Leaf soluble carbohydrate	کلروفیل کل Total chlorophyll	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	پروتئین دانه Grain protein	تعداد دانه در خوشه Number of grain in panicle	تعداد خوشه در بوته Number of panicles per plant	وزن هزار دانه 1000 grain weight	عملکرد دانه Grain yield
تکرار Replication	2	348.25 _{ns}	0.75 _{ns}	129.00 _{ns}	0.008 _{ns}	0.004 _{ns}	0.0008 _{ns}	83633.25 _{ns}	0.63 _{ns}	19.18 _{ns}	0.87 _{ns}	0.013 _{ns}	7321.46 _{ns}
پیش تیمار (A)	3	41.83 _{ns}	0.75 _{ns}	25.18 _{ns}	0.041*	0.01*	0.001 _{ns}	25048.38 _{ns}	0.10 _{ns}	18.77*	0.09 _{ns}	0.054**	182948.30**
محلول پاشی (B)	3	26.88 _{ns}	0.52 _{ns}	174.40*	0.12**	0.029**	0.018**	12536.50 _{ns}	1.45**	74.05**	0.12 _{ns}	0.066**	363388.86**
تیمار × پاشی A×B	9	11.27 _{ns}	1.12 _{ns}	16.46 _{ns}	0.03*	0.002 _{ns}	0.026**	1657.70 _{ns}	0.07 _{ns}	40.68**	0.06 _{ns}	0.027**	130862.03**
خطا Error	30	97.56	1.12	50.31	0.012	0.003	0.0005	62771.75	0.10	4.16	0.50	0.005	29387.62
ضریب تغییرات C.V (%)	-	8.64	9.33	8.37	11.31	1.47	1.33	5.85	2.16	2.85	5.	2.62	6.85

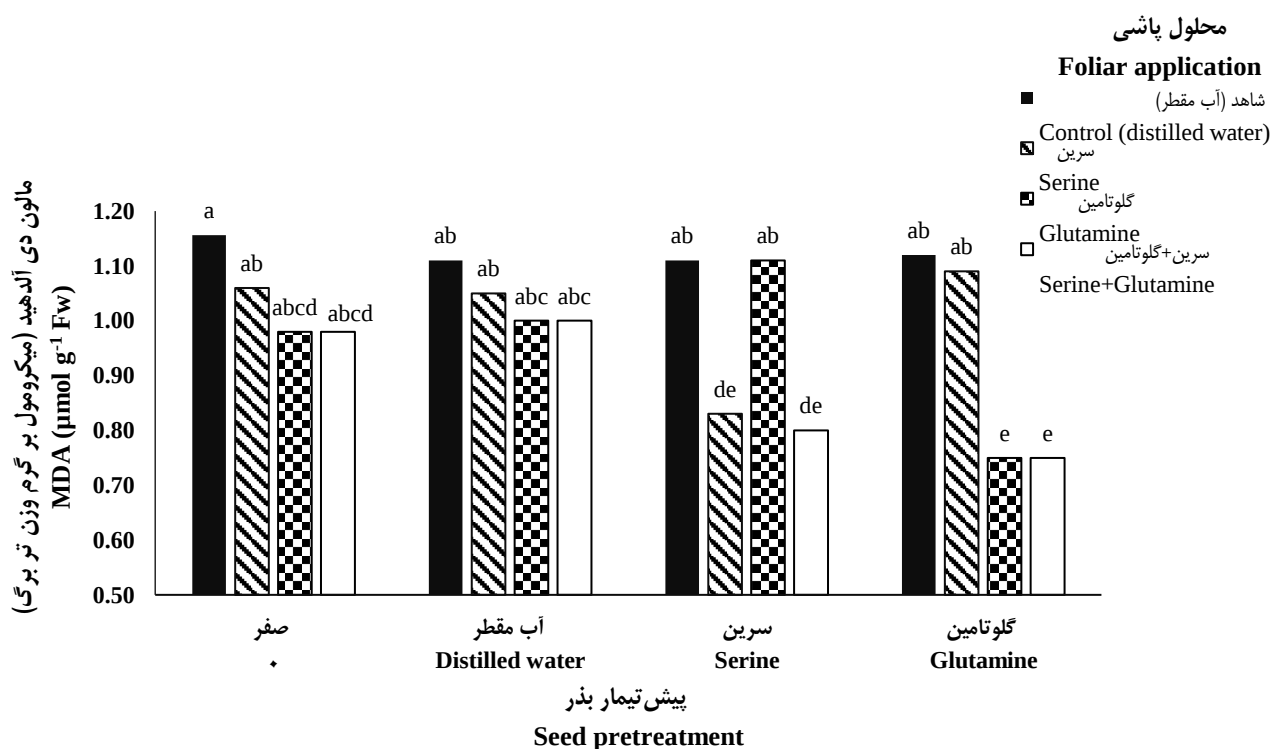
* و **: به ترتیب بیانگر معنی داری در سطح احتمال پنج و یک درصد می باشد.

* and **: indicate statistical significance at the 5% and 1% probability levels, respectively.



محلول پاشی
Foliar application

شکل ۱- مقایسه میانگین اثر محلول پاشی اسیدهای آمینه بر محتوای نسبی آب برگ کینوا
Figure 1- Mean comparison of amino acids foliar application on RWC of quinoa
ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، براساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند
Columns with the same letter are not significantly different based on the LSD test ($P \leq 0.05$).

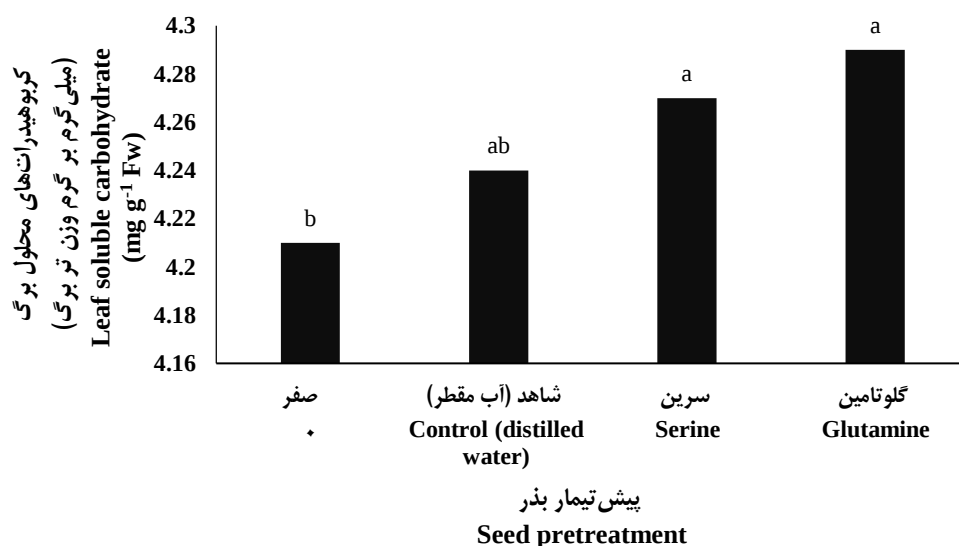


شکل ۲- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش پیش تیمار بذر و محلول پاشی اسیدهای آمینه بر مالون‌دی‌آلدهید
Figure 2- Mean comparison of interaction of seed pretreatment and foliar application of amino acids on MDA

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر محلول‌پاشی و برهم‌کنش دوجانبه عامل‌ها بر کلروفیل برگ معنی‌دار شد (جدول ۳). تمامی ترکیبات تیماری به‌جز دو ترکیب تیماری پیش‌تیمار با آب مقطر بدون محلول‌پاشی و پیش‌تیمار با سرین بدون محلول‌پاشی منجر به افزایش معنی‌دار میزان کلروفیل کل نسبت به شاهد شدند. بیشترین میزان کلروفیل کل مربوط به پیش‌تیمار بذری با گلوتامین به همراه محلول‌پاشی توأم سرین و گلوتامین بود که معادل ۱/۷۸ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ بود و نسبت به شاهد افزایش ۹/۲۰ درصدی را نشان داد که البته این ترکیب با سه ترکیب تیماری دیگر شامل پیش‌تیمار با گلوتامین و محلول‌پاشی با گلوتامین، پیش‌تیمار با سرین به همراه محلول‌پاشی با سرین و محلول‌پاشی توأم سرین و گلوتامین از لحاظ میزان کلروفیل کل اختلاف معنی‌دار نداشت (شکل ۵). نقش این اسیدآمینه در متابولیسم نیتروژن مرتبط باشد. از آن‌جایی که نیتروژن، عنصر اصلی در ساختار کلروفیل (به‌ویژه حلقه پورفیرین) است، افزایش آن منجر به افزایش میزان کلروفیل در برگ گیاهان می‌گردد (Svietlova et al., 2024). مشخص شده است که کاربرد سرین و گلوتامین با افزایش دسترسی نیتروژن آلی، تحریک سنتز کلروفیل و کاهش تخریب ناشی از تنش‌های اکسیداتیو موجب افزایش میزان کلروفیل کل در برگ گیاه می‌شوند. این اسیدهای آمینه همچنین با حفظ ساختار کلروپلاست و افزایش سنتز پروتئین‌های فتوسنتزی، کارایی فتوسنتز را بهبود می‌بخشند (Ramyar et al., 2023).

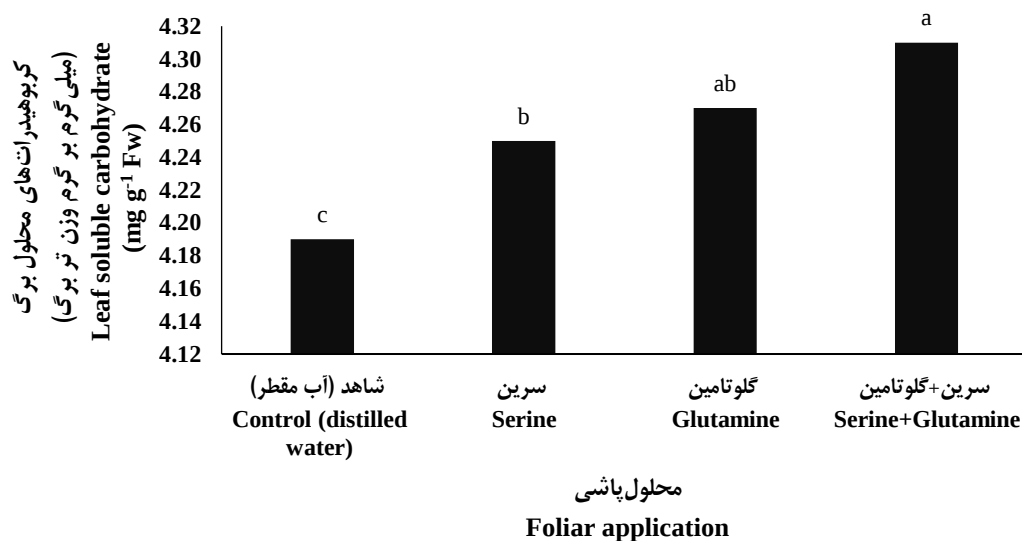
کربوهیدرات‌های محلول برگ به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی قرار گرفت (جدول ۳). همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، پیش‌تیمار بذری با سرین و گلوتامین به‌ترتیب منجر به افزایش معنی‌دار ۱/۴۲ و ۱/۹۰ درصدی میزان کربوهیدرات‌های محلول برگ نسبت به شاهد گردید که البته با آب مقطر اختلاف معنی‌داری نداشتند (شکل ۳).

بررسی محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بر میزان کربوهیدرات محلول برگ نیز نشان داد که استفاده از سرین، گلوتامین و کاربرد توأم این دو ترکیب منجر به افزایش معنی‌دار میزان قندهای محلول برگ گردید (شکل ۴). کربوهیدرات‌های محلول، یکی از مهم‌ترین مواد در تنظیم پتانسیل اسمزی در سلول گیاهی هستند. کاربرد اسیدهای آمینه ممکن است باعث ایجاد تغییر در پتانسیل آب سلول و تحریک تولید قندهای محلول برای حفظ تعادل اسمزی شود. اسیدهای آمینه گلوتامین و سرین نقش مهمی در افزایش متابولیسم نیتروژن دارند که به‌نوبه خود بر سنتز و تجمع قندهای محلول تأثیر می‌گذارد. محلول-پاشی اسیدهای آمینه مانند گلوتامین و سرین می‌تواند کارایی فتوسنتزی و فعالیت آنزیمی گیاه را بهبود بخشد و منجر به افزایش محتوای قند شود. این فرآیند برای رشد و نمو گیاهان به‌ویژه در شرایط تنش مفید است، زیرا قندهای محلول نیز به‌عنوان مولکول‌های سیگنال و منابع انرژی عمل می‌کنند (Ismail et al., 2024). کاربرد گلوتامین و سرین می‌تواند از طریق بهبود متابولیسم، تحریک فتوسنتز، تنظیم تعادل اسمزی و یا نقش‌های سیگنالی باعث افزایش قندهای محلول در برگ گیاه شود. این اثر ممکن است به شرایط گیاه، نوع گیاه، میزان مصرفی و نحوه کاربرد نیز وابسته باشد (Salinas et al., 2019).

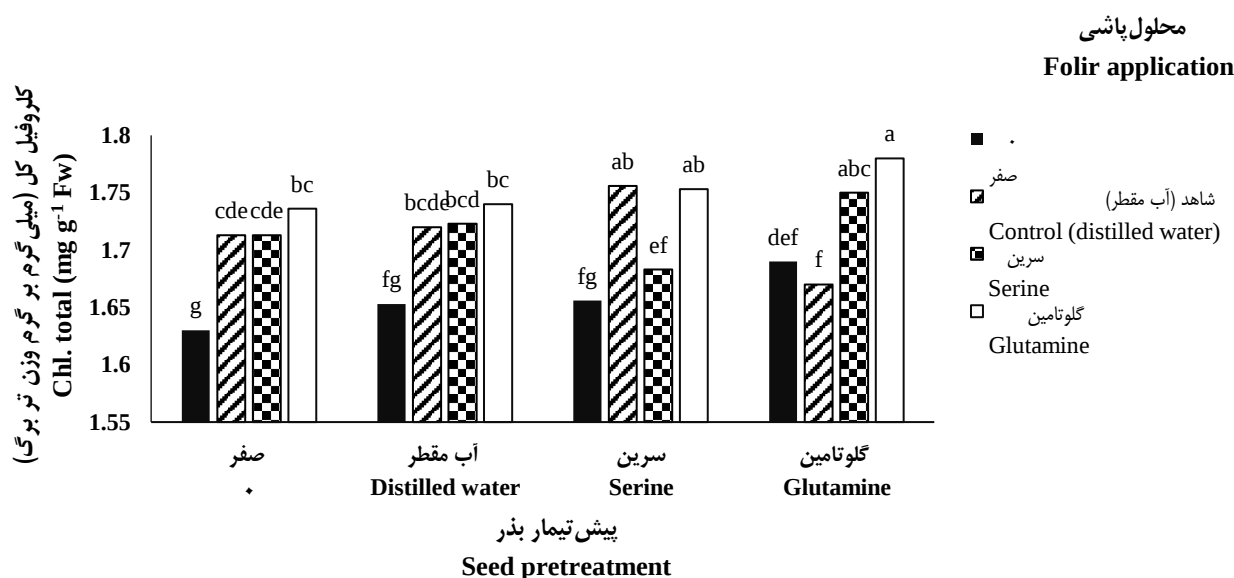


شکل ۳- مقایسه میانگین اثر پیش‌تیمار بذر با اسیدهای آمینه بر کربوهیدرات‌های محلول برگ

Figure 3- Mean comparison of seed pretreatment with amino acids on leaf soluble carbohydrate



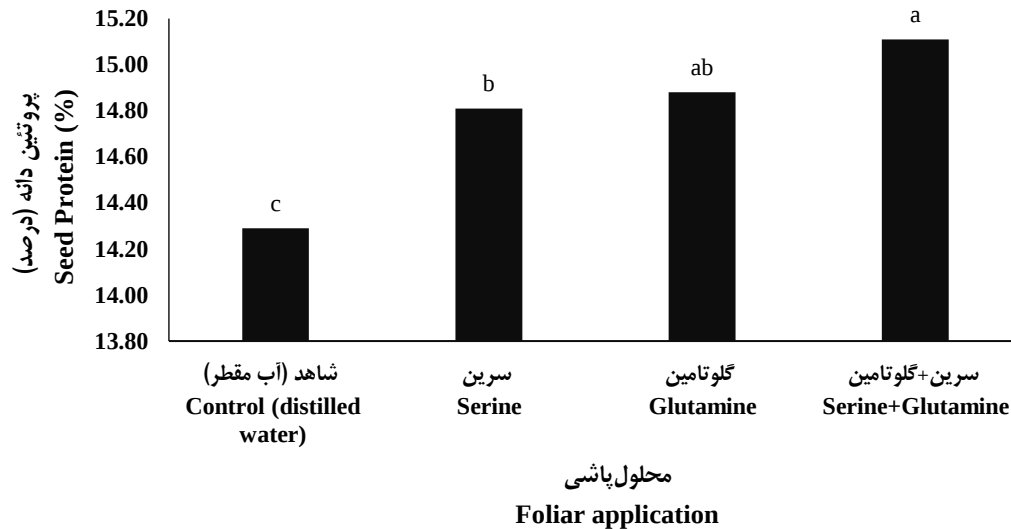
شکل ۴- مقایسه میانگین اثر محلول پاشی اسیدهای آمینه بر کربوهیدرات‌های محلول برگ
Figure 4- Mean comparison of amino acids foliar application on leaf soluble carbohydrate



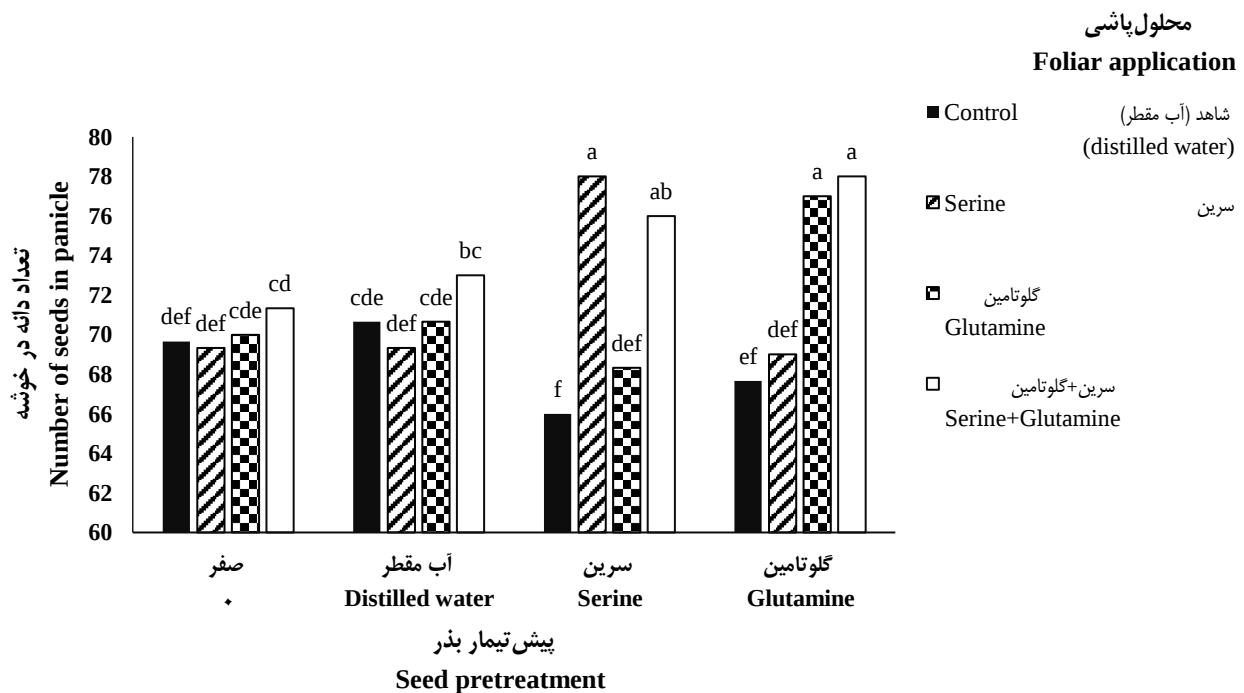
شکل ۵- مقایسه میانگین اثر برهم کنش پیش تیمار بذر و محلول پاشی اسیدهای آمینه بر کلروفیل کل
Figure 5- Mean comparison of interaction of seed pretreatment and foliar application of amino acids on total chlorophyll

به‌تنهایی به‌ترتیب منجر به افزایش ۵۹/۰ و ۵۲/۰ درصدی پروتئین دانه شدند (شکل ۶). افزایش میزان پروتئین دانه با کاربرد سرین و گلوتامین به‌دلیل نقش مستقیم این اسیدهای آمینه در متابولیسم نیتروژن، سنتز پروتئین و انتقال ترکیبات نیتروژنه به دانه‌ها است (Amir et al., 2018). این اسیدهای آمینه می‌توانند فعالیت آنزیم‌هایی مانند گلوتامین سنتاز و گلوتامات سنتاز را افزایش دهند که این امر منجر به افزایش کارایی تثبیت و استفاده از نیتروژن برای ساخت پروتئین می‌شود (Fortunato et al., 2023).

در بین صفات مورد بررسی، تیمارهای آزمایش اثری بر وزن خشک اندام هوایی نداشتند (جدول ۳). پروتئین دانه تنها تحت تأثیر محلول پاشی اسیدهای آمینه قرار گرفت (جدول ۳). به‌طوری که محلول پاشی با اسیدهای آمینه در این پژوهش منجر به افزایش معنی‌دار میزان پروتئین دانه گردید. کمترین میزان پروتئین دانه معادل ۱۴/۲۹ درصد مربوط به گیاهان شاهد بود. که در اثر کاربرد توأم سرین و گلوتامین با افزایش معنی‌دار ۸۲/۰ درصدی به ۱۵/۱۱ درصد رسید که البته از لحاظ آماری با کاربرد گلوتامین به‌تنهایی اختلاف معنی‌دار نداشت. کاربرد گلوتامین و سرین



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر محلول پاشی اسیدهای آمینه بر پروتئین دانه
Figure 6- Mean comparison of amino acids foliar application on grain protein



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر برهم کنش پیش تیمار بذر و محلول پاشی اسیدهای آمینه بر تعداد دانه در خوشه
Figure 7- Mean comparison of interaction of seed pretreatment and foliar application with amino acids on number of seeds in panicle

سرین به علاوه محلول پاشی توأم سرین و گلوتامین و پیش تیمار با گلوتامین و کاربرد توأم محلول پاشی با سرین و گلوتامین، بالاترین میزان تعداد دانه در پانیکول را به خود اختصاص دادند که نسبت به شاهد افزایش ۹/۱۰ تا ۱۱/۹۷ درصدی را نشان دادند. بعد از آن،

اثر پیش تیمار بذر، محلول پاشی و برهم کنش آن‌ها در سطح احتمال یک درصد بر تعداد دانه در پانیکول معنی دار بود (جدول ۳). کاربرد توأم پیش تیمار و محلول پاشی با سرین، کاربرد توأم پیش تیمار و محلول پاشی با گلوتامین و همچنین دو ترکیب تیماری پیش تیمار با

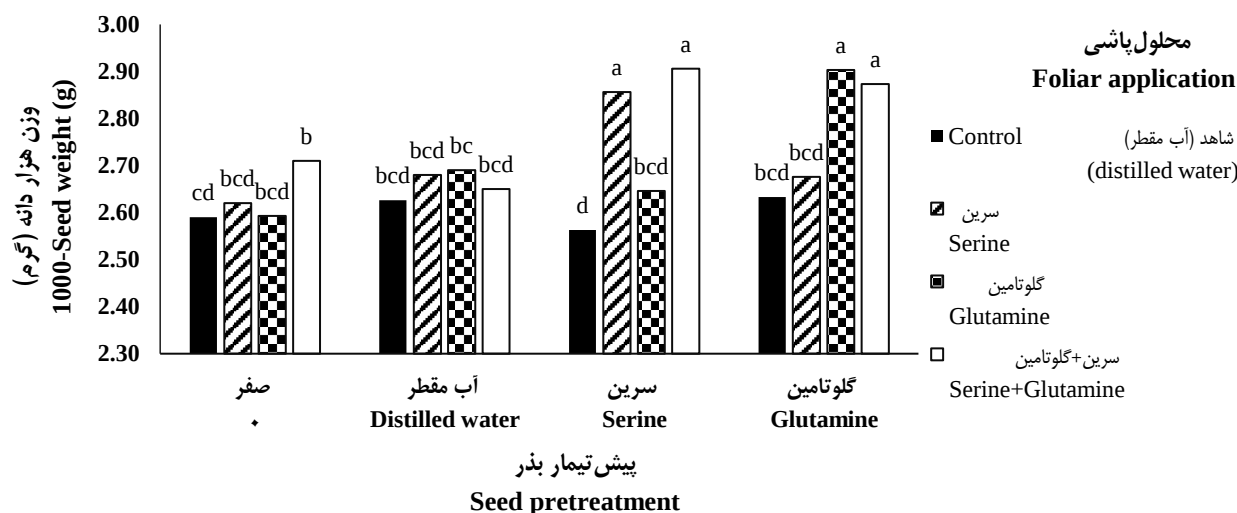
کاربرد اسیدهای آمینه سرین و گلوتامین می‌تواند با بهبود تغذیه نیتروژنی گیاه، افزایش انتقال ترکیبات فتوسنتزی و پیش‌سازهای پروتئینی به دانه‌ها و کاهش اثرات تنش‌های محیطی، به‌طور قابل توجهی وزن هزار دانه را افزایش دهد. این نتایج نشان می‌دهد که استفاده از اسیدهای آمینه می‌تواند به‌عنوان یک راهبرد مؤثر برای افزایش عملکرد محصول و بهبود کیفیت دانه‌ها در شرایط مختلف محیطی مطرح شود (Dorr et al., 2018).

اثر تیمارهای آزمایش شامل پیش‌تیمار بذر، محلول‌پاشی و برهم‌کنش دوجانبه آن‌ها در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین عملکرد دانه مربوط به کاربرد پیش-تیمار و محلول‌پاشی سرین، پیش‌تیمار و محلول‌پاشی گلوتامین و پیش‌تیمار با گلوتامین به همراه محلول‌پاشی توأم سرین و گلوتامین بود که به‌ترتیب نسبت به شاهد افزایش ۳۰/۵۲، ۳۰/۹۱ و ۳۱/۰۲ درصدی را نشان دادند و با یکدیگر در یک گروه آماری قرار گرفتند. سایر ترکیبات تیماری از لحاظ عملکرد دانه اختلافی با شاهد نشان ندادند (شکل ۹).

همبستگی بین صفات نشان داد که در این پژوهش بین عملکرد دانه با صفات وزن هزار دانه، تعداد خوشه در بوته، تعداد دانه در خوشه و پروتئین دانه همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود داشت. صفاتی از قبیل وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع ساقه و محتوای نسبی آب برگ نیز در سطح احتمال پایین‌تر همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه داشتند. همبستگی منفی و معنی‌داری بین مالون‌دی‌آلدهید با عملکرد دانه مشاهده شد که مورد انتظار بود (جدول ۴).

پیش‌تیمار بذور با آب مقطر و محلول‌پاشی توأم سرین و گلوتامین با دارا بودن ۷۳ دانه در پانیکول در گروه دوم آماری قرار گرفت که نسبت به شاهد افزایش ۴/۷۹ درصدی را نشان داد. سایر ترکیبات تیماری از لحاظ تعداد دانه در پانیکول با شاهد اختلاف معنی‌داری نشان ندادند (شکل ۷). سرین و گلوتامین به‌عنوان اسیدهای آمینه کلیدی در ساخت ترکیبات ضروری برای تقسیم سلولی و رشد بافت‌ها عمل می‌کنند (Amiri & Abbasi, 2018). کاربرد سرین و گلوتامین با بهبود تغذیه نیتروژنی، افزایش توان رشد اندام‌های زایشی، کاهش اثرات تنش‌های محیطی و تقویت رابطه منبع و مخزن موجب افزایش تعداد دانه در پانیکول گیاه می‌گردد (Mirtaleb et al., 2021).

در بین اجزای عملکرد، تعداد خوشه در بوته از هیچ‌یک از تیمارهای آزمایش تأثیر نپذیرفت (جدول ۳). در مقابل، وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر، محلول‌پاشی و برهم‌کنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۳). نتایج حاصل از این بررسی (شکل ۸) نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه مربوط به چهار ترکیب تیماری پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با سرین، پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با گلوتامین، پیش‌تیمار با سرین به همراه محلول‌پاشی توأم سرین و گلوتامین، پیش‌تیمار با گلوتامین و محلول‌پاشی توأم این دو ماده به‌ترتیب با ۱۰/۲۷، ۱۲/۰۸، ۱۲/۲۰ و ۱۰/۹۲ درصد افزایش نسبت به شاهد بود. کاربرد محلول‌پاشی توأم سرین و گلوتامین در شرایط عدم پیش‌تیمار بذر در گروه دوم آماری قرار گرفت و وزن هزار دانه را نسبت به شاهد ۴/۶۳ درصد افزایش داد. سایر ترکیبات تیماری با شاهد اختلاف معنی‌داری نشان ندادند (شکل ۸). محققان دریافتند که



شکل ۸- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بر وزن هزار دانه

Figure 8- Mean comparison of interaction of seed pretreatment and foliar application with amino acids on 1000 seed weight

جدول ۴- همبستگی ساده بین صفات اندازه‌گیری شده

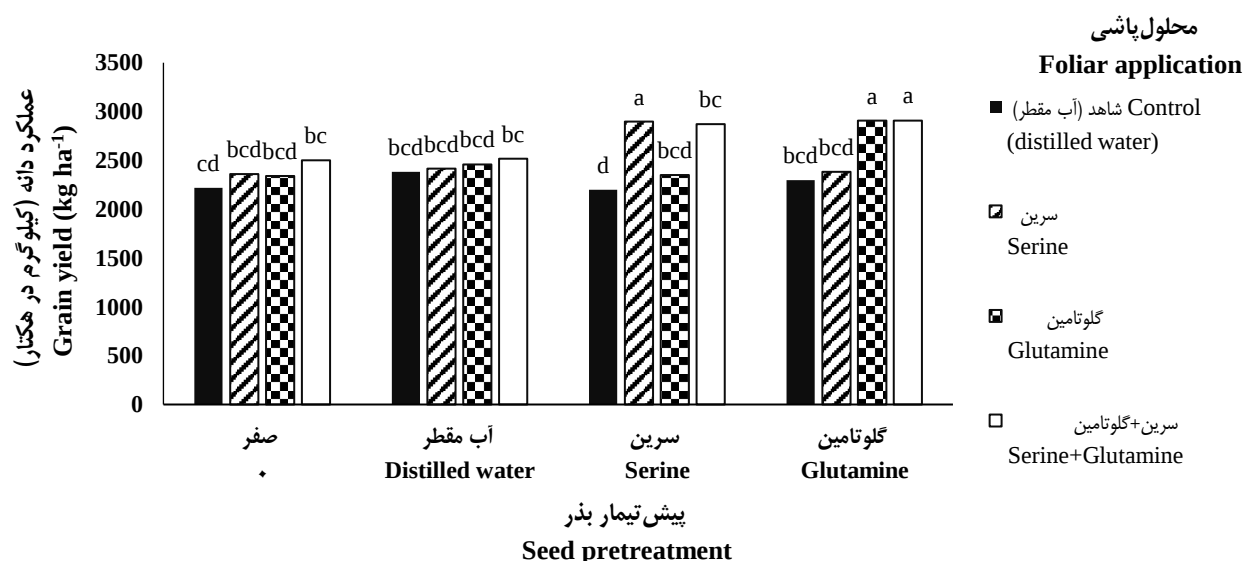
Table 4- Correlation between measured traits

صفات Traits	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 ارتفاع ساقه Stem height	1											
2 قطر ساقه Stem diameter	0.17	1										
3 محتوای نسبی آب برگ RWC	-0.16	0.08	1									
4 مالون دی آلدئید MDA	-0.06	0.03	-0.34*	1								
5 کربوهیدرات‌های محلول برگ Leaf soluble carbohydrate	0.10	0.12	0.21	-0.63**	1							
6 کلروفیل کل Total chlorophyll	0.02	0.17	0.04	0.004	0.46**	1						
7 وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	0.32*	0.14	0.15	0.12	0.08	-0.009	1					
8 پروتئین دانه Grain protein	0.23	0.06	-0.06	-0.33*	0.69**	0.54**	0.05	1				
9 تعداد دانه در خوشه Number of seeds in panicle	0.09	0.05	0.34*	-0.66**	0.60**	0.12	0.03	0.33*	1			
10 تعداد خوشه در بوته Number of panicles per plant	0.49**	0.10	-0.07	-0.02	0.20	-0.02	0.66**	0.30*	-0.03	1		
11 وزن هزار دانه 1000-seed weight	0.06	0.23	0.45**	-0.71**	0.57**	-0.03	0.15	0.26	0.74**	0.04	1	
12 عملکرد دانه Grain yield	0.30*	0.17	0.33*	-0.67**	0.65	0.02	0.35*	0.43**	0.83**	0.44**	0.84**	1

* و **: به ترتیب بیانگر معنی داری در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.
* and **: significant at the level 0.05 and 0.01, respectively.

افزایش می‌یابد (Hassan et al., 2020). کاربرد سرین و گلوتامین از طریق بهبود رشد زایشی، افزایش تعداد و وزن دانه، تقویت فتوسنتز و بهینه‌سازی متابولیسم نیتروژن موجب افزایش عملکرد دانه در گیاه کینوا می‌گردد. این اسیدهای آمینه با کاهش آثار منفی تنش‌های محیطی و بهبود رابطه منبع و مخزن، در ارتقای ظرفیت تولیدی گیاه نقش کلیدی ایفا می‌کنند (Luo et al., 2023).

افزایش عملکرد دانه در اثر کاربرد سرین و گلوتامین در این پژوهش را می‌توان با افزایش وزن هزار دانه، تعداد دانه در خوشه، و بهبود شرایط آبی برگ و نیز کاهش پراکسیداسیون لیپیدها (میزان مالون‌دی‌آلدهید) توسط این مواد مرتبط دانست. پژوهشگران اعلام کردند که گلوتامین به‌عنوان ترکیب کلیدی در انتقال نیتروژن باعث می‌شود که گیاه نیتروژن دریافتی را به‌شکلی مؤثرتر به پروتئین‌ها و دانه‌ها اختصاص دهد و در نتیجه، ذخیره نهایی مواد مغذی در دانه



شکل ۹- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بر عملکرد دانه

Figure 9- Mean comparison of interaction of seed pretreatment and foliar application with amino acids on grain yield

محلول‌پاشی مورد استفاده قرار گرفتند، تأثیر بیشتری بر صفات مذکور نشان دادند. در بین چهار تیمار مربوط به محلول‌پاشی، کاربرد توأم سرین و گلوتامین بهتر عمل کرد. در نهایت در محدوده پژوهش انجام‌شده، کاربرد پیش‌تیمار بذر با سرین و گلوتامین به همراه محلول‌پاشی برگی توأم این دو ماده (۲۰۰ میلی گرم در لیتر) جهت افزایش پروتئین و عملکرد دانه کینوا توصیه می‌گردد.

نتیجه‌گیری

براساس نتایج این تحقیق، کاربرد دو اسید آمینه سرین و گلوتامین موجب بهبود صفات ریخت‌شناختی، فیزیولوژیکی، کیفی و عملکرد دانه کینوا گردید. از لحاظ تأثیر بر میزان پروتئین دانه، کاربرد این دو ماده به‌صورت محلول‌پاشی بهتر از کاربرد پیش‌تیمار بذر بود. زمانی که هرکدام از این دو اسید آمینه به‌صورت توأم پیش‌تیمار و در

References

1. Ali, H., Mahmood, I., Ali, M. F., Waheed, A., Jawad, H., Hussain, S., & Alamri, S. (2024). Individual and interactive effects of amino acid and paracetamol on growth, physiological and biochemical aspects of *Brassica napus* L. under drought conditions. *Heliyon*, 10(11), 9-10. <http://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31544>
2. Amir, R., Galili, G., & Cohen, H. (2018). The metabolic roles of free amino acids during seed development. *Plant Science*, 275, 11-18. <http://doi.org/10.1016/j.plantsci.2018.06.011>
3. Amiri, A., & Abbasi, N. (2018). Role of glutamine synthetase in nitrogen use efficiency and reproductive organ growth in wheat. *Iranian Journal of Agricultural Sciences Research*, 19(3), 325-338. (In Persian).
4. Bashir, A., Rizwan, M., Ali, S., Zia-ur Rehman, M. Z., Ishaque, W., Riaz, M. A., & Maqbool, A. (2018). Effect of foliar-applied iron complexed with lysine on growth and cadmium (Cd) uptake in rice under Cd stress. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(21), 91-99. <http://doi.org/10.1007/s11356-018-2042-y>

5. Dorr, C. S., Almeida, T. L. D., Panozzo, L. E., & Schuch, L. O. B. (2018). Treatment of soybean seeds of different levels of physiological quality with amino acids. *Journal of Seed Science*, 40(4), 407–414. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v40n4199311>
6. Elshamly, A. M., Iqbal, R., Ali, B., Ahmed, I., Akram, M. I., Ali, S., & Hamed, M. H. (2024). Zinc and amino acids improve the growth, physiological, and biochemical attributes of corn under different irrigation levels. *Rhizosphere*, 29, 100820. <http://doi.org/10.1016/j.rhishp.2023.100820>
7. EL-Zefzafy, M. M., Shahhat, I. M. A., Yousef, R. S., & Elsharkawy, E. R. (2016). Influence of foliar application with amino acids and citric acid on physiological and phytochemical responses of *Artemisia abrotanum* produced by in vitro culture. *Bioscience Biotechnology Research Communication*, 9(4), 702–711. <http://doi.org/10.21786/bbrc/9.4/18>
8. Fortunato, S., Nigro, D., Lasorella, C., Marcotuli, I., Gadaleta, A., & de Pinto, M. C. (2023). The role of glutamine synthetase (GS) and glutamate synthase (GOGAT) in the improvement of nitrogen use efficiency in cereals. *Biomolecules*, 13(12), 1771. <http://doi.org/10.3390/biom13121771>
9. Hameed, S., Atif, M., & Perveen, S. (2023). Role of gibberellins, neem leaf extract, and serine in improving wheat growth and grain yield under drought-triggered oxidative stress. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 1(2), 1–17. <http://doi.org/10.1007/s12298-023-01402-9>
10. Hassan, M. U., Islam, M. M., Wang, R., Guo, J., Luo, H., Chen, F., & Li, X. (2020). Glutamine application promotes nitrogen and biomass accumulation in the shoot of seedlings of the maize hybrid ZD958. *Planta*, 251, 1–15. <http://doi.org/10.1007/s00425-020-03363-9>
11. Hussain, A., Ali, S., Rizwan, M., Zia-ur Rehman, M. Z., Hameed, A., Hafeez, F., Alamri, S. A., Alyemeni, M. N., & Wijaya, L. (2018). Role of zinc–lysine on growth and chromium uptake in rice plants under Cr stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 37(4), 1413–1422. <http://doi.org/10.1007/s00344-018-9831-x>
12. Ismail, M. A. M., Ahmad, M., Abdelrahman, T., Marwa, A., Sally, A., & Ali, M. (2024). Amino acids and polyamines in foliar spraying in enhancing medicinal plant resilience to abiotic stress – A systematic review. *Journal of Angiotherapy*, 8(11), 1–15. <http://doi.org/10.25163/angiotherapy.81110082>
13. Jahanbani, S., Mumivand, H., Zahedi, B., & Argento, S. (2024). Foliar application of urea and amino acids regulates growth, photosynthesis, pigments, antioxidant activity, and the essential oil content and composition of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Agronomy*, 14(12), 2950. <http://doi.org/10.3390/agronomy14122950>
14. Kao, C. H. (2015). Role of glutathione in abiotic stress tolerance of rice plants. *Journal of Taiwan Agricultural Research*, 164, 167–176. <http://doi.org/10.6156/JTAR/2015.06403.01>
15. Li, S., Ahmed, W., Jiang, T., Yang, D., Yang, L., Hu, X., & Zhao, Z. (2025). Amino acid metabolism pathways as key regulators of nitrogen distribution in tobacco: Insights from transcriptome and WGCNA analyses. *BMC Plant Biology*, 25(1), 393. <http://doi.org/10.1186/s12870-025-06390-4>
16. Luo, H., Duan, M., Xing, P., Zhang, Y., Qi, J., Kong, L., & Tang, X. (2023). Effects of L-glutamic acid application on yield, grain quality, photosynthetic pigments, 2-acetyl-1-pyrroline, and antioxidant system of aromatic rice. *Field Crops Research*, 303, 109134. <http://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109134>
17. Mirtaleb, S. H., Niknejad, Y., & Fallah, H. (2021). Foliar application of amino acids and potassic fertilizer improves the nutritional quality of rice. *Journal of Plant Nutrition*, 44(14), 2029–2041. <http://doi.org/10.1080/01904167.2021.1889588>
18. Noroozlo, Y. A., Souri, M. K., & Delshad, M. (2019). Stimulation effects of foliar-applied glycine and glutamine amino acids on lettuce growth. *Agriculture Journal*, 4(1), 164–172. <http://doi.org/10.1515/opag-2019-0016>
19. Prager, A., Munz, S., Nkebiwe, P. M., Mast, B., & Graeff-Hönniger, S. (2018). Yield and quality characteristics of different quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars grown under field conditions in Southwestern Germany. *Agronomy*, 8, 197–216. <http://doi.org/10.3390/agronomy8100197>
20. Ramyar, H., Baradaran-Firouzabadi, M., Sobhani, A. R., & Asghari, H. R. (2023). Reduction of lead toxicity effects and enhancing the glutathione reservoir in green beans through spraying sulfur and serine and glutamine amino acids. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(13), 38157–38173. <http://doi.org/10.1007/s11356-022-24819-3>
21. Romero, L. C., Aroca, M. A., Laureano-Marin, A. M., Moreno, I., Garcia, I., & Gotor, C. (2014). Cysteine and cysteine-related signaling pathways in *Arabidopsis thaliana*. *Molecular Plant*, 7(2), 264–278. <http://doi.org/10.1093/mp/sst168>
22. Ros, R., Munoz-Bertomeu, J., & Krueger, S. (2014). Serine in plants: Biosynthesis, metabolism, and functions. *Trends Plant Science*, 19(9), 564–569. <http://doi.org/10.1016/j.tplants.2014.06.003>
23. Rosa-Tellez, S., Casatejada-Anchel, R., Alcántara-Enguidanos, A., Torres-Moncho, A., Dohgri, M., Martinez-Serra, C., & Ros, R. (2023). Serine metabolic networks in plants. *Progress in Botany*, 84, 83–102. http://doi.org/10.1007/124_2023_73
24. Roupael, Y., & Colla, G. (2018). Synergistic biostimulatory action: Designing the next generation of plant biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 9(1), 1655. <http://doi.org/10.3389/fpls.2018.01655>

25. Sadak, M., Abdelhamid, M. T., & Schmidhalter, U. (2015). Effect of foliar application of amino acids on plant yield and some physiological parameters in bean plants irrigated with seawater. *Acta Biologica Colombiana*, 20(1), 141–152.
26. Salinas, M., Gandolfo, E., Hakim, G., Giardina, E., & Di Benedetto, A. (2019). Foliar amino acids sprays on lettuce (*Lactuca sativa* L.) biomass accumulation. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8, 2183–2196. <http://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.801.228>
27. Sharif Zadeh Ehteshami, M., & Danaee, E. (2023). The effect of foliar application of amino acids alanine, proline, and glutamine on some morphophysiological and enzymatic properties of coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Journal of Quality and Durability of Agricultural Products and Food Stuffs*, 3(1), 49–62. (In Persian). <https://doi.org/10.71516/qafj.2023.1072>
28. Svietlova, N., Zhyr, L., Reichelt, M., Grabe, V., & Mithöfer, A. (2024). Glutamine as sole nitrogen source prevents induction of nitrate transporter gene NRT2.4 and affects amino acid metabolism in *Arabidopsis*. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1369543. <http://doi.org/10.3389/fpls.2024.1369543>
29. Zimmermann, S. E., Blau, S., Frerigmann, H., & Krueger, S. (2021). The phosphorylated pathway of serine biosynthesis is crucial for indolic glucosinolate biosynthesis and plant growth promotion conferred by the root endophyte *Colletotrichum tofieldiae*. *Plant Molecular Biology*, 107(1), 85–100. <http://doi.org/10.1007/s11103-021-01181-5>