# ارزیابی تأثیر لاکتات کلسیم بر رشد، عملکرد و کیفیت کاهوی رقم "نیو رد فایر" تحت شرایط تنش کم‌آبی

آرزو خانی[۱]، طاهر برزگر[۱*]، زهرا قهرمانی[۱] و جعفر نیکبخت[۲]

[۱] گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران، [۲] گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۲۸، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۰۴/۰۲)

**چکیده**

**به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی لاکتات کلسیم بر رشد، عملکرد، کارایی مصرف آب و کیفیت کاهوی رقم نیو رد فایر (New Red Fire) تحت شرایط تنش کم‌آبی آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان در سال ۱۳۹۶ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل سه سطح لاکتات کلسیم (صفر، ۰/۷۵ و ۱/۵ گرم در لیتر) و سه سطح آبیاری (۷۰، ۸۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) بود. نتایج نشان داد که تنش کم‌آبی به‌طور معنی‌داری رشد و عملکرد بوته را کاهش داد. کمترین مقدار عملکرد ($۹۶۴۴/۲ Kg\ ha^{-1}$)، کلروفیل کل ($۰/۵۱ mg\ gFW^{-1}$)، ویتامین ث ($۴۴/۴۸ mg.\ 100gFW^{-1}$) و اسید قابل تیتراسیون (۱۹/۵۵ درصد) و بیشترین مقدار کارتنوئید ($۰/۲۵۱ mg$)، آنتوسیانین ($۲۶/۵۶ \mu mol\ g^{-1}$) و کارایی مصرف آب ($۱۵/۳۷ kg\ m^{-3}$) در تنش کم‌آبیاری ۷۰ درصد حاصل شد. تیمار آبیاری اثر معنی‌داری بر محتوای مواد جامد محلول برگ نداشت. کاربرد لاکتات کلسیم به‌طور معنی‌داری میزان کلروفیل کل، کارتنوئید، ویتامین ث، اسید قابل تیتراسیون، آنتوسیانین، عملکرد و کارایی مصرف آب را افزایش داد. بیشترین عملکرد بوته ($۱۳۷۱۰/۷۷ Kg\ ha^{-1}$) و محتوای ویتامین ث ($۴۸/۰۵ mg.\ 100\ gFW^{-1}$) و کلروفیل کل ($۰/۶۴ mg\ gFW^{-1}$) با کاربرد لاکتات کلسیم ۱/۵ گرم در لیتر تحت شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه حاصل شد. همچنین اثرات متقابل تیمارها بر میزان اسید کل و مواد جامد محلول کل تأثیر معنی‌داری نداشت. با توجه به نتایج، کاربرد لاکتات کلسیم ۱/۵ گرم در لیتر جهت بهبود عملکرد، کارایی مصرف آب و کیفیت کاهودر شرایط آبیاری نرمال و کم‌آبی پیشنهاد می شود.**

**کلید واژه‌ها:** آنتوسیانین، عملکرد، کارآیی مصرف آب، محلول‌پاشی برگی، ویتامین ث

**مقدمه**

کاهو (*Lactuca sativa* L.) گیاهی یک‌ساله است و مهمترین سبزی سالادی قابل استفاده در جهان است و به‌عنوان یک سبزی فصل سرد در مناطق مختلف جهان کشت می‌گردد که از حوالی اروپای ساحلی یا آسیای مرکزی به نقاط دیگر جهان منتقل شده است. گروهی از محققین معتقدند که هندوستان مبدأ اصلی کاهو است (Kristkova *et al*., 2008). از نظر ارزش غذایی، کاهو دارای ویتامین‌های A، B، C و E، کارتنوئیدها، اسیدهای فنولیک و مواد معدنی نظیر سدیم، آهن، فسفر، منیزیم، روی، منگنز و کلسیم است (Perucka and Olszowka, 2011).

تنش کم‌آبی از مهمترین تنش‌های محیطی است که رشد و

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: tbarzegar@znu.ac.ir

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.9.9 ]

تولید گیاهان را در سراسر دنیا محدود می‌کند. کم‌آبیاری یک راهبرد برای تولید پایدار محصولات کشاورزی در شرایط کمبود آب است (Kirnak *et al*., 2002). بسیاری از گیاهان دارای مکانیسم خاصی جهت مقابله با شرایط کم‌آبی و افزایش کارآیی مصرف آب هستند. افزایش کارایی مصرف آب در هندوانه (Kuscu *et al*., 2015) با افزایش شدت تنش کم‌آبی گزارش شده است. مطالعات انجام شده نشان داد که تنش آبی اثر معنی‌داری بر رشد، عملکرد و مقدار کلروفیل در گیاه ریحان داشت. با کاهش مقدار آب خاک شاخص‌هایی چون ارتفاع بوته، تعداد و سطح برگ‌ها، وزن تر و خشک برگ‌ها، ساقه‌ها و ریشه‌ها و عملکرد کاهش و در مقابل، نسبت وزن خشک ریشه به اندام‌های هوایی افزایش یافت (Hassani and Omid Beighi, 2002). اثرات تنش رطوبتی در گیاه گشنیز منجر به کاهش محتوای نسبی آب بافت و پتانسیل آب برگ گردید. همچنین در این مطالعه تنش آبی سبب کاهش کلروفیل و افزایش محتوای پرولین و مالون دی‌آلدهید شد (Anjali and Kale, 2007).

کلسیم یک عنصر غذایی ضروری برای گیاه است که بین ۰/۲ تا ۰/۵ درصد وزن خشک برگ را تشکیل می‌دهد. همچنین کلسیم نقش مهمی را در ساختمان دیواره سلولی ایفا می‌کند (Supanjani *et al*., 2005). یکی از مهمترین اعمال کلسیم راه‌اندازی و انتقال پیام‌های درون سلولی در برابر محرک‌های مختلف و بروز پاسخ مناسب است (Kader and Lindberg, 2010). کلسیم در تنظیم مکانیسم‌های مختلف گیاهان در شرایط محیطی نظیر کم‌آبی، گرما، سرما و شوری نقش دارد. علاوه بر این نشان داده شده است که کلسیم برای کاهش اثرات نامطلوب تنش آب روی گیاهان و افزایش تحمل به کم‌آبی نیاز است (Cousson, 2009). اثر مثبت کلسیم در بهبود تحمل به تنش‌های غیرزیستی به تنظیم روابط آبی، فعالیت سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی، انباشت اسمولیت‌ها، بهبود محتوی رنگدانه‌های فتوسنتزی و تعادل تغذیه‌ای نسبت داده شده است (Kurtyka *et al*., 2008).

کلسیم به‌صورت نمک‌های مختلف و یا ترکیب با مواد مختلف از جمله کلسیم کلرید، لاکتات کلسیم، پروپیونات کلسیم و آسکوربات کلسیم استفاده می‌شود. لاکتات کلسیم یک جایگزین مناسب برای کلسیم کلرید است زیرا از تلخی یا طعم‌های مرتبط با نمک کلرید اجتناب می‌کند (Luna-Guzman and Barrett, 2000). کاربرد کلسیم در گوجه‌فرنگی، وزن تک بوته، عملکرد و محتوای ویتامین ث را افزایش داد ولی باعث کاهش محتوای اسیدهای آلی و مواد جامد محلول شد (Dong *et al*., 2004). کاربرد لاکتات کلسیم به‌عنوان یک عامل تقویت‌کننده باعث حفظ بافت و کیفیت کاهو و هویج شد (Martin-Diana *et al*., 2005). همچنین طبق آزمایشی که بر روی اسفناج انجام شد لاکتات کلسیم مانع از افزایش نفوذپذیری غشای سلولی، محتوای مالون دی‌آلدهید، تخریب کلروفیل و کاهش میزان ویتامین ث شده است (Wen-bin *et al*., 2013). براساس مطالعات انجام‌شده کاربرد کلسیم در گیاه چای، با افزایش میزان پرولین، ترکیبات فنلی برگ و فعالیت آنزیم‌هایی نظیر کاتالاز و پراکسیداز، میزان هیدروژن پراکسید و پراکسیداسیون لیپیدها و آسیب اکسیداتیو ناشی از تنش را کاهش داد (Upadhyaya *et al*., 2011). با توجه به وضعیت بحران آب در ایران و مصرف عمده آن در کشاورزی، مطالعه در خصوص بهبود تحمل به کم‌آبی سبزی‌ها و مدیریت آب ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین، در آینده بیشترین تلاش‌ها در جهت تولید محصول بیشتر در شرایط کم‌آبی خواهد بود و پژوهش حاضر با هدف مطالعه اثر محلول‌پاشی لاکتات کلسیم بر رشد، عملکرد و کیفیت کاهوی رقم نیو رد فایر تحت تنش کم‌آبی انجام شد.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان در تابستان و پاییز سال ۱۳۹۶ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح آبیاری (۱۰۰، ۸۵ و ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه) و سه سطح لاکتات کلسیم (صفر، ۰/۷۵ و ۱/۵ گرم در لیتر) که تیمار آبیاری

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.9.9 ]

**جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه**

| بافت خاک | ماده آلی | نیتروژن | پتاسیم | سدیم | کلسیم | EC (دسی‌زیمنس بر متر) | pH |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (٪) | | (گرم بر کیلوگرم) | | | | |
| لوم رسی | ۰/۹٤ | ۰/۰۷ | ۰/۲۰ | ۰/۱۳ | ۰/۱۲ | ۱/٤۹ | ۷/٤ |

به‌عنوان عامل اصلی و لاکتات‌کلسیم به‌عنوان عامل فرعی بود. نتایج حاصل از تجزیه خاک در جدول ۱ آورده شده است.

بذرهای کاهوی رقم نیو رد فایر (New Red Fire) از شرکت TAKII SEED تهیه و در داخل سینی‌های مخصوص کاشت بذر (۷۲ حفره‌ای) در بستر حاوی پیت ماس در گلخانه (دمای۳±۲۳ روز و ۳±۱۸ شب با رطوبت نسبی ٦۰-۷۰ درصد) کشت شدند. پس از آماده‌شدن زمین، نشاها در مرحله چهار پنج برگی به زمین اصلی منتقل شدند. فاصله ردیف‌ها ۳۵ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها ۳۰ سانتی‌متردر نظر گرفته شد. پس از استقرار اولیه گیاهان در مرحله شش تا هفت برگی اولین محلول‌پاشی برگی لاکتات کلسیم صورت گرفت و محلول‌پاشی‌های بعدی در دو مرحله با فاصله ۱۰ روز یکبار در طول دوره رشد گیاه انجام گرفت. تیمارهای آبیاری یک هفته پس از اولین محلول‌پاشی اعمال شد. زمان محلول‌پاشی برای تمام تیمارها یکسان بود و برای محلول‌پاشی تیمار شاهد از آب‌مقطر استفاده شد. نیاز آبی گیاه برای تیمار شاهد با استفاده از میانگین بلند مدت داده‌های روزانه و داده‌های سال جاری شاخص‌های هواشناسی ثبت‌شده در ایستگاه هواشناسی زنجان و رابطه استاندارد فائو- پنمن- مانتیس برآورد گردید (وزیری و همکاران، ۱۳۸۷).

رابطه (۱) $ET_C = ET_0 \times K_C$

$ET_C$: نیاز آبی کاهو (میلی‌متر در روز)، $ET_0$: تبخیر- تعرق گیاه مرجع چمن (میلی‌متر در روز) و $K_C$: ضریب گیاهی کاهو (بدون واحد). لازم به توضیح است مقادیر $ET_0$ براساس روش استاندارد فائو- پنمن- مانتیث برآورد شد. میانگین بلند مدت پارامترهای هواشناسی ایستگاه سینوپتیک زنجان در دوره رشد گیاه را که برای محاسبه مقادیر $ET_0$ و $ET_C$ مورد استفاده قرار گرفت، در جدول ۲ نشان داده شده است. پس از محاسبه مقادیر $ET_C$، مقادیر نیاز خالص و نیاز ناخالص آب آبیاری گیاه کاهو براساس فواصل کشت، نوع سیستم آبیاری (قطره‌ای- نواری) و دور آبیاری (سه روز) برآورد شد و سپس در هر نوبت آبیاری به گیاه داده می‌شد. نیاز آبی سایر تیمارها (تیمارهای تنش آبی) براساس نیاز آبی تیمار شاهد و درصد تنش آبی، برآورد و توزیع شد. در پایان دوره رشد (٦۲ روز)، از هر واحد آزمایشی با حذف اثر حاشیه‌ای از شش بوته نمونه‌برداری و برای اندازه‌گیری صفات مورد نظر به آزمایشگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان منتقل شد.

**صفات مورد ارزیابی:** به‌منظور ارزیابی عملکرد و وزن متوسط بوته، بوته‌ها پس از برداشت با ترازوی دیجیتال گرمی (مدل EK3000I) وزن شدند. وزن متوسط تک بوته به‌صورت گرم و عملکرد کل به صورت کیلوگرم در هکتار برآورد شد. همچنین کارایی مصرف آب (WUE)، با تقسیم‌نمودن عملکرد به آب مصرفی در طی فصل رشد بر حسب کیلوگرم در مترمکعب برآورد گردید.

برای سنجش محتوای کلروفیل کل و کارتنوئید از بافت تازه برگ استفاده شد. ۰/۱ گرم از نمونه‌ها در هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد ساییده شد. سپس با دور ۵۰۰۰ به مدت ۵ دقیقه سانتریفیوژ گردید. میزان جذب محلول روشناور با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر SAFAS MONACO (RS 232) در طول‌موج‌های ٦٤۵ و ٦٦۳ نانومتر برای کلروفیل و در طول‌موج‌های ۵۱۰ و ٤۸۰ نانومتر برای کارتنوئید خوانده شد. در نهایت غلظت آنها بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر با استفاده از رابطه ۱ و ۲ محاسبه گردید که در این رابطه (V) بیانگر حجم نهایی عصاره کلروفیل در استون ۸۰ درصد، (W) وزن تازه بافت استخراج شده، (A) جذب در طول‌موج مشخص است (Rajalakshmi and Banu, 2015).

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.9.9 ]

**جدول ۲- آمار هواشناسی مربوط به ایستگاه تحقیقات کشاورزی دانشگاه زنجان در فصل زراعی ۱۳۹٦**

| پارامتر هواشناسی | خرداد | تیر | مرداد | شهریور | مهر |
|---|---|---|---|---|---|
| بارندگی (mm) | ۰/۰۱ | ۱/۱۱ | ۵/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۲ |
| میانگین دما (°C) | ۲۲/۹٤ | ۲۵/۷۱ | ۲۷/٦۸ | ۲٤/۷۹ | ۱۵/۷۳ |
| درجه حرارت حداقل (°C) | ۱۱/۲۹ | ۱٦/۸ | ۱۷/٦۱ | ۱٤/٦۸ | ۷/۸۹ |
| درجه حرارت حداکثر (°C) | ۳۲/٤۷ | ۳۳/۹٦ | ۳٦/۸۲ | ۳۵/۱۲ | ۲۵/۰۵ |

رابطه (۲)

کلروفیل کل = [20.2 (A645)+ 8.02 (A663)]×V/(W×1000)

رابطه (۳)

کارتنوئید = [7.6 (A480) – 1.49 (A510)]×V/(W×1000)

برای سنجش میزان آنتوسیانین مقدار ۰/۱ گرم از بافت تازه گیاهی با ۱۰ میلی‌لیتر محلول کلریدریک اسید یک درصد متانول در یک هاون چینی ساییده شد. محلول حاصل به‌مدت ۲٤ ساعت در یخچال در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد و شرایط تاریکی نگهداری شد سپس محلول به‌مدت ۱۰ دقیقه با دور ٤۰۰۰ سانتریفیوژ گردید. جذب محلول روشناور در طول‌موج ۵۵۰ نانومتر خوانده شد. از محلول کلریدریک اسید یک درصد متانول به‌عنوان شاهد استفاده شد. میزان آنتوسیانین برای هر عصاره بر حسب میکرومول بر گرم با استفاده از رابطه سه محاسبه گردید که (A) مقدار جذب، (ε) ضریب خاموشی معادل ۳۳۰۰۰ مول بر سانتی‌متر، (b) عرض کوت برابر یک سانتی‌متر و (c) مقدار آنتوسیانین را نشان می‌دهد (Saeedi and Asadi-Gharneh, 2017).

رابطه (٤)

$A= \varepsilon bc$

اسیدیته قابل تیتراسیون براساس اسید آلی غالب اندام گیاهی اندازه‌گیری می‌شود. به‌منظور اندازه‌گیری اسید کل از تیتر با سدیم هیدروکسید استفاده گردید. برای تعیین میزان اسیدیته، به علت بالابودن میزان رنگ عصاره، ابتدا عملیات رقیق‌سازی انجام شد. بدین منظور ۵ میلی‌لیتر آب برگ با ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر به حجم رسانیده شد و سپس دو قطره معرف فنل‌فتالئین به آن اضافه شد. محلول حاصل با سدیم هیدروکسید ۰/۱ نرمال تیتر گردید و عمل تیتراسیون تا پایان ظهور رنگ صورتی ادامه یافت. در نهایت حجم هیدروکسید مصرفی ثبت گردید (AOAC, 2000). مقدار اسید کل به‌صورت درصد مالیک اسید براساس رابطه ٤ محاسبه گردید (مستوفی و نجفی، ۱۳۸٤). در این رابطه (E) اکی والان اسید مورد نظر، (N) نرمالیته محلول سدیم هیدروکسید، (S) مقدار سدیم هیدروکسید مصرف‌شده (میلی‌لیتر)، (F) فاکتور NaOH، (C) مقدار عصاره را نشان می‌دهد.

رابطه (۵)

اسیدیته قابل تیتراسیون (٪) = [E×N×S×F/C] × ۱۰۰

محتوای مواد جامد محلول برگ با استفاده از دستگاه رفرکتومتر مدل ATAGO Brixo-32 اندازه‌گیری شد و میزان مواد جامد محلول بر حسب درصد بریکس بیان شد (مستوفی و نجفی، ۱۳۸٤).

برای اندازه‌گیری آسکوربیک اسید (ویتامین ث) دو گرم از بافت تازه با ٦ میلی‌لیتر از محلول متافسفریک ۱ درصد ساییده شد و با دور ٦۰۰۰ به‌مدت ۱۵ دقیقه در دمای چهار درجه سانتی‌گراد با دستگاه سانتریفیوژ (مدل PIT320R) سانتریفیوژ شد. سپس محلول رویی جمع‌آوری گردید. ۵۰ میلی‌گرم از پودر دی‌کلرو ایندوفنل در ۲۰۰ میلی‌لیتر آب گرم حل شد و به آن ٤۲ میلی‌گرم بی‌کربنات سدیم اضافه گردید و در یخچال به مدت کوتاه نگهداری گردید.در هر لوله آزمایش دو میلی‌لیتر از محلول رنگی و ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره استخراج‌شده اضافه شد. جذب محلول حاصل در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر خوانده شد. غلظت آسکوربیک اسید با استفاده از منحنی استاندارد تهیه شده از غلظت‌های مختلف آسکوربیک اسید در حضور دی‌کلرو ایندوفنل محاسبه شد (AOAC, 2000).

آنالیز داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار SAS V9 و مقایسه میانگین داده‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.9.9 ]

درسطح ۱ و ۵ درصد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

## نتایج و بحث

**رنگدانه‌های فتوسنتزی**: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده تیمار آبیاری و کلسیم لاکتات در سطح ۱ درصد و اثرات متقابل آنها در سطح احتمال ۵ درصد بر میزان کلروفیل کل و کارتنوئید معنی‌دار گردید (جدول ۳).

با اعمال تنش کم‌آبی محتوای کلروفیل برگ کاهش یافت و بر میزان کارتنوئید برگ کاهو افزوده شد. کاربرد لاکتات کلسیم در سطح ۱/۵ گرم در لیتر باعث افزایش کلروفیل کل و کارتنوئید گردید (جدول ٤). با توجه به نتایج (شکل A ۱) بیشترین مقدار کلروفیل کل در گیاهان تیمارشده با سطح ۱/۵ گرم در لیتر لاکتات کلسیم در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی به‌دست آمد و تفاوت معنی‌داری بین تیمار شاهد و سطح ۰/۷۵ گرم در لیتر لاکتات کلسیم در شرایط مختلف آبیاری وجود نداشت. حداکثر مقدار کارتنوئید در گیاهان تیمارشده با سطح ۰/۷۵ گرم در لیتر لاکتات کلسیم تحت تنش کم‌آبی ۷۰ درصد حاصل شد (شکل B ۱).

از عوامـل مؤثر بر کاهش محتوای کلروفیل در هنگام مواجه گیاهان بـا تـنش خشـکی، تولید گونه‌های واکنشگر اکسیژن و متعاقب آن پراکسیداسیون لیپیدها و تخریب کلروفیل است. طبق گزارشی کاهش میزان کلروفیل در اثر تنش خشکی به‌علت افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن در سلول است که این رادیکال‌های آزاد سبب پراکسیداسیون و درنتیجه تجزیه این رنگدانه‌ها می‌گردند (Xiao *et al*., 2008). از طرف دیگر، تنش منجر به افزایش غلظت تنظیم‌کننده‌های رشد آبسزیک اسید و اتیلن می‌شود که تحریک‌کننده آنزیم کلروفیلاز هستند و به این ترتیب کلروفیل تحت تأثیر این آنزیم تجزیه می‌شود (Orabi *et al*., 2010). کارتنوئیدها رنگیزه‌های گیاهی هستند که خاصیت آنتی‌اکسیدانی دارند. این رنگیزه‌ها با جذب رادیکال‌های فعال اکسیژن باعث محافظت کلروفیل در برابر تنش‌ها می‌گردند. در تنش‌های شدید، میزان کارتنوئید که به‌عنوان حمایت‌کننده‌ای برای کلروفیل در برابر اکسیداسیون نوری به شمار می‌روند افزوده می‌شود تا مانع تخریب بیشتر کلروفیل گردد. این نتایج با یافته‌های محققان دیگر نیز مطابقت دارد و آنها نیز گزارش کردند با افزایش تنش خشکی از مقدار کلروفیل کاسته و در مقابل میزان کارتنوئیدها افزوده می‌شود (Abdalla and El-Khoshiban, 2007).

با کاربرد کلسیم به‌طور قابل توجهی میزان کلروفیل در شرایط تنش کم‌آبیاری افزایش یافت که به نظر می‌رسد به دلیل جلوگیری از خسارت سلول‌های دهیدراته‌شده با ایجاد تعادل اسمزی در سیتوپلاسم است (Tattini and Traversi, 2009). در آزمایشی مقدار کلسیم در محلول غذایی گیاه گوجه‌فرنگی را از ۲/۹ میلی‌مولار بر لیتر به ۰/۲۹ میلی‌مولار بر لیتر کاهش دادند و مشاهده شد که محتوای کلروفیل و توکوفرول به کمتر از شاهد کاهش یافته است. هچنین فعالیت سوپراکسید دیسموتاز کاهش و مالون دی‌آلدئید به‌عنوان یک محصول تخریب پراکسیداسیون لیپید در برگ‌های تحت کمبود کلسیم افزایش یافت (Schmitz-Eiberge *et al*., 2002). برخی مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از تیمار کلسیم کلرید در شرایط کم‌آبیاری مقدار مالون دی‌آلدئید را کاهش داده است. این نتیجه مطابق با افزایش رشد و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و افزایش کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز در سم‌زدایی گونه‌های فعال اکسیژن مانع از کاهش کلروفیل می‌گردد. این ثابت کرد که تیمار با غلظت کلسیم مناسب، آسیب اکسیداسیون را که ناشی از کم‌آبی بود کاهش می‌دهد (Chengbin *et al*., 2013). همچنین براساس پژوهشی میزان کارتنوئید در هویج در تیمار با کلسیم لاکتات در پایان انبارمانی افزایش یافت که این افزایش می‌تواند به دلیل افزایش بتاکاروتن باشد (Martin Diana *et al*., 2005).

**آنتوسیانین**: اعمال تنش کم‌آبیاری به‌طور معنی‌داری محتوای آنتوسیانین برگ را افزایش داد؛ همچنین کاربرد کلسیم لاکتات باعث افزایش مقدار آنتوسیانین گردید (جدول ٤). نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین مقدار آنتوسیانین در برگ گیاهان محلول‌پاشی شده با لاکتات کلسیم ۱/۵ گرم در لیتر،تحت شرایط آبیاری ۸۵ درصد نیاز آبی

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.9.9 ]

جدول ۳- تجزیه واریانس **اثرات هریک از سطوح مختلف آبیاری و لاکتات کلسیم بر برخی صفات فیزیولوژیکی کاهوی رقم نیو رد فایر**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | کلروفیل کل | کارتنوئید | آنتوسیانین | اسید کل |
| تکرار | ۲ | ۰/۰۰۰۰۷ | ۰/۰۰۰۷ | ۱/۰۰۳ | ۱/۳۷۵ |
| آبیاری | ۲ | ۰/۰۳٤ ** | ۰/۰۰۸۷ ** | ۲/۱٦۲ ** | ۱۹/۳۱۸ * |
| خطای کرت اصلی | ٤ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۰٤ | ٥/٦٤۸ | ٤/۱۳٥ |
| لاکتات کلسیم | ۲ | ۰/۰۲۲ ** | ۰/۰۰۳٤ ** | ٤/۲۹۲ * | ٥٦/٦۱۳ ** |
| آبیاری × لاکتات کلسیم | ٤ | ۰/۰۰۳ * | ۰/۰۰۱٤ * | ۲/۷۷۰ * | ٤/۰۱۷ ns |
| خطای کرت فرعی | ۱۲ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۰٤ | ٦/۳۸۸ | ۳/۳۲٤ |
| ضریب تغییرات | - | ٥/۷٥ | ۹/۹٤ | ۱۱/۱۸ | ۸/٦۲ |

**ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.**

**ادامه جدول ۳-**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | مواد جامد محلول | ویتامین ث | عملکرد | کارایی مصرف آب |
| تکرار | ۲ | ۰/۰٤۱ | ۰/۰۷۷ | ۲۰٦۸۳۸/۸۲ | ۰/۳۸۰ |
| آبیاری | ۲ | ۲/۳٤۷ ** | ۱۳/۲٦۲ ** | ۲۱۳٤۹۰٤۳/۱٥ ** | ۳/۲۹۳ ** |
| خطای کرت اصلی | ٤ | ۰/۱۷٥ | ۰/۳۸۷ | ۸۳۹۳٤/۷۱ | ۰/۱۸۳ |
| لاکتات کلسیم | ۲ | ۰/٦٥۳ ns | ۱۰/۷۲٤ ** | ٦۱۰٥۳۷٦/۱۸ ** | ۱۰/۱٤٤ ** |
| آبیاری × لاکتات کلسیم | ٤ | ۰/۰۷۷ ns | ۱/۹۰۲ * | ٤۱۳۹٦۱/٦٦ * | ۰/۳۱۷ ns |
| خطای کرت فرعی | ۱۲ | ۰/۲۲٥ | ۰/۳٦۹ | ۱۰۱٤۰۷/٤٦ | ۰/۱۷۰ |
| ضریب تغییرات | - | ۲۰/۹۳ | ۱/۳۲ | ۲/۸۲ | ۲/۷۸ |

**ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.**

حاصل شد (شکل ۲). با توجه به نتایج تحت آبیاری ۱۰۰ درصد، بین سطوح مختلف لاکتات کلسیم تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ولی با اعمال تنش کم‌آبی ۸۵ درصد میزان آنتوسیانین با کاربرد لاکتات کلسیم افزایش معنی‌داری نشان داد و در شرایط کم‌آبی ۷۰ درصد با افزایش محتوای آنتوسیانین بین سطوح مختلف لاکتات کلسیم اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۲).

جزی‌زاده و مرتضایی‌نژاد (۱۳۹۵)، افزایش کارتنوئید و آنتوسیانین را در شرایط کم‌آبیاری در گیاه کاسنی گزارش کردند. این افزایش به علت نقش حفاظت نوری آنتوسیانین به‌وسیله حذف مستقیم گونه‌های فعال اکسیژن در طول نقش اکسیداتیو است. کلسیم تولید گونه‌های فعال اکسیژن از جمله هیدروژن پراکسید را از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز که هیدروژن پراکسید را به آب و اکسیژن تجزیه می‌کنند کاهش می‌دهد (Noctor, 2006) و در نهایت منجر به افزایش آنتی‌اکسیدان‌ها می‌شود. همچنین کاربرد پس از برداشت تیمار کلسیم در حفظ آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی از قبیل فنل، فلاونوئیدها، آنتوسیانین و آسکوربیک اسید مؤثر بوده است (Soleimani aghdam *et al.*, 2013). در بررسی منابع مختلف کلسیم که بر روی ذرت انجام شد، دریافتند که با افزایش غلظت هیدروکسید کلسیم، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای آنتوسیانین

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.9.9 ]

**جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات هریک از سطوح مختلف آبیاری و لاکتات کلسیم بر برخی صفات فیزیولوژیکی کاهوی رقم نیو رد فایر**

| تیمارهای آزمایشی | کلروفیل کل | کارتنوئید | آنتوسیانین | مواد جامد محلول کل |
|---|---|---|---|---|
| | (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) | | (میکرومول بر گرم) | (درصد بریکس) |
| آبیاری (درصد نیاز آبی گیاه) | | | | |
| ۱۰۰ | ۰/٦۳ a | ۰/۱۹٤ b | ۱۷/۱۱ b | ۱/٦۷ b |
| ۸۵ | ۰/۵٤ b | ۰/۱۹۹ b | ۲٤/۱۱ a | ۲/۵۳ a |
| ۷۰ | ۰/۵۱ b | ۰/۲۵۱ a | ۲٦/۵٦ a | ۲/۵۸ a |
| لاکتات کلسیم (گرم بر لیتر) | | | | |
| ۰ (شاهد) | ۰/۵۳ b | ۰/۱۹٦ b | ۲۰/۱۱ b | ۱/۹۵ a |
| ۰/۷۵ | ۰/۵۳ b | ۰/۲۱۳ b | ۲۳/٤٤ a | ۲/٤۲ a |
| ۱/۵ | ۰/٦۲ a | ۰/۲۳۵ a | ۲٤/۲۲ a | ۲/٤۲ a |

**میانگین‌های صفات که در هر ستون دارای حروف مشابه‌اند فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ آزمون دانکن هستند.**

**ادامه جدول ٤-**

| تیمارهای آزمایشی | اسید قابل تیتراسیون (درصد) | ویتامین ث (میلی¬گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر) | عملکرد (کیلوگرم بر هکتار) | کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب) |
|---|---|---|---|---|
| آبیاری (درصد نیاز آبی گیاه) | | | | |
| ۱۰۰ | ۲۲/٤۳ a | ٤٦/۸۸ a | ۱۲۷۱۳/۱ a | ۱٤/۱۸ b |
| ۸۵ | ۲۱/٤٦ a | ٤٦/۰۱ b | ۱۱٤۰۸/۵ b | ۱٤/۹۷ a |
| ۷۰ | ۱۹/۵۵ b | ٤٤/٤۸ c | ۹٦٤٤/۲ c | ۱۵/۳۷ a |
| لاکتات کلسیم (گرم بر لیتر) | | | | |
| ۰ (شاهد) | ۱۸/۸٤ c | ٤٤/۸ c | ۱۰٤۰۹/۳ c | ۱۳/۷٦ c |
| ۰/۷۵ | ۲۰/۷۸ b | ٤۵/٦ b | ۱۱۳۰۱/۹ b | ۱٤/۸۸ b |
| ۱/۵ | ۲۳/۸۲ a | ٤٦/۹٦ a | ۱۲۰۵٤/٦ a | ۱۵/۸۸ a |

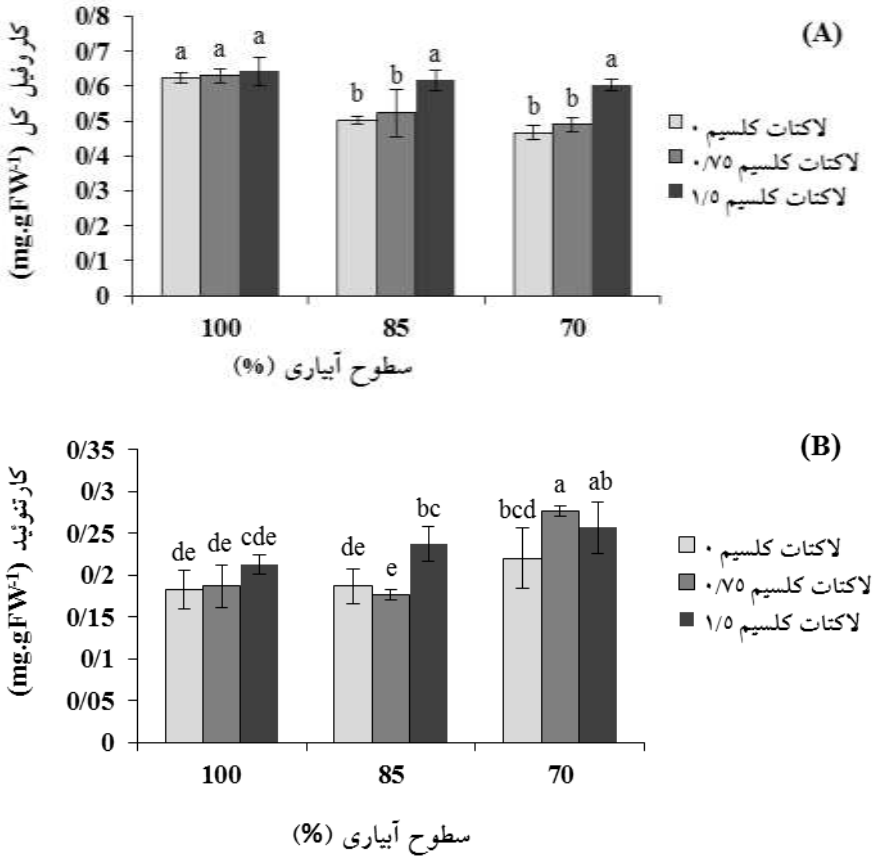
**میانگین‌های صفات که در هر ستون دارای حروف مشابه‌اند فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ آزمون دانکن هستند.**

و فنل کل کاهش یافت. در مقابل افزایش غلظت لاکتات کلسیم منجر به افزایش آنها شد (Sanchez-Madrigal *et al.*, 2015).

**اسید قابل تیتراسیون و مواد جامد محلول:** با توجه به جدول مقایسه میانگین داده‌ها، با افزایش سطح تنش کم‌آبی مقدار مواد جامد محلول به‌طور معنی‌داری افزایش و اسید قابل تیتراسیون کاهش یافت. همچنین کاربرد لاکتات کلسیم باعث افزایش معنی‌داری در میزان اسید کل شد که بیشترین مقدار آن نیز مربوط به سطح ۱/۵ گرم در لیتر و کمترین میزان مربوط به تیمار شاهد بود و بر میزان مواد جامد محلول تأثیری نداشت. اثرات متقابل آبیاری در لاکتات کلسیم بر صفات مواد جامد محلول کل و اسید کل تأثیر معنی‌داری نشان نداد (جدول ۳ و ٤).

مقدار اسید کل و قندها در تعیین کیفیت محصولات نقش مهمی ایفا می‌کنند. طبق بررسی‌های انجام‌شده اثر کلسیم بر مواد جامد محلول متغیر بوده به طوریکه گزارش کرده‌اند کلسیم کلرید اثر معنی‌داری بر افزایش مواد جامد محلول میوه ازگیل ژاپنی داشته است (Akhtar *et al.*, 2010). در مطالعه

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21 ]
[ DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.9.9 ]

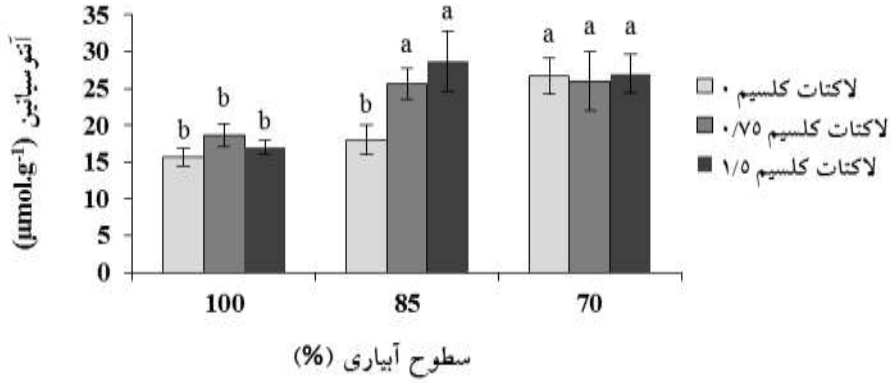



**شکل ۱- اثر سطوح مختلف آبیاری (۷۰، ۸۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) و لاکتات کلسیم (صفر، ۰/۷۵ و ۱/۵ گرم در لیتر) بر محتوای کلروفیل کل (A) و کارتنوئید (B) برگ کاهوی رقم نیو رد فایر**

دیگر که روی گوجه‌فرنگی انجام شد، کاربرد کلسیم باعث کاهش محتوای اسید آلی و مواد جامد محلول گردید (Dong *et al.*, 2004). در پژوهش دیگری عکس این نتیجه به‌دست آمد و گزارش کردند که کلسیم می‌تواند استحکام میوه و محتوای اسیدهای آلی را افزایش دهد که این نیز از طریق به تأخیر انداختن تنفس میوه اتفاق می‌افتد (Chen *et al.*, 2006) که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. تجمع مواد جامد محلول در سلول و کاهش میزان آب ذخیره‌شده در گیاه به دلیل افزایش تولید هورمون آبسیزیک اسید و غلبه بر کاهش پتانسیل اسمزی در شرایط خشکی است. همچنین افزایش تنفس در تنش کم‌آبیاری باعث شکسته‌شدن پلی‌ساکاریدها و تبدیل آنها به ترکیبات ساده‌تر و افزایش مواد جامد محلول می‌شود (Ivan Garcia *et al.*, 2011). در اثر تنش خشکی روزنه‌ها بسته‌شده و تبخیر و تعرق کاهش می‌یابد و با توجه به اینکه کلسیم به صورت توده‌های همراه آب در آوندهای چوبی انتقال می‌یابد، بنابراین جذب کلسیم کاهش یافته و با توجه به نقش کلسیم در حفظ دیواره سلولی، افزایش سفتی میوه، کاهش سرعت تنفس و تولید اتیلن در پایداری و استحکام دیواره و غشای سلولی، کاهش جذب این عنصر باعث کاهش اسیدها که به‌عنوان سوبسترا در پدیده تنفسی شرکت می‌کنند، می‌شود (Lamikanra and Watson, 2004).

**ویتامین ث**: اعمال تنش کم‌آبیاری به‌طور معنی‌داری ویتامین ث برگ را کاهش داد و کاربرد لاکتات کلسیم باعث افزایش مقدار ویتامین ث گردید (جدول ٤). نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین مقدار ویتامین ث در برگ گیاهان محلول‌پاشی‌شده با لاکتات کلسیم ۱/۵ گرم در لیتر، تحت شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد تحت شرایط آبیاری ۷۰ درصد نیاز آبی

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21 ]
[ DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.9.9 ]




**شکل ۲- اثر سطوح مختلف آبیاری (۷۰، ۸۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) و لاکتات کلسیم (صفر، ۰/۷۵ و ۱/۵ گرم در لیتر) بر محتوای آنتوسیانین برگ کاهوی رقم نیو رد فایر**

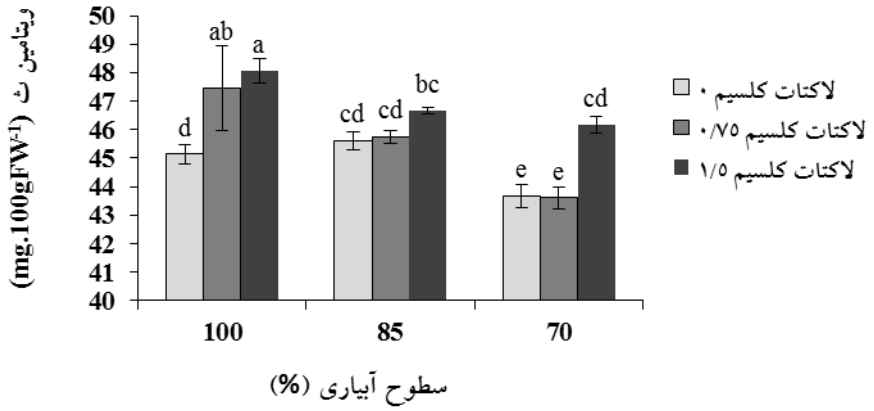
حاصل شد (شکل ۳). در شرایط آبیاری ۸۵ و ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه بین تیمار شاهد لاکتات کلسیم و سطح ۰/۷۵ گرم در لیتر آن تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

نتایج نشان داد که رژیم کم‌آبیاری باعث کاهش قابل توجهی در مقدار ویتامین ث گردید که در بررسی انجام‌شده بر فلفل هم گزارش شده است (Mahendran and Bandara, 2000). تحقیقات نشان داده‌اند که ویتامین ث دارای نقش کلیدی در چندین فرآیند فیزیولوژیکی گیاه از جمله رشد و نمو و همچنین متابولیسم است. چون ویتامین ث از اسیدهای آلی می‌باشد به‌دلیل دمای زیاد ایجادشده ناشی از تنش کم‌آبی تنفس افزایش‌یافته بنابراین اسیدها به‌عنوان سوبسترا در پدیده تنفسی شرکت می‌کنند. این امر باعث کاهش اسید کل و در نتیجه باعث کاهش ویتامین ث در اثر تنش کم‌آبی می‌شود. همچنین با توجه به اینکه مسیر سنتز ویتامین ث از D- گلوکز، آغاز شده است، کاهش میزان ویتامین ث ممکن است به کاهش سطح سنتز D- گلوکز نسبت داده شود که در طول دوره تنش اتفاق می‌افتد (Mahendran and Bandara, 2000). لاکتات کلسیم با افزایش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز، اکسیداسیون سریع آسکوربیک اسید را به تأخیر می‌اندازد (Kazemi *et al.*, 2011). کلسیم با اتصال به غشاء باعث پایداری آن می‌شود و با این کار از اتصال رادیکال‌های آزاد و گونه‌های فعال اکسیژن به غشاء جلوگیری کرده و به حفظ غشاهای زیستی کمک می‌کند و در حقیقت نقش آنتی‌اکسیدان‌ها نظیر آسکوربیک اسید را به عهده می‌گیرند و از تجزیه آسکوربیک اسید جلوگیری می‌کنند (Spinardi, 2005). گزارش کردند که تیمار گوجه‌فرنگی با کلسیم آسکوربات ۱ درصد باعث جلوگیری از فعالیت آنزیم‌های فنل اکسیداز و آسکوربیک اکسیداز شد و از این طریق باعث حفظ اسید آسکوربیک شد (بهرامیان و همکاران، ۱۳۹۵). همچنین در گیاه کلم محلول‌پاشی لاکتات کلسیم منجر به حفظ ویتامین ث و عدم‌کاهش آن شده است (Shan *et al.*, 2011).

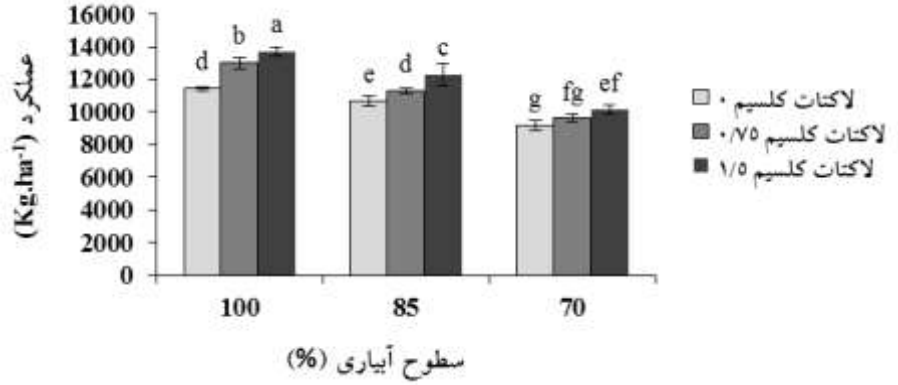
**عملکرد:** اعمال تنش کم‌آبیاری به‌طور معنی‌داری عملکرد بوته را کاهش داد و کاربرد لاکتات کلسیم باعث افزایش مقدار عملکرد گردید (جدول ۳). نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین مقدار عملکرد در گیاهان محلول‌پاشی شده با لاکتات کلسیم ۱/۵ گرم در لیتر تحت شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کمترین مقدار در تیمار شاهد لاکتات کلسیم تحت شرایط تنش کم‌آبیاری ۷۰ درصد نیاز آبی حاصل شد (شکل ٤).

کاهو از سبزی‌های برگی است که عملکرد آن با تعداد برگ و سطح برگ تولیدشده همبستگی دارد. حداکثر پتانسیل عملکرد به توسعه اولیه سطح برگ برای جذب نور مطلوب و فتوسنتز بستگی دارد. برای انجام فتوسنتز توسعه سطح برگ و تبادلات گازی، بازبودن روزنه‌ها ضروری است. بنابراین در اثر کمبود آب و بسته‌شدن روزنه‌ها تبادلات گازی کاهش‌یافته، دی‌اکسید کربن کمتری در دسترس گیاهان قرار می‌گیرد و

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21 ]
[ DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.9.9 ]




**شکل ۳- اثر سطوح مختلف آبیاری (۷۰، ۸۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) و لاکتات کلسیم (صفر، ۰/۷۵ و ۱/۵ گرم در لیتر) بر میزان ویتامین ث کاهوی رقم نیو رد فایر**




**شکل ٤- اثر سطوح مختلف آبیاری (۷۰، ۸۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) و لاکتات کلسیم (صفر، ۰/۷۵ و ۱/۵ گرم در لیتر) بر عملکرد کاهوی رقم نیو رد فایر**

شدت فتوسنتز کاهش می‌یابد همچنین تنش کم‌آبی عمدتاً رشد برگ و درنتیجه سطح برگ را در بسیاری از گونه‌ها کاهش می‌دهد که این امر موجب کاهش تولید مواد فتوسنتزی می‌گردد. کاهش فتوسنتز منجر به کاهش رشد و عملکرد تولیدی در گیاهان خواهد شد. تنش کم‌آبی با کاهش جذب نیتروژن و استفاده آن توسط گیاه، مانع بزرگ‌شدن سلول‌ها شده و سطح برگ و فتوسنتز را کاهش می‌دهد (Farooq *et al.*, 2009). گزارش شده است که کاهش سطوح اکسین و جیبرلین در اثر تنش کم‌آبی، تقسیم سلولی و طویل‌شدن سلول را متوقف کرده و درنتیجه رشد رویشی مناسب برای عملکرد بالا کاهش می‌یابد (Simsek and Comlekcioglu, 2011). در پژوهشی در شرایط تنش خشکی، دانه و برگ کمتری در مقایسه با شرایط بدون تنش در گشنیز تولید شد که این امر موجب کاهش تولید مواد فتوسنتزی و درنتیجه کاهش عملکرد این گیاه گردید (Drunasky and struve, 2005). کاهش میزان عملکرد تحت شرایط تنش خشکی در گیاه ریحان نیز گزارش شده است (Hassani and Omid Beighi, 2002).

کمبود کلسیم در فرآیندهای فتوسنتز دخالت می‌کند که در نتیجه باعث کاهش کارایی کربوکسیلاسیون و فتوسنتز می‌شود که منجر به کاهش قابل توجهی در تولید زیست‌توده گیاهان می‌شود (Alarcon *et al.*, 1999). سطح برگ یکی از خصوصیات بسیار مهم در رشد گیاه است به طوریکه هر چقدر سطح برگ افزایش یابد، مقدار فتوسنتز افزایش می‌یابد. از آنجا که فتوسنتز در کلروپلاست‌ها صورت می‌گیرد علاوه بر شکل

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21 ]
[ DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.9.9 ]

ساختمانی برگ، میزان فشردگی دیواره تیلاکوئید، حرکت کلروپلاست در داخل سلول‌ها و افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ به جذب حداکثر نور و بالارفتن میزان فتوسنتز کمک می‌کند (تایز و زایگر، ۱۳۸۷).

**کارایی مصرف آب (WUE):** نتایج به‌دست آمده نشان داد با افزایش شدت تنش کم‌آبیاری، کارایی مصرف آب افزایش یافت و بیشترین مقدار آن در تیمار ۷۰ درصد نیاز آبی به‌دست آمد که با سطح ۸۵ درصد آبیاری اختلاف معنی‌داری نداشت. همچنین کاربرد لاکتات کلسیم سبب افزایش کارایی مصرف آب گردید. اثرات متقابل آبیاری در لاکتات کلسیم بر کارایی مصرف آب تأثیر معنی‌داری نشان نداد (جدول ۳ و٤).

با توجه به محدودیت منابع آب یافتن راهکارهایی جهت حفظ آب و بالابردن کارایی مصرف آب در گیاهان ضروری است (Topcu *et al*., 2007; Alenazi *et al*., 2015). کارایی مصرف آب با توانایی یک گیاه برای جذب غلظت‌های بالاتری از کربن (دلالت بر حفظ میزان فتوسنتز بالا) همراه است و از دست‌دادن آب را از طریق کنترل باز و بسته‌شدن روزنه‌ها محدود می‌کند (Flexas *et al*., 2013). محققان دلیل افزایش کارایی مصرف آب را تحت شرایط تنش کم‌آبی از دست‌دادن برگ‌های اضافی و کاهش سطح برگ و همچنین بستن یا نیمه‌باز بودن روزنه‌ها جهت کاهش هدر رفت آب از طریق تبخیر و تعرق اعلام نموده‌اند، درنتیجه گیاه از آب مصرفی برای تولید ماده خشک استفاده بهینه می‌کند که این امر موجب افزایش کارایی مصرف آب می‌شود (Farahani *et al*., 2008) که در گیاهانی نظیر ذرت (Anjum *et al*., 2011) و ریحان (نادریان‌فر، ۱۳۹۵) نیز گزارش شده است.

کارایی مصرف آب به‌شدت به فعالیت فتوسنتزی و راندمان تعرق مربوط است و می‌تواند به‌وسیله آبیاری تحت تأثیر قرار بگیرد (Monneveux *et al*., 2006). کلسیم به‌طور مستقیم در فرآیندهای فتوسنتز دخالت دارد و کمبود آن از طریق کاهش کارایی کربوکسیلاسیون و فتوسنتز باعث کاهش قابل توجه بیوماس گیاهان می‌شود (کوکبی و طباطبایی، ۱۳۸۹). در توت‌فرنگی استفاده از کلسیم کلرید با غلظت ۳۵ میلی‌مولار در محلول غذایی موجب افزایش وزن خشک شاخه و ریشه گردید (Kaya *et al*., 2002). لذا افزایش مشاهده‌شده در کارایی مصرف آب می‌تواند به دلایل ذکرشده مربوط باشد.

## نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل تنش کم‌آبی رشد، عملکرد و کیفیت کاهو را کاهش داد و اعمال تنش کم‌آبیاری ۸۵ درصد با کاهش ۱۰/۲ درصدی عملکرد منجر به ذخیره ۱۵ درصدی آب مصرفی گردید. همانطور که نتایج نشان داد میزان عملکرد در گیاهان محلول‌پاشی شده با لاکتات کلسیم ۰/۷۵ گرم در لیتر تحت شرایط آبیاری ۸۵ درصد نیاز آبی گیاه معادل گیاهان شاهد آبیاری‌شده با ۱۰۰ درصد نیاز آبی بود و اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. همچنین عملکرد در گیاهان تحت شرایط آبیاری ۸۵ درصد نیاز آبی گیاه و محلول‌پاشی شده با لاکتات کلسیم ۱/۵ گرم در لیتر نسبت به آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه در تیمار شاهد لاکتات کلسیم افزایش معنی‌داری را نشان داد. کاربرد لاکتات کلسیم در هر سه سطح آبیاری میزان کارتنوئید، ویتامین ث، مواد جامد محلول و کلروفیل کل را افزایش دادند. براساس نتایج حاصل و با توجه به بحران کم‌آبی کنونی تیمار آبی ۸۵ درصد با کاربرد لاکتات کلسیم ۱/۵ گرم در لیتر را در جهت تعدیل اثرات مضر تنش کم‌آبی و بهبود عملکرد و کیفیت کاهو پیشنهاد می‌شود.

## منابع

بهرامیان، س.، رامین، ع. ا. و امینی، ف. (۱۳۹۵) ارزیابی تأثیر تیمار کلسیم بر عمر پس از برداشت گوجه‌فرنگی رقم "دافنیس". فرآیند و کارکرد گیاهی ۱٦: ۱۰۵-۹۷

تایز، ل. و زایگر، ا. (۱۳۸۷) فیزیولوژی گیاهی. ترجمه کافی، م.، زند، ا.، کامکار، ب.، شریفی، م. و گلدانی، م. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. مشهد.

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.9.9 ]

جزی‌زاده، ا. و مرتضایی‌نژاد، ف. (۱۳۹۵) اثرات تنش خشکی بر شاخص‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گیاه کاسنی (*Cichorium intybus* L.) جعت معرفی در فضای سبز شهری. فرآیند و کارکرد گیاهی ٦: ۲۹۰-۲۷۹.

کوکبی، س. و طباطبایی، ج. (۱۳۸۹) تأثیر نسبت‌های مختلف پتاسیم به کلسیم بر عملکرد و کیفیت خربزه گالیا در آبکشت. علوم باغبانی ۲۵: ۱۸٤-۱۷۸.

مستوفی، ی. و نجفی، ف. (۱۳۸٤) روش‌های آزمایشگاهی تجزیه‌ای در علوم باغبانی. انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

نادریان‌فر، م. (۱۳۹۵) تعیین تابع تولید گیاه ریحان تحت شرایط کم‌آبیاری و استفاده از نانو کود. نشریه آبیاری و زهکشی ایران ۳: ۳۷٦-۳٦۵.

وزیری، ژ.، سلامت، ع.، انصاری، م.، مسجی، م.، حیدری، ن. و دهقانی‌سانیچ، ح. (۱۳۸۷) تبخیر- تعرق گیاهان (دستورالعمل محاسبه آب مورد نیاز گیاهان). ترجمه انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، تهران.

Abdalla, M. M. and El-Khoshiban, N. H. (2007) The influence of water stress on growth, relative water content, photosynthetic pigments, some metabolic and hormonal contents of two *Triticum aestivum* cultivars. Journal of Applied Science Research 3: 2062-2074.

Akhtar, A., Abbasi, N. A. and Hussain, A. (2010) Effect of calcium chloride treatment on quality characteristics of loquat fruit during storage. Pakistan Journal Botany 42: 181-188.

Alarcon, A. L., Madrid, R., Egea, C. and Guillen, I. (1999) Calcium deficiency provoked by the application of different forms and concentrations of $Ca^{+2}$ to soilless cultivated muskmelons. Scientia Horticulturae 81: 89-102.

Alenazi, M., Abdel-Razzak, H., Ibrahim, A., Wahb-Allah, M. and Alsadon, A. (2015) Response of muskmelon cultivars to plastic mulch and irrigation regimes under greenhouse conditions. Journal of Animal and plant Sciences 25: 1398-1410.

Anjali, S. and Kale, P. B. (2007) Response and recovery of *Coriandrum sativum* L. variety indoor exposed to soil moisture stress. Indian Journal of Plant Physiology 12: 266-270.

Anjum, Sh. A., Xi, X. Y., Wang, L. Ch., Saleem, M. F., Man, Ch. and Lei, W. (2011) A review morphological physiological and biochemical responses of plants to drought stress. African Journal of Agricultural Research 6: 2026-2032.

AOAC. (2000) Official method of analysis of the association of official analytical chemists. Washington D.C 12: 377-378.

Chen, S., Wei, L. and Fang, Y. (2006) Effect of $CaCl_2$ treatment on the physiological qualities of postharvest tomato. Acta Agriculturae 15: 156-159.

Chengbin, X., Xuemei, L. and Lihong, Z. (2013) The effect of calcium chloride on growth, photosynthesis and antioxidant responses of (*Zoysia japonica*) under drought conditions. PlOS One 8: 1-10.

Cousson, A. (2009) Involvement of phospholipase C-independent calcium-mediated abscisic acid signaling during *Arabidopsis* response to drought. Biologia Plantarum 53: 53-62.

Dong, C. X., Zhou, J. M., Fan, X. H. and Wang, H. Y. (2004) Application methods of calcium supplements affect nutrient levels and calcium forms in mature tomato fruits. Journal of Plant Nutrition 27: 1443-1455.

Drunasky, N. and Struve, D. K. (2005) *Quercus macrocarpa* and *Q. prinus* physiological and morphological response to drought stress. Urban Forestry and Urban Greening 4: 13-22.

Farahani, A., Lebaschi, H., Hussein, M., Hussein, S. A., Reza, V. A. and Jahanfar, D. (2008) Effects of arbuscular mycorrhizal fungi, different levels of phosphorus and drought stress on water use efficiency, relative water content and proline accumulation rate of Coriander (*Coriandrum sativum* L.). Journal of Medicinal Plants Research 2: 125-131.

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. and Basra, S. M. A. (2009) Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agronomy for Sustainable Development 29: 185-212.

Flexas, J., Niinemets, U., Galle, A., Barbour, M. M., Centritto, M., Diaz-Espejo, A., Douthe, C., Galmes, J., Ribas-Carbo, M., Rodriguez, P. L. and Rossello, F. (2013) Diffusional conductances to $CO_2$ as a target for increasing photosynthesis and photosynthetic water use efficiency. Photosynthesis Research 117: 45-59.

Hassani, A. and Omid Beighi, R. (2002) Effects of water stress on some morphological, physiological and metabolical characteristics of basil (*Ocimum basilicum*). Agricultural Knowledge 12: 47-59.

Ivan Garcia, T., Victor Hugo, D. Z. and Jose Luis, M. F. (2011) Long-term impact of sustained deficit irrigation on yield and fruit quality in *sweet orange* cv. Salustiana (SW Spain). Comunicata Scientiae 2: 76-84.

Kader, A. and Lindberg, S. (2010) Cytosolic calcium and pH signaling in plants under salinity stress. Plant Signaling and Behavior 5: 233-238.

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.9.9 ]

Kaya, C., Kirnak, H., Higgs, D. and Saltali, K. (2002) Supplementary calcium enhances plant growth and fruit yield in strawberry cultivars grown at high (NaCl) salinity. Scientia Horticulturae 93: 65-74.

Kazemi, M., Aran, M. and Zamani, S. (2011) Effect of calcium chloride and salicylic acid treatment on quality characteristics of kiwifruit (*Actinidia deliciosa cv.* Hayward) during storage. American Journal of Plant Physiology 6: 183-189.

Kirnak, H., Tas, I., Kaya, C. and Higgs, D. (2002) Effects of deficit irrigation on growth, yield, and Fruit quality of eggplant under semi-arid conditions. Australian Journal of Agriculture Research 53: 1367-1373.

Kristkova, E., Dolezalova, I., Lebeda, A., Vinter, V. and Novotna, A. (2008) Description of morphological characters of lettuce (*Lactuca sativa* L.) genetic resources. Horticultural Science 35: 113-129.

Kurtyka, R., Malkowski, E., Kita, A. and Karcz, W. (2008) Effect of calcium and cadmium on growth and accumulation of cadmium, calcium, potassium and sodium in maize seedlings. Polish Journal of Environmental Studies 17: 51-56.

Kuscu, H., Turhan, A., Ozmen, N., Aydınol, P., Buyukcangaz, H. and Demir, A. O. (2015) Deficit irrigation effects on watermelon (*Citrullus vulgaris*) in a sub humid environment. Journal of Animal and Plant Sciences 25: 1652-1659.

Lamikanra, O. and Watson, A. M. (2004) Effect of calcium treatment temperature on fresh-cut cantaloupe melon during storage. Journal of Food Science 69: 468-472.

Luna-Guzman, I. and Barrett, D. M. (2000) Comparison of calcium chloride and calcium lactate effectiveness in maintaining shelf stability and quality of fresh-cut cantaloupe. Postharvest Biology and Technology 19: 61-72.

Mahendran, S. and Bandara, D. C. (2000) Effects of soil moisture stress at different growth stages on vitamin C, capsaicin, and b-carotene contents of chili (*Capsicum annum* L.) fruits and their impact on yield. Tropical Agricultural Research 12: 95-106.

Martin Diana, A., Rico, D., Barry-Ryan, C., Jesu, M. F., Mulcahy, J. and Gary, T. M. (2005) Comparison of calcium lactate with chlorine as a washing treatment for fresh-cut lettuce and carrots: quality and nutritional parameters. Food and Agriculture 85: 2260-2268.

Monneveux, P., Rekika, D., Acevedo, E. and Merah, O. (2006) Effect of drought on leaf gas exchange, carbon isotope discrimination, transpiration efficiency and productivity in field grown durum wheat genotypes. Plant Science 170: 867-872.

Noctor, G. (2006) Metabolic signaling in defense and stress: the central roles of soluble redox couples. Plant Cell and Environment 29: 409-425.

Orabi, S. A., Salman, S. R. and Shalaby, M. A. (2010) Increasing resistance to oxidative damage in cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants by exogenous application of salicylic acid and paclobutrazol. World Journal of Agricultural Sciences 6: 252-259.

Perucka, I. and Olszowka, K. (2011) Accumulation of potassium, magnesium, calcium in fresh and cold stored leaves of lettuce (*lactuca sativa* L.) after $CaCl_2$ foliar treatment before harvest. The Elementary School Journal 3: 445-454.

Rajalakshmi, K. and Banu, N. (2015) Extraction and estimation of chlorophyll from medicinal plants. International Journal of Science and Research 4: 2319-7064.

Saeedi, A. and Asadi-Gharneh, H. A. (2017) Effect of different drying methods on some biochemical properties of Iranian Ox-tongue (*Echium amoenum* Fisch. and Mey.). Journal of Herbal Drugs 2: 87-92.

Sanchez-Madrigal, M. A., Neder-Suarez, D., Quintero-Ramos, A., RuizGutierrez, M. G., Melendez-Pizarro, C. O., Pinon-Castillo, H. A., Galicia-Garcia, T. and Ramirez-Wong, B. (2015) Physicochemical properties of frozen tortillas from nixtamalized maize flours enriched with β-glucans. Food Science and Technology 35: 552-560.

Schmitz-Eiberge, M., Haefs, R. and Noga, G. (2002) Calcium deficiency-influence on the antioxidative defense system in tomato plants. Journal of Plant Physiology 159: 733-742.

Shan, G., Jing-jing, Z., Zi-xuan, Y., Ai-li, J. and Wen-zhong, H. (2011) Effects of calcium lactate treatments on physiological and biochemical changes of fresh-cut cauliflower. Storage and Process.

Simsek, M. and Comlekcioglu, N. (2011) Effects of different irrigation regimes and nitrogen levels on yield and quality of melon (*Cucumis melo L.).* African Journal of Biotechnology 10: 10009-10018.

Soleimani Aghdam, M., Yousef Pour, A. and Hassanpour, H. (2013) Enhancement of antioxidant capacity of cornelian cherry fruit by postharvest calcium treatment. Scientia Horticulture 161: 160-164.

Spinardi, A. M. (2005) Effect of harvest date and storage on antioxidant system in pears. Acta Horticulturae, V International Postharvest Symposium 682: 135-140.

Supanjani, R., Tawaha, M., Suk Yang, M., Shim Han, H. and Deng Lee, K. (2005) Calcium effect on yield, mineral uptake and terpene components of hydroponic *Chrysanthemum coronarium* L. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 1: 146-151.

Tattini, M. and Traversi, M. L. (2009) On the mechanism of salt tolerance in olive (*Olea europaea* L.) under low - or high -$Ca^{2+}$ supply. Environmental and Experimental Botany 65: 72-81.

Topcu, S., Kirda, C., Dasgan, Y., Kaman, H., Cetin, M., Yazici, A. and bacon, M. A. (2007) Yield response and N-fertilizer recovery of tomato grown under deficit irrigation. European Hournal of Agronomy 26: 64-70.

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.9.9 ]

Upadhyaya, H., Panda, S. K. and Dutta, B. K. (2011) $CaCl_2$ improves post-drought recovery potential in (*Camellia sinensis* L. O. Kuntze). Plant Cell Reports 30: 495-503.

Wen-bin, J., Yin-ran, D., Xi, Y. and Xiang-ning, C. H. (2013) Effect of calcium lactate treatments on physiological and biochemical changes of fresh-cut spinach. Science and Technology of Food Industry 2013-19.

Xiao, X., Xu, X. and Yang, F. (2008) Adaptive responses to progressive drought stress in two *Populus cothayana* populations. Silva Fennica 42: 705-719

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.9.9 ]

# The effect of calcium lactate foliar spray on growth, yield and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.) cv. New Red Fire under water deficit stress

**Arezoo Khani[1], Taher Barzegar[1]*, Zahra Ghahremani[1], Jaefar Nikbakht[2]**

**1 - Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran**
**2 - Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran**
**(Received: 19/03/2018, Accepted: 23/06/2018)**

**Abstract**

In order to investigate the effects of calcium lactate (CL) on growth, yield, water use efficiency (WUE) and quality of lettuce cv. New Red Fire under water deficit stress, a split plot experiment based on randomized complete block design with three replications was conducted at Research Farm of University of Zanjan, during 2017. Treatments consisted arrangement of three levels of CL (0, 0.75 and 1.5 $g.l^{-1}$) and three levels of irrigation (starting irrigation at 100, 85 and 70% ETc (crop evapotranspiration)). The results showed that water deficit stress significantly reduced plant growth and yield. The lowest value of yield (9644.2 $Kg.ha^{-1}$), total chlorophyll (0.51 mg g $FW^{-1}$), vitamin C (44.48 mg 100 $gFW^{-1}$) and titratable acidity (19.55 %), and the highest carotenoids (0.251 mg $gFW^{-1}$), anthocyanin contents (26.56 $\mu mol.g^{-1}$) and WUE (15.37 $kg.m^{-3}$) were obtained at deficit irrigation of 70% ETc. However, irrigation treatment had no significant effects on total soluble solid content. Application of CL significantly increased total chlorophyll, carotenoid, vitamin C, titratable acidity, anthocyanin contents, plant yield and WUE. The highest plant yield (13710.77 $Kg.ha^{-1}$), vitamin C (48.05 mg 100 $gFW^{-1}$) and total chlorophyll contents (0.64 mg $gFW^{-1}$) were obtained with application of CL 1.5 $g.l^{-1}$ under irrigation of 100% ETc. Also, the interaction effects of treatments had no significant effects on titratable acidity and TSS. According to the results, application of CL 1.5 $g.l^{-1}$ is recommended to improve yield, WUE and quality of lettuce under normal irrigation and water deficit stress.

**Key words:** Anthocyanin, Foliar application, Vitamin C, Water use efficiency, Yield.

Corresponding author, Email: tbarzegar@znu.ac.ir

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.9.9 ]