تاثیر برهمکنش کلسیم و جاسمونیک اسید بر پارامترهای فلئورسانس کلروفیل و عملکرد غده سه رقم سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.)

محمد عظیمی‌گندمانی[۱و۲*]، هوشنگ فرجی[۱]، محسن موحدی‌دهنوی[۱] و امین میرشکاری[۱]

[۱] گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، ایران

[۲] مربی، گروه علمی کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰٤/۱۸، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۵/۰۷/۲۸)

چکیده:

در مناطق سردسیری، سیب‌زمینی بصورت بهاره کشت می‌شود. از چالش‌های پیش روی زراعت سیب‌زمینی در این مناطق، سرمای دیررس بهاره، سرمای زودرس پاییزه و گرمای تابستان می‌باشد؛ که در پژوهش حاضر به روش‌های تعدیل این چالش‌ها پرداخته شد. بدین منظور آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در سال‌های زراعی ۱۳۹۳ و ۱۳۹٤ در منطقه گندمان، استان چهارمحال و بختیاری اجرا شد. عامل اول شامل سه رقم جلی، فونتین و بورن و عامل دوم، ترکیبی از تیمارهای مختلف کلسیم و جاسمونیک اسید (با غلظت ۵ میکرومولار) در شش سطح شامل: ۱- کلسیم + جاسمونیک اسید در مرحله قبل از تشکیل ریزوم‌ها (T_1)؛ ۲- کلسیم + جاسمونیک اسید در مرحله بعد از تشکیل ریزوم‌ها (T_2)؛ ۳- جاسمونیک اسید در مرحله قبل از تشکیل ریزوم‌ها (T_3)؛ ٤- جاسمونیک اسید در مرحله بعد از تشکیل ریزوم‌ها (T_4)؛ ۵- کلسیم از منبع نیترات کلسیم (T_5)؛ ٦- شاهد (عدم کاربرد هر دو فاکتور (T_6)) بود. بر اساس نتایج حاصله هر دو فاکتور جاسمونیک اسید و کلسیم دارای تاثیر مثبتی بر ارقام مورد بررسی بودند؛ بطوریکه رقم جلی نسبت به سایر ارقام عکس‌العمل بهتری داشت. در بین تیمارهای مورد بررسی نیز تیمار T_1 در کلیه صفات مورد بررسی بجز اتفاء غیر فتوشیمیایی، در هر سه رقم مورد آزمایش بیشترین میانگین را به نام خود ثبت کرد. با توجه به نتایج، چنین می‌توان استنباط نمود که جاسمونیک اسید و کلسیم، در هر دو مرحله قبل و بعد از ریزوم‌دهی، باعث کاهش اثرات نا مطلوب تنش دمایی و کمبود عناصر غذایی شده‌اند؛ بعلاوه این اثرات مثبت، زمانیکه جاسمونیک اسید و کلسیم بصورت ترکیبی و در زمان قبل از ریزوم‌دهی اعمال شد، بیشتر بود.

کلمات کلیدی: تنش‌های محیطی، جاسمونیک اسید، سیب‌زمینی، فلئورسانس، کلسیم

مقدمه:

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) از محصولات غده‌ای است که نقش مهمی در تغذیه انسان و دام دارد، در شرایط مختلف آب و هوایی کشت می‌شود و بعد از گندم، برنج و ذرت مقام چهارم تولید را به خود اختصاص داده است (Trehan and Singh, 2013). سیب‌زمینی به لحاظ دارا بودن پتانسیل بالای تولید و داشتن مواد کربوهیدراتی، پروتئینی و ویتامین های زیاد و همچنین سازگاری به اقلیم های متفاوت،

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی:Azimi_3563@yahoo.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.23.16.9]

مورد توجه قرار گرفته است و یکی از مهمترین گیاهان صنعتی جهان محسوب می‌شود (Trehan and Singh, 2013).

در ایران، با توجه به تنوع اقلیمی، سیب‌زمینی به‌صورت زمستانه، پائیزه، بهاره و تابستانه در مناطق مختلف کشت می‌شود و نقش مهمی در سبد غذایی جامعه دارد. سیب‌زمینی در مناطق سردسیری، بصورت بهاره کشت می‌شود. در مناطقی نظیر شهرکرد سرما یکی از چالش‌های پیش روی این محصول است. سرما از دو جهت طول فصل رشد را تحت تأثیر قرار می دهد؛ سرمای دیررس بهاره اجازه کشت زودهنگام را نمی دهد و سرمای زودرس پاییزه موجب سرمازدگی بوته ها در پاییز می‌شود (Van Dam *et al*., 2008). در چنین مناطقی کشاورزان تاریخ برداشت محصول را مصادف با تاریخ سرمازدگی محصول بیان می کنند. لذا در پاییز و اواخر فصل رشد، حجم انبوهی از زیست توده تولیدی (در شاخساره) بدون این‌که به غده‌ها منتقل شود، دچار سرمازدگی می‌شود. این امر موجب عدم استفاده از پتانسیل موجود، جهت حصول عملکرد بیشتر می‌شود (Taheri and Shamabadi, 2013).

یکی دیگر از مشکلات قابل ذکر در چنین مناطقی کمبود کلسیم است. برخورد دوره رشد سریع گیاه و شروع غده‌زایی میزان بالایی از کلسیم را می‌طلبد، اما دمای بالای محیط و تعرق شدید گیاه (در نتیجه گرمای طبیعی تابستان) و از سوی دیگر تحرک پایین کلسیم موجب جذب کمتر کلسیم می‌شود و نهایتاً کلسیم از اندام زیرزمینی تخلیه شده و جهت مقابله با گرما به اندام هوایی منتقل می‌شود (Karlsson *et al*., 2006). کمبود کلسیم، از این نقطه نظر که کلسیم نقش حیاتی در فرآیند غده‌زایی سیب‌زمینی دارد؛ موجب کاهش غده‌زایی شده و در مراحل نهایی نیز موجب کاهش ماده خشک، کاهش تعداد غده‌های قابل عرضه به بازار و بروز برخی بیماری‌ها نظیر اسکپ، قلب تو خالی سیب‌زمینی، لکه قهوه‌ای و ترک‌های رشدی ناشی از نوسانات آبیاری و تغذیه‌ای و نهایتا کاهش قابلیت انبارداری سیب‌زمینی تولیدی می‌شود (George, 2004 and Ozgen *et al*., 2006).

در این میان برخی محرک‌های تغذیه‌ای و هورمونی هستند که با بکارگیری صحیح آن‌ها در زراعت سیب‌زمینی، می‌توان باعث تحریک غده‌زایی و تنظیم فرآیند انتقال بین منبع و مخزن شد و از این طریق خلاء ایجاد شده را جبران نمود و علاوه بر آن کیفیت غده تولیدی را نیز افزایش داد. لذا از بین محرک‌های تغذیه‌ای کلسیم بواسطه نقش ویژه در پیام رسانی غده‌زایی، ایجاد مقاومت به تنش دمای بالا و اثر بر کیفیت غده‌های تولیدی مناسب می‌باشد (Akula *et al*., 2012). همچنین از بین تنظیم کننده‌های رشد گیاهی، جاسمونیک اسید به دلیل جلو انداختن غده‌زایی (تحریک غده‌زایی در طول روزهای بلند، جهت افزایش طول دوره ذخیره سازی غده‌ها)، افزایش اندازه غده‌ها و کاهش رقابت بین اندام هوایی و غده‌ها (از طریق کند نمودن رشد رویشی و افزایش انتقال آسیمیلاتها به غده‌ها) جهت جلوگیری از اتلاف زیست توده تولیدی و افزایش کمیت و کیفیت تولید مناسب می‌باشد (Zhang *et al*., 2006).

تنظیم هورمونی رشد و متابولیسم گیاه، بسیار پیچیده بوده و حاصل اثرات متقابل بین هورمون‌ها می‌باشد (Cenzano *et al*., 2007). در بین تنظیم کننده‌های هورمونی مورد استفاده در سیب‌زمینی، جاسمونیک اسید در فرآیند تحریک غده‌زایی و تحریک رشد بیشتر غده‌ها نقش داشته است (Cenzano *et al*., 2007). در مطالعاتی که توسط Pruski و همکاران (۲۰۰۳) در خصوص سیب‌زمینی صورت گرفت، بیشترین تعداد ریزغده در ارقامی بدست آمد که با جاسمونیک اسید تیمار شده بودند.

نتایج حاصل از یافته‌های تحقیقاتی، مؤید این نکته است که جاسمونیک اسید از برگ‌ها و ریشه‌ها می‌تواند به منطقه رأسی در ریزوم منتقل شود و تشکیل غده را تحریک نماید (Cenzano *et al*., 2005)؛ کاربرد خارجی جاسمونیک اسید، به دلیل تغییر در نحوه توزیع مواد فتوسنتزی، باعث تسریع غده‌بندی در گیاه سیب‌زمینی می‌شود و با انتقال بیشتر مواد فتوسنتزی به غده‌ها باعث تورم سریعتر غده‌ها می‌شود (Cenzano *et al*., 2003). بنابراین، بزرگ شدن و افزایش وزن غده‌ها در گیاهان تیمار شده با جاسمونیک اسید، نتیجه‌ی انتقال مواد فتوسنتزی از برگ‌ها به غده‌ها می‌باشد. همچنین پژوهش‌گران بیان نمودند که کاربرد خارجی جاسمونیک اسید

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.23.16.9]

منجر به تغییرات اولیه در مورفولوژی مریستم انتهایی غده، توسعه سلولی و تمایز بافتی سیب‌زمینی می‌شود (Cenzano *et al*., 2003). نتایج بدست آمده در خصوص کاربرد خارجی جاسمونیک اسید در سیب‌زمینی حاکی از آن است که این هورمون موجب القای غده‌زایی در طول روزهای بلند می‌شود و علت آن تجزیه پیش سازهای جاسمونیک اسید در طی روزهای بلند و در نتیجه عدم تولید جاسمونیک اسید در گیاه می‌باشد (Zhang *et al*., 2006). لذا، کاربرد خارجی جاسمونیک اسید در روزهای بلند می‌تواند در مقابل این فرآیند قرار گرفته و غده‌زایی را تحریک نماید.

در بین عناصر تغذیه‌ای، کلسیم با داشتن نقش‌های برجسته‌ای که در زمینه‌های القای غده‌زایی، تحریک رشد غده‌ها و اثر مؤثری که بر کیفیت غده تولیدی در زراعت سیب‌زمینی دارد، حائز اهمیت می‌باشد (Akula *et al*., 2012). در تجزیه بافت سیب‌زمینی مشاهده شده است که میزان کلسیم موجود در غده بسیار کمتر از اندام هوایی است (Ozgen *et al*., 2006). از آنجایی که تعرق، نیروی محرکه اصلی جذب کلسیم در گیاه است و با توجه به این‌که غده میزان تعرق کمتری نسبت به اندام هوایی دارد؛ بنابراین بیشتر کلسیم جذب شده به سمت اندام هوایی رفته و سهم غده‌ها بسیار ناچیز می‌شود (Busse and Palta, 2006). این بدین معنی است که غده بطور طبیعی با کمبود کلسیم مواجه است و کاربرد کلسیم در طول فصل رشد، بویژه در مرحله غده‌زایی و بزرگ شدن غده‌ها باعث افزایش کمیت و کیفیت غده تولیدی می‌شود (Karlsson *et al*., 2006).

بنا به تحقیقات صورت گرفته در خصوص اثر کلسیم بر سیب‌زمینی، مشاهده شده است که استفاده از کلسیم موجب افزایش در متوسط وزن غده‌ها، افزایش میزان کل ماده خشک غده‌ها، افزایش درصد غده‌های قابل عرضه به بازار و افزایش انبارداری سیب‌زمینی می‌شود (Ozgen and Palta, 2004 and Akula *et al*., 2012). کلسیم در فرآیندهایی نظیر جریان سیتوپلاسمی، تقسیم سلولی، تمایز سلولی، فتومورفوژنز و سیستم دفاعی گیاه به عنوان یک پیام رسان ثانویه عمل نموده و در تنظیم این فرآیندها نقش دارد (Akula *et al*., 2012 and Ozgen *et al*., 2006). همچنین یون کلسیم سیتوزولی و کلسیم متصل به گیرنده‌های پروتئینی کالمودولین (CaM)، به عنوان سیگنال‌های مولکولی، در غده‌زایی سیب‌زمینی نقش مهمی را ایفا می‌کنند (Akula *et al*., 2012). علاوه بر موارد فوق یون کلسیم وابسته به نوعی پروتئین کیناز، در فعال سازی رونویسی ژن‌های مرتبط با غده‌زایی نقش دارد (Akula *et al*., 2012). بنابراین استفاده از کلسیم می‌تواند علاوه بر تنظیم فرآیند غده‌زایی، بواسطه نقش آن در ساختمان سلولی باعث افزایش کیفیت غده‌های تولیدی شود (Akula *et al*., 2012 and Ozgen *et al*., 2006). نتایج تحقیقات Palta و همکاران (۱۹۸۱) و Kleinhenz و Palta (۲۰۰۲) نشان داد که کاربرد کلسیم به عنوان یک عنصر غذایی مکمل، باعث کاهش اثرات سوء تنش کوتاه مدت و بلند مدت دما بر رشد برگ‌ها، میزان غده‌زایی، میزان کل ماده خشک غده‌ها، هدایت روزنه‌ای و عملکرد در سیب‌زمینی می‌شود.

در مطالعات متعدد ثابت شده است که اندازه‌گیری فلئورسانس کلروفیل برگ‌های سالم، روش معتبر و قابل اطمینانی برای مطالعه فرآیند فتوسنتز و ارزیابی وضعیت فیزیولوژیکی گیاه است (Behra *et al*., 2002 and Grafts *et al*., 2002). در این خصوص Passarkli (۲۰۱۰) بیان کرد که تدوام فتوسنتز با حفظ غلظت کلروفیل در حد معمول تحت شرایط تنش، از جمله شاخص‌های فیزیولوژیکی تحمل به تنش به حساب می‌آید.

نسبت فلئورسانس متغیر به حداکثر فلئورسانس (Fv/Fm)، نشان دهنده پتانسیل یا بیشینه عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو (PSII) می‌باشد و مقدار آن برای گیاهانی که در شرایط تنش قرار ندارند، در دامنه‌ای بین ۰/٦۵ تا ۰/۸۵ است. چنانچه گیاهان در شرایط تنش خشکی، شوری، گرما و تشعشع زیاد قرار گیرند، مقدار آن کمتر خواهد شد (Belkhodja *et al*., 1999; Bolhar *et al*., 1989 and Zhao *et al*., 2007). شیب کاهشی نسبت Fv/Fm، شاخص خوبی برای ارزیابی بازدارندگی نوری گیاهانی است که در مجاورت تنش‌های محیطی مثل خشکی و گرما همراه با میزان تشعشع زیاد قرار

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.23.16.9]

می‌گیرند (Yang *et al*., 1996). همچنین بیان شده است که پیری برگ نیز در نتیجه کاهش محتوای کلروفیل تحت تاثیر تنش تسریع می‌شود (Kaya *et al*., 2001 and Kaya *et al*., 2002).

در تحقیقات Kalaji و همکاران (۲۰۱٤) در زمینه بررسی کمبود عناصر غذایی ماکرو و میکرو بر فتوسنتز و پارامترهای فلئورسانس کلروفیل در گوجه فرنگی و ذرت مشخص شد که کمبود عناصر غذایی دارای یک اثر سوء بر فرآیند و کارکرد سیستم فتوسنتزی است. همچنین بیان نمودند که کمبود هر عنصر غذایی با توجه به جایگاه و کارکرد آن باعث اثر بر بخش خاصی از سیستم فتوسنتزی می‌گردد. به عنوان مثال کمبود کلسیم باعث کاهش شدید کارکرد فتوسیستم دو شد (Kalaji *et al*., 2014).

در مجموع با توجه به محدودیت‌های فصلی ذکر شده (نظیر سرمای دیررس بهاره، سرمای زودرس پاییزه، افزایش دمای هوا در تابستان و همچنین کمبود کلسیم) در کاهش کمیت و کیفیت تولید در زراعت سیب‌زمینی؛ هدف از این تحقیق، بررسی تأثیر برخی محرک‌های هورمونی و تغذیه‌ای جهت جلوگیری از اتلاف زیست توده تولیدی و افزایش کمیت و کیفیت تولید سیب‌زمینی بود. لذا این پژوهش به منظور بررسی " تاثیر برهمکنش کلسیم و جاسمونیک اسید بر پارامترهای فلئورسانس کلروفیل و عملکرد سه رقم سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.)" در منطقه گندمان، استان چهارمحال و بختیاری، ایران، در دو سال زراعی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به منظور بررسی تاثیر برهمکنش کلسیم و جاسمونیک اسید بر پارامترهای فلئورسانس کلروفیل و عملکرد سه رقم سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.)، در سال‌های زراعی ۱۳۹۳ و ۱۳۹٤ در منطقه گندمان، استان چهارمحال و بختیاری (ایران) و در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه پیام نور گندمان اجرا شد. مکان آزمایش دارای موقعیت ۵۱ درجه و ۹ دقیقه شرقی طول جغرافیایی و ۳۱ درجه و ۵۲ دقیقه شمالی عرض جغرافیایی و با ارتفاع ۲۲۷۰ متر از سطح دریا بود.

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. عامل اول شامل سه رقم جلی، فونتین و بورن بود. بورن، نتیجه برنامه اصلاحی ارقام مارفونا و اسپونتا بود که غده‌های تولیدی آن بیضی شکل با رنگ پوست و گوشت زرد، دارای چشم‌های سطحی و پوست صاف و براق می‌باشد؛ این رقم میان رس بوده و بسته به شرایط آب و هوایی منطقه‌ی کاشت، دارای دوره رشدی بین ۷۵ تا ۹۰ روز می‌باشد. فونتین، رقمی میان‌رس بوده که نتیجه برنامه اصلاحی ارقام اگریا و AR 76-034-03 می‌باشد که دارای ارتفاع بوته متوسط تا بلند و غده‌های تولیدی آن بیضی شکل، رنگ پوست سفید، رنگ گوشت آن نیز زرد می‌باشد. جلی، رقمی نسبتا دیررس است که حاصل تلاقی بین رقم مارابل و 173-87-4476 بوده و دارای ارتفاع بوته بلند، غده‌های بیضی شکل، درشت و عملکرد بسیار بالا می‌باشد؛ و عامل دوم، ترکیبی از تیمارهای مختلف کلسیم و جاسمونیک اسید (با غلظت ۵ میکرومولار) (Zhang *et al*., 2006) بود.

عامل ترکیبی در شش سطح به شکل زیر اعمال شد: ۱- کلسیم + جاسمونیک اسید در مرحله قبل از تشکیل ریزوم‌ها (T_1)؛ ۲- کلسیم + جاسمونیک اسید در مرحله بعد از تشکیل ریزوم‌ها (T_2)؛ ۳- جاسمونیک اسید در مرحله قبل از تشکیل ریزوم‌ها (T_3)؛ ٤- جاسمونیک اسید در مرحله بعد از تشکیل ریزوم‌ها (T_4)؛ ۵- کلسیم از منبع نیترات کلسیم (T_5)؛ ٦- شاهد (عدم کاربرد هر دو فاکتور) (T_6). جهت تهیه محلول‌های هورمونی مورد نظر ابتدا تنظیم کننده رشد، در نیم میلی‌لیتر محلول سود یک نرمال حل شد و با آب مقطر به حجم مورد نظر رسانده شد. از تیپول (Fluka, Riedel-de Haen) با نسبت حجم در حجم (v/v) ۰/۵ درصد به عنوان مویان استفاده شد. گیاهان شاهد نیز با آب مقطر همراه با تیپول با نسبت حجم در حجم (v/v) ۰/۵ درصد تیمار شدند. در هر مرحله جهت اطمینان از جذب شدن جاسمونیک اسید توسط گیاه، عمل محلول پاشی چهار روز متوالی به طول انجامید. جهت جلوگیری از تجزیه سریع هورمون بوسیله نور خورشید، پاشش هورمون بعد از غروب آفتاب انجام شد. در هر مرحله تمامی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.23.16.9]

جدول ۱- مشخصات خاک مزرعه

هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	PH	ماده آلی (درصد)	فسفر قابل دسترس (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم قابل دسترس (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	نیتروژن (درصد)	کلسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
۰/۵۳۹	۸/۲۸	۱/۰۷۲	۱۵/٤	۳۰٦	۰/۰۹٦	۱۷۸

بوته‌های موجود در کرت مورد نظر به نحوی محلول پاشی شدند که کاملا خیس شوند. تیمار کلسیم نیز از منبع نیترات کلسیم (حاوی ۱۵/۵ درصد ازت و ۱۹ درصد کلسیم) تأمین شد؛ به نحوی که مجموع کلسیم خالص مورد استفاده در تیمارهای مربوطه ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار باشد؛ برای کلیه تیمارها در مرحله قبل از کاشت، به خاک اضافه شد (Ozgen *et al*., 2004 and Ozgen *et al*., 2006).

زمین مورد آزمایش در پاییز سال قبل شخم عمیق زده شد. عملیات دیسک و تسطیح زمین در بهار سال بعد صورت گرفت؛ همراه با تهیه زمین کودهای فسفره و پتاسه بر اساس نتایج تجزیه خاک (جدول ۱) به ترتیب از منابع فسفات آمونیوم و سولفات پتاسیم به نحوی که مجموع خالص عناصر فسفر و پتاسیم در کلیه تیمارها به ترتیب برابر ۲۰۰ و ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار شود اعمال شد. کود نیتروژنه نیز از منبع اوره بوده و بصورت سرک و به نحوی که یک سوم آن موقع کاشت و دو سوم بقیه در دو مرحله در زمان خاکدهی اول و ۱۵ روز پس از آن به صورت محلول پاشی و همراه با سیستم آبیاری اعمال شد. مجموع نیتروژن خالص مورد استفاده نیز در کلیه تیمارها ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار لحاظ شد (میزان نیتروژن موجود در کود نیترات کلسیم در این مقدار لحاظ شد). هر واحد آزمایشی دارای ٦ متر طول و ۳ متر عرض و دارای ٤ ردیف کاشت بود. غده‌های بذری از ۳ رقم مورد نظر جلی، فونتین و بورن با کلاس بذری یکسان انتخاب شدند. غده‌های مورد نیاز از هر رقم یک هفته قبل از کاشت از سردخانه خارج و در دمای معمولی نگهداری شدند. سپس غده‌ها در ردیف‌های کاشت با فاصله ۷۵ سانتی‌متر و با فاصله ۲۵ سانتی‌متر از یکدیگر در ۱۵ خرداد کشت شدند. آبیاری کرت‌ها نیز بصورت سیستم آبیاری بارانی و از نوع کلاسیک ثابت بود.

برای اندازه‌گیری فلئورسانس کلروفیل از دستگاه فلورمتر (مدل OS1-FL) که توانایی اندازه‌گیری فلئورسانس را در دو حالت روشنایی و تاریکی دارد، استفاده شد. اندازه‌گیری‌ها در دو مرحله قبل و بعد از ریزوم‌دهی در ساعت ۱۰ صبح تا ١٤ بعد از ظهر انجام شد. در هر کرت ۵ بوته و از هر بوته دو برگ کاملا باز شده جوان انتخاب شد و مؤلفه‌های فلئورسانس کلروفیل شامل: Fm (فلئورسانس حداکثر در شرایط سازگار شده با تاریکی)، Fo (فلئورسانس حداقل در شرایط سازگار شده با تاریکی)، Fv/Fm (حداکثر عملکرد کوآنتومی در شرایط سازگار شده با تاریکی)، Fm' (فلئورسانس حداکثر در شرایط سازگار شده با نور)، Fo' (فلئورسانس حداقل در شرایط سازگار شده با نور)، ΦPSII (عملکرد کوآنتومی فتوسیستم دو)، qp (خاموشی فتو شیمیایی) و qN (مؤلفه خاموشی غیر فتوشیمیایی کلروفیل برانگیخته) برای آنها ثبت شد (جدول ۲).

میزان کلروفیل برگ نیز در دو مرحله قبل و بعد از ریزوم‌دهی به روش پیشنهادی آرنون (Arnon, 1940) مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین صورت که پس از تهیه عصاره الکلی از نمونه‌ها، جذب نور توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ٦٦۳ و ٦٤۵ نانومتر قرائت شد و سپس با استفاده از روابط مربوطه، میزان کلروفیل محاسبه شد.

در مرحله رسیدگی (مصادف با سرمازدگی پاییزه در منطقه)، عملکرد و اجزای عملکرد بر آورد شد؛ بدین منظور جهت حذف اثر حاشیه‌ای در هر کرت، برداشت از ردیف‌های وسطی با مساحتی معادل ۲/۵ متر مربعی صورت گرفت. جهت تعیین ماده خشک غده‌های تولیدی، از هر تکرار ۹ غده (در اندازه‌های بذری، خوراکی و کوچکتر از سایز بذری هر کدام ۳ غده) به صورت تصادفی انتخاب و در طول برش داده شدند؛ سپس از برش‌های طولی، ورقه‌هایی به صورت چیپس نازک تهیه و پس از توزین به مدت ٤۸ ساعت در آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. پس از خشک شدن نمونه‌ها مجدداً آنها

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.23.16.9]

جدول ۲- مؤلفه‌های مورد بررسی و معادله‌های مربوطه

معادله	شناسه	مؤلفه
		مؤلفه‌های خاموشی فتو شیمیایی Photochemical quenching parameters
(Fm′- Ft)/ Fm′	ΦPSII	عملکرد کوآنتومی فتوسیستم دو Quantum yield of PSII
(Fm′- Ft)/ (Fm′- F0)	qP	خاموشی فتو شیمیایی Photochemical quenching
(Fm- F0)/ Fm	Fv:Fm	حداکثر عملکرد کوآنتومی فتوسیستم دو Maximum quantum yield of PSII
(Fm-Fm′)/ Fm′	qN	مؤلفه خاموشی غیر فتوشیمیایی Non-photochemical quenching

Fm (فلئورسانس حداکثر در شرایط سازگار شده با تاریکی)، Fo (فلئورسانس حداقل در شرایط سازگار شده با تاریکی)، Fm′ (فلئورسانس حداکثر در شرایط سازگار شده با نور)، Fo (فلئورسانس حداقل در شرایط سازگار شده با نور) و Ft (فلئورسانس حداکثر در شرایط تعادل نوری).

را توزین نموده و نهایتا درصد ماده خشک محاسبه شد.

نهایتا تجزیه مرکب داده‌ها با استفاده از نرم افزارهای SAS و Excel صورت گرفت. با توجه به معنی‌دار شدن برهمکنش رقم و تیمارهای آزمایش، مقایسه میانگین‌های این اثر به صورت برش‌دهی و به روش LS means انجام شد.

نتایج و بحث:

نتایج بدست آمده از جدول تجزیه واریانس، نشان داد که اثرات اصلی رقم (C) و تیمارهای مورد آزمایش (T) و برهمکنش رقم و تیمار (C^*T)، برای کلیه صفات مورد بررسی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳ و ٤). همچنین اثر اصلی سال (Y)، برهمکنش سال و تیمار (Y^*T)، سال و رقم (Y^*C) و همچنین برهمکنش سه‌گانه سال، رقم و تیمار (Y^*C^*T)، برای هیچکدام از صفات مورد بررسی معنی‌دار نشد (جدول ۳ و ٤).

پارامترهای فلئورسانس کلروفیل: اثر متقابل رقم و تیمار برای صفت حداکثر عملکرد کوآنتومی فتوسیستم دو، در مرحله قبل از ریزوم‌دهی در سطح یک درصد و در مرحله بعد از ریزوم‌دهی در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). با توجه به نتایج به دست آمده مشاهده می‌شود که تیمارهای مختلف آزمایش در خصوص صفت حداکثر عملکرد کوآنتومی فتوسیستم دو در شرایط سازگار با تاریکی (Fv/Fm) که نشان دهنده ظرفیت انتقال الکترون در فتوسیستم دو (PSII) می‌باشد (Shardendu *et al*., 2015., Belkhodja *et al*., 1994 and Hazem *et al*., 2014) ؛ در هر دو مرحله قبل و بعد از ریزوم‌دهی اثرات متفاوتی را بر ارقام مورد بررسی داشتند (جدول ۵). بطوریکه در مرحله قبل از ریزوم‌دهی، تیمار T_1 در خصوص صفت Fv/Fm در هر سه رقم جلی، فونتین و بورن بیشترین میزان (به ترتیب ۰/۸۳۲، ۰/۸۱۳ و ۰/۷۹۷) را به خود اختصاص داد؛ که با سایر تیمارها دارای تفاوت معنی‌دار بود (جدول ۵). کمترین میزان Fv/Fm نیز مربوط به تیمارهای T_4 در ارقام جلی (۰/۷۷۰) و فونتین (۰/۷۶۰) و تیمار T_5 در رقم بورن (۰/۷۵۵) بود (جدول ۵). در مرحله بعد از ریزوم‌دهی نیز تیمار T_1 بطور معنی‌داری، با میانگین‌های ۰/۸۳۰، ۰/۸۲۳ و ۰/۸۲۸ به ترتیب مربوط به ارقام جلی، فونتین و بورن، بیشترین میزان صفت حداکثر عملکرد کوآنتومی فتوسیستم دو را به خود اختصاص داد. همچنین کمترین میزان آن در تیمار T_5 در رقم جلی و در تیمارهای T_5 و T_4 به ترتیب، در ارقام فونتین و بورن مشاهده شد (جدول ۵).

گزارش شده است که نسبت Fv/Fm در حد ۰/۸۵ در گیاهان با سلامت کامل و بدون وجود تنش بدست می‌آید و مقادیر کمتر از ۰/۸۵، حاکی از وجود انواع تنش‌های زنده و غیر زنده روی گیاهان می‌باشد (Kalaji and Guo, 2008). از آنجا که داده‌های بدست آمده از Fv/Fm حتی در گیاهان شاهد که در وضعیت آبی مناسبی بودند کمتر از ۰/۸۵ بود؛ می‌توان بیان کرد که برخی از تنش‌ها از جمله تنش دمای بالا این نسبت را کاهش داده است.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.23.16.9]

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس پارامترهای فلئورسانس کلروفیل، در برهمکنش کلسیم و جاسمونیک اسید در سه رقم سیب‌زمینی

		مرحله قبل از ریزوم‌دهی				مرحله بعد از ریزوم‌دهی			
	df	Fv/Fm	ΦPSII	qp	qN	Fv/Fm	ΦPSII	qp	qN
سال	۱	۰/۰۰۰۴۹^{ns}	۰/۰۰۴۴^{ns}	۰/۰۰۰۰۹^{ns}	۰/۰۰۶۵۳^{ns}	۰/۰۰۰۲۴^{ns}	۰/۰۰۲۷۰^{ns}	۰/۰۰۰۰۳^{ns}	۰/۰۰۳۶۸^{ns}
بلوک (سال)	۴	۰/۰۰۱۲۷**	۰/۰۰۵۲**	۰/۰۰۸۲۶**	۰/۰۰۲۱۴**	۰/۰۰۰۳۷*	۰/۰۰۰۵^{ns}	۰/۰۰۰۴۱*	۰/۰۰۲۶۹**
رقم	۲	۰/۰۰۶۳۳*	۰/۰۰۸۲*	۰/۰۰۴۹۰*	۰/۰۰۰۶۴*	۰/۰۰۰۱۸*	۰/۰۰۰۳۸*	۰/۰۰۰۲۲*	۰/۰۰۸۳۸*
تیمار	۵	۰/۰۰۶۷۴**	۰/۰۲۴۵**	۰/۰۲۹۲۷**	۰/۰۲۲۱۶**	۰/۰۰۲۱۲**	۰/۰۰۳۰۹**	۰/۰۰۳۹۲**	۰/۰۴۴۵۰**
رقم × تیمار	۱۰	۰/۰۰۰۳۸**	۰/۰۰۴۹**	۰/۰۰۴۹۷**	۰/۰۰۰۲۳**	۰/۰۰۰۰۶*	۰/۰۰۰۱۴*	۰/۰۰۰۰۱۱*	۰/۰۰۱۳۱**
سال × رقم	۲	۰/۰۰۱۵۳^{ns}	۰/۰۰۱۴^{ns}	۰/۰۰۰۱۸^{ns}	۰/۰۰۰۵۴^{ns}	۰/۰۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۷۷^{ns}	۰/۰۰۰۲۶^{ns}
سال × تیمار	۵	۰/۰۰۰۸^{ns}	۰/۰۰۰۳^{ns}	۰/۰۰۰۳۳^{ns}	۰/۰۰۰۰۷^{ns}	۰/۰۰۰۱۴^{ns}	۰/۰۰۰۰۸^{ns}	۰/۰۰۰۳۵^{ns}	۰/۰۰۰۰۱^{ns}
سال × رقم × تیمار	۱۰	۰/۰۰۰۰۵^{ns}	۰/۰۰۰۰۴^{ns}	۰/۰۰۰۲۱^{ns}	۰/۰۰۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۰۰۴^{ns}	۰/۰۰۰۰۸^{ns}	۰/۰۰۰۰۶^{ns}
خطا	۶۸	۰/۰۰۰۹۸	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۰۲۷	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۰۹۴	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۳۰	۰/۰۰۰۰۱۹
ضریب تغییرات		۴/۱۱	۵/۲۲	۲/۳۲	۴/۳۳	۳/۷۱	۵/۱۱	۷/۱۱	۱/۹۱

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

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس محتوای کلروفیل، ماده خشک و عملکرد در برهمکنش کلسیم و جاسمونیک اسید در سه رقم سیب‌زمینی

منابع تغییرات		مرحله قبل از ریزوم‌دهی			مرحله بعد از ریزوم‌دهی				
	df	مجموع کلروفیل a و b	کلروفیل a	کلروفیل b	مجموع کلروفیل a و b	کلروفیل a	کلروفیل b	ماده خشک غده	عملکرد غده
سال	۱	۰/۰۰۰۰۶^{ns}	۰/۰۰۰۰۵۲۴^{ns}	۱/۵۶۴۸^{ns}	۰/۰۰۰۰۳۹^{ns}	۰/۰۰۰۰۳۱^{ns}	۲/۶۰۱^{ns}	۱۵/۳۸۳۱^{ns}	۱/۸۵۶۵^{ns}
بلوک (سال)	۴	۰/۰۰۰۰۵*	۰/۰۰۰۰۵۴**	۷/۸۷۰۳**	۰/۰۰۰۰۰۶**	۰/۰۰۰۰۰۶**	۱/۲۶۹^{ns}	۱/۳۵۱۹**	۰/۵۳۶۳**
رقم	۲	۰/۰۰۰۰۶**	۰/۰۰۰۰۵۷**	۱/۸۷۸۷*	۰/۰۰۰۰۵۹*	۰/۰۰۰۰۵۵*	۵/۲۷۸*	۸۷/۶۲۵۰**	۱۱/۹۵۲۶**
تیمار	۵	۰/۰۰۰۰۶**	۰/۰۰۰۰۵۹**	۳/۱۶۵۳**	۰/۰۰۰۶۸۰**	۰/۰۰۰۶۳۳**	۱/۱۳۵**	۱۰/۵۰۴۳**	۳/۱۵۵۷**
رقم × تیمار	۱۰	۰/۰۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۰۰۳**	۲/۰۳۱۴**	۰/۰۰۰۰۰۴**	۰/۰۰۰۶۳۳**	۲/۵۰۶**	۰/۰۴۰۷**	۰/۰۷۵۶**
سال × رقم	۲	۰/۰۰۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۱^{ns}	۱/۵۰۹۲^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۵^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۴۴^{ns}	۲/۵۶۵^{ns}	۰/۰۲۶۸^{ns}	۰/۰۰۰۱^{ns}
سال × تیمار	۵	۰/۰۰۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۱^{ns}	۲/۳۱۴۸^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۱^{ns}	۱/۲۳۱^{ns}	۰/۰۱۱۶^{ns}	۰/۰۰۰۲^{ns}
سال × رقم×تیمار	۱۰	۰/۰۰۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۱^{ns}	۱/۷۵۹۳^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۰۱^{ns}	۱/۸۷۱^{ns}	۰/۰۰۷۶^{ns}	۰/۰۰۰۱^{ns}
خطا	۶۸	۰/۰۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۰۱	۷/۵۲۲۷	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۰۶۸	۱/۲۲۰	۰/۰۱۲۰	۰/۰۰۸۲
ضریب تغییرات		۴/۳۶	۳/۳۵	۴/۳۷	۱/۱۰	۳/۱۹	۵/۱۰	۵/۴۹	۶/۸۳

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

مؤلفه ΦPSII بیانگر عملکرد کوانتومی فتوسیستم نوری دو، در شرایط روشنایی بوده و تخمینی از کارآیی جذب نور به وسیله آنتن فتوسیستم دو (PSII) برای فرآیندهای فتو شیمیایی (احیای QA) می‌باشد (Singh *et al.*, 2015 and Kalaji *et al.*, 2014). این صفت برای ارقام مختلف در تیمارهای آزمایش متفاوت ظاهر شد (جدول ۵). بیشترین میزان ΦPSII در هر دو مرحله قبل و بعد از ریزوم‌دهی در ارقام جلی و فونتین مربوط به تیمار T_1 و در رقم بورن در مرحله قبل از ریزوم‌دهی در تیمار T_3 مشاهده شد (جدول ۵). کمترین میزان ΦPSII در مرحله قبل از ریزوم‌دهی برای رقم جلی در تیمار T_6 و برای

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.23.16.9]

جدول ۵- مقایسه میانگین برهمکنش کلسیم و جاسمونیک اسید برای صفات مورد بررسی به روش LS means

		مرحله قبل از ریزوم‌دهی				مرحله بعد از ریزوم‌دهی			
رقم	تیمار	Fv/Fm	ΦPSII	qp	qN	Fv/Fm	ΦPSII	qp	qN
جلی	T1	۰/۸۳۲^{a}	۰/۸۰۵^{a}	۰/۷۸۰^{a}	۰/۶۹۵^{e}	۰/۸۳۰^{a}	۰/۸۱۲^{a}	۰/۷۸۷^{a}	۰/۶۴۵^{e}
	T2	۰/۷۹۳^{c}	۰/۷۵۰^{d}	۰/۷۲۰^{d}	۰/۷۵۳^{c}	۰/۸۲۷^{b}	۰/۸۰۷^{b}	۰/۷۷۲^{bc}	۰/۶۵۸^{e}
	T3	۰/۸۱۸^{b}	۰/۷۸۳^{b}	۰/۷۴۲^{b}	۰/۷۳۲^{d}	۰/۸۱۳^{cd}	۰/۷۸۸^{c}	۰/۷۶۵^{cd}	۰/۷۱۰^{c}
	T4	۰/۷۷۰^{e}	۰/۷۲۵^{e}	۰/۶۸۷^{e}	۰/۷۸۶^{b}	۰/۸۱۰^{cd}	۰/۷۹۰^{c}	۰/۷۵۷^{de}	۰/۶۷۰^{d}
	T5	۰/۷۹۳^{c}	۰/۷۶۳^{c}	۰/۷۳۰^{c}	۰/۷۵۸^{c}	۰/۸۰۰^{e}	۰/۷۸۰^{d}	۰/۷۵۲^{e}	۰/۷۱۵^{b}
	T6	۰/۷۸۲^{d}	۰/۷۱۲^{f}	۰/۶۷۵^{ef}	۰/۸۰۳^{a}	۰/۸۰۸^{d}	۰/۷۷۹^{d}	۰/۷۴۰^{f}	۰/۸۲۳^{a}
	T1	۰/۸۱۳^{a}	۰/۷۹۰^{a}	۰/۷۷۳^{a}	۰/۷۱۳^{f}	۰/۸۲۳^{a}	۰/۸۰۵^{a}	۰/۷۷۸^{a}	۰/۶۵۸^{e}
فونتین	T2	۰/۷۶۸^{d}	۰/۷۷۳^{b}	۰/۷۴۷^{b}	۰/۷۴۳^{d}	۰/۸۲۰^{b}	۰/۸۰۰^{ab}	۰/۷۷۵^{ab}	۰/۶۶۷^{e}
	T3	۰/۷۸۷^{b}	۰/۷۷۰^{bc}	۰/۷۴۸^{b}	۰/۷۲۵^{e}	۰/۸۱۳^{c}	۰/۷۹۲^{c}	۰/۷۷۰^{ab}	۰/۷۰۵^{d}
	T4	۰/۷۶۰^{e}	۰/۶۹۰^{d}	۰/۶۶۲^{d}	۰/۷۷۷^{b}	۰/۸۰۳^{de}	۰/۷۷۲^{e}	۰/۷۵۰^{de}	۰/۷۳۷^{b}
	T5	۰/۷۸۳^{c}	۰/۷۷۰^{bc}	۰/۷۴۰^{b}	۰/۷۵۷^{c}	۰/۸۰۷^{e}	۰/۷۸۲^{d}	۰/۷۵۳^{cde}	۰/۷۱۰^{c}
	T6	۰/۷۶۳^{de}	۰/۷۰۵^{c}	۰/۶۸۳^{c}	۰/۷۹۵^{a}	۰/۸۰۷^{e}	۰/۷۲۰^{e}	۰/۷۴۳^{de}	۰/۸۰۰^{a}
	T1	۰/۷۹۷^{a}	۰/۷۶۹^{b}	۰/۷۶۸^{a}	۰/۶۹۵^{f}	۰/۸۲۸^{a}	۰/۸۰۸^{a}	۰/۷۷۸^{a}	۰/۶۳۸^{e}
بورن	T2	۰/۷۶۳^{cd}	۰/۷۰۵^{d}	۰/۶۷۷^{de}	۰/۷۴۳^{d}	۰/۸۲۲^{b}	۰/۷۹۳^{b}	۰/۷۶۸^{ab}	۰/۶۵۸^{e}
	T3	۰/۷۹۳^{ab}	۰/۷۸۰^{a}	۰/۷۶۷^{a}	۰/۷۲۰^{e}	۰/۸۱۰^{c}	۰/۷۹۰^{cd}	۰/۷۵۷^{cd}	۰/۷۱۳^{d}
	T4	۰/۷۵۸^{e}	۰/۶۴۰^{e}	۰/۶۱۵^{f}	۰/۷۷۸^{b}	۰/۸۱۲^{c}	۰/۷۸۵^{d}	۰/۷۵۸^{c}	۰/۷۲۸^{c}
	T5	۰/۷۵۵^{e}	۰/۷۱۲^{d}	۰/۶۸۲^{d}	۰/۷۴۸^{cd}	۰/۷۹۸^{d}	۰/۷۸۰^{e}	۰/۷۴۳^{e}	۰/۷۲۸^{c}
	T6	۰/۷۶۸^{c}	۰/۷۶۲^{bc}	۰/۷۳۳^{c}	۰/۷۹۳^{a}	۰/۷۹۸^{d}	۰/۷۷۰^{f}	۰/۷۴۰^{ef}	۰/۷۹۸^{a}
	تیمار	Fv/Fm	ΦPSII	qp	qN	Fv/Fm	ΦPSII	qp	qN

***در هر ستون وجود حداقل یک حرف مشترک نشان دهنده عدم وجود تفاوت آماری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.**

ارقام فونتین و بورن در تیمار $T_۴$ مشاهده شد. تیمار $T_۶$ نیز در مرحله بعد از ریزوم‌دهی کمترین مقادیر ΦPSII (میزان ۰/۷۷۹برای رقم جلی، ۰/۷۲۰ برای رقم فونتین و ۰/۷۷۰ برای رقم بورن) را در کلیه ارقام مورد بررسی به خود اختصاص داد (جدول ۵).

با توجه به نتایج بدست آمده (جدول ۵)، در خصوص دو صفت Fv/Fm و ΦPSII، در کلیه ارقام مورد بررسی، چنین می‌توان استنباط نمود که تیمارهای $T_۱$ ، $T_۳$ و $T_۵$ که زمان اعمال آنها قبل از ریزوم‌دهی بود؛ در مرحله اول اندازه‌گیری، دارای بیشترین مقادیر بودند و این افزایش تا مراحل بعد از ریزوم‌دهی، تداوم داشت. بعلاوه سایر تیمارها (تیمارهای $T_۲$ و $T_۴$)، که زمان اعمال آنها بعد از ریزوم‌دهی بود، در مرحله اول علیرغم داشتن تفاوت معنی‌دار با شاهد دارای میانگین بالایی نبودند؛ اما در مرحله بعد از ریزوم‌دهی و با شروع اعمال تیمار، این میزان افزایش یافت. که این مطلب بیانگر این است که اعمال تنظیم کننده رشد جاسمونیک اسید و کلسیم در هر دو مرحله قبل و بعد از ریزوم‌دهی، باعث کاهش اثرات نا مطلوب تنش دمایی (ناشی از گرمای تابستان) و کمبود عناصر غذایی بر اجزای فتوسنتز و باعث کاهش آشفتگی کلروپلاست شد؛ بعلاوه این اثرات مثبت زمانیکه جاسمونیک اسید و کلسیم بصورت ترکیبی و در زمان قبل از ریزوم‌دهی اعمال شد بیشتر بود (جدول ۵).

اسید جاسمونیک از طریق تحریک ریشه‌زایی در سیب‌زمینی باعث افزایش جذب آب و مواد غذایی و نهایتا منجر به تحریک رشد رویشی، بهبود فرایند تولید ریز غده و ایجاد گیاهچه‌های قوی می‌شود (Cenzanoa *et al*., 2007 and Martin *et al*., 1998)؛ که این امر سبب بهبود کارکرد سیستم فتوسنتزی گیاه و نهایتا افزایش مولفه‌های حداکثر عملکرد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.23.16.9]

کوآنتومی فتوسیستم دو و عملکرد کوانتومی فتوسیستم نوری دو می‌شود.

در شرایط مطلوب رشد گیاه، دستگاه فتوسنتزی گیاه دارای یک تعادل ظریفی بین فرآیندهای فلئورسانس کلروفیل مانند عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو، شدت جریان الکترون و میزان جذب CO_2 می‌باشد؛ حال هرگاه گیاه در شرایط تنش، مانند تنش کمبود مواد غذایی و گرما قرار گیرد در میزان جذب CO_2 نقصان ایجاد می‌شود و در نتیجه آن کاهش مصرف انرژی شیمیایی رخ می‌دهد و نهایتا تعادل بین فرآیندهای فتوسنتزی بر هم می‌خورد و باعث القای بازدارندگی نوری در فتوسیستم دو و نهایتا منجر به وارد شدن خسارت به دستگاه فتوسنتزی می‌شود (Singh *et al*., 2015).

برخورد دوره رشد سریع گیاه و شروع غده‌زایی میزان بالایی از کلسیم را می‌طلبد، اما دمای بالای محیط و تعرق شدید گیاه و انتقال کلسیم از غده به بخش هوایی و از سوی دیگر تحرک پایین کلسیم، موجب کاهش میزان کلسیم در غده‌ها می‌شود. این فرآیند نهایتاً سبب تخلیه کلسیم از اندام زیرزمینی شده و جهت مقابله با گرما به اندام هوایی منتقل می‌شود و باعث کاهش شدیدتر کلسیم در غده‌ها می‌شود (*et al*., 2006 Karlsson).

Kalaji و همکاران (۲۰۱٤) نیز در تحقیقات خود در زمینه بررسی کمبود عناصر غذایی پر مصرف و کم مصرف بر فتوسنتز و پارامترهای فلئورسانس کلروفیل در گوجه فرنگی و ذرت بیان نمودند که کمبود عناصر غذایی دارای یک اثر سوء بر فرآیند و کارکرد سیستم فتوسنتزی می‌باشد؛ و کمبود هر عنصر غذایی با توجه به جایگاه و کارکردی که دارد باعث اثر بر بخش خاصی از سیستم فتوسنتزی می‌شود. به عنوان مثال کمبود کلسیم باعث کاهش شدید در کارکرد فتوسیستم دو می‌شود (Kalaji *et al*., 2014).

مؤلفه دیگری که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت qP یا خاموشی فتوشیمیایی الکترون می‌باشد. با توجه به نتایج بدست آمده (جدول ۵) مشاهده شد که این مؤلفه در ارقام مورد بررسی بطور معنی‌داری تحت تاثیر تیمارهای مورد آزمایش قرار گرفت (جدول ۵)؛ بطوریکه در هر دو مرحله قبل و بعد از ریزوم‌دهی، تیمارهایی که اعمال آنها قبل از ریزوم‌دهی بود (تیمارهای T_1 ، T_3 و T_5) در هر سه رقم مورد بررسی، بالاترین مقادیر را به خود اختصاص دادند؛ که در این میان تیمار T_1 بیشترین میزان خاموشی فتوشیمیایی الکترون را در کلیه ارقام مورد بررسی به خود اختصاص داد (جدول 5). کمترین میزان qP در مرحله قبل از ریزوم‌دهی در رقم جلی (به میزان ۰/٦۷۵) مربوط به تیمار T_6 و در دو رقم فونتین و بورن (به ترتیب به میزان ۰/٦٦۲ و ۰/٦۱۵) به تیمار T_4 تعلق گرفت. در مرحله بعد از ریزوم‌دهی نیز کمترین میزان خاموشی فتوشیمیایی الکترون، در کلیه ارقام مورد بررسی به تیمار T_6 تعلق گرفت (جدول ۵). تیمارهای T_2 و T_4 که در مرحله قبل از ریزوم‌دهی میانگین بالایی را نداشتند، پس از اعمال تیمارها (زمان بعد از ریزوم‌دهی) به ترتیب به میزان ۷/۲۲ و ۱۱/۳۵ درصد در رقم جلی؛ ۳/۷۵ و ۱۳/۲۹ درصد در رقم فونتین و ۱۳/٤٤ و ۲۳/۲۵ درصد در رقم بورن افزایش یافتند (جدول ۵). این مطلب موید این نکته است که تنظیم کننده رشد جاسمونیک اسید و کلسیم توانسته اند اثر مثبتی بر کارکرد فتوسنتز داشته باشند.

اگر گیاهی نتواند انرژی بیش از حد خورشید را بصورت فلئورسانس آزاد کند، انرژی بیش از حد از طریق کلروفیل به اکسیژن منتقل می‌شود که منجر به خسارت فتواکسیداتیو می‌شود. علائم اولیه چنین خسارتی در پروتئین D_1 در سیستم نوری دو ظاهر می‌شود و در ادامه خسارت بیش از حد منجر به تخریب غشاها و اکسیداسیون کلروفیل می‌شود (Singh *et al*., 2015 and Kalaji *et al*., 2014).

در مطالعه ای که Greer (2015) اثرات افزایش درجه حرارت در تابستان را بر فتوسنتز و مولفه‌های آن مورد بررسی قرار داده بود، نتیجه گرفت که با افزایش درجه حرارت میزان Fv/Fm و qP بطور معنی‌داری کاهش پیدا کردند و با افزایش دمای تابستان تا ٤۰ درجه سانتی‌گراد میزان کاهش شدیدتر شد. به عنوان مثال، میزان اتفاء فتوشیمیایی که در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد بیشترین میزان را داشت با فزایش دما به طور طبیعی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.23.16.9]

در تابستان کاهش پیدا کرد؛ به نحوی که با افزایش دما تا ٤٠ درجه سانتی‌گراد با یک الگوی خطی کاهش یافت که این کاهش تا ۱۰ تا ۱۵ درصد مقدار اولیهqP ادامه داشت.

در این پژوهش اعمال خارجی جاسمونیک اسید با افزایش کسترش سیستم ریشه‌ای، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، افزایش رشد گیاه و افزایش کلروفیل (Martin *et al.*, 1998) از یک سو و کلسیم به واسطه القاء پروتئین های شوک حرارتی (Hsps)، تحریک سنتز چاپرونین‌های مولکولی، بازسازی و سنتز پروتئین‌های تخریب شده ناشی از استرس (Zhou *et al.*, 2009) از سوی دیگر، اثرات سوء تنش دمایی بر سیب‌زمینی را کاهش داده و از این طریق باعث بهبود مولفه‌های فلئورسانس کلروفیل در گیاهان تحت تیمار شده.

مؤلفه خاموشی غیر فتوشیمیایی (qN) که بیانگر عدم کارایی چرخه تاریکی فتوسنتز می‌باشد، برای ارقام مورد بررسی در تیمارهای مختلف متفاوت ظاهر شد؛ بطوریکه بیشترین میزان آن در مرحله قبل و بعد از ریزوم‌دهی در کلیه ارقام مورد بررسی مربوط به تیمار شاهد ($T_٦$) بود (جدول ٥). در این خصوص پایین ترین رتبه در کلیه ارقام مورد آزمایش در هر دو مرحله قبل و بعد از ریزوم‌دهی در تیمار $T_١$ دیده شد. با اعمال تیمارهای $T_٢$ و $T_٤$ (زمان اعمال این دو تیمار بعد از ریزوم‌دهی است) میزان مؤلفه خاموشی غیر فتوشیمیایی آنها در مرحله بعد از ریزوم‌دهی، در کلیه ارقام مورد آزمایش کاهش معنی‌داری پیدا کرد؛ بطوریکه این میزان کاهش در ارقام مورد بررسی در تیمارهای $T_٢$ و $T_٤$ به ترتیب ۱۲/٦۱ و ١٤/٧٦ درصد برای رقم جلی، ۱۰/۲۳ و ۵/۱۵ درصد برای رقم فونتین و ١١/٤٤ و ٦/٤٣ درصد برای رقم بورن بود (جدول ٥).

در مطالعه اثر همزمان تابش زیاد و خشکی شدید روی آفتابگردان، که توسط Joao و همکاران (۲۰۰٦) صورت گرفت؛ مشخص شد که تابش و خشکی شدید موجب کاهش معنی‌دار صفات بیشینه کارآیی کوانتومی فتوسیستم دو، میزان انتقال الکترون، تبادل گازی و آسیمیلاسیون دی‌اکسید کربن شد و در مقابل ضریب خاموشی غیر فتوشیمیایی به میزان ٤٠ درصد افزایش یافت که نشان دهنده افزایش پراکندگی گرمایی فتوسیستم دو می‌باشد.

با توجه به نتایج بدست آمده چنین می‌توان استنباط نمود که تیمارهای اعمال شده، با جلوگیری از افزایش بیش از حد اتلاف حرارتی نور یا همان خاموشی غیر فتوشیمیایی (qN)، و از طرف دیگر بالا نگه داشتن، خاموشی فتوشیمیایی (qP) که بیانگر کارکرد فتوشیمیایی دستگاه فتوسنتزی است و ارتباط مستقیمی با تولید ATP و NADPH به عنوان گیرنده‌های اصلی الکترون‌های برانگیخته در چرخه روشنایی دستگاه فتوسنتزی دارد (Franchboud and Leipner, 2003 and Bazzaz, 1996)، باعث جلوگیری از کاهش بیش از حد عملکرد کوآنتومی فتوسیستم دو (ΦPSII) و حداکثر عملکرد کوآنتومی در شرایط سازگار شده با تاریکی (Fv/Fm) شده و از این طریق حصول تولید و عملکرد بالا را در آینده تظمین کرده است (Franchboud and Leipner, 2003).

محتوای کلروفیل برگ: بیشترین میزان صفات کلروفیل a (Chla)، کلروفیل b (Chlb) و کلروفیل a+b (Chla+b) در هر دو مرحله قبل و بعد از ریزوم‌دهی در کلیه ارقام مورد بررسی به تیمار $T_١$ تعلق گرفت؛ که با سایر تیمارها دارای تفاوت معنی‌داری بود (جدول ٦). کمترین میزان هر سه صفت یاد شده در مرحله قبل از ریزوم‌دهی برای رقم جلی و فونتین در تیمار $T_٦$ و برای رقم بورن در تیمار $T_٥$ مشاهده شد (جدول ٦). با شروع اعمال تیمارهای فاز دوم (بعد از ریزوم‌دهی)، رتبه بندی تیمارها برای صفات فوق‌الذکر در مرحله بعد از ریزوم‌دهی تغییر کرد و موجب افزایش معنی‌دار آنها نسبت به مقدار آنها در مرحله قبل از ریزوم‌دهی شد. به عنوان مثال، برای صفت مجموع کلروفیل a+b (Chla+b) دو تیمار $T_٢$ و $T_٤$ به ترتیب در رقم جلی با ۱۰/۱۲ و ١١/٩٦ درصد؛ در رقم فونتین با ١١/١١ و ۱۰/۷٦ درصد و در رقم بورن با ۱۳/۳۹ و ١١/٢٩ درصد افزایش، نسبت به مرحله قبل از ریزوم‌دهی رتبه بهتری را کسب کردند (جدول ٦). تیمار شاهد ($T_٦$) نیز برای هر سه جزء محتوای کلروفیل برگ، در مرحله بعد از ریزوم‌دهی در هر سه رقم مورد آزمایش، کمترین رتبه را به خود اختصاص داد (جدول ٦). با توجه به نتایج بدست آمده

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.23.16.9]

جدول ٦- مفایسه میانگین برهمکنش کلسیم و جاسمونیک اسید برای صفات مورد بررسی به روش LS means

		مرحله قبل از ریزوم‌دهی				مرحله بعد از ریزوم‌دهی				
رقم	تیمار	مجموع کلروفیل a و b	کلروفیل a	کلروفیل b	مجموع کلروفیل a و b	کلروفیل a	کلروفیل b	ماده خشک غده	عملکرد
		(میلی‌گرم بر میلی‌لیتر)			(میلی‌گرم بر میلی‌لیتر)			درصد	تن در هکتار
جلی	T1	۰/۰٦۹۷^{a}	۰/۰٦۷۷^{a}	۰/۰۰۲۲^{a}	۰/۰۸۰^{a}	۰/۰۷۷^{a}	۰/۰۰۲۵^{a}	۲۳/۳۷^{ab}	٦/۲۳^{a}
	T2	۰/۰٦۷۲^{cd}	۰/۰٦۵۲^{d}	۰/۰۰۲۱^{c}	۰/۰۷٤^{c}	۰/۰۷۲^{c}	۰/۰۰۲۲^{c}	۲۳/۱۳^{c}	۵/۷۱^{c}
	T3	۰/۰٦۸۷^{b}	۰/۰٦٦۷^{b}	۰/۰۰۲۲^{ab}	۰/۰۷۸^{b}	۰/۰۷٦^{b}	۰/۰۰۲۳^{b}	۲۱/۳٤^{f}	۵/۹۲^{b}
	T4	۰/۰٦۵۲^{e}	۰/۰٦۳۲^{e}	۰/۰۰۱۹^{d}	۰/۰۷۳^{d}	۰/۰۷۱^{d}	۰/۰۰۲۲^{d}	۲۲/٤٤^{e}	۵/۳۵^{e}
	T5	۰/۰٦٦۸^{d}	۰/۰٦٤۸^{d}	۰/۰۰۲۱^{c}	۰/۰٦۷^{e}	۰/۰٦۵^{e}	۰/۰۰۲۱^{e}	۲۳/٤۷^{a}	۵/٤۱^{d}
	T6	۰/۰٦٤۵^{ef}	۰/۰٦۲۵^{ef}	۰/۰۰۱۹^{de}	۰/۰٦٤^{f}	۰/۰٦۲^{f}	۰/۰۰۱۷^{f}	۲۲/۷۵^{d}	٤/۸۹^{f}
فونتین	T1	۰/۰٦۷۰^{a}	۰/۰٦۵۲^{a}	۰/۰۰۲۲^{a}	۰/۰۸۰^{a}	۰/۰۷۷^{a}	۰/۰۰۲۵^{a}	۲٤/٤۸^{a}	۵/٦۱^{a}
	T2	۰/۰٦٤۸^{c}	۰/۰٦۲۸^{c}	۰/۰۰۲۰^{d}	۰/۰۷۲^{c}	۰/۰۷۰^{c}	۰/۰۰۲٤^{b}	۲۳/۹۸^{b}	٤/۸۳^{c}
	T3	۰/۰٦٦۵^{b}	۰/۰٦٤۵^{b}	۰/۰۰۲۱^{b}	۰/۰۷۵^{b}	۰/۰۷۳^{b}	۰/۰۰۲۲^{c}	۲۲/٤٦^{e}	۵/۱۹^{b}
	T4	۰/۰٦۳۲^{e}	۰/۰٦۱۳^{d}	۰/۰۰۱۹^{d}	۰/۰۷۰^{d}	۰/۰٦۸^{d}	۰/۰۰۲۰^{e}	۲۳/۵۳^{d}	٤/۷۰^{e}
	T5	۰/۰٦٤۲^{cd}	۰/۰٦۲۵^{c}	۰/۰۰۲۰^{c}	۰/۰٦۷^{e}	۰/۰٦۵^{e}	۰/۰۰۲۱^{d}	۲٤/٤۰^{a}	٤/۵۳^{d}
	T6	۰/۰٦۲۸^{e}	۰/۰٦۰۸^{d}	۰/۰۰۱۸^{e}	۰/۰٦۱^{f}	۰/۰۵۹^{f}	۰/۰۰۱۸^{f}	۲۳/٦٦^{c}	٤/۳۲^{f}
بوزن	T1	۰/۰٦۷۷^{a}	۰/۰٦۵۷^{a}	۰/۰۰۲۱^{a}	۰/۰۷۹^{a}	۰/۰۷٦^{a}	۰/۰۰۲۵^{a}	۲۱/۲۰^{b}	٤/۹۰^{a}
	T2	۰/۰٦۳۵^{d}	۰/۰٦۱۵^{e}	۰/۰۰۱۹^{cd}	۰/۰۷۲^{c}	۰/۰۷۰^{d}	۰/۰۰۲۳^{b}	۲۱/۱۲^{b}	٤/٤۸^{c}
	T3	۰/۰٦٦۵^{b}	۰/۰٦٤۵^{b}	۰/۰۰۲۰^{b}	۰/۰۷٤^{b}	۰/۰۷۲^{c}	۰/۰۰۲۲^{c}	۱۹/۳۱^{e}	٤/۷۰^{b}
	T4	۰/۰٦۲۰^{e}	۰/۰٦۰۰^{f}	۰/۰۰۱۷^{f}	۰/۰٦۹^{d}	۰/۰٦۷^{b}	۰/۰۰۲۱^{d}	۲۰/٤۰^{d}	٤/٤۱^{d}
	T5	۰/۰٦٤۵^{c}	۰/۰٦۲۳^{d}	۰/۰۰۱۸^{e}	۰/۰٦۵^{e}	۰/۰٦۳^{e}	۰/۰۰۲۱^{d}	۲۱/٤۳^{a}	٤/۲۳^{e}
	T6	۰/۰٦٤۷^{c}	۰/۰٦۲۷^{cd}	۰/۰۰۱۹^{de}	۰/۰٦۲^{f}	۰/۰٦۰^{f}	۰/۰۰۱۷^{e}	۲۰/۷۰^{c}	۳/۹۸^{f}

***در هر ستون وجود حداقل یک حرف مشترک نشان دهنده عدم وجود تفاوت آماری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.**

مشهود است که هر دو گروه تیمارهای قبل و بعد از ریزوم‌دهی باعث افزایش فاکتورهای محتوای کلروفیل برگ شدند.

کلروپلاست‌های بیشتر گیاهان در غشاهای تیلاکوئیدی دارای دو نوع کلروفیل a و b هستند. کلروفیل b به گیاه این امکان را می دهد تا از طیف نوری وسیعتری نسبت به حالتی که کلروفیل a تنها وجود دارد، استفاده و فتوسنتز کند. هنگامی که ملکول کلروفیل b نور را جذب می کند، انرژی را به ملکول کلروفیل a انتقال می دهد (Burce, 1991 and Wu *et al.*, 2008). مقدار کلروفیل a در مراکز واکنش، یکی از عوامل تعیین کننده کارایی عملی یا ظرفیت برانگیختگی فتوسیستم دو است (Oxbrough, 2004). میزان فلئورسانس کلروفیل می‌تواند توانایی گیاه در تحمل به تنش‌های محیطی و میزان خسارتی که تنش به گیاه وارد می‌کند را به خوبی نشان دهد. پس با توجه به مطالب ذکر شده چنین می‌توان استنتاج نمود که کاهش Fv/Fm در این آزمایش، به طور عمده به خاطر وجود آشفتگی در کلروپلاست بوده و کاهش میزان محتوای کلروفیل نیز این موضوع را تأیید می‌کند.

ماده خشک غده: با توجه به معنی‌دار شدن برهمکنش رقم و تیمار در خصوص درصد ماده خشک غده، مشاهده می‌گردد که در رقم جلی، تیمارهای $T_۵$ و $T_۱$ به ترتیب با مقادیر ۲۳/٤۷ و ۲۳/۳۷ درصد، بدون تفاوت معنی‌دار با یکدیگر، بالاترین رتبه و تیمار $T_۳$ نیز با میانگین ۲۲/٤٤ درصد کمترین میزان ماده خشک غده را به خود اختصاص دادند (جدول ٦). در رقم فونتین نیز دو تیمار $T_۱$ و $T_۵$ نسبت به سایر تیمارها دارای افزایش معنی‌داری بودند؛ به نحوی که این دو تیمار، به ترتیب با ۳/۵ و ۳/۱۳ درصد افزایش نسبت به شاهد، رتبه‌های اول و دوم را کسب نمودند و تیمار $T_۳$ نیز با میانگین ۲۲/٤٦ درصد، پایین‌ترین رتبه را به خود اختصاص داد (جدول ٦). در رقم

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.23.16.9]

بورن نیز اعمال تیمارها موجب تغییرات مثبت و منفی در میزان ماده خشک غده‌ها شد؛ به نحوی که تیمارهای T_5 ، T_1 و T_2 به ترتیب با ۰/۷۳، ۰/۵ و ۰/٤۲ واحد افزایش نسبت به شاهد، به ترتیب رتبه‌های اول تا سوم را کسب نمودند و تیمار T_3 نیز با ۱/۳۹ واحد کاهش، دارای پایین‌ترین رتبه بود (جدول ٦).

با توجه به نتایج بدست آمده مشاهده می‌شود که آن دسته از تیمارهایی که در ترکیب آنها از کلسیم استفاده شد موجب افزایش معنی‌دار درصد ماده خشک غده در تمام ارقام مورد آزمایش شد. این امر موجب افزایش بازار پسندی و انبارداری و همچنین کاهش بیماری‌هایی نظیر اسکب و قلب‌خالی در سیب‌زمینی می‌شود.

عملکرد غده: با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل رقم و تیمار در خصوص صفت عملکرد غده مشاهده می‌شود که کلیه تیمارهای مورد آزمایش باعث اثر مثبت و معنی‌داری بر عملکرد غده شده‌اند. اما این افزایش عملکرد در تیمارهای مختلف متفاوت بود؛ بطوریکه در ارقام جلی، فونتین و بورن، تیمار T_1 با داشتن تفاوت معنی‌دار با سایر تیمارها به ترتیب، با ۲۷/٤۰، ۲۹/۸٦ و ۲۳/۱۱ درصد عملکرد غده بیشتر، در مقایسه با شاهد (T_6)، جایگاه بهتری را نسبت به سایرین کسب کرد (جدول ٦). تیمار شاهد (T_6) نیز در ارقام جلی، فونتین و بورن به ترتیب با میانگین عملکرد غده ٤۰/۸۹، ٤۰/۳۲ و ۳۰/۹۸ تن در هکتار، کمترین عملکرد غده را به نام خود ثبت نمود (جدول ٦). در این خصوص رتبه تیمارهای مورد آزمایش در هر سه رقم سیب‌زمینی به ترتیب (از عملکرد زیاد به کم) T_1، T_3، T_2، T_5، T_4 و T_6 بودند؛ لذا با توجه به ماهیت تیمارها چنین می‌توان استنباط نمود که هم تنظیم کننده رشد جاسمونیک اسید و هم ماده غذایی کلسیم توانستند باعث افزایش عملکرد غده شوند؛ اما این میزان افزایش در تیمارهایی که ترکیبی از هر دو آنها باشند (تیمارهای T_1 و T_2) بیشتر از زمانی بود که بصورت فردی (تیمارهای T_3 ، T_4 و T_5) اعمال شد (جدول ٦). بعلاوه، زمانیکه تنظیم کننده رشد جاسمونیک اسید قبل از ریزوم‌دهی اعمال شد (تیمارهای T_1 و T_3) در کلیه ارقام مورد بررسی دارای افزایش عملکرد بیشتری در مقایسه با زمانی بود که تنظیم کننده رشد جاسمونیک اسید بعد از ریزوم‌دهی (تیمارهای T_2 و T_4) اعمال شده‌بود (جدول ٦).

کلسیم بطور کلی منجر به حفظ ساختار سلولی، تمامیت ساختار غشا، سلول، ساختار بافت و همچنین رشد عمومی گیاه می‌شود. با شروع تنش محیطی و مراحل اولیه آسیب دیدگی گیاه، کاهش محتوای Ca^{+2} غشاء سلولی و بین سلولی گزارش شده است (Kleinhenz and Palta, 2002). وجود کلسیم در خاک و اطراف ریشه به واسطه نقش سیگنالی که در سنتز پروتئین‌های شوک حرارتی دارد می‌تواند باعث کاهش اثرات سوء تنش دمایی در یک بازه بلند مدت شود (Kleinhenz and Palta, 2002). همچنین وجود کلسیم در محیط ریشه، موجب افزایش محتوای Ca^{+2} برگ، افزایش مقاومت حرارتی غشاء، هدایت روزنه و تولید غده در سیب‌زمینی شد (Kleinhenz and Palta, 2002).

یکی از مهمترین اثرات گرما و تنش دمایی، کاهش سطح برگ می‌باشد؛ با توجه به نتایج Kleinhenz و Palta (2002)، وجود Ca^{+2} در محیط ریشه، باعث کاهش اثر سوء دما بر برگ شد؛ بطوریکه سطح برگ سیب‌زمینی در شرایط تنش دمایی تا ۵ درصد میزان آن در شرایط بدون تنش کاهش یافت ولی با استفاده از کلسیم در شرایط تنش دمایی، ۷۰ درصد از سطح برگ در شرایط بدون تنش حفظ شد.

با توجه به تحقیقات انجام شده (Kleinhenz and Palta, 2002)، اگر در زراعت سیب‌زمینی کلسیم موجود در خاک کم باشد و در گیاه نیز به اندازه کافی وجود نداشته باشد (مخصوصا در شرایط دمای بالا)، آنزیم پلی‌گالاکتوروناز فعال شده و باعث تجزیه و تخریب پلی‌ساکاریدهای دیواره سلولی می‌شود و به دنبال آن دیواره سلولی دچار از هم پاشیدگی می‌شود. علاوه بر آن کمبود کلسیم باعث کاهش فشار آماس و رشد در ریشه سیب‌زمینی می‌شود.

در خصوص اثر جاسمونیک اسید نیز ثابت شده است که کاربرد توبرونیک اسید (یکی از مشتقات جاسمونیک اسید) با ایجاد اخلال در میکروتوبول‌های قشری سلول‌های ریزوم، از طریق تغییر فرآیندهای بیوشیمیایی مانند تغییر در تعادل هورمونی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.23.16.9]

در نوک ریزوم اجازه می‌دهد تا رشد شعاعی مرتبط با غده‌زایی صورت گرفته و منجر به افزایش تعداد غده و نهایتا افزایش عملکرد شود (Matsuki *et al*., 1992 and Ozgen *et al*., 2006).

نتیجه‌گیری:

با توجه به نتایج این تحقیق مشخص شد که جاسمونیک اسید و کلسیم، در هر دو مرحله قبل و بعد از ریزوم‌دهی، باعث کاهش اثرات نا مطلوب تنش دمایی و کمبود عناصر غذایی شدند که نتیجه آن، افزایش معنی‌دار عملکرد در هر سه رقم مورد آزمایش نسبت به شاهد بود. بعلاوه این اثرات مثبت، زمانیکه جاسمونیک اسید و کلسیم بصورت ترکیبی و در زمان قبل از ریزوم‌دهی اعمال شد بیشتر بود. پس چنین می‌توان استنباط نمود که کاربرد تیمار ترکیبی جاسمونیک اسید و کلسیم در مرحله قبل از ریزوم‌دهی، علاوه بر کاهش اثرات سوء دمایی و کمبود عناصر غذایی، با تحریک غده‌زایی و تغییر تسهیم مواد به نفع غده‌ها، باعث تخلیه مواد موجود در اندام هوایی، قبل از سرمازدگی آخر فصل می‌شود که این امر منجر به حصول عملکرد بیشتر نسبت به شاهد شد.

منابع:

Akula, N., Shashank, K., Pandey, C., Upadhyaya, P., Jeon, J. H., Hyun, S. K., Se, C. C., Kim, D. H. and Park, S. W. (2012) Role of Ca^{2+}-mediated signaling in potato tuberization, An overview. Botanical Studies, 53: 177-189.

Arnon, D. I. (1940) Copper enzymes in isolated chloroplats polyphenol oxidase. Journal of Plant Physiology, 45: 100-114.

Bazzaz, F.A. (1996) Plants in changing environments: linking physiological population and community ecology. Cambridge University Press, Cambridge, UK. pp: 124-152.

Behra, R. K., Mishra, P. and Choudhury, N. K. (2002) High irradiance and water stress induce alterations in pigment composition and chloroplast activities of primary wheat leaves. Journal of Plant Physiology, 159: 967-973.

Belkhodja, R., Morales, F., Abadia, A. and Medrano, H. (1999) Effects of salinity on chlorophyill fluorescence and photosynthesis on barley (*Hodeum vulgare* L.) grown triple-line-source sprinklersystem in the field. Photosynthetica, 36: 375-378.

Bolhar-Nordenkampf, H. R., Long, S. P., Baker, N. R., Oquist, G., Schreiber, U. and Lechner, E. G. (1989) Chlorophyl fluorescence as a probe of the photosynthesis competence of leaves in the field. Journal of Ecological science, 3(4): 497-514.

Burce, J. A. (1991) Comparative responses of leaf conductance to humidity in single attached leaves. Journal of Experimental Botany, 32: 629-634.

Busse, S. and Palta, J. P. (2006) Investigating the in vivo calcium transport path to developing potato tuber using 45Ca: A new concept in potato tuber calcium nutrition. Physiologia Plantarum, 128:313-323.

Cenzano, A., Vigliocco, A., Kraus, T., Abdala, G. (2003) Exogenously applied jasmonic acid induces changes in apical meristem morphology of potato stolons. Annals of Botany, 91:917–21.

Cenzano A, Vigliocco A, Miersch O, Abdala G. Hydroxylated jasmonate levels during stolon to tuber transition in Solanum tuberosum L. Potato Res 2005; 48:107–15.

Cenzano, A., Abdala, G. and Hause, B. (2007) Cytochemical immuno-localization of oxide cyclase, a jasmonic acid biosynthetic enzyme, in developing potato stolons. Journal of Plant Physiology, 11: 1449-1456.

Cenzanoa, A., Guillermina, A., Bettina, H. (2007) Cytochemical immuno-localization of allene oxide cyclase, a jasmonic acid biosynthetic enzyme, in developing potato stolons. Journal of Plant Physiology, 164 : 1449—1456.

Francheboud, Y. and Leipner, J. (2003) The application of chlorophyll fluorescence to study light, temperature and drought stress. In: De-Ell, J.R., P. M. A. Tiovonen (eds.). Practical applications of chlorophyll fluorescence in plant biology. Boston: Kluwer Academic Publishers, 125-150.

George, H. (2004) Potato tuber yield, mineral concentration, and quality after calcium fertilization. American Journal of Horticulture Science, 119 (2):175–179.

Grafts- Brander, S. J. and Salvucci, M. E. (2002) Sensitivity of photosynthesis in a C4 plant, maize, to heat stress. Plant Physiology, 129: 1773-1780.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.23.16.9]

Greer, D. H. (2015) Temperature-dependent responses of the photosynthetic and chlorophyll fluorescence attributes of apple (Malus domestica) leaves during a sustained high temperature event. Plant Physiology and Biochemistry, 97: 139-146.

Joao- Correia, M., Leonor-Osorio, M., Osorio, J., Barrote, I., Martins, M. and David, M. M. (2006) Influence of transient shade period on the effect of drought on photosynthesis, carbohydrate accumulation and lipid proxidation in sunflower leaves. Environmental and Experimental Botany, 58: 75-84.

Kalaji, H. M., Oukarroum, A., Alexandrov, V., Kouzmanova, M., Brestic, M., Zivcak, M., Samborska, I., Cetner, C., Allakhverdiev, S., Goltsev. V. (2014) Identification of nutrient deficiency in maize and tomato plants by *in vivo* chlorophyll a fluorescence measurement. Plant Physiology and Biochemistry, 81: 16-25.

Kalaji, H. M. and Guo, P. (2008) Chlorophyll fluorescence: a useful tool in barley plant breeding programs. In: Photochemistry Research Progress, 439-463.

Karlsson Bjorn, H., Palta, J. P. and Crump, P.M. (2006) Enhancing tuber calcium concentration may reduce incidence of blackspot bruise injury in potatoes. Horticulture Science, 41(5): 1213-1221.

Kaya, C., Higges, D. and Kirnak, H. (2001) The effects of high salinity (NaCl) and supplementary phosphorus and potassium on physiology and nutrition development of spinach. Journal of Plant Physiology, 27(3-4): 47-59.

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

Kleinhenz, M. D. and Palta, J. P. (2002) Root zone calcium modulates the response of potato plant to heat stress. Physiologia Plantarum, 115: 111-118.

Martin- closes, L. I., Sol, S. and pelacho, A. M. (1998) Potential application of Jasmonic acid for Solanum tuberosum. micropropagation ISHS Acta Horticulturae 520: XXV International Horticultural Congress, Part 10: Application of Biotechnology and Molecular Biology and Breeding - In Vitro Culture.

Matsuki T., Tazaki, H., Fujimori, T. and Hogetsu, T. (1992) The influences of jasmonic acid methyl ester on microtubules in potato cells and formation of potato tubers. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, 56:1329-1330.

Oxborough, K. (2004) Imaging of chlorophyll a fluorescence: theoretical and practical aspects of an emerging technique for the monitoring of photosynthetic performance. Journal of Experimental Botany, 55: 1195-1205.

Ozgen, S. and Palta, P. J. (2004) Supplemental calcium application influences potato tuber number and size. Horticulture Science, 40 (1): 102-105.

Ozgen, S., Karlsson, B. H. and Palta, P. J. (2006) Response of potatoes to supplemental calcium application under field condition: tuber calcium, yield, and incidence of internal brown spot. American Journal of Potato Resarche, 83: 195-204.

Palta, J. P., Chen, H. H. and Li, P. H. (1981) Relationship between heat and frost resistance of tuber bearing Solanum species: Effect of cold acclimation on heat resistance. Botanical Gazette, 142: 311-15.

Passarkli, M. (2010) Handbook of Plant and Crop Stress. 3rd edition. CRC press, 1245 pp.

Pruski, K., Astatkie, T., Duplessis, P., Lewis, T., Nowak, J. and Struik, P. C. (2003. Use of jasmonate for conditioning of potato plantlets and microtubers in greenhouse production of minitubers. American Journal of Potato Research, 80: 183-193.

Singh, S. K., Vangimalla R. R. (2015) Response of carbon assimilation and chlorophyll fluorescence to soybean leaf phosphorus across CO2: Alternative electron sink, nutrient efficiency and critical concentration. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 151: 276–284.

Taheri, S. H. and Shamabadi, Z. A. (2013) Effect of planting date and plant density on potato yield, approach energy efficiency. International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 7: 747-754.

Trehan, S. P. and Singh, B. P. (2013) Nutrient efficiency of different crop species and potato varieties – in retrospect and prospect. Potato Journal, 40 (1): 1-21.

Van Dam, J., Kooman, P. L. and Struik, P. C. (2008) Effects of temperature and photoperiod on early growth and final number of tubers in potato (*Solanum tuberosum* L.). Potato Research, 39(1): 51-62.

Wu, F., Bao, W., Li, F. and Wu, N. (2008) Effect of drought stress and N supply on the growth, biomass partitioning and water use efficiency of Sophora davidii seedlings. Environal and Experimental Botany, 63:248-255.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.23.16.9]

Yang, G. P., Rhodes, D. and Joly, R. J. (1996) Effect of high tempreture on membrane stability and chlorophul fluorescence in glycinebetain-deficient and glycinebetaincontaining maize lines. Australian Journal of Plant Physiology, 23(4): 437-443.

Zhang, Z. J., Zhou, W. J., Zhang, G. Q., Subrahmaniyan, K. and YU, J. Q. (2006) Effect of jasmonic acid on vitro explant growth and microtuberrization in potato. Biological Plantrum, 50(3): 453-456.

Zhao, G. Q., Ma, B. L. and Ren, C. Z. (2007) Growth, Gas Exchange, chlorophyll fluorescence, and ion content of naked oat in response to Salinity. Journal of Crop Science, 41: 123-131.

Zhou, R., Li, B., Liu, H., Sun, D. (2009) Progress in the participation of Ca2+–calmodulin in heat shock signal transduction. A Review. Progress in Natural Science, 19:1201–1208.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.23.16.9]

The effect of calcium and jasmonic acid interaction on the chlorophyill fluorescence parameters and tuber production in three cultivars of potato (*Solanum tuberosum* L.)

Mohammad Azimi Gandomani[1and2], Hooshang Faraji[1], Mohsen Movahhedi Dehnavi[1], Amin Mirshekari[1]

[1] Department of Agronomy and Plant Breeding Faculty of Agriculture, University of Yasouj, Iran
[2*]Trainer, Department of Agriculture, Payamenoor University (PNU), Tehran, Iran.
(Received: 15/07/2016, Accepted: 19/10/2016)

Abstract:

In cold regions, potatoes are planted in spring.in this study Challenges with respect to potato cultivation in these areas including spring frost, early fall cold and summer heat were investigated. In this research, a factorial experiment in a randomized complete block design was conducted with three replications in 2015 and 2016 in Gandoman regian, Chaharmahal Bakhtiari Province. The first factor was three cultivars: Jelly, Fontaine and Bouren And the second factor, was combination of different treatments in six levels of calcium and jasmonic acid (at a concentration of 5 mM) incuding: 1- calcium + jasmonic acid before the stage of rhizome production (T_1); 2- calcium + jasmonic acid after the stage of rhizome (T_2); 3- jasmonic acid before the stage of rhizome production (T_3); 4- jasmonic acid in after the stage of rhizome production (T_4); 5- calcium from calcium nitrate source (T_5); 6- control (no application of both factors (T_6)) were used. According to the results, both factors jasmonic acid and calcium had a positive impact on the examined cultivars, so that the Jelly had a better response rate than the other varieties. Amongst treatments, T_1 in all traits except non-photochemical quenching had the highest average in all three cultivars. According to the results, it can be concluded that Jasmonic acid and calcium, reduced the adverse effects of thermal stress and nutrient deficiencies in both before and after stage of the rhizome production. In addition, higher positive effects were obsorved when jasmonic acid and calcium compounds, were applied before the stage of the rhizome production.

Keywords: Environmental stresses, Jasmonic acid, Potato, Fluorescence, Calcium

Azimi_3563@yahoo.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.23.16.9]