



ارزیابی اثر تابش دهی گاما بر ترکیب و غلظت اسیدهای آلی و ویتامین‌های محلول در آب میوه‌ی دو رقم زرشک ایرانی

سمیرا برنجی اردستانی*^۱، محمدعلی سحری^۲، محسن برزگر^۲

۱. پژوهشکده‌ی کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۱۱۳۶۵-۳۴۸۶، تهران - ایران
۲. گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، صندوق پستی: ۱۱۱-۱۴۱۵۵، تهران - ایران

چکیده: عصاره‌ی دو رقم زرشک آبی (*Berberis integerrima*) و پلویی (*Berberis vulgaris*) در حلال آب، تاریکی، pH عدد ۳ و دمای ۲۵ °C تهیه شد. آثار تابش دهی گاما با دزهای ۰٫۵، ۱، ۲٫۵، ۵، ۷٫۵ و ۱۰ kGy بر ترکیب و غلظت اسیدهای آلی و ویتامین‌های محلول در آب هر دو رقم بررسی شد. با استفاده از کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC) در شاهد دو رقم، اسیدهای آلی اگزالیک، تارتاریک، کوینینیک، مالیک، آسکوربیک، شیکیمیک، مالونیک، استیک، مالئیک، سوکسینیک و فوماریک اسید و ویتامین‌های C، B₅، B₆، B₁، فولیک اسید، بیوتین و B₂ شناسایی شدند. در رقم آبی، ترکیبات استیک، آسکوربیک و مالونیک اسید و ویتامین‌های بیوتین، فولیک اسید و B₁ و در رقم پلویی مالیک، آسکوربیک و مالونیک اسید و ویتامین‌های B₁، بیوتین و B₅ پرمقدار بودند. در دو رقم فوماریک اسید، در رقم آبی ویتامین B₅ و در رقم پلویی فولیک اسید کم مقدارترین بودند. بعد از پرتو فرآوری، در رقم آبی اسیدهای مالیک (۱۰ kGy)، استیک (۰٫۵ kGy) و آسکوربیک (۱۰ kGy) و ویتامین‌های B₅، بیوتین و B₁ با دز ۰٫۵ kGy و در رقم پلویی اسیدهای استیک (۰٫۵ kGy)، سوکسینیک (۲٫۵ kGy) و مالیک (۷٫۵ kGy) و ویتامین‌های B₅ (۱۰ kGy)، B₁ (۱ kGy) و بیوتین (۱۰ kGy) پرمقدارترین بودند.

کلیدواژه‌ها: زرشک، اسیدهای آلی، ویتامین‌های محلول در آب، کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC)، پرتو گاما

Evaluation of Gamma Irradiation on Profile and Concentration of Organic Acids and Water Soluble Vitamins in Two Iranian Barberry Fruits

S. Berenji Ardestani*¹, M.A. Sahari², M. Barzegar²

1. Radiation Application Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOL, P.O.Box: 11365-3486, Tehran-Iran
2. Department of Food Science and Technology, Agricultural Faculty, Tarbiat Modares University, P.O. Box: 14155-111, Tehran - Iran

Abstract: Extracts of two varieties of barberry including *Berberis integerrima* and *Berberis vulgaris* were prepared by water as a solvent, in darkness, with a pH=3 and at a temperature of 25°C. Then the effects of gamma radiation processing with doses of 0.5, 1, 2.5, 5, 7.5 and 10 kGy were studied on the profile and concentration of organic acids and water soluble vitamins. By a high-performance liquid chromatography (HPLC) in the control samples oxalic, tartaric, quinic, malic, ascorbic, shikimic, malonic, acetic, maleic, succinic and fumaric acids and C, B₅, B₆, B₁, folic acid, biotin and B₂ vitamins were identified. In the *Berberis integerrima* acetic, ascorbic and malonic acids and biotin, folic acid and thiamin vitamins; and in the *Berberis vulgaris* malic, ascorbic and malonic acids and B₁, biotin and B₅ vitamins were dominant. In both cultivars fumaric acid, in the *Berberis integerrima* B₂; and in the *Berberis vulgaris* folic acid had the least amounts. After the gamma processing in the *Berberis integerrima*, Malic (10 kGy), acetic (0.5 kGy) and ascorbic (10 kGy) acids and B₅, biotin and B₁ (0.5 kGy) vitamins; and in the *Berberis vulgaris* acetic (0.5 kGy), succinic (2.5 kGy) and malic (7.5 kGy) acids and B₅ (10 kGy), B₁ (1 kGy) and biotin (10 kGy) vitamins were the most.

Keywords: Barberry, Organic Acids, Water Soluble Vitamins, High Performance Liquid Chromatography (HPLC), Gamma Irradiation

*email: sardestani@aeoi.org.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۱۱/۱۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۱۲/۱۲



۱. مقدمه

روش استخراجی مانند استخراج با فاز جامد (SPE) قبل از HPLC برای بازیابی حداکثری و حذف سایر گونه‌های تداخل‌کننده‌ی جاذب UV ضروری است [۹، ۱۰]. از مزایای دیگر، تجزیه با HPLC، سهولت اتصال به سایر تکنیک‌ها، و نیاز به مقادیر اندک نمونه و گزینش‌پذیری بالا است [۱۱].

هدف اصلی فرایند مواد غذایی، کاهش فعالیت ریززنده‌ها و کاهش تغییرات فیزیکی و شیمیایی پایین آورنده‌ی کیفیت ماده غذایی است. تغییرات طی فرایند، ممکن است مطلوب (عقیم شدن عوامل ضدتغذیه‌ای در اثر حرارت) یا نامطلوب (از بین رفتن ویتامین‌ها و سایر مواد مغذی در اثر حرارت) باشند.

پرتوفاوری مواد غذایی نوعی روش فیزیکی است که ماده‌ی غذایی بسته‌بندی شده در برابر پرتوهای گامای حاصل از یک منبع رادیوایزوتوپ قرار می‌گیرد [۱۲]. فرایند یونیزاسیون، اتم‌ها یا مولکول‌های بسیار فعالی به نام رادیکال‌های آزاد تشکیل می‌دهند. غالب انرژی تابشی جذب شده (دز)، در تولید رادیکال‌های آزاد و ایجاد برهم‌کنش شیمیایی بین آن‌ها یا بین آن‌ها و سایر مولکول‌ها مصرف می‌شود. بخش جزئی انرژی جذب شده به انرژی حرارتی تبدیل، و در نتیجه تازگی، خواص حسی و تغذیه‌ای مواد غذایی حفظ می‌شود. آثار پرتوهای یونیزه‌کننده بر مواد غذایی، مستقیم و غیرمستقیم است. تابش دهی به‌طور مستقیم بر مواد اثر می‌کند و موجب تجزیه‌ی مولکول‌ها مانند DNA و سایر ترکیبات سازنده‌ی غذا می‌شود. در حالت غیرمستقیم، تابش دهی از طریق رادیولیز آب عمل می‌کند و محصولات گوناگون آن با سایر ترکیبات واکنش می‌دهد، در نتیجه تغییرات معنی‌دار شیمیایی مانند تشکیل هیدروپروکسید و رادیکال‌های آزاد ایجاد می‌شوند [۱۳، ۱۴]. تشکیل و تراکم حلقه‌های آروماتیک و ترکیبات هتروسیکلیک در دمای پخت موجب ایجاد ترکیبات سمی و سرطانزایی می‌شود که در سامانه‌ی تابش دهی مشاهده نمی‌شود. در شرایط بهینه، اتلاف ویتامین در دزهای تابش دهی تا ۱ kGy در مواد غذایی غیرمعنی‌دار است [۱۵]. در این پژوهش، به بررسی آثار پرتوفاوری گاما بر اسیدهای آلی و ویتامین‌های محلول در آب به عنوان گروهی از ترکیبات زیست‌فعال میوه‌های *Berberis integerrima* (مورد استفاده در تهیه‌ی نوشیدنی زرشک که در این پژوهش با نام زرشک آبی خوانده می‌شود) و *Berberis vulgaris* (استفاده در تزیین پلو و غذاها که در این پژوهش با نام زرشک پلویی خوانده می‌شود) پرداخته می‌شود.

زرشک با بیش از ۶۶۰ گونه، بزرگ‌ترین جنس در تیره‌ی زرشک *Berberidaceae* است. ریشه، ساقه، برگ و میوه‌ی آن، استفاده‌های دارویی و صنعتی دارد. ترکیبات زیست‌فعال میوه‌ها مانند پلی‌فنول‌ها، کاروتنوئیدها، آنتوسیانین‌ها، توکوفرول‌ها، فلاونوئیدها، آنزیم‌ها، مواد معدنی، پکتین، اسیدهای آلی و ویتامین‌های محلول در آب که نقش آن‌ها در سلامت به اثبات رسیده‌اند، برای مصرف انسان ضروری و بدون خطرند و خواص ضداکسایشی، ضد میکروبی و ضدالتهاب دارند [۱].

اسیدهای آلی، مولکول‌های با وزن پایین و ساختار عمومی R-COOH هستند [۲]. نسبت اسیدهای آلی به قندها نقش مهمی در تقویت عطر و طعم دارد. این ترکیبات، خاصیت ضد میکروبی طبیعی دارند [۳] و رنگ میوه‌ها تحت تأثیر آن‌هاست [۴]. اسیدهای آلی به دلیل نقش‌هایشان در فیزیولوژی گیاهی مانند کوفاکتور، عوامل بافری و واسطه‌های مسیرهای متابولیکی کربوهیدرات‌ها، لیپیدها و پروتئین‌ها مهم هستند. از مهم‌ترین اسیدهای موجود در انواع خانواده‌ی بری^(۱) مالیک، سیتریک، تارتاریک، اگزالیک و فوماریک اسید هستند [۵]. نوع و مقدار اسیدهای آلی، اطلاعاتی درباره اصل و نژاد میوه، وضعیت میکروبی، روش‌های فراوری، طعم، تازگی یا فساد میوه و فراورده‌های آن فراهم می‌کند [۶]. هم‌چنین ابزاری توانمند در شناسایی قلب به شمار می‌روند [۷].

ویتامین‌ها دامنه وسیعی از ترکیبات آلی هستند که به میزان اندک در مواد غذایی طبیعی وجود دارند. حضور آن‌ها در واکنش‌های آنزیمی برای سوخت‌وساز کربوهیدرات، چربی و پروتئین ضروری است [۸]. ویتامین‌ها شامل دو گروه عمده‌ی محلول در آب و محلول در چربی‌اند. ویتامین‌های محلول در آب را گروه B، و ویتامین C تشکیل می‌دهند [۹]. دریافت ناکافی ویتامین‌ها از جمله عوامل خطر ساز برای بروز بیماری‌های قلبی، سرطان و پوکی استخوان است. مقادیر روزانه‌ی لازم با اصطلاح دریافت‌های روزانه‌ی توصیه شده^(۲) برای ویتامین‌ها و مواد معدنی تعریف شده است.

روش‌های HPLC، جداسازی و تعیین مقدار سریع، دقیق و اقتصادی ترکیبات شیمیایی را در بافت‌های گوناگون با روش‌های آماده‌سازی و آشکارسازی متفاوت امکان‌پذیر می‌سازد. معمولاً

*Berberis integerrima**Berberis vulgaris*

شکل ۱. تصاویر دو رقم زرشک ایرانی بررسی شده در این پژوهش.

میوه‌های خشک با خردکن پودر شدند. برای تهیه‌ی عصاره در دمای 25°C ، مقدار 10g پودر زرشک (آبی یا پلویی) با 40ml حلال (آب یا اتانول) در ارلن مخلوط، همان‌جا به طور کامل با پارافیلیم پوشیده، و روی همزن تا 24h با سرعت 150rpm همزده شد. ارلن تیمار استخراج، در تاریکی کاملاً با فویل آلومینیم پوشانده شد [۱۸]. برای تهیه‌ی عصاره در دمای 50°C ، ارلن‌های مشابه فوق به مدت 2h در حمام آب $50 \pm 1^{\circ}\text{C}$ قرار داده، و سپس به مدت 2h در تاریکی نگه داشته شدند [۱۹]. محتویات ارلن‌ها تا بی‌رنگ شدن مایع خروجی با حلال مورد نظر شسته، و این مایع خروجی با استفاده از قیف بوختر و کاغذ صافی واتمن شماره ۱ و تحت خلأ صاف شدند. استخراج در همان مقدار pH اولیه زرشک انجام شد. مقادیر pH این دو رقم زرشک آبی (*Berberis integerrima*) و پلویی (*B. vulgaris*) 3.16 و 3.06 بود [۲۰].

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲ مواد شیمیایی و دستگاه‌ها

استاندارد اسیدهای آلی شامل اگزالیک، تارتاریک، کوئینیک، مالیک، آسکوربیک، شیکیمیک، مالونیک، استیک، مالئیک، سوکسینیک و فوماریک (Supelco, USA)، استاندارد ویتامین‌های C ، B_5 ، B_6 ، B_1 ، فولیک اسید، بی‌وتین و B_2 (Supelco, USA)، کسارتریج C_{18} (500 mg) (Teknokroma, Barcelona, Spain)، صافی غشایی استات سلولز $0.45\mu\text{m}$ (Sartorius, Germany)، صافی غشایی پلی‌پروپیلن $0.45\mu\text{m}$ (Teknokroma, Barcelona, Spain)، آزمون اسیدهای آلی با دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (مشخصات ستون: Prontosil 120-5 C_{18} AQ 250 \times 4.6mm with precolumn, KNAUER, 5 μm particles, Germany) آزمون ویتامین‌ها با دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (مشخصات ستون: C_{18} Discovery, 15cm \times 4.6mm ID, 5 μm particles, Supelco, USA) با کارایی بالا (WATERS, USA) متشکل از نرم‌افزار Empower، پمپ (Waters 600, USA)، شیر تزریق (Rheodyne 7125i six-way)، لوپ تزریق به حجم $20\mu\text{l}$ و آشکارساز فرابنفش - مریبی (Waters model 2487)، دستگاه پرتودهنده‌ی گاماسل^(۳) (Nordion, Canada) با آهنگ دز 3.63Gy/s .

۲.۲ روش‌ها

شکل ۱، تصاویر دو رقم زرشک مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد. میوه‌های زرشک بعد از بسته‌بندی، درون بطری‌های با دهانه‌ی باز شیشه‌ای با در پلاستیکی در اتمسفر هوای عادی داخل محفظه‌ی تابش دهی قرار گرفتند. نمونه‌ها در دزهای 0.5 ، 1 ، 2.5 ، 5 ، 7.5 و 10 kGy ، با سرعت 3.63 Gy/s تابش دهی، و تا زمان آزمایش در فریزر 20°C - نگه‌داری شدند [۱۶].

برای پیشگیری از تخریب رنگ و کاهش آثار فرایند خشک کردن، میوه‌ها در آن 50°C به مدت 48h برای زرشک آبی و 72h برای زرشک پلویی با توجه به محتوای رطوبت اولیه‌شان تا رسیدن به محتوای رطوبت نهایی 5% قرار داده شدند [۱۷]. سپس



۳. نتایج و بحث

۱.۳ تأثیر فراوری بر نوع و غلظت اسیدهای آلی

ترکیب و مقدار اسیدهای آلی مربوط به عصاره‌ی دو رقم در حلال آب، شرایط تاریکی، pH برابر ۳ و دمای ۲۵°C نمونه‌ی تازه‌ی منجمد نشده و هم‌چنین نتایج بررسی اثر تابش دهی گاما بر ترکیب و مقدار اسیدهای آلی در عصاره‌های مذکور دو رقم زرشک ایرانی آبی و پلویی در جدول ۱ ارائه شده‌اند. فوماریک اسید که در نمونه‌های تازه شناسایی شده بود، بعد از فراوری به استثنای رقم آبی منجمد شده، در هیچ کدام از تیمارهای این دو رقم مشاهده نشد. سایر اسیدهای آلی شناسایی شده در اغلب نمونه‌های فرایند شده‌ی دو رقم میوه‌ی زرشک ایرانی اسیدهای اگزالیک، تارتاریک، کوپینیک، مالیک، آسکوربیک، شیکیمیک، مالونیک، استیک، مالئیک و سوکسینیک بودند (شکل‌های ۲ تا ۵). لازم به ذکر است که برای بررسی اثر فرایند، نتایج حاصل پس از فرایند، به دلیل استفاده از نمونه‌ی منجمد شده به مدت یک سال، با همان نمونه‌ی منجمد (شاهد در تیمار تابش دهی یا به عبارتی تیمار γ) مقایسه شدند.

اسیدهای آلی در اثر حرارت و اکسایش طی فراوری تجزیه می‌شوند [۲۲، ۲۳]. محتوای اسیدهای آلی طی انبارداری به علت تنفس، استفاده از اسیدهای آلی به عنوان سوپسترا [۲۴] و اسکلت کربنی برای ساخت ترکیبات جدید طی رسیدگی در انبار کاهش می‌یابد. هم‌چنین تجمع و افزایش قندها طی رسیدن با کاهش اسیدها مرتبط است. ماندگاری اسیدها نشان‌دهنده‌ی تأخیر در رسیدن به دلیل اثر هم‌زمان دمای یخچال و تابش دهی است [۲۵].

محتوای اگزالیک اسید بعد از تابش دهی ۰٫۵ kGy در میوه‌های زرشک ارقام آبی و پلویی، ۵ kGy در *B. integerrima* و ۱ و ۲٫۵ kGy در *B. vulgaris* کاهش معنی‌دار داشت. مقدار این اسید بعد از تیمار تابش دهی با دزهای ۷٫۵ و ۱۰ kGy در هر دو رقم، ۱ و ۲٫۵ kGy در *B. integerrima* و ۵ kGy در *B. vulgaris* افزایش معنی‌دار نشان داد. در منابع دیگر اثر پرتوهای گاما بر اگزالیک اسید بادام به صورت نوسان اندکی طی کل دوره‌ی نگه‌داری در تمام دزهای تابش دهی مشاهده شد [۱۳].

تارتاریک اسید بعد از هیچ یک از دزهای تابش دهی در دو رقم زرشک آبی و پلویی مشاهده نشد.

برای بررسی ترکیب و غلظت اسیدهای آلی، میوه‌ی دو رقم زرشک آبی و پلویی، محلول ۱۰۰۰ ppm از هر نوع عصاره تهیه، برای تخلیص محلول‌ها به مدت ۲ min در ۱۲۰۰۰ rpm سانتریفیوژ، و از کارتریج C₁₈ عبور داده شد و در نهایت با صافی استات سلولز صاف شدند. نمونه‌های تخلیص شده، به دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا تزریق شدند. غلظت‌ها براساس روش استاندارد خارجی (منحنی‌های استاندارد چندنقطه‌ای) در دامنه‌ی غلظت ۰٫۱ تا ۱۰۰۰ ppm محاسبه، و اسیدهای آلی با مقایسه‌ی زمان بازداری قله‌ها در کروماتوگرام نمونه با زمان بازداری‌های استاندارد شناسایی شدند [۶].

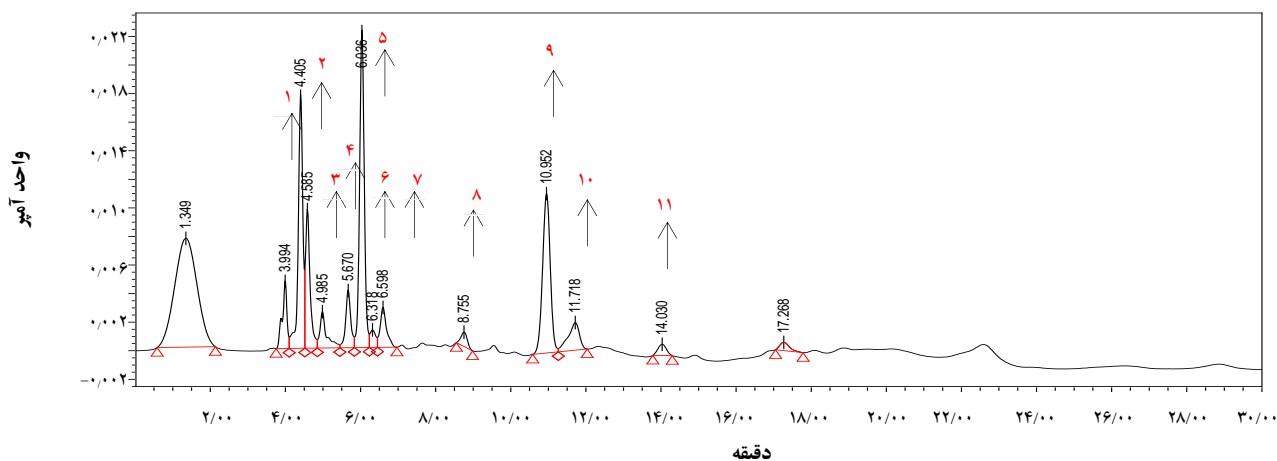
محلول ۱۰۰۰ ppm عصاره‌ی میوه‌های دو رقم زرشک آبی و پلویی برای بررسی ترکیب و غلظت ویتامین‌های محلول در آب تهیه شدند. محلول‌ها ۲ min در ۱۲۰۰۰ rpm سانتریفیوژ شدند. روش استخراج با فاز جامد برای استخراج ویتامین‌های محلول در آب استفاده شد. فاز ساکن با ۱۰ ml متانول و ۱۰ ml آب (با pH تنظیم شده روی ۴٫۲) به منظور فعال‌سازی شستشده شد. آب اسیدی با افزودن قطره قطره‌ی محلول HCl، ۰٫۰۵ M به آب و هم‌زدن آن تا رسیدن به pH=۴٫۲ تهیه شد. سپس ۱۰ ml محلول سانتریفیوژ شده روی کارتریج C₁₈ بارگذاری شد. نمونه با ۵ ml آب اسیدی و ۱۰ ml متانول از کارتریج شویش شد. خروجی کارتریج در بالنی جمع، و با استفاده از تبخیرکننده‌ی چرخان تحت خلأ ۳۵°C خشک شد. باقی‌مانده در فاز متحرک (محلول بافر) حل، و با استفاده از صافی غشائی پلی‌پروپیلن صاف شد. جداسازی با تزریق ۲۰ μ l از نمونه‌ی نهایی به دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا انجام شد [۲۱]. فاز متحرک شامل محلول K₂HPO₄، ۵۰ mM (A) و متانول (B) با گرادیان مشخص بود. شرایط کار سرعت جریان فاز متحرک ۱ ml/min، فشار کم‌تر از ۱۵۰۰ PSI، آشکارساز فرابنفش - مری، طول موج ۲۲۰ nm و دمای محیط بودند. غلظت‌ها براساس روش استاندارد خارجی (منحنی‌های استاندارد چندنقطه‌ای) در دامنه‌ی غلظت ۰٫۱ تا ۱۰۰۰۰ rpm محاسبه، و ویتامین‌های محلول در آب با مقایسه‌ی زمان بازداری قله‌ها در کروماتوگرام نمونه با زمان بازداری‌های استاندارد شناسایی شدند [۲۱، ۸]. تمام شرایط کار و روش‌ها برای دو رقم یکسان بوده‌اند.



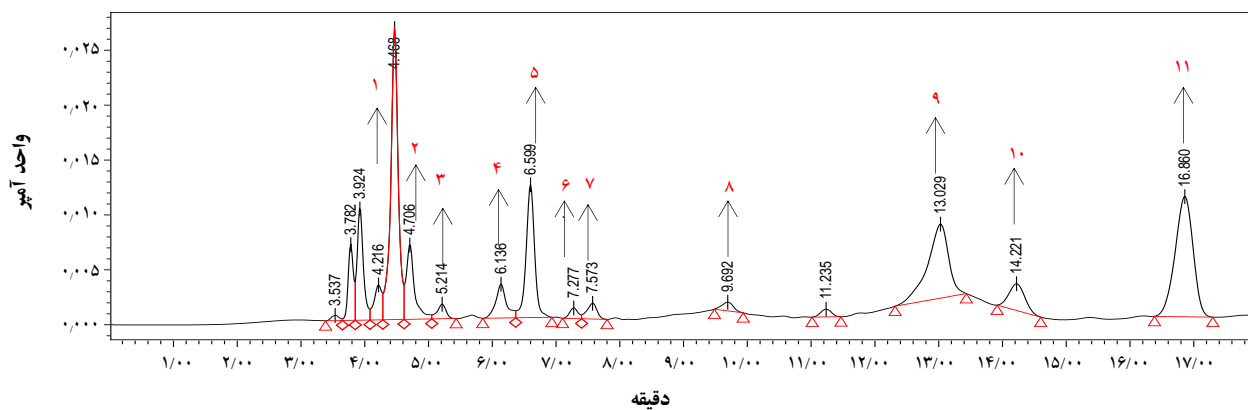
جدول ۱. مقایسه‌ی تأثیر تیمارهای مختلف بر میزان اسیدهای آلی (mg در ۱۰۰ g در mg) استخراج شده از میوه‌ی دو رقم زرشک ایرانی آبی و پلویی

فوماریک اسید	سوکسینیک اسید	مالیک اسید	استیک اسید	مالونیک اسید	شیکیمیک اسید	آسکوربیک اسید	مالیک اسید	کریستیک اسید	تارتاریک اسید	اگرلیک اسید	اسید نمونه ^{۰۰}
۱۸۰۵۶±۱۰۰۰ ^C	۴۷۷۰±۵۳۰۱۵ ^A	۵۵۴۳۱±۸۰۹۰ ^A	۳۳۱۲۴±۳۳۳۴۷۳۳ ^A	۶۸۱۶۳۳±۶۶۶۶۵ ^A	۳۱۶۰±۵۰۹ ^B	۱۸۷۸۰±۱۰۰۵۵ ^A	۷۸۵۶۰±۳۳۱۳۴ ^A	۵۶۱۲۹±۳۵۰۲۳ ^A	۸۴۶۲۰±۵۳۳۱۳۷ ^{DE}	۸۴۶۲۰±۵۳۳۱۳۷ ^{DE}	A _{Ctrl}
۲۸۸۴±۱۰۳۳ ^B	۹۷۵۵±۹۱۹ ^E	۴۹۱۸۵±۴۸۳ ^B	۲۶۸۵۶±۱۵۴۰ ^{BCD}	N.F. ^B	۳۰۸۸±۰۰۸ ^C	۱۱۲۸۵±۲۰۰۹۵ ^{BC}	۲۶۰۸۰۶±۳۳۷۷۸ ^{BC}	۸۵۲۱۰±۵۳۳ ^{BC}	۸۳۳۴۳±۵۳۳ ^{DE}	۸۳۳۴۳±۵۳۳ ^{DE}	A _{۱%}
N.F. ^D	N.F. ^E	۴۲۲۰۰±۱۲۰۰۴ ^{DEFG}	۳۳۶۸۱۷±۵۱۵۰ ^{BCD}	N.F. ^B	۳۰۹۵±۱۰۹ ^C	۶۶۸۰۶±۴۷۳ ^{DEF}	۱۵۸۸۰۰±۲۲۶۶۹ ^{CDE}	۵۰۷۴۳±۵۳ ^{BC}	N.F. ^C	۸۱۷۵۵±۱۱۰۶ ^{EF}	A _{۱۰%}
N.F. ^D	N.F. ^E	۴۳۳۶±۱۷۰ ^{DEF}	N.F. ^D	N.F. ^B	۳۰۹۵±۱۰۹ ^C	۶۶۸۰۶±۴۷۳ ^{DEF}	۱۷۳۶۰۶±۵۱۷۰ ^{CDE}	۳۹۹۰۳±۱۱۰۴ ^{BC}	N.F. ^C	۹۴۱۰۵±۸۱ ^{BCD}	A _{۱۱%}
N.F. ^D	N.F. ^E	۴۷۶۹۱±۴۵۶ ^{BC}	۳۰۱۳۹۰±۴۲۱۷ ^{BCD}	N.F. ^B	۳۱۰۰±۰۰۲ ^C	۹۵۷۸۳±۴۶۵ ^{CD}	۳۳۰۸۱۰±۲۱۰۰ ^{CD}	۵۵۸۶۳±۴۷۰ ^{BC}	N.F. ^C	۱۰۰۹۰۴±۱۰۰۲ ^B	A _{۱۲%}
N.F. ^D	۴۷۷۹۹±۴۱۸ ^E	۴۵۶۰۷±۴۵۶ ^{CDE}	۲۷۰۱۴±۱۳۰۰ ^{BCD}	N.F. ^B	۳۰۸۲±۰۰۲ ^{CD}	۶۸۷۱۱±۴۵ ^{DE}	۱۶۷۴۵±۴۶۶۷ ^{CDE}	۴۵۷۲۳±۵۱ ^{BC}	N.F. ^C	۸۱۷۶۳±۴۸۹ ^{EF}	A _{۱۳%}
N.F. ^D	N.F. ^E	۴۷۵۳۳±۴۳ ^{BC}	۲۵۰۹۳±۳۳ ^{CD}	N.F. ^B	۳۱۴۰±۱۰۹ ^B	۱۱۷۱۷۰±۱۱۰۹ ^{BC}	۲۸۰۳۴±۱۳۵۹ ^B	۱۳۳۴۳±۶۳ ^{BC}	N.F. ^C	۱۱۲۲۹۹±۳۶۵ ^A	A _{۱۴%}
N.F. ^D	N.F. ^E	۴۸۰۰۵±۱۹۴ ^{BC}	۳۰۸۴۸۱±۳۳۶ ^{BCD}	N.F. ^B	۳۱۸۶±۰۰۲ ^A	۱۴۴۰۵±۳۳۳ ^B	۵۲۹۹۶±۵۲۷۱ ^{۳A}	۱۷۱۱۰۵±۶۱۰ ^B	N.F. ^C	۹۹۹۰۴۰±۱۹۶۳ ^{BC}	A _{۱۵%}
۶۲۰۳±۴۷۴ ^A	۱۷۵۲۷±۱۳۵۶ ^{BCD}	۴۳۴۶۳±۱۵۰۶ ^{ERGH}	۴۰۲۱۸±۲۰۰۲ ^{BCD}	۱۸۰۷۰±۱۶۵۰ ^B	۳۰۶۷۵±۲۰۵ ^{DE}	۲۶۵۵۱±۱۶۹۸ ^{DEFG}	۱۹۳۰۶۰±۵۵۶۳ ^{CDE}	۴۱۹۷۰±۹۱۳ ^{BC}	۷۸۲۸۳±۳۸۹ ^B	۸۲۰۰۵±۶۰۰ ^{EF}	P _{Ctrl}
N.F. ^D	N.F. ^E	۳۹۳۷۶±۰۳۳ ^J	۸۵۹۷۵±۳۳۳ ^{BC}	۱۶۰۵۰±۴۷۰ ^B	۳۰۴۶۸±۰۰۱۲ ^{GHIJK}	۲۵۳۰۴±۵۸۰ ^{ERGH}	۱۶۵۸۹±۲۱۷۰ ^{CDE}	۱۸۶۷۰±۰۰۱۴ ^C	N.F. ^C	۸۱۳۳۱±۱۰۸۵ ^{EF}	P _{۱%}
N.F. ^D	N.F. ^E	۳۹۲۹۶±۱۰۴۰ ^J	۸۸۲۲۵±۴۱۹ ^B	۲۱۶۶۰±۱۰۰۱ ^B	۳۰۶۷۰±۲۰۰۱ ^{DEF}	۳۳۸۳۳±۱۶۹ ^{ERGH}	۲۲۱۷۱۷±۱۶۷۵ ^{CDE}	۹۸۹۰۶±۱۰۰۰۶ ^{BC}	N.F. ^C	۸۰۱۷۵±۳۳۶ ^{EF}	P _{۱۰%}
N.F. ^D	N.F. ^E	۳۹۶۸۹±۱۶۲ ^{JJ}	۵۵۵۶۰±۱۶۳۳ ^{BCD}	N.F. ^B	۳۰۶۱۴±۰۰۷۴ ^{ERGH}	۲۲۵۰۴±۲۷۹۵ ^{ERGH}	۱۸۶۱۶±۲۱۰۵۶ ^{CDE}	۹۲۹۰۲±۲۰۰۲۴ ^{BC}	N.F. ^C	۷۷۶۴۰±۳۳۱ ^{ERFG}	P _{۱۱%}
N.F. ^D	۲۹۳۷۶±۲۵۳۴ ^{AB}	۳۸۸۴±۰۰۳۳ ^{JJ}	۴۰۵۰۵±۹۱۰ ^{BCD}	N.F. ^B	۳۰۵۱۲±۰۰۴۱ ^{ERGH}	۲۵۸۱۰±۱۱۷۳ ^{ERGH}	۱۹۴۴۰۰±۱۶۰۰۰ ^{CDE}	۲۵۸۷۳±۱۶۰۰ ^{BC}	N.F. ^C	۷۷۸۰۰±۶۴۱ ^{ERFG}	P _{۱۲%}
N.F. ^D	N.F. ^E	۴۰۷۳۳±۰۰۴۸ ^{HIJ}	۴۶۸۵۶±۱۳۴۱ ^{BCD}	N.F. ^B	۳۰۵۱۷±۰۰۵ ^{ERGH}	۳۳۳۰۱±۴۲۲ ^{DEFG}	۱۷۲۹۹±۱۱۷۴ ^{CDE}	۱۸۹۱۱±۳۲۰ ^C	N.F. ^C	۸۳۹۰۰±۱۰۷ ^{DE}	P _{۱۳%}
N.F. ^D	۶۰۴۹۳±۳۶۴ ^{DE}	۴۰۴۹۹±۰۰۰۶ ^{HIJ}	۳۳۷۰۶±۴۸۷ ^{BCD}	۱۶۹۴۰±۵۵ ^B	۳۰۴۸۸±۰۰۱ ^{FGHIJK}	۴۱۹۷۲±۲۹۹ ^{DEFG}	۲۲۸۷۳±۴۷۳ ^{CDE}	۶۱۷۰۰±۳۹۰۹۹ ^{BC}	N.F. ^C	۸۶۰۳۳±۳۵۸ ^{CD}	P _{۱۴%}
N.F. ^D	۸۳۳۶±۳۵ ^{DE}	۳۸۸۷±۱۰۰۱ ^{JJ}	۳۹۹۴۶±۱۶۷۷ ^{BCD}	N.F. ^B	۳۰۵۰۲±۰۰۲۹ ^{ERGH}	۳۳۵۰۴±۲۱۹۶ ^{ERGH}	۱۷۱۲۳±۳۷۳ ^{CDE}	۴۴۵۰۰±۳۳۰۱۸ ^{BC}	N.F. ^C	۸۶۶۶۵±۱۸۹۶ ^{CD}	P _{۱۵%}

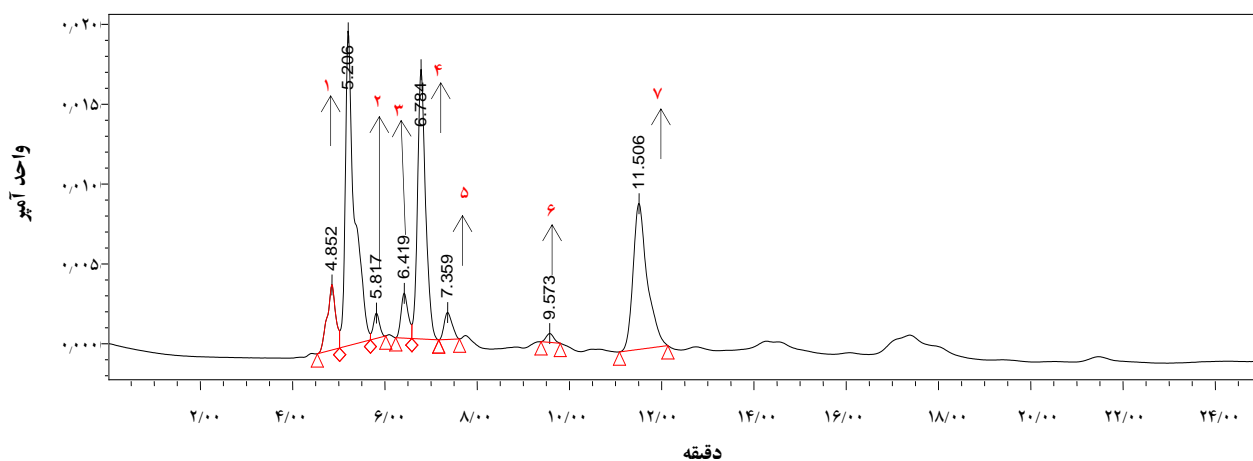
*حروف نام گذاری نمونه عبارتند از: رقم میوهی زرشک = A، *B. integerrima* = A (آبی) و *B. vulgaris* = P (پلویی) / نمونه میوهی زرشک تازه Ctrl، نمونه‌های پرتو دهی شده با گامای ۰، ۲، ۵، ۱۰، ۷، ۱۰، پیک‌های شناسایی نشده = N.F.؛ Not Found = N.F.؛ اعداد جدول مقادیر میانگین ± انحراف معیار (S.D.) و ۳ تکرار برای هر تیمار است.



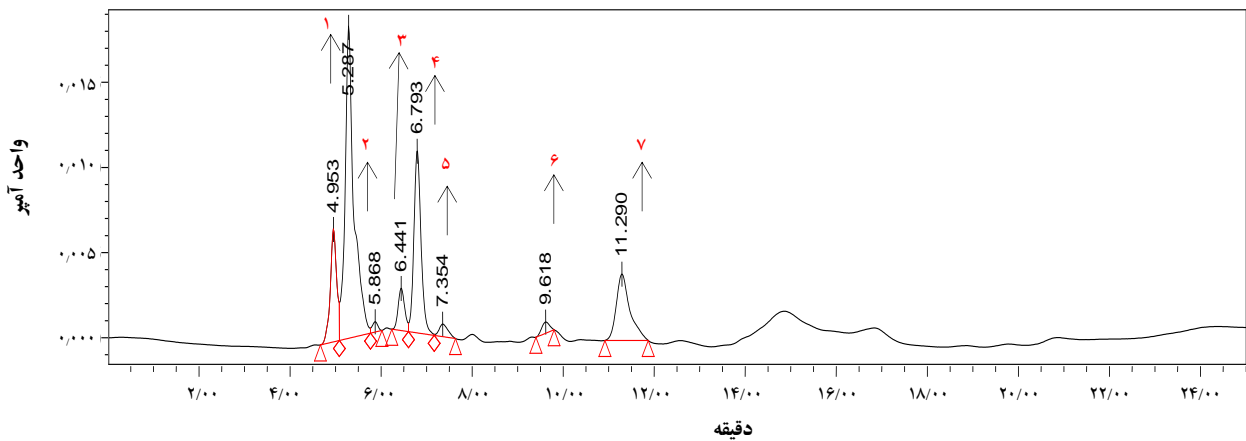
شکل ۲. کروماتوگرام اسیدهای آلی در میوه‌ی زرشک رقم آبی؛ اگزالیک، ۲- تارتاریک، ۳- کوبینیک، ۴- مالیک، ۵- آسکوربیک، ۶- شیکیمیک، ۷- مالونیک، ۸- استیک، ۹- مالئیک، ۱۰- سوکسینیک، ۱۱- فوماریک اسید.



شکل ۳. کروماتوگرام اسیدهای آلی در میوه‌ی زرشک رقم پلویی؛ اگزالیک، ۲- تارتاریک، ۳- کوبینیک، ۴- مالیک، ۵- آسکوربیک، ۶- شیکیمیک، ۷- مالونیک، ۸- استیک، ۹- مالئیک، ۱۰- سوکسینیک، ۱۱- فوماریک اسید.



شکل ۴. کروماتوگرام اسیدهای آلی در میوه‌ی زرشک رقم آبی با دز ۲.۵ kGy؛ اگزالیک، ۱- کوبینیک، ۲- مالیک، ۳- آسکوربیک، ۴- شیکیمیک، ۵- مالونیک، ۶- استیک، ۷- مالئیک اسید.



شکل ۵. کروماتوگرام اسیدهای آلی در میوهی زرشک رقم پلویی با دز ۵ kGy؛ ۱- اگزالیک، ۲- کوئینیک، ۳- مالیک، ۴- آسکوربیک، ۵- شیکیمیک، ۶- استیک، ۷- مالئیک اسید.

[۲]. این نتایج موافق با نتایج این پژوهش در *B. integerrima* بعد از دزهای ۷/۵ و ۱۰ kGy است. محتوای مالیک اسید بادام تابش دهی شده با دزهای مختلف گاما، اندکی نوسان [۱۳] مشابه نمونه‌های میوه زرشک رقم *B. vulgaris* داشتند. برخی دیگر دریافتند که تابش دهی، احتمالاً به علت افزایش سرعت تنفس، محتوای مالیک اسید را کاهش می‌دهد [۲۶]. نتایج اثر دزهای ۰/۵، ۱، ۲/۵ و ۵ kGy در *B. integerrima* را می‌توان به این رخداد نسبت داد.

محتوای آسکوربیک اسید با دز ۱۰ kGy در *B. integerrima* و ۵ و ۷/۵ kGy در *B. vulgaris* افزایش معنی‌دار داشت. احتمالاً این افزایش مقدار آسکوربیک اسید به علت غیرفعال شدن آنزیم‌های اکسیدکننده‌ی آن در دزهای نسبتاً بالای تابش دهی است [۲۹]. دزهای ۷/۵ kGy در *B. integerrima* و ۰/۵ kGy در *B. vulgaris* اثر معنی‌داری بر محتوای آسکوربیک اسید نداشتند. سایر دزها در هر دو رقم محتوای آسکوربیک اسید را کاهش دادند.

در میوهی کیوی بعد از تابش دهی در دزهای ۱ تا ۳ kGy، مقدار آسکوربیک اسید کم‌تر از شاهد است، زیرا پرتوهای یونیزه‌کننده، بخشی از آسکوربیک اسید را به دهیدروآسکوربیک اسید تبدیل می‌کنند [۲۶]. تابش دهی ۰/۵ و ۱ kGy در ابتدا و در طول دوره‌ی نگه‌داری در مقدار آسکوربیک اسید سبب، تأثیر معنی‌داری نداشت. البته کاهش محتوای آسکوربیک اسید در نتیجه‌ی تیمار با پرتوهای گاما در بعضی میوه‌ها گزارش شده است [۳۰]. در سال ۲۰۱۳ میلادی

کوئینیک اسید در اثر تابش دهی با دز ۱۰ kGy در رقم آبی و بعد از سایر دزها غیر از ۵ kGy، در رقم پلویی افزایش معنی‌دار نشان داد. سایر دزها تأثیر معنی‌داری در محتوای کوئینیک اسید دو رقم نداشتند.

مشابه نتایج پژوهش حاضر، محققان دیگر نیز دریافتند که تابش دهی، pH آب سیب را کاهش، و برخی اسیدهای آلی از جمله کوئینیک اسید را افزایش داده است [۲۶]. کوئینیک اسید نمونه‌های بلوط پرتو ندیده و تیمار شده با دزهای ۰/۵، ۱، ۳ و ۶ kGy بعد از ۶۰ روز انبارداری در یخچال (۴°C) تمایل به کاهش دارد. نمونه‌های انبار شده به مدت ۳۰ روز در این شرایط، مقادیر بیش‌تری کوئینیک اسید دارند. واکنش‌های ناشی از گرما بین اسیدهای کربوکسیلیک بدون نیتروژن و قندها مؤثرترین متغیرها در اسیدهای آلی هستند که موجب تغییرات مهم در مقدار آن‌ها می‌شوند [۲].

محتوای مالیک اسید بعد از دزهای ۰/۵، ۱، ۲/۵ و ۵ kGy در *B. integerrima* کاهش، و از سوی دیگر بعد از تیمار تابش دهی در دزهای ۷/۵ و ۱۰ kGy در *B. integerrima* افزایش معنی‌دار نشان داد. تابش دهی اثر معنی‌داری بر محتوای مالیک اسید رقم پلویی نشان نداد.

محتوای مالیک اسید ۱۰ تا ۱۵٪ در غدد سیب‌زمینی پرتو گاما دیده افزایش یافته است [۲۷]. سوخت‌وساز مالیک اسید که تا حدودی طی نگه‌داری رخ داده است، مقدار و توازن آن را با سایر اسیدها تغییر می‌دهد [۲۸]. در نمونه‌های بلوط تازه، مقادیر مالیک اسید بیش‌تری نسبت به نمونه‌های پرتو دیده مشاهده شد



تابش دهی شده‌ی گاما نسبت به نمونه‌های تازه کاهش داشت [۱۳]. افزایش محتوای سوکسینیک اسید در آب سیب تابش دهی شده مشاهده شد [۲۶]. قله‌ی مربوط به فوماریک اسید بعد از تمام دزهای تابش دهی در هر دو رقم زرشک آبی و پلویی تشخیص داده نشد.

۲.۳ تأثیر فراوری بر نوع و غلظت ویتامین‌های محلول در آب

در نمونه‌ی شاهد، با استفاده از HPLC در دو رقم ویتامین‌های C، B₅، B₆، B₁، فولیک اسید، بیوتین و B₂ شناسایی شدند. ترکیب و مقدار ویتامین‌های محلول در آب بعد از تابش دهی در جدول ۲ ارائه شده است (شکل‌های ۶ و ۷). از نظر بررسی آماری محتوای ویتامین‌های محلول در آب C، B₅، B₆، B₁، فولیک اسید، بیوتین و B₂ در تیمارهای پرتو فراوری شده با نمونه‌ی منجمد شده به مدت یک سال (به‌عنوان شاهد)، و در نمونه‌ی منجمد شده با نمونه‌ی تازه مقایسه شدند.

در کروماتوگرافی فاز معکوس، حل‌شونده‌های قطبی در پراکنده‌ی^(۴) آبی ویتامین، جذب فاز ساکن لیوفیل نمی‌شوند. در این شرایط، حجم‌های بازداری تکرارپذیر، عمر ستون طولانی و زمان آماده‌سازی نمونه کوتاه خواهند بود. در چنین سامانه‌ی کروماتوگرافیکی فاز معکوس، ویتامین‌های محلول در آب مانند آسکوربیک اسید حتی در حالت غیر یونی هم بسیار قطبی‌اند که تمایل اندکی به فاز ساکن لیوفیل دارند، در نتیجه با حلال در ابتدای کروماتوگرام خارج می‌شود [۳۱]. کروماتوگرافی هم‌زمان مخلوط‌های پیچیده، نیاز به برنامه‌ی گرادیان شویش دارد. هنگام استفاده از فاز متحرک متانول-بافر فسفات (pH برابر ۷) ۰/۱ M/L KH₂PO₄، تمام قله‌ها بدون هم‌پوشانی و دنباله‌دار شدن به خوبی از هم جدا شدند. از سویی دیگر، ویتامین‌های B₂ و B₁₂ با طبیعت نسبتاً آب‌گریز، کاملاً محکم روی ستون بازداری و تنها هنگام استفاده از ۳۰٪ متانول در فاز متحرک با زمان بازداری طولانی‌تر در انتهای کروماتوگرام شسته می‌شوند [۳۲]. به همین منظور، در این پژوهش برای جداسازی مطلوب ویتامین‌های محلول در آب میوه‌ی دو رقم زرشک، از روش فاز معکوس در حالت گرادیان (تغییر ترکیب و سرعت جریان فاز متحرک) شویش و فاز متحرک متانول-بافر استفاده شده است. مقادیر ثابت تفکیک (pK_{a1}) برای ویتامین‌های محلول در آب C (۴/۱۹)، B₅ (۴/۸۲)، B₆ (۵)، B₁ (۴/۸۰)، فولیک اسید (۵/۳۵)، بیوتین (۶/۲۲) و B₂ (۱۰/۵۸) هستند [۳۳-۳۵].

Carocho و همکاران، کاهش محتوای آسکوربیک اسید شاه‌بلوط تابش دهی شده (۰/۵ تا ۶ kGy گاما) را بعد از ۶۰ روز نگهداری در دمای ۴°C را گزارش کردند [۲]. در این پژوهش هم برخی دزهای تابش دهی گاما، اثر کاهشی بر محتوای آسکوربیک اسید دو رقم زرشک آبی و پلویی داشتند که می‌تواند در نتیجه‌ی تبدیل به دهیدروآسکوربیک اسید باشد. البته برخی دزها بی‌اثر بودند.

محتوای شیکیمیک اسید *B.integerrima* در نتیجه‌ی تیمار با دزهای ۷/۵ و ۱۰ kGy افزایش معنی‌دار نشان داد. تیمار با دزهای ۰/۵، ۱، ۲/۵ kGy اثر معنی‌داری بر محتوای شیکیمیک اسید آن نداشت و بعد از دز ۵ kGy، کاهش معنی‌دار داشت. در میوه‌ی زرشک *B.vulgaris* تیمارهای تابش دهی موجب افزایش محتوای این اسید شدند.

قله‌ی مالونیک اسید پس از تمام دزهای تابش دهی در رقم آبی تشخیص داده نشد. در *B. vulgaris* قله‌ی مالونیک اسید بعد از انجماد (شاهد تابش دهی) و دزهای ۰/۵ و ۷/۵ kGy مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند.

در محتوای استیک اسید، تابش دهی گاما با دزهای ۰/۵، ۲/۵، ۵ و ۱۰ kGy تفاوت معنی‌داری نسبت به نمونه‌ی منجمد (شاهد) ایجاد نکردند. دز ۷/۵ kGy افزایش معنی‌دار در محتوای استیک اسید رقم آبی ایجاد کرد. در محتوای استیک اسید رقم پلویی فرایندهای انجماد (شاهد) و دز ۰/۵ kGy افزایش، و سایر دزها کاهش معنی‌دار به وجود آوردند. در هر دو رقم، با دز ۱ kGy قله‌ی استیک اسید شناسایی نشد.

محتوای مالئیک اسید رقم آبی، بعد از تمام دزها کاهش معنی‌داری را نشان داد. دز ۰/۵ kGy بر محتوای مالئیک اسید رقم پلویی اثر معنی‌داری نداشت. سایر دزها موجب افزایش معنی‌دار محتوای مالئیک اسید رقم پلویی شدند.

محتوای سوکسینیک اسید در رقم آبی، بعد از تابش دهی گاما با دز ۵ kGy، افزایش معنی‌داری نسبت به نمونه‌ی منجمد نشان داد و بعد از سایر دزها، قله‌ی سوکسینیک اسید شناسایی نشد. در رقم پلویی در اثر انجماد (شاهد تابش دهی نشده)، سوکسینیک اسید مشاهده نشد. فقط بعد از تیمارهای ۲/۵، ۷/۵ و ۱۰ kGy این اسید مشاهده شد که نسبت به نمونه‌ی منجمد (شاهد گاما) افزایش داشتند. بعد از سایر تیمارها هم سوکسینیک اسید در رقم پلویی مشاهده نشد. محتوای سوکسینیک اسید بادام

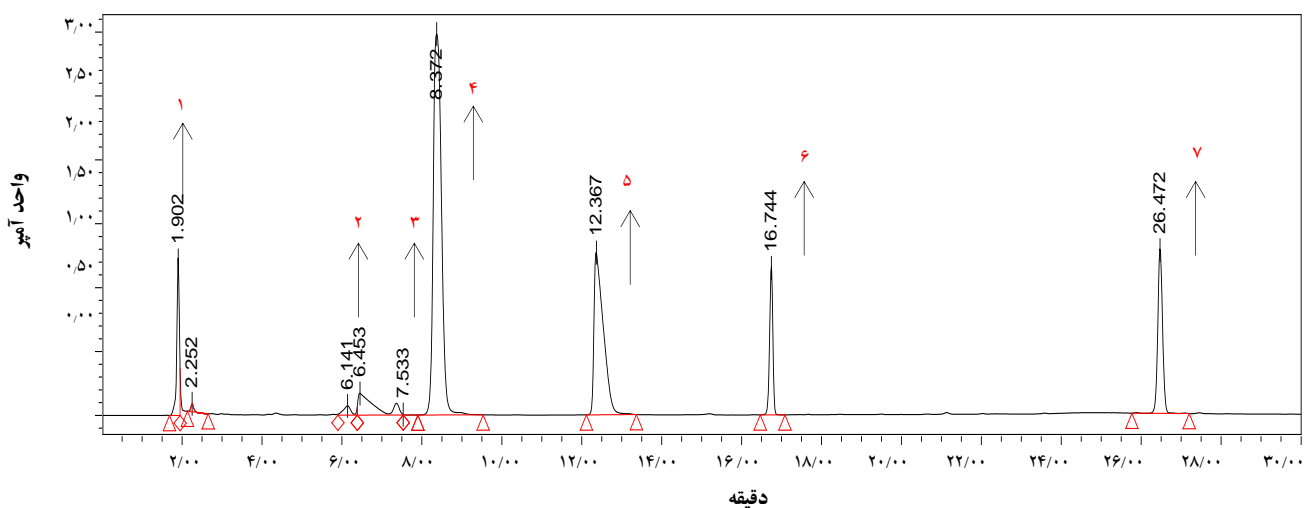
**جدول ۲.** مقایسه‌ی تأثیر تیمارهای مختلف بر میزان ویتامین‌های محلول در آب (mg در ۱۰۰ g عصاره) استخراج شده از میوه‌ی دو رقم زرشک ایرانی آبی و پلویی

ویتامین B ₂	بیوتین	فولیک اسید	ویتامین B ₁	ویتامین B ₆	ویتامین B ₅	ویتامین C	ویتامین / نمونه
۵۷۰,۹۳ ± ۶,۰۸ ^B	۲۰۱۱,۸۴ ± ۲۴,۸۹ ^A	۱۵۹۱,۳۹ ± ۴۰,۱۷ ^B	۲۱۱۳,۰۰ ± ۱,۵۴ ^B	۳۱,۳۶ ± ۰,۰۲ ^A	۲۵۰۶,۰۶ ± ۲۸,۴۰ ^D	۴۶۰,۰۰ ± ۳,۵۷ ^A	A _{Ctrl}
۵۸۶,۴۳ ± ۱۰,۶۹ ^A	۱۹۲۳,۴۳ ± ۴۲,۸۳ ^B	۱۷۰۰,۳۸ ± ۱۰,۱۳ ^A	۱۸۶,۴۲ ± ۳۰,۴۹ ^C	۲۴,۰۴ ± ۰,۲۶ ^B	۲۹۱۹,۱۸ ± ۱۰۲,۸۷ ^B	۲۰۸,۲۵ ± ۴,۳۱ ^F	A _{۷۰}
۵۴۱,۱۶ ± ۱۶,۹۳ ^{BC}	۱۹۰۶,۸۲ ± ۵۷,۹۱ ^B	۱۲۳۰,۲۳ ± ۵۶,۱۶ ^D	۱۷۸۷,۸۶ ± ۱۷۵,۲۸ ^D	۲۵,۱۸ ± ۰,۴۹ ^B	۱۸۲۴,۰۸ ± ۶۵۲,۵۵ ^H	۴۵۳,۱۱ ± ۱۰,۱۴ ^A	A _{۷۰,۵}
۴۹۰,۵۱ ± ۲۰,۴۲ ^C	۱۸۱۱,۳۳ ± ۳۷۱,۰۹ ^C	۱۵۱۰,۵۹ ± ۱,۷۶ ^B	۱۳۹۴,۹۲ ± ۷۹,۰۷ ^G	۲۴,۴۰ ± ۰,۴۷ ^B	۱۵۷۷,۱۸ ± ۱۱۳۶,۶۶ ^I	۳۹۶,۱۸ ± ۶,۹۴ ^B	A _{۷۱}
۴۰۸,۲۴ ± ۴۳,۱۶ ^D	۱۷۲۰,۱۷ ± ۲۴۶,۶۵ ^D	۱۵۸۴,۲۰ ± ۸۵,۸۸ ^B	۱۸۰,۱۱ ± ۱۷,۰۵ ^D	۲۳,۲۴ ± ۰,۸۳ ^C	۲۳۱۶,۴۵ ± ۲۵۲,۹۳ ^F	۳۷۶,۷۴ ± ۰,۰۵ ^C	A _{۷۱,۵}
۳۰۴,۱۸ ± ۱۳,۶۷ ^E	۱۴۲۸,۱۵ ± ۲۲۴,۰۰ ^E	۱۳۴۷,۹۲ ± ۱۱۰,۹۸ ^C	۱۶۶۷,۱۹ ± ۱۵۴,۹۹ ^E	۲۱,۰۴ ± ۱,۰۴ ^D	۲۴۳۳,۲۳ ± ۲۹۵,۸۷ ^E	۳۱۷,۴۴ ± ۴۲,۹۹ ^D	A _{۷۵}
۲۷۴,۳۴ ± ۱۷,۱۵ ^{EF}	۱۴۰۶,۶۳ ± ۳۰,۱۶ ^F	۹۷۴,۱۱ ± ۱۲۴,۲۸ ^E	۱۳۴۳,۴۲ ± ۱۰۰,۹۲ ^H	۲۱,۶۴ ± ۰,۴۳ ^C	۲۵۵۹,۸۱ ± ۲۰۲,۴۰ ^C	۲۸۹,۶۵ ± ۱۰,۱۹ ^D	A _{۷۵,۵}
۵۷۰,۹۳ ± ۶,۰۸ ^B	۲۰۱۱,۸۴ ± ۲۴,۸۹ ^A	۱۵۹۱,۳۹ ± ۴۰,۱۷ ^B	۲۱۱۳,۰۰ ± ۱,۵۴ ^B	۳۱,۳۶ ± ۰,۰۲ ^A	۲۵۰۶,۰۶ ± ۲۸,۴۰ ^D	۴۶۰,۰۰ ± ۳,۵۷ ^A	A _{۷۱۰}
۲۹۷,۱۹ ± ۳۲,۲۱ ^E	۳۲۴,۷۲ ± ۶۵,۶۵ ^G	۱۰۴,۷۸ ± ۸,۵۰ ^F	۲۲۹۸,۱۵ ± ۵۶,۲۸ ^A	۱۱,۸۹ ± ۰,۱۲ ^E	۲۵۸۱,۷۰ ± ۱۰,۸۷ ^C	۲۴۲,۹۶ ± ۸,۴۵ ^E	P _{Ctrl}
۲۹۶,۴۹ ± ۹,۸۱ ^E	۲۳۸,۸۹ ± ۱۱,۷۶ ^G	۱۰۳,۶۲ ± ۳۷,۴۶ ^F	۱۴۲۵,۶۷ ± ۱۳,۷۵ ^F	۱۱,۱۹ ± ۱,۰۵ ^E	۲۱۹۹,۳۵ ± ۳۹,۰۲ ^F	۱۸۱,۸۸ ± ۲,۵۴ ^G	P _{۷۰}
۲۱۰,۸۱ ± ۴,۸۷ ^{FG}	۱۸۶,۱۳ ± ۱,۹۷ ^G	۹۴,۸۸ ± ۴,۸۷ ^F	۱۴۲۷,۰۶ ± ۸,۳۴ ^F	۹,۷۷ ± ۱,۴۹ ^E	۱۹۴۶,۳۸ ± ۴۰,۹۴ ^G	۱۷۴,۹۴ ± ۰,۱۲ ^I	P _{۷۰,۵}
۸۶,۰۳ ± ۸,۰۹ ^H	۱۱۸,۳۳ ± ۱۰,۴۶ ^G	۹۴,۵۶ ± ۱۵,۶۶ ^F		۱۲,۱۳ ± ۴,۸۹ ^E	۲۲۰۶,۶۴ ± ۱۳۲,۸۷ ^F	۱۷۲,۱۲ ± ۴,۰۱ ^I	P _{۷۱}
۸۷,۵۲ ± ۱۶,۱۱ ^{HI}	۱۷۲,۸۳ ± ۱۸,۷۶ ^G	۷۹,۵۱ ± ۷,۸۲ ^{FG}	۱۲۷۹,۶۷ ± ۱,۸۳ ^I	۱۱,۸۶ ± ۰,۲۱ ^E	۲۲۰۶,۱۲ ± ۱۵۳,۸۱ ^F	۱۷۶,۲۳ ± ۶,۶۶ ^H	P _{۷۱,۵}
۳۰,۶۷ ± ۴,۲۳ ^{HI}	۱۳۱,۰۵ ± ۱۳,۷۰ ^G	۷۰,۷۶ ± ۴,۴۳ ^{FG}	۸۸۰,۷۹ ± ۸۵,۷۵ ^K	۱۰,۹۷ ± ۰,۳۷ ^E	۱۵۰۹,۴۸ ± ۳۴۲,۶۲ ^I	۶۳,۹۰ ± ۱۸,۲۲ ^J	P _{۷۵}
۶۷۹ ± ۶,۶۵ ^I	۳۰۴,۰۷ ± ۲,۵۵ ^G	N.F. ^G	۲۱۷,۷۶ ± ۶۰,۹۹ ^L	۱۲,۷۰ ± ۱,۹۸ ^E	۳۱۱۰,۸۸ ± ۱۵۹,۷۹ ^A	۱۶۷,۴۶ ± ۳۹,۵۹ ^I	P _{۷۵,۵}
۲۹۷,۱۹ ± ۳۲,۲۱ ^E	۳۲۴,۷۲ ± ۶۵,۶۵ ^G	۱۰۴,۷۸ ± ۸,۵۰ ^F	۲۲۹۸,۱۵ ± ۵۶,۲۸ ^A	۱۱,۸۹ ± ۰,۱۲ ^E	۲۵۸۱,۷۰ ± ۱۰,۸۷ ^C	۲۴۲,۹۶ ± ۸,۴۵ ^E	P _{۷۱۰}

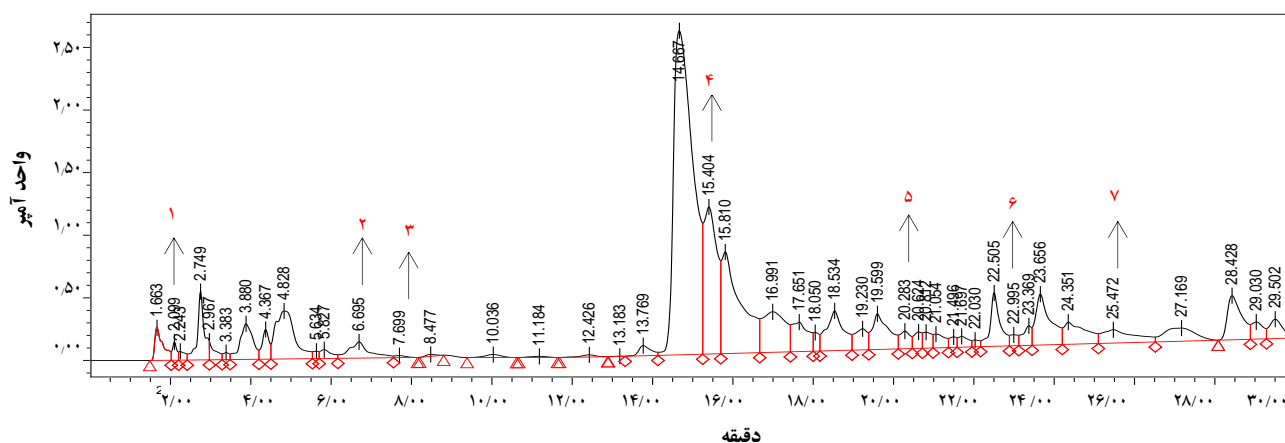
*حروف نام‌گذاری نمونه عبارتند از: رقم میوه‌ی زرشک A = *B. integerrima* (آبی) و P = *B. vulgaris* (پلویی) / نمونه‌ی میوه‌ی زرشک تازه کنترل، نمونه‌ی

منجمد = نمونه‌ی شاهد ۷۰، نمونه‌های تابش دهی شده با گامای ۰,۵، ۱، ۲,۵، ۵، ۷,۵ و ۱۰ kGy، قله‌های شناسایی نشده = N.F.؛

**حروف بزرگ مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌داری را نشان نمی‌دهند (P < 0.05)، اعداد جدول مقادیر میانگین ± انحراف معیار (S.D.) و ۳ تکرار برای هر تیمار است.



شکل ۶. کروماتوگرام استاندارد ویتامین‌های محلول در آب؛ ۱: آسکوربیک اسید؛ ۲: پانتوتینیک اسید (B₅)؛ ۳: پیریدوکسین (B₆)؛ ۴: تیامین (B₁)؛ ۵: فولیک اسید؛ ۶: بیوتین؛ ۷: ریوفلاوین (B_۲).



شکل ۷. کروماتوگرام استاندارد ویتامین‌های محلول در آب میوه‌ی زرشک پرتودیده (۲/۵ kGy) ۱: آسکوربیک اسید؛ ۲: پانتوتینیک اسید (B₅)؛ ۳: پیریدوکسین (B₆)؛ ۴: تیامین (B₁)؛ ۵: فولیک اسید؛ ۶: بیوتین؛ ۷: ریوفلاوین (B₂).

محتوای ویتامین C رقم آبی بعد از دز ۱ kGy تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد نشان نداد، اما در رقم پلویی کاهش داشت. محتوای ویتامین C هر دو رقم بعد از دزهای ۰/۵، ۲/۵، ۵/۵ و ۷/۵ kGy نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری نشان دادند. ویتامین C به علت تجزیه، اکسید شدن، آبکافت و بسپارش به محصولات غیرفعال، طی فراوری کاهش نشان می‌دهد [۳۸]. روش‌های فراوری ممکن است آسکوربیک اسید را به‌طور برگشت‌ناپذیری غیرفعال کنند، اما هم‌چنان کاهش محتوای ویتامین C در نتیجه‌ی تجزیه شدن به ترکیباتی مانند دی‌کتو گلوکونیک اسید مشاهده می‌شود [۳۹-۴۲]. تغییرات ویتامین C طی تابش‌دهی احتمالاً بیش‌تر به واسطه‌ی تغییرات متابولیکی در بافت‌های گیاهی تا تغییرات شیمیایی رخ می‌دهد [۴۳]. ویتامین C که حساس‌ترین ویتامین محلول در آب در برابر تابش‌دهی گاما است، در دو رقم اسفناج در دز ۰/۵ kGy، کیوی در دز ۳ kGy، فلفل سیاه، دارچین، جوز و آویشن در دز ۱۰ kGy و میوه‌ی چینی لیسوم با افزایش دز گاما از ۲ تا ۱۴ kGy کاهش داشت [۴۴-۴۷]. محتوای ویتامین C دو رقم زرشک آبی و پلویی بعد از تمام دزها، کاهش معنی‌دار داشت و فقط در رقم آبی بعد از تیمار با دز ۱ kGy، تغییر معنی‌داری نکرده است. در توت‌فرنگی بلافاصله بعد از تابش‌دهی، دهیدروآسکوربیک اسید افزایش یافت، بنابراین با وجود اُکسایش آسکوربیک اسید، کاهش در محتوای ویتامین C (آسکوربیک اسید + دهیدروآسکوربیک اسید) تنها حدود ۵٪ نشان داده می‌شود [۴۰].

مقادیر ثابت تفکیک (pK_{a1}) کوچک‌تر، نشان‌دهنده‌ی تفکیک‌پذیری بیش‌تر، و تشکیل گونه‌های یونی با قطبیت بیش‌تر است. ویتامین‌های B₁، B₆، C و B₅ با داشتن ثابت تفکیک کوچک‌تر و تشکیل مقادیر بیش‌تری از گونه‌های یونی به فاز متحرک، تمایل بیش‌تری دارد و زودتر از ستون با طبیعت غیرقطبی خارج می‌شود، پس باید قله‌های ابتدایی کروماتوگرام را به خود اختصاص دهند. هم‌چنین قله‌های مربوط به ویتامین‌های با آب‌گریزی بیش‌تر و تفکیک‌پذیری کم‌تر مانند فولیک اسید، بیوتین و ریوفلاوین (B₂) در انتهای کروماتوگرام شسته می‌شوند. در مطالعه‌ی حاضر، ترتیب خروج از همین الگو پیروی کرد. به‌طور کلی، عوامل گوناگونی بر پایداری و بقای ویتامین‌ها در فراوری مؤثرند. برخی از اتلاف ویتامین‌ها در یخچال به‌علت تماس با اکسیژن و حضور نور است [۳۶]. در پرتوفراوری، ویتامین‌های محلول در آب در معرض رادیکال‌های حاصل از تابش‌دهی آب هستند. برخی ویتامین‌های محلول در آب ممکن است مستقیماً با الکترون‌های هیدراته یا الکترون حاصل از سایر رادیکال‌های تولید شده در محیط آبی واکنش دهند. چون ویتامین‌ها مقدرشان در غذا بسیار کم است، رادیکال‌های هیدروکسیل بیش‌تر با سایر ترکیبات عمده‌ی غذاها مانند لیپیدها، پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها نسبت به ویتامین‌ها واکنش می‌دهند. بنابراین ویتامین‌ها بیش‌تر از هیدروپروکسیدها، یعنی رادیکال‌های ثانویه‌ی تشکیل شده در اثر برهم‌کنش‌ها با ترکیبات اصلی، اثرپذیرند [۳۷].



واقع، تیامین به دما حساسیت بیش تری نسبت به تابش دهی دارد [۱۴، ۴۳، ۴۷]. محتوای ویتامین B₁ دو رقم زرشک آبی و پلویی بعد از اغلب دزهای گاما کاهش معنی دار داشته است. افزایش مقدار تیامین بعد از بیش ترین دز تابش دهی، یعنی ۱۰ kGy را شاید بتوان به افزایش کارایی استخراج نسبت داد.

محتوای فولیک اسید در رقم آبی بعد از تیمار با تمام دزهای تابش دهی گاما و در رقم پلویی بعد از دزهای ۲/۵ و ۵ kGy کاهش معنی دار را نسبت به شاهد نشان دادند. تیمار با پرتوهای گاما دزهای ۰/۵، ۱ و ۱۰ kGy در رقم پلویی، تفاوت معنی دار آماری نشان نداد. ویتامین ۵- متیل تتراهیدروفولات (فولات) فعال ترین شکل فولات از نظر زیستی در سلامت انسان است. تابش دهی موجب کاهش فولات اسفناج شده است. فولات در بافت های تازه و دارای آب، به تابش دهی گاما حساس است [۴۴]. محتوای فولیک اسید در فراورده های گوشتی در دز تابش دهی گاما ۳ تا ۴ kGy حدود ۳۰٪ کاهش نشان داد و در دزهای پایین تر اثر معنی داری نداشت [۴۹].

مقدار ویتامین بیوتین در رقم آبی بعد از تیمارهای ۱/۵، ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ kGy کاهش معنی دار را نسبت به شاهد نشان داد. در رقم پلویی، تیمارهای ۰/۵، ۱، ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ kGy تفاوت معنی داری را نسبت به شاهد ایجاد نکردند. برای بیوتین در محصولات گوشتی تا دزهای ۲۰ تا ۴۰ kGy هم کاهش معنی دار مشاهده نشده است [۳۷]. مقدار ویتامین های موجود در یک گونه ای مشخص گیاه به طور قابل توجهی بسته به رقم، شرایط رشد، بلوغ، شرایط نگهداری پس از برداشت و فرایند آن متغیر است [۵۰، ۵۱]. در رقم پلویی هم تمام دزهای گاما، اثر معنی داری بر محتوای بیوتین ایجاد نکرد، اما رقم آبی در همه ی دزها کاهش معنی دار داشت. شاید این اثر را بتوان به مقدار متفاوت ویتامین در دو رقم نسبت داد.

محتوای ویتامین B₂ در دو رقم تابش دهی گاما ۰/۵، ۱، ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ kGy کاهش معنی دار نسبت به شاهد داشتند. در برخی مواد غذایی، عدم تغییر یا حتی افزایش هم بعد از تیمار با گاما در محتوای B₂ مشاهده شده است، اما برخی مطالعات هم کاهش را گزارش کرده اند. این موضوع شاید به دلیل تبدیل پیش سازها به ویتامین فعال یا افزایش کارایی استخراج در نتیجه ی تابش دهی باشد [۱۴، ۳۷، ۴۳، ۴۷].

محتوای ویتامین B₅ در میوه ی رقم آبی بعد از همه دزها، و در رقم پلویی بعد از دزهای ۰/۵ و ۵ kGy کاهش معنی دار داشتند. در رقم پلویی بعد از دزهای ۷/۵ و ۱۰ kGy، افزایش معنی دار نسبت به شاهد نشان دادند و بعد از سایر دزها تفاوت معنی داری نداشتند. پنتوتینیک اسید (B₅) در برابر حرارت، نور و هوا در pH برابر ۵ تا ۷ پایدار است [۴۸]. درباره ویتامین B₅، بسیاری از مطالعات در دزهای تابش دهی بیش تر ۱۰ kGy، کاهش در مقدار آن را در بسیاری مواد غذایی گزارش نکردند [۳۷]. در رقم پلویی هم محتوای ویتامین B₅ در دز ۷/۵ و ۱۰ kGy افزایش معنی دار داشتند.

مقادیر ویتامین B₆ در رقم آبی، بعد از تیمارهای تابش دهی گاما با دزهای ۰/۵ و ۱ kGy تفاوت معنی داری با شاهد نداشتند. بعد از دزهای ۲/۵، ۵ و ۷/۵ kGy کاهش، و بعد از ۱۰ kGy افزایش معنی دار نسبت به شاهد نشان دادند. محتوای ویتامین B₆ در رقم پلویی بعد از تابش دهی گاما با دزهای ۰/۵، ۱، ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ kGy نسبت به شاهد تفاوت معنی داری نداشتند. کاهش معنی دار ویتامین B₆ گوشت در دزهای زیر ۱۰ kGy گزارش نشده است [۳۷]. در رقم پلویی هم تمام دزهای گاما و در رقم آبی دزهای ۰/۵ و ۱ kGy اثر معنی داری بر محتوای B₆ ایجاد نکردند.

محتوای ویتامین B₁ در میوه ی دو رقم بعد از تابش دهی گاما با دز ۱۰ kGy نسبت به شاهد افزایش، و در سایر دزها در دو رقم کاهش معنی دار داشته است. تخریب اکساینده (حساس ترین ویتامین گروه B به تابش دهی) مسئول از بین رفتن ویتامین B₁ (وابسته به دز) است. هنگام تابش دهی B₁، کاهش در جذب طیف سنجی آن، تخریب حلقه ی پیریمیدین آن را نشان می دهد. از دست دادن گروه آمین مشاهده می شود و این واکنش متناسب با دز پرتو، آمونیاک تولید می کند [۳۷]. تابش دهی گاما کاهش زیادی در محتوای B₁ (تیامین) سورگوم ایجاد می کند. وقتی محصولات در حضور رطوبت و اکسیژن تابش دهی می شوند، کاهش ها را می توان به تشکیل رادیکال های آزاد اولیه ی بسیار فعال از محصولات رادیولیتیک آب و شاید محصولات ثانویه ی واکنش مانند هیدروپروکسیدها نسبت داد که احتمالاً به ویتامین ها حمله می کنند [۳۹]. با تمهیداتی مانند کاهش دما در دزهای بالاتر یا حذف اکسیژن از محیط، می توان آفت مقدار را کاهش داد. در



۴. نتیجه‌گیری

دزهای پایین‌تر، یعنی زیر ۵ kGy، این ترکیبات بهتر حفظ می‌شوند.

پی‌نوشت‌ها

1. Berry
2. Recommended Daily Intakes (RDIs)
3. Gamma cell-220 irradiator
4. Dispersion

مراجع

- [1] M. Pouyan, Barberry economical aspects and production, Ghahestan Publishing, Birjand, Iran (In Farsi), First Edition, (2008) 1-200.
- [2] M. Carochi, L. Barros, A.L. Antonio, J.C.M. Barreira, A. Bento, I. Kaluska, I.C.F.R. Ferreira, Analysis of organic acids in electron beam irradiated chestnuts (*Castanea sativa* Mill): Effects of radiation dose and storage time, *Food Chem. Toxicol.* **55** (2013) 348-352.
- [3] J. Wu, H. Gao, L. Zhao, Z. Liao, F. Chen, Zh. Wang, X. Hu, Chemical compositional characterization of some apple cultivars, *Food Chem.* **103** (2007) 88-93.
- [4] N. Hounsome, B. Hounsome, D.G. Tomas, Edwards-Jones, Plant metabolites and nutritional quality of vegetables, *J. Food Sci.* **73(4)** (2008) R48-R64.
- [5] F. Koyuncu, Organic acid composition of native black mulberry fruit, *Chem. Nat. Compd.* **40(4)** (2004) 367-369.
- [6] A. Aarabi, M. Barzegar, M.H. Azizi, Effect of cultivar and cold storage of pomegranate (*Punica granatum* L.) juices on organic acid composition, *ASEAN Food J.* **15(1)** (2008) 45-55.
- [7] A.G. Prez, R. Olias, J. Espada, J.M. Olias, C. Sanz, Rapid determination of sugars, nonvolatile acids, and ascorbic acid in strawberry and other fruits, *J. Agr. Food Chem.* **45** (1997) 3545-3549.
- [8] Anonymous, Separating water soluble vitamins by reversed phase HPLC using a discovery C₁₈ column, SUPELCO, USA. *Application Note* **148** (2000) 1-20.

اسیدهای تارتاریک و فوماریک بعد از تمام دزها، و مالونیک و سوکسینیک بعد از اغلب دزهای پرتو فراوری در دو رقم مشاهده نشدند. مقدار آسکوربیک اسید بعد از اغلب دزها، در هر دو رقم کاهش نشان داد که می‌توان به تبدیل شدن آن به دهیدروآسکوربیک اسید نسبت داد. مقادیر اگزالیک و شیکیمیک اسید بعد از اغلب دزها افزایش داشتند که البته در برخی موارد تغییرات معنی‌دار نبود. مقدار اسید استیک در رقم آبی افزایش، و در رقم پلویی بعد از اغلب دزهای تابش‌دهی کاهش داشت. کاهش مقدار اسیدهای کویینیک، مالیک و مالئیک در رقم آبی، و افزایش آن‌ها در رقم پلویی بعد از اغلب دزهای تابش‌دهی مشاهده شد. کاهش اسیدهای آلی بعد از تابش‌دهی را می‌توان به علت اُکسایش هوازی و تجزیه‌ی بی‌هوازی دانست. مقدار ویتامین C در رقم آبی بعد از تمام دزها، و در رقم پلویی بعد از ۱۰ kGy افزایش داشت. سایر دزها در رقم پلویی کاهش معنی‌دار ایجاد کردند. افزایش ویتامین B₅ بعد از دزهای ۷٫۵ و ۱۰ kGy در رقم پلویی رخ داد. در محتوای ویتامین B₅ بعد از دزهای ۱ و ۲٫۵ kGy در رقم پلویی تغییری حاصل نشد و کاهش بعد از سایر دزها در دو رقم مشاهده شد. افزایش ویتامین B₆ بعد از دز ۱۰ kGy و کاهش بعد از دزهای ۲٫۵، ۵ و ۷٫۵ kGy در رقم آبی مشاهده شد. سایر تغییرات دو رقم معنی‌دار نبودند. تیامین بعد از دز ۱۰ kGy در دو رقم افزایش نشان داد و در رقم پلویی بعد از دز ۰٫۵ kGy تفاوت معنی‌داری وجود نداشت و بعد از سایر تیمارها در دو رقم کاهش داشت. محتوای فولیک اسید در رقم پلویی بعد از دزهای ۰٫۵، ۱ و ۱۰ kGy تفاوت معنی‌داری نشان دادند. بعد از سایر دزها در هر دو رقم کاهش داشت. کاهش بیوتین بعد از تمام دزهای تابش‌دهی در رقم آبی مشاهده شد، اما در رقم پلویی تغییرات معنی‌دار نبودند. محتوای ویتامین B₂ بعد از تمام دزها در دو رقم کاهش داشت. عواملی مانند رقم، شرایط کاشت، برداشت، نگه‌داری و محتوای رطوبت در تأثیر پرتوهای گاما بر ترکیبات زیست‌فعال میوه‌ها مهم هستند و نمی‌توان برای تمام انواع این ترکیبات که در این پژوهش مطالعه شده‌اند، یک دز بهینه را پیشنهاد کرد. به عبارتی، با توجه به ترکیب مورد نظر در رقم خاص باید این دز را تعیین نمود. در مجموع می‌توان گفت که در



- [9] P.F. Chatzimichalakis, V.F. Samanidou, R. Verpoorte, I.N. Papadoyannis, Development of a validated HPLC method for the determination of B-complex vitamins in pharmaceuticals and biological fluids after solid phase extraction, *J. Separ. Sci.* **27** (2004) 1181-1188.
- [10] Ch.M. Cho, J.H. Ko, W.J. Cheong, Simultaneous determination of water-soluble vitamins excreted in human urine after eating an overdose of vitamin pills by HPLC method coupled with a solid phase extraction, *Talanta* **51** (2000) 799-806.
- [11] P. Moreno, V. Salvado, Determination of eight water- and fat- soluble vitamins in multi-vitamin pharmaceutical formulation by high performance liquid chromatography, *J. Chromatogr. A* **870** (2000) 207-215.
- [12] A. Mortazavi, A. Motamedzadegan, H.R. Ziaolhagh, Non-thermal preservation of food, Ferdowsi university of Mashhad Publishing, Mashhad, Iran (In Farsi), First Edition, (2008) 219-291.
- [13] P. Sanchez-Bel, I. Egea, F. Romojaro, M.C. Martinez-Madrid, Sensorial and chemical quality of electron beam irradiated almonds (*Prunus amygdalus*), *LWT* **41** (2008) 442-449.
- [14] L.M. Crawford, E.H. Ruff, A review of the safety of cold pasteurization through irradiation, *Food Control* **7**(2) (1996) 87-97.
- [15] P. Siddhuraju, H.P.S. Makkar, K. Becker, Review- The effect of ionizing radiation on anti-nutritional factors and the nutritional value of plant materials with reference to human and animal food, *Food Chem.* **78** (2002) 187-205.
- [16] H. Alighourchi, M. Barzegar, S. Abbasi, Effect of gamma irradiation on the stability of anthocyanins and shelf-life of various pomegranate juices, *Food Chem.* **110** (2008) 1036-1040.
- [17] G. Motalleb, P. Hanachi, S.H. Kua, O. Fauziah, R. Asmah, Evaluation of phenolic content and total antioxidant activity in *Brberis vulgaris* fruit extract, *J. Biol. Sci.* **5** (5) (2005) 648-653.
- [18] A. Molaie, K. Rezaei, F. Khodaeian, S.H. Razavi, The separation of functional compounds from barberry fruit extract. In National Conference of Functional Foods, Ferdowsi University of Mashhad, (2010) 341-350 (Farsi).
- [19] A. Sharifi, H. Tavakkolpour, A. Maskooki, A.H. Elhamifard, The evaluation of Barberry color extraction methods. 18th National Congress of Food Science and Industry, Mashhad, (2008) 1-20 (Farsi).
- [20] S. Berenji Ardestani, M.A. Sahari, M. Barzegar. Some physicochemical properties of Iranian native barberry fruits (abi and poloei): *Berberis integerrima* and *Berberis vulgaris*, *J. Food Pharm. Sci.* **1** (2013) 67-74.
- [21] R. Ekinici, The effect of fermentation and drying on the water soluble content of Tarhana, a traditional Turkish cereal food, *Food Chem.* **90** (2005) 127-132.
- [22] E. Toprak Aktas, H. Yildiz, Effect of electroplasmolysis treatment on chlorophyll and carotenoid extraction yield from spinach and tomato, *J. Food Eng.* **106** (2011) 339-346.
- [23] M. Igual, E. Garcia-Martinez, M.M. Camacho, M. Navarrete, Effect of thermal treatment and storage on stability of organic acids and the functional value of grapefruit juice, *Food Chem.* **118** (2010) 291-299.
- [24] H. Getinet, T. Seyoum, K. Woldetsadik, The effect of cultivar, maturity stage and storage environment on quality of tomatoes, *J. Food Eng.* **87** (2008) 467-478.
- [25] A.M. Wani, P.R. Hussain, R.S. Meena, M.A. Dar, Effect of gamma irradiation and Refrigerated storage on the improvement of quality and shelf Life of pear (*Pyrus communis* L., Cv. Bartlett/William), *Radiat. Phys. Chem.* **77** (2008) 983-989.
- [26] K.H. Kim, H.S. Yook, Effect of gamma irradiation on quality of kiwi fruit (*Actinidia deliciosa* var. *deliciosa* cv. Hayward), *Radiat. Phys. Chem.* **78** (2009) 414-421.
- [27] G. Lisinska, K. Aniolowski, Organic acids in potato tubers: Part 2- The effect of gamma irradiation on citric and malic acid contents of potato tubers, *Food Chem.* **40** (1991) 207-212.



- [28] K. Marsh, S. Attanayake, S. Walker, A. Gunson, H. Boldingh, E. Macrae, Acidity and taste in kiwi fruit, *Postharvest Biol. Tec.* **32** (2004) 159-168.
- [29] X. Fan, B.A. Niemera, J.P. Mattheis, H. Zhuang, D.W. Olson, Quality of fresh-cut apple slices as affected by low dose ionizing radiation and calcium ascorbate treatment, *J. Food Sci.* **70**(2) (2005) s143-s148.
- [30] A. Rawson, A. Patras, B.K. Tiwari, F. Noci, T. Koutchma, N. Brunton, Review- Effect of thermal and non- thermal processing technologies on the bioactive content of exotic fruits and their products: *Rev. Recent Adv. Food Res. Int.* **44**(7) (2011) 1875-1887.
- [31] S.P. Sood, L.E. Sartori, D.P. Wittmer, W.G. Haney, High-pressure liquid chromatographic determination of ascorbic acid in selected foods and multivitamin products, *Anal. Chem.* **48**(6) (1976) 796-798.
- [32] H.B. Li, F. Chen, Simultaneous determination of nine water soluble vitamins in pharmaceutical preparations by high performance liquid chromatography with diode array detection, *J. Separ. Sci.* **24** (2001) 271-274.
- [33] L.Sh. Li, Sh.L. Da, Y.Q. Feng, M. Liu, Study on the chromatographic behavior of water soluble vitamins on *p-tert-butyl-calix-[8]arene*-bonded silica gel stationary phase by HPLC, *Talanta* **64** (2004) 373-379.
- [34] J.L. Chastain, D.M. Bowers-Komro, D.B. McCrmick, High performance liquid chromatography of biotin and analogues, *J. Chromatogr.* **330** (1985) 153-158.
- [35] J. Ghasemi, S. Ghobadi, B. Abbasi, M. Kubista, Spectrophotometric determination of acidity constants of group B vitamins in different ionic strengths at $25 \pm 0.1^\circ\text{C}$, *J. Korean Chem. Soc.* **49**(3) (2005) 269-277.
- [36] S. Severi, G. Bedogni, M.A. Manzier, M. Poli, N. Battistini, Effects of cooking and storage methods on the micronutrient content of foods, *Eur. All J. Canc. Prev.* **6**(1) (1997) 521-524.
- [37] M. Giroux, M. Lacroix, Nutritional adequacy of irradiated meat-a review, *Food Res. Int.* **31**(4) (1998) 257-264.
- [38] D. Perez-Conesa, J. Garcia-Alonso, V. Garcia-Valverde, M.D. Niesta, K. Jacob, L.M. Sanchez-Siles, G. Ros, M.J. Periago, Changes in bioactive compounds and antioxidant activity during homogenization and thermal processing of tomato puree, *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* **10** (2009) 179-188.
- [39] K.G. Duodu, A. Minnaar, J.R.N. Taylor, Effect of cooking and irradiation on the labile vitamins and anti-nutrients content of a traditional african sorghum porridge and spinach relish, *Food Chem.* **66** (1999) 21-27.
- [40] P. Arancibia-Avila, J. Namiesnik, F. Toledo, E. Werner, A.L. Martinez-Ayala, N.E. Rocha-Guzmán, J.A. Gallegos-Infante, Sh. Gorinstein, The influence of different time durations of thermal processing on berries quality, *Food Control* **26** (2012) 587-593.
- [41] W. Kalt, Ch.F. Forney, A. Martin, R.L. Prior, Antioxidant capacity, vitamin C, phenolics and anthocyanins after fresh storage of small fruits, *J. Agr. Food Chem.* **47** (1999) 4638-4644.
- [42] J. Volden, G.I.A. Borge, G.B. Bengtsson, M. Hansen, I.E. Thygesen, T. Wicklund, Effect of thermal treatment on glucosinolates and antioxidant-related parameters in red cabbage (*Brassica oleracea* L. ssp. *capitata* f. *rubra*), *Food Chem.* **109** (2008) 595-605.
- [43] D. Kilcast, Effect of irradiation on vitamins, *Food Chem.* **49** (1994) 157-164.
- [44] G.E. Lester, G.J. Hallman, γ -irradiation Dose: Effects on baby leaf spinach ascorbic acid, carotenoids, folate, α -tocopherol and phyloquinone concentrations, *J. Agr. Food Chem.* **58** (2010) 4901-4906.
- [45] K.H. Kim, H.S. Yook, Effect of gamma irradiation on quality of kiwi fruit (*Actinidia deliciosa* var. *deliciosa* cv. Hayward), *Radiat. Phys. Chem.* **78** (2009) 414-421.
- [46] M. Alothman, R. Bhat, A.A. Karim, Effect of radiation processing on phytochemicals and antioxidants in plant produce, *Trends Food Sci. Tech.* **20** (2009) 201-212.



- [47] A.P. Dionisio, R.T. Gomes, M. Oetterer, Ionizing Radiation Effect on food vitamins- a review, *Braz. Arch. Biol. Tech.*, **52(5)** (2009) 1267-1278.
- [48] E. Leskova, J. Kubikova, E. Kovacikova, M. Kosicka, J. Porubska, K. Holcikova, Vitamin losses: retention during heat treatment and continual changes expressed by mathematical models, *J. Food Compos. Analysis* **19** (2006) 252–276.
- [49] I. Galan, M.L. Garcia, M.D. Selgas, Irradiation is useful for manufacturing ready to eat cooked meat products enriched with folic acid, *Meat Sci.* **87** (2011) 330-335.
- [50] K. Dorofejeva, T. Rakcejeva, R. Galoburda, L. Dukalska, J. Kviesis, Vitamin C content in latvian cranberries dried in convective and microwave vacuum driers, *Procedia*, **1** (2011) 433-440.
- [51] M. Safari, Physicochemical principals of food preservation, Tehran University Press, Tehran, Iran, 1st Ed., (1999) Chapters 2, 4 and 5 (In Farsi).