

بررسی تأثیر پیش تیمار پرتودهی گاما بر برخی ویژگی‌های کیفی و رئولوژیکی غده سیب‌زمینی

آیت محمدرزاداری^۱، سیده هدی یوسفیان^{۲*}، حسن کیانی^۳، مرضیه سیحون^۴

۱. دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهرکرد

۲. کارشناس ارشد، مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه بوعلی سینا همدان

۳. دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

۴. مربی، کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران

(تاریخ دریافت: 95/2/25، تاریخ پذیرش: 95/3/25)

چکیده

پرتودهی از روش‌های نوین در نگهداری مواد غذایی است. در این پژوهش اثرات دز پرتودهی بر روی نمونه‌ها، عمر ماندگاری و زمان نگهداری غده‌های سیب‌زمینی از طریق آزمون‌های مختلف بر برخی از ویژگی‌های کیفی و رئولوژیکی غده سیب‌زمینی بررسی گردید. نمونه‌ها از فروشگاه سازمان انرژی اتمی خریداری و پس از تهیه و قبل از شروع آزمایشات به مدت یک هفته در سردخانه (4 درجه سانتی‌گراد) نگهداری شدند. به منظور پرتودهی نمونه‌ها از چشمه کبالت 60 (گاماسل 220) استفاده شد. نمونه‌ها با دزهای صفر (شاهد)، 2، 5 و 8 کیلوگری پرتودهی و سپس به مدت 150 روز در دمای 6 درجه سانتی‌گراد و دمای محیط (18 درجه سانتی‌گراد) نگهداری شدند. درصد ماده خشک و نشاسته در نمونه‌های پرتودهی شده با دز 2 کیلوگری و ذخیره شده در دمای 6 درجه سانتی‌گراد دارای بیش‌ترین مقدار و به ترتیب 22/01 و 12/09 درصد بود. مقادیر قطر میانگین هندسی و ضریب کرویت با افزایش دز پرتودهی به مقدار 23/27 و 8/39 درصد کاهش یافته و در نمونه‌های پرتودهی شده با دز 8 کیلوگری دارای کم‌ترین مقادیر به ترتیب 40/12 میلی‌متر و 76/41 درصد است. هم‌چنین a^* ، b^* ، تغییرات رنگ و BI با افزایش دز پرتودهی به مقدار 2/9، 3/2، 5/13 و 4/97 درصد افزایش و L^* به مقدار 2/14 کاهش یافته است. علاوه بر این، با استفاده از آزمون تنش‌آسایی نیز مدل سه جزئی ماکسول محاسبه شد و نتایج نشان داد با افزایش دز پرتودهی و دمای نگهداری تنش ریلکسیشن 39/96 درصد کاهش و مدت زمان ریلکسیشن 27 درصد افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: پرتو گاما، تنش آسایی، خواص فیزیکی، درصد نشاسته، مدل ماکسول.

۱- مقدمه

شده و رسیدگی، پیری و جوانه‌زنی در میوه‌ها و سبزی‌ها را کنترل می‌کند. ترکیبات شیمیایی مواد غذایی در جهت بهبود کیفیت مواد غذایی تغییر پیدا کرده و در نهایت بعد از پرتودهی هیچ‌گونه سمی در مواد غذایی باقی نمی‌ماند [6].

پرتودهی به فرایندی گفته می‌شود که در آن ماده مورد نظر (بیولوژیکی و غیربیولوژیکی) در معرض پرتوهای یونیزه قرار داده می‌شود. نفوذ پرتو تابشی به داخل ماده باعث برهم‌کنش تابش با اتم‌ها یا مولکول‌های ماده می‌شود. در اثر فرایندهای فیزیکی مختلف انرژی تابش در ماده جذب می‌شود. به مقدار انرژی جذب‌شده در ماده دز گفته می‌شود که با واحد گری (مقدار انرژی جذب‌شده در واحد جرم، Gy) بیان می‌گردد [7-8]. پرتودهی به عنوان یک فرایند سرد شناخته شده است که دما را به‌طور قابل توجهی افزایش نمی‌دهد و در اکثر غذاها تغییرات فیزیکی یا حسی به جا نمی‌گذارد [9].

محصولات کشاورزی در برابر بارهای استاتیکی و دینامیکی رفتار متفاوتی از خود نشان می‌دهند. کاهش تنش‌های ناشی از جابه‌جایی و افزایش ماندگاری با هدف کاهش ضایعات پس از برداشت محصولات، امری ضروری تلقی می‌شود [10].

آگاهی از ویژگی‌های ویسکوالاستیک مواد غذایی برای طراحی تجهیزات برداشت محصول، حمل و نقل، مرتب‌سازی و بسته‌بندی امری ضروری است، که با استفاده از آزمون‌های تنش‌آسایی، خزش و آزمون‌های دینامیکی بررسی می‌گردند. یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های مواد ویسکوالاستیک، تنش‌آسایی می‌باشد، که در یک تغییر شکل اولیه سریع و معین، تنش با گذشت زمان، پیوسته کاهش یافته و به سمت صفر میل می‌کند. در آزمون تنش‌آسایی از مدل‌های ماکسول برای توصیف رفتار استراحت تنش محصولات استفاده می‌شود [12]. یکی از مهم‌ترین پارامترهای ویسکوالاستیک محصولات کشاورزی که از طریق این آزمون به‌دست می‌آید، زمان تنش‌آسایی است و برابر است با مدت زمانی که تنش موجود در یک ماده با مدل ماکسول ساده به 37٪ مقدار تنش اولیه خود می‌رسد [13]. در پژوهشی، با انجام آزمون تنش‌آسایی بر روی انگور سفید بی‌دانه ضرایب ماکسول عمومی تعیین و نشان داده شد که مقدار زمان استراحت بسته به سهم ویژگی ویسکوز یا الاستیک ماده متفاوت می‌باشد [10]. هم‌چنین در تحقیقی، بر اساس آزمون

سیب‌زمینی همواره یکی از محصولات پرمصرف در سراسر دنیا بوده و جایگاه ویژه‌ای در تهیه غذاهای گوناگون دارد. هم‌چنین به عنوان یکی از منابع اصلی تامین کربوهیدرات و نشاسته مطرح می‌باشد. لذا با توجه به تقاضای فراوان، تحقیقات متعددی برای بهبود شرایط کاشت، داشت، برداشت، فراوری و نگهداری آن صورت گرفته است [1]. سیب‌زمینی از جنس سولانوم و خانواده سولاناسه، تنها عضوی است که اهمیت برجسته‌ای از نظر کشاورزی دارد به‌طوری‌که بعد از غلات منبع اصلی کربوهیدرات به‌شمار می‌آید. نشاسته ترکیب اصلی و مهم سیب‌زمینی می‌باشد که 17 تا 21 درصد از وزن تازه سیب زمینی و حدود 80 درصد ماده خشک آن را تشکیل می‌دهد. نشاسته به عنوان اندوخته غذایی بسیاری از گیاهان محسوب می‌شود و گرانول‌های نشاسته در اصل بسته‌های فشرده‌ای از پلیمرهای گلوکز محسوب می‌شوند [2].

نشاسته تجاری به‌طور عمده از ذرت تهیه می‌شود، ولی سیب‌زمینی و گندم نیز از منابع تهیه نشاسته می‌باشند. تولید نشاسته از سیب‌زمینی برای اولین بار در قرن هجدهم انجام شد. در دانمارک از سال 1900 تولید نشاسته به‌صورت صنعتی آغاز گردید به‌طوری‌که 75 درصد تولید سیب‌زمینی این کشور برای تولید نشاسته مصرف می‌شود [3]. ویژگی‌های نشاسته تحت تأثیر وارپته و شرایط محیطی از قبیل میزان بارندگی و پراکنش آن در طی فصل رویش گیاه و دامنه دمای محیط در طول دوره رشد سیب‌زمینی می‌باشد و اختلافات موجود در ویژگی‌های نشاسته حاصل از سیب‌زمینی‌های پرورش یافته تحت شرایط مختلف آب و هوایی ناشی از این امر می‌باشد [4]. روش‌های معمول فراوری و نگهداری مواد غذایی مانند استفاده از افزودنی‌ها و نگهدارنده‌ها و یا فرایندهای حرارتی مانند پاستوریزاسیون موجب کاهش ارزش غذایی، تغییر ویژگی‌های حسی و اثرات منفی بر سلامت مصرف‌کننده می‌شود. امروزه روش‌های فراوری و نگهداری نوین به سرعت در حال گسترش می‌باشد [5]. از روش‌های مختلفی مانند فرایندهای حرارتی، افزودنی‌های شیمیایی، دوددهی و پرتودهی برای افزایش ماندگاری مواد غذایی استفاده می‌شود. پرتودهی مواد غذایی در حد مطلوب، باعث تخریب میکروارگانیسم‌ها و حشرات

(Yuro-Sonic آلمان) کاملاً خرد کرده، سپس به میزان 3 برابر وزن مخلوط در آن آب مقطر ریخته، 20 میلی‌لیتر محلول متابی سولفیت 0/1 درصد اضافه نموده و به وسیله پارچه توری صاف گردید. پس از دو فاز شدن محلول، توسط کاغذ صافی (Whatman, Sheeppaper) و قیف نشاسته بوختر جدا گردید. نشاسته به دست آمده چندین بار با آب شسته شده و در نهایت در دمای 30 درجه سانتی‌گراد در خشک‌کن هوشمند (مدل SHFH22، توان 500 وات، ولتاژ 220 ولت) خشک گردید [15].

2-3- خواص فیزیکی

شاخص‌های فیزیکی غده‌ها، شامل جرم، ابعاد، قطر میانگین هندسی، ضریب کرویت، جرم مخصوص و حجم به‌عنوان پارامترهای وابسته با 5 تکرار اندازه‌گیری شدند. سه بعد اصلی از جمله قطر بزرگ، متوسط و کوچک با کمک یک کولیس دیجیتال با قدرت تفکیک 0/01 میلی‌متر (Insize, Germany, 0.01) اندازه‌گیری شد. قطر میانگین هندسی و ضریب کرویت نمونه‌ها که بیان‌کننده میزان شباهت هر نمونه به کره است با استفاده از روابط (1) و (2) محاسبه شد [13]:

$$Dg = (abc)^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

$$\phi = \frac{(abc)^{\frac{1}{3}}}{a} \quad (2)$$

در این روابط Dg قطر میانگین هندسی (میلی‌متر)، ϕ ضریب کرویت نمونه‌ها (بدون بعد) و a، b و c به ترتیب قطرهای بزرگ، کوچک و متوسط (میلی‌متر) می‌باشد.

در این تحقیق، حجم غده‌ها بر اساس روش جابه‌جایی سیال و رابطه (3) به دست آمد [13]:

$$V = \frac{m_2 - m_1}{\rho} \quad (3)$$

m_2 مجموعه جرم ظرف، آب درون ظرف و نمونه و m_1 مجموع جرم ظرف و آب درون ظرف.

با کمک جرم و حجم غده، جرم مخصوص آن از رابطه (4) به دست آمد:

تنش‌آسایی و مدل ماکسول که بر روی میوه توت‌فرنگی پوشش داده شده انجام گردید، داده‌های شبیه‌سازی آزمون متناسب با داده‌های تجربی بود و بر اساس داده‌های تنش‌آسایی نتیجه گرفته شد که استفاده از این پوشش خوراکی از کاهش زمان تنش‌آسایی بافت توت‌فرنگی‌های تیمار شده جلوگیری کرده که موجب بهبود خواص رئولوژیکی بافت میوه گردیده است [11]. با توجه به هزینه‌های بالای نگهداری سیب‌زمینی در انبار و از سوی دیگر محدود بودن ظرفیت انبارداری، تحقیق در خصوص بهبود کیفیت ماندگاری سیب‌زمینی از اهمیت بالایی برخوردار است. بدین منظور، در این تحقیق تأثیر پیش تیمار پرتودهی گاما جهت حفظ کیفیت غده سیب‌زمینی، از طریق بررسی خواص کیفی و رئولوژیکی بررسی می‌گردد.

2- مواد و روش‌ها

2-1- آماده‌سازی نمونه

از فروشگاه تعاونی سازمان انرژی اتمی ایران، تعداد 100 عدد سیب زمینی رقم مارفونا در اندازه متوسط کاملاً تصادفی تهیه گردید. در جابه‌جایی نمونه‌ها دقت شد تا نیروهایی که باعث ایجاد خطا در آزمایش می‌گردند، به نمونه‌ها وارد نیاید. سیب‌زمینی‌ها به مدت یک هفته در سردخانه (4 درجه سانتی‌گراد) به منظور جلوگیری از تغییرات شیمیایی و درون بافتی نگهداری شدند [24]. نمونه‌ها در کیسه‌های نایلونی استریل، به منظور پرتودهی بسته‌بندی گردید. برای پرتودهی نمونه‌ها از چشمه کبالت 60 (گاماسل 220) استفاده شد. نمونه‌ها با دزهای صفر (شاهد)، 2، 5 و 8 کیلوگری پرتودهی، سپس به مدت 5 ماه در دماهای 6 درجه سانتی‌گراد و محیط 18 درجه سانتی‌گراد نگهداری گردیدند [24].

2-2- خواص کیفی

2-2-1- تعیین ماده خشک

با استفاده از آون (مدل SHFH22، توان 500 وات، ولتاژ 220 ولت) و در دمای 105 درجه سانتی‌گراد میزان ماده خشک نمونه‌ها اندازه‌گیری گردید [14].

2-2-2- استخراج نشاسته

نمونه‌های سیب‌زمینی به وسیله دستگاه خرد کن

مدل لودسل xforce hp با ظرفیت 500 نیوتون) با استفاده از پروبی به قطر 25 میلی‌متر تحت آزمون صفحات فشاری بهره گرفته شد. نمونه‌های استوانه‌ای شکل به قطر 12/96 میلی‌متر و طول 20 میلی‌متر تهیه و سپس در صفحه پایینی و فک دستگاه قرار گرفتند. آزمایش در دمای اتاق و در شرایط نیروی بارگذاری اولیه 0/2 نیوتون، سرعت آغاز آزمون 60 میلی‌متر بر دقیقه، سرعت بارگذاری 3 میلی‌متر بر دقیقه و مدت زمان تنش‌آسایی 550 ثانیه انجام گرفت [5، 11]

از مدل ماکسول برای نمایش نمودار تنش‌آسایی در محصولات کشاورزی استفاده می‌گردد. هم‌چنین برای از بین بردن تنش باقی مانده در محصولات کشاورزی بعد از گذشت مدت زمانی، فنی با ضریب Ee به مدل ماکسول عمومی اضافه می‌نمایند. رابطه (8) بیان ریاضی مدل عمومی ماکسول را نشان می‌دهد:

$$\sigma(t) = \sigma_1 e^{-\frac{t}{T_{rel1}}} + \sigma_2 e^{-\frac{t}{T_{rel2}}} + \dots + \sigma_n e^{-\frac{t}{T_{reln}}} + \sigma_e \quad (8)$$

$\sigma(t)$ تنش در زمان دلخواه t (پاسکال)، σ تنش در جزءهای مدل ماکسول (پاسکال)، e عدد نپر (2/7182)، T_{rel} زمان‌های ریلکسیشن در جزءهای مدل ماکسول (ثانیه)، t مدت زمان آزمون در هر جزء (ثانیه) و σ_e تنش متعادل (پاسکال) می‌باشد. زمان تنش‌آسایی نیز با استفاده از رابطه (9) محاسبه می‌شود [13]:

$$T_{rel} = \frac{t_2 - t_1}{\ln \sigma(t_1) - \ln \sigma(t_2)} \quad (9)$$

که در آن T_{rel} زمان آسایش تنش (ثانیه)، t و σ نیز به ترتیب زمان (ثانیه) و تنش (پاسکال) در دو نقطه دلخواه از قسمت خطی شده منحنی می‌باشد.

2-6- تجزیه و تحلیل داده‌ها

این تحقیق به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه فاکتور دزهای پرتو گاما در چهار سطح صفر، 2، 5 و 8 کیلوگری، دمای نگهداری در دو سطح 6 و 18 درجه سانتی‌گراد و زمان ذخیره‌سازی در دو سطح صفر و 150 روز می‌باشد و در 5 تکرار به اجرا درآمد. داده‌ها پس از نرمال شدن با استفاده از نرم افزار IBM SPSS Statistic 19 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

(4) $\rho = \frac{m}{V}$
در روابط بالا جرم بر حسب گرم، حجم غده بر حسب سانتی‌متر مکعب، حجم مخصوص غده بر حسب گرم بر سانتی‌متر و جرم مخصوص آب نیز برابر یک گرم بر سانتی‌متر مکعب در نظر گرفته شد.

2-4- شاخص‌های رنگی

بی‌رنگ و قهوه‌ای شدن میوه‌ها ناشی از انواع واکنش‌های شیمیایی شامل پلیمر شدن فنل و تخریب ماده رنگی است. رنگ نمونه‌ها در شروع و پایان دوره نگهداری به وسیله رنگ‌سنج هانتر مدل HP-200، ساخت کشور چین با دقت $\pm 0/01$ درجه رنگی (بدون واحد) اندازه‌گیری شد و مقادیر رنگی در طول دوره انبارداری به صورت شاخص‌های L^* (میزان روشنی)، a^* (میزان قرمزی) و b^* (میزان زردی) بیان شدند. برای توصیف تغییرات رنگ از شاخص (اختلاف رنگ کل نمونه‌ها از برگه سیب‌زمینی زمینی تازه) استفاده شد که این شاخص با استفاده از رابطه (5) تعریف می‌شود [16]:

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \quad (5)$$

اندیس‌های L_0^* ، a_0^* و b_0^* مربوط به نمونه تازه و L^* ، a^* و b^* به ترتیب میزان روشنی، قرمزی و زردی نمونه‌ها است. مقدار ΔE زیاد نشان‌دهنده تغییر رنگ بیش‌تر نسبت به ماده اولیه است [16]. شاخص قهوه‌ای شدن که خلوص رنگ قهوه‌ای را نشان می‌دهد و به‌عنوان یک عامل مهم مربوط به قهوه‌ای شدن در نظر گرفته می‌شود با استفاده از رابطه (6) و (7) محاسبه گردید [17]:

$$BI = \frac{[100(x - 0.31)]}{0.17} \quad (6)$$

$$x = \frac{(a^* + 1.75L^*)}{(5.645L^* + a^* - 3.012b^*)} \quad (7)$$

2-5- آزمون تنش‌آسایی و مدل ماکسول

در این تحقیق به منظور اندازه‌گیری و بررسی ویژگی‌های ویسکوالاستیک نمونه‌ها از آزمون تنش‌آسایی بر روی نمونه‌ها استفاده شد. برای انجام این آزمون از دستگاه بافت‌سنج (Zwick/roell) مدل bt1_fr0.5th.d14 ساخت کشور آلمان،

3- نتایج و بحث

3-1- بررسی خواص کیفی و فیزیکی

برخوردارند. گزارش شده است که ماده خشک غده‌های بزرگ به‌طور معمول کم‌تر از غده‌های کوچک است، چرا که بافت مغزی غنی از آب به‌نسبت بیش‌تری دارند، اما رابطه بین اندازه غده و درصد ماده خشک، یک رابطه خطی نیست [18].

مقادیر قطر میانگین هندسی با افزایش دز پرتودهی کاهش یافته و در نمونه‌های پرتودهی شده با دز 8 کیلوگری دارای کم‌ترین مقدار میانگین 40/12 میلی‌متر است. همین‌طور قطر میانگین هندسی در نمونه پرتودهی شده با دز 2 کیلوگری و ذخیره شده در دمای 6 درجه سانتی‌گراد دارای بالاترین مقدار 62/29 میلی‌متر است. هم‌چنین نمونه‌های پرتودهی شده با دز 2 کیلوگری نسبت به دز 5 و 8 کیلوگری به‌ترتیب 27/17 و 33/98 درصد در دمای 6 درجه سانتی‌گراد و 13/65 و 23/05 درصد در دمای 18 درجه سانتی‌گراد بیش‌تر است (جدول 1). این امر نشان دهنده این است که قطر میانگین هندسی تحت تأثیر دز پرتودهی و دمای نگهداری محصول است. هم‌چنین ضریب کرویت نیز با افزایش دز پرتودهی کاهش یافته، اما در نمونه‌های پرتودهی شده با

نتایج مربوط به سنجش شاخص‌های کیفی و فیزیکی غده‌ها در هر دو دمای نگهداری در جدول (1) ارائه شده است. خواص کیفی غده‌ها از جمله درصد ماده خشک و درصد نشاسته بر حسب وزن تازه برای نمونه‌های پرتودهی شده با دز 2 کیلوگری و ذخیره شده در دمای 6 درجه سانتی‌گراد دارای بالاترین مقادیر به‌ترتیب 22/01 و 12/09 درصد است. هم‌چنین پایین‌ترین مقدار درصد ماده خشک و درصد نشاسته مربوط به نمونه پرتودهی شده با دز 8 کیلوگری و ذخیره شده در دمای محیط است، که نسبت به نمونه ذخیره شده در دمای 6 درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب 7/69 و 5/97 درصد کم‌تر است و هم‌چنین نسبت به نمونه پرتودهی شده با دز 2 کیلوگری به‌ترتیب 21/24 و 45/22 درصد کم‌تر است. یک همبستگی خاصی بین درصد نشاسته و ماده خشک غده وجود دارد و همان‌طور که ملاحظه می‌شود ارقامی که بیش‌ترین ماده خشک را دارند، به همان نسبت از میزان نشاسته بالاتری

جدول (1) میانگین مشخصه‌های کیفی و فیزیکی غده‌ها در دمای نگهداری 6 درجه سانتی‌گراد و محیط در شروع و پس از 150 روز

جرم مخصوص	حجم	ضریب کرویت	قطر میانگین هندسی	درصد نشاسته (بر حسب وزن تازه)	درصد ماده خشک	دمای نگهداری (درجه سانتی‌گراد)	دز پرتودهی (کیلوگری)	روز صفر
0/998±0/036	139/7±0/086	86/4±0/087	53/2±0/021	14/7±0/100	24/7±0/125	6	0	
0/832±0/042	120/4±0/052	79/3±0/074	64±0/011	14/2±0/302	19/1±0/230	18		
0/996±0/029	139/2±0/012	88/9±0/234	51/2±0/023	12/3±0/300	25/9±0/130	6	2	
0/859±0/087	122/4±0/074	88/7±0/127	62±0/011	11/5±0/075	19/8±0/325	18		روز صفر
0/990±0/063	149/7±0/069	87/2±0/086	48/2±0/025	12/1±0/057	23/1±0/637	6	5	
0/822±0/042	122/8±0/047	79/5±0/410	56/11±0/060	9/7±0/109	18/9±0/411	18		
0/859±0/045	128/7±0/036	80/2±0/073	47/4±0/102	10/4±0/074	17/7±0/410	6	8	
0/812±0/012	120/7±0/053	75/4±0/076	52/4±0/031	9/2±0/410	15/2±0/142	18		
0/984±0/025	134/14±0/127	82/37±0/087	49/13±0/321	13/14±0/075	22/4±0/025	6	0	
0/812±0/034	115/92±0/219	74/13±0/065	56/73±0/183	13/61±0/143	17/29±0/123	18		
0/974±0/042	136/48±0/372	83/41±0/034	62/29±0/261	12/09±0/098	22/01±0/357	6	2	
0/820±0/051	117/34±0/412	80/49±0/042	52/23±0/387	11/21±0/362	16/76±0/142	18		روز 150
0/875±0/032	140/73±0/520	80/67±0/068	45/36±0/386	10/32±0/041	19/61±0/038	6	5	
0/794±0/046	115/67±1670	74/37±0/049	45/10±0/276	7/63±0/149	14/73±0/472	18		
0/820±0/0424	124/23±0/342	76/41±0/075	41/12±0/129	6/53±0/197	14/30±0/321	6	8	
0/657±0/039	110/71±0/246	70/49±0/062	40/19±0/237	6/14±0/237	13/20±0/120	18		

3-2- بررسی تغییرات رنگ

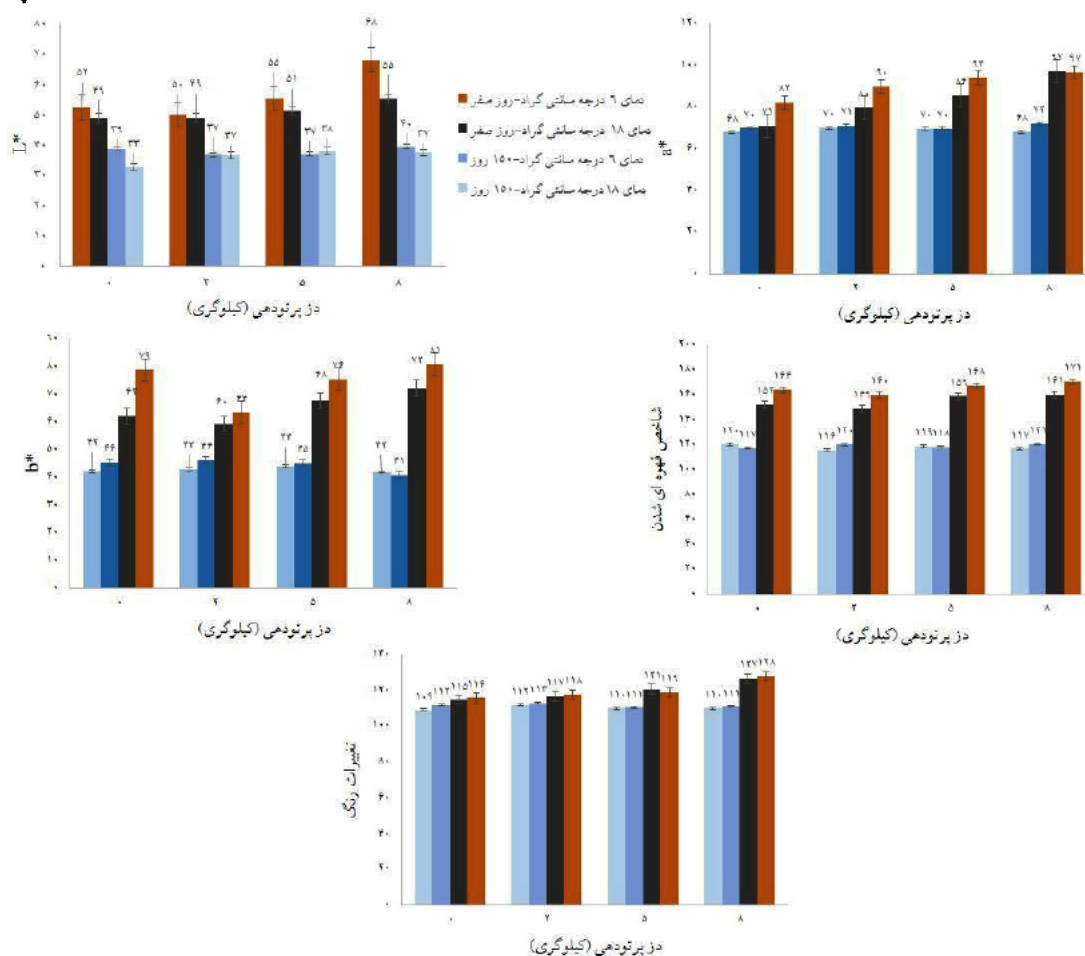
با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول 2)، دز پرتودهی، دمای نگهداری و اثر متقابل آن‌ها بر روش شاخص a^* به ترتیب در سطح 5٪، 1٪ و 5٪ معنی‌دار هستند. با افزایش دز پرتودهی و دمای نگهداری، شاخص a^* به ترتیب 12/25 و 15/63 درصد در دمای 6 و 18 درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است (شکل 1). علت این پدیده، کاهش رطوبت موجود در بافت نمونه و چروکیدگی محصول است [21]. همین‌طور، اثرات اصلی متغیرهای دز پرتودهی و دما در سطح 1٪ و اثر متقابل در سطح 5٪ بر شاخص b^* معنی‌دار بود. بدین صورت که با افزایش دز پرتودهی و دمای نگهداری شاخص b^* شاهد نسبت به دز پرتودهی 2 کیلوگری 7/64 و 9/10 درصد در دمای 6 و 18 درجه سانتی‌گراد دارای روند افزایشی بوده یا به عبارتی میزان زردی غده‌ها افزایش یافته است. افزایش میزان زردی با افزایش دز پرتودهی به این علت است که محصول به‌طور معمول مقداری زیادی از مواد فرار در طی دوران بلوغ و پیری را از دست می‌دهند، زرد شدن غده‌ها نیز یک رابطه خطی با زمان سپری شده پس از برداشت دارد که با دز به کار رفته نیز متناسب است [22]. همچنین اثرات اصلی دز پرتودهی و دمای نگهداری در سطح 5٪ بر روی شاخص L^* معنی‌دار شد، اما اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نگردید. با افزایش دز پرتودهی و دمای نگهداری از میزان روشنایی نمونه به میزان 8/04 و 12/10 درصد در دمای 6 و 18 درجه سانتی‌گراد کاسته شده است، اما برای نمونه‌های پرتودهی با دز 2 کیلوگری نسبت به 5 و 8 کیلوگری به ترتیب 4/2 و 6/5 درصد در دمای 6 درجه سانتی‌گراد و 9/8 و 12/37 درصد در دمای 18 درجه کمتر بوده است. دلیل این امر افت رطوبت و کاهش آب بین

دز 2 کیلوگری و ذخیره شده در دمای 6 درجه سانتی‌گراد دارای بیش‌ترین مقدار ضریب کرویت نسبت به دز پرتودهی 5 و 8 کیلوگری به ترتیب 3/28 و 8/39 درصد در دمای 6 درجه سانتی‌گراد و 7/60 و 12/42 درصد در دمای 18 درجه سانتی‌گراد بیش‌تر بود. حجم و جرم مخصوص نیز برای نمونه‌های پرتودهی شده با دزهای بالا دارای مقادیر کم‌تری بود، همچنین در دمای نگهداری 6 درجه سانتی‌گراد به دلیل حفظ ابعاد، نمونه‌های دارای مقادیر بیش‌تری از حجم و جرم مخصوص هستند. جرم و حجم مخصوص نمونه‌ها در پایان ذخیره‌سازی در طی 150 روز برای نمونه‌های شاهد نسبت به پرتودهی شده با دز 2 کیلوگری به ترتیب 1/74 و 2/64 درصد در دمای 6 درجه سانتی‌گراد و 1/22 و 0/98 درصد در دمای 18 درجه سانتی‌گراد کم‌تر بود. همچنین مقادیر جرم و حجم مخصوص برای نمونه‌های پرتودهی شده با دز 5 و 8 کیلوگری نسبت به دز 2 کیلوگری به ترتیب 8/97 و 15/81 درصد در دمای 6 درجه سانتی‌گراد و 5/65 و 20/73 درصد در دمای 18 درجه سانتی‌گراد کم‌تر بود. دلیل این امر این است که جذب انرژی توسط بافت میوه (از طریق پرتودهی) با از بین رفتن پاتوژن‌ها و عوامل میکروبی مقادیر اندکی از مولکول‌های آب درون‌بافتی نیز بر اثر جنبش مولکولی از بین می‌روند یا تغییر وضعیت می‌دهند که این به نوبه خود باعث ایجاد تخلخل درون‌بافتی و به مرور زمان باعث جمع شدن و چروکیدگی شدن محصول می‌گردد [19]. در پژوهشی نیز اثر مدت زمان نگهداری به مدت 11 روز بر روی میوه خرمالو بررسی گردید. در این تحقیق با افزایش مدت زمان نگهداری خواص فیزیکی نمونه از جمله قطر میانگین هندسی، قطر میانگین حسابی، وزن و حجم به ترتیب 7/6، 9/12، 12/20 و 87/23 درصد کاهش یافت [20].

جدول (2) تجزیه واریانس تاثیر دز پرتودهی و دمای نگهداری و اثرات متقابل آن‌ها بر روی شاخص‌های رنگی

BI	ΔE	میانگین مربعات			درجه آزادی	متغیر
		L*	b*	a*		
0/421 ^{n.s}	0/143*	0/015*	0/349**	0/325*	3	دز پرتودهی
0/651*	0/423*	0/069*	0/273**	0/452**	1	دمای نگهداری
0/739 ^{n.s}	0/387*	0/103 ^{n.s}	0/312*	0/109*	3	دز پرتودهی × دمای نگهداری
0/343	0/512	0/304	0/168	0/204	16	خطای آزمایش

*معنی‌دار در سطح 1٪، *معنی‌دار در سطح 5٪، n.s عدم معنی‌داری



شکل (1) میانگین تغییرات در شاخص‌های رنگی غده‌ها در طی دوره 150 روزه

سلولی در طی دوره انبارداری است (محمدزرداری، 1392). در پژوهشی نیز محققین به نتایج مشابه‌ای رسیدند که با افزایش مقدار دز پرتودهی و مدت زمان انبارداری، میزان L^* کاهش می‌یابد [23].

3-3-آزمون تنش آسایی

همچنین در ارتباط با شاخص‌های تغییرات رنگ و میزان قهوه‌ای شدن، اثرات اصلی و متقابل دز پرتودهی و دمای نگهداری در سطح 5٪ بر روی شاخص تغییرات رنگ معنی‌دار هستند، اما در مورد شاخص قهوه‌ای شدن، اثرات متقابل و اثر اصلی دز پرتودهی بر روی این شاخص معنی‌دار نشد و اثر اصلی دما نگهداری در سطح 5٪ بر روی این شاخص معنی‌دار شد. شاخص تغییرات رنگ با افزایش دز از 2 کیلوگری تا 5 و 8 کیلوگری 14/2 و 15/61 درصد در دمای 6 درجه سانتی‌گراد و 20/56 و 26/05 درصد در دمای 18 درجه سانتی‌گراد،

با توجه به یافته‌های حاصل از اثرات دز پرتودهی و دمای نگهداری بر تنش و زمان تنش‌آسایی داده‌های زمان و تنش ریلکسیشن در اجزای مدل ماکسول (جدول 3)، تنش ریلکس شده در جزءهای با افزایش مقدار دز پرتودهی به مقدار 39/96 درصد کاهش یافته و مدت زمان ریلکسیشن به مقدار 27 درصد افزایش یافته است. همچنین دمای نگهداری تأثیر معنی‌دار بر تنش و زمان ریلکسیشن داشته است (جدول 4) همچنین زمان ریلکسیشن بر اساس مشخصه‌های الاستیک و ویسکوز مواد متفاوت است، اما این زمان در مواد الاستیک

جدول (3) میانگین حاصل از اثرات دز پرتو دهی و دمای نگهداری بر تنش و زمان ریلکسیشن

زمان تنش آسایی (ثانیه)			تنش (پاسگال)				دمای نگهداری	دز پرتو دهی
Trel ₃	Trel ₂	Trel ₁	σ_e	σ_3	σ_2	σ_1		
0/051	0/048	0/036	4/27	4/13	4/39	2/71	6	0
0/041	0/038	0/028	6/91	5/37	4/33	4/19	18	
0/046	0/042	0/029	7/30	7/67	6/19	5/13	6	2
0/037	0/032	0/021	7/39	9/55	7/46	7/45	18	
0/037	0/037	0/014	8/14	8/43	7/14	8/09	6	5
0/026	0/033	0/015	10/36	11/97	8/45	9/23	18	
0/024	0/033	0/009	10/42	10/54	9/20	9/63	6	8
0/021	0/026	0/011	12/31	13/11	10/33	10/57	18	

جدول (4) تجزیه واریانس تاثیر دز پرتو دهی، دمای نگهداری و زمان ذخیره سازی بر تنش و زمان ریلکسیشن

متغیرها	درجه آزادی	تنش ریلکسیشن	زمان ریلکسیشن
دز پرتو دهی	3	4/51**	0/036**
دمای نگهداری	1	5/19*	0/028*
زمان انبارداری	1	6/23*	0/021 n.s
دز پرتو دهی × دمای نگهداری	3	7/20*	0/010*
دز پرتو دهی × زمان ذخیره سازی	3	5/63**	0/102 n.s
دمای نگهداری × زمان ذخیره سازی	1	6/10*	0/098*
دز پرتو دهی × دمای نگهداری × زمان ذخیره سازی	3	7/41*	0/082*

** معنی دار در سطح 1٪، * معنی دار در سطح 5٪، n.s عدم معنی داری

نمونه‌ای از منحنی مدل (رسم شده بر اساس ضرایب مدل ماکسول) و منحنی حاصل از آزمون تجربی تنش آسایی در شکل (3) نمایش داده شده است. جهت مقایسه داده‌های پیش‌بینی شده توسط مدل و داده‌های تجربی، مقدار ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تعیین (R^2) محاسبه گردید. با توجه به جدول (5)، میزان این شاخص‌های آماری برای تمامی تیمارها $RMSE < 0/79$ و $R^2 > 0/85$ می‌باشد و بیانگر این مطلب است که مدل ارائه شده با توجه به ضریب R^2 بالا و RMSE پایین، رضایت‌بخش بوده و متناسب با داده‌های تجربی می‌باشد.

بسیار بیش‌تر است [25]. بر اساس نتایج پرتو دهی از جمله عوامل افت رطوبت و تبخیر آب میان‌بافتی است، در نتیجه با پرتو دهی مشخصه ویسکوز نمونه‌ها کاهش یافته و زمان ریلکسیشن افزایش می‌یابد [10-11] که با نتایج این تحقیق نیز هم‌خوانی دارد. جدول (3) مقادیر میانگین تنش و زمان‌های ریلکسیشن را در اجزای ویسکوالاستیک در مدل دو جزئی ماکسول که با استفاده از معادلات مورد نظر مطرح شد، نشان می‌دهد. بدین منظور با وارد کردن متغیرها، با دستور CF Tool بهترین مدل به دست آمده و زمان‌های ریلکسیشن و مدل سه جزئی ماکسول محاسبه گردید (شکل 2).

4- نتیجه گیری

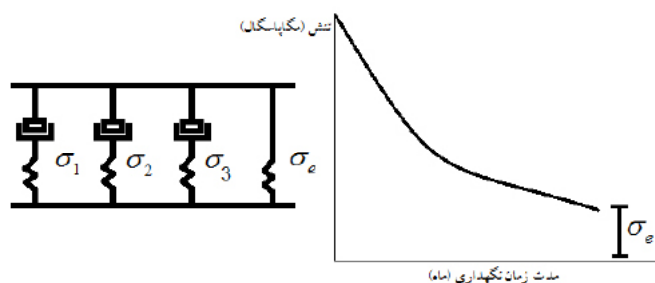
استفاده از پرتوهای یونیزه کننده به عنوان جایگزین روش‌های

3-3-1- شبیه سازی تنش و زمان ریلکسیشن

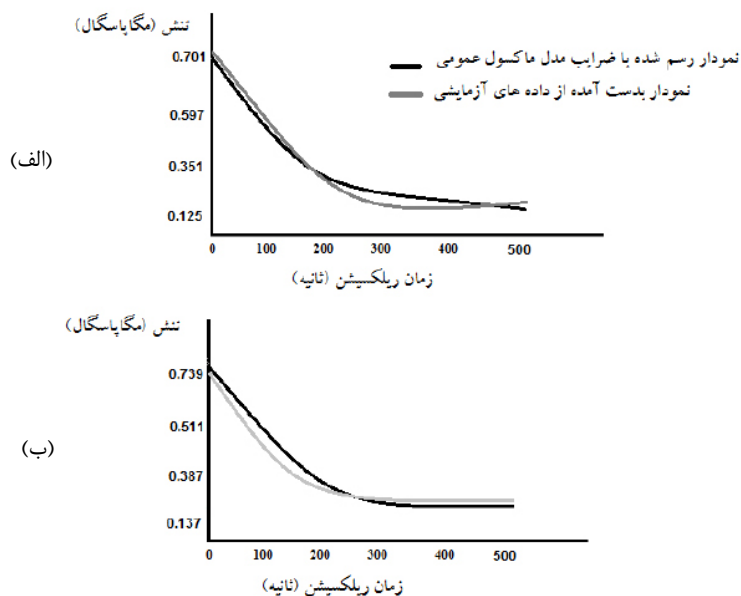
آزمون ریلکسیشن در ابتدا تا انتهای فرایند ذخیره سازی و

جدول (5) شاخص‌های آماری ضریب تعیین و ریشه میانگین مربعات خطا برای مدل دو جزئی ماکسول ارائه شده

ضرایب آماری		دمای نگهداری	دز پرتودهی
RMSE	R ²		
0/64	0/95	6	0
0/56	0/92	18	
0/42	0/89	6	2
0/79	0/88	18	
0/63	0/90	6	5
0/61	0/85	18	
0/53	0/91	6	8
0/56	0/97	18	



شکل (2) جزء ویسکوالاستیک در مدل سه جزئی ماکسول در نمونه‌ها



شکل (3) نموداری با ضرایب مدل ماکسول و داده‌های تجربی به‌دست آمده در نمونه‌های پرتودهی شده و ذخیره شده در (الف) دمای 6 درجه سانتی‌گراد و (ب) 18 درجه سانتی‌گراد

پرتودهی شده نسبت به نمونه پرتودهی شده با دز 2 کیلوگری نیز دارای تغییرات بیش‌تری بود. هم‌چنین با توجه به آزمون تنش‌آسای مدل سه جزئی ماکسول برای این محصول پیش‌بینی گردید و داده‌های حاصل از این پیش‌بینی با داده‌های تجربی دارای سازگاری خوبی با بهترین مقدار R^2 و RMSE بود که نشان‌دهنده پیش‌بینی مناسب است. همین‌طور با توجه به نتایج با افزایش دز پرتودهی و دمای نگهداری تنش ریلکسیشن کاهش و مدت زمان ریلکسیشن افزایش می‌یابد که به نسبت برای دزهای 5 و 8 کیلوگری نسبت به 2 کیلوگری دارای تغییرات بیش‌تری است و دز پرتودهی مناسب 2 کیلوگری از کاهش و افزایش تنش و مدت زمان ریلکسیشن جلوگیری کرده است. با توجه نتایج حاصل پرتودهی در دز مناسب و نگهداری غده‌های سیب‌زمینی در شرایط دمایی مناسب از تغییرات خواص فیزیکی، کیفی، رنگ و خواص مکانیکی جلوگیری می‌کند.

شیمیایی در نگهداری مواد غذایی در حال گسترش می‌باشد. در این پژوهش، نمونه غده‌های سیب‌زمینی بعد از اعمال پرتودهی دارای عمر طولانی بوده و تغییرات خواص فیزیکی و کیفی کم‌تر صورت گرفت. بدین‌ترتیب که خواص کیفی غده‌ها از جمله درصد ماده خشک و درصد نشاسته و همین‌طور خواص فیزیکی از جمله قطر میانگین هندسی، ضریب کرویت، حجم و جرم با افزایش دز پرتودهی و دمای نگهداری افزایش داشته است، اما در دز پرتودهی 2 کیلوگری و دمای نگهداری 6 درجه سانتی‌گراد دارای بهترین نتایج بوده و با افزایش دز پرتودهی از 2 تا 5 و 8 کیلوگری کاهش یافتند. همین‌طور تغییرات رنگ، a^* ، b^* و BI با افزایش دز پرتودهی و افزایش دمای نگهداری افزایش و L^* کاهش یافتند که در مقایسه با نمونه‌های پرتودهی با دز 5 و 8 کیلوگری دارای تغییرات کم‌تری بودند. هم‌چنین تغییرات در شاخص‌های کیفی، فیزیکی و رنگ در نمونه‌های

منابع

- dose: effects on baby-leaf spinach ascorbic acid, carotenoids, folate, r-tocopherol, and phylloquinone concentrations. *J. Agr. Food Chem.*, 58, 4901-4906.
- [7] یوسفیان، س.ه.؛ محمدزادری، آ.؛ سیحون، م.؛ کیانی، ح. (1395) تعیین شرایط بهینه با روش سطح پاسخ و مقایسه دو روش شبکه عصبی و رگرسیون در خشک کردن سیب‌زمینی پرتودیده با اشعه گاما. فصلنامه علمی پژوهشی علوم و صنایع غذایی ایران، جلد 13، شماره 59، ص 96-85.
- [8] Sommers, C.H., Fan, X. (2006). *Food Irradiation Research and Technology*. Blackwell Publishing, John Wiley & Sons., 652-703.
- [9] Ahari Mostavafi, H., Mirmajlesi, M., Mirjalili, M.M., Fatholahi, H., Mansuripoor, M., Babaie, M. (2011). The effect of gamma radiation on spore germination and growth of *Patty Sylym Akpansym* row causes of postharvest fruit. *Journal of Nuclear Science and Technology of Iran's Atomic Energy Organization*, 4 (58), 49-54.
- [10] حسن‌پور، ع.؛ اسمعیلی، م.؛ مدرس مطلق، ا.؛ رحمانی [1] Cunningham, S.E., McMinn, W.A. M., Magee, T.R.E. (2007). Effect of processing conditions on the water absorption and texture kinetics of potato. *J. Food Eng.*, 84(2), 214-223.
- [2] Kaur, L., Singh, N., Sodhi, N.S. (2002). Some properties of potatoes and their starches II. Morphological, thermal and rheological properties of starches. *Food Chem.*, 79, 183-192.
- [3] Röper, H. (2002). Renewable raw materials in Europe-industrial utilization of starch and sugar. *Starch. J.*, 54, 89-99.
- [4] Haase, N.U., Weber, L. (2003). Ascorbic acid losses during processing of French fries and potato chips. *J. Food Eng.*, 56, 207-209.
- [5] یوسفیان، س.ه.؛ (1395) اثر پرتودهی گاما بر کیفیت و زمان ماندگاری سیر رقم سفید همدان تحت آزمون‌های مکانیکی، فیزیکی و شیمیایی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بوعلی سینا همدان.
- [6] Lester, G.E., Hallman, G.J. (2010). Γ -irradiation

- on minimally processed kiwifruit. International Meeting on Radiation Processing. Montreal, Abstract, pp. 189-190.
- [20] Jo, C., Son, G.H., Shin, M.G., Byun, M.W. (2003). Irradiation effects on color and functional properties of persimmon leaf extract and licorice root extract during storage. *J. Radi. Phy. Chem.*, 67, 143-148.
- [21] اثنی عشری، م؛ ذاکعی خسروشاهی، ا. (1388) بیولوژی و تکنولوژی پس از برداشت، انتشارات دانشگاه بوعلی سینا همدان، جلد 2، ص 125-127.
- [22] Mohammed, M.M., Ogah, M.D., Hassan, I.D. (2004). Inhibitory effect of fresh and heated garlic (*Allium sativa*) on Bacteria. Proceedings of the 38th Annual Conference of Nigeria (ASN), (pp.381-384).
- [23] Wang, J., Chao, Y. (2003). Effect of gamma irradiation on quality of dried potato. *J. Radi. Phy. Chem.*, 66, 293-297.
- [24] مقصودی، و؛ یغمائی، س. (1383) بررسی تغییرات رنگ سیب‌زمینی در حین سرخ کردن در حمام روغن، نشریه علوم و صنایع غذایی ایران، جلد 1، شماره 1، ص 7-14.
- [25] Van-Vliet, T. (1999). Rheological classification of foods and instrumental techniques for their study. *Journal of Food Texture Measurement and Perception*, 25, 95-98.
- دیدار، ع. (1389) تغییرات خواص ویسکوالاستیک انگور سفید بیدانه در طی رسیدن. مجله پژوهش‌های صنایع غذایی، جلد 20/3، شماره 2، ص 133-145.
- [11] ندیم، ز؛ احمدی، ا. (1395) بررسی برخی خواص رئولوژیکی توت فرنگی پوشش دهی شده با متیل سلولز. نشریه ماشین‌های کشاورزی، جلد 6، شماره 1، ص 153-162.
- [12] Razavi, S.M.A., Akbari, R. (2007). Biophysical properties of agricultural and food materials. *J. Ferdowsi University of Mashad Publisher, Iran*.
- [13] Mohsenin, N.N. (1986). Physical Properties of Plant and Animal Materials. 2nd Revised and Updated Edition. *Gordon and Breach Science Publishers.*, 320-329.
- [14] A.O.A.C. (1990). Official methods of analysis association of analytical chemists. Washington D.C. USA. P: 777.
- [15] Takahiro, N., Shogo, T., Motoyuki, M., Shigenobu, T., Chie, M.E., Katsuichi, S., rachichige, W.H., Akihiro, H., Yasuyuki, S., Hiroaki, Y. (2004). The effect of harvest dates on the starch properties of various potato cultivars. *Food Chem.*, 86, 119-125.
- [16] Maskan, M. (2001). Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot-air and Microwave drying. *J. Food Eng.*, 48, 177-182.
- [17] Askari, G.R., Emam-Djomeh, Z., Mousavi, S.M. (2006). Effects of combined coating and microwave assisted hot-air drying on the texture, microstructure and rehydration characteristics of apple Slices. *J. Food Sci.*, 12(1), 39-46.
- [18] Kaaber, L., Brathen, E., Martinsen, B.K., Shomer, I. (2006). The effect of storage conditions on chemical content of raw potato and texture of cooked potatoes. *J. Potato Res.* 44, 153-163.
- [19] Oliveira, A.C. Silva, S., Oliveira, L.C., Modolo, M., Arthur, D. (2011). Evaluation of gamma radiation