



اثر پرایمینگ بذر و برگ‌پاشی برخی اسیدهای آمینه بر ویژگی‌های فنولوژیک و عملکرد نخود رقم عادل در رژیم‌های مختلف آبیاری

ابراهیم زارعی چقاللهی^۱، سید علی محمد مدرس ثانوی^{۲*}، نرگس دولتمند شهری^۳

۱- دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۲- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۳- دانش آموخته دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

چکیده مبسوط

مقدمه: نخود (*Cicer arietinum* L.) یکی از قدیمی‌ترین حبوبات کشت‌شده در جهان است که به دلیل سازگاری بالا به خشکی و شرایط دیم، نقش مهمی در کشاورزی مناطق نیمه‌خشک دارد. با این حال، تنش خشکی می‌تواند عملکرد این گیاه را به شدت کاهش دهد. استفاده از روش‌هایی نظیر پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه می‌تواند اثرات منفی تنش خشکی را کاهش داده و عملکرد و ویژگی‌های فتوسنتزی گیاه را بهبود بخشد. این پژوهش باهدف بررسی تأثیر پرایمینگ و برگ‌پاشی اسیدهای آمینه تجاری، پرولین، والین و آلانین بر صفات فنولوژیک و عملکرد نخود رقم عادل تحت رژیم‌های مختلف آبیاری انجام شد.

روش شناسی پژوهش: در سال ۱۳۹۶، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس به‌منظور بررسی اثر پرایمینگ بذر و برگ‌پاشی برخی اسیدهای آمینه بر ویژگی‌های فنولوژیک و عملکرد نخود رقم عادل تحت رژیم‌های مختلف آبیاری انجام شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عوامل مورد بررسی شامل رژیم‌های آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل، کم‌آبیاری متوسط و کم‌آبیاری شدید) به‌عنوان عامل اصلی و پرایمینگ و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه در شش سطح (اسید آمینه تجاری، پرولین، والین، آلانین، آب مقطر و شاهد) به‌عنوان عامل فرعی بودند.

یافته‌های پژوهش: با تغییر آبیاری از سطح کامل به سطح کم‌آبیاری شدید، تعداد روز تا گل‌دهی، غلاف‌دهی و رسیدگی، ارتفاع بوته، کلروفیل کل، کاروتنوئید و عملکرد دانه به ترتیب ۴/۴۲، ۶/۹۲، ۸/۷۰، ۲۴/۹۵، ۲۸، ۱۷/۸۱ و ۵۲/۱۸ درصد بطور معنی‌داری کاهش و فلاونوئید و آنتوسیانین به ترتیب افزایش ۱۹ و ۴۲/۸۶ درصدی معنی‌داری داشتند. استفاده از پرایمینگ و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه اثر افزایشی معنی‌داری بر تمامی این صفات (به‌جز فلاونوئید و آنتوسیانین) داشت. اسید آمینه پرولین و تجاری بیشترین تأثیر را بر صفات مطالعه شده داشتند، به‌طوری‌که به ترتیب باعث افزایش ۲۶/۵۵ و ۲۶/۵۲ درصدی عملکرد دانه نسبت به شاهد شدند. اثرات متقابل سطوح مختلف آبیاری و اسیدهای آمینه بر صفات مذکور معنی‌دار نبود، اما کاربرد اسیدهای آمینه، مستقل از سطح آبیاری، با افزایش دوره رشد و رسیدگی نقش موثری در افزایش عملکرد دانه داشت. به‌عبارت دیگر، کاربرد اسیدهای آمینه به‌عنوان یک تکنیک کشاورزی می‌تواند رشد و عملکرد گیاهان را بهبود بخشد و در صورت ترکیب با مدیریت بهینه آبیاری، نتایج مطلوب‌تری به همراه داشته باشد.



* نگارنده مسئول: modaresa@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۱۳

کلمات کلیدی: آمینواسید، پرولین، تنش کم‌آبی، عملکرد دانه

مقدمه

به‌خصوص زایشی نسبت به -خشکی آسیب‌پذیر است (Savita et al., 2020). خشکی تنش غیر زیستی قابل‌توجهی است که با کاهش آب سلولی و گسترش و تقسیم سلولی تأثیر منفی بر رشد گیاه و ظرفیت عملکرد دارد (Tiwari et al., 2016). در بررسی‌های مختلف، خشک‌سالی به‌عنوان عامل کاهش ۴۰ تا ۵۰ درصدی عملکرد نخود گزارش شده است (Jameel et al., 2021; Sachdeva et al., 2022). مطالعه‌ای دیگر نشان داد که تنش رطوبتی به‌طور خاص در مرحله زایشی می‌تواند عملکرد نخود را تا ۷۰ درصد کاهش دهد (Nadeem et al., 2019). تنش خشکی به دلیل کاهش سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی، کارایی فتوسنتز گیاهان را مختل می‌کند که کاهش تولید کربوهیدرات و عملکرد دانه را به دنبال دارد (Srivastava et al., 2019).

در مناطق نیمه‌خشک، استقرار ضعیف گیاهچه‌ها یکی از مشکلات عمده ناشی از کمبود آب است و جوانه‌زنی و سبز شدن سریع یکی از عوامل مهم استقرار موفق محسوب می‌شود (Murugu et al., 2003)، چرا که سرعت بالاتر در جوانه‌زنی می‌تواند به گیاهان کمک کند تا در شرایط خشک و کم‌آب، سریع‌تر به مرحله رشد و توسعه برسند و بدین ترتیب استقرار بهتری پیدا کنند. به منظور کاهش صدمات ناشی از تنش خشکی و استقرار بهتر گیاه در این شرایط، پرایمینگ بذر روشی منطقی، کم هزینه و کاربردی است (Yan, 2015). در فرآیند پرایمینگ، جذب آب توسط بذر در مرحله آبنوشی به‌طور کنترل شده انجام می‌شود، به‌طوری که فعالیت‌های متابولیکی آغاز می‌گردد، اما از رشد ریشه جلوگیری می‌شود (Salemi et al., 2019). پرایمینگ باعث کوتاه‌شدن زمان کاشت تا سبز شدن و حفاظت بذرها از عوامل زنده و غیرزنده در مرحله بحرانی استقرار

در بین تمام حبوبات دانه‌ای، نخود (*Cicer arietinum* L.) یکی از قدیمی‌ترین حبوبات کشت‌شده از نظر تغذیه، زراعی و اقتصادی در جهان محسوب می‌شود که گیاهی یک‌ساله و خودگشن بوده و پس از باقلا و نخودفرنگی مزرعه‌ای، سومین محصول مهم حبوبات در جهان است (Singh et al., 2021; Madurapperumage et al., 2018). در سال زراعی ۱۴۰۰، سطح زیر کشت نخود در ایران ۴۴۰ هزار هکتار با میانگین عملکرد ۳۸۲ کیلوگرم در هکتار و تولید ۱۶۸ هزار تن عملکرد دانه بود (FAO, 2021). تولیدکنندگان عمده نخود در سال ۲۰۲۱ به ترتیب هند (۷۵ درصد) به دلیل مصرف محلی بالا، استرالیا (۶ درصد) و اتیوپی (۳ درصد) بودند، در حالی که میانگین عملکرد جهانی بالای نخود متعلق به چین، اردن و سودان می‌باشد که به ترتیب ۵۴۳۲، ۴۹۵۷ و ۴۳۲۱ کیلوگرم در هکتار ثبت شده است (FAO, 2021). فاصله زیادی بین حداکثر پتانسیل جهانی (۴۹۵۷ کیلوگرم در هکتار) و همچنین میانگین پتانسیل جهانی (۱۵۲۸ کیلوگرم در هکتار) و میانگین‌های ثبت‌شده عملکرد نخود در ایران وجود دارد. این شکاف عملکرد به دلیل عوامل محدودکننده متعددی از جمله عوامل محیطی همانند کمبود آب یا تنش خشکی و مدیریتی همچون مدیریت تغذیه گیاهی است. در مناطق نیمه‌خشک، نخود به‌عنوان یک گیاه سازگار به آب‌وهوای خشک (Sahu et al., 2022) و در مناطق آب و هوایی سرد، به‌عنوان یک گیاه سازگار به شرایط دیم کشت می‌شود (Kumar et al., 2021). در واقع، حدود ۹۰ درصد نخود در مناطق دیم کشت می‌گردد (Arif et al., 2021; Rani et al., 2020). به‌طوری که تولید محصول آن به بارندگی متکی بوده و در مراحل رشد رویشی و

گیاهچه می‌شود. پرایمینگ بذر موجب ظهور گیاهچه و استقرار یکنواخت و در نتیجه بهبود عملکرد محصول می‌شود (Basra et al., 2004). برخی از محققان از پرایمینگ و محلول‌پاشی ترکیباتی مانند تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی و اسیدهای آمینه برای بازیابی رشد گیاه در شرایط تنش خشکی استفاده کرده‌اند (Taheri et al., 2018; Tahaei et al., 2022). اسیدهای آمینه محرک‌های زیستی شناخته‌شده‌ای هستند که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر فعالیت‌های فیزیولوژیکی، مراحل رشد و تولیدمثل، گل‌دهی گیاه و عملکرد تأثیر می‌گذارد (Abd El-Aal et al., 2010). گزارش‌های مختلفی نشان می‌دهد که تحت تنش خشکی محتوای اسیدهای آمینه کل در گیاهان به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌یابد (Ghosh et al., 2022; Riyazuddin et al., 2022). سنتز اسیدهای آمینه در گیاهان یک فرآیند انرژی‌خواه است، اما استفاده از اسیدهای آمینه مکمل، گیاهان را قادر می‌سازد تا انرژی را در طول دوره‌های تنش غیر زیستی حفظ کنند و در نتیجه توانایی آن‌ها را برای مقابله با شرایط نامطلوب محیطی افزایش دهند (Popko et al., 2018). در این زمینه، استفاده از اسیدهای آمینه پرولین، آلانین، والین و مکمل‌های تجاری اسیدآمینه، که به‌عنوان تیمارهای مؤثر در بهبود رشد و تحمل گیاهان نسبت به تنش‌های زیستی و غیر زیستی شناخته‌شده‌اند، نقش ویژه‌ای ایفا می‌کند. پرولین با تنظیم اسمزی و کاهش اثرات اکسیداتیو ناشی از تنش‌هایی مانند شوری و خشکی، در سازگاری گیاهان بسیار مؤثر است (Szabados and Savoure, 2010). آلانین که از اسید گلوتامیک سنتز می‌شود، در فرایندهای مختلفی همچون سنتز کلروفیل، فعالیت‌های فتوسنتزی، تنظیم باز و بسته شدن روزنه‌های گیاهی و افزایش مقاومت به خشکی نقش مهمی ایفا می‌کند (Alfosea-Simon et al., 2021). والین نیز نقش مهمی در سنتز پروتئین و مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی مانند خشکی دارد. از سوی دیگر،

اسیدهای آمینه تجاری با ترکیبات بهینه، برای افزایش بازدهی محصولات زراعی در شرایط تنش‌زا استفاده شده‌اند و اثرات مثبتی مانند افزایش فتوسنتز و تقویت جذب مواد مغذی را نشان داده‌اند (Calvo et al., 2014). محتوای کلروفیل مستقیماً با تأثیر بر فعالیت فتوسنتزی گیاه، عملکرد محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Abd El-Aal et al., 2010). در پژوهشی روی نخود تحت تنش کمبود آب، میزان کلروفیل به‌شدت کاهش یافت، اما تحت تیمارهای محلول‌پاشی اسیدهای آمینه پرولین، والین و آلانین عملکرد دانه، کلروفیل a و کل، کاروتنوئیدها و سرعت فتوسنتز به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (Khalesi et al., 2023). در مطالعه‌ای محلول‌پاشی اسید آمینه پرولین باعث افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی، فنل‌ها، اسیدهای آمینه آزاد، ارتفاع گیاه و وزن تر و خشک اندام‌های هوایی کینوا (*Chenopodium quinoa*) در مقایسه با گیاهان شاهد (بدون محلول‌پاشی اسیدآمینه پرولین) در شرایط عدم تنش و تنش خشکی شد. این محققین اثر کاهشی پرولین بر اثرات نامطلوب خشکی را به دلیل بهبود وضعیت آب بافت‌های گیاهی و افزایش محتوای نسبی آب برگ تحت این نوع اسیدآمینه بیان داشتند (Elewa et al., 2017). در پژوهشی، محلول‌پاشی اسیدآمینه پروآمین در شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی، تأثیر مثبتی بر صفاتی همچون ارتفاع بوته، وزن خشک اندام‌های هوایی و عملکرد دانه کلزا (*Brassica napus* L.) نشان داد و توانست اثرات منفی ناشی از تنش کم‌آبی را کاهش دهد. بیشترین عملکرد دانه با کاربرد برگی دو گرم اسیدآمینه در لیتر حاصل شد که سبب افزایش ۲۲/۴ و ۶۱/۴ درصدی عملکرد دانه به ترتیب در شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی گردید (Fayaz et al., 2024). مطابق با نتایج تحقیقات پیشین، پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه به‌عنوان رویکردهایی مؤثر در بهبود عملکرد گیاهان تحت شرایط تنش خشکی شناخته

شده‌اند. این روش‌ها به دلیل نیاز اندک به منابع آبی و تجهیزات پیچیده، قابلیت اجرا در شرایط دیم را دارا هستند و می‌توانند با استفاده از تجهیزات ساده‌ای مانند سم‌پاش‌های دستی یا موتوری و استفاده از محلول‌های ساده (ترکیب آب و اسیدهای آمینه) به‌طور موثر انجام شوند. از نظر اقتصادی، این روش‌ها برای کشاورزان در مناطق دیم مقرون به صرفه بوده، زیرا با هزینه‌های کم قادرند بازدهی محصولات کشاورزی را در شرایط کم‌آبی به‌طور چشمگیری افزایش دهند.

در شرایط کشاورزی دیم که تأمین آب به‌صورت محدود و وابسته به بارندگی است، از طرفی، کاربرد اسیدهای آمینه می‌تواند به‌عنوان یک روش تغذیه‌ای مناسب، نقش مهمی در افزایش تحمل گیاهان نسبت به شرایط کم‌آبی ایفا کند. بنابراین، در این تحقیق فرض بر این است که پرایمینگ بذر و برگ‌پاشی چهار اسید آمینه پرولین، اسید آمینه تجاری، والین و آلانین باعث بهبود رشد و عملکرد نخود رقم عادل تحت تنش کم‌آبی شود. به همین منظور، آزمایشی با هدف بررسی اثر پرایمینگ بذر و برگ‌پاشی اسیدهای آمینه بر ویژگی‌های فنولوژیک و عملکرد نخود رقم عادل تحت رژیم‌های مختلف آبیاری انجام شد. یافته‌های این تحقیق می‌توانند در مدیریت تغذیه‌ای گیاه در نظام‌های کشاورزی کم‌نهاده مانند دیم مورد استفاده قرار گیرند.

مواد و روش‌ها

پژوهشی در سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس اجرا شد. ارتفاع محل آزمایش از سطح دریا ۱۲۱۵ متر با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۳ دقیقه شمالی است. میانگین بارندگی و دمای سالانه در طولانی مدت (۳۰ سال) به ترتیب ۲۳۲/۶ میلی‌متر و ۲۲ درجه

سانتی‌گراد بود. قبل از شروع آزمایش، به‌منظور بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک، در عمق ۰-۳۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری با استفاده از اوگر از پنج نقطه زمین به‌صورت زیگزاگی نمونه‌برداری انجام شد و پس از ترکیب نمونه‌ها با یکدیگر، نمونه مرکبی تهیه و به آزمایشگاه جهت ارزیابی ویژگی‌های خاک، منتقل گردید. نتایج تجزیه خاک در جدول ۱ ارائه شده است. ویژگی‌های خاک ارائه شده در جدول ۱ با استفاده از روش‌های استاندارد آزمایشگاهی در آزمایشگاه خاک‌شناسی اندازه‌گیری شده‌اند. روش‌های اندازه‌گیری طبق دستورالعمل‌های معتبر شامل موارد زیر بوده است:

pH خاک: اندازه‌گیری با استفاده از pH متر در عصاره با نسبت ۲/۵:۱ خاک به آب (Rhoades, 1982).

هدایت الکتریکی (EC): اندازه‌گیری با EC متر در عصاره اشباع خاک (Rhoades, 1982).

ماده آلی: اندازه‌گیری با روش والکلی- بلک^۱ (Nelson and Sommers, 1996).

نیتروژن کل: اندازه‌گیری با روش کج‌لدال (Bremner, 1982).

فسفر قابل استفاده: اندازه‌گیری با روش اولسن در عصاره بی‌کربنات سدیم (Olsen et al., 1954).

پتاسیم قابل جذب: استخراج با استات آمونیوم و اندازه‌گیری با شعله‌سنج (Helmke and Sparks, 1996).

بافت خاک: تعیین با استفاده از هیدرومتری (Gee and Bauder, 1986).

pH خاک نشان‌دهنده اسیدی یا قلیایی بودن خاک است. خاک‌های نزدیک به pH خنثی (۶/۵-۷/۵) برای جذب مواد مغذی گیاهان مناسب‌تر هستند (Rhoades, 1982). طبق جدول ۱ مقدار pH خاک در دو عمق ۰-۳۰ و ۶۰-۳۰ به ترتیب ۷/۵۶ و ۷/۵۶ بود. در این دامنه pH، جذب پتاسیم در شرایط مطلوبی قرار دارد، اما جذب فسفر در عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متری به دلیل شرایط کمی قلیایی خاک ممکن

¹ Walkley and Black

بافت خاک (ماسه، سیلت و رس) تأثیر مستقیمی بر نگهداری آب و تهویه خاک دارد (Gee and Bauder, 1986). با توجه به ترکیب خاک محل اجرای آزمایش، این خاک در سیستم طبقه‌بندی (Brady and Weil, 2008) USDA می‌تواند به یکی از سری‌های خاک شنی لومی تعلق داشته باشد.

طرح آزمایشی و آماده‌سازی محل اجرای طرح:

این تحقیق به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. کرت اصلی شامل رژیم‌های آبیاری در سه سطح آبیاری مطلوب، کم‌آبیاری متوسط و کم‌آبیاری شدید به ترتیب به صورت قطع آبیاری تا تخلیه ۲۰، ۴۵ و ۷۰ درصد آب قابل استفاده خاک در منطقه توسعه ریشه و سپس آبیاری تا حد ظرفیت زراعی، از زمان گل‌دهی تا برداشت گیاه بود. کرت فرعی شامل دو روش تیماری (۱) پرایمینگ بذر (با غلظت ۰/۲ گرم در لیتر) و (۲) محلول‌پاشی مواد ضدتنش شامل اسیدهای آمینه پرولین، والین، آلانین (مرک آلمان با درجه خلوص ۹۹/۵ درصد) و اسید آمینه تجاری (مرک اسپانیا با درجه خلوص ۸۰ درصد) با غلظت ۰/۲۵ گرم در لیتر بود که در دو مرحله (اوایل گل‌دهی و شروع غلاف‌دهی) همراه با تیمار شاهد (آب مقطر و عدم کاربرد مواد ضد تنش) انجام شد. ترکیب اسید آمینه تجاری در جدول ۲ ارائه شده است.

است تا حدی کاهش یابد، زیرا با افزایش pH، حلالیت فسفر کاهش می‌یابد. EC خاک که نشان‌دهنده میزان شوری خاک است، تأثیر مستقیمی بر رشد گیاهان دارد. اگر مقدار EC کمتر از ۴ دسی‌زیمنس بر متر باشد، خاک غیرشور محسوب می‌شود و برای اکثر گیاهان مناسب است (Rhoades, 1982). که EC خاک این منطقه مشکلی برای کشت نداشت. میزان ماده آلی خاک نیز شاخصی از حاصلخیزی و توانایی خاک در ذخیره‌سازی مواد مغذی و آب است. خاک با ماده آلی بالای ۲ درصد برای رشد بهینه گیاهان مفید است (Nelson and Sommers, 1996). مقدار ماده آلی کمتر از این ممکن است نشان‌دهنده نیاز به افزودن کمپوست یا مواد آلی باشد. فسفر یکی از عناصر ضروری برای رشد گیاهان است. مقدار قابل استفاده فسفر باید حداقل ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک باشد تا نیاز گیاهان تأمین شود (Olsen et al., 1954). مقادیر پایین‌تر ممکن است نیاز به کوددهی فسفوری داشته باشد که با توجه به نتایج خاک (جدول ۱) مقدار فسفر قابل جذب خاک بیشتر از حد بهینه بوده است و نیازی به افزودن کود فسفر نداشت. پتاسیم قابل جذب برای رشد گیاهان ضروری است و معمولاً مقادیر بالای ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نشان‌دهنده خاک حاصلخیز است (Helmke and Sparks, 1996). که طبق نتایج تجزیه خاک (جدول ۱) مقدار پتاسیم خاک بالا بود و نیازی به کاربرد کود پتاس نداشت.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1. Physicochemical properties of soil analysis site

DP (cm)	BD (g/cm ³)	PWP	FC	Sand (mg/kg)	Silt (%)	Clay (%)	pH	EC (dS/m)	OC (%)	K (mg/kg)	P (mg/k)	N (%)
0-30	1.44	6.78	16	81	13	6	7.20	1.4	1.1	520	27.6	0.11
30-60	1.44	6.78	16	82	11	7	7.56	1.13	0.97	460	18.4	0.09

BD, PWP, Sand, Silt, Clay, pH, EC, OC, P, N, DP به ترتیب عبارتند از: وزن مخصوص ظاهری خاک، نقطه پژمردگی دائم، ظرفیت زراعی خاک، شن، سیلت، رس، اسیدیته، هدایت الکتریکی، کربن آلی، پتاسیم، فسفر، نیتروژن و عمق نمونه برداری

جدول ۲- ترکیب آمینواسید تجاری

Table 2- Commercial amino acid composition

محرك زیستی محیطی حاوی اسیدهای آمینه (به شکل پودر) ۱۰ درصد قابل حل در آب Environmental biostimulant containing amino acids (in powder form) 10% soluble in water					
علامت اختصاری Abbreviation symbol	محتوای کل اسید آمینه تجاری Total commercial amino acid content	اسید آمینه آزاد Free amino acid	علامت اختصاری Abbreviation symbol	محتوای کل اسید آمینه تجاری Total commercial amino acid content	اسید آمینه آزاد Free amino acid
ALA	4.15	آلانین Alanine	PRO	9.68	پرولین Proline
PHE	4.28	فنیل آلانین Phenylalanine	SER	11.32	سرین Serine
CYS	1.16	سیستئین Cystine	GLU	9.48	اسید گلوتامیک Glutamic acid
LYR	1.48	لیزین Lysine	GLY	6.76	گلیسین Glycine
TYR	0.07	تیروزین Tyrosine	LEU	5.40	لوسین Leucine
HIS	1.46	هیستیدین Histidine	VAL	4.76	والین Valine
MET	0.06	متیونین Methionine	ASP	6.22	اسید آسپارتیک Aspartic acid
ISO	3.05	ایزولوسین Isoleucine	ARG	5.29	آرژنین Arginine
			THR	4.20	ترئونین Threonine

مجموع اسیدهای آمینه: ۸۰
Sum of Amino Acids: 80
نیترژن کل: ۱۲/۸
Total Nitrogen: 12.8

کشور سازنده: اسپانیا
Manufacturer country: Spain

هدف از اجرای هم‌زمان پرایمینگ و محلول‌پاشی، بررسی تاثیر جداگانه و ترکیبی این دو روش بر بهبود تحمل نخود به تنش کم‌آبی بود. انتظار می‌رود پرایمینگ باعث بهبود جوانه‌زنی و استقرار اولیه گیاه شود، درحالی‌که محلول‌پاشی در مراحل زایشی نقش تقویت‌کننده در تحمل تنش داشته باشد. با این حال، برای ارزیابی دقیق‌تر مقرون‌به‌صرفه بودن این روش‌ها، انجام تحلیل اقتصادی ضروری است که در مطالعات آینده پیشنهاد می‌شود.

بذور نخود رقم عادل جهت پرایمینگ، به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در آب خالص و محلول اسیدهای آمینه (با غلظت ۰/۲ گرم در لیتر) قرار گرفتند. سپس، در دمای اتاق به مدت ۴۸ ساعت خشک شده و برای کشت به زمین اصلی منتقل شدند

هدف از اجرای هم‌زمان پرایمینگ و محلول‌پاشی، بررسی تاثیر جداگانه و ترکیبی این دو روش بر بهبود تحمل نخود به تنش کم‌آبی بود. انتظار می‌رود پرایمینگ باعث بهبود جوانه‌زنی و استقرار اولیه گیاه شود، درحالی‌که محلول‌پاشی در مراحل زایشی نقش تقویت‌کننده در تحمل تنش داشته باشد. با این حال، برای ارزیابی دقیق‌تر مقرون‌به‌صرفه بودن این روش‌ها، انجام تحلیل اقتصادی ضروری است که در مطالعات آینده پیشنهاد می‌شود.

بذور نخود رقم عادل جهت پرایمینگ، به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در آب خالص و محلول اسیدهای آمینه (با غلظت ۰/۲ گرم در لیتر) قرار گرفتند. سپس، در دمای اتاق به مدت ۴۸ ساعت خشک شده و برای کشت به زمین اصلی منتقل شدند

نخود به کود نیتروژن، دیگر نیازی به کود استارتر نبود.

پس از آماده‌سازی زمین و مشخص شدن خطوط کاشت، بذور نخود رقم عادل روی پشته‌ها در عمق چهار سانتی‌متری خاک در تاریخ ۱۵ اسفند سال ۱۳۹۶ کشت شدند. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت صورت گرفت و آبیاری‌های بعدی نیز برای تمام واحدهای آزمایشی تا زمان شروع تنش خشکی (۱۰ روز قبل از گل‌دهی) به‌صورت آبیاری مطلوب (تخلیه ۲۰ درصد آب قابل‌استفاده خاک در منطقه توسعه ریشه) و بر اساس نیاز گیاه به روش قطره‌ای (توسط تیپ‌های با فواصل منفذ ۲۰ سانتی‌متر و قطر داخلی ۱۶/۵ میلی‌متر) انجام شد. در زمان شروع اعمال تنش خشکی (۱۰ روز قبل از گل‌دهی) آبیاری به‌وسیله اعداد قرائت‌شده از دستگاه TDR (مدل Campbell Scientific CS655 با دقت ± 1 درصد) طبق تیمارهای آبیاری (تخلیه ۲۰، ۴۵ و ۷۰ درصد آب قابل‌استفاده خاک در منطقه توسعه ریشه) تا آخر فصل رشد انجام گرفت. کنترل علف‌های هرز بدون استفاده از علف‌کش‌ها و به‌صورت وجین دستی در طی فصل رشد انجام شد.

در آزمایشگاه میزان رطوبت وزنی و درصد رطوبت حجمی اندازه‌گیری و درصد آب قابل‌استفاده (D) بر اساس معادله (۱) تعیین (Martin et al., 1990) و سپس با استفاده از معادله (۲) درصد تخلیه آب قابل‌استفاده بشرح زیر محاسبه شد.

$$MAD (\%) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{FCi - \theta_i}{FCi - Wp} \times 100 \quad (1)$$

$$MAD - 100 = \text{تخلیه آب قابل استفاده } (\%) \quad (2)$$

در این فرمول n تعداد لایه‌ها در عمق مؤثر ریشه است که برای تعیین رطوبت خاک مورد نمونه‌برداری قرارگرفته‌اند، FCi رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی در لایه iام، θ_i رطوبت خاک قبل از آبیاری در لایه iام و PWP رطوبت خاک در نقطه پژمردگی دائم هستند. از مقایسه رطوبت‌های اندازه‌گیری شده به‌وسیله حسگرها با روش نمونه‌برداری و توزین،

۱۳۹۶ انجام پذیرفت هر واحد آزمایشی دارای پنج ردیف کاشت به فاصله ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر و به طول سه متر و فاصله بین بوته‌ها درروی ردیف کاشت ۸ سانتی‌متر بود. با توجه به آزمایش خاک و غنی بودن خاک مزرعه از فسفر و پتاسیم، نیازی به کودپاشی زمین در زمان تهیه بستر بذر نبود لازم به ذکر است که حد بحرانی فسفر و پتاسیم در خاک‌های زراعی و باغی به ترتیب ۱۰-۷ و ۲۵۰-۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است (Malakouti and Bani Ghibi, 2000). در کشت نخود ۲۰-۳۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار به‌عنوان کود استارتر لازم است (Khorsandi, 2019).

بر اساس تجزیه خاک، مقدار کربن آلی در لایه سطحی (۰-۳۰ سانتی‌متر) برابر ۱/۱ درصد می‌باشد. با استفاده از ضریب تبدیل (Van Bemmelen factor) مقدار ماده آلی برابر با ۰/۰۱۸۹۶۴ درصد محاسبه شد. با توجه به اینکه به‌طور میانگین حدود ۵ درصد از ماده آلی شامل نیتروژن است (Weil and Brady, 2016)، مقدار نیتروژن کل خاک حدود ۰/۰۰۹۴۸۲ درصد برآورد گردید. فرض شد که در طول فصل رشد حدود ۱ درصد از این نیتروژن به فرم معدنی تبدیل و برای گیاه قابل جذب می‌شود (Havlin et al., 2013). بنابراین درصد نیتروژن معدنی‌شده برابر ۰/۰۰۰۰۹۴۸۲ درصد خواهد بود. با توجه به وزن خاک در یک هکتار تا عمق ۳۰ سانتی‌متر (وزن مخصوص ظاهری ۱/۴۴ گرم بر سانتیمتر مکعب) $\times$ عمق خاک (۳۰ سانتیمتر) $\times$ مساحت خاک (10^4 سانتیمتر مربع) $\times$ ۱۰۰۰ (برای تبدیل کیلوگرم) = ۴۳۲۰۰۰۰ کیلوگرم وزن خاک، مقدار نیتروژن معدنی‌شده قبل از حذف سنگریزه برابر با ۴۰/۹۶ کیلوگرم در هکتار محاسبه شد. با در نظر گرفتن درصد سنگریزه (۴۸/۴ درصد) و اعمال ضریب اصلاحی ۵۱۶/۱۰ (۰/۴۸۴ - ۱)، مقدار نهایی نیتروژن قابل استفاده در خاک برابر با ۲۱/۱۴ کیلوگرم در هکتار برآورد گردید و با توجه به این برآوردها و نیاز

دقیقه در حمام آب گرم با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و پس از سرد شدن توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در سه طول‌موج ۲۷۰، ۳۰۰، ۳۳۰ نانومتر قرائت شد. برای اندازه‌گیری ۰/۲ گرم بافت گیاهی با سه میلی‌لیتر متانول اسیدی (شامل متانول و کلریدریک اسید به نسبت ۹۹ به یک) ساییده و سانتریفیوژ شده و محلول‌روئی به مدت یک شب در تاریکی قرار گرفت و میزان جذب آن در طول موج ۵۵۰ نانومتر خوانده شد. در هر دو صفت مورد بررسی برای محاسبه‌ی غلظت از ضریب خاموشی (E) بمیزان؛ $\epsilon = 33000 \text{ mol}^{-2}\text{cm}^{-1}$ استفاده گردید.

ارتفاع بوته: برای تعیین ارتفاع بوته در زمان رسیدگی از هر کرت بعد از حذف اثر حاشیه‌ای (حذف دو خط کناری و نیم متر از ابتدا و انتهای هر خط) ۶ بوته برداشته شد و ارتفاع آن‌ها با استفاده از متر پارچه‌ای اندازه‌گیری شد و پس از میانگین‌گیری به‌عنوان ارتفاع بوته در هر کرت ثبت گردید.

عملکرد دانه: جهت تعیین عملکرد دانه در زمان رسیدگی کامل، بعد از حذف اثر حاشیه‌ای، از هر کرت یک مترمربع برداشت شد و به آزمایشگاه منتقل و غلاف‌های موجود در هر بوته جدا شد. درنهایت دانه‌های به‌دست‌آمده از هر تیمار آزمایشی وزن شده و عملکرد نهایی برآورد آمد.

محاسبات آماری: از نرم‌افزار SAS 9.2 برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده گردید. قبل از تجزیه و تحلیل داده‌ها، تست نرمال بودن داده‌ها انجام شد و سپس نسبت به تجزیه و تحلیل آن‌ها اقدام گردید. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD (۵٪) انجام شد. همچنین رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Microsoft Office 2013 انجام گردید.

نتایج و بحث

مدت زمان گل‌دهی، غلاف‌دهی و رسیدگی: با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳)، تعداد روزهای رسیدن تا گل‌دهی، غلاف‌دهی و

اعتبارسنجی صورت گرفت (Vanclooster *et al.*, 1996). حجم آب مصرفی در این بررسی در طول فصل رشد نخود رقم عادل برای هر کرت (۷/۵ مترمربع) در شرایط آبیاری کامل با تعداد ۱۱ دفعه آبیاری ۴/۶۷۱ مترمکعب، در شرایط کم آبیاری متوسط با ۸ دفعه آبیاری ۲/۸۴۴ مترمکعب و در شرایط کم آبیاری شدید با ۶ دفعه آبیاری ۱/۷۱۸ مترمکعب به ترتیب معادل ۶۲۲۸، ۳۷۹۲ و ۲۲۹۰/۶۶ مترمکعب در هکتار بود.

اعمال محلول‌پاشی‌ها در دو مرحله (اوایل گل‌دهی و شروع غلاف‌دهی) در ساعت ۴ بعد از ظهر و در هوای ملایم و بدون باد و صاف انجام شد. به‌طوری‌که برگ‌های گیاه نخود کاملاً خیس شوند. گیاهان شاهد بدون محلول‌پاشی و گیاهان هیدروپرایمینگ با آب مقطر محلول‌پاشی شدند.

صفات فنولوژیک: از زمان سبز شدن تا زمانی که ۵۰ درصد از بوته‌های هر کرت دارای یک گل باز بودند به‌عنوان تاریخ گل‌دهی محسوب شد و مبنای محاسبه، تاریخ کاشت در نظر گرفته و برحسب روز بیان شد. (IBPGR/ICRISAT/ICARDA, 1993).

کلروفیل کل و کاروتنوئید: کلروفیل کل و کاروتنوئید بر اساس روش Arnon (1967) با استفاده از عصاره استنی برگ تازه (۰/۲ گرم برگ تازه فریز شده با ۱۵ میلی‌لیتر استن ۸۰ درصد ساییده و سانتریفیوژ می‌شود) در طول موج‌های ۶۴۶/۸، ۶۶۳/۲ و ۴۷۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر (Varian Cary Win UV 6000i, Australia) قرائت شده و بر طبق معادلات ۳ و ۴ محاسبه شد.

$$\text{کلروفیل کل} = 7.15A_{663.2} + 18.71 A_{646.8} \quad (۳)$$

$$\text{کاروتنوئید} = (1000A_{470} - 1.8\text{chl}a - 85.02\text{chl}b) / 198 \quad (۴)$$

فلاونوئید و آنتوسیانین: میزان فلاونوئید و آنتوسیانین برگ طبق روش Krizek *et al.* (۱۹۹۳) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری فلاونوئید ۰/۲ گرم بافت گیاهی با سه میلی‌لیتر اتانول اسیدی (که شامل اتانول و استیک اسید به نسبت ۹۹ به یک) ساییده و بعد سانتریفیوژ شد. سپس محلول‌روئی به مدت ۱۰

روز تا گل‌دهی در بوته‌های تیمار شده با اسیدهای آمینه تجاری و پرولین مشاهده شد. با این حال، این تیمارها از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارهای اسیدآمینه (مانند آلانین و والین) و آب مقطر نشان ندادند (جدول ۴).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین تیمارها، با کاهش آبیاری، مدت‌زمان غلاف‌دهی روند کاهشی داشت به‌طوری‌که تحت کم آبیاری شدید ۷/۳۳ روز زودتر از آبیاری مطلوب به غلاف‌دهی رسید. تحت کم آبیاری متوسط نیز تعداد روز تا غلاف‌دهی کاهش غیرمعنی‌داری نسبت به آبیاری مطلوب نشان داد (جدول ۴). تعداد روز تا غلاف‌دهی نخود با پرایمینگ و محلول‌پاشی با اسیدهای آمینه و آب مقطر افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد داشت و اسیدآمینه تجاری بیشترین تأثیر را بر تعداد روز تا غلاف‌دهی (۱۰۶/۵۶ روز) نشان داد. این اسیدآمینه تجاری تعداد روز تا غلاف‌دهی را نسبت به شاهد ۹/۳۳ روز افزایش داد، اما فاقد تفاوت معنی‌داری با اسیدهای آمینه پرولین و والین بود (جدول ۴).

رسیدگی به‌طور معنی‌داری ($P < 0.01$) تحت تأثیر رژیم آبیاری و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که کاهش آبیاری باعث کاهش مدت زمان گل‌دهی گیاه نخود شد؛ به‌طوری‌که تحت شرایط کم آبیاری متوسط و شدید، مدت‌زمان رسیدن به گل‌دهی به ترتیب ۱/۸۹ و ۴ روز کمتر از شرایط آبیاری مطلوب بود (جدول ۴). این نتیجه با استناد به تحقیقات پیشین (Sachdeva *et al.*, 2022) و رفتار شناخته‌شده گیاه نخود تحت تنش خشکی، قابل پیش‌بینی است. گیاه نخود در مواجهه با کمبود آب از استراتژی فرار از خشکی استفاده می‌کند، به این معنا که با کوتاه کردن دوره رشد و تسریع گل‌دهی، منابع خود را به تولیدمثل و بقا اختصاص می‌دهد (Blum, 2010; Szabados and Savoure, 2010). بنابراین، این رفتار فیزیولوژیکی منطقی بوده و با یافته‌های مطالعات پیشین همخوانی دارد. نتایج نشان داد که پرایمینگ و محلول‌پاشی با اسیدهای آمینه و آب مقطر منجر به افزایش معنی‌دار مدت‌زمان گل‌دهی در مقایسه با تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی) شد. بیشترین تعداد

جدول ۳- میانگین مربعات مدت‌زمان گل‌دهی، غلاف‌دهی و رسیدگی، ارتفاع بوته، عملکرد دانه و برخی صفات فیزیولوژیکی نخود رقم عادل تحت تأثیر رژیم آبیاری و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه (تهران، ۱۳۹۷)

Table 3. Mean square of duration of flowering, podding and ripening, plant height, seed yield and some physiological traits of Adel chickpea under irrigation regimes and foliar spraying of amino acids

منبع تغییرات S.O.V	DF	میانگین مربعات Mean Square (MS)						
		مدت زمان گل‌دهی Duration of flowering	مدت زمان رسیدگی Duration of proceedings	ارتفاع بوته Plant height	کلروفیل کل Total chlorophyll	کاروتنوئید Carotenoid	فلاونوئید Flavonoid	آنتوسیانین Anthocyanin
عملکرد دانه Grain yield								
بلوک (تکرار) Block (Rep)	2	5.85 ^{ns}	13.55 ^{ns}	2.46 ^{ns}	0.467 ^{ns}	0.054 ^{ns}	0.31 ^{ns}	0.0005 ^{ns}
آبیاری Irrigation (I)	2	72.07 [*]	594.38 ^{**}	905.57 ^{**}	8.31 [*]	0.061 [*]	5.37 ^{**}	0.0052 ^{**}
خطای اول Error (a)	4	4.02	1.11	17.60	0.650	0.041	0.04	0.0002
اسیدهای آمینه Amino Acids (AA)	5	77.39 ^{**}	106.84 ^{**}	68.51 ^{**}	5.110 ^{**}	0.057 ^{**}	0.26 ^{ns}	0.0006 ^{ns}
اثر متقابل I × AA	10	0.43 ^{ns}	4.56 ^{ns}	4.93 ^{ns}	0.180 ^{ns}	0.059 ^{ns}	0.42 ^{ns}	0.0004 ^{ns}
خطای دوم Error (b)	30	4.21	10.90	11.95	0.428	0.037	0.65	0.003
ضریب تغییرات CV (%)		2.32	2.77	7.51	16.97	11.71	13.50	10.07

^{ns}, ^{*}, ^{**} Non significant, significant at 5 and 1 probability levels, respectively

^{ns}, ^{*}, ^{**} به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۴- مقایسه میانگین تغییرات صفات فنولوژی، ارتفاع بوته، کلروفیل کل و کاروتنوئید نخود رقم عادل تحت

تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه مختلف

Table 4. Mean comparison of changes of phenology traits, plant height, total chlorophyll and carotenoid of Adel chickpea under the influence of different irrigation regimes and foliar application of different amino acids

تیمارها Treatment	مدت زمان گلدهی (روز) Duration of flowering (day)	مدت زمان غلاف‌دهی (روز) Duration of podding (day)	مدت زمان رسیدگی (روز) Duration of proceedings (day)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	کلروفیل کل Total chlorophyll (mg/gFw)	کاروتنوئید Carotenoid (mg/gFw)
I ₁	90.5 a	105.89 a	123.28 a	50.49 a	4.62 a	1.76 a
I ₂	88.61 ab	103.78 ab	121.5 b	49.22 a	3.59 b	1.74 a
I ₃	86.5 b	98.56 b	112.55 c	37.89 b	3.34 b	1.43 b
A ₁	90.78 a	106.56 a	124.11 a	49.44 a	4.56 a	1.87 a
A ₂	90.77 a	104.33 ab	121.67 ab	48.67 ab	4.42 a	1.8 a
A ₃	89.55 a	103.22 ab	118.90 bc	46.44 a-c	4.07 a	1.79 a
A ₄	88.66 a	104.44 ab	118.55 bc	45.22 a-c	4.08 a	1.71 a
A ₅	88.55 a	101.22 b	117.22 cd	44.22 bc	3.19 b	1.42 b
A ₆	82.88 b	96.67 c	114.22 d	42.11 c	2.70 b	1.24 b

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون چند دامنه‌ای LSD در سطح ۵ درصد هستند.

Means with common letters in each column indicate no significant difference based on LSD Multiple range test at the 5% level.

I₁: آبیاری مطلوب، I₂: کم‌آبیاری متوسط و I₃: کم‌آبیاری شدید

A₁: پرایمینگ + محلول‌پاشی برگ‌ی با اسید آمینه تجاری، A₂: پرایمینگ + محلول‌پاشی برگ‌ی با پرولین، A₃: پرایمینگ + محلول‌پاشی برگ‌ی با والین، A₄:

پرایمینگ + محلول‌پاشی برگ‌ی با آلانین، A₅: پرایمینگ + محلول‌پاشی برگ‌ی با آب مقطر (شاهد) و A₆: بدون پرایمینگ یا محلول‌پاشی برگ‌ی (شاهد مطلق)

I₁: Optimal irrigation, I₂: Moderate irrigation deficit, and I₃: Severe irrigation Deficit.

A₁: Priming + foliar spraying with Commercial amino acid, A₂: Priming + foliar spraying with proline, A₃: Priming + foliar spraying with Valin, A₄: Priming + foliar spraying with Alanine, A₅: Priming + foliar spraying with distilled water (control), and A₆: No priming or foliar spraying (absolute control)

که توسط گیاهان در شرایطی که محدودیت آب در اواخر فصل رشد محتمل است، به کار می‌رود و تضمین می‌کند که گیاهان بتوانند چرخه زندگی خود را به سرعت در طول دوره کوتاه شرایط مطلوب کامل کنند (Shavrukov *et al.*, 2017). گونه‌های مختلف بسیاری از گیاهان می‌توانند رشد پس از گرده‌افشانی خود را در شرایط خشک‌سالی نهایی تسریع دهند (Kottmann *et al.*, 2016). در بررسی‌هایی بر نخود (*Cicer arietinum*)، تنش خشکی در مرحله گل‌دهی موجب کاهش وزن خشک تجمعی سرعت رشد گیاه شد. این تغییرات به دلیل کاهش سطح برگ و فتوسنتز و پیری زودرس باعث کاهش مدت‌زمان تا گل‌دهی می‌گردد. این واکنش به‌عنوان استراتژی فرار از خشکی، به گیاه کمک می‌کند تا سریع‌تر به گل‌دهی برسد و از شرایط نامساعد فرار کند. در بررسی‌هایی بر نخود، تنش خشکی در مرحله گل‌دهی باعث کاهش وزن خشک تجمعی، سرعت

همچون زمان گل‌دهی و غلاف‌دهی، مدت‌زمان رسیدگی نیز با کاهش آبیاری کاهش معنی‌داری داشت به‌طوری‌که این مدت‌زمان تقریباً ۱۱ روز کمتر از آبیاری مطلوب بود. تحت تیمار کم‌آبیاری متوسط نیز مدت‌زمان رسیدگی ۲ روز کمتر از آبیاری مطلوب بود (جدول ۴). احتمالاً یکی از دلایل اصلی کاهش وزن و عملکرد دانه کاهش طول دوره رشد دانه باشد. کاهش دوره رشد دانه و در نتیجه آن کاهش وزن دانه و عملکرد آن تحت تأثیر تنش کم‌آبی است (Gooding *et al.*, 2003). نتایج نشان داد پرایمینگ و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه اثر افزایش معنی‌داری بر تعداد روز تا رسیدگی داشت و اسیدآمینه تجاری بیشترین تأثیر را بر این صفت (۱۲۴/۱۱ روز) نشان داد به‌طوری‌که تعداد روز تا رسیدگی تحت این نوع اسیدآمینه تقریباً ۱۰ روز نسبت به تیمار شاهد بیشتر بود (جدول ۴). فرار از خشک‌سالی یکی از راهبردهای متعددی است

پایداری غشای سلول و همچنین با اختلال در تنظیم ژن‌های دخیل در توسعه دیواره‌های سلولی باعث کاهش رشد سلول و گیاه می‌شود (Jaleel et al., 2009).

طبق نتایج مقایسه میانگین‌ها تحت پرایمینگ و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه و آب مقطر ارتفاع بوته نسبت به شاهد افزایش داشت و این افزایش فقط تحت محلول‌پاشی اسیدهای آمینه تجاری، پرولین و والین معنی‌دار بود. اسیدآمینه تجاری و پرولین با بیشترین تأثیر به ترتیب باعث افزایش ۱۴/۸۲ و ۱۳/۴۸ درصدی ارتفاع بوته نسبت به شاهد شدند (جدول ۴). در بررسی‌هایی بر روی گیاهان کینوا و گندم، نتایج نشان داد که ارتفاع بوته تحت کاربرد اسیدآمینه پرولین و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش یافت (Elewa et al., 2017; Jeber and Khaeim, 2019). بر اساس نتایج همبستگی بین صفات ارتفاع بوته از همبستگی مثبت و معنی‌داری با کلروفیل ($r = 0.69^{**}$)، کاروتنوئید ($r = 0.67^{**}$)، عملکرد دانه ($r = 0.96^{**}$) و از همبستگی منفی و معنی‌داری با آنتوسیانین ($r = -0.81^{**}$) و فلاونوئید ($r = -0.79^{**}$) برخوردار بود (جدول ۵). همبستگی مثبت و خیلی معنی‌دار عملکرد دانه با ارتفاع بوته می‌تواند به افزایش تعداد شاخه‌های گل‌دهنده تحت ارتفاع و افزایش تعداد گل نسبت داده شود.

کلروفیل کل: با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها، کلروفیل کل به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر رژیم آبیاری ($P < 0.05$) و مواد ضد تنش ($P < 0.01$) قرار گرفت، اما تغییر معنی‌داری نسبت به اثر متقابل این دو عامل نشان نداد (جدول ۳). با کاهش آبیاری تا سطح کم آبیاری متوسط و شدید، کلروفیل کل به ترتیب کاهش ۲۲/۲۹ و ۲۸/۰۲ درصدی و معنی‌داری نسبت به آبیاری مطلوب نشان داد (جدول ۴). همچنین تیمار پرایمینگ و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه، کلروفیل کل نخود را نسبت به شاهد افزایش داد و اسیدهای آمینه تجاری و پرولین با بیشترین

رشد نسبی و سرعت رشد گیاه شد. این تغییرات به دلیل کاهش سطح برگ و مقدار فتوسنتز و وقوع پیری زودرس بوده که با کاهش سرعت رشد گیاه، باعث کاهش مدت‌زمان تا دوره گل‌دهی و فراز از خشکی می‌شود (Amiri Deh Ahmadi et al., 2010). گزارش شده است که خشکی در حین القای گل، دوره گل‌دهی را کوتاه و باعث سقط گل در نخود می‌شود (Fang et al., 2010) که به‌وضوح می‌توان آن را تحت پارامتر شماره گل/گیاه مشاهده کرد. طبق نتایج بررسی حاضر تحت محلول‌پاشی اسیدهای آمینه تعداد روز تا گل‌دهی، غلاف‌دهی و رسیدگی نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری داشت. این یافته احتمالا می‌تواند به تأثیر اسیدهای آمینه در افزایش کلروفیل و کاروتنوئید (جدول ۴) و بهبود فتوسنتز مربوط بوده باشد که نقش مهمی در سبزینه‌گی و طول دوره رشد دارد. بر اساس نتایج همبستگی بین صفات تعداد روز تا گل‌دهی، غلاف‌دهی و رسیدگی دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با کلروفیل ($r = 0.86^{**}$)، کاروتنوئید ($r = 0.79^{**}$) و عملکرد دانه ($r = 0.78^{**}$) بودند (جدول ۵).

ارتفاع بوته

ارتفاع بوته تغییر معنی‌داری ($P < 0.01$) نسبت به رژیم آبیاری و مواد ضد تنش نشان داد، اما نسبت به اثر متقابل این دو عامل تغییر معنی‌داری نداشت (جدول ۳). با کاهش آبیاری تا سطح کم آبیاری شدید ارتفاع بوته کاهش ۲۴/۹۵ درصدی و معنی‌داری نسبت به آبیاری مطلوب نشان داد، اما تحت کم آبیاری متوسط ارتفاع بوته کاهش جزئی و غیرمعنی‌داری داشت (جدول ۴). کاهش ارتفاع بوته تحت کم آبیاری می‌تواند به دلیل کوتاه شدن دوره رشد و تسریع گل‌دهی تحت این شرایط بوده باشد (جدول ۴). در بررسی‌هایی محققین بیان داشتند که تحت تنش خشکی ارتفاع بوته ژنوتیپ‌های مختلف نخود کاهش یافت (Karim et al., 2022) که تأییدکننده نتایج بررسی حاضر است. کاهش آبیاری با تأثیر بر فرآیندهای فیزیولوژیکی همچون نفوذپذیری و

معنی داری نسبت به آبیاری مطلوب داشت (جدول ۴). نتایج همچنین نشان داد کاروتنوئید برگ نخود تحت پرایمینگ و محلول پاشی اسیدهای آمینه افزایش معنی داری نسبت به شاهد پیدا کرد و تفاوت معنی داری بین هر چهار نوع اسیدآمینه کاربردی مشاهده نگردید (جدول ۴). کاروتنوئید در گیاهان یک صفت ژنتیکی بوده و نقش مهمی در فتوسنتز دارد، اما در برخی شرایط، بیوسنتز آن تحت تأثیر شرایط محیطی قرار می گیرد (Yadav and Garg, 2015). در بررسی هایی اعمال تنش خشکی قبل از غلاف دهی نخود باعث کاهش مقدار کاروتنوئید برگ شد (Karim et al., 2022) که با نتایج این بررسی مبنی بر کاهش محتوای کاروتنوئید تحت تنش کم آبی مطابقت دارد.

کاهش محتوای کاروتنوئید در برگ ها تحت تنش خشکی می تواند به دلیل افزایش تخریب این رنگدانه ها ناشی از تنش اکسیداتیو و کاهش سنتز آن ها باشد (Smirnoff, 1993). در پژوهشی محققین نشان دادند که محلول پاشی اسیدهای آمینه اثری افزایشی بر مقدار کاروتنوئید برگ همیشه بهار (*Calendula officinalis*) (Soroori et al., 2021) و گل گاوزبان هندی (*Plectranthus amboinicus*) (Ahmed et al., 2020) که با نتایج حاصل از این بررسی همخوانی دارد. به نظر می رسد اسیدهای آمینه احتمالاً با مهار تولید اتیلن و جلوگیری از تخریب رنگدانه ها از طریق مهار آنزیم پراکسیداز، موجب افزایش غلظت کاروتنوئیدها می شوند (Saremi et al., 2020).

فلاونوئید: مقدار فلاونوئید برگ نخود فقط تحت تأثیر رژیم آبیاری تغییر معنی داری ($P < 0.01$) نشان داد (جدول ۳). مقدار فلاونوئید برگ با کاهش آبیاری تا سطح کم آبیاری متوسط و شدید به ترتیب افزایش ۱۴/۰۲ و ۱۹/۰۵ درصدی و معنی داری نسبت به آبیاری مطلوب داشت (شکل ۱A). فلاونوئیدها به عنوان متابولیت های ثانویه مهم، نقش مهمی در رشد گیاه و پاسخ به تنش ایفا می کنند. جهت کاهش

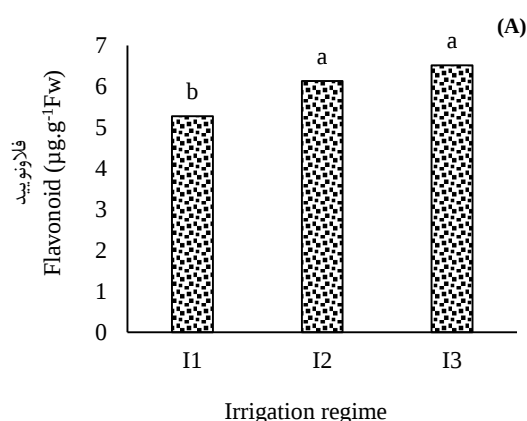
تأثیر بر مقدار کلروفیل کل فاقد اختلاف معنی داری با دو نوع اسیدآمینه دیگر بودند (جدول ۴). کلروفیل یکی از پارامترهای فیزیولوژیکی متأثر از تنش خشکی است (Bijanazadeh et al., 2021). بررسی های متعددی کاهش محتوای کلروفیل را تحت تنش خشکی گزارش کرده اند (Chavoushi et al., 2020; Talebi et al., 2013). در پژوهشی بر دو رقم نخود ICC 4958 و HC-6، تحت تنش خشکی مقدار کلروفیل کل نسبت به شرایط آبیاری مطلوب کاهش یافت (Keerthi Sree et al., 2023)، که با نتایج حاصل از این بررسی مطابقت دارد. کاهش کلروفیل تحت تنش خشکی را می توان به علت از بین رفتن آنزیم های بیوسنتزی رنگدانه های فتوسنتزی (به خصوص آنزیم گلوتامات لیگاز) و همچنین القای تجزیه شدن یا مهار سنتز آن ها در شرایط تنش نسبت داد (Dalal and Tripathy, 2012).

طی بررسی هایی کاربرد سطوح مختلف اسیدهای آمینه تجاری اثر مثبتی بر محتوای کلروفیل و کاروتنوئید برگ بومادران (*Achillea millefolium* L.) در شرایط مزرعه و گلخانه داشت (Shafie et al., 2021). در تحقیقی دیگر تحت محلول پاشی اسیدآمینه پرولین، مقدار کلروفیل برگ نخودفرنگی (*Pisum sativum* L.) افزایش و تحت تنش خشکی کاهش معنی داری داشت (El-Saadony et al., 2017). به نظر می رسد اسیدهای آمینه به عنوان منبع تأمین نیتروژن، در تولید پروتئین گیاهی و سبزینه کلروفیل مؤثر هستند (Ghazi Manas et al., 2013). کلروفیل کل دارای همبستگی مثبت و معنی داری با عملکرد دانه ($r = 0.76^{**}$) و همبستگی منفی و معنی داری با آنتوسیانین ($r = -0.58^*$) بود (جدول ۵).

کاروتنوئید: مقدار کاروتنوئید برگ به طور معنی داری تحت تأثیر کاربرد جداگانه رژیم آبیاری ($P < 0.05$) و مواد ضد تنش ($P < 0.01$) قرار گرفت (جدول ۳). با کاهش آبیاری تا سطح کم آبیاری شدید، کاروتنوئید برگ نخود کاهش ۱۷/۸۱ درصدی

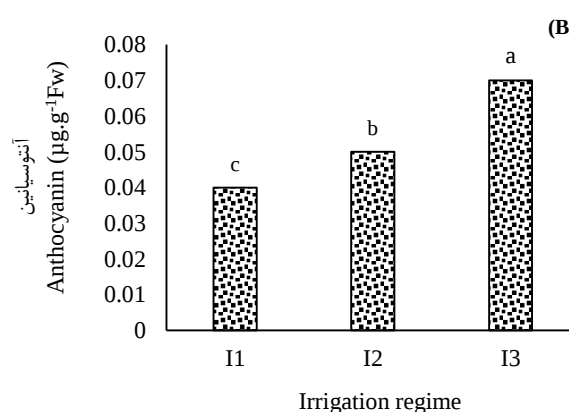
آنتوسیانین توسط حذف مستقیم گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) در طول تنش اکسیداتیو باشد (Zhang et al., 2010). این ترکیبات با خاصیت آنتی‌اکسیدانی خود، ROS را خنثی کرده و از آسیب به پروتئین‌ها، لیپیدها و DNA جلوگیری می‌کنند. آنتوسیانین‌ها همچنین با جذب نور اضافی، از فتوسنتز در برابر آسیب‌های نوری محافظت کرده و تعادل فشار اسمزی سلول‌ها را حفظ می‌کنند (Steyn et al., 2002). این پاسخ به دلیل فعال‌سازی ژن‌های بیوسنتز آنتوسیانین در شرایط خشکی است و به گیاه اجازه می‌دهد عملکرد خود را در شرایط محیطی سخت حفظ کند.

عملکرد دانه: نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری ($P < 0.01$) تحت تأثیر جداگانه رژیم آبیاری و مواد ضد تنش قرار گرفت (جدول ۳). با کاهش آبیاری تا سطح کم آبیاری متوسط عملکرد دانه کاهش ۱۲/۶۵ درصدی غیرمعنی‌دار و تحت کم آبیاری شدید کاهش ۵۲/۱۸ درصدی و معنی‌داری نسبت به آبیاری مطلوب نشان داد (شکل ۲A). نتایج نشان داد تحت پرایمینگ و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه، عملکرد دانه افزایش معنی‌داری نسبت به عدم محلول‌پاشی داشت و اسیدهای آمینه تجاری و پرولین بیشترین تأثیر را بر عملکرد دانه داشتند به‌طوری‌که به ترتیب باعث افزایش ۲۶/۵۵ و ۲۶/۵۲ درصدی عملکرد دانه نسبت به شاهد شدند (شکل ۲B).



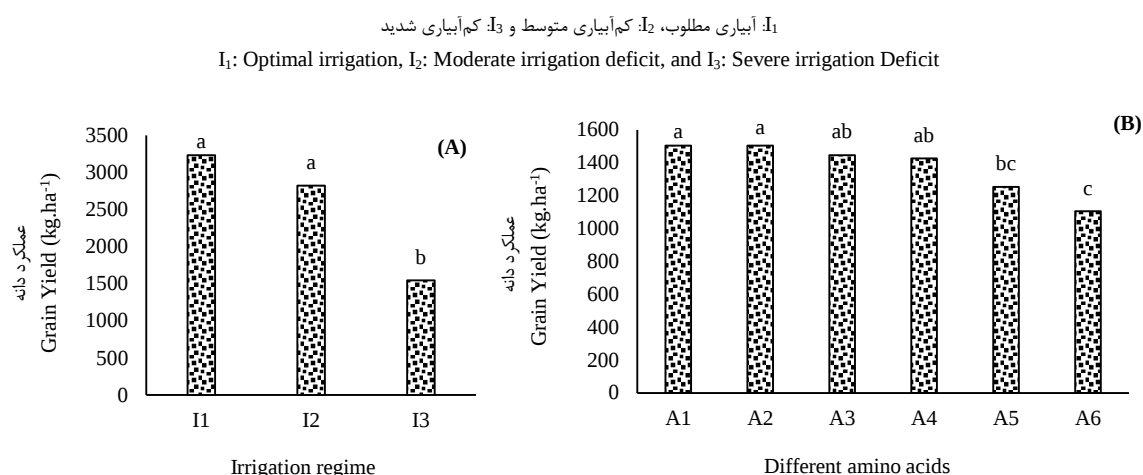
آسیب اکسیداتیو ناشی از تنش، تجمع بیشتر فلاونوئیدها (آنتی‌اکسیدان‌های غیرآزمی)، مفید هستند (Li et al., 2019). محققین نشان دادند که تنش خشکی تجمع فلاونوئید و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را به‌طور قابل‌توجهی در گیاه صحرایی *Oudeneya africana* افزایش داد و در نتیجه سازگاری گیاه را با تنش غیر زیستی بهبود بخشید (Talbi et al., 2020). در بررسی دیگر نیز تنش خشکی باعث افزایش تجمع متابولیت‌های ثانویه مانند فلاونوئیدها در دو گونه آدونیس (*Adonis annua*) شد که به‌نوبه خود باعث کاهش محتوای H_2O_2 و افزایش مقاومت به خشکی گردید (Gao et al., 2020).

آنتوسیانین: مقدار آنتوسیانین برگ فقط تحت تأثیر رژیم آبیاری تغییر معنی‌داری ($P < 0.01$) داشت (جدول ۳). مقدار آنتوسیانین برگ با کاهش آبیاری تا سطح کم آبیاری متوسط و شدید به ترتیب افزایش ۲۰ و ۴۲/۸۶ درصدی معنی‌داری نسبت به آبیاری مطلوب نشان داد (شکل ۱B). در بررسی‌های دیگر محققین نیز مقدار آنتوسیانین برگ گیاه دارویی *Indigofera tinctoria* تحت تنش خشکی افزایش معنی‌داری داشت (Khodabakhshi et al., 2023) که با نتایج حاصل از این بررسی مطابقت دارد. افزایش آنتوسیانین‌ها در گیاهان تحت تنش خشکی یک مکانیسم دفاعی است که به کاهش اثرات استرس اکسیداتیو و محافظت از سلول‌ها کمک می‌کند. این افزایش می‌تواند به دلیل نقش حفاظت نوری



شکل ۱- مقایسه میانگین تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری بر مقدار فلاونوئید (A) و آنتوسیانین (B) برگ نخود رقم عادل

Figure 1. Mean comparison of effect of different irrigation regimes on the amount of flavonoid (A) and anthocyanin (B) of Adel chickpea leaves



شکل ۲- مقایسه میانگین تغییرات عملکرد دانه نخود رقم عادل تحت تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری (A) و محلول پاشی اسیدهای آمینه مختلف (B)

Figure 2. Mean comparison of changes of grain yield of Adel chickpeas under the influence of different irrigation regimes (A) and foliar application of different amino acids (B)

A₁: پرایمینگ + محلول پاشی برگ با اسید آمینه تجاری، A₂: پرایمینگ + محلول پاشی برگ با پرولین، A₃: پرایمینگ + محلول پاشی برگ با والین، A₄: پرایمینگ + محلول پاشی برگ با آلانین، A₅: پرایمینگ + محلول پاشی برگ با آب مقطر (شاهد) و A₆: بدون پرایمینگ یا محلول پاشی برگی (شاهد مطلق)
A₁: Priming + foliar spraying with Commercial amino acid, A₂: Priming + foliar spraying with proline, A₃: Priming + foliar spraying with Valin, A₄: Priming + foliar spraying with Alanine, A₅: Priming + foliar spraying with distilled water (control), and A₆: No priming or foliar spraying (absolute control)

جدول ۵- همبستگی بین صفات تحت تأثیر رژیم آبیاری و محلول پاشی اسیدهای آمینه (تهران، ۱۳۹۷)

Table 5. Correlation between traits under irrigation regime and foliar spraying of amino acids

عملکرد دانه	آنتوسیانین	فلاونوئید	کاروتنوئید	کلروفیل کل	ارتفاع بوته	مدت زمان رسیدگی	مدت زمان غلاف دهی	مدت زمان گلدهی
Grain Yield (9)	Anthocyanin (8)	Flavonoid (7)	Carotenoid (6)	Total chlorophyll (5)	Plant height (4)	Duration of proceedings (3)	Duration of podding (2)	Duration of flowering (1)
1								
	-0.83**	-0.72**	0.77**	0.76**	0.67**	0.75**	0.88**	0.79**
	1							
		1						
			1					
				1				
					1			
						1		
							1	
								1

** به ترتیب نشانه معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

*, ** significant at 5 and 1 percent probability levels, respectively

مقدار کلروفیل برگ (جدول ۳) و کاهش فعالیت فتوسنتزی و محدودیت تولید مواد پرورده باشد. همان طور که همبستگی مثبت بین مقدار کلروفیل کل و عملکرد دانه ($r = 0.76^{**}$) (جدول ۵) این مطلب را تایید می کند. نتایج بررسی هایی نشان داد

بررسی های متعددی کاهش عملکرد دانه نخود را تحت تنش خشکی گزارش داده اند (de Camargo et al., 2022; Rashidipour et al., 2023) که با نتایج حاصل از این بررسی مطابقت دارد. کاهش عملکرد دانه تحت تنش خشکی ممکن است ناشی از کاهش

همچنین آن‌ها سنتز پروتئین‌هایی را که در عملکردهای مختلف متابولیسم گیاهی مشارکت داشته، افزایش می‌دهند و با افزایش مقدار جذب کربن منجر به افزایش مجموع ماده خشک می‌شوند که این موضوع بر روی مخزن و عملکرد گیاه تاثیر می‌گذارد (Dreccer *et al.*, 2000; Sharma-Natu and Ghildiyal, 2005). اسیدهای آمینه همچنین مسئول افزایش رنگدانه‌های گیاهی و هورمون‌های طبیعی مانند ایندول استیک اسید (IAA)، جیبرلیک اسید و اتیلن هستند (Ahmed *et al.*, 2014; Madian and Refaai, 2011).

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج کلی تنش کم آبیاری شدید باعث کوتاه شدن دوره رشد و تسریع گل‌دهی شد به‌طوری‌که تعداد روز تا گل‌دهی، غلاف‌دهی و رسیدگی به ترتیب نسبت به آبیاری مطلوب ۴، ۷/۳۳ و ۱۱ روز کمتر بود. نتایج همچنین نشان داد تحت کم آبیاری شدید ارتفاع بوته، کلروفیل کل، کاروتنوئید، عملکرد دانه نسبت به آبیاری مطلوب به ترتیب کاهش ۲۴/۹۵، ۲۸، ۱۷/۸۱، ۵۲/۱۸ درصدی معنی‌دار و فلاونوئید و آنتوسیانین به ترتیب افزایش ۱۹ و ۴۲/۸۶ درصدی معنی‌داری نشان دادند. نتایج نشان داد تعداد روز تا گل‌دهی، غلاف‌دهی و رسیدگی تحت محلول‌پاشی اسیدهای آمینه افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد داشت. همچنین اسیدآمینه پرولین و تجاری بیشترین تأثیر را بر این صفات داشتند به‌طوری‌که به ترتیب باعث افزایش ۲۶/۵۵ و ۲۶/۵۲ درصدی عملکرد دانه نسبت به شاهد شدند. بنابراین کاربرد اسیدهای آمینه با افزایش تعداد روز تا گل‌دهی، نقش مهمی در افزایش دوره رشد و ارتفاع بوته داشت و با بهبود کلروفیل و افزایش دوره غلاف‌دهی و رسیدگی نقش موثری در تعداد دانه و دوره پر شدن دانه و در نتیجه افزایش عملکرد ایفا کرد. کاربرد اسیدهای آمینه به‌عنوان یک تکنیک کشاورزی می‌تواند رشد و عملکرد گیاهان را

که پرایمینگ و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه پرولین، والین، آلانین و اسیدآمینه تجاری در شرایط آبیاری کامل و کم آبیاری اثری افزایشی بر عملکرد دانه نخود نسبت به شاهد داشت و بیشترین عملکرد دانه به بوته‌های محلول‌پاشی شده توسط ترکیب پرولین + والین در شرایط آبیاری مطلوب اختصاص داشت (Khalesi *et al.*, 2023). فیتوهورمون‌ها و ترکیباتی که با عملکرد و اجزای آن ارتباط معنی‌داری دارند، شامل اسیدهای آمینه هستند (Raeisi *et al.*, 2014). اسیدهای آمینه به‌عنوان منبعی برای تامین نیتروژن موردنیاز گیاه، نقش مهمی در افزایش تولید آسیمیلات‌های گیاه دارند و در پر شدن دانه موثر بوده و باعث افزایش عملکرد دانه می‌شوند (Haj Seyed Hadi and Rezaee Ghale, 2016) با توجه به توانایی خود در تثبیت بیولوژیکی نیتروژن از جو، این گیاه بخش قابل‌توجهی از نیاز نیتروژنی خود را از این طریق تامین می‌کند، اما این فرآیند به‌طور کامل نیاز گیاه را به‌ویژه در مراحل اولیه رشد برآورده نمی‌کند. بنابراین افزودن اسیدهای آمینه به‌صورت تیمار بذری می‌تواند رشد و توسعه ریشه را بهبود بخشد، که این امر موجب افزایش تثبیت بیولوژیکی نیتروژن و در نتیجه تولید بیشتر اورئیدها می‌شود. علاوه بر این، گسترش سطح ریشه می‌تواند کارایی جذب عناصر غذایی را افزایش دهد، به‌ویژه جذب نیترات، که یکی از مهم‌ترین منابع معدنی نیتروژن برای گیاه است (Teixeira *et al.*, 2018).

اسیدهای آمینه به‌عنوان منابع اضافی نیتروژن، علاوه بر تامین نیتروژن، در فرآیندهای متابولیکی مانند سنتز پروتئین‌ها، فتوسنتز و بهبود مقاومت به تنش‌ها نیز نقش دارند (Abd El-Aal *et al.*, 2010; Popko *et al.*, 2018). بنابراین، استفاده از اسیدهای آمینه به‌عنوان مکمل نیتروژن می‌تواند در کنار تثبیت نیتروژن بیولوژیکی، به افزایش عملکرد محصول نخود کمک کند. اسیدهای آمینه به افزایش توانایی سلول در جذب آب و مواد مغذی حل شده از محیط رشد کمک کرده و سبب افزایش رشد رویشی می‌شوند؛

- Abd El-Aal FS, Shaheen A, Ahmed A, Mahmoud AR. 2010. Effect of foliar application of urea and amino acids mixtures as antioxidants on growth, yield and characteristics of squash. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences* 6(5): 583-588
- Ahmed AM, El-Gohary AE, Osman SA, Khalid KA. 2020. Arginine and salinity stress affect morphology and metabolism of Indian borage (*Plectranthus amboinicus* Lour.), *Acta Ecologica Sinica* 40(5): 417-424
- Ahmed FF, Abdelaal AHM, El-Masry EMA, Farag WBMM. 2014. Response of superior grapevines to foliar application of some micronutrients, calcium, amino acids and salicylic acids. *World Rural Observ* 6(3): 57-64
- Amiri Deh Ahmadi SR, Parsa M, Nezami A, Ganjeali A. 2010. The effects of drought stress at different phenological stages on growth indices of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in greenhouse conditions. *Iranian Journal Pulses Research* 1(2): 69-84 (In Persian)
- Arif A, Parveen N, Waheed MQ, Atif RM, Waqar I, Shah TM. 2021. A comparative study for assessing the drought-tolerance of chickpea under varying natural growth environments. *Frontiers in plant science* 11: 607869
- Arnon AN. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy journal* 23(1): 112-121
- Basra S, Ashraf M, Iqbal N, Khaliq A, Ahmad R. 2004. Physiological and biochemical aspects of pre-sowing heat stress on cottonseed. *Seed Science and Technology* 32: 765-774
- Bijanzadeh E, Emam Y, Pessarakli M. 2021. Biochemical responses of water-stressed triticale (X *Triticosecale* Wittmack) to humic acid and jasmonic acid. *Journal of Plant Nutrition* 44(2): 252-269
- Blum A. 2010. Plant water relations, plant stress and plant production. In *Plant breeding for water-limited environments* (pp. 11-52). New York, NY: Springer New York
- Brady NC, Weil RR. 2008. *The Nature and Properties of Soils*. Pearson Prentice Hall.
- Bremner JM, Mulvaney CS. 1982. Nitrogen—total. *Methods of soil analysis: part 2 chemical and microbiological properties* 9: 595-624
- Calvo P, Nelson L, Kloepper JW. 2014. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and soil* 383: 3-41
- Chavoushi M, Najafi F, Salimi A, Angaji SA. 2020. Effect of salicylic acid and sodium nitroprusside on growth parameters, photosynthetic pigments and secondary metabolites of safflower under drought stress. *Scientia Horticulturae* 259: 108823
- Dalal VK, Tripathy BC. 2012. Modulation of chlorophyll biosynthesis by water stress in rice seedlings during chloroplast biogenesis. *Plant Cell Environment* 35: 1685-1703
- de Camargo AC, Speisky H, Bridi R, Núñez Pizarro P, Larena A, Pinaffi-Langley ACD C, ... Schwember AR. 2022. Chickpeas from a Chilean region affected by a climate-related catastrophe: Effects of water stress on grain yield and flavonoid composition. *Molecules* 27(3): 691
- Dreccer MF, Van Oijen M, Schapendonk AHCM, Pot CS, Rabbinge R. 2000. Dynamics of vertical leaf nitrogen distribution in a vegetative wheat canopy. Impact on canopy photosynthesis. *Annals of Botany* 86(4): 821-831
- Elewa TA, Sadak MS, Saad AM. 2017. Proline treatment improves physiological responses in quinoa plants under drought stress. *Bioscience Research* 14(1): 21-33
- Elkoca E, Haliloglu K, Esitken A, Ercisli S. 2007. Hydro- and osmopriming improve chickpea germination. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science* 57(3): 193-200
- El-Saadony FM, Nawar DA, Zyada HG. 2017. Effect of foliar application with salicylic acid, garlic extract and proline on growth, yield and leaf anatomy of pea (*Pisum sativum* L.) grown under drought stress. *Middle East Journal of Applied Sciences* 7(3): 633-650
- Fang X, Turner NC, Yan G, Li F, Siddique KH. 2010. Flower numbers, pod production, pollen viability, and pistil function are reduced and flower and pod abortion increased in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under terminal drought. *Journal of experimental botany* 61(2): 335-345
- FAO. 2021. Production of sunflower seeds in 2020, Crops/Regions/World list/Production Quantity (pick lists). UN Food and Agriculture Organization, Corporate Statistical Database (FAOSTAT)

- Fayaz E, Sorooshzadeh A, Heidarzadeh A. 2024. Effect of Foliar Application of Amino Acids under Water Deficit Conditions during Late-Season on Yield and Yield Components of Oil Rapeseed (*Brassica napus* L.). Iranian Journal of Field Crop Science 55(1): 139-149 (In Persian)
- Gao SS, Wang YL, Yua S, Huang YQ, Liu H, Chen W, He XY. 2020. Effects of drought stress on growth, physiology and secondary metabolites of two Adonis species in Northeast China, Scientia Horticulturae 259: 108795
- Gee GW, Bauder JW. 1986. Particle-size analysis. In A. Klute (Ed.), *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods* (2nd ed., pp. 383-411). Madison, WI: Soil Science Society of America
- Ghazi Manas M, Banj Shafiee S, Hadj Seyed Hadi MR, Darzi MT. 2013. Effects of vermicompost and nitrogen on qualitative and quantitative yield of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.), Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research 29(2): 269-280
- Ghosh U, Islam M, Siddiqui M, Cao X, Khan M. 2022. Proline, a multifaceted signalling molecule in plant responses to abiotic stress: Understanding the physiological mechanisms. Plant Biology 24(2): 227-239
- Gooding MJ, Ellis RH, Shewry PR, Schofield JD. 2003. Effects of restricted water availability and increased temperature on the grain filling, drying and quality of winter wheat. Journal of Cereal Science 37(3): 295-309
- Haj Seyed Hadi MR, Rezaee Ghale H. 2016. Effects of vermicompost and foliar application of amino acids and urea on quantitative and qualitative yield of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.), Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 31(6): 1057-1070 (In Persian)
- Halvin J, Tisdale S, Nelson W, Beaton J. 2013. Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management (8th ed). Pearson, 528 p
- Helmke PA, Sparks DL. 1996. Lithium and sodium methods. In D. L. Sparks (Ed.), *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods* (pp. 553-574). Madison, WI: Soil Science Society of America.
- Heydecker W, Higgins J, Gulliver RL. 1973. Accelerated germination by osmotic seed treatment. Nature 246(5427): 42-44
- IBPGR/ICRISAT/ICARDA. 1993. Descriptors for chickpea (*Cicer arietinum* L.). ICRISAT, Patancheru, India
- Jaleel CA, Manivannan PARAMASIVAM, Wahid A, Farooq M, Al-Juburi HJ, Somasundaram, RAMA M U R T H Y, Panneerselvam R. 2009. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. International Journal of Agriculture Biology 11(1): 100-105
- Jameel S, Hameed A, Shah T M. 2021. Investigation of distinctive morpho-physio and biochemical alterations in desi chickpea at seedling stage under irrigation, heat, and combined stress. Frontiers in plant science 12: 692745
- Jeber BA, Khaeim HM. 2019. Effect of foliar application of amino acids, organic acids, and naphthalene acetic acid on growth and yield traits of wheat. Plant archives 19(2): 824-826.
- Karim AMA, Sarker UK, Hasan AK, Islam N, Uddin MR. 2022. Physiological and biochemical responses of chickpea genotypes to different moisture stress in Bangladesh. Turkish Journal of Field Crops 27(1): 1-9
- Keerthi Sree Y, Lakra N, Manorama K, Ahlawat Y, Zaid A, Elansary HO, ... Mahmoud EA. 2023. Drought-Induced Morpho-Physiological, Biochemical, Metabolite Responses and Protein Profiling of Chickpea (*Cicer arietinum* L.). Agronomy 13(7): 1814
- Khalesi A, Mousavi Mirkalaeia SA, Modares Sanavi SAM, Eftekhari A, Nashaeai Moghadam M. 2023. Effect of foliar application of some amino acids on growth and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under different irrigation regimes. Iranian Journal of Field Crop Science 54(1): 27-40. (In Persian)
- Khodabakhshi L, Seyed A, Mazaheri-Tirani M, Motlagh BP. 2023. Morphological and physiological responses of Indigofera tinctoria L. to putrescine under drought stress. Russian Journal of Plant Physiology 70(3): 43
- Khorsandi H. 2019. The effect of nitrogen fertilizer application as a starter or foliar spraying on the yield improvement of rainfed chickpea. Tehran: Agricultural Education Publishing, 20 p

- Kottmann L, Wilde P, Schittenhelm S. 2016. How do timing, duration, and intensity of drought stress affect the agronomic performance of winter rye? *European Journal of Agronomy* 75: 25-32
- Krizek DT, Kramer GF, Upadhyaya A, Mirecki RM. 1993. UV-B response of cucumber seedlings grown under metal halide and high-pressure sodium/deluxe lamps. *Physiologia Plantarum* 88(2): 350-358
- Kumar T, Hamwieh A, Swain N, Sarker A. 2021. Identification and morphological characterization of promising kabuli chickpea genotypes for short-season environment in central India. *Journal of Genetics* 100(2): 33
- lfosea-Simón M, Simón-Grao S, Zavala-Gonzalez EA, Cámara-Zapata JM, Simón I, Martínez-Nicolás JJ, García-Sánchez F. 2021. Physiological, nutritional and metabolomic responses of tomato plants after the foliar application of amino acids aspartic acid, glutamic acid and alanine. *Frontiers in plant science* 11: 581234
- Li BZ, Fan RN, Guo SY, Wang PT, Zhu XH, Fan YT, Chen YX, He KY, Kumar A, Shi JP, Wang Y, Li LH, Hu ZB, Song CP. 2019. The Arabidopsis MYB transcription factor, MYB111 modulates salt responses by regulating flavonoid biosynthesis. *Environment and Experiment Botany* 166:103807
- Madian AM, Refaai M M. 2011. The synergistic effects of using B vitamins with the two amino acids tryptophan and methionene in Thompson seedless grapevines. *Minia Journal of Agricultural Research & Development* 3(3): 445-455
- Madurapperumage A, Tang L, Thavarajah P, Bridges W, Shipe E, Vandemark G, Thavarajah D. 2021. Chickpea (*Cicer arietinum* L.) as a source of essential fatty acids—a biofortification approach. *Frontiers in Plant Science* 12: 734980
- Malakouti MJ, Bani Ghibi M. 2000. Determining the critical level of effective nutrients in soil, plants and fruits in order to increase the quantitative and qualitative yield of strategic products of the country. *Agricultural Education Publication, Karaj* (In Persian)
- Martin DL, Stegman EC, Fereres E. 1990. Irrigation scheduling principles. *IN: Management of Farm Irrigation Systems*. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI. 1990. p 155-203
- Murungu FS, Nyamugafata P, Chiduzo C, Clark LJ, Whalley WR. 2003. Effects of seed priming, aggregate size and soil matric potential on emergence of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and maize (*Zea mays* L.). *Soil and Tillage Research* 74(2): 161-168
- Nadeem M, Li J, Yahya M, Sher A, Ma C, Wang X, Qiu, L. 2019. Research progress and perspective on drought stress in legumes: A review. *International Journal of Molecular Sciences* 20(10): 2541
- Nelson DW, Sommers LE. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods* 5: 961-1010
- Olsen SR. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate (No. 939). *US Department of Agriculture*.
- Popko M, Michalak I, Wilk R, Gramza M, Chojnacka K, Górecki H. 2018. Effect of the new plant growth biostimulants based on amino acids on yield and grain quality of winter wheat. *Molecules* (Basel, Switzerland) 23(2): 470
- Raeisi M, Farahani L, Palashi M. 2014. Changes of qualitative and quantitative properties of radish (*Raphanus sativus* L.) under foliar spraying through amino acid. *International Journal of Biosciences* 4(1): 463-468
- Rani A, Devi P, Jha U C, Sharma KD, Siddique KH, Nayyar H. 2020. Developing climate-resilient chickpea involving physiological and molecular approaches with a focus on temperature and drought stresses. *Frontiers in plant science* 10: 1759
- Rashidipour I, Barati V, Bijanzadeh E. 2023. Reaction of chickpea grain yield and its components in triticale-chickpea intercropping to chemical and bio fertilizers under water stress conditions. *Iranian Journal Pulses Research* 14(1): 112-132 (In Persian)
- Rhoades JD. 1982. Soluble salts. *Methods of soil analysis: Part 2 chemical and microbiological properties* 9: 167-179
- Riyazuddin R, Nisha N, Singh K, Verma R, Gupta R. 2022. Involvement of dehydrin proteins in mitigating the negative effects of drought stress in plants. *Plant Cell Reports* 41(3): 519–533
- Sachdeva S, Bharadwaj C, Patil BS, Pal M, Roorkiwal M, Varshney RK. 2022. Agronomic performance of chickpea affected by drought stress at different growth stages. *Agronomy* 12(5): 995

- Sahu VK, Tiwari S, Gupta N, Tripathi MK, Yasin M. 2022. Evaluation of physiological and biochemical contents in desi and Kabuli chickpea. *Legume Research-An International Journal* 45(10): 1197–1208
- Salemi F, Esfahani MN, Tran LSP. 2019. Mechanistic insights into enhanced tolerance of early growth of alfalfa (*Medicago sativa* L.) under low water potential by seed priming with ascorbic acid or polyethylene glycol solution. *Industrial Crops and Products* 137: 436–445
- Saremi S, Gholipour M, Abbasdokht H, Naghdi Badi H, Mehrafarin A, Asghari HR. 2020. The morphophysiological responses of *Physalis alkekengi* to foliar applications of amino acids under drought stress conditions. *Horticultural Plants Nutrition* 3(2): 71–86 (In Persian)
- Savita, Tomer A, Singh SK. 2020. Drought stress tolerance in legume crops. *Agronomic Crops, Stress Responses and Tolerance* 3: 149–155
- Shafie F, Bayat H, Aminifard MH, Daghighi S. 2021. Biostimulant effects of seaweed extract and amino acids on growth, antioxidants, and nutrient content of yarrow (*Achillea millefolium* L.) in the field and greenhouse conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 52(9): 964–975
- Sharma-Natu P, Ghildiyal MC. 2005. Potential targets for improving photosynthesis and crop yield. *Current Science* 3: 1918–1928
- Shavrukov Y, Kurishbayev A, Jatayev S, Shvidchenko V, Zotova L, Koekemoer F, Langridge P. 2017. Early flowering as a drought escape mechanism in plants: how can it aid wheat production? *Frontiers in Plant Science* 8: 1950
- Singh A, Nath O, Singh S, Kumar S, Singh IK. 2018. Genome-wide identification of the MAPK gene family in chickpea and expression analysis during development and stress response. *Plant Gene* 13: 25–35
- Smirnoff N. 1993. The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation. *New Phytologist* 125: 27–58
- Soroori S, Danaee E, Hemmati K, Ladan Moghadam AR. 2021. Metabolic and enzymatic responses of *Calendula officinalis* L. to foliar application of spermidine, citric acid and proline under drought stress in a post harvest condition. *Journal of Agricultural Science and Technology* 23(6): 1339–1353
- Srivastava AK, Mboh CM, Gaiser T, Kuhn A, Ermias E, Ewert F. 2019. Effect of mineral fertilizer on rain water and radiation use efficiencies for maize yield and stover biomass productivity in Ethiopia. *Agricultural Systems* 168: 88–100
- Steyn WJ, Wand SJE, Holcroft DM, Jacobs GJN. 2002. Anthocyanins in vegetative tissues: a proposed unified function in photoprotection. *New Phytologist* 155(3): 349–360
- Szabados L, Savaure A. 2010. Proline: a multifunctional amino acid. *Trends in Plant Science* 15(2): 89–97
- Tahaei SAR, Nasri M, Soleimani A, Ghooshchi F, Oveysi M. 2022. Effects of growth regulators and proline amino acid on yield and yield components of single cross 704 maize under drought stress conditions in Isfahan province. *Environmental Stresses in Crop Sciences* 15(3): 657–668 (In Persian)
- Taheri S, Gholami A, Abbasdokht H, Makarian H. 2018. Alleviation of water deficit stress effects on safflower cultivars by seed priming. *Journal of Crops Improvement* 20(2): 487–502 (In Persian)
- Talbi S, Rojas J, Sahrawy M, Rodríguez-Serrano M, Cárdenas K, Debouba M, Sandalio L. 2020. Effect of drought on growth, photosynthesis and total antioxidant capacity of the Saharan plant *Oudeneya Africana*. *Environment and Experimental Botany* 176: 104099
- Talebi R, Ensafi MH, Baghebani N, Karami E, Mohammadi K. 2013. Physiological responses of chickpea (*Cicer arietinum*) genotypes to drought stress. *Environmental and Experimental Biology* 11(1): 9–15
- Teixeira WF, Fagan EB, Soares LH, Soares JN, Reichardt K, Neto DD. 2018. Seed and foliar application of amino acids improve variables of nitrogen metabolism and productivity in soybean crop. *Frontiers in Plant Science* 9: 396
- Tiwari S, Lata C, Chauhan PS, Nautiyal CS. 2016. *Pseudomonas putida* attunes morphophysiological, biochemical and molecular responses in *Cicer arietinum* L. during drought stress and recovery. *Plant Physiology and Biochemistry* 99: 108–117

- Vanclooster M, Viaene P, Diels J, Christiaens K. 1996. WAVE: A mathematical model for simulating water and agrochemicals in the soil and vadose environment, release 2.1. Inst. for Land and Water Manage., Leuven, Belgium.
- Weil RR, Brady NC. 2016. The Nature and Properties of Soils (15th ed.). Pearson Education, 1081 p.
- Yadav A, Garg VK. 2015. Influence of vermi-fortification on chickpea (*Cicer arietinum* L.) growth and photosynthetic pigments. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture 4: 299–305
- Yan M. 2015. Seed priming stimulate germination and early seedling growth of Chinese cabbage under drought stress. South African Journal of Botany 99: 88–92
- Zhang KM, Yu HJ, Shi K, Zhou YH, Yu JQ, Xia XJ. 2010. Photoprotective roles of anthocyanins in *Begonia semperflorens*. Plant Scienc 179(3): 202–208



The effect of seed priming and foliar spraying of some amino acids on the phenological characteristics and yield of Adel chickpea under different irrigation regimes

Ebrahim Zarei-Chaghaelahi¹, Seyed Ali Mohammad Modarres Sanavy^{2*}, Narges Dolatmand-Shahri³

1- Ph.D. student of Crop Ecology, Department of Agriculture, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

2- Department of Agriculture, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

3- PhD graduate of Crop Physiology, Department of Agriculture, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Chickpea (*Cicer arietinum* L.) is one of the oldest cultivated legumes in the world. It plays an important role in agriculture in semi-arid regions due to its high adaptability to drought and rainfed conditions. However, drought stress can severely reduce the yield of this plant. Using methods such as seed priming and foliar application of amino acids can reduce the negative effects of drought stress and improve the yield and photosynthetic characteristics of the plant. This study was conducted to investigate the effect of priming and foliar application of commercial amino acids, proline, valine, and alanine, on phenological traits and yield of the chickpea cultivar Adel under different irrigation regimes.

Methodology: In 2017, an experiment was conducted at the research farm of the Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, to investigate the effect of seed priming and foliar spraying of some amino acids on the phenological characteristics and yield of chickpea cultivar Adel under different irrigation regimes. The experiment was conducted in split plots based on a randomized complete block design with three replications. The factors studied included irrigation regimes at three levels (optimal irrigation, moderate irrigation deficit, and severe irrigation deficit) as the main factor and priming and foliar application of amino acids at six levels (commercial amino acid, proline, valine, alanine, distilled water, and control) as sub-factors.

Research findings: By changing irrigation from optimal irrigation to severe irrigation deficit, the number of days to flowering, pod formation and maturity, plant height, total chlorophyll, carotenoids, and grain yield decreased significantly by 4.42, 6.92, 8.70, 24.95, 28, 17.81, and 52.18%, respectively, and flavonoids and anthocyanins increased significantly by 19 and 42.86%, respectively. The use of priming and foliar spraying of amino acids had a significantly increasing effect on all these traits (except flavonoid and anthocyanin). Proline and commercial amino acids had more impact on the traits, increasing grain yield by 26.55 and 26.52%, respectively, compared to the control. The interaction effects of different irrigation levels and amino acids on the mentioned traits were not significant. However, the application of amino acids, independent of the irrigation level, had an effective role in increasing yield by increasing the growth and maturity period. In other words, amino acids application as an agricultural technique can improve plant growth and yield and, when combined with optimum irrigation management, can yield more favorable results.

Keywords: Amino Acids, Grain Yield, Proline, Water Deficit Stress.

* Corresponding author: modaresa@modares.ac.ir
Submit date: 2024/01/03 Accept date: 2025/07/04

