

اثرات پرتوفاوری گاما بر رنگ میوه زرشک خشک

سمیرا برنجی اردستانی^۱، نپتون بیدلی^۲، مرضیه احمدی روشن^{۱*}

۱ پژوهشکده کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، تهران

۲ مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، مشهد

چکیده:

زرشک با مصارف خوراکی و صنعتی از محصولات کشاورزی اصلی خراسان جنوبی است. استفاده از پرتوفاوری، از اقتصادی‌ترین روش‌های نوین فراوری مواد غذایی است. میوه‌های زرشک برداشت شده از شهرستان بیرجند به روش شاخه بر در انبار به نام بارگاه، در سایه و دمای محیط به نام "زرشک پفکی" خشک شدند. میوه‌های جدا شده از خوشه‌ها، پس از پهن کردن روی پارچه‌ای تمیز زیر نور آفتاب در دمای محیط به نام "زرشک نگینی" خشک شدند. نمونه‌های زرشک مذکور در محلول اسمزی (نمک ۱ g/l + متابی‌سولفیت سدیم ۳ g/l + اسید سیتریک ۳ g/l + شکر ۴۰ g/l) غوطه‌ور و در آزمایشگاه در شرایط اتمسفر معمولی و دمای محیط روی طبق خشک شدند. پاستوریزه کردن انجمادی (به مدت ۷۲ ساعت در ۲۰°C-) و پرتودهی گاما در دُزهای ۰، ۳، ۵ و ۱۰ انجام شدند. نمونه‌های ۱۰ گرمی زرشک‌ها در فیلم پلی‌آمید بسته‌بندی، گدگذاری و در دمای ۲۵°C و ۴ تا ۶ ماه نگهداری شدند. تاثیر پرتوفاوری گاما، روش شیمیایی اسمزی و انجماد بر ویژگی‌های رنگ‌سنجی با نمونه شاهد مقایسه شد. زرشک نوع پفکی، پرتوفاوری شده با دُز ۵ kGy پرتوهای گاما به‌عنوان روش فراوری بهینه به‌منظور نگهداری زرشک خشک به مدت ۶ ماه در دمای ۴°C اعلام شد.

کلیدواژه‌ها: پرتوفاوری گاما، میوه زرشک، رنگ.

Effects of Gamma Irradiation on Dried Barberry Fruit Colour

Berenji Ardestani, Samira¹, Neptun, Bideli², Ahmadiroshan, Marzieh^{1*}

1. Research School of Radiation Applications, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, Tehran, Iran.

2. Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research Center

E-mail: mzahmadi@aeoi.org.ir

Abstract

Barberry with food and industrial usages is a main agricultural products of South Khorasan. Irradiation is one of the most economical and modern methods of food processing. The fruits of barberry were harvested in Birjand city. Fruit branches were cut and dried in a warehouse, which is locally called Bargah in the shade and at room temperature as "puffed barberry". The separated fruits from the clusters were collected and dried on a clean cloth under the sunlight at ambient temperature as "gem barberry". Barberry samples were immersed in osmotic solution (salt 1g/l + sodium metabisulphite 3g/l + citric acid 3g/l + sugar 40g/l) and dried in the laboratory at ambient temperature (23±2 °C). Freezing pasteurization (72h at -20 °C) and gamma irradiation were performed at doses of 0, 3, 5 and 10 kGy. Samples of 10 g barberry fruit were packaged in polyamide film, encoded and stored at 25 °C for 4 to 6 months. The effects of gamma irradiation, osmotic and cryopreservation methods on colorimetric properties were compared to control sample. As results showed, gamma irradiation at dose of 5 kGy for puffed barberry, was declared as optimal conditions to store dried barberry for 6 months at 4 °C.

Keywords: Gamma radiation processing, Barberry fruit, Colour.

* E-mail: mzahmadi@aeoi.org.ir

۱. مقدمه

درختچه زرشک بی‌دانه با قدمت بیش از ۲۵۰ سال در منطقه خراسان جنوبی توانسته است با شرایط اقلیمی این ناحیه سازش یافته و خشکسالی‌های پایی را تحمل کند. طبق آخرین آمار منتشر شده، سطح زیرکشت زرشک ۱۳۱۴۸/۹ هکتار و میزان تولید زرشک ۱۷۵۸۳/۸ تن گزارش شده است. استان خراسان جنوبی تنها قطب تولید زرشک بی‌دانه ایران و دنیا با سطح زیر کشت حدود ۱۳۰۰۰ هکتار و میزان تولید حدود ۱۳۵۰۰ تن است که ارزش ریالی آن ۷۵۰ میلیارد ریال برآورد می‌شود. تعداد بهره برداران بالغ بر ۵۵۰۰۰ خانوار می‌باشد [۱]. میوه تازه زرشک بسیار حساس بوده و ماندگاری چندانی ندارد. لذا پس از برداشت باید سریع مصرف شده یا فرآوری گردد. شرایط مساعد نگهداری آن در سردخانه بین ۱۵ تا ۷۵ روز است. علایم ماندگاری بیش از حد کاهش شفافیت پوست، نرم شدن بافت، تغییر رنگ از قرمز روشن به خاکستری یا قهوه‌ای و چروکیدگی پوست هستند. سازمان FAO تخمین زده که حدود ۲۵٪ از تولید تمام مواد غذایی در سراسر جهان پس از برداشت محصول به دلیل حمله حشرات، میکروب‌ها و فساد نابود می‌شوند. این سازمان پرتودهی را در قالب برنامه‌هایی در سطح ملی، جهت بهداشت گیاهی به کشورهای عضو پیشنهاد داده است [۲ و ۳]. روش‌های متعددی جهت افزایش زمان نگهداری میوه زرشک وجود دارد مانند خشک کردن که با توجه به احتمال آلودگی محصول به عوامل فساد مانند هوا، دما، گرد و غبار، آفات و قارچ‌ها منجر به فاسد شدن و کاهش عمر نگهداری آن می‌گردد. روش‌های حرارتی مانند تولید مربا، ژله، لواشک، شربت، پوره و کنسانتره هم با اینکه به افزایش زمان نگهداری می‌افزاید ولی به دلیل تاثیر دما بر ترکیبات ماده اولیه از جمله رنگدانه‌ها از کیفیت تغذیه‌ای آن می‌کاهد و مصرف آن را نیز محدود می‌نماید. استفاده از نگهدارنده‌های شیمیایی طی سالیان نسبتاً طولانی به‌عنوان مناسب‌ترین روش انبارداری محصولات کشاورزی مطرح بوده است. اما بررسی دهه‌های اخیر دانشمندان نشان می‌دهد که کاربرد مواد شیمیایی علاوه بر خطرات زیست‌محیطی، به دلیل باقی‌ماندن در محصول موجب بیماری‌های متعددی در مصرف کنندگان خواهد شد. لذا جهت‌گیری مدیریت شیوه‌های نگهداری محصولات غذایی به سمت کاهش و حذف مواد شیمیایی حرکت کرده است [۴]. آبگیری اسمزی از روش‌های نوین کاهش رطوبت مواد غذایی است. آبگیری اسمزی خارج کردن رطوبت مواد غذایی از طریق تماس مستقیم با محلول‌های غلیظ قندی و نمکی است که به ترتیب برای آبگیری میوه‌ها و سبزی‌ها به کار می‌روند. خروج رطوبت بر اساس پدیده طبیعی و غیرمخرب اسمز و از میان غشای سلولی مواد غذایی انجام می‌شود. نیروی محرکه لازم برای خروج رطوبت، از طریق فشار اسمزی موجود در محلول‌های اسمزی که غلظت بیشتری از سلول‌های مواد غذایی دارند، فراهم می‌گردد [۵]. هدف اصلی از آبگیری اسمزی به حداقل رساندن صدمه به بافت سلولی و انتقال آب به بیرون از بافت در مدت کوتاه، بدون تغییر فاز در مقایسه با سایر روش‌های خشک کردن است. همچنین کاهش برهم‌کنش‌های حرارتی که اثرات منفی بر رنگ و مواد مولد عطر و طعم را کاهش می‌دهد. بهبود ویژگی‌های بافتی، کاهش چروکیدگی و افزایش جرم حجمی فرآورده از دیگر اهداف به‌کارگیری این پیش تیمار است [۶]. استفاده از پرتوفاوری از روش‌های حفظ محصولات کشاورزی است که موارد استفاده فراوانی در سطح جهان دارد. در اثر پرتودهی ارزش تغذیه‌ای غذاها تغییری نمی‌کند و خطرناک نمی‌شوند. در سطوح پرتودهی غذایی، برخی ویتامین‌ها کمی کاهش می‌یابد، اما به اندازه نقص در کمبود ویتامین نیست. در حقیقت، تغییرات ناشی از پرتودهی آن‌قدر کم است، که پرتودهی آن‌ها به آسانی قابل تشخیص نمی‌باشد. مزیت بزرگ مواد غذایی پرتودهی شده این است که این یک فرایند غیر حرارتی و سرد بوده و غذا هنوز هم اساساً "خام" است. پرتودهی معادل پاستوریزاسیون برای غذاهای جامد است. پرتودهی ابزاری مهم در جنگ علیه بیماری و مرگ حاصل از بیماری‌های غذایی و موجب بهبود بهداشت مواد غذایی باشد. پرتودهی توسط پرتوهای گاما، ایکس و الکترون‌های شتاب‌دار تحت شرایط کنترل شده، مواد پرتوزا در مواد غذایی ایجاد نمی‌کند. نه پرتودهی و نه سایر تیمارهای مواد غذایی دیگر نمی‌تواند مواد غذایی فاسد را، قابل مصرف سازد. اگر غذا، ظاهر، بو، طعم یا هرگونه علایم فساد داشته باشد، نمی‌توان آن را با هیچ تیماری از جمله پرتودهی اصلاح کرد. در حال حاضر با روندی رو به رشد، سالانه، بیش از نیم میلیون تن از ۴۰ نوع ماده غذایی (معادل یک درصد از مواد غذایی مصرف شده سالانه) در سراسر جهان در بیش از ۴۰ کشور، پرتودهی می‌شود [۷].

۲. مواد و روش کار

۲.۱ مواد و دستگاه‌ها

مواد شیمیایی شامل گلیسرین، سدیم استات، پتاسیم کلراید، اسید کلریدریک، اتانول، اسید سیتریک، نمک و شکر و تجهیزات آزمایشگاهی شامل ترازو METTLER مدل PB303 ساخت سوئیس، دستگاه بافت‌سنج CNS Farnell مدل QTS-7113 ساخت کشور انگلستان، فیلم پلاستیکی پلی‌آمید، کاغذ صافی واتمن شماره ۱، سطل، سبد، طبق چوبی و صافی پارچه‌ای استفاده شدند.

۲.۲ آماده‌سازی و فراوری نمونه‌ها

میوه زرشک تازه از روستای محموبی از توابع شهرستان بیرجند برداشت و به شهر مشهد منتقل شد. میوه‌های زرشک برداشت شده به روش شاخه بر در انبار به نام بارگاه، در سایه و دمای محیط در شرایط تجاری-سنتی مرسوم در منطقه به نام "زرشک پفکی" خشک شدند. میوه‌های جدا شده از خوشه‌ها، پس از پهن کردن روی پارچه‌ای تمیز در محیط بیرون زیر نور آفتاب در دمای محیط به نام "زرشک نگینی" خشک شدند. تیمارهای فراوری شامل تیمار شیمیایی (غوطه‌وری نمونه‌های زرشک "پفکی" و "نگینی" در محلول اسمزی نمک ۱ g/l + متابی‌سولفیت سدیم ۳ g/l + اسید سیتریک ۳ g/l + شکر ۴۰ g/l با دمای ۵۰ °C به مدت ۱۵ دقیقه و سپس آگیری تا رسیدن به رطوبت ۱۸-۲۰ درصد در آزمایشگاه در شرایط اتمسفر معمولی و دمای محیط روی طبق) [۸]، تیمار پاستوریزاسیون انجام داد (قرار دادن نمونه‌های زرشک "پفکی" و "نگینی" به مدت ۷۲ ساعت در ۲۰ °C-) [۹] و پرتو دهی میوه‌های زرشک برای نمونه‌های ۱۰ گرمی بسته‌بندی و گدگذاری شده در فیلم پلی‌آمید در دستگاه پرتو دهنده گاماسل (Gamma cell-220 irradiator (Nordion, Canada) با دزهای ۰، ۳، ۵ و ۱۰ گاما حاصل از منبع کبالت ۶۰، با آهنگ دز ۹۷ Gy/s در پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای در تهران انجام گرفت. پرتو دهی در اتمسفر هوای آزاد و دزسنجی با دزسنج شیمیایی فریک انجام گرفت. بلافاصله بعد از پرتو دهی، تمام نمونه‌ها در دو دمای نگهداری محیط و یخچال (۴ °C)، رطوبت نسبی ۹۰-۹۵ درصد و دور از نور) قرار گرفتند تا شاخص‌های کیفی در نوبت اول (روز ۰) و نوبت دوم (پس از ۶ ماه) اندازه‌گیری شوند [۱۰].

۲.۳ رنگ‌سنجی دستگاهی

بررسی نمایه‌های رنگ با آزمون دستگاهی هانترلب (شکل ۱) در سه تکرار انجام شد. رنگ و ظاهر یک ماده غذایی اولین متغیر در تشخیص کیفیت آن می‌باشد. امروزه از نمایه‌های رنگ L^* (روشنی رنگ)، a^* (قرمزی-سبزی)، b^* (زردی-آبی) جهت تعیین رنگ ماده غذایی و ΔE (تغییر رنگ) مطابق فرمول (۱)، برای تعیین اثر فراوری بر رنگ ماده غذایی استفاده می‌شود [۱۱].

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad \text{فرمول (۱)}$$



شکل ۱. دستگاه هانترلب Colorflex, Virginia, USA

ویژگی رنگ با آزمون فاکتوریل با ۳ فاکتور زمان، دما و روش خشک کردن هر یک در ۲ سطح، تیمار در ۶ سطح و در قالب طرح پایه آزمایشی کاملاً تصادفی بررسی خواهد شد. در این طرح از نرم‌افزارهای SPSS 19، minitab 17 و SAS 9.1 استفاده خواهد شد. مقایسه میانگین توسط آزمون دانکن و در سطح معنی‌داری تیمار مورد نظر بررسی شد.

۳. نتایج و بحث

۳.۱ تجزیه واریانس آزمون رنگ‌سنجی

نتایج تجزیه واریانس آزمون نمایه‌های رنگ‌سنجی a^* (قرمزی)، b^* (زردی) و L^* (روشنی) و تغییرات کلی رنگ پس از فراوی و انبارش AEh (بدون یکا) نشان داد که حداقل بین میانگین دو تیمار از هر کدام از اثرات اصلی نوع زرشک، تیمار، دما و زمان در سه نمایه رنگ و اثرات متقابل چهارتایی در نمایه‌های a^* و L^* اختلاف معنی‌دار آماری وجود دارد (جدول ۱).

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس آزمون رنگ‌سنجی

AEh	MS			درجه آزادی	منابع تغییرات
	L^*	b^*	a^*		
۴/۲۲*	۴۵/۱۲**	۱۴/۸۲**	۷۵/۷۲**	۱	توع
۱/۱۶**	۱۰/۰۲**	۱۷/۸۶**	۱۵/۴۶**	۵	تیمار
۵/۴۲**	۳۱/۶۵**	۳۵/۹۰**	۲/۷۲ ^{ns}	۱	دما (درجه‌ی ساتی‌گراد)
۱/۵۸**	۱۵/۹۰**	۵۵/۷۶**	۱۸/۴۱**	۱	زمان (روز)
۰/۹۶ ^{ns}	۱۹/۲۰**	۰/۶۷ ^{ns}	۱۵/۲۷**	۵	توع*تیمار
۰/۳۴ ^{ns}	۱۶/۷۱**	۰/۰۷ ^{ns}	۵/۱۰ ^{ns}	۱	توع*دما
۵/۱۸۵*	۰/۰۹ ^{ns}	۴/۳۰*	۰/۰۱ ^{ns}	۱	توع*زمان
۵/۹۶*	۱۰/۳۴**	۴/۴۸**	۱۰/۳۴**	۵	دما*تیمار
۴/۵۱**	۱۴/۳۵**	۵/۵۱**	۳۰/۷۱**	۵	زمان*تیمار
۱/۲۵**	۱۷/۱۸**	۴۲/۳۱**	۱۹/۴۶**	۱	دما*زمان
۱/۵۰**	۷/۲۲**	۲/۵۹**	۶/۰۷*	۵	توع*تیمار*دما
۵/۳۶**	۱۷/۴۵**	۴/۲۲**	۲۹/۱۰**	۵	توع*تیمار*زمان
۶/۱۴**	۱/۰۸ ^{ns}	۵/۸۷**	۲/۰۶ ^{ns}	۵	تیمار*دما*زمان
۱/۶۰**	۶۴/۷۰**	۲۴/۹۳**	۷۳/۹۰**	۱	توع*زمان*دما
۰/۹۴ ^{ns}	۱۳/۴۸**	۱/۶۷ ^{ns}	۱۲/۵۰**	۵	توع*زمان*دما*تیمار
۰/۳۲	۳/۰۵	۰/۲۷	۲/۳۸	۹۶	خطا
				۱۴۳	کل
۱۰/۷۵	۹/۳۴	۲۸/۰۸	۲۷/۵۵		CV%

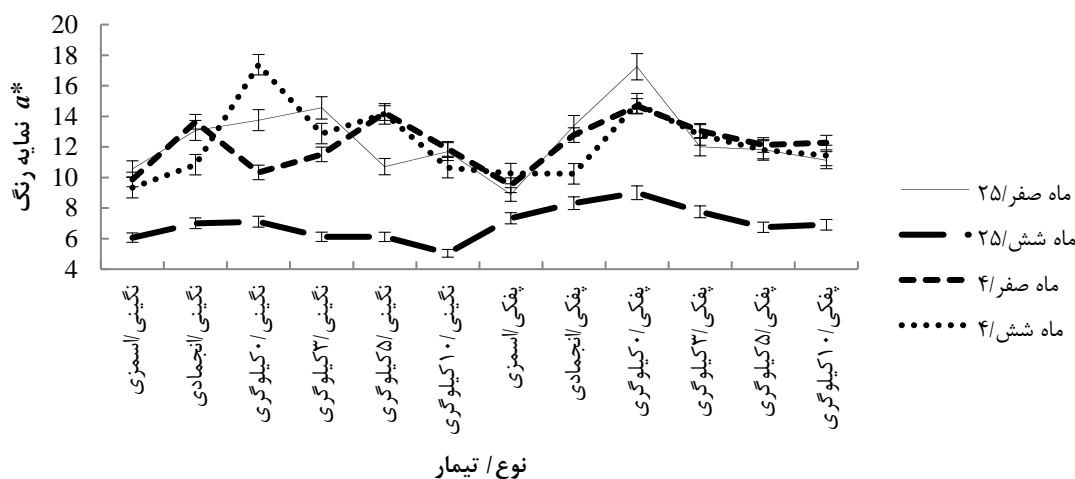
*، ** و ^{ns} به ترتیب نشان دهنده اختلاف معنی‌دار آماری در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد و عدم معنی‌داری است.

۳.۲ مقایسه میانگین اثر متقابل نوع در تیمار در دما در زمان در آزمون رنگ‌سنجی زرشک

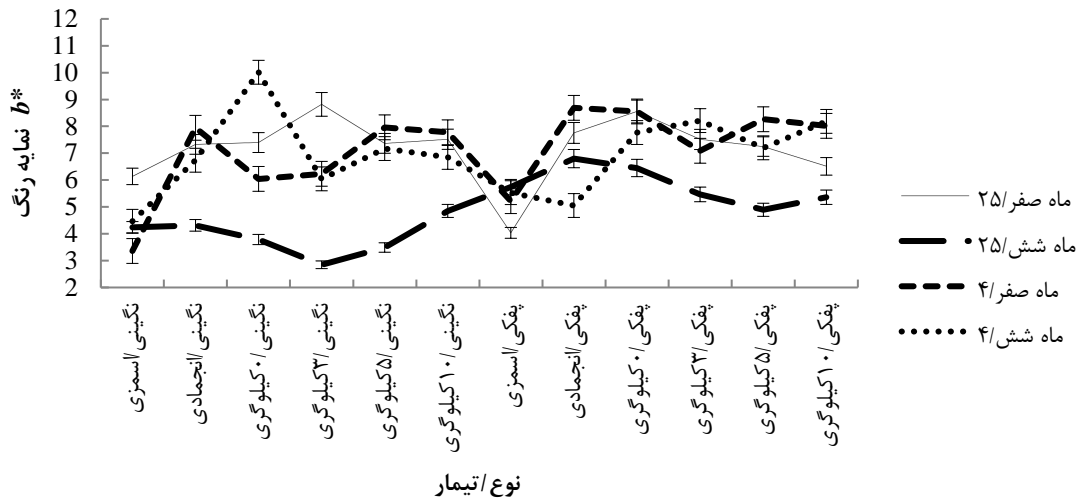
نتایج مقایسه اثر متقابل روش خشک‌کردن در تیمار در دما (°C) در زمان (ماه)، برای زرشک خشک به روش دانکن نشان داد که بیشترین مقدار آزمون نمایه‌های رنگ‌سنجی a^* ، b^* و L^* به ترتیب در تیمار ۰ kGy در نوع نگینی، دمای ۴، ۴ و ۲۵ و ۶ ماه انبارمانی و کمترین مقدار نمایه‌های آزمون رنگ‌سنجی a^* ، b^* و L^* به ترتیب در تیمار ۱۰ kGy، ۳ و ۱۰ kGy و ۳ و ۲۵ °C دمای نگینی، ۶ ماه انبارمانی است (شکل ۲).

رنگ جذاب میوه زرشک به آنتوسیانین‌های آن نسبت داده می‌شود که می‌تواند بازارپسندی آن را تحت‌تاثیر قرار دهد [۱۰]. مطابق نتایج پژوهشی در سال ۲۰۱۶، کاهش محتوای رنگدانه آنتوسیانین میوه زرشک می‌تواند بر رنگ میوه و فرآورده‌های آن موثر باشد. بلافاصله بعد از پرتودهی، تغییر مقادیر شاخص‌های L^* و b^* معنی‌دار نبود ($p > 0.05$). مقدار a^* در دُزهای بالاتر از ۱/۲۵ کیلوگری به صورت

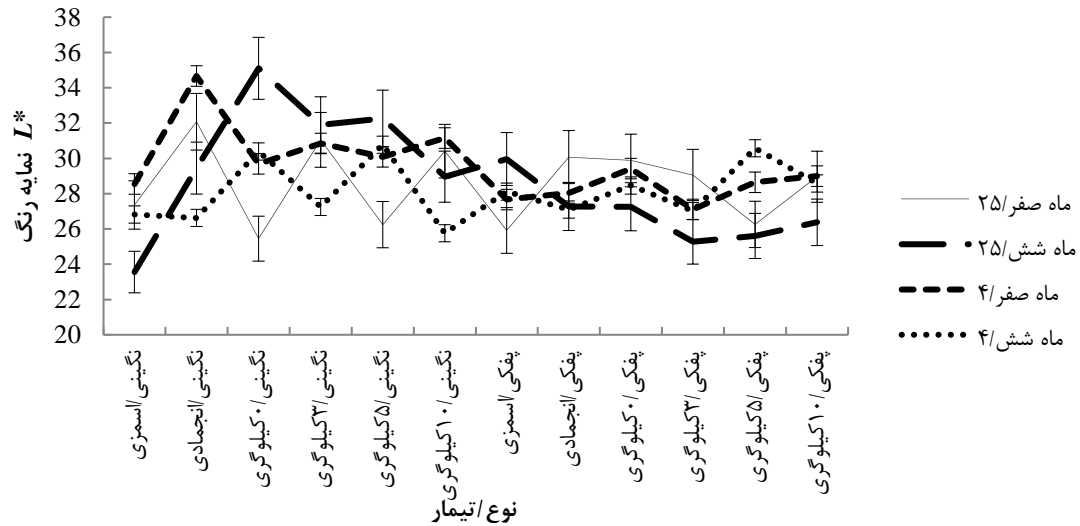
تابعی از دُز پرتودهی به صورت معنی‌داری کاهش یافت ($p < 0/05$). تجزیه آماری بیانگر تغییر معنی‌دار شاخص‌های L^* ، b^* و a^* در طی نگهداری نمونه‌های میوه زرشک بود ($p < 0/05$). به طور کلی، شاخص‌های رنگ L^* ، a^* و b^* در طی نگهداری میوه‌های زرشک کاهش یافتند که بیانگر تیره شدن رنگ و کاهش قرمزی و زردی نمونه‌های زرشک بود و تفاوت معنی‌داری بین نمونه‌ها در دُزهای کمتر از ۱ کیلوگری مشاهده نگردید. اما تغییر این شاخص‌ها در دُزهای بالاتر از ۱ کیلوگری، به‌ویژه ۱/۵ و ۲ به صورت معنی‌داری کمتر از نمونه کنترل بود ($p < 0/05$) که می‌تواند ناشی از تاثیر احتمالی پرتودهی بر کاهش فعالیت‌های آنزیمی و فرایند پیری میوه زرشک باشد. شاخص‌های رنگ در طی نگهداری نمونه‌ها در دمای $4^\circ C$ به مدت ۵ روز کاهش یافتند [۱۲]. تغییر رنگ در جهت منفی شاخص‌های L^* و b^* بیانگر تیره‌تر شدن رنگ میوه زرشک می‌باشد. کاهش شاخص رنگ a^* در نمونه‌های پرتودهی شده را می‌توان به تجزیه آنتوسیانین‌ها نسبت داد. در اثر پرتودهی ارگانیک‌های زنده، دامنه وسیعی از گونه‌های رادیکالی و غیررادیکالی از یونیزه شدن آب درون سلولی ایجاد می‌گردد که قادر هستند پیوندهای شیمیایی آنتوسیانین‌ها را شکسته و در نتیجه موجب بی‌رنگ شدن آن‌ها گردند [۱۳]. محلول اسمزی باعث حفظ روشنایی (L^*) نمونه‌های تیمار شده می‌باشد. به‌طور کلی فرایند خشک کردن، به‌خصوص قرار گرفتن نمونه‌ها در داخل خشک‌کن منجر به کاهش شفافیت نمونه‌ها می‌گردد. خشک کردن باعث تغییر به سمت قرمز تیره می‌شود که با افزایش مقادیر a^* و b^* و کاهش مقادیر L^* نمود می‌یابد. همچنین تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد هرچه میزان کاهش رطوبت بیشتر باشد به‌علت بیشتر شدن غلظت پیگمان‌های رنگی، مقدار مؤلفه a^* افزایش می‌یابد. میزان مؤلفه b^* در بازه یک ماه تمام نمونه‌های اسمزی افزایش یافت. علت آن نیز افزایش غلظت پیگمان‌های رنگی موجود در چغندر قند با کاهش رطوبت آن است [۱۴]. در تیمار اسمز، نمونه‌ها در زیر محلول و به‌دور از اکسیژن قرار دارند همین کمبود اکسیژن باعث کندی پیشرفت واکنش‌های قهوه‌ای شدن شده است و به‌دلیل تغییر رنگ کمتر، جذابیت بیشتری در نظر مصرف‌کننده، نشان داد. از طرفی به‌دلیل کمی تغییرات رنگ در نمونه‌های اسمز، نیازی به اضافه کردن ترکیبات گوگردی برای جلوگیری از پیشرفت واکنش‌های تغییر رنگ، احساس نمی‌شود، این نتایج را دانشمندان قبلی هم تایید می‌کنند [۱۵]. تیمار اسمزی در دماهای پایین باعث بهبود پارامترهای رنگی شده یا از تغییرات شدید رنگ محصولات جلوگیری می‌کند [۱۶]. مشاهدات تیمارهای اسمزی در پژوهش حاضر با نتایج مذکور سایر محققان مطابقت زیادی داشته است. در این مطالعه نیز مشابه مطالعات ذکر شده در برخی تیمارها با گذشت زمان به‌ویژه در دمای بالاتر ($25^\circ C$) کاهش نمایه‌های رنگی a^* ، b^* و L^* مشاهده شده است. در این تحقیق چون اثرات متقابل چهارتایی (جدول ۱) بر نمایه b^* معنی‌دار نبوده است، بحثی درباره آن ارایه نمی‌شود و تنها نتایج آن به‌منظور اطلاع در شکل ۲ (ب) نشان داده شده است.



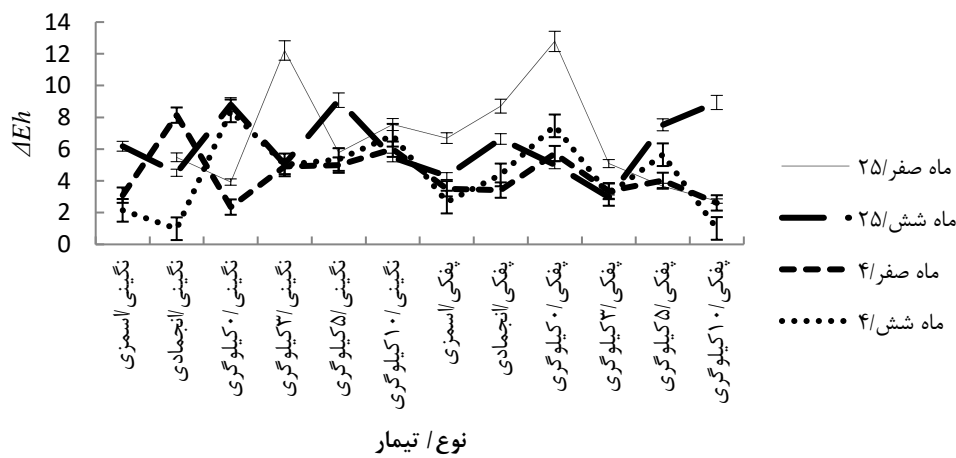
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

شکل ۲. میانگین و خطای استاندارد مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار در نوع در دما در زمان (ماه) در آزمون نمایه‌های رنگ‌سنجی زرشک a^* (الف)، b^* (ب)، L^*

(ج) و $\Delta E/h$ (د)

۴. نتیجه‌گیری

مطابق شکل ۲ (الف)، نمایه قرمزی رنگ (a^*) تیمارهای زرشک پفکی پرتودهی شده پس از شش ماه نگهداری در دمای 4°C در اغلب تیمارها بالاتر از سایر نمونه‌های مورد بررسی بوده است. در نمونه‌های نگهداری شده در دمای 25°C در تمام تیمارها قرمزی رنگ پس از ۶ ماه نسبت به نمونه ماه صفر کاهش معنی‌دار ($p < 0.05$) داشته است، اما در نمونه‌های نگهداری شده در دمای 4°C چنین کاهشی پس از ۶ ماه به‌جز در تیمارهای انجمادی زرشک پفکی و نگینی مشاهده نشد. همچنین مطابق شکل ۲ (ج)، نمایه روشنی رنگ (L^*) در تیمارهای مختلف زرشک پفکی پس از ۶ ماه نگهداری در دمای 4°C با ماه صفر تفاوت معنی‌داری نداشتند و حتی در تیمار پرتودهی 5 kGy افزایش نشان داده است. روشنی رنگ اغلب تیمارها پس از ۶ ماه نگهداری در دمای 25°C نسبت به تیمارهای ماه صفر 25°C و نمونه‌های نگهداری شده در دمای 4°C کمتر بوده است. نمونه‌های نگهداری شده در دمای 25°C از ماه صفر تا پایان ماه ۶ تغییر رنگ (ΔE_h) بیشتری در تمام تیمارها نسبت به دمای 4°C داشتند. در پایان مطابق شکل ۲ (د)، تفاوت مقادیر تغییر رنگ نمونه‌های نگهداری شده در دمای 4°C پس از ۶ ماه در اغلب نمونه‌ها به‌ویژه تیمارهای پرتودهی شده معنی‌دار نبوده است. بنابراین با بررسی نمایه‌های رنگی به‌ویژه قرمزی رنگ و تغییر رنگ کلی دز پرتودهی 5 kGy برای نگهداری زرشک پفکی در دمای 4°C به‌مدت ۶ ماه با حفظ کیفیت مطلوب رنگ پیشنهاد می‌شود.

منابع

- [1]. Statistics of the Ministry of Jihad for Agriculture, <http://www.maj.ir> (2017) **(In Persian)**.
- [2]. M. Pouyan, *Barberry from an economic and production point of view*, 1st ed. (Ghahestan publications, Birjand, 2008) **(In Persian)**.
- [3]. A.K. Kilonzo-Nthenge, *Gamma Irradiation for Fresh Produce, Gamma Radiation*, Prof. FerizAdrovic (Ed.), (ISBN: 978-953-51-0316-5, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/gamma-radiation/gamma-irradiation-for-fresh-produce>. Gamma Radiation, intechopen.com.2012), pp. 251-262 (2012).
- [4]. N. Bideli et al. <https://civilica.com/doc/1091502/> **(In Persian)**.
- [5]. N.K. Rastogi et al. *Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer*, Trends Food Sci. Tech. **13**, 48 (2002).
- [6]. S. Aslnezhadi, SH. Peighambardoust, and A. Olad Ghaffari, *Effect of osmotic pretreatment on quality characteristics of edible button mushroom during air drying*, J. Food Res, **25(4)**, 613 (2015).
- [7]. <https://uwfood-irradiation.engr.wisc.edu/Facts.html>, (2016).
- [8]. Z. Emam Jomeh, and B. Alaeddini, *Improving the quality indicators of dried kiwi and its formulation using osmosis pre-process*, Iran. J. Agr. Sci., **36(6)**, 1421 (2005) **(In Persian)**.
- [9]. E. Andress. Ph.D. thesis, The University of Georgia and Ft. Valley State University, 1999.
- [10]. S. Berenji Ardestani, M.A. Sahari, and M. Barzegar, *Effect of Extraction and Processing Conditions on Anthocyanins of Barberry*, J. Food Process. Pres., **40(6)**, 1407 (2016).
- [11]. W.Y. Hsu et al. *Low-Dose Irradiation Improves Microbial Quality and Shelf Life of FreshMint (Mentha piperita L.) without Compromising Visual Quality*. J. Food Sci. **75(4)**, M222 (2010).
- [12]. T. Serapian, and A. Prakash, *Comparative evaluation of the effect of methyl bromide fumigation and phytosanitary irradiation on the quality of fresh strawberries*, Sci. Hortic-Amsterdam. **201**, 109 (2016).
- [13]. H.R. Akhavan, S. Berenji Ardestani, and M. Fazel, *The Effect of Gamma Irradiation on the Shelf-Life and Quality Characteristics of Fresh Barberry Fruit*, J. of Nucl Sci. and Tech. **81**, 73 (2017) **(In Persian)**.
- [14]. J. Asadi, and M. Ghiafeh Davoodi, *Application of dehydro freezing technology on extension of shelf life of red beet*, J. Food Sci. Technol. **63(14)**, 171 (2017) **(In Persian)**.
- [15]. M. Souti, M.A. Sahari, and Z. Emam Jomeh, *Improving the dehydration of dried peach by applying osmotic method*, Iranian, J. Agric. Sci. **34(2)**, 283 (2003) **(In Persian)**.
- [16]. R. Shakiba, and V. Mohammadpour karizaki, <https://civilica.com/doc/545647/> **(In Persian)**.