

تأثیر مدت زمان تابش نور و کلسیم بر رشد، عملکرد و کیفیت کاهو رقم New-Red Fire

حفیظ‌الله نیازی^۱، طاهر برزگر^۲، زهرا قهرمانی^{۳*} و لیلا ندیرخانلو^۱

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۲- دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۳- استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

* نویسنده مسئول: z.ghahremani@znu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۶ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۰۹

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر کلسیم و طول مدت تابش نور بر رشد و کیفیت کاهو رقم New-Red Fire، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه زنجان در سال ۱۳۹۸ انجام شد. فاکتور اصلی شامل طول مدت تابش نور در دو سطح طول مدت تابش طبیعی (به‌طور میانگین ۷۰۰۰ تا ۸۰۰۰ لوکس) و طول مدت تابش طبیعی به‌علاوه چهار ساعت نور مکمل (۶۰۰ لوکس) و فاکتور فرعی محلول‌پاشی برگی کلسیم شامل سه سطح لاکتات کلسیم (۰/۵، یک و ۱/۵ گرم در لیتر) و سه سطح کلرید کلسیم (سه، شش و نه گرم در لیتر) به همراه شاهد (آب مقطر) بودند. نتایج نشان داد که افزایش مدت تابش نور تعداد برگ، وزن تر بوته و محتوای کلروفیل، فنول و فلاونوئید، ویتامین ث و آنتوسیانین را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. کاربرد شش و نه گرم در لیتر کلرید کلسیم و ۱/۵ گرم در لیتر لاکتات کلسیم، وزن تر بوته (۱۰/۳، ۱۰/۵ و ۱۱/۶ گرم) و غلظت کلسیم برگ‌های داخلی (۱۲/۸، ۱۲/۹ و ۱۲/۲ درصد) کاهو را افزایش داد و از ظهور عارضه نوک سوختگی برگ جلوگیری کرد. بیشترین تعداد برگ‌های سوخته (۳ برگ) در گیاهان شاهد تحت تیمار نور مکمل مشاهده شد. همچنین حداکثر مقدار وزن تر بوته، محتوای آنتوسیانین، فنول، فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی با کاربرد ۱/۵ گرم در لیتر لاکتات کلسیم، شش و نه گرم در لیتر کلرید کلسیم به همراه افزایش نور به‌دست آمد. با توجه به نتایج محلول‌پاشی برگی ۱/۵ گرم در لیتر لاکتات کلسیم، شش و نه گرم در لیتر کلرید کلسیم به همراه افزایش مدت تابش نور جهت بهبود رشد و کیفیت کاهو پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: آنتوسیانین، کلروفیل، کلسیم، نوک سوختگی برگ، ویتامین ث.

مقدمه

از مهمترین سبزی‌های برگی است که حاوی ویتامین‌ها، مواد ضروری و فیبر فراوان است و عمدتاً برای مصارف تازه‌خوری و سالادی استفاده می‌شود؛ اگرچه برخی از گونه‌های آن به‌صورت پخته هم قابل استفاده می‌باشند (Lorach et al., 2008). کشور ایران با تولید ۵۲۸ هزار تن کاهو و کاسنی

سبزی‌ها با داشتن غلظت بالایی از مواد معدنی، ویتامین‌ها و مواد فیتوشیمیایی مفید مانند قندهای محلول، پروتئین‌های محلول و آنتی‌اکسیدان‌ها برای سلامتی انسان بسیار با اهمیت می‌باشند (Chang et al., 2013). کاهو (*Lactuca sativa* L.) یکی

کلسیم و کلرید کلسیم اشاره کرد، کلرید کلسیم (CaCl_2)، یک ترکیب شیمیایی متشکل از کلسیم و کلر است، این ماده در آب بسیار محلول است (Vrana et al., 2014). لاکتات کلسیم ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{CaO}_6$) پودر سفید و قابل حل در آب می‌باشد که در قبل و پس از برداشت میوه و سبزی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (Yang et al., 2018; Barzegar et al., 2017). کلسیم به همراه پکتین به شکل پکتات کلسیم به حفظ ساختار سلولی سبزی‌ها و استحکام دیواره سلولی و تیغه میانی کمک می‌کند و در بسیاری از فرآیندهای داخلی و خارجی سلول از جمله تغییر رنگ، سفتی، قندهای محلول، کاهش اسیدیته و تولید اتیلن مؤثر است (Kou et al., 2015). مطالعات بسیاری نشان داده است که کلسیم یک مولکول سیگنالی اصلی است که در پاسخ دفاعی گیاهان در مقابل تنش‌های محیطی و رشد گیاهان نقش دارد (Tan et al., 2018). کاربرد قبل و پس از برداشت کلسیم موجب افزایش عملکرد و حفظ استحکام و کیفیت سبزی‌ها و میوه‌ها شده است (Kou et al., 2015; Holb et al., 2012). بین نمک‌های کلسیم، لاکتات کلسیم این مزیت را دارد که باعث تلخی و بوی نامطبوع در میوه و سبزی‌ها نمی‌شود (Barzegar et al., 2018). لاکتات کلسیم به‌طور گسترده برای افزایش رشد و حفظ کیفیت میوه‌ها و سبزی‌ها استفاده شده است. در پژوهشی تیمار قبل و پس از برداشت کلسیم موجب افزایش عملکرد، سفتی بافت، حفظ کیفیت و کاهش رشد باکتری‌ها در کلم بروکلی (*Brassica oleracea* L.) شد (Kou et al., 2015).

با توجه به بررسی‌های انجام شده، اثر متقابل کلسیم و طول مدت تابش نور بر رشد، عملکرد و کیفیت کاهو در گلخانه‌های ایران مطالعه نشده و اطلاعات کمی در این رابطه وجود دارد؛ بنابراین این

(*Cichorium intybus* L.) رتبه هفتم جهان را دارد و اولین تولیدکننده بزرگ کاهو در منطقه است (FAO-STAT, 2018).

نور یکی از فاکتورهای مهم محیطی است که شدت و مدت تابش آن اثر زیادی بر رشد، عملکرد و کیفیت کاهو دارد (Li & Kubota, 2009) و با کنترل آن در گلخانه می‌توان محصول با کیفیت برای تمام طول سال تولید کرد (Kozai et al., 2016). منابع نور مصنوعی نقش مهمی در کشت‌های گلخانه‌ای ایفا می‌کنند که برای افزایش رشد سبزی‌ها و میوه‌ها به‌طور موفقیت‌آمیزی در گلخانه استفاده شده است (Bian et al., 2015). در پژوهشی افزایش نور در گلخانه موجب افزایش عملکرد، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و مواد جامد محلول کل در گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* Mill.) شد (Fan et al., 2013). در مطالعه دیگر افزایش نور مصنوعی در گلخانه محتوای کاروتنوئید، کلروفیل و مواد آنتی‌اکسیدانی گیاه نخودفرنگی (*Pisum sativum* L.) را به‌طور قابل‌توجهی افزایش داد (Wu et al., 2007). کاربرد مداوم نور آبی و قرمز به مدت ۴۸ ساعت موجب افزایش اسید آسکوربیک، مواد جامد محلول کل و همچنین کاهش تجمع نیترات در برگ‌های کاهو شد (Wanlai et al., 2013). با این حال افزایش رشد گیاهان تحت شرایط نور مصنوعی باعث کاهش کلسیم در برگ‌های گیاهانی مانند کاهو شده است (Sago, 2016).

کلسیم یکی از عناصر ضروری برای رشد گیاهان است که کمبود آن در گیاه کاهو سبب آسیب‌های فیزیولوژیک شده و بازارپسندی آن را به شدت کاهش می‌دهد (Borghesi et al., 2013). کلسیم برای رشد و توسعه گیاه و تنظیم فرآیندهای سلولی، عنصری ضروری است (Barzegar et al., 2018). از نمک‌های مهم کلسیم می‌توان به لاکتات

مطالعه با هدف ارزیابی تأثیر سطوح مختلف لاکتات کلسیم و کلرید کلسیم و طول مدت تابش نور بر رشد، کیفیت و خاصیت آنتی‌اکسیدانی کاهو انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی تأثیر کلسیم و طول مدت تابش بر رشد، عملکرد و شاخص‌های کیفی کاهو، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه‌ی تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان در سال ۱۳۹۸ انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل تیمار نور در دو سطح طول مدت تابش طبیعی به‌طور میانگین (۷۰۰۰ تا ۸۰۰۰ لوکس) و طول مدت تابش طبیعی به‌علاوه چهار ساعت نور مکمل (۶۰۰ لوکس) با لامپ‌های ال‌ای‌دی با نور قرمز و آبی به‌عنوان فاکتور اصلی و تیمار کلسیم شامل سه سطح لاکتات کلسیم (۰/۵، یک و ۱/۵ گرم در لیتر) و سه سطح کلرید کلسیم (سه، شش و نه گرم در لیتر) به همراه شاهد (آب مقطر) به‌عنوان فاکتور فرعی بودند.

هر واحد آزمایشی شامل شش گلدان بود. بذرهای کاهو New-Red Fire از شرکت TAKII SEED تهیه و در داخل سینی‌های کشت بذر (۷۲ حفره‌ای) در بستر حاوی پیت ماس در گلخانه (دمای 20 ± 1 درجه سانتی‌گراد روز و 16 ± 1 درجه سانتی‌گراد شب با رطوبت نسبی ۶۰-۷۰ درصد) اوایل آبان ماه کشت شدند و در مرحله چهار برگی (۱۵ روز بعد از کشت) به کیسه‌های پلاستیکی که هر کدام از کیسه‌ها دارای پنج کیلوگرم خاک (۴۰ درصد خاک باغچه و ۴۰ درصد ماسه و ۱۰ درصد کود دامی) بودند، منتقل شدند. ۱۵ روز پس از انتقال نشاء، تیمارهای کلسیم شروع شد. تعداد دفعات محلول‌پاشی با سطوح مختلف کلسیم سه بار در طول دوره پرورش به فاصله هر هفت روز یک بار

انجام شد، محلول‌پاشی به اندازه‌ای انجام شد که برگ‌ها کاملاً خیس شدند. در پایان دوره رشد (۶۲ روز) از هر واحد آزمایشی سه بوته نمونه‌برداری و برای اندازه‌گیری صفات مورد نظر به آزمایشگاه منتقل شد.

صفات مورد ارزیابی

پس از برداشت محصول، تعداد برگ در بوته شمارش شد و وزن تر هر گیاه توسط ترازوی دیجیتال مدل CANDGL300 بر حسب گرم اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری مواد جامد محلول کل از رفراکتومتر دیجیتالی استفاده شد. برای سنجش محتوای کلروفیل کل، ۰/۱ گرم از بافت سبز برگ‌های جوان توسعه‌یافته در ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد ساییده شد تا به‌صورت یک محلول یکنواخت درآید. سپس با دور ۵۰۰۰ به‌مدت پنج دقیقه سانتریفیوژ شدند. میزان جذب با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (SAFAS MONACO) در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر خوانده شد و مقدار کلروفیل کل برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (Gorgini Shabankareh & Fakheri, 2016) که در این رابطه، A: میزان جذب در طول موج‌های مورد نظر، V: حجم نهایی عصاره بر حسب میلی‌لیتر و W: وزن نمونه بر حسب گرم می‌باشد.

رابطه (۱)

$$Chl = [20.2(A645) + 8.02(A663)] \times \frac{V}{(W \times 1000)}$$

به‌منظور اندازه‌گیری آنتوسیانین ۰/۱ گرم وزن تر برگ در ۱۰ میلی‌لیتر محلول متانول اسیدی شامل الکل متیل و اسید کلریدریک به نسبت ۹۹ به ۱ خوب ساییده شد و عصاره حاصل سانتریفیوژ شده و محلول رویی به‌مدت یک شب در تاریکی قرار داده شد. سپس میزان جذب محلول رویی در

غلظت دو گرم در ۱۰ میلی‌لیتر متانول ۸۰ درصد نیز تهیه شد. سپس ۵۰ میکرولیتر از عصاره به ۱۵۰ میکرولیتر DPPH اضافه شد. جذب آن بعد از ۳۰ دقیقه در طول موج ۵۱۷ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر خوانده شد. برای مقایسه جذب نمونه‌ها از محلول DPPH استفاده گردید. فعالیت آنتی‌اکسیدان کل با استفاده از رابطه ۳ محاسبه گردید (Sun et al., 2007).

$$\text{RSA (\%)} = \frac{100(A_c - A_s)}{A_c} \quad \text{رابطه (۳)}$$

RSA: ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، AS: جذب نمونه حاوی عصاره و AC: جذب شاهد است.

مقدار کلسیم برگ‌های درونی و بیرونی کاهو به روش جذب اتمی به صورت درصد ماده خشک اندازه‌گیری شد (Kalra, 1997). بدین منظور ۰/۳ گرم از نمونه خشک و پودر شده برگ به بالن ژوژه ۵۰ میلی‌لیتری ریخته شد. مقدار شش گرم اسید سالیسیلیک به علاوه ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۹۶ درصد و ۱۸ میلی‌لیتر آب مقطر به نمونه اضافه گردید. محلول به مدت ۲۴ ساعت به حال خود رها گردید. بالن ژوژه را در ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده و پنج قطره آب اکسیژنه برای از بین بردن کربن اضافه گردید. در زمان برداشت در هر بوته تعداد برگ‌های با علائم سوختگی ناشی از کمبود کلسیم شمارش شد.

آنالیز داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار SAS Var 9.1 و مقایسه میانگین داده‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و رسم نمودارها با Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

میانگین تعداد برگ در بوته

کاربرد ترکیبات کلسیم در همه سطوح نور باعث افزایش معنی‌دار تعداد برگ در مقایسه با گیاهان شاهد

طول موج ۵۵۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (SAFAS MONACO RS 232) خوانده شد و مقدار آنتوسیانین بر حسب میکرومول بر گرم وزن تر با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد. در این رابطه A: جذب نمونه، E: ضریب خاموشی معادل ۳۳۰۰۰ مول بر سانتی‌متر، b: عرض کووت و c: مقدار آنتوسیانین مورد نظر است (Wagner, 1979).

$$A = \epsilon \times b \times c \quad \text{رابطه (۲)}$$

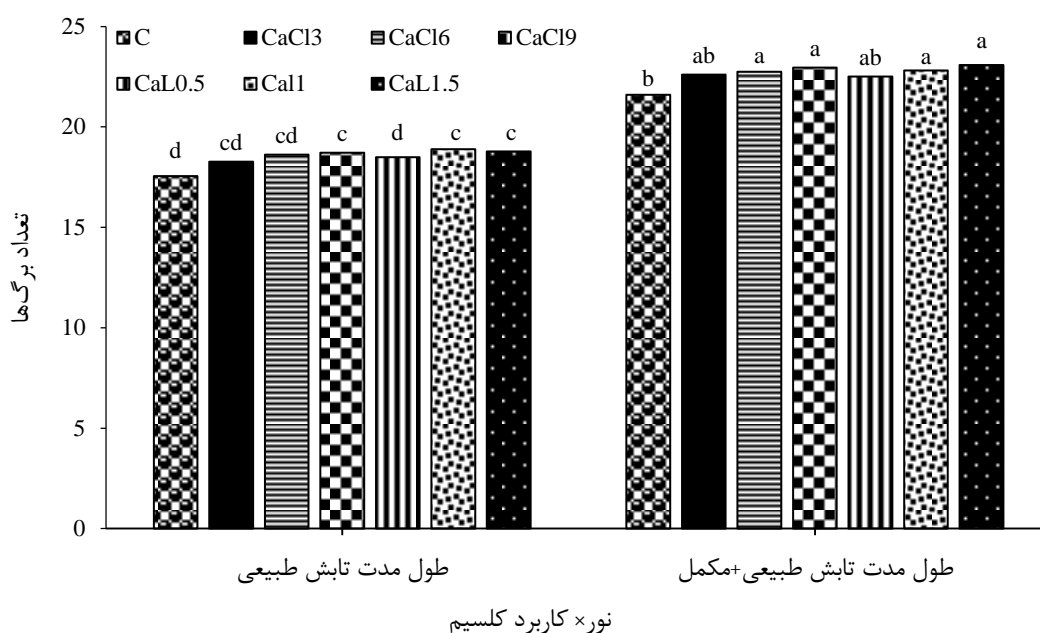
برای اندازه‌گیری ویتامین ث دو گرم از بافت تازه با شش میلی‌لیتر از محلول متافسفریک یک درصد به‌خوبی ساییده شد و با دور ۶۰۰۰ به مدت ۱۵ دقیقه در دمای چهار درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. سپس محلول رویی جمع‌آوری گردید. ۵۰ میلی‌گرم از پودر دی‌کلروآیندوفنول در ۲۰۰ میلی‌لیتر آب گرم حل شد و به آن ۴۲ میلی‌گرم بی‌کربنات سدیم اضافه شد. سپس دو میلی‌لیتر از محلول رنگی به ۱۰۰ میکرولیتر عصاره استخراج شده اضافه شد. جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۲۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر مدل (SAFAS MONACO RS 232) اندازه‌گیری شد. غلظت آسکوربیک اسید نمونه‌ها با استفاده از منحنی استاندارد تهیه شده از غلظت‌های مختلف اسید آسکوربیک در حضور دی‌کلروآیندوفنول محاسبه شد (AOAC, 2000).

محتوای فلاونوئید کل با روش رنگ‌سنجی ارزیابی شد (Chang et al., 2002) و محتوای فنول کل با استفاده از معرف فولین سیوکالتو (Ciocalteaus-Folin) اندازه‌گیری گردید (Singleton & Rossi, 1965).

به‌منظور اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی ابتدا محلول یک‌دهم میلی‌مولار از DPPH تهیه شد. به این ترتیب که ۳/۹۵ میلی‌گرم از DPPH در ۱۰۰ میلی‌لیتر متانول حل شد. عصاره‌های گیاهی در

لاکتات کلسیم در شرایط نور طبیعی همراه با چهار ساعت نور تکمیلی حاصل شد؛ که با سایر تیمارهای کلسیم اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین تعداد برگ در بوته (۱۷ برگ) در گیاهان شاهد تحت شرایط نور طبیعی مشاهده شد (شکل ۱).

شد و بین سطوح کلسیم تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. کاربرد نور تکمیلی در همه سطوح کلسیم و شاهد در مقایسه با نور طبیعی به‌طور معنی‌داری تعداد برگ در بوته را افزایش داد. بیشترین تعداد برگ در بوته (۲۳ برگ) در تیمار ۱/۵ گرم در لیتر



شکل ۱- تأثیر طول مدت تابش نور و کاربرد برگی کلسیم بر تعداد برگ بوته‌ی کاهو رقم New-Red Fire
 شاهد؛ CaCl 3: ۳ گرم در لیتر کلرید کلسیم؛ CaCl 6: ۶ گرم در لیتر کلرید کلسیم، CaCl 9: ۹ گرم در لیتر کلرید کلسیم؛ CaL 0.5: ۰/۵ گرم در لیتر لاکتات کلسیم؛ CaL 1: ۱ گرم در لیتر لاکتات کلسیم؛ CaL 1.5: ۱/۵ گرم در لیتر لاکتات کلسیم.

افزایش نور بیشتر شد (Nishiyama & Kanahama, 2009). در بسیاری از مطالعات، نور با افزایش میزان کلروفیل گیاه در افزایش سطح و تعداد برگ مؤثر بوده است (Heo *et al.*, 2012; Johkan *et al.*, 2010)؛ که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد و با افزایش مدت تابش نور محتوای کلروفیل برگ به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت (شکل ۴).

کلسیم یکی از عناصر غذایی پرمصرف است که در خاک و گیاه غیرمتحرک و جذب آن توسط ریشه و انتقال آن در آوند چوبی تحت تأثیر جریان تعرقی گیاه است (White & Broadley, 2003). کلسیم نقش مهمی در بسیاری از

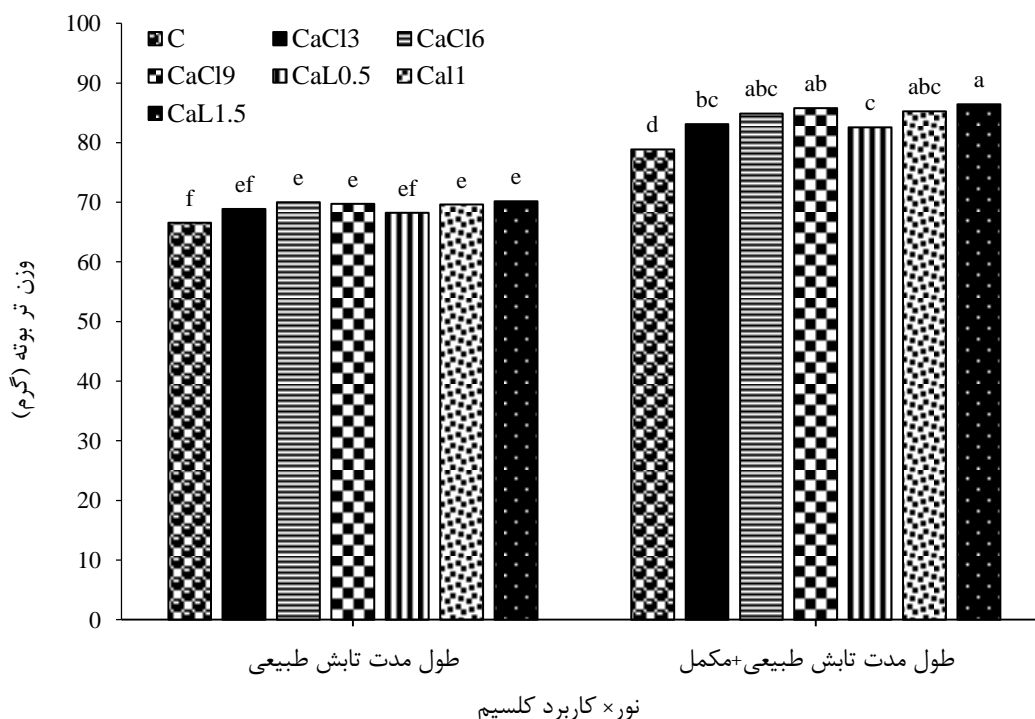
نور با فعالیت دستگاه فتوسنتزی و انتقال آسیمیلات‌ها ارتباط دارد. کربوهیدرات‌ها ممکن است در همه اندام‌های گیاه ذخیره شوند. برای دستیابی به عملکرد بیشتر، تخصیص کربوهیدرات‌های بیشتر مهم است. مشخص شده است که محتوای کربوهیدرات تحت نور افزایش می‌یابد (Baroli *et al.*, 2008). افزایش سطح برگ و تعداد آن به‌طور معنی‌داری با سرعت رشد گیاه ارتباط دارد. گیاه با تعداد برگ بیشتر، میزان کربن بیشتری را مورد استفاده قرار داده و رشد سریع‌تر اتفاق می‌افتد (Samuoliene *et al.*, 2010). گزارش شد که تعداد برگ در گیاه توت‌فرنگی (*Fragaria iturupensis* L.) با

پژوهش با گزارش‌های Shiri و همکاران (۲۰۱۶) و Heo و همکاران (۲۰۱۲) که گزارش کردند که نور و کلسیم موجب افزایش تعداد برگ و عملکرد می‌شود، مطابقت دارد.

وزن تر بوته

با توجه به نتایج، کاربرد نور تکمیلی وزن تر بوته را به‌طور معنی‌داری افزایش داد و تیمار کلسیم تأثیر معنی‌داری در مقایسه با شاهد بر وزن تر بوته داشت (شکل ۲). بیشترین میزان وزن تر با کاربرد یک و ۱/۵ گرم در لیتر لاکتات کلسیم و ۱/۵، سه و شش گرم در لیتر کلرید کلسیم به همراه افزایش نور مشاهده شد. کمترین میزان وزن تر در گیاهان شاهد تحت شرایط نور طبیعی حاصل شد (شکل ۲).

فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مؤثر بر رشد و نمو از جمله تقسیم و طویل‌شدگی سلول دارد که می‌تواند به‌طور غیرمستقیم تعداد برگ را افزایش دهد (Hepler, 2005). کلسیم در غلظت‌های کم، به سمت مریستم‌های در حال تقسیم سلولی حرکت کرده و نیاز گیاه برای تقسیم سلولی و تولید برگ را برطرف کرده و در غلظت‌های بیشتر می‌تواند موجب گسترش سطح برگ شود. گزارش متفاوتی از تأثیر کلسیم در تعداد برگ مشاهده شده است. در گزارشی غلظت ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌گرم بر لیتر کلسیم تأثیری بر تعداد برگ‌های کاهو نداشت (Frezza *et al.*, 2005). در این مطالعه تأثیر همزمان کلسیم و نور در افزایش تعداد برگ مؤثر بوده است. نتایج این



شکل ۲- تأثیر طول مدت تابش نور و کاربرد برگی کلسیم بر میانگین وزن تر برگ کاهو رقم New-Red Fire
 C: شاهد؛ CaCl 3: ۳ گرم در لیتر کلرید کلسیم؛ CaCl 6: ۶ گرم در لیتر کلرید کلسیم، CaCl 9: ۹ گرم در لیتر کلرید کلسیم؛ CaL 0.5: ۰.۵ گرم در لیتر لاکتات کلسیم؛ CaL 1: ۱ گرم در لیتر لاکتات کلسیم؛ CaL 1.5: ۱.۵ گرم در لیتر لاکتات کلسیم.

و حداکثر پتانسیل عملکرد به توسعه اولیه سطح برگ برای جذب نور مطلوب و فتوسنتز بستگی

کاهو از سبزی‌های برگی است که عملکرد آن با تعداد برگ و سطح برگ تولید شده همبستگی دارد

Kaya و همکاران (۲۰۰۲) و Shiri و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت دارد.

مواد جامد محلول کل

نتایج نشان داد که با افزایش غلظت کلسیم، مقدار مواد جامد محلول کاهش یافت. بیشترین میزان مواد جامد محلول در تیمار شاهد (۳/۵ درصد بریکس) و کمترین میزان مواد جامد محلول (۲ درصد بریکس) نیز در تیمار ۱/۵ گرم در لیتر لاکتات کلسیم مشاهده شد. تیمار نور تأثیری بر مقدار مواد جامد محلول کاهو نداشت (شکل ۳).

طبق بررسی‌های انجام شده اثر کلسیم بر مواد جامد محلول متغیر است، به طوری که گزارش کرده‌اند کلرید کلسیم تأثیر معنی‌داری بر افزایش مواد جامد محلول میوه ازگیل ژاپنی (*Mespilus germanica L.*) داشته است (Akhtar *et al.*, 2010). تیمار کلسیم در گوجه‌فرنگی موجب کاهش مقدار مواد جامد محلول کل شد (Rab & Haq, 2012). گزارش شده است محلول‌پاشی درختان هلو (*Prunus Persica L.*) با کلرید کلسیم منجر به افزایش معنی‌دار مقدار مواد جامد محلول و شیرینی میوه شد (Mahajan & Sharma, 2000). Khani و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که کاربرد لاکتات کلسیم باعث افزایش مواد جامد محلول کاهو گردید. کلسیم باعث کاهش سرعت تنفسی میوه و جلوگیری از فرآیند تجزیه و شکستن کربوهیدرات‌ها شده و این حالت باعث حفظ مواد جامد محلول میوه‌ها و سبزی‌ها می‌شود.

کلروفیل کل

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، افزایش مدت زمان تابش نور به‌طور قابل‌توجهی محتوای کلروفیل برگ را افزایش داد (شکل ۴). همچنین کاربرد کلسیم افزایش معنی‌داری بر محتوای کلروفیل برگ داشت و بیشترین مقدار کلروفیل در برگ گیاهان

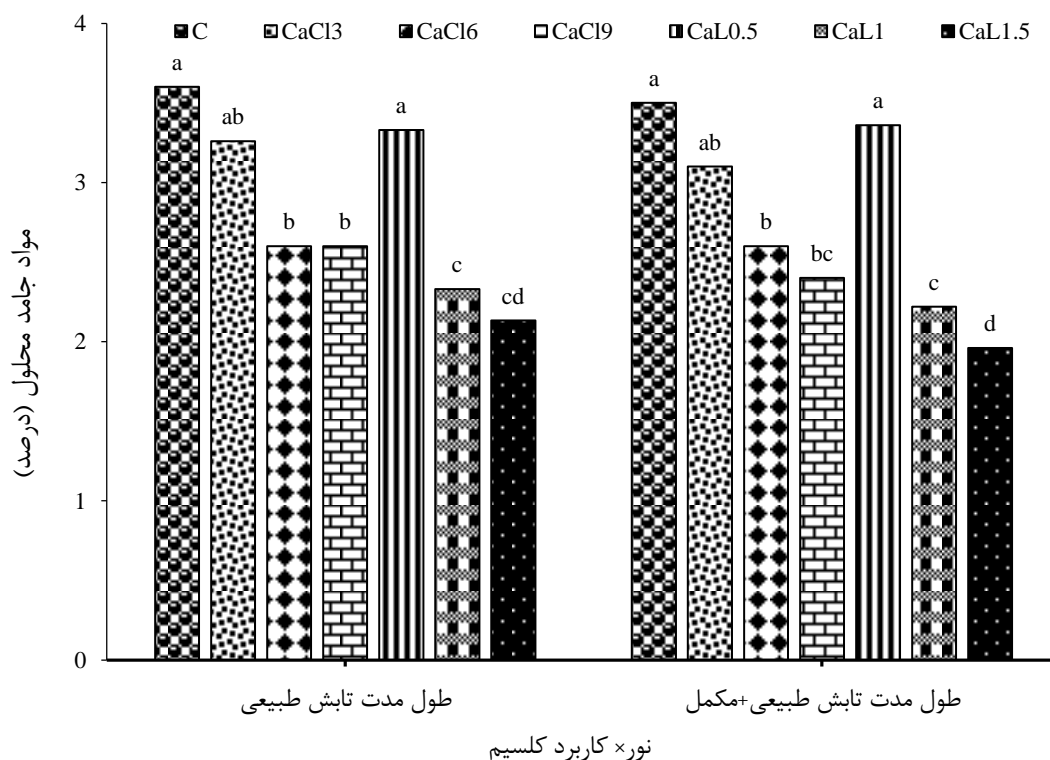
دارد. نور یکی از مهمترین عوامل فتوسنتز در گیاهان است و کاهش شدت و مدت تابش نور در فصل پاییز و زمستان از عوامل اصلی کاهش عملکرد است که با استفاده از لامپ‌های مصنوعی در گلخانه‌ها تأمین می‌شود. شدت و مدت تابش نور اثرات مهمی در عملکرد، کیفیت و سرعت رشد محصولات گلخانه‌ای دارد (Li *et al.*, 2012). سایر مطالعات نشان دادند که افزایش طول روز منجر به افزایش وزن تر و خشک کاهو شد (Kang *et al.*, 2013). طول مدت تابش نور میزان فتوسنتز، تعرق و جذب دی‌اکسید کربن را کنترل می‌کند و همان‌طور که نتایج نشان داد کاربرد نور تکمیلی با افزایش محتوای کلروفیل (شکل ۴) و در نتیجه تعداد برگ (شکل ۲) منجر به افزایش وزن تر بوته گردید که با نتایج Ali و همکاران (۲۰۰۹) در سبزی‌های برگ رنگی مطابقت دارد. در نتایجی مشابه، افزایش طول و سطح برگ و عملکرد توت‌فرنگی رقم توبونوکا را در تیمار نور گزارش کردند (Roussos *et al.*, 2009).

کلسیم نیز نقش مهمی در فتوسنتز، انتقال هیدروکربن‌ها و فرآیند جذب نیتروژن در گیاهان دارد. کمبود کلسیم باعث کاهش کارایی کربوکسیلاسیون و فتوسنتز می‌شود که منجر به کاهش قابل‌توجهی در تولید زیست‌توده گیاهان می‌شود. کلسیم با افزایش غلظت کلروفیل و سطح برگ و تعداد برگ، به جذب حداکثر نور و بالا رفتن فتوسنتز کمک می‌کند (Taiz & Ezeiger, 2008). محلول‌پاشی برگی کلسیم یکی از روش‌های مؤثر برای برطرف کردن کمبود و اصلاح عوارض ناشی از آن است (Roger, 2006). محلول‌پاشی برگی لاکتات کلسیم در گیاه کاهو در کشت مزرعه‌ای تحت شرایط آبیاری نرمال و کم‌آبی وزن تر بوته و عملکرد کل را افزایش داد (Khani *et al.*, 2019). نتایج این آزمایش با گزارش‌های

با آن سبب کاهش آسیب‌های سلولی به‌وجود آمده به‌وسیله گونه‌های فعال اکسیژن تحت شرایط تنش‌های مختلف می‌شود (White, 2000). کلسیم به‌دلیل جلوگیری از آسیب سلول‌های هیدراته شده با ایجاد تعادل اسمزی در سیتوپلاسم موجب افزایش میزان کلروفیل می‌شود. با افزایش غلظت کلسیم در برگ‌ها از طریق محلول‌پاشی، محتوای کلروفیل برگ کاهو افزایش یافت (Khani *et al.*, 2019)؛ که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد. کمبود کلسیم سبب زرد شدن و پیری برگ‌ها می‌شود که ناشی از کاهش بیوسنتز کلروفیل در گیاهان است (Bian *et al.*, 2015). کاهش مقدار کلسیم در محلول غذایی در گیاه خیار (*Cucumis sativus* L.) منجر به کاهش محتوای کلروفیل و توکروفول گردید (He *et al.*, 2018).

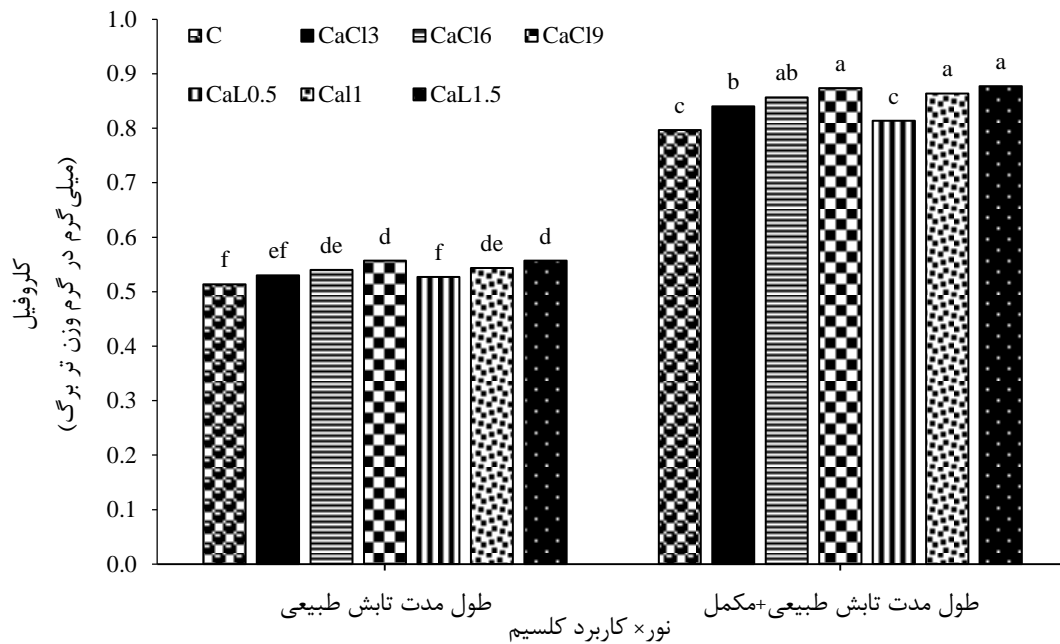
تیمار شده با سطوح بالای لاکتات کلسیم و کلرید کلسیم در شرایط اعمال چهار ساعت نور مکمل به‌دست آمد (شکل ۴).

نتایج تحقیقات نشان داده است که تغییر میزان نور از طریق تغییر در آرایش کلروپلاست درون سلول‌های گیاهی مقادیر کلروفیل برگ را تحت تأثیر قرار می‌دهد، به‌طوری‌که علاوه بر این‌که در شرایط شدت نور کم میزان کلروفیل کاهش می‌یابد، کلروپلاست‌ها هم عمود بر زاویه تابش و موازی دیواره سلولی قرار می‌گیرند که این نیز باعث تغییر در مقادیر کلروفیل می‌شود (Todd *et al.*, 2005). کلسیم به‌عنوان یک عنصر غذایی مهم در رشد و توسعه گیاه و سنتز کلروفیل نقش دارد (White, 2000). عنصر کلسیم از طریق حفاظت کلروپلاست و واکنش‌های فیتوشیمیایی مرتبط



شکل ۳- تأثیر طول مدت تابش نور و کاربرد برگی کلسیم بر مقدار مواد جامد محلول برگ کاهو رقم New-Red Fire

C: شاهد؛ CaCl 3: ۳ گرم در لیتر کلرید کلسیم؛ CaCl 6: ۶ گرم در لیتر کلرید کلسیم؛ CaCl 9: ۹ گرم در لیتر کلرید کلسیم؛ CaL 0.5: ۰/۵ گرم در لیتر لاکتات کلسیم؛ CaL 1: ۱ گرم در لیتر لاکتات کلسیم؛ CaL 1.5: ۱/۵ گرم در لیتر لاکتات کلسیم.



شکل ۴- تأثیر طول مدت تابش نور و کاربرد برگی کلسیم بر میزان کلروفیل برگ کاهو رقم New-Red Fire. C: شاهد؛ CaCl 3: ۳ گرم در لیتر کلرید کلسیم؛ CaCl 6: ۶ گرم در لیتر کلرید کلسیم، CaCl 9: ۹ گرم در لیتر کلرید کلسیم؛ CaL 0.5: ۰.۵ گرم در لیتر لاکتات کلسیم؛ CaL 1: ۱ گرم در لیتر لاکتات کلسیم؛ CaL 1.5: ۱.۵ گرم در لیتر لاکتات کلسیم.

بازی می‌کنند (Merzlyak Chivkunova, 2000).

نشان داده شده است که نور مهمترین فاکتور محیطی مؤثر در بیوسنتز آنتوسیانین است. آنتوسیانین‌ها ترکیبات گلوکوزیدی هستند که از ترکیب قند و ترکیبات حلقوی آنتوسیانیدین ساخته شده‌اند؛ بنابراین تشکیل آنتوسیانین در گیاهان با تجمع قندها در بافت‌های گیاهی همراه است و هر عامل محیطی مانند شدت و مدت تابش زیاد نور که مناسب افزایش محتویات قند در بافت گیاهی است ساخته شدن آنتوسیانین را بهبود می‌بخشد (Zhou & Singh, 2004).

کلسیم 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 می‌کند، کاهش می‌دهد و منجر به افزایش آنتی‌اکسیدان‌هایی مانند آنتوسیانین می‌شود (Noctor, 2006). نور موجب افزایش آنتوسیانین

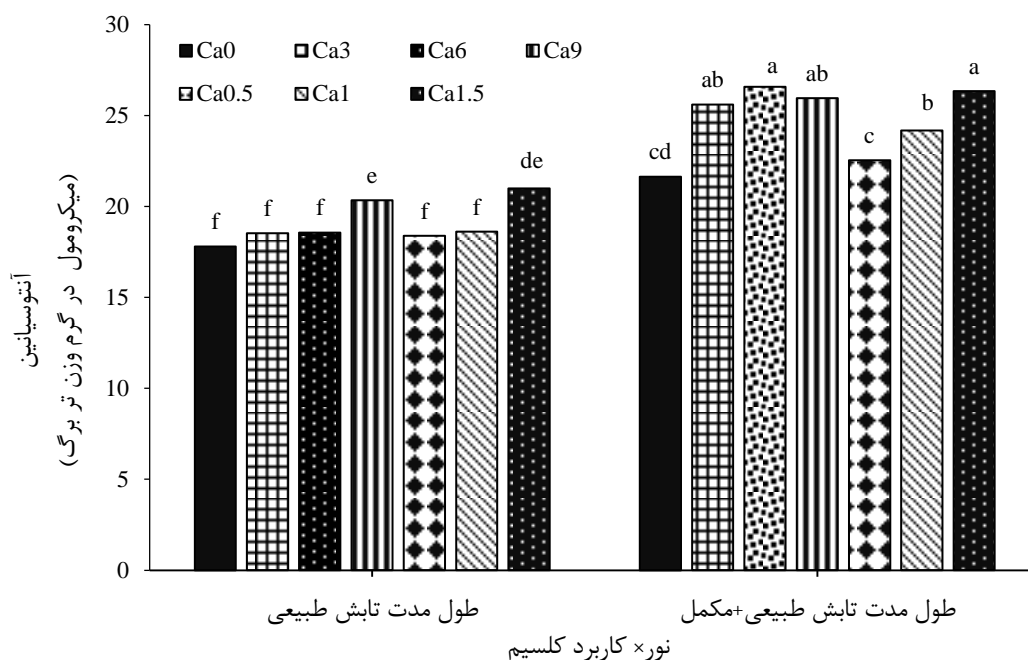
آنتوسیانین

کاربرد نور تکمیلی و افزایش مدت زمان تابش نور، محتوای آنتوسیانین برگ را به‌طور معنی‌داری در همه تیمارهای کلسیم افزایش داد و بیشترین غلظت آنتوسیانین در تیمارهای شش گرم در لیتر کلرید کلسیم (۲۶/۵۷ میکرو لیتر بر گرم وزن تر) و ۱/۵ گرم در لیتر لاکتات کلسیم (۲۶/۳۴ میکرو لیتر بر گرم وزن تر) تحت شرایط نور تکمیلی حاصل شد. در شرایط نور طبیعی سطوح ۱/۵ گرم در لیتر لاکتات کلسیم و نه گرم در لیتر کلرید کلسیم تأثیر مثبت در افزایش میزان آنتوسیانین داشتند ولی در شرایط نور تکمیلی کاربرد یک و ۱/۵ گرم در لیتر لاکتات کلسیم و سه، شش و نه گرم در لیتر کلرید کلسیم به‌طور معنی‌داری محتوای آنتوسیانین برگ را افزایش دادند (شکل ۵).

رنگدانه‌های آنتوسیانین به‌عنوان یکی از متابولیت‌های ثانویه و سیستم‌های آنتی‌اکسیدان، نقش‌های مهم اکوفیزیولوژیک زیادی را در گیاهان

کاربرد کلسیم در کاهوی رنگی، محتوای آنتوسیانین را افزایش داد (Khani *et al.*, 2020).

در برگ‌های کاهو و اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) شده است (Ohashi *et al.*, 2007). همچنین



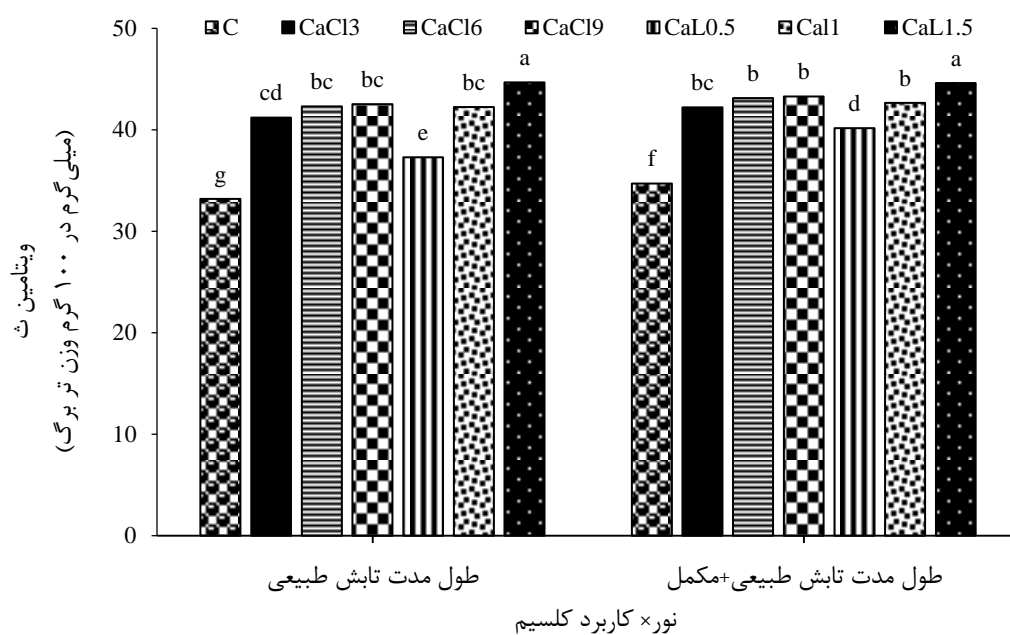
شکل ۵- تأثیر طول مدت تابش نور و کاربرد برگی کلسیم بر میزان آنتوسیانین برگ کاهو رقم New-Red Fire

C: شاهد؛ CaCl 3: ۳ گرم در لیتر کلرید کلسیم؛ CaCl 6: ۶ گرم در لیتر کلرید کلسیم، CaCl 9: ۹ گرم در لیتر کلرید کلسیم؛ CaL 0.5: ۰/۵ گرم در لیتر لاکتات کلسیم؛ CaL 1: ۱ گرم در لیتر لاکتات کلسیم؛ CaL 1.5: ۱/۵ گرم در لیتر لاکتات کلسیم.

به‌دلیل اکسیداسیون، خیلی حساس به تجزیه می‌باشند. این ویتامین در طول مدت رسیدگی میوه و سبزی بر اثر فعالیت آنزیم‌های پلی‌فنول اکسیداز و آسکوربیک اکسیداز تجزیه شده و مقدار آن کاهش می‌یابد (Kazemi *et al.*, 2011). تیمار کلسیم موجب حفظ مواد آنتی‌اکسیدانی مانند ویتامین ث، فنول و فلاونوئید کل می‌شود. تیمار کلسیم با کاهش تولید و تخریب رادیکال‌های آزاد باعث حفظ مواد آنتی‌اکسیدانی مانند ویتامین ث در ازگیل ژاپنی نسبت به شاهد شده است (Akhtar *et al.*, 2010). گزارش شده است که افزایش نور در طی فصل رشد با تأخیر فعالیت آسکوربات پراکسیداز باعث افزایش ویتامین ث در بافت‌های گیاهی می‌شود (Toora *et al.*, 2006).

ویتامین ث

کاربرد کلسیم به‌طور معنی‌داری مقدار ویتامین ث را در برگ‌های کاهو در مقایسه با عدم کاربرد کلسیم افزایش داد (شکل ۶). حداکثر غلظت ویتامین ث با کاربرد ۱/۵ گرم در لیتر لاکتات کلسیم در هر دو تیمار نور به‌دست آمد که با سطوح یک گرم در لیتر لاکتات کلسیم، شش و نه گرم در لیتر کلرید کلسیم تفاوت معنی‌داری نشان نداد. در گیاهان شاهد (بدون تیمار کلسیم)، کاربرد نور تکمیلی به‌طور معنی‌داری مقدار ویتامین ث را افزایش داد ولی در گیاهان تیمار شده با کلسیم نور تأثیر معنی‌داری نشان نداد (شکل ۶). ویتامین ث جزء مواد آنتی‌اکسیدانی غیرآنزیمی در گیاه است که نسبت به دیگر مواد آنتی‌اکسیدانی



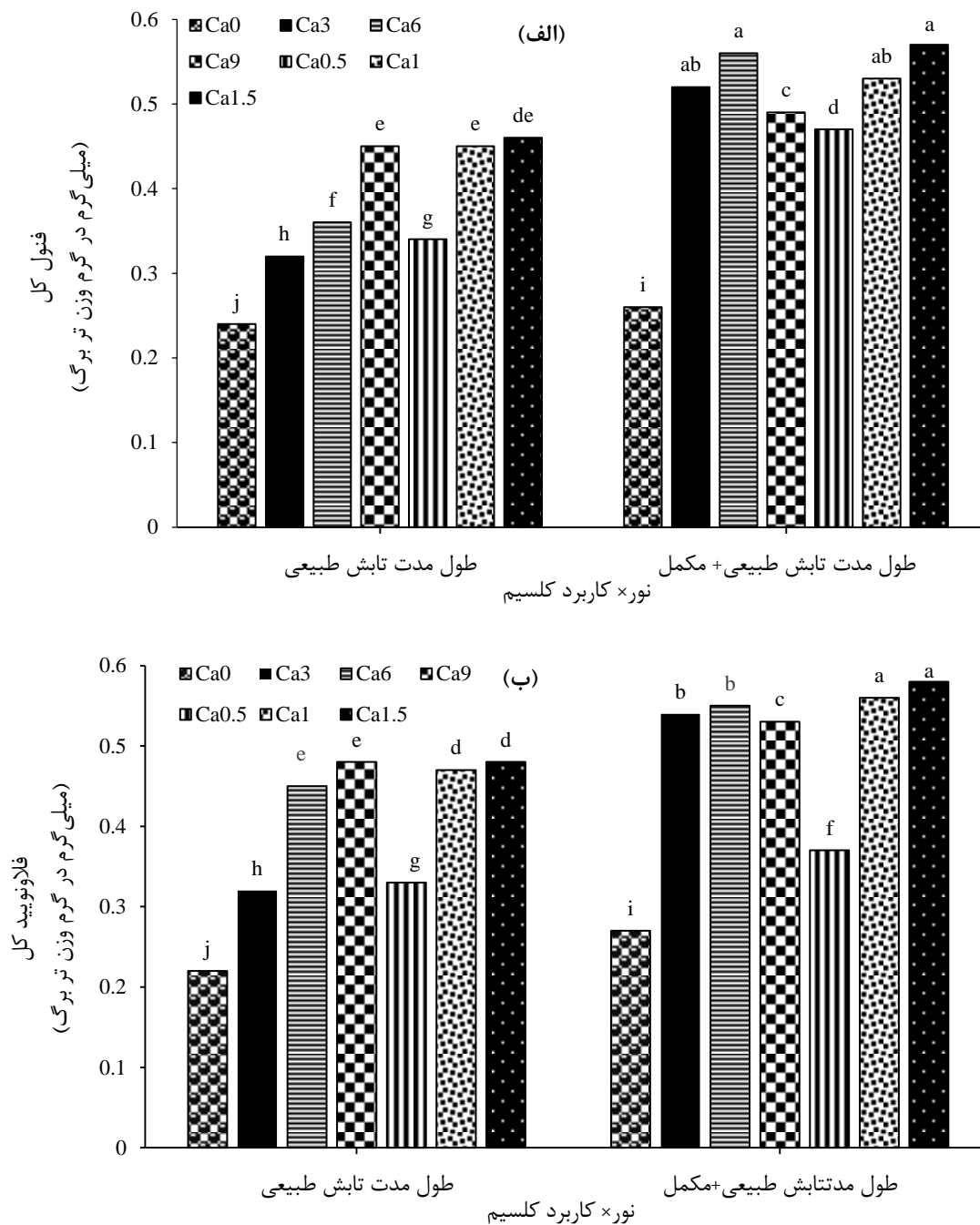
شکل ۶- تأثیر طول مدت تابش نور و کاربرد برگی کلسیم بر مقدار ویتامین ث برگ کاهو رقم New-Red Fire

C: شاهد؛ CaCl 3: ۳ گرم در لیتر کلرید کلسیم؛ CaCl 6: ۶ گرم در لیتر کلرید کلسیم، CaCl 9: ۹ گرم در لیتر کلرید کلسیم؛ CaL 0.5: ۰/۵ گرم در لیتر لاکتات کلسیم؛ CaL 1: ۱ گرم در لیتر لاکتات کلسیم؛ CaL 1.5: ۱/۵ گرم در لیتر لاکتات کلسیم.

نامساعد محیطی تولید می‌شوند، حفاظت می‌نمایند (Takahashi & Badger., 2011). بیوسنتز ترکیبات فنولی و فلاونوئید نیاز به نور دارند و تحت تأثیر نور افزایش می‌یابند. فنیل آلانین آمونیا لاز مهم‌ترین آنزیم در بیوسنتز اسیدهای فنولیک است که افزایش فعالیت این آنزیم تحت تأثیر شدت و مدت تابش نور، باعث افزایش ترکیبات فنولی می‌شود (Karimi *et al.*, 2013). در مطالعه‌ای در میوه توت، محتوای فنول کل با افزایش نور افزایش یافت (Kwaw *et al.*, 2018). نور همچنین موجب افزایش میزان فنول و فلاونوئید کل در کلم بروکلی شد (Moreira-Rodriguez *et al.*, 2017) که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد. کلسیم با حفظ استحکام دیواره سلولی و کاهش رادیکال‌های آزاد باعث کاهش اکسیداسیون فنول‌ها و فلاونوئیدها می‌شود (Kou *et al.*, 2015).

فنول و فلاونوئید کل

میزان فنول کاهو در گیاهان تیمار شده با کلسیم افزایش یافت. بیشترین میزان فنول کل در تیمار یک و ۱/۵ گرم در لیتر لاکتات کلسیم، سه و شش گرم در لیتر کلرید کلسیم به همراه نور مکمل مشاهده شد. کمترین میزان فنول کل در گیاهان شاهد حاصل شد (شکل ۷). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که ۱/۵ و یک گرم در لیتر لاکتات کلسیم به همراه افزایش نور، دارای میزان فلاونوئید کل بالاتری بودند. نور تأثیر زیادی در افزایش فنول و فلاونوئید کل نشان داد (شکل ۷). میوه‌ها و سبزی‌ها منبع بسیار عالی از مواد آنتی‌اکسیدانی مانند فنول و فلاونوئید هستند. مولکول‌های آنتی‌اکسیدانی آنزیمی، غشای سلولی و سایر بافت گیاهی را در برابر آسیب ناشی از رادیکال‌های آزاد اکسیژن که در طول شرایط



شکل ۷- تأثیر طول مدت تابش نور و کاربرد برگی کلسیم بر فنول و فلاونوئید کل برگ کاهو رقم New-Red Fire

C: شاهد؛ CaCl 3: ۳ گرم در لیتر کلرید کلسیم؛ CaCl 6: ۶ گرم در لیتر کلرید کلسیم، CaCl 9: ۹ گرم در لیتر کلرید کلسیم؛ CaL 0.5: ۰/۵ گرم در لیتر لاکتات کلسیم؛ CaL 1: ۱ گرم در لیتر لاکتات کلسیم؛ CaL 1.5: ۱/۵ گرم در لیتر لاکتات کلسیم.

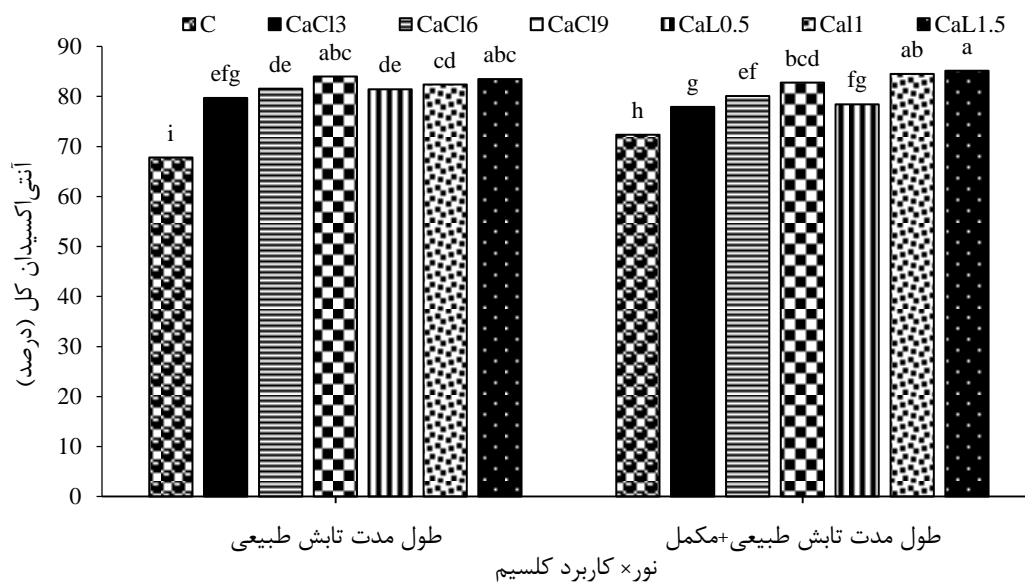
کلسیم تأثیر معنی‌داری نشان نداد. کاربرد کلسیم به‌طور معنی‌داری در مقایسه با گیاهان شاهد ظرفیت آنتی‌اکسیدانی برگ را افزایش داد (شکل ۸). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تیمار ۱/۵ و

آنتی‌اکسیدان کل نتایج نشان داد که اعمال نور تکمیلی در گیاهان شاهد ظرفیت آنتی‌اکسیدان کل برگ کاهو را افزایش داد ولی در گیاهان محلول‌پاشی شده با

همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند کلسیم با افزایش محتوای فنول و فلاونوئید و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کاهو را تحت شرایط آبیاری نرمال و کم‌آبیاری بهبود بخشید. میوه‌های خربزه درختی (*Carica papaya* L.) تیمار شده با کلسیم دو درصد بالاترین میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را نسبت به شاهد به خود اختصاص دادند (Madani *et al.*, 2016). تیمار کلسیم با حذف رادیکال‌های آزاد و کاهش تنفس موجب حفظ مواد آنتی‌اکسیدانی مانند ویتامین ث، فنول، فلاونوئید کل و آنتی‌اکسیدان کل می‌شود (Ahmed *et al.*, 2009). در میوه‌های سیب (*Malus domestica* L.) تیمار شده با کلسیم میزان آنتی‌اکسیدان کل بالاتری نسبت به شاهد مشاهده شد (Aguayo *et al.*, 2010). تیمارهای کلسیم با کاهش تنفس و تولید اتیلن باعث کاهش سرعت پیری و در نتیجه کاهش مصرف آنتی‌اکسیدان‌هایی مانند فنول، فلاونوئید کل و ویتامین ث شده است (Ahmed *et al.*, 2009).

یک گرم در لیتر لاکتات کلسیم به همراه نور مکمل دارای ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بالاتری نسبت به بقیه تیمارها و شاهد بودند (شکل ۸).

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌ها و سبزی‌ها شامل ترکیبات آنزیمی مثل آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و همچنین ترکیبات غیر آنزیمی شامل ویتامین ث، ترکیبات فنولی و کاروتنوئیدها می‌باشد و سیستم آنتی‌اکسیدانی باعث جلوگیری از اثرات پرخطر رادیکال‌های آزاد می‌شود (Barzegar *et al.*, 2018). همبستگی بالایی بین محتوای فنول و فلاونوئید کل، ویتامین ث و آنتوسیانین با ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه وجود دارد. اعمال نور تکمیلی با افزایش محتوای آنتوسیانین، ویتامین ث و ترکیبات فنولی و فلاونوئید باعث افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کاهو گردید. تأثیر کلسیم در حفظ و افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل به کاهش اتلاف آب سبزی، تنفس و تولید اتیلن و پیری مربوط می‌شود (Yahia *et al.*, 2001). Khani و



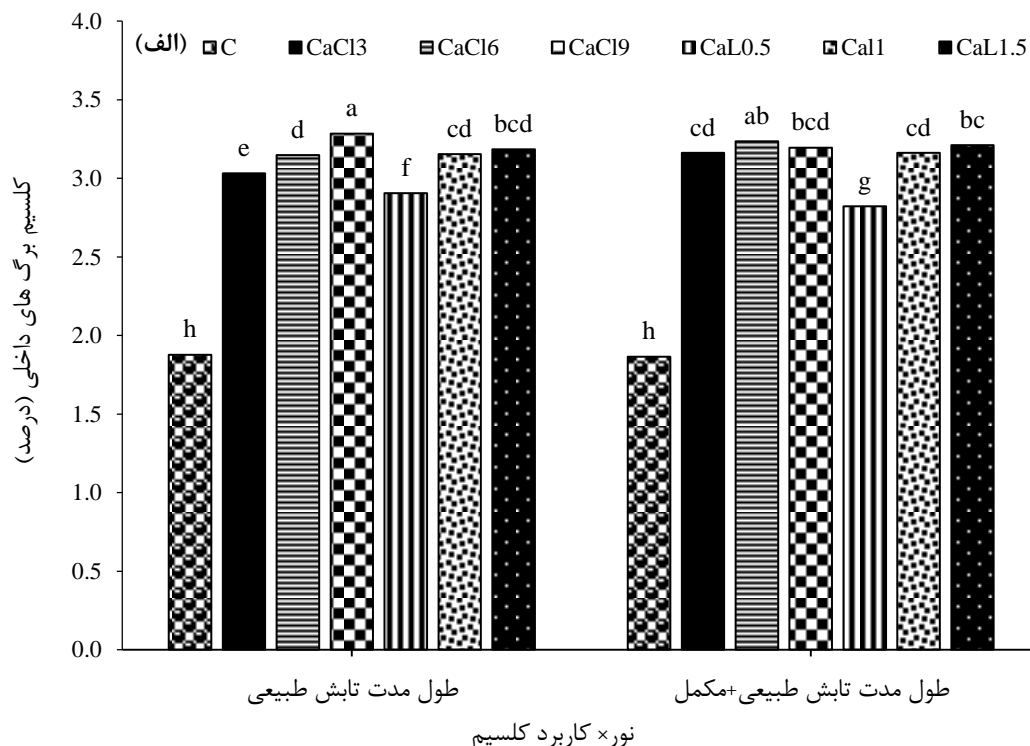
شکل ۸- تأثیر طول مدت تابش نور و کاربرد برگی کلسیم بر آنتی‌اکسیدان کل برگ کاهو رقم New-Red Fire

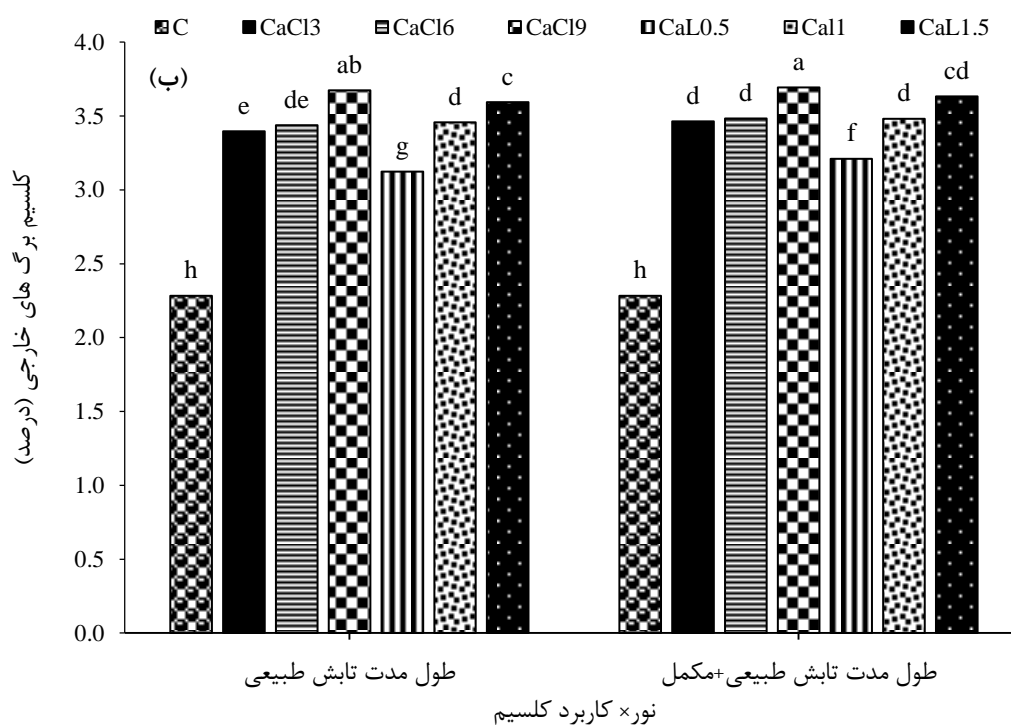
C: شاهد؛ CaCl 3: ۳ گرم در لیتر کلرید کلسیم؛ CaCl 6: ۶ گرم در لیتر کلرید کلسیم؛ CaCl 9: ۹ گرم در لیتر کلرید کلسیم؛ CaL 0.5: ۰/۵ گرم در لیتر لاکتات کلسیم؛ CaL 1: ۱ گرم در لیتر لاکتات کلسیم؛ CaL 1.5: ۱/۵ گرم در لیتر لاکتات کلسیم.

برگ‌های داخلی کاهش می‌یابد. غلظت کلسیم در برگ‌های چنین محصولاتی با یک کاهش شدید از برگ‌های خارجی به برگ‌های داخلی و از حاشیه به داخل مشخص می‌شود. بر اساس نتایج (شکل ۹ الف و ب)، در این آزمایش نیز غلظت کلسیم در برگ‌های خارجی بیشتر از برگ‌های داخلی بود هر چند در این رقم کاهو به دلیل این‌که تشکیل پیچ نمی‌دهد و برگ‌های جوان محصور نیستند این تغییرات همانند سایر انواع کاهو قابل توجه نبود. محلول‌پاشی با نمک‌های کلسیم ممکن است کلسیم مکمل کافی را برای کنترل ناهنجاری‌ها در سبزی‌های برگی فراهم نماید؛ بنابراین در محصولاتی که کمبود در روی برگ‌ها و یا بافت‌هایی با سطح گسترش یافته اتفاق می‌افتد می‌تواند به رفع کمبود کمک کند لذا در کاهوی رقم نیو رد فایر این نتیجه قابل انتظار خواهد بود (Mohd *et al.*, 2015). در این آزمایش محلول‌پاشی برگی کلسیم موجب افزایش قابل توجهی میزان کلسیم برگ‌های داخلی و خارجی شد.

تیمار نور تأثیری بر غلظت کلسیم برگ‌های داخلی و بیرونی کاهو نداشت ولی کاربرد کلسیم به‌طور معنی‌داری غلظت کلسیم برگ‌های داخلی و بیرونی را افزایش داد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تیمار نه گرم در لیتر کلرید کلسیم و ۱/۵ گرم در لیتر لاکتات کلسیم بیشترین تأثیر را در افزایش میزان کلسیم برگ‌های خارجی و داخلی کاهو در این آزمایش داشته است. کمترین میزان کلسیم در برگ‌های داخلی و خارجی گیاهان شاهد مشاهده شد (شکل ۹ الف و ب).

جذب و انتقال کلسیم توسط گیاهان شدیداً تحت تأثیر شرایط اقلیمی و به‌طور خاص رطوبت است. کلسیم به‌آسانی در آوندهای چوبی و به‌ندرت در آوندهای آبکش منتقل می‌شود و نسبت بین انتقال با آوند چوبی و آبکش و در نتیجه توزیع کلسیم به‌طور زیادی با رطوبت تعیین می‌شود (Frezza *et al.*, 2005). در سبزی‌های برگی مانند کاهو با تغییر شکل سر و پیچیدن برگ‌های جوان و در نتیجه محدود شدن تعرق، جذب کلسیم در





شکل ۹- تأثیر طول مدت تابش نور و کاربرد برگی کلسیم بر کلسیم داخلی (الف) و خارجی (ب) برگ کاهو رقم New-Red Fire

C: شاهد؛ CaCl 3: ۳ گرم در لیتر کلرید کلسیم؛ CaCl 6: ۶ گرم در لیتر کلرید کلسیم، CaCl 9: ۹ گرم در لیتر کلرید کلسیم؛ CaL 0.5: ۰.۵ گرم در لیتر لاکتات کلسیم؛ CaL 1: ۱ گرم در لیتر لاکتات کلسیم؛ CaL 1.5: ۱.۵ گرم در لیتر لاکتات کلسیم.

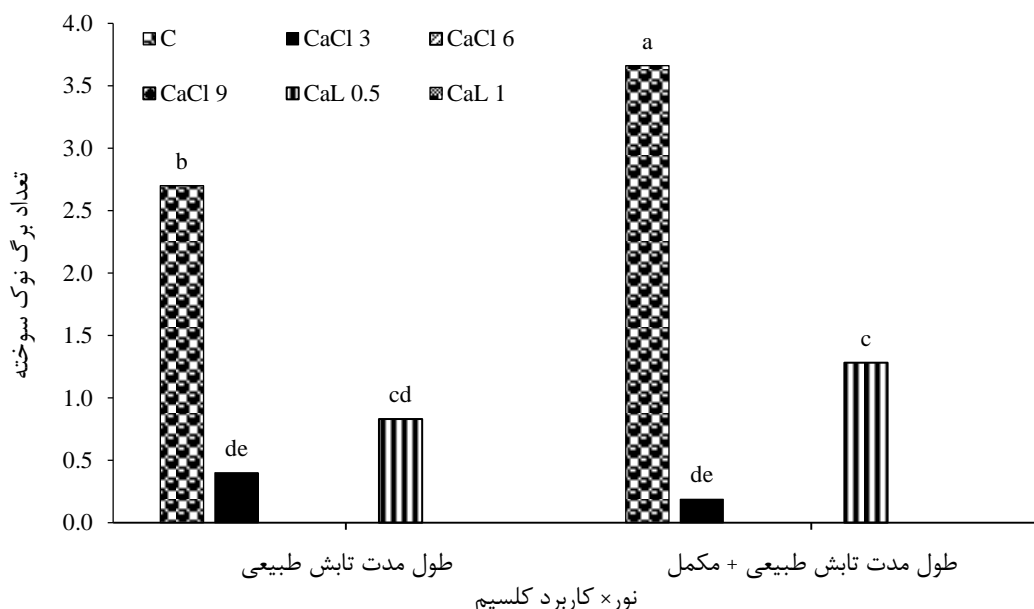
در آوند آبکش خیلی کند است و علائم کمبود بیشتر به علت کم بودن تعرق در برگ‌های جوان و داخلی کاهو مشاهده می‌شود (White & Broadley, 2003). کلسیم موجود در دیواره سلولی باعث استحکام بخشیدن به دیواره سلولی و تنظیم تراوایی غشاء و فرآیندهای وابسته به آن می‌شود. تجزیه پکتات‌ها به وسیله آنزیم پلی‌گالاکتوروناز انجام می‌گیرد که غلظت زیاد کلسیم به شدت از فعالیت آن می‌کاهد. کمبود کلسیم باعث از هم پاشیدگی دیواره سلول و در هم ریختن بافت‌های دچار کمبود می‌شود (Saure, 2005). یکی از ناهنجاری‌هایی که ممکن است در اثر کمبود کلسیم در برگ‌های داخلی کاهو ایجاد شود نوک سوختگی برگ است (Corriveau *et al.*, 2010). یکی از راهکارهای پیشنهادی برای

میانگین تعداد برگ‌های نوک سوخته

نتایج داده‌ها نشان داد تیمار لاکتات کلسیم به طور معنی‌داری موجب کاهش سوختگی برگ‌های کاهو شد (شکل ۱۰). در تیمارهای ۱/۵ و یک گرم در لیتر لاکتات کلسیم و تیمار شش و نه گرم در لیتر کلرید کلسیم هیچ سوختگی برگ مشاهده نشد و بیشترین میزان سوختگی برگ در گیاهان شاهد فاقد محلول پاشی کلسیم مشاهده شد. کاربرد نور تکمیلی اگرچه در گیاهان تیمار شده با کلسیم تأثیر معنی‌داری در افزایش سوختگی برگ‌ها نداشت ولی در گیاهان شاهد به طور معنی‌داری تعداد برگ‌های با علائم سوختگی را افزایش داد (شکل ۱۰). کلسیم به عنوان کاتیون دو ظرفیتی از طریق ریشه جذب شده و از طریق آوند چوبی منتقل می‌شود و تحرک آن از یک سلول به سلول دیگر و

پلی‌فنل‌های مانند کلروژنیک اسید، که یک گروه از ترکیبات غیرفعال کننده آنزیم‌ها هستند، توسط سطوح تابش زیاد و فتوپریود طولانی تحریک می‌شود. این افزایش سطوح کلروژنیک اسید در کاهو به دلیل افزایش فعالیت آنزیم ایندول‌استیک‌اسید اکسیداز سبب افزایش تولید اکسین و رشد برگ می‌شود که همین امر مانع از رسیدن سریع کلسیم و شیوع نوک سوختگی می‌شود (Corriveau *et al.*, 2010). در پژوهشی کاهش کلسیم برگ موجب نوک سوختگی برگ‌ها در گیاه شیکوره شد (Zamaniyan *et al.*, 2012).

کاهش میزان نوک سوختگی در دما و نور زیاد، کاهش غلظت نیتروژن و افزایش کلسیم محلول غذایی به منظور کاهش سرعت رشد کاهو می‌باشد. صرف نظر از غلظت عناصر غذایی، عواملی همچون سرعت رشد، دما، شدت و مدت تابش نور، رطوبت نسبی و فصل رشد با توسعه ناهنجاری نوک سوختگی مرتبط می‌باشند. با افزایش میزان نور و دما رشد برگ‌های کاهو افزایش یافته، این در حالی است که سرعت انتقال کلسیم متناسب با سرعت رشد برگ‌ها افزایش نخواهد یافت و بنابراین نوک سوختگی افزایش می‌یابد (Corriveau *et al.*, 2010). سنتز



شکل ۱۰- تأثیر طول مدت تابش نور و کاربرد برگی کلسیم بر میانگین تعداد برگ نوک سوخته کاهو رقم New-Red Fire

C: شاهد؛ CaCl 3: ۳ گرم در لیتر کلرید کلسیم؛ CaCl 6: ۶ گرم در لیتر کلرید کلسیم، CaCl 9: ۹ گرم در لیتر کلرید کلسیم؛ CaL 0.5: ۰/۵ گرم در لیتر لاکتات کلسیم؛ CaL 1: ۱ گرم در لیتر لاکتات کلسیم؛ CaL 1.5: ۱/۵ گرم در لیتر لاکتات کلسیم.

عملکرد و حفظ کیفیت این محصول شود ضروری است. در این مطالعه تلفیق نور و کلسیم به طور مؤثری موجب افزایش وزن تر بوته و تعداد برگ کاهو شد و تیمار کلسیم موجب افزایش میزان کلسیم داخلی و خارجی برگ‌ها و جلوگیری از سوختگی برگ‌های کاهو شد، همچنین کاربرد نور

نتیجه‌گیری کلی

کاهو از سبزی‌های پرمصرف در دنیا می‌باشد و از جمله سبزی‌هایی است که در تمام فصول سال مورد استفاده قرار می‌گیرد و به خاطر اهمیت اقتصادی که دارد در خارج از فصل رشد نیز کشت می‌گردد. استفاده از تیمارهایی که موجب افزایش

مکمل و محلول پاشی کلسیم، محتوای کلروفیل کل، ویتامین ث، فنول کل، فلاونوئید کل، آنتوسیانین و در نتیجه ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کاهو را افزایش دادند؛ بنابراین با توجه به نتایج، کاربرد شش و نه گرم در لیتر کلرید کلسیم و یک و ۱/۵ گرم لاکتات کلسیم به همراه نور اضافی تأثیر زیادی در افزایش عملکرد و حفظ کیفیت کاهو رقم New-Red Fire در گلخانه دارد.

References

- Aguayo, E., Requejo-Jackman, C., Stanley, R. & Woolf, A. (2010). Effects of calcium ascorbate treatments and storage atmosphere on antioxidant activity and quality of fresh-cut apple slices. *Postharvest Biology and Technology*, 57(1), 52-60.
- Ahmed, M. J., Singh, Z. & Khan, A. S. (2009). Postharvest *Aloe vera* gel-coating modulates fruit ripening and quality of 'Arctic Snow' nectarine kept in ambient and cold storage. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(5), 1024-1033.
- Akhtar, A., Abbasi, N. A. & Hussain, A. Z. H. A. R. (2010). Effect of calcium chloride treatments on quality characteristics of loquat fruit during storage. *Pakistan Journal of Botany*, 42(1), 181-188.
- Ali, M. B., Khandaker, L. & Oba, S. (2009). Comparative study on functional components, antioxidant activity and color parameters of selected colored leafy vegetables as affected by photoperiods. *Journal of Food and Agriculture and Environment*, 7(3), 392-398.
- AOAC. (2000). *Official methods of analysis*. 17th Edition, the Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA.
- Baroli, I., Price, G. D., Badger, M. R. & von Caemmerer, S. (2008). The contribution of photosynthesis to the red light response of stomatal conductance. *Plant Physiology*, 146(2), 737-747.
- Barzegar, T., Fateh, M. & Razavi, F. (2018). Enhancement of postharvest sensory quality and antioxidant capacity of sweet pepper fruits by foliar applying calcium lactate and ascorbic acid. *Scientia Horticulturae*, 241, 293-303.
- Bian, Z., Yang, Q. C. & Liua, W. K. (2015). Effects of light quality on the accumulation of phytochemicals in vegetables produce in controlled environments: a review. *Food Science & Technology*, 95(5), 869-877.
- Borghesi, E., Carmassi, G., Ugucioni, M. C., Vernieri, P. & Malorgio, F. (2013). Effects of calcium and salinity stress on quality of lettuce in soilless culture. *Journal of Plant Nutrition*, 36(5), 677-690.
- Chang, A. C., Yang, T. Y. & Riskowski, G. L. (2013). Ascorbic acid, nitrate, and nitrite concentration relationship to the 24 hour light/dark cycle for spinach grown in different conditions. *Food Chemistry*, 138(1), 382-388.
- Chang, C. C., Yang, M. H., Wen, H. M. & Chern, J. C. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, 10(3), 1-7.
- Corriveau, J., Gaudreau, L., Caron, J., Gosselin, A., & Jenni, S. (2010). Effect of water management, fogging and Ca foliar application on tipburn of Romaine lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivated in greenhouse. In *XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010): International Symposium on 927*. 475-480.

- Fan, X. X., Xu, G. Z., Liu, X. Y., Tang, C. M., Wang, L. W. & Han, X. L. (2013). Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. *Scientia Horticulturae*, 153, 50-55.
- FAOSATE. (2018). Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO data base.
- Frezza, D., Leon, A., Logegaray, V., Chiesa, A., Desimone, M. & Diaz, L. (2005). Soilless culture technology for high quality lettuce. *Acta Horticulturae*, 697, 43-48.
- Gorgini Shabankareh, H. & Fakheri, B. (2015). The effect of different levels of salinity and drought stresses on growth indices and the essential oil of lemon balm (*Melissa officinalis* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*, 46(4), 686-673.
- He, L., Yu, L., Li, B., Du, N. & Guo, S. (2018). The effect of exogenous calcium on cucumber fruit quality, photosynthesis, chlorophyll fluorescence, and fast chlorophyll fluorescence during the fruiting period under hypoxic stress. *BMC Plant Biology*, 18(1), 1-10.
- Heo, J. W., Kang, D. H., Bang, H. S., Hong, S. G., Chun, C. & Kang, K. K. (2012). Early growth, pigmentation, protein content, and phenylalanine ammonia-lyase activity of red curled lettuces grown under different lighting conditions. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology*, 30, 6-12.
- Hepler, P. K. (2005). Calcium: a central regulator of plant growth and development. *The Plant Cell*, 17(8), 2142-2155.
- Holb, I. J., Balla, B., Vamos, A. & Gall, J. M. (2012). Influence of preharvest calcium applications, fruit injury, and storage atmospheres on postharvest brown rot of apple. *Postharvest Biology and Technology*, 67, 29-36.
- Johkan, M., Shoji, K., Goto, F., Hashida, S. N. & Yoshihara, T. (2010). Blue light-emitting diode light irradiation of seedlings improves seedling quality and growth after transplanting in red leaf lettuce. *Horticulture Science*, 45(12), 1809-1814.
- Kalra, Y. (1997). Handbook of reference methods for plant analysis. London. CRC press.
- Kang, J. H., KrishnaKumar, S., Atulba, S. L. S., Jeong, B. R. & Hwang, S. J. (2013). Light intensity and photoperiod influence the growth and development of hydroponically grown leaf lettuce in a closed-type plant factory system. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 54(6), 501-509.
- Karimi, E., Jaafar, H. Z., Ghasemzadeh, A. & Ibrahim, M. H. (2013). Light intensity effects on production and antioxidant activity of flavonoids and phenolic compounds in leaves, stems and roots of three varieties of *Labisia pumila* Benth. *Australian Journal of Crop Science*, 7(7), 1016-1023.
- Kaya, C., Kirnak, H., Higgs, D. & Saltali, K. (2002). Supplementary calcium enhances plant growth and fruit yield in strawberry cultivars grown at high (NaCl) salinity. *Scientia Horticulturae*, 93(1), 65-74.
- Kazemi, M., Aran, M. & Zamani, S. (2011). Effect of calcium chloride and salicylic acid treatments on quality characteristics of kiwifruit (*Actinidia deliciosa* cv. Hayward) during storage. *American Journal of Plant Physiology*, 6(3), 183-189.
- Khani, A., Barzegar, T., Nikbakht, J. & Ghahremani, Z. (2020). Effect of foliar spray of calcium lactate on the growth, yield and biochemical attribute of lettuce (*Lactuca sativa* L.) under water deficit stress. *Advances in Horticultural Science*, 34(1), 11-24.

- Khani, A., Barzegar, T., Ghahremani, Z. & Nikbakht, J. (2019). The effect of calcium lactate foliar spray on growth, yield and quality of Lettuce cv. New Red Fire under water deficit stress. *Journal of Plant Process and Function*, 8(33), 187-202. (In Farsi)
- Kou, L., Yang, T., Liu, X. & Luo, Y. (2015). Effects of pre-and postharvest calcium treatments on shelf life and postharvest quality of broccoli microgreens. *Horticultural Science*, 50(12), 1801-1808.
- Kozai, T., Niu, G. & Takagaki, M. (2016). *Plant factory*. Academic press, London, UK.
- Kwaw, E., Ma, Y., Tchabo, W., Apaliya, M. T., Sackey, A. S., Wu, M. & Xiao, L. (2018). Impact of ultrasonication and pulsed light treatments on phenolics concentration and antioxidant activities of lactic-acid-fermented mulberry juice. *LWT -Food Science and Technology*, 92, 61-66.
- Li, H., Tang, C., Xu, Z., Liu, X. & Han, X. (2012). Effects of different light sources on the growth of non-heading Chinese cabbage (*Brassica campestris* L.). *Journal of Agricultural Science*, 4(4), 262.
- Li, Q. & Kubota, C. (2009). Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce. *Environmental and Experimental Botany*, 67(1), 59-64.
- Llorach, R., Martinez-Sanchez, A., Tomas-Barberan, F. A., Gil, M. I. & Ferreres, F. (2008). Characterisation of polyphenols and antioxidant properties of five lettuce varieties and escarole. *Food Chemistry*, 108(3), 1028-1038.
- Madani, B., Mirshekari, A. & Yahia, E. (2015). Effect of calcium chloride treatments on calcium content, anthracnose severity and antioxidant activity in papaya fruit during ambient storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96, 2963-2968.
- Mahajan, B. V. C. & Sharma, R. C. (2000). Effect of pre-harvest applications of growth regulators and calcium chloride on physico-chemical characteristics and storage life of peach (*Prunus persica* Batsch) cv. Shane-e-Punjab. *Haryana Journal of Horticultural Sciences*, 29(1), 41-43.
- Merzlyak, M. N. & Chivkunova, O. B. (2000). Light-stress-induced pigment changes and evidence for anthocyanin photoprotection in apples. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 55(2), 155-163.
- Mohd, F. J., Shampazuraini, S., Mohammad, A. A. & Mohamad, N. J. (2015). Effects of different types of foliar fertilizer on growth performance of spider plant (*Cleome gynandra*). *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 9(24), 44-48.
- Moreira-Rodriguez, M., Nair, V., Benavides, J., Cisneros-Zevallos, L. & Jacobo-Velazquez, D. A. (2017). UVA, UVB light, and methyl jasmonate, alone or combined, redirect the biosynthesis of glucosinolates, phenolics, carotenoids, and chlorophylls in broccoli sprouts. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(11), 2330.
- Nishiyama, M. & Kanahama, K. (2008, March). Effect of light quality on growth of everbearing strawberry plants. In *VI International Strawberry Symposium 842* (pp. 151-154).
- Noctor, G. (2006). Metabolic signalling in defence and stress: the central roles of soluble redox couples. *Plant, Cell & Environment*, 29(3), 409-425.

- Ohashi-Kaneko, K., Takase, M., Kon, N., Fujiwara, K. & Kurata, K. (2007). Effect of light quality on growth and vegetable quality in leaf lettuce, spinach and komatsuna. *Environmental Control in Biology*, 45(3), 189-198.
- Rab, A. & Haq, I. U. (2012). Foliar application of calcium chloride and borax influences plant growth, yield, and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruit. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 36(6), 695-701.
- Rogers, G. S. (2007). *Development of a crop management program to improve the sugar-content and quality of rockmelons*. Horticultural Australia.
- Roussos, P. A., Denaxa, N. & Damvakaris, T. (2009). Strawberry fruit quality attributes after application of plant growth stimulating compounds. *Scientia Horticulturae*, 119(2), 138-146.
- Sago, Y. (2016). Effects of light intensity and growth rate on tipburn development and leaf calcium concentration in butterhead lettuce. *Horticultural Science*, 51(9), 1087-1091.
- Samuoliene, G., Brazaityte, A., Urbonaviciute, A., Sabajeviene, G. & Duchovskis, P. (2010). The effect of red and blue light component on the growth and development of frigo strawberries. *Zemdirbyste-Agriculture*, 97(2), 99-104.
- Saure, M. C. (2005). Calcium translocation to fleshy fruit: its mechanism and endogenous control. *Scientia Horticulturae*, 105(1), 65-89.
- Shiri, M. A., Ghasemnezhad, M., Fatahi Moghadam, J. & Ebrahimi, R. (2016). Effect of CaCl₂ sprays at different fruit development stages on postharvest keeping quality of "H ayward" kiwifruit. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(4), 624-635.
- Singleton, V. L. & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158.
- Sun, T., Powers, J. & Tang, J. (2007). Evaluation of the antioxidant activity of asparagus, broccoli and their juices. *Food Chemistry*, 105, 101-106.
- Taiz, L. & Zeiger, H. (2008). *Plant physiology*. (2nd Ed.). Sinauer Associates Inc. Publisher. Sunderland Massachusetts.
- Takahashi, S. & Badger, M. R. (2011). Photoprotection in plants: a new light on photosystem II damage. *Trends in Plant Science*, 16(1), 53-60.
- Tan, B. L., Norhaizan, M. E. & Liew, W. P. P. (2018). Nutrients and oxidative stress: friend or foe?. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 1-24.
- Todd, A., Peterson, T. M., Blackmer, D. D., Francis, J. & Schepers, S. (2005). Using a chlorophyll meter to improve N management. *Soil Science*, 93, 1173-1177.
- Toor, R. K., Savage, G. P. & Lister, C. E. (2006). Seasonal variations in the antioxidant composition of greenhouse grown tomatoes. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(1), 1-10.
- Vrana, L. M. & Staff, U. (2014) Calcium Chloride. *In Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, 1-13.
- Wagner, G. J. (1979). Content and vacuole/extravacuole distribution of neutral sugars, free amino acids, and anthocyanin in protoplasts. *Plant Physiology*, 64(1), 88-93.
- Wanlai, Z., Wenke, L. & Qichang, Y. (2013). Reducing nitrate content in lettuce by pre-harvest continuous light delivered by red and blue light-emitting diodes. *Journal of Plant Nutrition*, 36(3), 481-490.

- White, P. J. & Broadley, M. R. (2003). Calcium in plants. *Annals of Botany*, 92(4), 487-511.
- White, P. J. (2000). Calcium channels in higher plants. *Biochimica et Biophysica Acta Biomembranes*, 1465(1), 171-189.
- Wu, M. C., Hou, C. Y., Jiang, C. M., Wang, Y. T., Wang, C. Y., Chen, H. H. & Chang, H. M. (2007). A novel approach of LED light radiation improves the antioxidant activity of pea seedlings. *Food Chemistry*, 101(4), 1753-1758.
- Yahia, E. M., Contreras-Padilla, M. & Gonzalez-Aguilar, G. (2001). Ascorbic acid content in relation to ascorbic acid oxidase activity and polyamine content in tomato and bell pepper fruits during development, maturation and senescence. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie- Food Science and Technology*, 34(7), 452-457.
- Yang, H., Wu, Q., Ng, L. Y. & Wang, S. (2017). Effects of vacuum impregnation with calcium lactate and pectin methylesterase on quality attributes and chelate-soluble pectin morphology of fresh-cut papayas. *Food and Bioprocess Technology*, 10(5), 901-913.
- Zamaniyan, M., Panahandeh, J., Tabatabaei, S. J. & Motallebie-Azar, A. (2012). Effects of different ratios of K: Ca in nutrient solution on growth, yield and chicon quality of witloof chicory (*Cichorium intybus* L.). *International Journal of Agricultural Science*, 2(12), 1137-1142.
- Zhou, Y. & Singh, B. R. (2004). Effect of light on anthocyanin levels in submerged, harvested cranberry fruit. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 5, 259-263.