

تأثیر پرتو گاما و بتا بر آفات و خواص بیوشیمیایی ارقام خرماى زاهدی و مضافتی

مریم جلیلی مقدم^۱، جاماسب نوذری^{۲*}، مسعود لطیفیان^۳، سید پژمان شیرمردی^۴، سید محمد علی ابراهیم زاده موسوی^۵

۱ دانشجوی دکتری رشته حشره شناسی کشاورزی، گروه گیاهپزشکی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران.

^{۲*} نویسنده مسئول، دانشیار، گروه گیاهپزشکی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران.

^۳ استاد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، پژوهشکده میوه‌های معتدله و سردسیری، کرج، ایران.

^۴ دانشیار مهندسی هسته ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران.

^۵ استاد گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران.

تاریخ ارسال: ۱۴۰۳/۰۳/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۰۴

چکیده

باتوجه به ضرورت جایگزینی متیل بروماید، تأثیر دزهای مختلف پرتوگاما و پرتو بتا در کنترل شپشه داندانه‌دار و شپ‌پره مدیریتانه‌ای و خواص بیوشیمیایی میوه در دو رقم خرماى زاهدی و مضافتی بررسی شد. خرماى بسته‌بندی شده در معرض دزهای مختلف ۰، ۲۵۰، ۵۰۰، ۷۵۰، ۱۰۰۰ و ۱۲۵۰ گری قرار گرفتند. برای پرتودهی از منبع کبالت-۶۰ و پرتو بتا با انرژی پرتو ۱۰ مگا الکترون ولت استفاده شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که دز کشنده ۹۰ درصد پرتو گاما برای حشره کامل شپشه داندانه‌دار روی رقم زاهدی معادل ۱۱۳۲/۳۳ گری و روی رقم مضافتی معادل ۱۱۷۲/۷۶ گری و برای لارو شپ‌پره مدیریتانه‌ای روی رقم زاهدی معادل ۱۰۵۵/۱۶ گری و روی رقم مضافتی معادل ۱۱۲۶/۰۶ گری است. همچنین، دز کشنده ۹۰ درصد پرتو بتا برای حشره کامل شپشه داندانه‌دار روی رقم زاهدی معادل ۱۱۶۰/۹۲ گری و روی رقم مضافتی معادل ۱۲۵۵/۹۷ گری و برای لارو شپ‌پره مدیریتانه‌ای روی رقم زاهدی معادل ۱۱۷۷/۶۷ گری و روی رقم مضافتی معادل ۱۳۴۰/۱۶ گری است. در هر دو رقم، شیب افزایش شاخص بریکس با افزایش دز پرتودهی در تیمارهای پرتودهی گاما بالاتر از بتا بود. مقدار قندهای احیاکننده با افزایش تدریجی سطح دز تابش تا ۱۲۵۰ گری نسبت به شاهد کاهش یافت. در فاصله دزهای ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ گری مقاومت نسبت به کاهش مقدار قند مشاهده شد. با افزایش دز پرتودهی مقدار ترکیبات فنولیک به تدریج کاهش یافت. قدرت آنتی‌اکسیدانی آهن آهن با افزایش دز پرتودهی با شیب ملایمی افزایش نشان داد. تفاوت معنی‌داری بین داده‌های پارامترهای رنگ در شاهد و تیمارهای پرتودهی مشاهده نشد. باتوجه به نتایج به دست آمده پرتودهی میوه خرماى ارقام زاهدی و مضافتی با دزهای ۱۰۰۰ تا ۱۲۵۰ گری ضمن کنترل دو آفت انباری مهم خرما، تأثیر منفی و معنی‌داری بر خواص بیوشیمیایی و ظاهری میوه این ارقام خرما به جا نگذاشت.

واژه‌های کلیدی: ضد عفونی، پرتودهی، عوامل خسارت‌زا، کیفیت میوه

مقدمه

از روش‌های جایگزین متیل بروماید می‌توان به گرمادهی، سرمادهی، کاربرد امواج مایکرو، پرتودهی با گاما و ایکس یا بتا، بهره‌گیری از پلاسمای سرد، کنترل تلفیقی و به‌کارگیری آفت‌کش‌های شیمیایی نام برد (Fields & White, 2002). در حال حاضر میوه‌های صادراتی خرما در چندین نوبت قبل و بعد از بسته‌بندی، با مواد شیمیایی متفاوتی مانند متیل بروماید و فسفین آفت‌زدایی می‌شوند. استفاده زیاد از فسفین و توجه- نکردن به استانداردهای آفت‌زدایی موجب بروز مقاومت آفات نسبت به فسفین شده است (Ahmed et al., 2022).

حساسیت سه آفت *Oryzaephilus surinamensis* L. *Ephestia cautella* و *Batrachedra amyraula* Meyrick Walker نسبت به پرتوگاما روی ارقام خرما صفوی و سوخاری بررسی و مشخص شد که دز ۲۵۰ گری تمامی آفات انباری خرما را از بین می‌برد و هیچ تغییری در کیفیت تغذیه‌ای میوه بعد از پرتودهی ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماه پس از انبارداری ایجاد نمی‌کند (Yahia et al., 2013). در عربستان سعودی، پرتودهی به‌عنوان تیمار آفت‌زدایی خرما رقم خلاص برای کنترل دو آفت *O. surinamensis* و *Tribolium castaneum* Herbst بررسی و مشخص گردید که پرتودهی با دز ۹۰۰ گری برای کنترل هر دو آفت کفایت می‌کند. اگر فقط شیشه قرمز آرد وجود داشته باشد دز ۳۰۰ گری برای کنترل کامل آفت کافی است. در این مطالعه مشخص شد که در اثر پرتوتابی، خواص حسی خرما تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد و بار و فلور میکروبی سطح خرما به میزان ۱۰۰-۸۰ درصد کاهش می‌یابد و باقیمانده آن نیز پس از شش ماه دوره انبارداری ثابت باقی می‌ماند (AI-Kahtani et al., 1998). در مطالعه‌ای دیگر، حداقل دز لازم برای کنترل تمامی مراحل رشدی *O. surinamensis* بالاتر از ۷۰۰ گری برآورد شده است. در این پژوهش مشخص شد که حشرات کامل سه‌روزه و تخم‌ها به ترتیب مقاوم‌ترین و حساس‌ترین مرحله رشدی نسبت به پرتوگاما هستند. پرتوتابی

بر اساس آخرین آمار صادرات محصولات کشاورزی، بیشترین میزان وزنی صادرات خشکبار و میوه خشک مربوط به خرما است. از میان ارقام متعدد خرما صادراتی، رتبه اول و دوم تولید و صادرات به ترتیب مربوط به ارقام مضافتی و زاهدی است (Sporchia et al., 2023). میوه خرما منبع غنی کربوهیدراتی (۸۰ تا ۸۵ درصد کربوهیدرات) است که بسته به رقم و مقدار رطوبت، هر ۱۰۰ گرم آن ۲۰۰ تا ۳۰۰ کیلوکالری انرژی دارد. خرما همچنین غنی از ریبوفلاوین، تیامین، اسید فولیک و مواد معدنی مانند آهن، مس، گوگرد، پتاسیم و منگنز است؛ اما از نظر پروتئین (۲ تا ۳ درصد) و چربی (حدود ۲ تا ۳ درصد) ضعیف است (Mrabet et al., 2016). خرما منبع غنی از ترکیبات فنلی است که خواص ضد سرطانی و آنتی‌اکسیدانی دارد (Osman et al., 2014). باکتری‌ها و قارچ‌ها باعث عفونت میکروبی میوه خرما می‌شوند (Tafti & Fooladi, 2005). علاوه بر این، یکی از عوامل محدودکننده صادرات خرما ایران، فعالیت پس از برداشت آفات در خرماست. برای کنترل آفات انباری خرما از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود که پرکاربردترین آنها روش تدخین با آفت‌کش‌های گازی از جمله گاز متیل بروماید است. ایران در سال ۱۹۹۰ عضویت کنوانسیون وین و پروتکل مونترال را پذیرفته و متعهد به کاهش، محدودیت و ممنوعیت کاربرد گاز متیل بروماید شده است. گزارش‌های متعدد مبنی بر مقاومت برخی آفات نسبت به فسفین و بازگرداندن برخی محموله‌های صادراتی به دلیل باقیمانده غیرمجاز آفت‌کش‌های شیمیایی، استفاده از روش‌های نوین سازگار با محیط‌زیست را گریزناپذیر کرده است (Latifian, 2013). نکته مهم دیگر این است که برخی کشورها نه تنها مصرف گاز متیل بروماید را ممنوع کرده‌اند بلکه از واردات محصولاتی که با این گاز آفت‌زدایی شدند نیز جلوگیری می‌کنند (Piccirillo & Piccirillo, 2010).

اندازه‌گیری میزان رطوبت، فعالیت آب، رنگ، تعداد مخمر و کپک و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی ارزیابی شد. هیچ تفاوتی در میزان رطوبت بین نمونه‌های شاهد و دیگر نمونه‌های تیمار شده به جز فومیگاسیون مشاهده نشد، درحالی‌که در دو تیمار اخیر رطوبت به ترتیب به ۱۴/۵۹ و ۱۵/۰۷ گرم در ۱۰۰ گرم افزایش یافت (Al-Farsi et al., 2010).

باتوجه به اهمیت یافتن راهی مناسب برای ضدعفونی کردن شیشه‌دنداندار و شب‌پره مدیریتانه‌ای در دو رقم تجاری مهم خرماي ایران شامل زاهدی و مضافتی است. در این مطالعه، همچنین تأثیر تیمارها بر خواص بیوشیمیایی و کیفی میوه این دو رقم خرما بررسی گردید.

مواد و روش‌ها

تهیه رقم‌های خرما

در این پژوهش میوه‌های خرما *Phoenix dactylifera* L. از ارقام زاهدی و مضافتی در زمان رسیدگی تمار^۲ برداشت شد. شاخه‌های مختلف از خوشه‌ها و درختان به طور تصادفی جدا و در جعبه‌های چوبی تمیز قرار داده شدند. پس از برداشت، میوه‌ها دسته‌بندی و در حین جداسازی به صورت فیزیکی تمیز و در دمای ۱۸ درجه سلسیوس در سردخانه نگهداری شدند. خرماهایی که اندازه و رنگ یکسانی داشتند در کیسه‌های پلاستیکی از جنس پلی‌اتیلن با چگالی کم به ضخامت ۱۰۰ میکرومتر، با وزن 10 ± 2 گرم و با ابعاد $10 \times 10 \times 14/5$ سانتی متر قرار داده شدند و کیسه‌ها پس از دربندی برای اعمال تیمارهای پرتوتابی استفاده شدند.

در دُزهای ۳۰۰ گری و بالاتر موجب عقیمی حشرات کامل شده است (Hosseinzadeh et al., 2010).

در مطالعات دیگر در زمینه پرتودهی خرماي رقم بوفیجوس (از مهم‌ترین ارقام صادراتی کشور مراکش) با هدف افزایش عمر انبارماني و کنترل *Plodia interpunctella* Hubner مشخص شده است که دُزهای بالاتر از ۹۰۰ گری به طور قابل توجهی باعث افزایش گلوکز و قند کل میوه پس از ۸ ماه نگهداری شده است. افزایش مدت‌زمان نگهداری منجر به کاهش مقدار نشاسته در هر دو دُز ۹۰۰ و ۱۸۰۰ گری شد (Azelmat Khalid et al., 2005).

پرتودهی سه رقم خرما (پیارم، دیری و زاهدی) برای کنترل آلودگی‌های قارچی و باکتریایی با دُزهای ۳۱۰۰ و ۵۰۰۰ گری نشان داد که پس از برداشت میوه خرما پرتودهی شده‌است و تا ۴ ماه در دمای ۲۵ درجه سلسیوس بهبود کیفیت حسی و درصد کاهش وزن کمتر و فلاوونوئید بالاتری نشان دادند (Zarbaksh & Rastegar, 2019). در پژوهشی دیگر، از روش پرتودهی گامای چند چشمه‌ای^۱ برای آفت‌زدایی خرماي رقم زاهدی در عراق برای کنترل آفت *E. cautella* استفاده شد. نتایج نشان داد که دُز ۱۶۵ گری در سه زمان ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه‌ای باعث تفریخ‌نشدن تخم می‌شود و برای مرگ‌ومیر ۱۰۰ درصد لاروها ۳۹۷ گری لازم است (Mahdi et al., 2017).

مطالعه ضدعفونی کردن خرما با استفاده از پرتوهای بتا و مقایسه این روش با روش‌های دیگر مانند استفاده از مایکروویو و فومیگاسیون توسط فستوکسین نشان داد که درصد مرگ‌ومیر و تفریخ‌نشدن تخم برای تیمارهای مختلف پرتو بتای ۱۰۰ درصد و تفریخ تخم در مقایسه با کاربرد مایکروویو و فومیگاسیون کمتر است. کیفیت خرماي تیمار شده با

۲- مرحله انتهایی رشد میوه خرماست که در این دوره میوه مقدار زیادی از آب خود را از دست می‌دهد و بسیار شیرین می‌شود. و به دلیل تبخیر آب، حجم گوشت میوه کم و در نتیجه چین و چروک پوست آن زیاد می‌شود.

1 - Fragmented Irradiation Technique

پرورش آفات هدف

الف) شپشه دندانه‌دار

شپشه دندانه‌دار در مراحل مختلف رشدی با نمونه‌برداری از خرماهای آلوده جمع‌آوری و به آزمایشگاه انتقال داده شدند. حشرات کامل (ماده و نر) با آسپیراتور جداسازی شدند. آفت در دمای 27 ± 5 درجه سلسیوس و رطوبت نسبی 60 ± 5 درصد درون اتاقک رشد و درون ظرف‌های پلاستیکی دردار به ابعاد $8/5 \times 7/5$ سانتی‌متر روی خرماهای ارقام مختلف مضافتی و زاهدی پرورش داده شد. در قسمت در ظرف‌های پلاستیکی سوراخی به‌منظور تهویه ایجاد شد. روی سوراخ با پارچه توری، که امکان عبور حشره از آن وجود نداشت، پوشیده شده بود. برای حصول اطمینان از تاثیر ارقام بر قدرت زیستی آفت، پرورش آفت تا نسل دهم ادامه داده شد (Latifian et al., 2021).

ب) شب‌پره مدیترانه‌ای آرد

برای پرورش لارو شب‌پره مدیترانه‌ای آرد روی خرماهای رقم‌های زاهدی و مضافتی، مخلوطی از آب و مقداری مخمر نانوبی روی خرماهای هسته‌گیری شده پاشیده شد و به تعداد مساوی در ظرف‌های پلاستیکی بدون در که روی سر آن‌ها با توری صدفی تمیز به‌وسیله کش کاملاً بسته شده، قرار داده شد. تعداد ۵۰ لارو در همه آن‌ها به‌صورت جداگانه رها شد. لاروها از تخم‌های شب‌پره آلوده به آرد و پس از تفریح شدن به دست آمده‌اند. بعد از گذشت چند روز که لارو تبدیل به شفیره شد، لاروهایی را که در درون خرماها به شفیره تبدیل شدند، همراه با خرما به ظرف بزرگ‌تری منتقل شدند تا شب‌پره فضای مناسبی برای پرواز و جفت‌گیری داشته باشد. برای حصول اطمینان از اثر رقم بر قدرت زیستی آفت، پرورش تا نسل دهم ادامه یافت (Latifian et al., 2021).

روش آلوده‌سازی نمونه‌های خرما

برای آلوده‌سازی، از حشرات کامل ۷-۵ روزه شپشه دندانه‌دار و از لارو سن پنج ۷-۵ روزه شب‌پره مدیترانه‌ای استفاده شد. در داخل بسته‌های ۵۰۰ گرمی خرما ۲۰ حشره کامل شپشه دندانه‌دار یا لارو شب‌پره مدیترانه‌ای به صورت جداگانه در قسمت‌های مختلف بسته ارقام زاهدی و مضافتی به صورت تصادفی قرار داده شد.

پروتوتابی گاما و بتا

خرمای بسته‌بندی شده (۵/۰ کیلوگرم) در چهار تکرار در معرض دزهای مختلف ۰، ۲۵۰، ۵۰۰، ۷۵۰، ۱۰۰۰ و ۱۲۵۰ گری قرار گرفت. خرما با استفاده از منبع کبالت-۶۰ (Gammacell 220، MDS Nordion، اتاوا، کانادا)، با دوز $5/4 \text{ kGy.hr}^{-1}$ در دمای اتاق (۲۰ درجه سلسیوس) در پژوهشکده کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای سازمان انرژی اتمی ایران تیمار شدند. منبع تابش با استفاده از دزیتر پرسپکس قرمز ۴۰۳۴ (UK، Harwell Technologies) کالیبره شده بود. تابش پرتو بتای (EBI)^۱ از طریق یک دستگاه شتاب دهنده بتای با انرژی پرتو ۱۰ مگا بتا ولت، حداکثر جریان پرتو ۳ میلی آمپر و عرض پرتو موثر ۲۵ میلی‌متر در سایت پرتوهدی ایران مرکزی شرکت توسعه کاربرد پرتوها صورت گرفت (Alinezhad et al., 2021, Makari et al., 2021, Hojjati et al., 2024).

ارزیابی ویژگی‌های بیوشیمیایی میوه خرماهای پرتوهدی شده

مواد جامد انحلال‌پذیر کل نمونه‌های خرما
مواد جامد انحلال‌پذیر کل در نمونه‌های خرما با استفاده از دستگاه رفاکتومتر در دمای ۲۵ درجه سلسیوس مطابق با روش AOAC تعیین گردید.

تعیین مقدار قند در میوه خرما با استفاده از HPLC

قندهای موجود در نمونه‌های پرتوتابی شده و شاهد میوه خرما به طور جداگانه با استفاده از آنالیز کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا با استفاده از ستون کربوهیدرات پر شده آمینی فاز معکوس با ابعاد $250 \times 4/5$ میلی‌متر و اندازه ذرات ۵ میکرولیتر تحت تشخیص ضریب شکست (RI) شناسایی و کمی‌سازی شدند. ستون کربوهیدرات مورد استفاده برای تجزیه و تحلیل با استفاده از یک مدول گرم‌کننده ستون^۲ در دمای ۳۵ درجه سلسیوس نگه داشته شد. بیست و پنج میکرولیتر از نمونه‌های مورد آزمون و نمونه‌های استاندارد به دستگاه با سیستم حلال از پیش مخلوط شده (آب: استونیتریل ۸۵:۱۵ v/v) با سرعت جریان $1/75$ میلی لیتر در دقیقه تزریق و شسته شد. در بین تزریق، ستون با استفاده از سیستم حلال متعادل می‌شد. تضعیف آشکار ساز RI در تمام آنالیزها در ۸ نگه داشته شد. محلول‌های استاندارد فروکتوز، گلوکز و ساکارز هر یک در غلظت‌های ۲/۵، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی‌گرم در میلی لیتر تهیه و در دو تکرار آنالیز شد. آنالیزها در سه زمان مختلف برای همه نمونه‌ها اجرا شد. آنالیزها در هر آزمون در سه آزمایش مستقل صورت گرفت. داده‌های جمع آوری شده برای تعیین مقدار فروکتوز، گلوکز و ساکارز در هر نمونه میانگین‌گیری شد. توجه به این نکته مهم است که کمیت به فروکتوز، گلوکز و ساکارز محدود می‌شود زیرا تمام میوه‌های خرما بر اساس پروفایل‌های HPLC اولیه فقط این سه قند را نشان دادند (Zhang et al., 2015).

استخراج ترکیبات فنولیک میوه خرما

ترکیبات فنولی کل با استفاده از متانول ۸۰ درصد استخراج گردید. دو گرم از میوه خرما به ۳۰ میلی لیتر از محلول آبی متانول ۸۰ درصد انتقال داده شد. نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت هم‌زده شدند و در 2000 g به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ گردیدند. مایع فوقانی سانتریفیوژ به ظرف‌های تیره منتقل و برای اندازه‌گیری

مقدار کل ترکیبات فنولیک و اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی به کار گرفته شد (Majid et al., 2023).

مقدار کل ترکیبات فنولیک

مقدار کل ترکیبات فنولیک با استفاده از روش رنگ‌سنجی فولین سیوکالتو اندازه‌گیری شد. بیست میکرولیتر از عصاره فنولیک استخراجی به ۱۱۶۰ میکرولیتر از آب مقطر و ۱۰۰ میکرولیتر از معرف فولین سیوکالتو اضافه گردید. بعد از ۱۰ دقیقه، ۳۰۰ میکرولیتر از محلول آبی کربنات سدیم ۲۰ درصد (w/v) به نمونه‌ها اضافه و برای مدت ۶۰ دقیقه در دمای ۴۰ درجه سلسیوس در شرایط تاریک گرم‌خانه‌گذاری شد. جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۶۵ نانومتر با استفاده از اسپکتروفوتومتر (مدل Jenway, 6715 UV/Vis) خوانده شد. از غلظت‌های مختلف اسید گالیک به عنوان ترکیب فنولیک استاندارد استفاده گردید و مقدار فنولیک کل به عنوان میلی‌گرم اسید گالیک به ازای هر گرم خرما به دست آمد (Ainsworth & Gillespie, 2007).

اندازه‌گیری ترکیبات فنولیک میوه خرما با استفاده از HPLC

غلظت اجزای تشکیل‌دهنده ترکیبات فنولیک در میوه خرما پرتوتابی شده و شاهد با تهیه عصاره استخراجی و آزمون کروماتوگرافی با کارایی بالا (HPLC) تعیین گردید. یک گرم از بافت خرما با ۳۰ میلی لیتر متانول مطلق به مدت ۴ ساعت در تاریکی هم‌زده شد و ترکیبات فنولیک استخراج گردید. نمونه‌ها در 15000 g به مدت ۳۰ دقیقه سانتریفیوژ شدند و مایع فوقانی با استفاده از فیلتر $0/45$ میکرون فیلتر شد و متانول با استفاده از اوپراتور از نمونه خارج گردید. محلول‌های استاندارد (اسید گالیک، اسید کافئیک، اسید وانیلیک، اسید سیرینجیک و اسید P-کوماریک) به صورت جداگانه در متانول تهیه شد. یک محلول استاندارد ترکیبی نیز از هر استاندارد تهیه گردید. مشخصات ترکیبات فنولی با استفاده از سیستم HPLC-UV (Dionex,)

اندازه‌گیری شاخص‌های رنگ میوه خرما (Sunnyvale, CA) تعیین شد. هر جزء با عبور نمونه‌ها از ستون ACE (۲۵۰ میلی‌متر، ۴/۶ میلی‌متر، DV10-2950، انگلستان) جداسازی شد. مقدار نمونه تزریق شده ۲۰ میکرولیتر بود. تشخیص در محدوده ۲۰۰ تا ۴۰۰ نانومتر توسط آشکارساز UV (مدل MWD-3000/8018650، انگلستان) صورت گرفت. پس از بهینه‌سازی شرایط مناسب برای فاز متحرک، تحلیل چندگرادیان انتخاب شد. جریان فاز متحرک چندگرادیان به صورت: ۱۰ تا ۱۵ درصد (A)، ۹۰ تا ۱۵ درصد (B)، برای هشت دقیقه اول، ۱۵ تا ۲۰ درصد (A)، ۸۵ تا ۸۰ درصد (B) از ۸ تا ۲۵ دقیقه و ۲۰ تا ۲۵ درصد (A)، ۷۵ تا ۸۰ درصد (B) از ۲۵ تا ۶۰ دقیقه برقرار شد. به‌طور مشابه، سرعت جریان به ترتیب از ۰/۳ میلی‌لیتر در دقیقه، ۰/۵ میلی‌لیتر در دقیقه و ۰/۶ میلی‌لیتر در دقیقه افزایش یافت. داده‌ها با نرم افزار Chromeleon 6.8 تجزیه و تحلیل شدند (Majid et al., 2023).

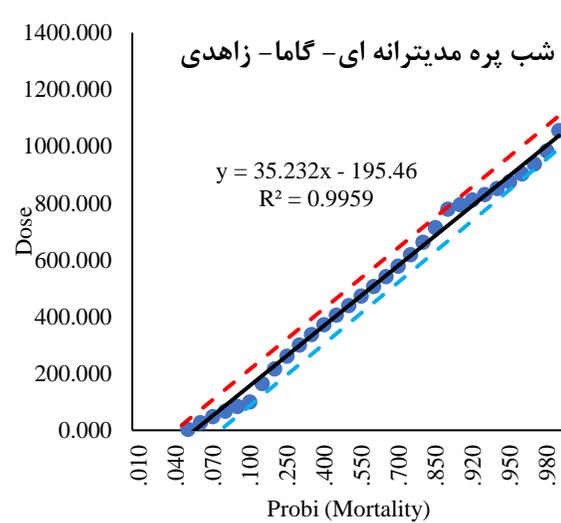
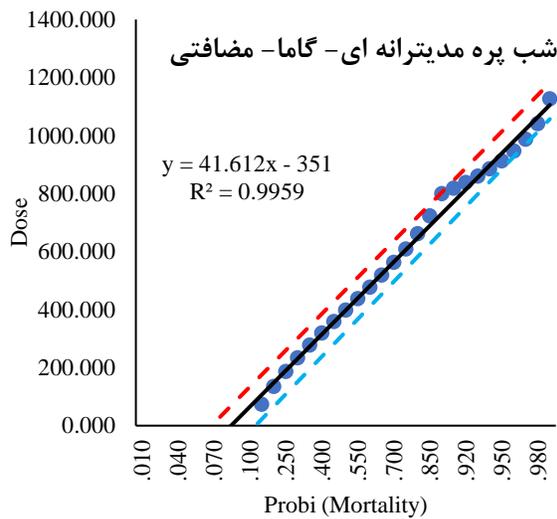
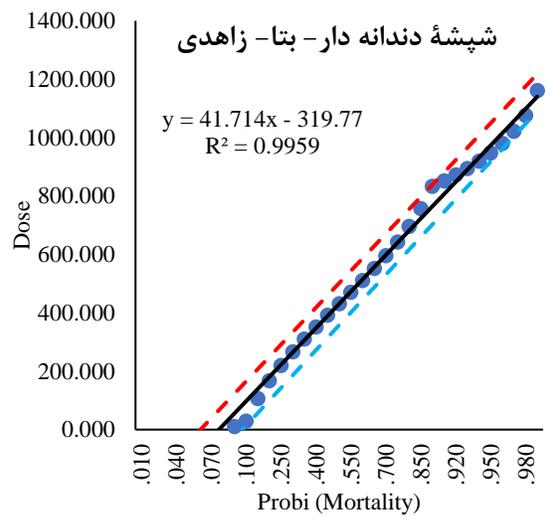
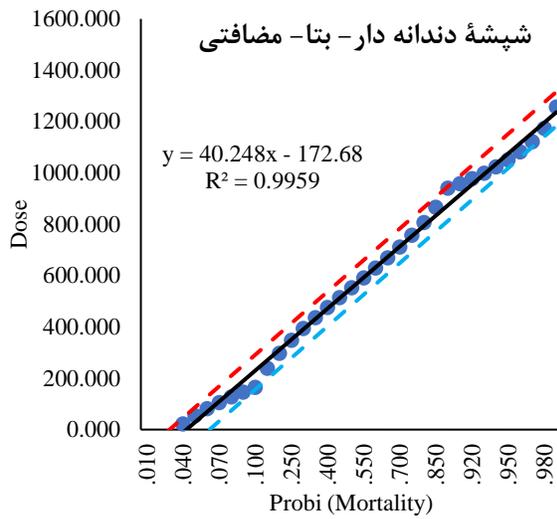
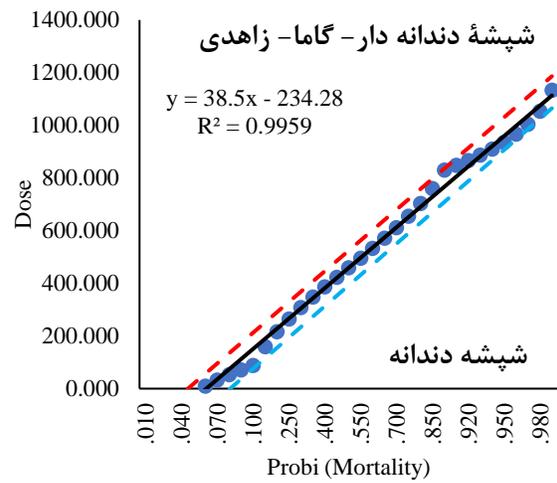
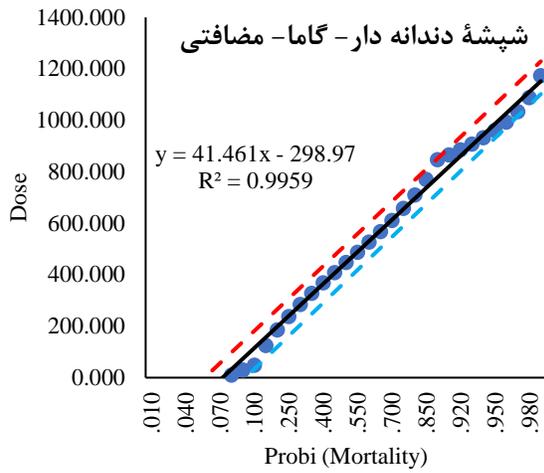
رنگ نمونه‌های خرما (پرتوتابی شده و شاهد) با استفاده از روش اصلاح شده یام و پاپاداکیس (Yam, and Papadakis, 2004) ارزیابی شد. تصاویر نمونه‌های خرما با استفاده از جعبه (به ابعاد ۶۰×۶۰×۹۰ سانتی‌متر) با استفاده از دوربین دیجیتال ۸ مگاپیکسل تحت زاویه ۴۵ درجه بین منبع روشنایی و دوربین-دست آمد و تصاویر برای آنالیز به کامپیوتر منتقل شد. فاصله بین دوربین و نمونه ۳۰ سانتی‌متر بود. موقعیت نسبی دوربین و نمونه برای تمامی نمونه‌ها یکسان نگه داشته شد. تصاویر گرفته شده در فرمت JPEG ذخیره و با استفاده از نرم افزار فتوشاپ ۸ تجزیه و تحلیل کمی شدند و رنگ در حالت Lab نرم افزار تعیین شد. آزمون رنگ‌سنجی در سه تکرار اجرا شد (Kamal-Eldin & Ghnimi, 2018).

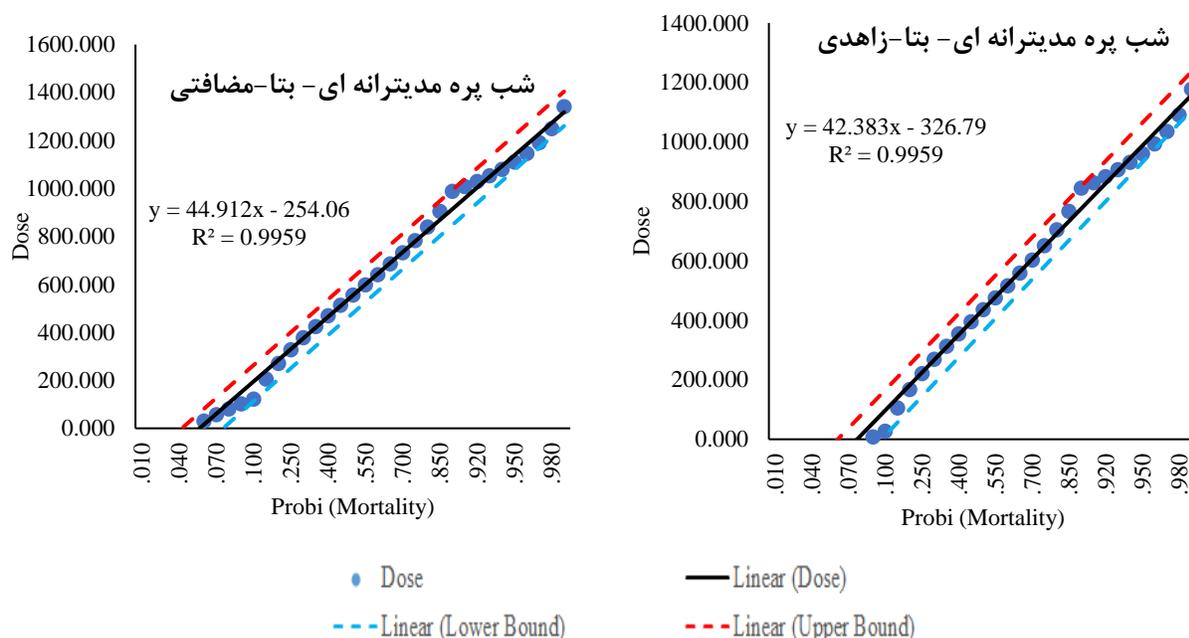
تجزیه و تحلیل داده‌ها

کلیه آزمایش‌ها با چهار تکرار دنبال شد. تمام داده‌های به‌دست‌آمده از آزمایش‌ها، پس از حصول اطمینان از نرمال بودن، به کمک آزمون کولموگوروف-اسمیرنوف^۱ برای مرحله بعدی تحلیل آماری به کار برده شدند. برای تعیین مقادیر دُز کشنده از روش لگاریتم - پروبیت استفاده شد. در روش لگاریتم - پروبیت با داشتن تعداد کشته‌شده‌ها، تعداد کل افراد و مقادیر دُز پرتو در رگرسیون پروبیت نتایج غلظت کشنده یک تا ۹۹ درصد را همراه با معنی‌داری رگرسیون ارائه می‌دهد (Robertson et al., 2017). برای کسب اطمینان از نیکویی برازش، از آزمون کای دو استفاده شد. برای مقایسه میانگین‌ها، از تحلیل واریانس یک‌طرفه (ANOVA)^۱ همراه با آزمون دانکن استفاده شد. تفاوت‌های آماری معنی‌داری $p < 0.05$ در نظر گرفته شد. برای کلیه تحلیل‌های آماری از نرم‌افزار IBM SPSS Statistics 27.0.1.0 یاری گرفته شد.

اندازه‌گیری قدرت آنتی‌اکسیدانی آهن

فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌های خرما به روش اندازه‌گیری قدرت آنتی‌اکسیدانی آهن (FRAP) با استفاده از معرف تهیه شده از ترکیب بافر استات (۱۰۰ میلی‌مولار، pH ۳/۵)، ۲,۴,۶-tripyridyl-s-triazine (TPTZ) (۱۰ میلی‌مولار در محلول ۵۰ میلی‌مولار HCl) و کلرید آهن (۲۵ میلی‌مولار) به نسبت ۱:۱:۱۰ اندازه‌گیری شد. سه میلی‌لیتر از این معرف به ۷۵ میکرولیتر عصاره متانولی میوه و ۳۰۰ میکرولیتر آب مقطر اضافه شد. مخلوط به مدت یک ساعت در دمای ۳۷ درجه سلسیوس انکوبه شد. جذب در ۵۹۳ نانومتر برای هر مخلوط خوانده شد. نتایج سنسج FRAP بر حسب میکرومولار Fe^{2+} معادل در هر گرم بیان گردید (Hasan & Mohieldein, 2016).





شکل ۱- مدل‌های زیست‌سنجی دُزهای کشنده پرتوگاما و بتا بر حشره کامل شپشه‌دندانه‌دار و لارو شب‌پره مدیترانه‌ای در ارقام خرماي زاهدی و مضافتی

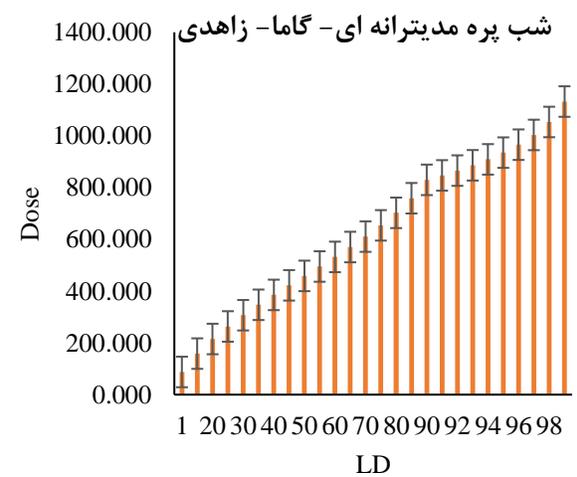
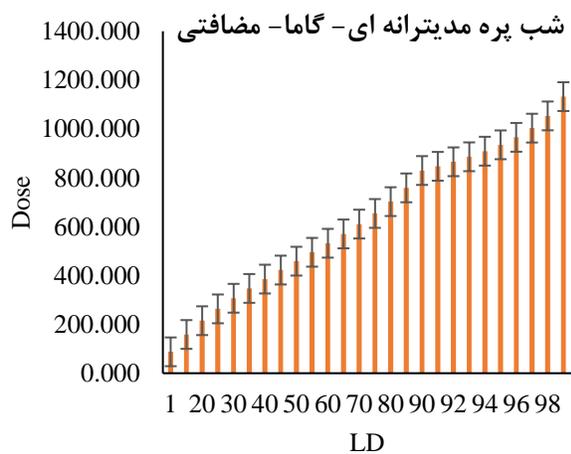
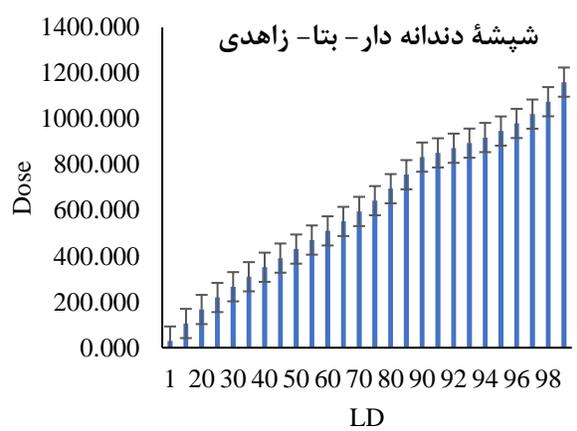
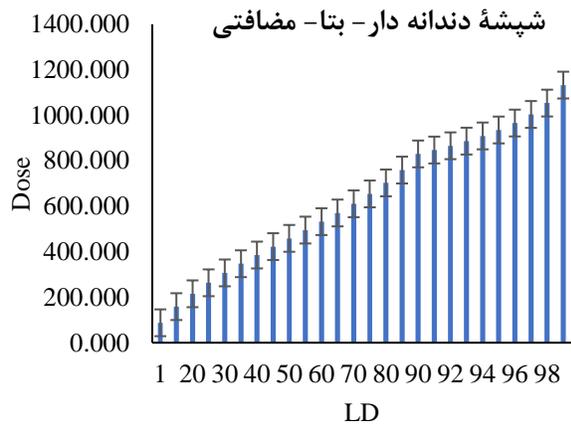
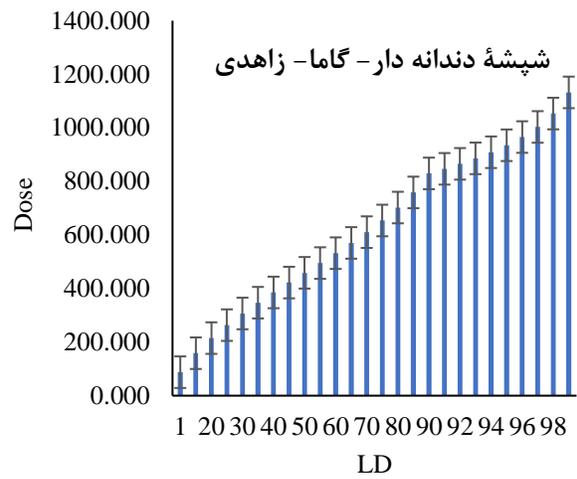
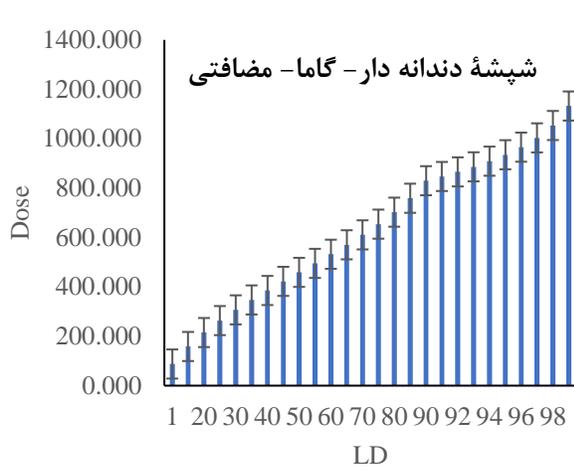
Figure 1- Bioassay models of lethal doses of Gamma and Beta rays on sawtoothed beetle adult and Mediterranean moth larvae in Zahedi and Mozafati date cultivars

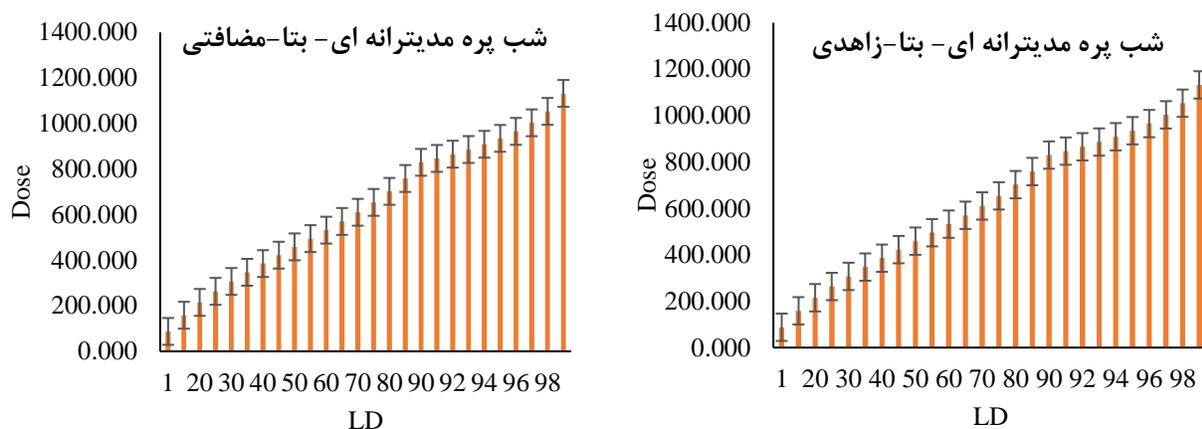
دندانه‌دار در ارقام زاهدی و مضافتی به ترتیب برابر ۱۸/۶۵ و ۲۱/۸۹، و برای پرتو بتا به ترتیب برابر ۲۵/۹۷ و ۱۸/۲۴ بود. همچنین، شاخص کای دو برای پرتو گاما روی شب‌پره مدیترانه‌ای در ارقام زاهدی و مضافتی به ترتیب برابر ۱۵/۳۲ و ۲۳/۷۸ و برای پرتو بتا به ترتیب برابر ۲۶/۱۲ و ۱۵/۵۲ بود. تمامی این مقادیر با درجه آزادی ۲۶ نشان‌دهنده تناسب خوب مدل در تعیین دُزهای کشنده است. بر اساس مدل‌های برازش‌شده، دُزهای کشنده ۱ تا ۹۹ درصد محاسبه شد که نتایج آن در شکل ۲ ثبت شده است.

نتایج و بحث

تعیین دُزهای کشنده پرتوهای گاما و بتا بر شپشه‌دندانه‌دار و شب‌پره مدیترانه‌ای مدل‌های برآورد دُزهای کشنده پرتوهای گاما و بتا بر حشره کامل شپشه‌دندانه‌دار و لارو شب‌پره مدیترانه‌ای برازش مناسبی را نشان داد که نتایج آن در شکل ۱ درج شده است. همان‌طور که در شکل ۱ دیده می‌شود، در همه مدل‌های زیست‌سنجی ضریب تبیین (R^2) بالاتر از ۹۵ است که نشان‌دهنده تناسب مدل برای برآورد دقیق دُزهای کشنده است. شاخص کای دو (نیکویی برازش) برای پرتو گاما روی شپشه‌

تأثیر پرتو گاما و بتا بر آفات و خواص بیوشیمیایی ارقام خرماى زاهدی و مضافتی





شکل ۲- دُزهای کشنده یک تا ۹۹ درصد پرتوگاما و بتا بر حشره کامل شپشه‌دنداندار و لارو شب‌پره مدیترانه‌ای در ارقام خرماي زاهدی و مضافتی

Figure 2 – The one to 99 percent lethal doses of Gamma and Beta rays on sawtoothed beetle adult and Mediterranean moth larvae in Zahedi and Mozafati date cultivars

لارو شب‌پره مدیترانه‌ای به ترتیب معادل ۱۱۷۷/۶۷ و ۱۳۴۰/۱۶ گری است. بنابراین، کم‌ترین دُز کشنده پرتو بتا ۵۰ و ۹۰ درصد در حشره کامل شپشه‌دنداندار در رقم زاهدی و بیشترین آن در لارو شب‌پره مدیترانه‌ای در رقم مضافتی است. مطالعات پژوهشگران نشان داده است که اثر پرتودهی بر حشرات بر اساس مرحله رشدی آنها بسیار متغیر است. مرحله تخم حساس‌ترین مرحله رشدی است در حالی که مراحل شفیره و حشره کامل بیشترین مقاومت را دارند. از طرفی، درجه مقاومت از راسته‌ای به راسته دیگر بسیار متفاوت است (Tilton & Brower, 2018). در این پژوهش، خسارت‌زاترین مرحله رشدی شپشه‌دنداندار و شب‌پره مدیترانه‌ای، به ترتیب حشره کامل و لارو، بررسی شدند. در تیمارهای پرتودهی گاما، حشره کامل شپشه‌دنداندار و در تیمارهای پرتودهی بتا لارو شب‌پره مدیترانه‌ای بیشترین مقاومت را نشان دادند. در مطالعات مختلف به‌طور کلی بال‌پولک‌داران، نسبت به سخت‌بال‌پوشان آفت انباری، دارای مقاومت بالاتری در مقابل پرتودهی هستند که دلیل آن داشتن کروموزوم‌هایی با سانترومر پیوسته است (Mastrangelo & Walder, 2011).

بر اساس شکل ۲، دُز کشنده ۵۰ درصد پرتوگاما برای حشره کامل شپشه‌دنداندار روی ارقام زاهدی و مضافتی به ترتیب معادل ۴۵۸/۷۲ و ۴۴۷/۳۴ گری و برای لارو شب‌پره مدیترانه‌ای به ترتیب معادل ۳۹۸/۰۱ و ۴۳۸/۷۲ گری است. دُز کشنده ۹۰ درصد پرتوگاما برای حشره کامل شپشه‌دنداندار روی ارقام زاهدی و مضافتی به ترتیب معادل ۱۱۳۲/۳۳ و ۱۱۷۲/۷۶ گری و برای لارو شب‌پره مدیترانه‌ای به ترتیب معادل ۱۰۵۵/۱۶ و ۱۱۲۶/۰۶ گری بود. بنابراین کم‌ترین دُز کشنده ۵۰ درصد پرتو گاما در لارو شب‌پره مدیترانه‌ای در رقم مضافتی و بیشترین آن در شپشه‌دنداندار در رقم زاهدی است. کم‌ترین دُز کشنده پرتو گاما ۹۰ درصد در لارو شب‌پره مدیترانه‌ای در رقم زاهدی و بیشترین آن در شپشه‌دنداندار در رقم مضافتی است. دُز کشنده ۵۰ درصد پرتو بتا برای حشره کامل شپشه‌دنداندار روی ارقام زاهدی و مضافتی به ترتیب معادل ۴۳۱/۰۸ و ۵۵۱/۷۸ گری و برای لارو شب‌پره مدیترانه‌ای به ترتیب معادل ۴۳۶/۱۱ و ۵۵۴/۳۶ گری است. دُز کشنده ۹۰ درصد پرتو بتا برای حشره کامل شپشه‌دنداندار روی ارقام زاهدی و مضافتی به ترتیب معادل ۱۱۶۰/۹۲ و ۱۲۵۵/۹۷ گری و برای

تأثیر پرتو گاما و بتا بر آفات و خواص بیوشیمیایی ارقام خرماى زاهدی و مضافتی

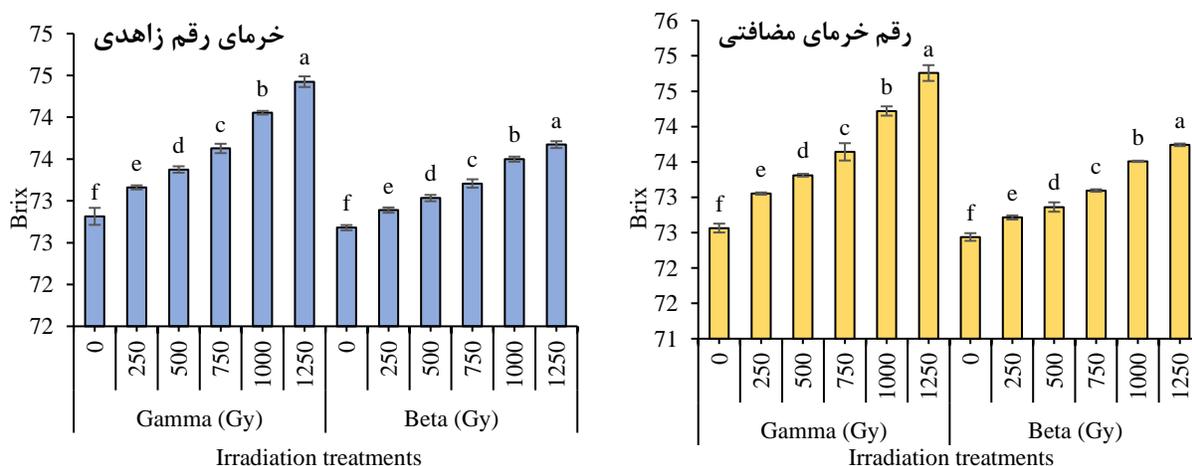
اقتصادی و تکنولوژیکی در کشورهای مختلف بر میزان پذیرش تیمارهای پرتو دهی در ضد عفونی خرما تأثیر داشته (Rosenblatt *et al.*, 2015) و طی مطالعات تکمیلی باید این جنبه های کاربرد پرتوهای یونیزه را در مدیریت آفات انباری خرما در ایران بررسی کرد.

تأثیر تیمارهای پرتو دهی گاما و بتا بر خواص بیوشیمیایی میوه خرما

مواد جامد انحلال پذیر کل نمونه های خرما

از صفات کیفی مهم و مؤثر در تعیین طعم و مزه میوه ها مواد جامد کل است که به صورت درصد تی اس اس یا درجه بریکس نشان داده می شود (Flowers *et al.*, 2022). بر اساس نتایج تجزیه واریانس تفاوت معنی داری در میزان مواد جامد کل در تیمارهای پرتو دهی گاما برای رقم زاهدی ($df = 5$) و بتا ($MS = 1/05$) و مضافتی ($df = 5$ و $MS = 1/91$) و پرتو دهی بتا برای رقم زاهدی ($df = 5$ و $MS = 0/42$) و مضافتی ($df = 5$ و $MS = 0/73$) نشان دادند. نتایج آزمون دانکن در سطح 5 درصد در شکل 3 نشان داده شده است.

پژوهشگران مختلف از دز 100 تا 1500 گری را برای کنترل آفات انباری در خرما پیشنهاد داده اند. این دامنه تفاوت بر اساس گونه غالب آفت انباری، مرحله رشدی مورد بررسی و رقم خرما مورد مطالعه متفاوت بوده است (Gadalla *et al.*, 2022). در این پژوهش نیز یکی از عوامل مؤثر در تغییر دزهای کشنده رقم خرما بود. برای شپشه دندانه دار که بیشتر ارقام خشک مانند زاهدی را به عنوان منبع غذایی ترجیح می دهد، دزهای بالاتری برای رسیدن به سطح کشندگی لازم در رقم زاهدی نسبت به رقم مضافتی نیاز بود. اما برای شب پره مدیریت انباری که بیشتر ارقام تر مانند مضافتی را به عنوان منبع غذایی ترجیح می دهد، دزهای بالاتری برای رسیدن به سطح کشندگی لازم در رقم مضافتی، نسبت به رقم زاهدی، نیاز بود. در این پژوهش دزهای 50 و 90 درصد مرگ و میر شپشه دندانه دار و شب پره مدیریت انباری در هر دو رقم زاهدی و مضافتی در تیمارهای پرتو دهی گاما نسبت به تیمارهای پرتو دهی بتا در سطح پایین تری نیاز بود. مطالعات مشابه نیز در موارد متعددی کارایی بالاتر پرتو دهی گاما نسبت به بتا را نشان داده است (Hallman, 1998). عوامل مختلفی مانند شاخص های



شکل 3- مقایسه میانگین شاخص مقدار مواد جامد انحلال پذیر کل در میوه های رقم زاهدی و مضافتی در تیمارهای پرتو دهی گاما و بتا
Figure 3- Comparison of the mean of amount of total soluble solids index in the fruits of Zahedi and Mozafati cultivars in Gamma and Beta irradiation treatments

مقدار گلوکز نسبت به فرکتوز روند کاهش معنی‌دارتری نشان داد. در شرایط تیمارهای پرتودهی بتا نیز از ۵۰۰ گری به بالا تغییرات نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد. اما تفاوت محسوسی در مقدار قند در دُزهای بالاتر مشاهده نشد. در تیمارهای پرتودهی بتا رقم مضافتی مقاومت بالاتری نسبت به کاهش مقدار قند نشان داد. براساس نتایج تحقیقات مشابه، هرچه میوهٔ خرما رسیده‌تر می‌شود، آب از درون میوه بیشتر به مناطق بیرونی آن می‌رود. در دماهای پایین‌تر، آب مولکول‌های قند را در حین حرکت به سمت سطح میوه حمل می‌کند. با تبخیر آب، قند به شکل بلوردر سطح میوه باقی می‌ماند. بنابراین، هرگونه تیماری که تبخیر را کاهش دهد، منجر به کاهش تبلور قندهای میوه خرما می‌شود و به حفظ کیفیت میوه کمک می‌کند (Dehghan-Shoar *et al.*, 2009). نتایج مطالعات مشابه نشان داد که میزان کل قند در ۱۴ رقم خرماي مراکشی در نتیجه افزایش دُزهای پرتودهی همین روند وجود داشته است. کاهش قنددر فرآیند ذخیره‌سازی میوه‌های خرماي پرتودهی شده نیز در تحقیقات مشابه گزارش شده است (Al-Kahtani *et al.*, 1998). افزایش اولیهٔ مقدار قند میوه‌ها ممکن است به دلیل تبدیل نشاسته به قند باشد، در حالی که روند کاهشی قندها تحت دُزهای بالاتر تابش گاما و بتا شاید به دلیل مصرف قند بیشتر برای تنفس در میوه‌های رسیده باشد (Baghel *et al.*, 2005). تیمارهایی که باعث کاهش کمتری در مقدار قند میوه خرما شوند، برای کاربرد در شرایط عملی مناسب‌تر هستند.

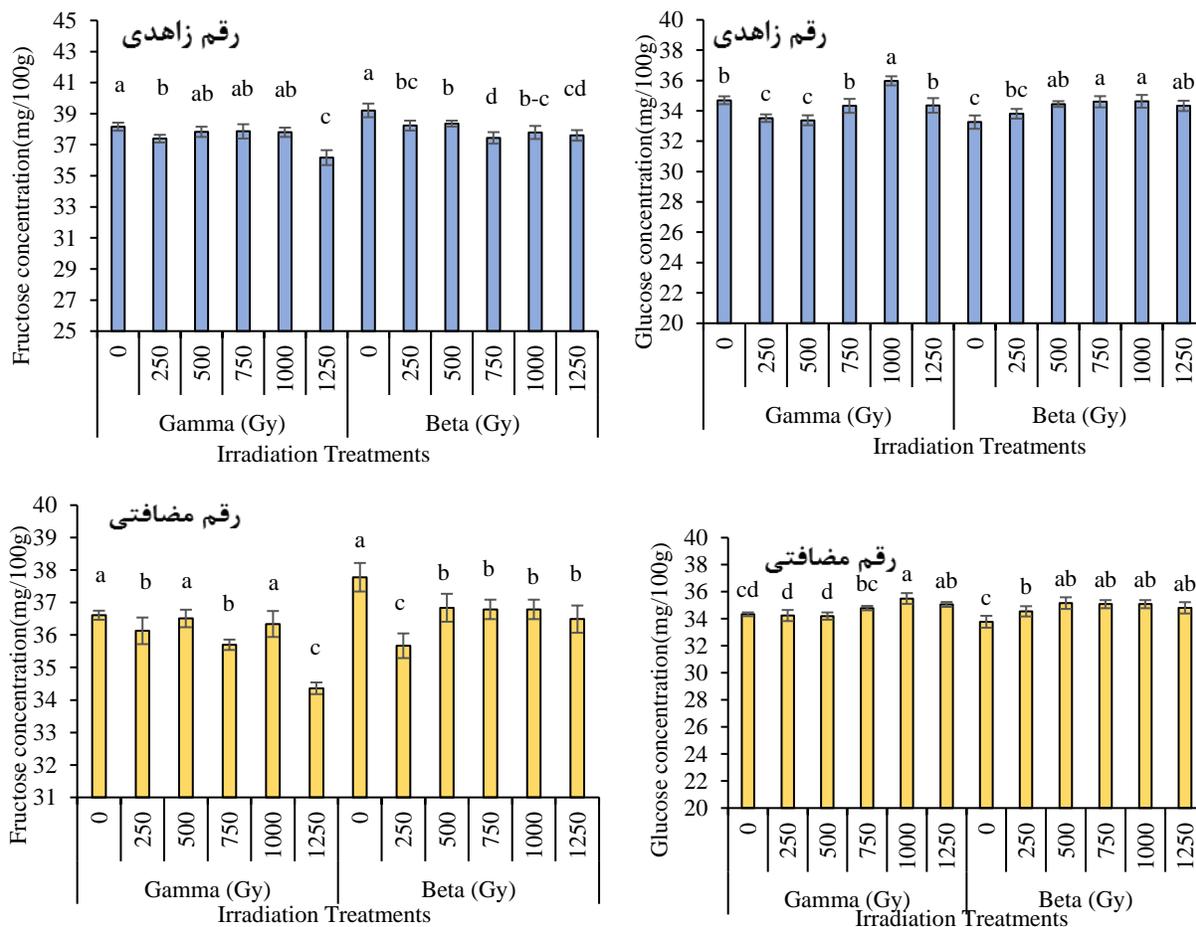
ترکیبات فنولیک

مقدار ترکیبات فنولویک شامل اسید گالیک، اسید کافئیک، اسید وانیلیک، اسید سیرینجیک و اسید P-کوماریک در دو رقم زاهدی و دیگری تحت‌تأثیر تیمارهای مختلف پرتودهی گاما و بتا هریک با پنج دُز مختلف با شاهد تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد نشان داد. نتایج آزمون دانکن در سطح ۵ درصد برای در شکل ۵ نشان‌داده‌شده است.

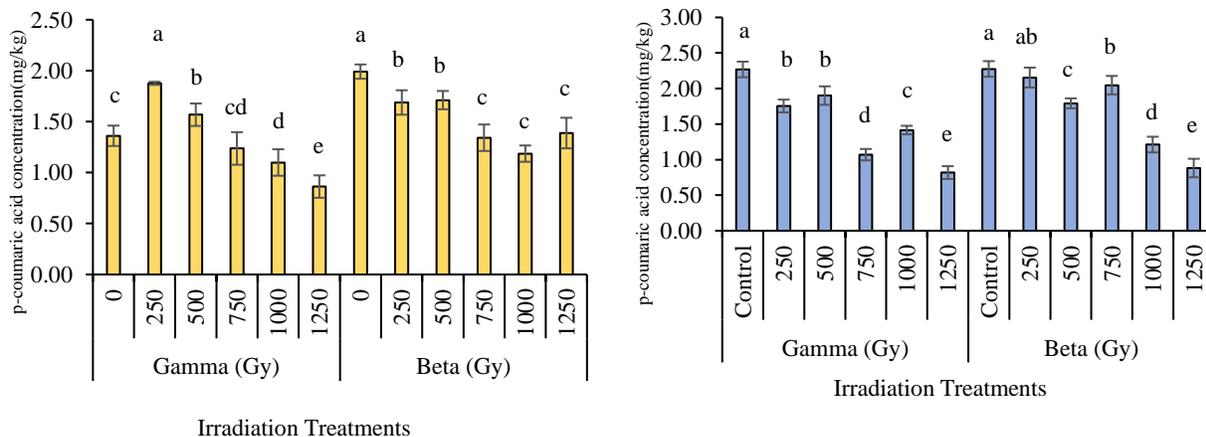
بر اساس نتایج ارائه شده در شکل ۳، با افزایش دُز در تیمارهای پرتودهی گاما و بتا در دو رقم زاهدی و مضافتی، درجهٔ بریکس میوه افزایش یافته است به طوری که کم‌ترین و بیشترین دُز پرتودهی گاما و بتا در هر دو رقم به ترتیب دارای کم‌ترین و بیشترین شاخص بریکس بودند. در هر دو رقم شیب افزایش شاخص بریکس با افزایش دُز پرتودهی در تیمارهای پرتودهی گاما بالاتر از پرتودهی بتا بود. افزایش درصد مواد جامد با گذشت زمان از طریق تغییر در ساختار دیوارهٔ سلولی میوه خرما و تجزیهٔ کربوهیدرات‌های پیچیده به قندهای ساده در حین انبارداری به‌وجود می‌آید (Alsaed *et al.*, 2013; Kays & Paull, 2004). در این پژوهش روند تغییرات افزایش میزان مواد جامد در تیمارهای پرتودهی با افزایش دُز پرتودهی گاما و بتا در دو رقم مضافتی و زاهدی مشاهده شد. زیرا تابش باعث کاهش سرعت متابولیسم محصول و همچنین تولید اتیلن می‌شود که به تاخیر در رسیدن و کاهش رطوبت میوه کمک می‌کند (Baghel *et al.*, 2005).

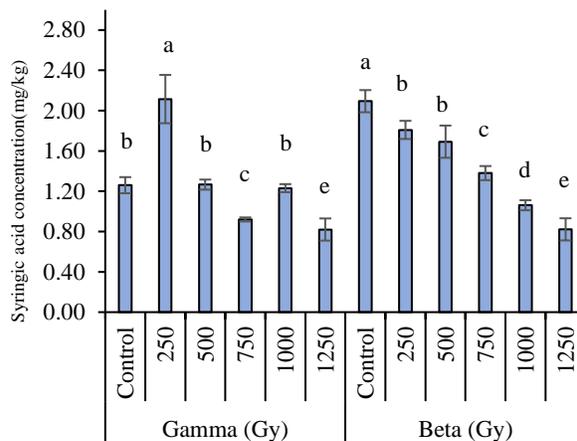
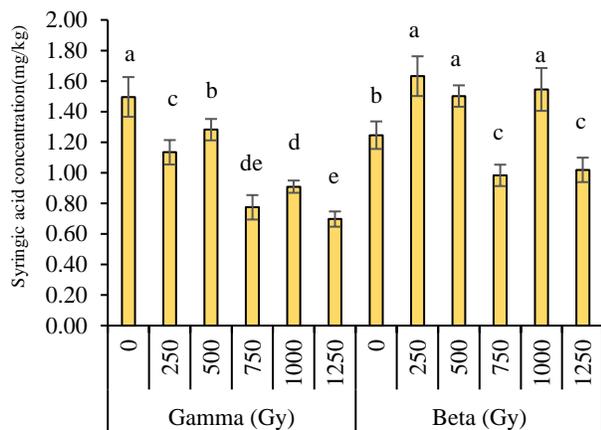
مقدار قند

مقایسهٔ میانگین مقدار قند ارقام زاهدی و مضافتی تحت تیمارهای پرتودهی گاما و بتا در شکل ۴ ارائه شده است، تجزیهٔ واریانس تفاوت معنی‌داری ($p < 0/05$) را بین مقادیر قندهای احیاکننده گلوکز و فروکتوز انحلال‌پذیر برای دو تیمار پرتودهی گاما در ارقام زاهدی و مضافتی (به ترتیب ۱/۵۲، ۰/۱۳، ۰/۲۶، ۰/۱۳، ۲/۱۱، ۰/۰۸، ۱/۳۸، ۰/۱۵ و $Ms=0/15$ و $df=5$) نشان داد. قندهای احیاکننده با افزایش تدریجی سطح دوز تابش تا ۱۲۵۰ گری برای ارقام زاهدی و مضافتی نسبت به شاهد کاهش یافتند. در شرایط تیمارهای پرتودهی گاما از دُز بالاتر از ۲۵۰ گری اختلاف معنی‌دار با شاهد مشاهده شد اما در فاصله دُزهای ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ گری مقاومت نسبت به کاهش مقدار قند مشاهده شد. در دُزهای بالاتر از ۱۰۰۰ گری کاهش معنی‌دارتری در مقدار قند میوه مشاهده شد. تغییرات کاهش مقدار قند در رقم مرطوب مضافتی نسبت به رقم زاهدی بیشتر بود.

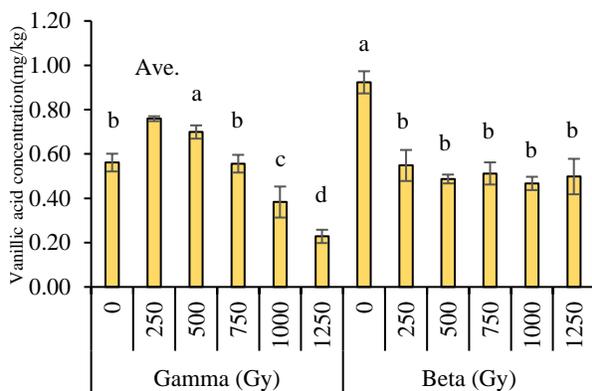


شکل ۴- نتایج مقایسه میانگین شاخص مقدار قند (گلوکز و فروکتوز) در میوه‌های رقم زاهدی و مضافتی در تیمارهای پرتودهی گاما و بتا
Figure 4- Comparison of the mean of amount of Sugar content (glucose and fructose) index in the fruits of Zahedi and Mozafati cultivars in Gamma and Beta irradiation treatments

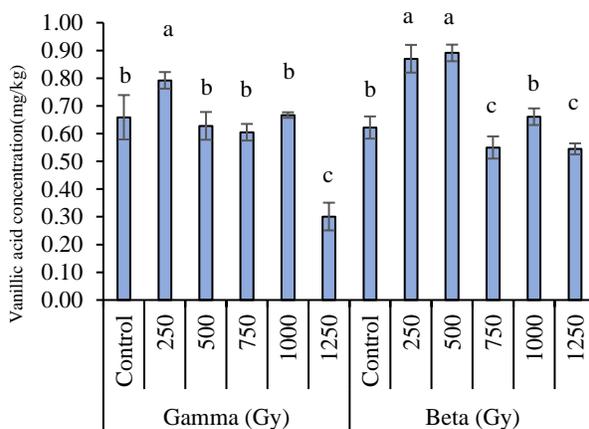




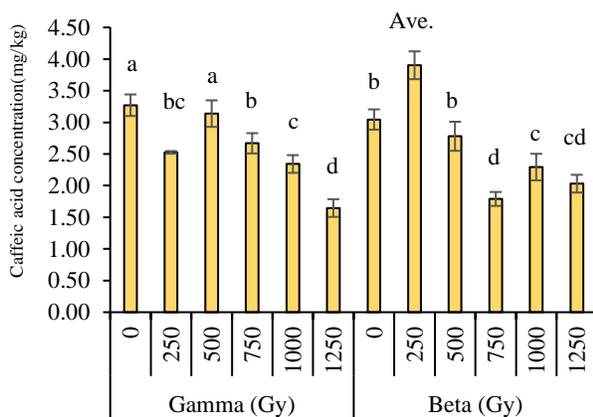
Irradiation Treatments



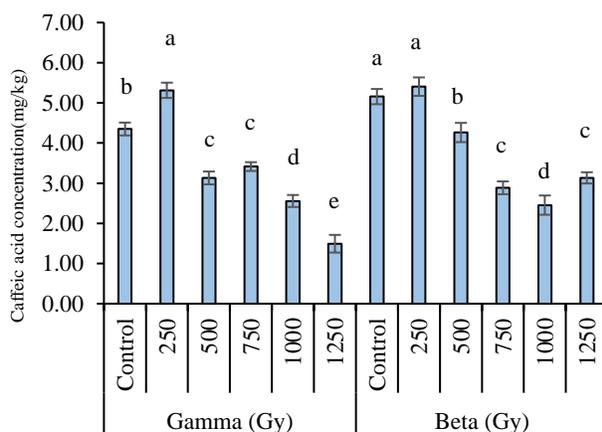
Irradiation Treatments



Irradiation Treatments

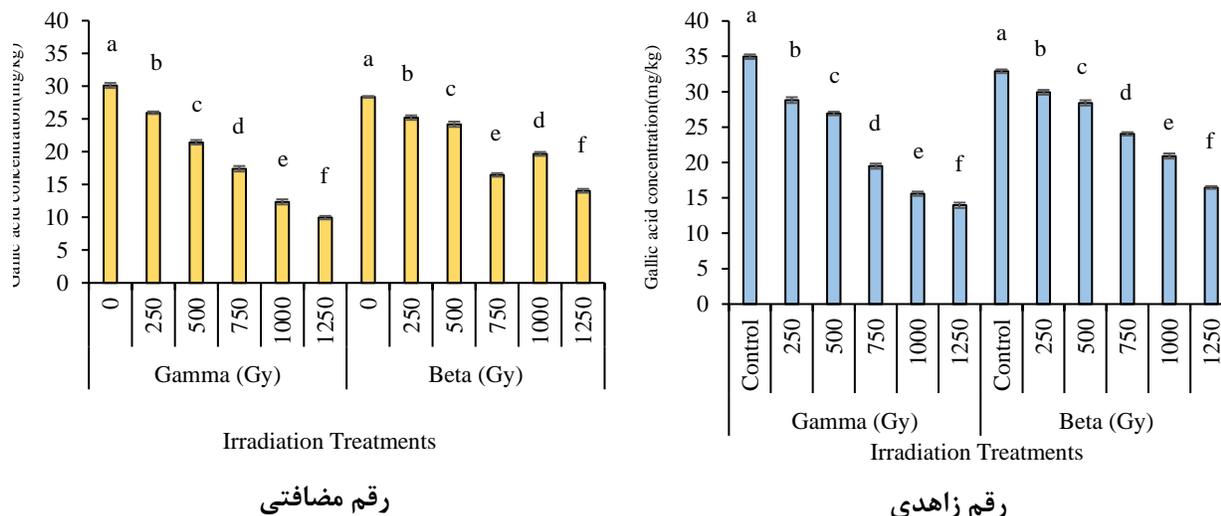


Irradiation Treatments



Irradiation Treatments

تأثیر پرتو گاما و بتا بر آفات و خواص بیوشیمیایی ارقام خرماى زاهدی و مضافتی



شکل ۵- نتایج مقایسه میانگین شاخص مقدار ترکیبات فنولیک (شامل اسید گالیک، اسید کافئیک، اسید وانیلیک، اسید سیرینجیک و اسید P-کوماریک) در میوه‌های رقم زاهدی و مضافتی در تیمارهای پرتو دهی گاما و بتا

Figure 5- Comparison of the mean of The content of phenolic compounds (including gallic acid, caffeic acid, vanillic acid, syringic acid and p-coumaric acid) index in the fruits of Zahedi and Mozafati cultivars in Gamma and Beta irradiation treatments

بر اساس شکل ۵، در هر دو رقم زاهدی و مضافتی با افزایش دُز در تیمارهای پرتو دهی گاما و بتا مقدار ترکیبات فنولیک شامل اسید گالیک، اسید کافئیک، اسید وانیلیک، اسید سیرینجیک و اسید P-کوماریک به تدریج کاهش می‌یابد و تفاوت‌های میان دُزهای مختلف با یکدیگر و با شاهد معنی‌دار است. در تیمارهای پرتو دهی گاما در رقم زاهدی، اسید گالیک و اسید P-کوماریک به تدریج با افزایش دُز محتوی اسیدی کاهش یافته است. در این تیمارها مقدار اسید کافئیک، اسید وانیلیک و اسید سیرینجیک تا سطح دُز ۱۰۰۰ گری که در همین پژوهش برای کنترل دو آفت شپشه‌دنداندار و شب‌پره مدیترانه‌ای کفایت کرده است کاهش معنی‌داری مشاهده نشد. در دُزهای بالاتر، کاهش مقدار اسیدهای فنولیک کاهش معنی‌داری مشاهده شد. همین روند تغییرات در رقم مضافتی با شیب تغییرات کمتری ثبت شد. در تحقیقات مشابه نشان داده شده که در نتیجه تیمارهای پرتو دهی گاما مقادیر

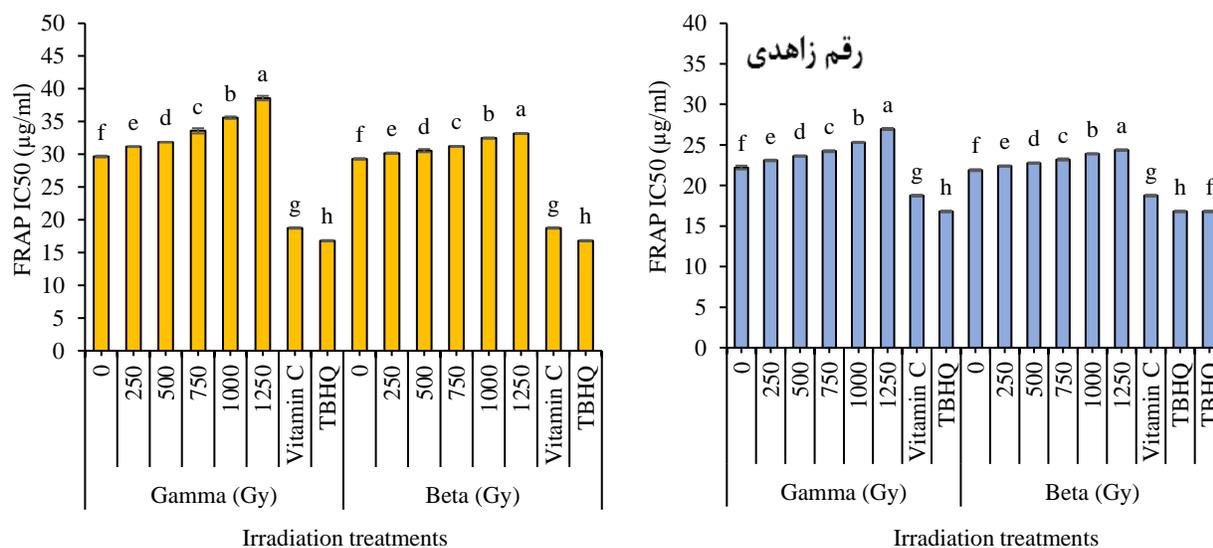
فنولیک اسید به طور قابل توجهی در نتیجه تخریب تانن و اصلاح ساختار مولکول افزایش یافته است. علاوه بر این، بازآفرینی آنزیم فنیل آلانین آمونیاک لیاز، که مسئول سنتز پلی فنولیک اسید است منجر به کاهش مقدار این ترکیب فنولیک شده است (Aly, 2019; Ghadi *et al.*, 2015). در مطالعات دیگر مشخص شد که شکل‌های مختلف پرتو دهی بر مقدار فنلی غذاها و محصولات جانبی آن‌ها تأثیر می‌گذارند. پرتو دهی بر میزان آزادسازی فنول‌های با وزن مولکولی کم با فعالیت آنتی‌اکسیدانی مؤثر هستند (Harrison & Were, 2007). ترکیبات فنولی نقش مهمی در تغذیه ندارند اما تأثیری مهمی در بقای کیفیت میوه پس از برداشت دارند (Tomás-Barberán & Espín, 2001). از این رو تیمارهای پس از برداشت که باعث افزایش یا کاهش نیافتن معنی‌دار در مقدار این ترکیبات در میوه شوند، برای کاربرد در مدیریت کنترل آفات انباری خرما مناسب‌تر هستند.

قدرت آنتی‌اکسیدانی آهن

شکستن پیوندهای شیمیایی پلی فنل‌ها و در نتیجه تخلیه فنول‌های انحلال‌پذیر با وزن مولکولی کوچک مناسب است و باعث ایجاد فنول‌های غنی از آنتی‌اکسیدان‌ها می‌شود. نتایج تحقیقات مشابه نشان داده‌است که فعالیت ضد رادیکال برای میوه خرماي رقم دگلت نور در تونس دامنه وسیعی از تغییرات قدرت آنتی‌اکسیدانی آهن از ۲۷/۹۷ تا ۷۶/۴۰ گزارش شده است. دسترسی بیشتر به آنتی‌اکسیدان‌های مختلف می‌تواند ظرفیت مهار Diphenyl picrylhydrazyl (یک رادیکال آزاد پایدار با یک بتا جفت نشده روی یکی از اتم‌های پل نیتروزنی) عصاره خرما را فعال کند (Zineb et al., 2012). با توجه به تأثیر تیمارهای پرتودهی گاما و بتا در فعال شدن بهتر قدرت آنتی‌اکسیدانی آهن در میوه‌های زاهدی و مضافتی، این تیمارها اثرهای مثبتی در افزایش کیفیت و ماندگاری خرماي زاهدی و دیری داشته است.

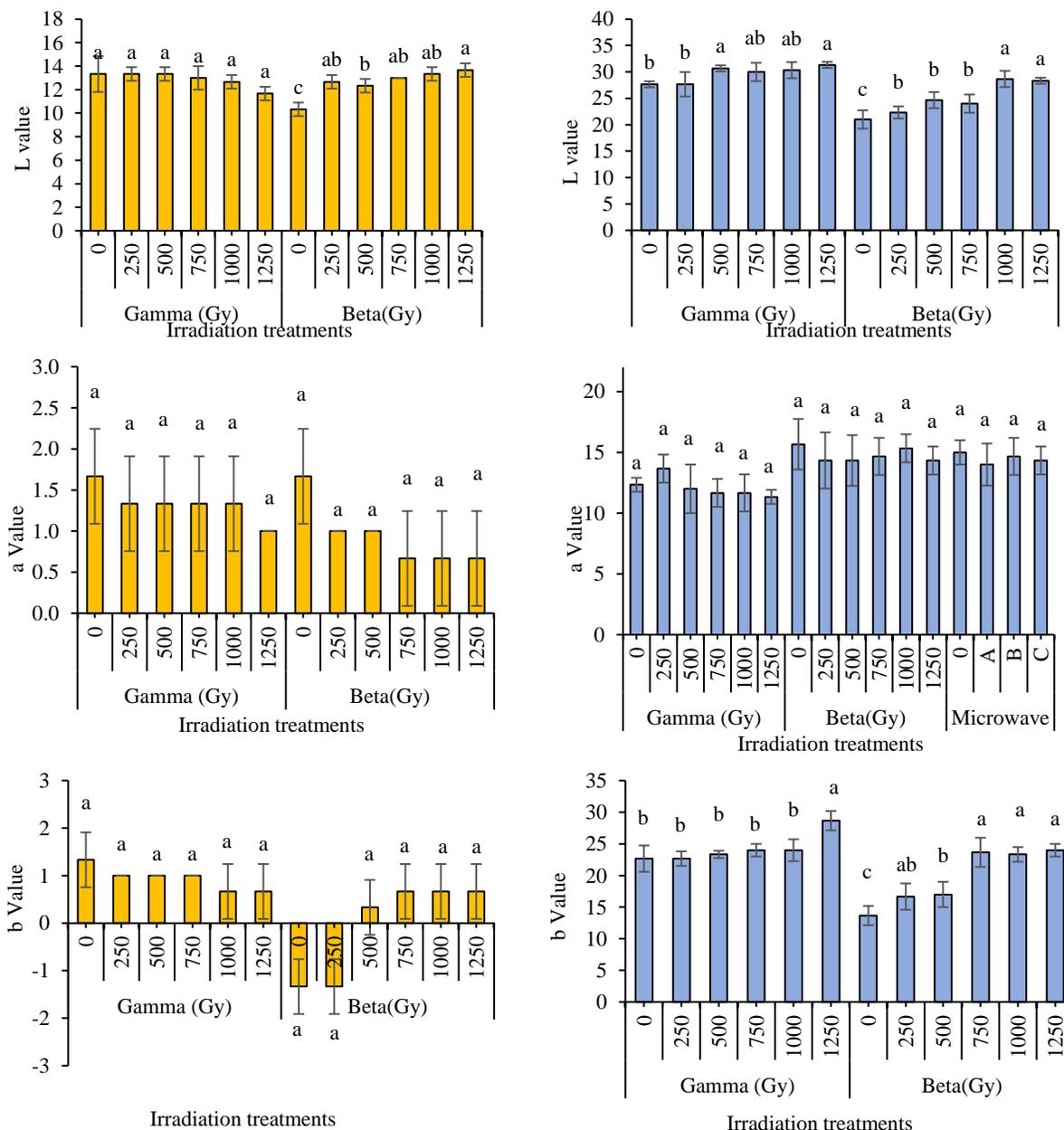
مقایسه میانگین قدرت آنتی‌اکسیدانی آهن ارقام زاهدی و مضافتی تحت تیمارهای پرتودهی گاما و بتا در شکل ۶ ارائه شده است، تجزیه واریانس تفاوت معنی‌داری ($p < 0.05$) بین مقادیر قدرت آنتی‌اکسیدانی آهن برای دو تیمارهای پرتودهی گاما در ارقام زاهدی و مضافتی (به ترتیب ۳۳/۸۹، ۲۰/۸۷، ۱۸۰/۷۰، Ms=۱۲۰/۳۸ و df=۵) نشان داد.

بر اساس نتایج ارائه شده در شکل ۶، قدرت آنتی‌اکسیدانی عصاره میوه خرماهای تحت تیمارهای پرتودهی گاما و بتا تفاوت معنی‌داری با شاهد نشان دادند. بین دزهای مختلف پرتودهی نیز اختلاف معنی‌داری مشاهده شد و با افزایش دز با شیب ملایمی قدرت آنتی‌اکسیدانی آهن افزایش نشان داد. شیب این تغییرات در تیمارهای پرتودهی گاما بالاتر بود تا در تیمارهای پرتودهی بتا. در رقم مضافتی نیز سطح تغییرات قدرت آنتی‌اکسیدانی آهن بالاتر بود تا در رقم زاهدی. تابش گاما برای



شکل ۶- نتایج مقایسه میانگین شاخص قدرت آنتی‌اکسیدانی آهن در میوه‌های رقم زاهدی و مضافتی در تیمارهای پرتودهی گاما و بتا
 Figure 6- Comparison of the mean of the antioxidant power of iron regeneration index in the fruits of Zahedi and Mozafati cultivars in Gamma and Beta irradiation treatments

شاخص‌های رنگ میوه خرما
گاما و بتا مشاهده نشد. مقایسه میانگین پارامترهای رنگ ارقام
بر مبنای نتایج به دست آمده، تفاوت معنی‌داری بین داده-
های پارامترهای رنگ *b*a*L در شاهد و تیمارهای پرتودهی
زاهدی و مضافتی تحت تیمارهای پرتودهی گاما و بتا در شکل
۷ ارائه شده است.



رقم مضافتی

رقم زاهدی

شکل ۷- نتایج مقایسه میانگین پارامترهای رنگ *b*a*L در میوه‌های رقم زاهدی و مضافتی در تیمارهای پرتودهی گاما و بتا

Figure 7- Comparison of the mean of *b*a*L color parameters in the fruits of Zahedi and Mozafati cultivars in Gamma and Beta irradiation treatments

مخاطره یکی از روش‌هایی است که به پیشرفت تجارت خرما کمک می‌کند. اغلب هزینه‌های کلی تجهیزات پرتودهی، گراف به نظر می‌رسند، اما در عوض هزینه صرف شده در هر واحد، در مقایسه با دیگر تیمارها، بسیار ارزان‌تر خواهد بود. عوامل مختلفی مانند دُز کاربردی، ظرفیت و قابلیت بسته‌بندی محصولات، و شرایط آب‌وهوایی در ظرفیت پذیرش هزینه‌های پرتودهی مؤثر هستند (Cleland *et al.*, 2020). هزینه‌های ناشی از پرتودهی قابلیت رقابت با دیگر تیمارهای دوره‌ای پس از برداشت محصولات باغبانی را دارند. در بعضی موارد، پرتودهی به طور قابل توجهی ارزان‌تر است. برای مثال هزینه پرتودهی برای کاربرد در قرنطینه، حدود ۲۰-۱۰ درصد کمتر از تیمار گرمادهی تخمین زده شده است (Kunstadt, 2020). استفاده از دُزهای پرتودهی ۱۰۰۰ تا ۱۲۵۰ گری برای کنترل دو آفت انباری مهم خرما شامل شپشه دندانه‌دار و شب‌پره مدیترانه‌ای قابل توصیه است، بدون این که تأثیر منفی و معنی‌داری بر خواص بیوشیمیایی و ظاهری میوه ارقام خرما زاهدی و مضافتی داشته باشد. بررسی‌های کیفی خرماهای پرتودهی شده در بازه‌های چند ماهه (پس از پرتودهی) نیز در پژوهش‌های آتی باید بررسی شود زیرا در این شرایط امکان توصیه‌های کاربردی تکمیلی بیشتری برای این روش کنترل آفات انباری خرما فراهم خواهد شد.

تعارض منافع

نویسندگان در خصوص مقاله ارائه شده به طور کامل از سوء اخلاق نشر، از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پرهیز نموده‌اند و منافع تجاری در این راستا وجود ندارد.

رنگ و جلوه ظاهری میوه از مهم‌ترین پارامترهای مدنظر مشتریان به منظور برآورد کیفیت میوه است و بنابراین به‌عنوان شاخص حساس در خصوص رد یا قبول تکنیک کنترل آفات پس از برداشت است (de Jesus *et al.*, 2023). بررسی روند میانگین تغییرات روشنایی (L (Lightness) رنگ، اندازه‌گیری شده در تیمارهای مختلف نشان می‌دهد که با افزایش دُز پرتودهی بتا افزایش غیرمعنی‌داری در شاخص روشنایی در دو رقم زاهدی و مضافتی به وجود آمده است. اما در زمینه پرتودهی گاما این روند کاهش و غیرمعنی‌دار بود. روند میانگین تغییرات (a (Redness) رنگ اندازه‌گیری شده در تیمارهای پرتودهی گاما و بتا در دو رقم کاهش و غیرمعنی‌داری نشان داد. روند میانگین تغییرات (b (Yellowness) نیز در کلیه تیمارهای پرتودهی و در دو رقم نسبت به شاهد روند افزایشی و غیرمعنی‌داری داشت.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که پرتودهی میوه خرما ارقام زاهدی و مضافتی به ترتیب به‌عنوان نماینده ارقام خرما خشک و تر با دُزهای برآورد شده در این پژوهش نه تنها باعث کنترل مراحل خسارت‌زای دو آفت انباری مهم خرما شامل شپشه‌دندانه‌دار و شب‌پره مدیترانه‌ای میوه شد، بلکه تأثیر منفی و معنی‌داری بر خواص بیوشیمیایی و ظاهری میوه این ارقام خرما نداشته است. توسعه این فناوری، در مقایسه با دیگر روش‌های ضدعفونی میوه خرما، نیاز به اقتصادسنجی روش‌های تجاری‌سازی آن دارد. باتوجه به اینکه موانعی مانند آفات، بیماری‌ها و عدم رعایت استاندارد سلامت خرما صادر شده، همواره تهدیدی برای تجارت آن هستند، حذف این عوامل

منابع

- Ahmed, S. S., Naroz, M. H., & El-Mohandes, M. A. (2022). Use of modified atmospheres combined with phosphine in controlling stored date fruit pests, *Oryzaephilus surinamensis* and *Tribolium confusum*, and effect on the fruit chemical properties. *International Journal of Tropical Insect Science*, 42(2), 1933-1941.
- Ainsworth, E. A., & Gillespie, K. M. (2007). Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin-Ciocalteu reagent. *Nature Protocols*, 2(4), 875-877.
- Al-Farsi, M., Al-Amri, M., Al-Rawahi, F., Al-Abid, M., & Gohs, U. (2010, March). Disinfestation of dates using Beta beams in comparison with other treatments. In IV International Date Palm Conference 882 (pp. 569-576).
- Alinezhad, M., Hojjati, M., Barzegar, H., Shahbazi, S., & Askari, H. (2021). Effect of Gamma irradiation on the physicochemical properties of pistachio (*Pistacia vera* L.) nuts. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15, 199-209.
- Al-Kahtani, H. A., Abu-Tarboush, H. M., Al-Dryhim, Y. N., Ahmed, M. A., Bajaber, A. S., Adam, E. S. E., & El-Mojaddidi, M. A. (1998). Irradiation of dates: insect disinfestation, microbial and chemical assessments, and use of thermoluminescence technique. *Radiation Physics and Chemistry*, 53(2), 181-187.
- Al-Kahtani, H. A., Abu-Tarboush, H. M., Al-Dryhim, Y. N., Ahmed, M. A., Bajaber, A. S., Adam, E. S. E., & El-Mojaddidi, M. A. (1998). Irradiation of dates: insect disinfestation, microbial and chemical assessments, and use of thermoluminescence technique. *Radiation Physics and Chemistry*, 53(2), 181-187.
- Alsaed, A. K., Mehyar, G. F., & Arar, A. (2013). Effect of harvesting time and storage temperature on the duration of Balah stage of 'Barhi' dates. *Italian Journal of Food Science*, 25(3).
- Aly, A. M., Eliwa, N., & AbdEl-Megid, M. H. (2019). Stimulating effect of Gamma radiation on some active compounds in eggplant fruits. *Egyptian Journal of Radiation Sciences and Applications*, 32(1), 61-73.
- Azelmat, K., Sayah, F., Mouhib, M., Ghailani, N., & Elgarrouj, D. (2005). Effects of Gamma irradiation on fourth-instar *Plodia interpunctella* (Hübner) (*Lepidoptera: Pyralidae*). *Journal of Stored Products Research*, 41(4), 423-431.
- Baghel, B. S., Gupta, N., Khare, A., & Tiwari, R. (2005). Effect of different doses of Gamma radiation on shelf-life of guava. *Indian Journal of Horticulture*, 62(2), 129-132.
- Cleland, M. R., Herer, A. S., & Cokragan, A. (2020). Economics of machine sources for irradiation of food. In *Irradiation for Food Safety and Quality* (pp. 158-168). CRC Press.
- de Jesus, O. N., Lima, L. K. S., dos Santos, I. S., dos Santos, M. A., & Rosa, R. C. C. (2023). Bright red passion fruit-evaluation of colorimetry and physicochemical quality for the fresh fruit market. *Scientia Horticulturae*, 317, 112016.
- Dehghan-Shoar, Z., Hamidi-Esfahani, Z. & Abbasi, S. (2010). Effect of temperature and modified atmosphere on quality preservation of Sayer date fruits (*Phoenix dactylifera* L.). *Journal of Food Processing and Preservation*, 34(2), 323-334.
- Fields, P. G., & White, N. D. (2002). Alternatives to methyl bromide treatments for stored-product and quarantine insects. *Annual Review of Entomology*, 47(1), 331-359.
- Flowers, J. M., Hazzouri, K. M., Lemansour, A., Capote, T., Gros-Balthazard, M., Ferrand, S., ... & Purugganan, M. D. (2022). Patterns of volatile diversity yield insights into the genetics and biochemistry of the date palm fruit volatilome. *Frontiers in Plant Science*, 13, 853651.
- Gadalla, E. G., Lewaa, L. M., El-Shafei, W. K. M., & Assous, M. T. M. (2022). Effect of Physical Methods on Date Fruits Insects and Microbes. *Asian Research Journal of Agriculture*, 15(4), 124-133.

- Ghadi, F. E., Ghara, A. R., & Ghanbari, T. (2015). Effect of Gamma irradiation on the total phenolic content and free radical scavenging activity of Iranian date palm Mazafati (*Phoenix dactylifera* L.). *International Journal of Latest Research in Science and Technology*, 4(5), 149-153.
- Hallman, G. J. (1998). Ionizing radiation quarantine treatments. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*, 27, 313-323.
- Harrison, K., & Were, L. M. (2007). Effect of Gamma irradiation on total phenolic content yield and antioxidant capacity of almond skin extracts. *Food Chemistry*, 102(3), 932-937.
- Hasan, M., & Mohieldein, A. (2016). In vivo evaluation of anti-diabetic, hypolipidemic, antioxidative activities of Saudi date seed extract on streptozotocin induced diabetic rats. *Journal of Clinical and Diagnostic Research: JCDR*, 10(3), FF06.
- Hojjati, M., Shahbazi, S., Askari, H., Nafchi, A. M., & Makari, M. (2024). Impact of the Gamma and Beta beam irradiations on yeast-spot disease fungal agent and physicochemical attributes of hazelnut (*Corylus avellana* L.). *Radiation Physics and Chemistry*, 216, 111469.
- Hosseinzadeh, A., Shayesteh, N., Zolfaghari, H. R., Babaei, M., Zareshahi, H., Mostafavi, H. A., & Fatollahi, H. (2010). Gamma radiation sensitivity of different stages of saw-toothed grain beetle *Oryzaephilus surinamensis* L. (Coleoptera: Silvanidae). *Journal of Plant Protection Research*.
- Kamal-Eldin, A., & Ghnimi, S. (2018). Classification of date fruit (*Phoenix dactylifera*, L.) based on chemometric analysis with multivariate approach. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(2), 1020-1027.
- Kays, S. J., & Paull, R. E. (2004). *Postharvest biology*. Exon Press. 568 pp.
- Kunstadt, P. (2020). Economics of food irradiation. In *Irradiation for Food Safety and Quality* (pp. 129-157). CRC Press.
- Latifian, M. (2013). *Date Palm Stored Pests Control*. Ahangghalam Publisher, Mashhad, Iran, 100 PP.
- Latifian, M., Moghadam, M. J., & Jahromi, S. R. (2021). Competition and overlap of *Oryzaephilus surinamensis* and *Plodia interpunctella* populations under condition of stored date fruits. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 24(1), 201-207.
- Mahdi, K. H., Hussain, H. S., & Saad, M. T. (2017). The optimal irradiation of Iraqi dates fruit by gamma radiation for disinfestation purposes. *Advances in Physics Theories and Applications*, 61, 50-56.
- Majid, A., Naz, F., Bhatti, S., & Phull, A. R. (2023). Phenolic profile and antioxidant activities of three date seeds varieties (*Phoenix Dactylifera* L.) of Pakistan. *Exploratory Research and Hypothesis in Medicine*, 8(3), 195-201.
- Makari, M., Hojjati, M., Shahbazi, S., & Askari, H. (2021). Effect of Co-60 Gamma irradiation on *Aspergillus flavus*, Aflatoxin B1 and qualitative characteristics of pistachio nuts (*Pistacia vera* L.). *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(6), 5256-5265.
- Mastrangelo, T., & Walder, J. (2011). Use of radiation and isotopes in insects. *Radioisotopes—Applications in Bio-medical Science*, 67-92.
- Mrabet, A., Jiménez-Araujo, A., Fernández-Bolaños, J., Rubio-Senent, F., Lama-Muñoz, A., Sindic, M., & Rodríguez-Gutiérrez, G. (2016). Antioxidant phenolic extracts obtained from secondary Tunisian date varieties (*Phoenix dactylifera* L.) by hydrothermal treatments. *Food Chemistry*, 196, 917-924.
- Osman, K. A., Al-Humaid, A. I., Al-Redhaiman, K. N., & El-Mergawi, R. A. (2014). Safety methods for chlorpyrifos removal from date fruits and its relation with sugars, phenolics and antioxidant capacity of fruits. *Journal of Food Science and Technology*, 51, 1762-1772.
- Piccirillo, V. J., & Piccirillo, A. L. (2010). Methyl bromide. In *Hayes' Handbook of Pesticide Toxicology* (pp. 2267-2279). Academic Press.
- Robertson, J. L., Jones, M. M., Olguin, E., & Alberts, B. (2017). *Bioassays with arthropods*. CRC press. 212 pp.

- Rosenblatt, E., Acuña, O., & Abdel-Wahab, M. (2015). The challenge of global radiation therapy: an IAEA perspective. *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*, 91(4), 687-689.
- Sporchia, F., Patrizi, N., & Pulselli, F. M. (2023). Date fruit production and consumption: a perspective on global trends and drivers from a multidimensional footprint assessment. *Sustainability*, 15(5), 4358.
- Tafti, A. G., & Fooladi, M. H. (2005). Changes in physical and chemical characteristics of Mozafati date fruit during development. *Journal of Biological Sciences*, 5(3), 319-322.
- Tilton, E. W., & Brower, J. H. (2018). Radiation effects on arthropods. In *Preservation of food by ionizing radiation* (pp. 269-316). CRC Press.
- Tomás-Barberán, F. A., & Espín, J. C. (2001). Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(9), 853-876.
- Yahia, E. M., Lobo, M. G., & Kader, A. A. (2013). Harvesting and postharvest technology of dates. *Dates: Postharvest Science, Processing Technology and Health Benefits*, 105-135.
- Yam, K. L., & Papadakis, S. E. (2004). A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. *Journal of Food Engineering*, 61(1), 137-142.
- Zarbaksh, S., & Rastegar, S. (2019). Influence of postharvest Gamma irradiation on the antioxidant system, microbial and shelf life quality of three cultivars of date fruits (*Phoenix dactylifera* L.). *Scientia Horticulturae*, 247, 275-286.
- Zhang, C. R., Aldosari, S. A., Vidyasagar, P. S. P. V., Shukla, P., & Nair, M. G. (2015). Determination of the variability of sugars in date fruit varieties. *Journal of Plantation Crops*, 43(1), 53-61.
- Zineb, G., Boukouada, M., Djeridane, A., Saidi, M., & Yousfi, M. (2012). Screening of antioxidant activity and phenolic compounds of various date palm (*Phoenix dactylifera*) fruits from Algeria. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, 5(2), 119-126.



Original Research

The effect of Gamma and Beta radiation on pests and biochemical properties of Zahedi and Mozafati date varieties

Maryam Jalili Moghadam, Jamasb Nozari*, Masoud Latifian, Seyed Pezhman Shirmardi, Seyed Mohammadali Ebrahimzadeh Mosavi

*Corresponding Author: Department of Plant Protection, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

Email: nozari@ut.ac.ir

Received: 9 JUNE 2024 Accepted: 25 OCTOBER 2024

[http://doi: 10.22092/FOODER.2024.366131.1396](http://doi.org/10.22092/FOODER.2024.366131.1396)

Abstract

Considering the need to replace methyl bromide, the effect of Gamma and beta rays on the control of sawtoothed beetle and Mediterranean moths and the biochemical properties of fruit in two date varieties, Zahedi and Mozafati, were investigated. Packaged dates were exposed to doses of 0, 250, 500, 750, 1000 and 1250 g. Cobalt-60 source and beta radiation of 10 mega electron volts beam energy were used for irradiation. The results showed that the 90% lethal dose (LD90) of gamma radiation for the adult stage of the saw-toothed grain beetle on the Zahedi variety was 1132.33 Gy, and on the Mozafati variety, it was 1172.76 Gy. For the Mediterranean flour moth larvae, the LD90 on the Zahedi variety was 1055.16 Gy, and on the Mozafati variety, it was 1126.06 Gy. Furthermore, the 90% lethal dose (LD90) of beta radiation for the adult stage of the saw-toothed grain beetle on the Zahedi variety was 1160.92 Gy, and on the Mozafati variety, it was 1255.97 Gy. For the Mediterranean flour moth larvae, the LD90 on the Zahedi variety was 1177.67 Gy, and on the Mozafati variety, it was 1340.16 Gy. In both figures, the slope of the Brix index increased with increasing radiation dose and was higher in Gamma radiation treatments than in Beta radiation. The content of reducing sugars decreased with the gradual increase of the radiation dose level up to 1250 Gy compared to the control. Resistance to sugar content reduction was observed between 500 and 1000 g doses. With increasing radiation dose, the phenolic compound content gradually decreased. Also, the iron oxidation-reduction potential increased with increasing radiation dose. No significant difference was observed between the data of color parameter treatments. Results indicated that irradiation of date fruits of Zahedi and Mozafati cultivars of the estimated doses 1000 to 1250 Gy controlled two important storage pests of dates; beside that, irradiation did not have significant negative effect on the biochemical properties of date cultivars.

Keywords: Disinfection, Irradiation, Damaging Factors, Fruit Quality

[http://doi: 10.22092/FOODER.2024.366131.1396](http://doi.org/10.22092/FOODER.2024.366131.1396)

Email: nozari@ut.ac.ir

نویسنده مسئول:



© 2023, The Author(s). Published by [Agricultural Engineering Research Institute](https://www.fooder.areeo.ac.ir/). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>