https://www.sarj.iauk.ac.ir

ارزیابی اثر میدان مغناطیسی، هورمون جیبرلیک اسید و تیمارهای دمایی بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی توت فرنگی رقم سلوا در منطقه شیراز

محمدرضا زندی[۱]، عبدالحسین ابوطالبی جهرمی[۲*]، بهنام بهروزنام[۳]، عبدالرسول ذاکرین[٤]

۱-دانشجوی دکتری، گروه علوم باغبانی، واحد جهرم، دانشگاه آزاد اسلامی، جهرم، ایران
۲-دانشیار، گروه علوم باغبانی، واحد جهرم، دانشگاه آزاد اسلامی، جهرم، ایران
۳-استادیار، گروه علوم باغبانی، واحد جهرم، دانشگاه آزاد اسلامی، جهرم، ایران
٤-استادیار، گروه مدیریت کشاورزی، واحد جهرم، دانشگاه آزاد اسلامی، جهرم، ایران
* ایمیل نویسنده مسئول: aa84607@gmail.com
(تاریخ دریافت :۱٤۰۱/۱۱/۲۳- تاریخ پذیرش: ۱٤۰۱/۱۲/۲۹)

چکیده

به منظور بررسی اثر اسید جیبرلیک، میدان مغناطیسی و دما بر ماندگاری توت فرنگی، پژوهشی به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح کاملا تصادفی انجام شد. تیمارها شامل اسید جیبرلیک، میدان مغناطیسی و تنش دمایی هرکدام در سه سطح بودند. نتایج نشان داد که اثر متقابل تیمارها بر تمام صفات مورد مطالعه معنی‌دار بود. مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که بیشترین کلروفیل a (۱٤/۹۵ میلی‌گرم بر گرم)، کلروفیل کل (۲۸/٥٤ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلیک اسید، میدان مغناطیسی ۱۰ میلی‌تسلا و دمای ۲ درجه و بیشترین کلروفیل b (۹/۲٦ میلی‌گرم بر گرم) و آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز (۵۷/۵۲ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار۵۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلیک اسید، میدان مغناطیسی ده میلی‌تسلا و دمای ۸ درجه، بیشترین آنزیم کاتالاز (۳۳/۵۱ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلیک اسید، میدان مغناطیسی بیست میلی‌تسلا و دمای ۸ درجه سانتی‌گراد، پراکسیداز (۵۳/٦ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار مصرف ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلیک اسید، میدان مغناطیسی بیست میلی‌تسلا و دمای بیست درجه و بیشترین اسیدیته قابل تیتراسیون (۰/۸۹ درصد) و pH (٦/۹) در تیمار عدم مصرف جیبرلیک اسید، عدم استفاده از میدان مغناطیسی و دمای ۲۰ درجه حاصل شد. از لحاظ اثر متقابل سه‌گانه، بهترین تیمار مؤثر بر افزایش مدت زمان نگهداری توت فرنگی، تیمار مصرف ۵۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلیک اسید و میدان مغناطیسی ۱۰ میلی‌تسلا و دمای ۸ درجه سانتی‌گراد بود.

واژه‌های کلیدی: کلروفیل، کاتالاز، پراکسیداز، پلی فنل اکسیداز، اسیدیته قابل تیتراسیون، pH آب میوه

مقدمه

توت‌فرنگی با نام علمی *Fragaria × ananassa Duchesne* از جمله میوه‌های فسادپذیر است و از این رو در دهه‌های اخیر تلاش فراوانی در راستای افزایش ماندگاری توت‌فرنگی و حفظ ارزش تغذیه‌ای آن در شرایط پس از برداشت با روش‌هایی غیر از قارچ‌کش ها صورت گرفته است (Raybaudi-Massilia *et al.*, 2016). همچنین محققان افزایش نگهداری این میوه را با به کارگیری روش‌هایی مانند اتمسفر کنترل شده (Wszelaki, 2003)، استفاده از ترکیبات حاوی کلسیم (Hernandez-Izquierdo *et al.*, 2008) و استفاده از امواج فراصوت (Cao & Pang, 2000) و روش‌های دیگری مانند استفاده از مغناطیس و غیره گزارش نموده‌اند.

این محصول یکی از اعضای تیره *Rosacea* و میوه ای نافرازگرا است (Phalsaphy, 2012). قندها، اسیدهای آلی و ترکیبات معطر در طعم توت فرنگی نقش مهمی دارند و کیفیت این میوه به وضعیت ظاهری، بافت، عطر، طعم و ارزش تغذیه‌ای آن بستگی دارد (Phalsaphy, 2012). با توجه به ایمن نبودن روش‌های شیمیایی نگهداری توت فرنگی، محققین به دنبال روش‌های ایمن نگهداری و افزایش عمر پس از برداشت این میوه می‌باشند. ترکیباتی مانند جیبرلیک اسید و میدان مغناطیسی می‌تواند محققین را در راه رسیدن به این هدف یاری نماید (Wszelaki, 2003). در سال‌های اخیر تلاش‌های فراوانی در راستای افزایش ماندگاری میوه توت فرنگی و حفظ ارزش تغذیه‌ای آن در زمان انبارمانی با روش‌هایی غیر از استفاده از قارچ‌کش‌ها صورت گرفته است. محققان افزایش زمان نگهداری این میوه را با به کارگیری روش هایی مانند اتمسفر کنترل شده (Wszelaki, 2003)، استفاده از ترکیبات حاوی کلسیم و استفاده از امواج فراصوت گزارش نموده‌اند (Marinkovic et al. 2014).

طبق گزارش‌های موجود (Andrews & Li, 1995)، جیبرلیک اسید با کاهش فعالیت آنزیم‌های پلیگالاکتروناز و پکتین متیل استراز و همچنین تنظیم فعالیت آنزیم‌های هیدرولیتیک دیواره سلولی که بر نرم شدگی میوه مؤثر می‌باشد، باعث حفظ سفتی بافت میوه در گیلاس می‌شود (Riberio *et al.*, 2007). فاکتیو و همکاران (Facteau *et al.*, 2007) اعلام کردند، افزایش سفتی در گیلاس تیمار شده با جیبرلیک اسید مربوط به افزایش مواد جامد نامحلول به علت بالا بودن پکتین‌های محلول در پکتیناز و کمبود پکتین‌های محلول در آب است (Florez *et al.*, 2007). تیمار با جیبرلیک اسید در میوه‌های گوجه فرنگی (Perez & Gomez, 2000) و توت فرنگی (Raso & Heinz, 2007) تحریک تولید اتیلن و توسعه رنگ را به تأخیر انداخته و می‌تواند به طور مستقیم بر رسیدگی میوه تأثیرگذار باشد که می‌تواند به علت مقاومت نفوذی کم پوست و میزان تنفس بالا باشد (Dhawi *et al.*, 2009). به نظر می‌رسد که جیبرلیک اسید از طریق افزایش سفتی، کاهش سرعت تنفس و کاهش تولید اتیلن و فعالیت‌های متابولیکی، از کاهش وزن میوه جلوگیری می‌کند. تحریک گیاهان با استفاده از میدان‌های مغناطیسی، به عنوان راهی جهت افزایش کمیت و کیفیت عملکرد مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین جایگزینی کودها و مکمل‌های شیمیایی با تیمارهای فیزیکی، میزان سموم را در مواد خام گیاهی کاهش داده و باعث افزایش سلامت غذا و محیط می گردد (Aladjadjiyan, 2007 و Wszelaki, 200). تغییرات واکنش سیستم‌های زنده که در معرض

میدان‌های مغناطیسی با توان‌های مختلف و یا در دوره‌های زمانی متفاوت قرار می‌گیرند، مورد توجه زیست شناسان مولکولی، شیمی دانـان و فیزیک‌دانان است (Atak *et al*., 2003).

امروزه در استرالیا، آمریکا، چین و ژاپن استفاده از میدان مغناطیسی، به فن‌آوری توسعه یافته‌ای تبدیل شده است (Hozayan *et al*., 2011). اما در ایران چندان شناخته شده نیست و اطلاعات محـدودی در این زمینـه وجـود دارد. موضوعی که امروزه نیاز به مطالعه بیش‌تری دارد، تعیین نوع و نحـوه ایجاد اثراتی است که ممکن است میدان مغناطیسی بر بافت زنده ایجاد کند (Souza *et al*., 2005). تسریع تکامل بافت‌های زنده در میدان مغناطیسی شناخته شده و در مطالعات مختلف به اثبات رسیده است (Souza *et al*., 2005). به نظر می‌رسد که استفاده از میدان مغناطیسی (بذر، آب، علف‌کش و سایر نهاده‌های مغناطیس شده) راهکاری مناسب جهت افزایش کارایی مصرف آب، جوانه‌زنی، رشد رویشی و زایشی و نگهداری محصولات باشد (Aliverdi *et al*., 2009). میدان‌های الکترومغناطیسی مجموعه‌ای از میدان‌های الکتریکی و میدان‌های مغناطیسی هستند که سبب القای میدان الکتریکی در بافت می‌شود و اثرات زیستی منتسب به میدان الکتریکی به میدان مغناطیسی نیز قابل تعمیم است (Saberi *et al*., 2014). به نظر می‌رسد که میدان‌های مغناطیسی اثرگذاری بیشتری نسبت به میدان‌های الکتریکی روی بافت زنده دارند. بدین مفهوم که میدان‌های الکتریکی از درون سلول گذر نموده و سلول در مقابل آن مانند یک خازن عمل می‌نماید. اما میدان‌های مغناطیسی به درون سلول نفوذ کرده و زمان اثرگذاری آنها طولانی‌تر است. میدان مغناطیسی متغیر طبق قانون القای فارادی در بافت تولید میدان الکتریکی می‌نماید و در نتیجه جریان گردابی در مسیر حلقوی عمود بر جهت میدان مغناطیسی تولید خواهد نمود (El-Kosavi, 2009). گزارش شده است که میدان مغناطیسی هم فعالیت یون ها و هم قطبیت ملکول‌های دو قطبی را در سلول‌های زنده تحت تأثیر قرار می‌دهد (Efe *et al*., 2004). خانکشی و همکاران (Khan Kashi *et al*., 2019) اثر دما بر زمان ماندگاری و کیفیت توت فرنگی را معنی‌دار گزارش کردند و بیان داشتند که دمای ٤ درجهٔ سانتی‌گراد به‌دلیل کاهش تنفس، تبخیر و تعرق، در افزایش ماندگاری توت فرنگی بهتر از دمای ۸ درجهٔ سانتی‌گراد عمل کرد.

با توجه به اینکه هر ساله مقدار قابل توجهی از محصول توت‌فرنگی در مراحل قبل و بعد از برداشت، از بین می‌رود در پژوهش حاضر اثرات اسید جیبرلیک و میدان مغناطیسی بر صفات فیزیولوژیکی میوه با هدف بررسی ماندگاری و عمر پس از برداشت محصول مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج، بهترین تیمار برای حفظ محصول و کیفیت فرآورده معرفی شد.

مواد و روش‌ها

ماده گیاهی و محل پژوهش

این آزمایش در سال ۱۳۹۹ در منطقه ظفرآباد از در جنوب شرقی شهر شیراز با مختصات جغرافیائی ۳۲ درجه و ٤۹ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی انجام شد. توت فرنگی مورد بررسی رقم سلوا بود که از گلخانه‌ای در منطقه یاد شده به هنگام صبح و در زمانی که میوه کاملاً قرمز رنگ بود برداشت انجام شد. برای بررسی صفات مرتبط با ماندگاری توت فرنگی، آزمایش به شرح زیر انجام شد.

تیمارهای تحقیق شامل جیبرلیک اسید در سه سطح G_1 (شاهد)، G_2 (۵۰ میلی‌گرم در لیتر) و G_3 (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) در کرت‌های اصلی، میدان مغناطیسی در ۳ سطح S_1 (شاهد)، S_2 (۱۰ میلی‌تسلا) و S_3 (۲۰ میلی‌تسلا)، در کرت‌های فرعی و تنش دمایی در سه سطح H_1، H_2 و H_3 شامل ۲، ۸ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد در کرت‌های فرعی بر روی توت فرنگی رقم سلوا انجام شد. ضمناً تیمارهای تحقیق بر اساس مطالعات انجام شده انتخاب گردید.

میوه‌های سالم توت فرنگی از گلخانه‌برداشت شد و در آزمایشگاه، میوه‌ها درون دو استوانه از جنس پلی وینیل کلراید به قطر ۲۰ و ارتفاع ٤٠ سانتی‌متری که در استوانه شماره یک، ۳۰۰ دور و بر روی استوانه شماره دو، ٤٤٥ دور سیم مسی به ضخامت یک میلی‌متر پیچیده شد. استوانه‌ها به مداری با جریان الکتریکی ۰/۱ آمپر متصل شدند. سپس میوه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه تحت تأثیر تیمارهای میدان مغناطیسی سطح S_1(شاهد)، S_2 (۱۰ میلی‌تسلا) و S_3 (۲۰ میلی‌تسلا)، قرار گرفتند و ۲ دقیقه به صورت غوطه‌وری در محلول هورمونی جیبرلیک اسید محصول شرکت سیگما آلدریچ با فرمول $C_{19}H_{22}O_6$ و قابلیت محلولیت پنج گرم در لیتر در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس از انجام پیش تیمار هورمونی، میوه‌ها از محلول خارج شده و در هوای آزمایشگاه، خشک شدند و به مدت ۸ روز در انبارهای ۲، ۸ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید. پس از آن، نمونه‌ها از انبار خارج شده و صفات زیر اندازه‌گیری شدند.

کلروفیل

جهت اندازه گیری غلظت کلروفیل a و b، کاروتنوئید و کلروفیل کل بر اساس روش توصیه شده توسط آرنون (Arnon, 1975) و دستگاه اسپکترفتومتر (Zeletex Zx50) ساخت کشور آلمان اندازه‌گیری شد. بدین منظور ابتدا ۱ گرم از بافت میوه با ۱۵ میلی‌لیتر استن به خوبی خرد شده و از کاغذ صافی عبور داده شد. برای شستشوی بقایای روی کاغذ، از ۱۰ میلی-لیتر استن استفاده شد و بعد از دو بار کوبیدن و عبور از کاغذ صافی، حجم مورد نظر با استفاده از استوانه مدرج قرائت شد و پس از قرائت میزان جذب در طول موج های ٤٨٠، ٥١٠، ٦٤٥ و ٦٦٣، میزان غلظت کلروفیل‌های a ، b و کل و نیز کارتنوئیدها با توجه به فرمول‌های زیر بدست آمد:

$$\text{کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم وزن تازه)} = 12.7\,(D663) \quad 2.69(D645) \times \frac{V}{1000 \times W}$$

$$\text{کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم وزن تازه)} = 22.9\,(D645) \quad 4.69(D663) \times \frac{V}{1000 \times W}$$

در روابط مذکور، D برابر با میزان جذب قرائت شده از نمونه‌ها در طول موج معین توسط دستگاه اسپکتروفتومتر، V برابر حجم نهایی نمونه استخراج شده در استن ۸۰ درصد و W، وزن تر نمونه برگ می‌باشد (Arnon, 1975).

آنزیم پراکسیداز

برای سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز بر اساس روش (Mac adam, 1992) یک گرم میوه درون هاون چینی قرار داده و بر روی آن ازت مایع ریخته شد و سپس در هاون کاملاً خرد گردید و سپس به

آن بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار با pH معادل ٦/٦ و گوئیکول ۱٪ افزوده شد. مخلوط واکنش در کووت ریخته شده و قبل از اندازه‌گیری سرعت واکنش، ۹۰ میکرولیتر پراکسید هیدروژن ۳ درصد به عنوان پذیرنده الکترون به مخلوط واکنش اضافه و مقدار جذب در طول موج ٤۷۰ نانومتر به مدت ٦۰ ثانیه در ۲۵ درجه سانتی‌گراد با استفاده از اسپکتروفتومتر اندازه گیری شد. تغییرات آنزیمی بر حسب تغییرات جذب در دقیقه به ازای هر میلی گرم پروتئین بیان شده و با شاهد که همان مخلوط واکنش قبل از اضافه کردن پراکسید هیدروژن بود، مقایسه شد.

آنزیم کاتالاز

برای اندازه‌گیری آنزیم کاتالاز بر اساس روش چنس و ماهلی (۱۹۹۵) اندازه‌گیری شد. به این منظور مخلوط واکنش شامل ۰/۵۷ میلی‌لیتر بافر پتاسیم فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار با pH برابر با ۷ و ۲۰ میکرولیتر پروتئین محلول و ۱۵۰۰ میکرولیتر آب دو بار تقطیر به کووت کوارتز اضافه و به هنگام اندازه گیری آنزیم، ۷۵۰ میکرو لیتر پراکسید هیدروژن اضافه شد و تغییرات آنزیمی بر حسب تغییرات در جذب در دقیقه به ازای هر میلی‌گرم پروتئین بیان گردید.

آنزیم پلی‌فنل اکسیداز (POD)

برای اندازه‌گیری آنزیم پلی‌فنل اکسیداز (POD)، از پیروگالل به عنوان معرف استفاده شد. مقدار یک گرم میوه را وزن نموده و با استفاده از ازت مایع در هاون چینی خرد نموده و سه میلی‌لیتر مخلوط واکنش شامل بافرفسفات ۲۵ میلی‌مولار با اسیدیته ٦/۸ و پیروگالل ۱۰ میلی‌مولار به آن افزوده شد. سپس فعالیت آنزیم در طول موج ٤۲۰ نانومتر بر اساس شدت رنگ نارنجی پورپوروگالین تولید شده، اندازه گیری شد. ضریب خاموشی برای پورپوروگالین ۲/٤۷ میلی‌مولار بر سانتی‌متر در دقیقه به ازای یک میلی‌گرم پروتئین می‌باشد (Resende *et al.*, 2002).

اسیدیته قابل تیتراسیون(TA)

ابتدا ۱۰ میلی‌لیتر از عصاره میوه ر ا توسط پیپ تداخل ظرف شیشه‌ای ریخته و به آن ۲۰ تا ٤۰ میلی لیترآب مقطراضافه شد. داخل محلول ۲ قطره معرف فنول فتالئین ۰/۱ درصد اضافه و سپس عمل سنجش حجمی (تیتراسیون) توسط هیدروکسیدسدیم ۰/۱ نرمال انجام شد. هنگامی که رنگ محلول حاوی عصاره میوه به قرمز روشن تبدیل شد، عمل تیتراسیون خاتمه یافت. برای تهیه محلول فنول فتالئین ۰/۱ درصد مقدار یک گرم از پودر آن را در اتانول ۹۰ درصد حل کرده و حجم محلول به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. بر اساس مقدار هیدرکسیدسدیم مصرف شده در عمل تیتراسیون، مقدار اسید در عصاره میوه به صورت گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر در عصاره میوه محاسبه گردید (Resende *et al.*, 2002).

ویتامین C

اندازه‌گیری ویتامین C به روش تیتراسیون انجام شد. بدین منظور، ۲۵ گرم میوه را آب‌گیری کرده و پس از صاف کردن آن، ۲ میلی‌لیتر از آن را با ۲ میلی لیتر کلرو استیک اسید ۵ درصد مخلوط کرده و سپس تیتراسیون با معرف ۲ و ٦ کلرو ایندو فنول تا زمان تغییر رنگ محلول از آبی به صورتی انجام گرفت.

میزان ویتامین c برحسب میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تازه میوه بیان شد (Cao *et al*., 2010).

آنالیز داده‌ها

آزمایش به صورت اسپلیت پلات بر پایه طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹/۱ و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون کمترین اختلاف معنی دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

کلروفیل a

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده و متقابل دو گانه و سه گانه جیبرلیک اسید، میدان مغناطیسی و دما در سطح آماری ۱ درصد بر میزان کلروفیل a معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین برهمکنش سه گانه جیبرلیک اسید × میدان مغناطیسی × دما برای میانگین کلروفیل a نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل a، معادل ۱٤/۹۵ میلی‌گرم بر گرم در تیمار مصرف ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلیک اسید، استفاده از میدان مغناطیسی ۱۰ میلی تسلا و دمای ۲ درجه سانتی‌گراد بدست آمد. کمترین مقدار کلروفیل a نیز معادل ۲/۳٤ میلی‌گرم بر گرم در تیمار عدم مصرف جیبرلیک اسید، عدم استفاده از میدان مغناطیسی و دمای ۲ درجه سانتی‌گراد بدست آمد (جدول ۲).

میزان کلروفیل در گیاهان زنده یکی از فاکتورهای مهم حفظ ظرفیت فتوسنتزی است (Jiang & Huang, 2002). به نظر می‌رسد کاهش میزان کلروفیل a در اثر تنش‌ها از جمله دما، به علت افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن باشد که این رادیکال‌های آزاد باعث پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیه این رنگیزه و کاهش مقدار آن می‌شوند.

عملیات مغناطیسی با تحت تأثیر قرار دادن فرایندهای بیوشیمیایی که رادیکال‌های آزاد را در برمی‌گیرند و همچنین با تحریک فعالیت پروتئین‌ها و آنزیم‌ها، انرژی یا توان گیاهان را افزایش داد. اسیتکن و توران (Esitken & Turan, 2004) سازوکار میدان مغناطیسی را به فعال کردن هورمون های گیاهی ربط داده‌اند (Esna-Ashari & Zokaee Khosroshahi, 2009). آنها همچنین معتقدند میدان مغناطیسی، ساختار غشای سلول‌های گیاهی را به منظور جذب آب و مواد مغذی بیشتر تغییر می‌دهد، لذا در این تحقیق مشاهده شد که میدان مغناطیسی بر اثر معنی‌دار نشان داد.

کلروفیل b

نتایج نشان داد که اثرات ساده جیبرلیک اسید و میدان مغناطیسی در سطح آماری ۱ درصد بر میزان کلروفیل b اثر معنی‌دار داشت. اثر ساده دما، اثرات متقابل دوگانه جیبرلیک اسید ×دما و همچنین اثر متقابل دوگانه میدان مغناطیسی ×دما بر کلروفیل b معنی‌دار نبود. اثر سه گانه این تیمارها در سطح آماری ۵ درصد بر میزان کلروفیل b معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین برهمکنش سه گانه تیمارها برای میانگین کلروفیل b نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل b، معادل ۹/۲٦ میلی‌گرم بر گرم در تیمار مصرف ۵۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلیک اسید، استفاده از میدان مغناطیسی ۱۰ میلی‌تسلا و دمای ۸ درجه سانتی‌گراد بدست آمد. کمترین مقدار کلروفیل b نیز معادل ۱/٤۲ میلی‌گرم بر گرم در تیمار عدم مصرف جیبرلیک اسید، عدم استفاده از میدان مغناطیسی و

دمای ۲ درجه سانتی‌گراد بدست آمد. همچنین همه تیمارهای دمایی و میدان مغناطیسی در شرایط عدم استفاده از جیبرلیک اسید، کمترین مقدار کلروفیل b را داشتند و با هم اختلاف معنی‌دار نداشتند (جدول ۲). محققین گزارش دادند که جهت ساخت کلروفیل در برگ، محتوای نسبی آب برگ بایستی بالا باشد. بنابراین با افزایش دما در تیمارهای توت فرنگی و به تبع آن، کاهش رطوبت میوه، میزان کلروفیل نیز کاهش یافت (Esitken & Turan, 2004).

کلروفیل کل

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده و متقابل دو گانه و سه گانه جیبرلیک اسید، میدان مغناطیسی و دما در سطح آماری ۱ درصد بر میزان کلروفیل کل معنی‌دار شد. مقایسه میانگین برهمکنش سه گانه جیبرلیک اسید × میدان مغناطیسی × دما برای میانگین کلروفیل کل نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل کل، معادل ۲۸/٥٤ میلی‌گرم بر گرم در تیمار مصرف ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلیک اسید، استفاده از میدان مغناطیسی ۱۰ میلی‌تسلا و دمای ۲ درجه سانتی‌گراد بدست آمد. کمترین مقدار کلروفیل کل نیز معادل ۲/۹۷ میلی‌گرم بر گرم در تیمار عدم مصرف جیبرلیک اسید، عدم استفاده از میدان مغناطیسی و دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد بدست آمد (جدول ۱).

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر روی صفات مورد مطالعه در توت فرنگی

منابع تغییر	DF	میانگین مربعات			
		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	TA
تکرار	۲	۲۷/٥۱*	۲۰٦/۳٥*	۲٦/۰۸*	۰/۱۹٥*
جیبرلیک اسید (G)	۲	۸۸۷/۳**	۳۹۲/۲**	۳٤۷٥/٦۳**	۰/۸۲**
تکرار × جیبرلیک اسید (R×G)	٤	۰/۰۱٦	۹۸/۰٥	۰/۸۳	۰/۰۳۲
میدان مغناطیسی (D)	۲	٥٦/۷٥**	۲٦/٤**	۲۲٤/۷**	۰/۳۷**
دما (H)	۲	٤/٥٦**	۲/۲٦ns	۱۲/٦**	۰/۰۷**
جیبرلیک اسید × میدان مغناطیسی (G×D)	٤	٥٦/٥٥**	۲٥/٤٤**	۲۲۹/۷٥**	۰/۰٤۲**
جیبرلیک اسید ×دما (G×H)	٤	٤/۹۳**	۲/۲٥ns	۲۳/۸٤**	۰/۰۳۳**
میدان مغناطیسی ×دما (D×H)	٤	۱/۰۲**	۰/٦۸ns	٦/٤۱**	۰/۰٥**
جیبرلیک اسید × میدان مغناطیسی ×دما (G×D×H)	۸	٤/۱٥**	۲/۰٤*	۱٤/۲**	۰/۰۱٥**
اشتباه	٤۸	۰/۰۰۹	۱/۹٥	۰/٦٥	۰/٦٤
ضریب تغییرات (درصد)		۹/۰۹	۱۱/۳	٥/٤	۸/۸۲

*، ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ٥ درصد، ۱ درصد و ns غیرمعنی‌دار

اسیدیته قابل تیتراسیون (TA)

نتایج نشان داد که اثرات ساده جیبرلیک اسید، میدان مغناطیسی و دما و همچنین اثرات متقابل دو گانه و سه‌گانه فاکتورهای تحقیق در سطح آماری ۱ درصد بر اسیدیته قابل تیتراسیون معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه تیمار جیبرلیک اسید × میدان مغناطیسی × دما برای میانگین اسیدیته

قابل تیتراسیون نشان داد که بیشترین مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون، در تیمارهای عدم مصرف جیبرلیک اسید، عدم وجود میدان مغناطیسی و دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و تیمار عدم مصرف جیبرلیک اسید، عدم وجود میدان مغناطیسی و دمای ۸ درجه سانتی‌گراد معادل ۰/۸۹ درصد بدست آمد و این تیمارها در یک کلاس آماری قرار داشتند و با هم اختلاف معنی‌دار نداشتند. کمترین مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون نیز معادل ۰/۳۱ درصد در تیمار مصرف ۵۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلیک اسید و میدان مغناطیسی ۱۰ میلی‌تسلا و دمای ۸ درجه سانتی‌گراد بدست آمد (جدول ۲). مقدار اسیدهای قابل تیتراسیون، با رسیدگی محصول در ارتباط بوده و موجب طعم ترش در میوه‌ها و سبزی‌ها می‌گردد و با رسیدن میوه، میزان اسیدهای آلی کاهش می‌یابد، همچنین میزان اسید اسکوربیک توت فرنگی به تدریج در طول دوره ذخیره‌سازی کاهش می‌یابد (Khabazipour *et al.*, 2014). گزارش شده که کاربرد جیبرلیک اسید ۳۰۰ پی‌پی‌ام باعث تأخیر در رسیدن و مانع از کاهش مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون در موز شد (Esitken & Turan, 2004). افزایش اسیدیته قابل تیتراسیون در شرایط اولیه ممکن است ناشی از بیوسنتز بیش از حد اسید اگزالیک و غلظت مالیک اسید با پیشرفت رسیدن باشد (Raso & Heinz., 2007). زومو و همکاران (Zomo *et al.*, 2014) افزایش میزان اسیدیته قابل تیتراسیون را در حین فرآیند رسیدن مشاهده کردند، اما بالاترین میزان اسیدیته قابل تیتراسیون، در میوه‌های تیمار شده با جیبرلیک اسید بود.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارها بر صفات مورد مطالعه

جیبرلیک‌اسید	میدان مغناطیسی	دما	میانگین صفات			
			کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم)	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم)	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم)	TA (%)
G_1	D_1	H_1	۲/۳٤k	۱/٤۲f	۳/٤۸h	۰/۸۸b
		H_2	۲/۵۵j	۱/۵٦f	۳/۹h	۰/۸۹a
		H_3	۲/۵٦j	۱/۵۷f	۲/۹۷h	۰/۸۹a
	D_2	H_1	٤/۵۷i	۱/٦٤f	٤/۱۲h	۰/۸۷c
		H_2	۲/٦٤j	۱/٦۲f	٤/۰۸h	۰/۸e
		H_3	۲/۳۷k	۱/٦۱f	٤/۰٦h	۰/۷۸f
	D_3	H_1	۲/۲۱k	۱/٤۲۳f	۳/٤٦h	۰/۷۳i
		H_2	۲/۳۵k	۱/٤۳f	۳/۵h	۰/۸٦d
		H_3	۲/۳۷k	۱/٤٤f	۳/۵٤h	۰/۸۷c
G_2	D_1	H_1	٤/۵۷i	۲/۹۱e	۷/۹٤g	۰/۷۵g
		H_2	٤/۷٦h	۳/۰٤e	۸/۳۲g	۰/۷٤h
		H_3	٦/۸g	٤/٤d	۱۲/٤f	۰/۷۵g

ادامه جدول ۲

		H_1	۸/۵٦f	۵/۵۷c	۱۵/۹۲e	۰/٦۸j
	D_2	H_2	۱۳/۳۲d	۹/۲٦a	۲۵/۱۵bc	۰/۳۱t
		H_3	۱۳/۹b	۹/۱۲a	۲٦/۵۸b	۰/۳۳s
		H_1	۱۳/٦c	۸/۹۲ab	۲۵/۹٦b	۰/۵۸n
	D_3	H_2	۱۳/۵٤c	۸/۹ab	۲۵/۹b	۰/۵۲o
		H_3	۱۳/۵cd	۸/۸٤b	۲۵/۷٤b	۰/۳۳s
		H_1	۱۳/۵cd	۸/۸٤b	۲۵/۷٤b	۰/۷۸f
	D_1	H_2	۱۳/۵cd	۸/۸٤b	۲۵/۷۲b	۰/٦۵k
		H_3	۱۳/٤۸cd	۸/۸۵b	۲۵/۷٦b	۰/٦٤k
		H_1	۱٤/۹۵a	۹/۹a	۲۸/۵٤a	۰/۵۹k
G_3	D_2	H_2	۱۳/۹b	۹/۱۲a	۲٦/٦b	۰/۳۳s
		H_3	۱۳/٦c	۸/۹ab	۲۵/۹b	۰/۳٤r
		H_1	۱۲/٦e	۸/۲٦ab	۲٤cd	۰/٤۳q
	D_3	H_2	۱۳/٦c	۸/۹ab	۲۵/۹b	۰/٤۵p
		H_3	۱۳/٦۳c	۸/۹۵ab	۲۳/۵d	۰/۵۲o

کاتالاز

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده تیمارها در سطح آماری ۱ درصد بر میزان کاتالاز معنی‌دار گردید. اثر متقابل دوگانه جیبرلیک اسید ×دما بر میزان کاتالاز معنی‌دار نشد ولی اثر متقابل دو گانه میدان مغناطیسی ×دما در سطح آماری ۵ درصد و اثر متقابل سه گانه تیمارها در سطح آماری ۱ درصد بر آنزیم کاتالاز معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه تیمارها برای میانگین صفت کاتالاز نشان داد که بیشترین مقدار کاتالاز در تیمار مصرف ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلیک اسید و میدان مغناطیسی بیست میلی‌تسلا و دمای ۸ درجه سانتی‌گراد معادل ۳۳/۵۱ میلی‌گرم بر گرم حاصل شد که با تیمار مصرف ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلیک اسید و میدان مغناطیسی بیست میلی تسلا و دمای بیست درجه سانتی‌گراد اختلاف آماری نداشت. کمترین مقدار کاتالاز نیز معادل ۱۱/۲ میلی‌گرم بر گرم در تیمار عدم مصرف جیبرلیک اسید، عدم وجود میدان مغناطیسی و دمای ۸ درجه سانتی‌گراد بدست آمد که با تیمارهای عدم مصرف جیبرلیک اسید، عدم وجود میدان مغناطیسی و دمای ۲ درجه سانتی‌گراد و عدم مصرف جیبرلیک اسید، عدم وجود میدان مغناطیسی و دمای بیست درجه سانتی‌گراد اختلاف آماری نداشت (جدول ٤). همان طوری که (Neto et al, 2005) بیان کردند، آنزیم کاتالاز از طریق سم‌زدایی فرم‌های اکسیژنی فعال (ROS) مثل پراکسید هیدروژن و کاتالیز آن به آب و اکسیژن، در کاهش خسارت اکسیداتیو ناشی از تنش مؤثر است.

در گیاه تحت برخی تنش‌ها، گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن (پراکسید هیدروژن، سوپر اکسید و رادیکال هیدروکسیل) تجمع می‌یابند. گونه‌های اکسیژن از

طریق پراکسیداسیون لیپیدها، تخریب پروتئین‌ها و . . . ایجاد تنش ثانویه اکسیداتیو کرده که منجر به خسارات جدی به ساختارهای سلولی می‌شود (Sharma & Dubey, 2005). یکی از آنزیم‌های مؤثر جهت مقابله با تنش‌های اکسیداتیو کاتالاز است که در همه موجودات زنده تحت تنش تولید می‌شود. این آنزیم با اثر مستقیم بر پراکسید هیدروژن، سبب کاهش اثرهای سمی آن می‌شود (Horvath *et al.*, 2007).

پراکسیداز

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده جیبرلیک اسید در سطح آماری ۱ درصد بر میزان پراکسیداز معنی‌دار گردید. اثرات ساده میدان مغناطیسی و دما بر صفت مذکور اثر معنی‌دار نشان نداد. اثر متقابل دوگانه جیبرلیک اسید × میدان مغناطیسی بر میزان پراکسیداز در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار شد ولی اثرات دوگانه جیبرلیک اسید × دما و میدان مغناطیسی × دما بر این صفت معنی‌دار نشد. اثر متقابل سه گانه تیمارها نیز در سطح آماری ۵ درصد بر آنزیم پراکسیداز معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه تیمار جیبرلیک اسید × میدان مغناطیسی × دما برای میانگین صفت پراکسیداز نشان داد که بیشترین مقدار پراکسیداز در تیمار مصرف ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلیک اسید و میدان مغناطیسی بیست میلی‌تسلا و دمای بیست درجه سانتی‌گراد معادل ۵۳/٦ میلی‌گرم بر گرم حاصل شد که با تیمارهای مصرف ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلیک اسید و میدان مغناطیسی بیست میلی‌تسلا و دمای ۸ درجه سانتی‌گراد و مصرف ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلیک اسید و میدان مغناطیسی بیست میلی‌تسلا و دمای ۲ درجه سانتی‌گراد اختلاف آماری نداشت. کمترین مقدار پراکسیداز نیز معادل ۲۰/۵۵ میلی‌گرم بر گرم در تیمار عدم مصرف جیبرلیک اسید، عدم وجود میدان مغناطیسی و دمای بیست درجه سانتی‌گراد بدست آمد (جدول ٤).

محققین گزارش کردند که با افزایش شدت میدان‌های مغناطیسی تا ۱۵ میلی‌تسلا و بیشتر از آن میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپر اکسیددیسموتاز افزایش می‌یابد و به‌تبع آن میزان خسارت اکسایشی وارده به گیاه نیز کاهش پیدا می‌کند (Wang *et al.*, 2008). آنزیم سوپراکسیددیسموتاز یکی از مهم‌ترین آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان بوده که در شرایط تنش افزایش فعالیت آن در بیشتر گیاهان گزارش شده است. فعالیت این آنزیم با افزایش میزان یون سوپراکسید درون سلولی افزایش می‌یابد. پراکسیدازها نقش مهمی را در پاک سازی پراکسیدهیدروژن بازی می‌کنند و مسئول حذف مقادیر اضافی پراکسید هیدروژن می‌باشد. در شرایط بدون پرایم به دلیل اثر زیاد دگرآسیبی مقدار فعالیت پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز بیشتر می‌باشد و نیز به دلیل فعالیت زیاد این آنزیم‌ها شاخص‌های جوانه‌زنی در این شرایط بهتر بوده است.

پلی فنل اکسیداز

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده و متقابل جیبرلیک اسید، میدان مغناطیسی و دما در سطح آماری ۱ درصد بر میزان آنزیم پلی فنل اکسیداز معنی‌دار گردید (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه تیمارهای تحقیق برای میانگین صفت پلی فنل اکسیداز نشان داد که بیشترین مقدار پلی فنل اکسیداز، در تیمار مصرف ۵۰ میلی

گرم در لیتر جیبرلیک اسید و میدان مغناطیسی ده میلی‌تسلا و دمای ۸ درجه سانتی‌گراد معادل ۵۷/۵۲ میلی‌گرم بر گرم حاصل شد. کمترین مقدار کاتالاز نیز معادل ۲۳/۳ میلی‌گرم بر گرم در تیمار عدم مصرف جیبرلیک اسید، عدم وجود میدان مغناطیسی و دمای ۸ درجه سانتی‌گراد بدست آمد (جدول ٤). (Estiken, 2015) نشان داد که میدان مغناطیسی ۱۰ میلی‌تسلا باعث تغییر در میزان آنزیم‌ها شد. تأثیر میدان مغناطیسی روی بذور گیاه خرفه و تاج خروس نسبت به سایر گیاهان مورد آزمایش به ترتیب کمتر و بیشتر بود. همچنین کاربرد میدان مغناطیسی سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز) وکاهش محتوی مالون‌دی‌آلدئید گردید.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس سطوح مختلف تیمارها و اثر متقابل آنها بر روی توت فرنگی

منابع تغییر	DF	میانگین مربعات			
		کاتالاز	پراکسیداز	اکسیدازفنل‌پلی	pH آب میوه
تکرار	۲	۱۰۵/۹۳**	۱۲٤/۰۵ns	۹٦/۳۵**	*۳۹/٦۳
جیبرلیک اسید (G)	۲	۱۷۹/۹۷**	٦۳۰/۹**	٤۸۷/٤۸**	٤/۰٦**
تکرار × جیبرلیک اسید (R×G)	٤	۰/۰۸۸	٦۲/۱۸	۰/۰۰۰۵	۰/۰۱۹
میدان مغناطیسی (D)	۲	۱۲۰۷/۲۹**	۱۵۷۲/۸ns	۱۰۹۰/۵**	۱/۸۵**
دما (H)	۲	۲/۰۰۹**	۹/۱۸ns	۵/۱۳**	۰/۱**
جیبرلیک اسید × میدان مغناطیسی (G×D)	٤	۲۰۷/۲٤**	۲۸۹/۹۳**	۱۳۲/۵۲**	۰/٤۰۹**
جیبرلیک اسید ×دما (G×H)	٤	۰/۱۷۵ns	۵۰/۱ns	۲۸/۳**	۰/۱۱**
میدان مغناطیسی ×دما (D×H)	٤	۱/۹۷*	۱۲/۱۷ns	٦۱/۷۸**	۰/۱۱۳**
جیبرلیک اسید × میدان مغناطیسی ×دما (G×D×H)	۸	۰/۵٦**	۱۲/۰۹*	۳٦/۱۸**	۰/۱۳۵**
اشتباه	٤۸	۰/۰۸۷	۱۷/۹	۰/۰۰۰٦	۰/۰۲
ضریب تغییرات (درصد)		۵/۲	۱٤/۱۳	۹/۰۸	۲/٤٦

*، ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و ns غیرمعنی‌دار

محققین گزارش کردند که با افزایش شدت میدان‌های مغناطیسی تا ۱۵ میلی‌تسلا و بیشتر از آن، میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپر اکسیددیسموتاز افزایش می‌یابد و به تبع آن میزان خسارت اکسایشی وارده به گیاه نیز کاهش پیدا می‌کند (Wang *et al.*, 2008). آنزیم سوپراکسیددیسموتاز یکی از مهم‌ترین آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان بوده که در شرایط تنش افزایش فعالیت آن در بیشتر گیاهان گزارش شده است. فعالیت این آنزیم با افزایش میزان یون سوپراکسید درون سلولی افزایش می‌یابد. پلی فنل اکسیداز یک اکسید کننده فنل می‌باشد و در شرایط تنش، فعالیت این آنزیم به عنوان شاخصی جهت سنجش مقاومت گیاهان نسبت به تنش‌های محیطی می‌باشد. همچنین ذکر شده است که ارقام مقاوم، دارای فعالیت بیشتری از پلی فنل اکسیداز می‌باشند، دلیل این امر افزایش تولید فنل های دیواره و لیگنین است که اندام‌های گیاهی را

سخت و مقاوم به تنش می‌کند (Zhang *et al.*, 2012).

pH آب میوه

نتایج نشان داد که اثرات ساده جیبرلیک اسید، میدان مغناطیسی و دما و همچنین برهمکنش دو گانه و سه گانه این تیمارها در سطح آماری ۱ درصد بر pH آب میوه معنی‌دار شد (جدول ۳). در مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه تیمار جیبرلیک اسید × میدان مغناطیسی × دما برای میانگین PH آب میوه نشان داد که بیشترین مقدار pH آب میوه، در تیمار عدم مصرف جیبرلیک اسید، عدم استفاده از میدان مغناطیسی و دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد معادل ٦/۹ بدست آمد. کمترین مقدار pH آب میوه نیز معادل ٤/٦٨ در تیمار مصرف ۵۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلیک اسید، استفاده از میدان مغناطیسی ۱۰ میلی‌تسلا و دمای ۸ درجه سانتی‌گراد بدست آمد (جدول ٤). به نظر می‌رسد اسید جیبرلیک با حفظ سفتی میوه و تنظیم آنزیم‌های رسیدگی و تأخیر در فرایند پیر شدن میوه (Zhang *et al.*, 2015 و Zomo *et al.*, 2014) تنفس و تولید اتیلن جلوگیری و در مجموع باعث حفظ کیفیت میوه‌ها می‌گردد. این احتمال وجود دارد که در پایان دوره نگهداری میوه‌ها به علت رسیدگی زیاد، تولید اتیلن افزایش یافته و در نتیجه میزان اسیدیته میوه کاهش شدیدتری نشان دهد.

علت افزایش pH را می‌توان به آزادسازی بیشتر برخی از ترکیبات اسیدی از جمله برخی از اسیدهای فنولی موجود در بافت داخلی میوه در اثر تغییرات دمایی نسبت داد (Ariaei *et al.*, 2014).

جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارها بر صفات مورد مطالعه

جیبرلیک‌اسید	میدان مغناطیسی	دما	میانگین صفات			
			کاتالاز (میلی‌گرم بر گرم)	پراکسیداز (میلی‌گرم بر گرم)	پلی‌فنل اکسیداز(میلی‌گرم بر گرم)	pH آب میوه
G_1	D_1	H_1	۱۱/۳۵mn	۲۳/٤٦e	۲۳/۹v	٦/۱۳b
		H_2	۱۱/۲n	۲۳/۳۷e	۲۳/۳w	٦/۰۹b
		H_3	۱۱/۷lmn	۲۰/۵۵e	۲٤/۹t	٦/۹a
	D_2	H_1	۱٤/۵k	۲۵/۷۵e	۲٦/۸۷p	٦/۰٤b
		H_2	۱٤/٤۵k	۲۵/۵۵e	۲٦/۸۹p	٦/۱٤b
		H_3	۱٤/٦۵jk	۲۵/۰۹e	۲٦/٤۸q	٦/۱۲b
	D_3	H_1	۱۷/٤۵i	۲٦/٦٦e	۲۸/٤۵o	٦/۰۸b
		H_2	۱۸/۵٤h	۲٦/۷۷e	۲۸/٤۵n	٦/۰٤b
		H_3	۱۸/۹۵gh	۲٦/۹۷e	۲۸/۵۹m	٦/۰٦b
G_2	D_1	H_1	۱۱/۳۳mn	۲۳/۳۷e	۲٤/٦٦u	۵/۹bc
		H_2	۱۱/۲۵mn	۲۳/٦٤e	۲٤/۸۹t	۵/۹bc
		H_3	۹/۸۹o	۲۳/۸۹e	۲٤/٦۷u	۵/۸۵bc
	D_2	H_1	۱۹/۰۹fg	۲۸/٦۷de	۳۳/٦۷i	۵/۱۳c
		H_2	۱۹/۲۵fg	۲۸/۵۵de	۳۳/۵j	٤/٦۸d
		H_3	۱۹/٤۵f	۲۸/۸۹de	۳٤/۰٤h	۵/۱۲cd

ادامه جدول ٤

٥/۷c	٤٦/۲٥c	٤۰/٥۲bc	۲۱/٥٦e	$H_۱$		
٥/٤٥c	٥۷/٥۲a	٤۰/۷٥bc	۲۲/۳۷d	$H_۲$	$D_۳$	
٥/٦c	۳۸/۸۷e	۳٥/۰۳cd	۲۳/٤c	$H_۳$		
٥/۸bc	۲٥/۷٦s	۲۳/٤٤e	۱۱/۷٦lm	$H_۱$		
٥/۷c	۲٥/۸s	۲٤/۳۳e	۱۲/۲۲l	$H_۲$	$D_۱$	
٥/۹bc	۲٥/۹۸r	۲٤/٦٦e	۱۲/۰٥l	$H_۳$		
٥/٦c	۲۸/۹l	۲٦/٥٤e	۱٤/٤٤k	$H_۱$		
٥/٥٥c	۲۹/۸۸k	۲٦/۸۸e	۱٤/۳۸k	$H_۲$	$D_۲$	$G_۳$
٥/۱۸cd	٤۲/٥d	۳٦/۷۸c	۱٥/۰۲j	$H_۳$		
٥/۱۹c	٤٦/۳٥b	٤۷/۳ab	۳۲/۲۹b	$H_۱$		
٥/٤٤c	۳٦/۹۷f	٤۷/٤ab	۳۳/٥۱a	$H_۲$	$D_۳$	
٥/٤۲c	۳٦/۸g	٥۳/٦a	۳۳/٤۹a	$H_۳$		

- $G_۱$¥، $G_۲$ و $G_۳$ جیبرلیک‌اسید به ترتیب شاهد، ٥۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، $D_۱$، $D_۲$ و $D_۳$ میدان مغناطیسی به ترتیب شاهد، ۱۰ و ۲۰ میلی‌تسلا و $H_۱$،$H_۲$ و $H_۳$ تنش دمایی به ترتیب ۲، ۸ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد.

نتیجه‌گیری

نتایج بدست آمده از این پژوهش نشان داد که اثر متقابل سه گانه اسید جیبرلیک، میدان مغناطیسی و دما بر صفات مورد مطالعه معنی‌دار بود. بر اساس جدول مقایسه میانگین داده‌های پژوهش، اختلاف بیشترین و کمترین مقادیر میزان کلروفیل a، b و کل در تیمارها به ترتیب ۱٤/۸، ۱٤/۳٤ و ۱۰/٤ درصد بود که بیانگر افزایش این مقادیر در نتیجه مقادیر حداقل و حداکثر بود. آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت موادی هستند که به جلوگیری از آسیب سلولی کمک می‌نمایند. در این پژوهش مقادیر آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز تحت اثر تیمارهای اسید جیبرلیک و میدان مغناطیسی افزایش نشان دادند که می‌توان گفت در حفاظت از میوه و افزایش زمان نگهداری میوه پس از برداشت مؤثر می‌باشند. از آنجایی که میوه توت فرنگی از جمله میوه های فساد پذیر هست و قدرت انبارمانی کمی دارد، استفاده از جیبرلیک اسید و میدان مغناطیسی برای افزایش زمان انبارمانی در شرایط دمایی مطلوب، پیشنهاد می‌گردد.

REFRENCES

Aliverdi, A., Rashed-Mohassel M. H., Zand, E., and Nassiri Mahallati, M, 2009. Increased foliar activity of clodinafop-propargyl and/or tribenuron-methyl by surfactants and their synergistic action on wild oat (Avena ludoviciana) and wild mustard (Sinapis arvensis). *Weed Biology and Management*, 9: 292-299.

Ariaei H., Zare D., Mirdamadi S., and Naghizadeh Raisi, Sh. 2014. Sensory evaluation of strawberry juice by fuzzy logic and evaluation of its antioxidant activity during cryopreservation.*Quarterly Journal of New Food Technologies*.No. (1): 111-128.

Arnon, D. I. 1975. Copper enzymes increased isolated chloroplast polyphenoxidase increased Beta vulgaris L. *Plant Physio* 45: 1-15.

Atak, C., Danilov, V., Yurttas, B., Yalçn, S., Mutlu, D., and Rzakoulieva, A. 1997. Effects of magnetic field on soybean (Glycine max L.Merrill) seeds. Com JINR. Dubna 1-13.

Castro, I., Goncalves, O., Teixeira, J. A. and Vicente, A. A. 2002. Comparative study of Selva and Camarosa strawberries for the commercial market. *Journal of Food Science.* 67: 2132.

Dhawi, F., Al-Khayri J.M. and Hassan E. 2009. Static magnetic field influence on elements composition in Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.). *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences* (Online). 5: 161-167.

Efe, L., Mustafayv, S.A., and Kili, F. 2004. Stimulative effect of high voltage electrical current on earliness, yield and Esna-Ashari M., and Zokaee Khosroshahi M. R. 2009. PostHarvest Physiology and technology. Abu-Ali Sina University Press. P. 658. (in Persian).

El-Kosavi S. 2009. Effect of NAA, GA_3 and Cytophex spraying on Samany and Zaghloul date palm yield, fruit retained and characteristics. *Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants*, 1: 49-59.

Esitken, A., and Turan M. 2004. Alternating magnetic field effects on yield and plant nutrient element composition of strawberry (Fragaria x ananassa cv. Camarosa). *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil and Plant Science*, 54, (3). 135-139.

Esitken, A. 2015. Effects of magnetic field on yield and growth in strawberry camarosa.The Jornal of Horticultural science and Biotechnology.

Facteau, T.J., Rowe K.E., and Chestnut N.E. 2003. Response patterns of gibberellic acid-treated sweet cherry fruit at different solids leaves and leaf/ fruit ratio. *Sciences Horticulture*, 27: 257-262.

Florez M., Carbonell M.V., and Martinez E. 2007. Exposure of maize seeds to stationary magnetic fields: Effects on germination and early growth. *Environmental Experimental Botany*, 59: 68-75.

Hernandez-Izquierdo, V. M., and Krochta, J. M. 2008. Thermoplastic Processing of Proteins for Film Formation. *Journal of Food Science*.

Horvath, E., Szalai, G., and Janda, T. 2007. Induction of abiotic stress tolerance by salicylic acid signalling: Review. *Journal of Plant Growth Regulation*, 26 (3): 290-300.

Hozayn, M., Abd El-Monem, A. A; Abdul Qados, A. M. S. and Abd El-Hameid, E. M. 2011. Response of Some Food Crops to Irrigation with Magnetized Water under Green House Condition. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 5(12): 29-36.

Jiang, Y., and Huang, B. 2002. Protein alternations in tall fescue in response to drought stress and abscisic acid. *Crop Science*. 42: 202-207.

Khabazipour A., Eftekhari S., A.Moalemi N., and Mortazavi S. M. H. 2014. The effect of foliar application of gibberellic acid and paclobutrazol on vegetative and reproductive growth of two strawberry cultivars.Production and processing of Agricultural and Horticultural products.

Khankashi, L. Tabatabai, R. Hashemi, S, J. 2017. Investigating the effect of polyethylene thickness, gas composition and temperature on the shelf life and quality of strawberries. *Research and innovation in food science and industry*. 377-392.

MacAdam, J. W., Nelson, C. J., and Sharp, R. E. 1992. Peroxidase Activity in the Leaf Elongation Zone of Tall Fescue. *Plant physiology*. 99: 872-878.

Marinkovic, B., Ilin, Z., Marinkovic, J. Culibrk., M. and Jacimovic, G. 2002. Corn and sugarbeet yield in function variable electromagnetic field. *BiopHysics in Agriculture Production, University of Novi Sad, Tampograf*. 154p.

Neto, A. D., Gomes., and Filo, E. 2005. Effect of salt stress on antioxidant and lipid peroxidation in leaves and roots of salt tolerance and salt sensitive maize genotype.

Perez F., and Gomez M. 2000. Possible role of invertase in the gibberellic acid berry- sizing effect in sultana grape. *Journal of Plant Growth Regulation*, 69: 111-116.

Phalsaphy, P. 2012. National strawberry festival in sanandaj. Available from: URL http://www.kurdpress.com/Fa/NSite/FullStory/New s. Accessed May 23, [in Persian].

Raso J., and Heinz V. 2007. Pulse Electric Fields Technology for the Food industry. *Fundamentals and Applications*, 3(8): 144-146.

Raybaudi-Massilia, R., Mosqueda-Melgar, J., Soliva-Fortuny, R. and Martín-Belloso, O., 2016. Combinational edible antimicrobial films and coatings. *Antimicrobial food packaging*, pp.633-646.

Resende, M.L.V., G.B.A. Nojosa, L.S. Cavalcanti, M.A.G. Aguilar, L.H.C.P. Silva, J.O. Perez, G.C.G. Andrade, G.A. Carvalho and R.M. Castro. 2002. Induction of resistance in cocoa against Crinipellis perniciosaand Verticillium dahliaeby acibenzolar-S-methyl (ASM). *Plant Pathol*. 51:621-628.

Riberio C., Vicente A.A., Teixeira J.A., and Miranda C. 2007. Optimization of edible coating composition to retard strawberry fruit senescence. *Postharvest Biology and Technology Abbreviation*, 44: 63-70.

Sharma, P., and Dubey, R. S. 2005. Drought induces oxidative stress and enhances the activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. *Plant Growth Regulation*. 46: 209-221.

Souza, A. D., García, D., Sueiro, L., Licea, L., and Porras, E. 2005. Pre-sowing magnetic treatment of tomato seeds: effects on the growth and yield of plants cultivated late in the season. *Spanish Journal of Agricultural Research* 3(1): 113-122.

Wang, H. Y., Zeng, X. B., Guo, S.Y., and Li, Z. T. 2008. Effects of magnetic field on the antioxidant defense system of recirculation-cultured Chlorella vulgaris. *Bioelectromagnetics*. 29: 39-46.

Wszelaki, A. L. M. 2003. Effect of combinations of hot water dips biological control and controlled atmospHeres for control of gray mold on harvested strawberries. *Postharvest Biol Technol*. 27: 255-64.

Zhang, G., Wang, Y. Z., Yang, T. W., Gin, H., and Zhang, G. Y. 2012. Use of gibberellic acid to overcome the allelopathic effect of a range of species on the germination of seeds of Gentiana rigescens, a medicinal herb. *Seed Science and Technology*, 40: 443-447.

Zhang, Z., Zeng X., Brennan C., Brennan M., Han Z., and Xiong X. 2015. Effects of Pulsed Electric Fields (PEF) on Vitamin C and Its Antioxidant Properties. *International Journal of Molecular Sciences*. 16: 24159-24173.

Zomo, S.A, Ismail S.M., Jahan M., Kabir K., and Kabir M.H.2014. Chemical properties and shelf life of Banana (*Musa sapientum* L.) as influenced by different postharvest treatments. *Journal of Agricultural Science*, 12 (2). 6-17.

Sustainable Agricultural Science Research /Vol. 2/No. 4/Winter 2023/P: 108-124

https://www.sarj.iauk.ac.ir

Evaluation of The Effect of Magnetic Field, Gibberellic Acid Hormone and Temperature Treatments on some Physiological Characteristics of Salva Strawberry in Shiraz Region

Mohammad Reza Zandi[1], Abdol Hossin Abutalebi Jahromi[*2], Behnam Behroznam [3], Abdol Rasool Zakerin[4]

[1] Ph.D. Student, of Horticulture, Jahroom Branch, Islamic Azad University, Jahroom, Iran

[2*] Associate Professor of Horticulture, Jahroom Branch, Islamic Azad University, Jahroom, Iran

[3] Assistant Professor of Horticulture, Jahroom Branch, Islamic Azad University, Jahroom, Iran

[4] Assistant Professor of Agricultural Management, Jahroom Branch, Islamic Azad University, Jahroom, Iran

* Corresponding Author's Email: aa84607@gmail.com

(Received: February. 12, 2023 – Accepted: March. 20, 2023)

ABSTRACT

In order to investigate the effect of gibberellic acid, magnetic field and temperature on strawberry, this research was conducted in form of split plot on based of randomize completely design and treatments include gibberellic acid, magnetic field and temperature stress in three levels. The results of analysis of variance of the data showed that the interaction effect on all studied traits was significant. The comparison of the averages showed that the highest amounts of chlorophyll a (14.95 mg of protein per minute) and total chlorophyll (28.54 mg of protein per minute) in the treatment of 100 mg/L gibberellic acid, magnetic field of 10 millitesla and temperature of 2 degrees and the highest of chlorophyll b (9.26 mg of protein per minute) and polyphenol oxidase enzyme (57.52 mg of protein per minute) were obtained in the treatment of 50 mg/L of gibberellic acid, 10 millitesla magnetic field and 8 degrees. The highest amounts of peroxidase (53.6 mg of protein per minute) in the treatment of 100 mg/liter of gibberellic acid acid, magnetic field of twenty millitesla and temperature of twenty degrees Celsius and the highest values of treatable acidity (0.89 percent) and pH (6.9) were obtained in the treatment of no use of gibberellic acid, no use of magnetic field and temperature of 20 degrees. In terms of the triple interaction effect, the best effective treatment on increasing the storage time of strawberries was the combined treatment of 50 mg/L gibberellic acid and 10 milliTesla magnetic field and 8 degrees' Celsius temperature.

Key Words: Chlorophyll, Catalase, Peroxidase, Polyphenoloxydase, Titrable Acidity, Fruit pH