ارزیابی اثر پلاسمای سرد بر ماندگاری لیمو ترش

نغمه هلالی[۱]، **سید احمد شهیدی[۱]*، علیرضا شهاب لواسانی[۲]***، محمود حبیبیان[۳]

[۱]گروه علوم صنایع غذایی، واحد آیت۱... آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران.

[۲] گروه علوم وصنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، واحد ورامین – پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران.

[۳]گروه مهندسی شیمی،پژوهشگاه شیمی و مهندسی شیمی ایران،تهران،ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۲۴

چکیده

پلاسمای سرد یکی از روش‌های افزایش عمر مفید در صنعت مواد غذایی است که باعث کاهش فسادپذیری می‌شود. هدف از این مطالعه بررسی افزایش ماندگاری لیموترش با پلاسمای سرد تهیه شده بود. نمونه‌ها با استفاده از دو گاز (آرگون و هوا) در مدت زمان‌های min ۰، ۵، ۱۰ و ۲۰ در سطح لیموترش تحت تیمار پلاسمای سرد قرار گرفت که منجر به کاهش، مخمر و کپک *پنی‌سیلیوم ایتالیکوم* تا۹۹ ٪ شد. نتایج آنالیزهای میکروبی و فیزیکی ثابت نمود که در مدت زمان min ۵ تحت تیمار پلاسمای سردگازهای آرگون و هوا بار میکروبی را تا ۹۹ ٪ کاهش داد و کمترین اثر بر روی خواص فیزیکی و ظاهری محصول لیموترش را ایجاد کرد. پس از تیمار، نمونه‌های گرفته‌شده فاقد کلی فرم و کپک *پنی‌سیلیوم ایتالیکوم* بودند. در بررسی خواص فیزیکی لیموترش (بافت و وزن)، مشاهده شد که اثر نوع گاز بر این شاخص‌ها معنی‌داری بوده است. افزایش زمان تیمار پلاسما در زمان min ۶ و فشار اتمسفری تفاوت معنی‌دار در کاهش سیکل لگاریتمی شد($p<0.05$).در بررسی نوع گاز و اثر آن بر تیمار نشان داد که نوع گاز تفاوت معنی‌داری ایجاد می‌کند و حدود ده درصد اثربخشی گاز آرگون از هوا کمی بیشتر می‌باشد($p<0.05$) . پس از اعمال پلاسمای سرد در لیموترش مشخص شد که پلاسمای سرد روش مناسب و کم‌هزینه‌ای برای استریل و پاستوریزاسیون لیموترش در جهت افزایش ماندگاری آن خواهد بود.

واژگان کلیدی: مدت ماندگاری، لیموترش، پلاسمای سرد

* sashahidy@yahoo.com

* shahablavasani@iauvaramin.ac.ir

[Downloaded from amfi.ir on 2026-07-08]

مقدمه

لیموترش از خانواده Rutaceae و با نام علمی *Citrus lemon* L. یکی از گیاهان دارویی می‌باشد که بیشتر به خاطر ترکیبات آلکالوییدی موجود در آن پرورش داده می‌شود. منشأ اولیه لیموترش به‌طور دقیق مشخص نیست، اما به نظر می رسد اولین بار در آسام (شمال هندوستان)، شمال میانمار و چین رشد کرده است. لیموترش منبع غنی از ویتامین C (اسید آسکوربیک) می‌باشد و هر ۱۰۰ gr آن میزان ۶۴ ٪ از نیاز روزانه‌ی انسان به این ویتامین را می‌تواند تأمین کند. به‌طور معمول، غلظت ویتامین C در لیموترش معادل ۵۰ mg در هر ۱۰۰ gr لیموترش است (۱).

پلاسما سرد روشی برای کاهش بار میکروبی است که با فعال‌سازی واکنش‌های شیمیایی حاصل از تخلیه سد دی الکتریک در گازهای بی اثر تولید می‌شود. این واکنش‌های شیمیایی برای کاهش بار میکروبی، در برابر طیف وسیعی از میکروارگانیسم‌ها ازجمله باکتری‌ها، قارچ‌ها، اسپورها، ویروس‌ها و همچنین، سموم دفع آفات و مایکو توکسین‌ها موثر می باشند (۲).

برای معرفی پلاسمای سرد می‌توان به دو روش سد دی الکتریک[1] و جت پلاسما اشاره کرد. همچنین، می توان پلاسمای سرد را به دو دسته‌ی مستقیم و غیر مستقیم نیز تقسیم بندی کرد. در پلاسمای مستقیم، بین نمونه و گاز پلاسما فاصله‌ای وجود ندارد و تحت تماس مستقیم با رادیکال‌ها و گونه‌های واکنشی قرار می‌گیرد. از انواع این روش، می‌توان به روش سد دی الکتریک و جت پلاسما اشاره کرد. در پلاسمای غیر مستقیم، بین ماده و دستگاه تولید پلاسما فاصله وجود دارد و غیر فعال‌سازی میکرو ارگانیزم‌ها به وسیله‌ی اشعه و رادیکال‌های آزاد دارای عمر بالا انجام می‌شود (۳).

از دستگاه‌های تولید کننده‌ی پلاسمای سرد می‌توان به تخلیه سد دی‌الکتریک[2] (DBD)،تخلیه کرونا[3]،تخلیه فرکانس رادیویی و جت پلاسما در فشار اتمسفری اشاره کرد.(۴). محبوب‌ترین فناوری پلاسمای سرد، تخلیه سد دی الکتریک (DBD) می‌باشد. پلاسمای سد دی‌الکتریک می‌تواند بدون افزودنی و پیش‌پردازشی ماکرومولکول‌های مواد غذایی را اصلاح کند و به آن خاصیت سلامت غذایی و تازه مانی در مصرف را دهد. با استفاده از پلاسمای سرد در داخل بسته به‌صورت معمول و تجدیدپذیر می‌توان مدت ماندگاری و هوشمندسازی بسته‌بندی را توسعه داد. سال‌های طولانی است که برای مبارزه با میکروارگانیسم‌های عامل فساد به‌صورت فیزیکی در فراوری مواد غذایی از گرما استفاده می‌شود و همچنین، در جهت ماندگاری محصولات فراورده‌های غذایی از ترکیبات ضدمیکروبی طبیعی و سینتیکی نیز استفاده می‌شود. اما استفاده از الکترومغناطیس برای حفظ یک یا چند ماده غذایی مورد نیاز جامعه انسانی مربوط به قرن اخیر می‌باشد. این روش در مقایسه با استفاده از فناوری‌های کنسرو و سایر فناوری‌ها دارای تفاوت چشمگیری با آنها می‌باشد. این فناوری تحت آزمایش‌های متعددی بوده است و از بشریت در زمان صلح نیز حمایت کرده، با انقلاب به وجود آمده در قرن بیستم و معرفی پلیمرها، استفاده از کنسرو درون کیسه‌ها توجیهات و دلایل متعددی را داشته است (۲).تیمار میوه‌های بسته‌بندی نشده با پلاسمای سرد در ۳۶ °C و رطوبت اشباع، به مدت سه روز به‌طور مؤثر مانع از پوسیدگی شد و نگهداری در دمای °C ۱۷، ماندگاری را به مدت ۳۵ روز افزایش داد. برای اولین بار در سال ۱۹۲۲ تیمار حرارتی میوه توسط فاست و همکاران برای کاهش *فیتوفتورا سیتروفتورا*[4] انجام شد. همچنین، تحقیقات دیگر نشان داد تیمار پس از برداشت، در دمای °C ۳۴-۳۶ طی مدت h ۴۸-۷۲ به‌طور مؤثرتری پوسیدگی را کنترل و کاهش داد (۵). باتوجه به این نتایج و پژوهش‌ها، می‌توان گفت به‌نظر می‌رسد که پلاسمای سرد به سبب کاهش ضایعات محصول و افزایش بازدهی و دائمی بودن این فناوری در بلندمدت، دارای توجیه فنی و اقتصادی خواهد بود. این فناوری را می‌توان جایگزین سایر فناوری‌های با کاربرد مشابه قرار داد و کیفیت محصول نهایی را با عدم استفاده از روش‌های فیزیکی و شیمیایی نظیر حرارت دهی و

[1] Dielectric-barrier
[2] Dielectric Barrier Discharge
[3] Corona discharge
[4] *Phytophthora citrophthora*

[Downloaded from amfi.ir on 2026-07-08]

استفاده از نگهدارنده‌ها تا مقدار بسیار زیادی به کیفیتی برابر با محصول تازه برداشت شده رساند.

یکی از عوامل فساد مواد غذایی تنفس است. تنفس فرایند شکستن مواد آلی به محصولات ساده است که انرژی لازم برای متابولیسم را فراهم می‌کند. افزایش تنفس، منجر به افزایش سرعت متابولیسم در میوه و سبزی‌ها می‌شود و درنتیجه فرایند پیری را تسریع می‌کند. دما، با افزایش نیاز به انرژی برای واکنش‌های متابولیکی سرعت تنفس را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین، سرعت تنفس با افزایش دمای محصول افزایش می‌یابد. اختلالات فیزیولوژیکی به‌وسیله عدم تعادل مواد مغذی، برداشت نامناسب و نگهداری در دمای نامناسب اتفاق می‌افتد (۶). پلاسما یک گاز یونیزه است که شامل الکترون، یون، رادیکال، گونه‌های فعال، اتم‌های برانگیخته است، مولکول‌های پلاسما را می‌توان برای مواد حساس به دما مانند سلول‌های بیولوژیکی و برای عقیم‌سازی، بهبود عملکرد دانه و عملکرد محصول استفاده کرد (۴). در طی مطالعاتی، استفاده از پلاسمای سرد در فناوری مواد غذای باعث از بین رفتن اسپورهای عامل فساد مواد غذایی شد. از آرگون آغشته شده در هوا برای از بین بردن گونه آسپرژیلوس لیموترش استفاده شد (۷). در رابطه با گونه آسپرژیلوس تحقیقات اخیر نشان داده است که پلاسمای سرد به تنهایی می‌تواند اسپورها را از بین ببرد و همچنین قادر به تخریب افلاتوکسین می‌باشد (۸). اثرات تخلیه سد دی الکتریک (DBD) پلاسمای سرد بر روی آنزیم‌های بیماری زا و آنتراکنوز[1] ناشی از *کلتوتریکوم آسیانوم*[2] در انبه بررسی شد. نتایج نشان داد که فعالیت آنزیم‌های تخریب‌کننده دیواره سلولی و نیز لاکازها[3] و ژن‌های بیماری‌زا کاهش یافتند(۹). در مطالعه پلاسمای سرد روی زغال اخته، مشخص شد که تیمار پلاسمای سرد تخلیه سد دی‌الکتریک (CP) در حفظ کیفیت میوه و مهار رشد میکروارگانیسم‌ها در زغال اخته، به‌ویژه در حفظ سفتی، قندها و اسیدهای آسکوربیک موثر است (۱۰). در پژوهش حاضر، اثر پلاسمای سرد بر مدت ماندگاری لیموترش مطالعه شد.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه‌ها و انجام آزمون‌های میکروبی

نمونه‌های لیموترش درمدت زمان فراوری پلاسما، به ترتیب min ۰، ۵، ۱۰ و ۲۰ تحت تاثیر دو نوع گاز (آرگون و هوا) قرارگرفتند و بلافاصله بار میکروبی آنها اندازه‌گیری شد. همچنین، برای آزمایش ارزیابی شاخص‌های کیفی طی نگهداری در دمای پایین، ابتدا سه گروه لیموترش با ویژگی یکسان انتخاب شدند. در گروه‌های انتخاب‌شده نمونه‌های لیموترش تحت تیمارهای مذکور قرار گرفتند. برای ارزیابی بار میکروبی نمونه‌ها، شامل باکتری‌های مزوفیل هوازی و مخمر و کپک‌ها، از روش شمارش کلی استفاده شد. برای شمارش باکتری‌های مزوفیل هوازی، محیط‌کشت استریل پلیت کانت آگار[4] و روش کشت پور پلیت استفاده شد. شمارش کپک و مخمر در محیط‌کشت استریل پوتیتو دکستروزآگار[5] با اسید تارتاریک ۱۰ ٪ و روش کشت سطحی انجام شد.

در روش کشت سطحی برای شمارش کپک و مخمر، به تهیه سوسپانسیونی از باکتری نیاز است. برای این کار از سوش میکروبی تهیه شده از بانک میکروبی ایران استفتاده شد. سپس، از سوش میکروبی با استفاده از سمپلر برداشته شد و بر سطح محیط‌کشت جامد استریل منتقل شد. با استفاده از میله پخش‌کننده شیشه‌ای عصایی شکل به قطر حدودا mm ۳/۵ و طول cm ۲۰ و با زاویه قائمه یا آنس به‌صورت یکنواخت بر سطح لیمو ترش پخش شد. در این روش برای کشت کپک و مخمر مقدار µl ۱۰۰۰ از رقت 10^{-2} بر پلیت های استریل محیط‌کشت دکستروزآگار منتقل شد. سپس، پلیت‌های کشت داده شده در دمای °C ۲۵ به مدت ۲ روز در انکوباتور قرار داده شدند.

شمارش کلونی باکتری‌های هوازی

[1] anthracnose
[2] *Colletotrichum asianum*
[3] Laccases

4 PCA
5 PDA

[Downloaded from amfi.ir on 2026-07-08]

در روش کشت آمیخته ابتدا سوسپانسیونی از باکتری تهیه شد. مقدار ۱۰۰ µm از سوسپانسیون تهیه‌شده در کف پلیت استریل ریخته شد و ۱۵–۲۰ ml محیط کشت به پلیت اضافه شد و با حرکات دورانی کامل مخلوط شد. پلیت‌های کشت داده شده با روش پورپلیت و با استفاده از محیط کشت پلیت کانت آگار به مدت ۵–۳ روز در دمای ۳۷ °C در داخل انکوباتور قرار داده شدند. از هر رقت ۲ مشاهده و از هر تیمار ۳ تکرار کشت داده شد. پس از انکوباسیون، پلیت‌های کلنی شمارش شدند. در نهایت بار میکروبی مطابق معادله ۱ محاسبه شد.

معادله ۱ عکس مقدارکشت داده شده × عکس ضریب رقت × تعداد کلنی شمارش شده = بارمیکروبی

برای تهیه سرم فیزیولوژیک، ۸/۵ gr نمک سدیم کلرید به ۱۰۰۰ ml آب مقطر اضافه شد. پس از حل‌کردن، محلول حاصل برای استریل شدن در دستگاه اتوکالو قرار داده شد. در تهیه محیط‌های کشت پلیت کانت آگار و دکستروزآگار به ترتیب ۲۲/۵ gr و ۳۹ از پودر پلیت کانت آگار و دکستروز آگار هر کدام جداگانه به ۱۰۰۰ ml آب مقطر اضافه شدند. محیط کشت‌ها و وسایل موردنیاز نیز در دمای ۱۲۱ °C و فشار ۱۵ psi به مدت ۱۵ min با استفاده از اتوکلاو استریل شد. سرم فیزیولوژیکی و محیط‌کشت‌های استریل شده تا زمان استفاده در یخچال استریل نگهداری شدند. برای فراهم کزدن شرایط اسیدی برای رشد کپک و مخمر و همچنین برای جلوگیری از رشد سایر میکروارگانیسم‌ها، مقدار ۱ ml اسید تارتاریک ۱۰ ٪ استریل شده با فیلتر ۴۵ µm، به ۱۰۰ ml از محیط‌کشت استریل دکستروزآگار [۲]، اضافه شد.

معادله۲ ۱۰۰*(وزن میوه قبل از بسته‌بندی / وزن میوه بعد از بسته‌بندی – وزن میوه قبل از بسته‌بندی)

سفتی بافت و ساختار لیموترش

بافت یکی از خواص فیزیکی مواد غذایی است که بیانگر کیفیت آنها می‌باشد. بافت محصولات غذایی و کشاورزی شامل گستره وسیعی از تعاریف و شاخص‌ها می باشد. این شاخص‌ها ویسکوزیته، سفتی، نرمی، خاصیت کشسانی و کشش‌پذیری می‌باشد که برای اندازه‌گیری هر یک از این ویژگی‌ها دستگاه خاصی استفاده می‌شود. روش‌های متفاوتی ازجمله روش‌های حسی و تجهیزات الکترونیکی برای سنجش بافت مواد غذایی وجود دارد که برخی از این روش‌ها برای آزمون بافت مواد غذایی خاصی استاندارد شده‌اند. از دست دادن رطوبت، اصلی‌ترین علت کاهش وزن میوه طی انبارداری است که از طریق چروکیدگی و کاهش بازارپسندی میوه باعث خسارت‌های اقتصادی زیادی می‌شود. از دیگر دلایل افت وزن، تنفس میوه و سوختن مواد آلی از جمله قندها است. برای اندازه‌گیری سفتی بافت میوه از دستگاه سفتی‌سنج با پروب ۱۱ mm استفاده شد(۱۰).

pH و اسیدهای قابل تیتراسیون

مقدار pH با دستگاه pH متر و میزان اسید میوه بر حسب اسیدسیتریک و با سود ۰/۱ N و با معادله ۳ محاسبه شد(۱۰).

معادله ۳

تلقیح بار میکروبی

پنی‌سیلیوم ایتالیکوم [۱] با رقت ۰/۰۱ ml، روی سطح لیموترش تلقیح شد. لیموترش آلوده‌شده تحت پلاسمای سرد قرار گرفت و پس از آن مورد آزمون میکروبی قرار داده شد.

اندازه‌گیری شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی

درصد کاهش وزن

برای اندازه‌گیری تغییرات وزن، نمونه‌های لیموترش پس از تیمار با گاز پلاسما در ظروف استریل قرار داده شدند. سپس، وزن نمونه‌ها هر روز با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ gr اندازه‌گیری شد و به مدت ۱۴ روز در یخچال در دمای ۶ °C نگهداری شدند. درصد کاهش وزن نمونه‌ها از معادله ۲ محاسبه شد. به‌این‌ترتیب، درصد کاهش وزن در طول نگهداری در تیمارهای مختلف مقایسه شد و درصد کاهش وزن نمونه نسبت به وزن اولیه محاسبه شد (۱۰).

[1] *Penicillium italicum*

[Downloaded from amfi.ir on 2026-07-08]

اکی‌والان اسید غالب ×نرمالیته سود×حجم عصاره×۱۰۰/۱۰۰۰×حجم سود مصرفی =اسید کل

روش آماری و تحلیل نتایج

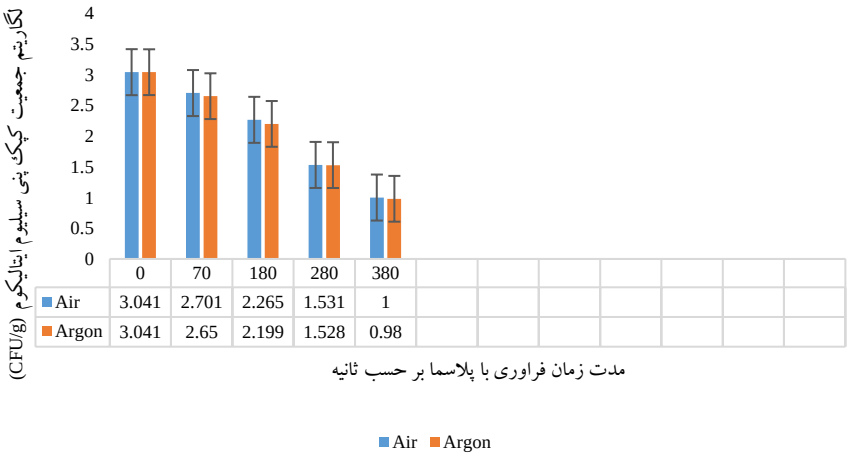
آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی می باشد. برای تشخیص معنادار بودن ($p<0.05$) یا عدم تشخیص معنی‌دار بودن ($p>0.05$) از تجزیه واریانس دوطرفه و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۹۵ ٪ استفاده شد.

نتایج

نتایج و آنالیز میکروبی

فراوری پلاسمای سرد بر لیموترش نشان داد که نوع گاز مورد استفاده در تیمار پلاسمای سرد با گذشت زمان تأثیر معنی‌داری($p<0.05$) بر روی بار کپک *پنی سیلیوم ایتالیکوم* داشته است (جدول ۱و شکل ۱). نوع گاز در شمارش کلی باکتری‌ها موثر بود و در مخمر اثری نداشت و برای کپک *پنی سلیوم ایتالیکوم* معنی‌داربوده است ($p<0.05$).

نتایج شکل ۲و جدول ۲ نشان می‌دهد که پلاسمای سرد در شاخص زمان باعث کاهش کپک *پنی سیلیوم ایتالیکوم* و مخمر در نمونه‌های لیموترش شده است. اوف و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی اثر پلاسمای سرد بر *گونه* آسپرژیلوس *به* نتایجی مشابه دست یافتند که در این پژوهش به آن مستند شده است، نتایج حاصل از پژوهش‌ها نشان داد که نوع گاز پلاسمای سرد می‌تواند بر ساختار کپک اثر گذار باشد. با توجه به ساختار ضخیم دیواره سلولی کپک و قارچ‌ها در مقایسه با غشا پپتیدوگلیکانی دیواره سلولی باکتری‌ها، این تاثیر در آنها کمتر است. به همین علت می‌توان این ضعف را با افزایش زمان درمعرض قرارگیری نمونه در تیمار پلاسمای سرد پوشش داد.

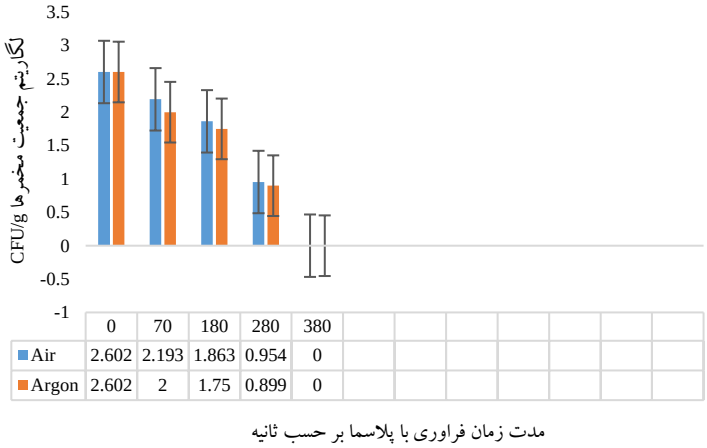


شکل ۱. میزان کاهش لگاریتم جمعیت کپک *پنی‌سیلیوم ایتالیکوم* در اثر پلاسمای سرد آرگون و هوا

جدول ۱. تجزیه واریانس لگاریتمی جمعیت کپک *پنی‌سیلیوم ایتالیکوم* توسط پلاسمای سرد آرگون و هوا

منابع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	خطا
زمان فراوری	1050.155	4	210.031	14.311	.030
نوع گاز	88.055	1	14.676	-	.000
زمان× نوع گاز	1138.210	4	-	-	.000

[Downloaded from amfi.ir on 2026-07-08]



شکل۲. میزان کاهش لگاریتم جمعیت مخمرها CFU/g تحت تیمارپلاسمای سرد آرگون و هوا

جدول۲. تجزیه واریانس لگاریتم جمعیت مخمرها CFU/g تحت تیمارپلاسمای سرد آرگون و هوا

منابع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	خطا
زمان فراوری	11039.040	4	2207.808	34.832	.000
نوع گاز	380.310	1	63.385	-	.000
زمان× نوع گاز	11419.350	4	-	-	.000

ساختار کپک‌ها و قارچ‌ها از ماتریکس‌های پلی ساکارید و فیبریل‌های سلولز و کیتین تشکیل شده است، این امر باعث می‌شود که مقاومت دیواره سلولی در تیمار پلاسمای سرد افزایش‌یافته و ساختار DNA دیرتر تخریب شود. یهوشا و همکاران (۱۹۸۷) در مطالعه اثر پلاسمای سرد بر *فیتوفتورا سیتروفتورا* به حساسیت کمتر کپک‌ها و مخمرها در تیمار پلاسمای سرد به نسبت با سایر گونه‌های باکتری‌ها در مواجه با اثر پلاسمای سرد پی بردند که این حالت به دلیل ساختار مستحکم دیواره سلولی کپک و قارچ در مقایسه با باکتری های می‌باشد که به وسیله ی افزایش زمان تیمار می توان این ضعف را پوشش داد(۵). نرخ غیر فعال‌سازی میکروارگانیزم به‌دست آمده توسط تیمار پلاسمای سرد از ۰/۹ CFU/g تا ۸ می باشد و اثر ولتاژ و گاز پلاسما با مولفه اصلی دارای همبستگی معنا دار می‌باشد که با نتایج به‌دست آمده در این پژوهش همسو است (۱۱).

درصد کاهش وزن

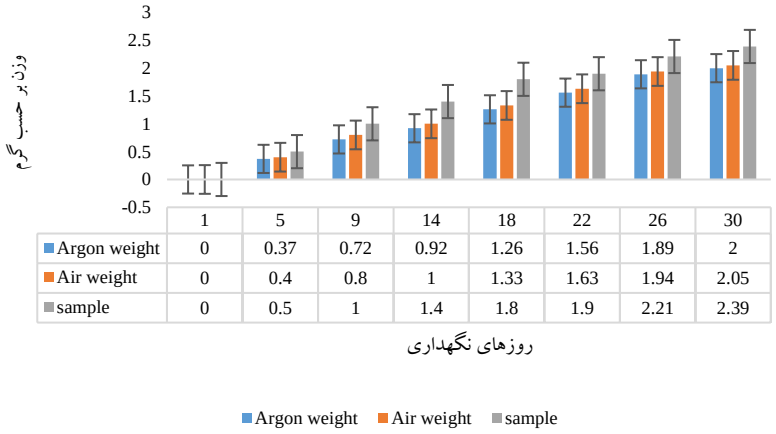
در طول مدت نگهداری پس از اعمال تیمار پلاسمای سرد گاز آرگون و هوا (شکل ۳) میزان افت وزن در طی مدت ۱۴ روز در هر دو تیمار روندی افزایشی را دارد و در مقایسه با نمونه شاهد دارای اختلاف معنادار می‌باشد (جدول ۳) ($p<0.05$). بر طبق این نتایج مشاهده شد که اثرگذاری گاز آرگون در تیمارها کمی بیشتر از هوا می‌باشد. در پایان نگهداری بیشترین افت وزنی مربوط به روز ۱۴ام و بهترین نتیجه در اثرگذاری پلاسمای سرد در روز ۹ ام می‌باشد که به نسبت نمونه شاهد کمترین میزان کاهش وزن را داشته است. نتایج مبین این بود که استفاده از پلاسمای سرد بین ۵ الی ۱۰ ٪ از کاهش وزن لیموترش جلوگیری کرد. یکی از عوامل کاهش وزن محصولات از دست دادن آب است و آب گریزی سطحی نشان دهنده‌ی باز شدن ساختار مولکولی و در نتیجه از دست دادن آب محصول و کاهش وزن می‌باشد. در بررسی اثر پلاسمای سرد اتمسفری بر میزان از دست دادن

[Downloaded from amfi.ir on 2026-07-08]

آب محصول، پلاسمای سرد با ایجاد خوشه‌های آب‌گریز[1] و بر اثر فعالیت‌های سطحی این خوشه‌ها که مانع از دست رفتن آب محصول می‌شود، حدود پنج برابر فعالیت کنترلی آب گریزی را از سطح محصول افزایش داده در نتیجه منجر به کاهش درصد افت وزن محصول شده است (۱۰).

اثر pH

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان می‌دهد در طول مدت نگهداری اثر پلاسمای سرد و نوع گاز آرگون و هوا در نگهداری اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه آنها تأثیر معناداری در سطح ۱ ٪ بر تغییرات اسیدیته داشته‌اند(جدول ۴). نتایج مقایسه‌ای میانگین‌های اثرات گازهای آرگون و هوا تحت تیمار پلاسمای سرد در افزایش ماندگاری نشان داد (شکل ۴)که گاز آرگون تأثیر معناداری در سطح ۱ ٪ بر کنترل اسیدیته محصول داشته است، همچنین در طول مدت نگهداری تفاوت مقادیر اسیدیته در تمامی روزها به جز روز پنجم و نهم و چهاردهم معنی‌دار بوده است. نتایج میزان تغییرات اسیدیته نمونه‌ها در این پژوهش نشان‌گر این امر می‌باشد که تغیرات اسیدیته در نمونه‌های بدون تیمار پلاسمای سرد (نمونه شاهد) نوسان بیشتری در مقایسه با نمونه‌های تحت تیمار پلاسمای سرد داشته است. به طوری‌که، در روز سی ام میزان اسیدیته لیمو ترش نمونه شاهد عدد ۳ و لیمو ترش‌های تحت تیمار پلاسمای سرد آرگون و هوا به ترتیب ۲/۴۵ و ۲/۴۷ بوده است، که نشان‌دهنده کاهش میزان اسیدی بودن لیمو ترش شاهد به نسبت لیمو ترش‌های تحت تیمار پلاسمای سرد آرگون و اکسیژن می باشد (شکل ۴). این نتایج با نتایج حاصل در پژوهش مشابه در بررسی اثر پلاسمای سرد بر روی سطح توسط میرسا و همکاران (سال۲۰۱۴) یکسان بوده است. (۲).



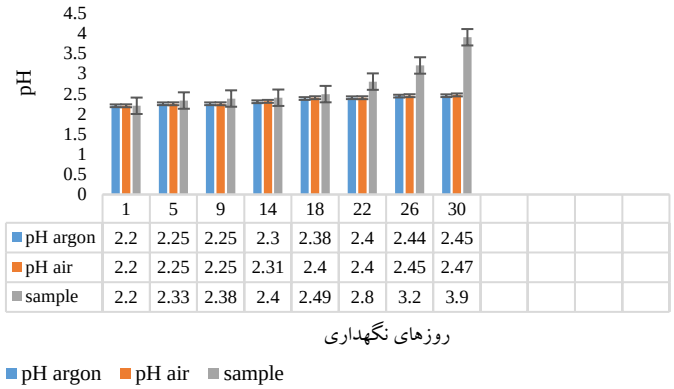
شکل۳. میزان کاهش وزن نمونه‌های شاهد و تحت تیمار پلاسمای سرد آرگون و هوا

جدول۳. تجزیه واریانس وزن لیمو ترش شاهد و نمونه های تحت تیمار پلاسمای سرد آرگون و هوا

منابع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	خطا
زمان فراوری	1038.023	4	173.004	28.796	.021
نوع گاز	420.550	1	6.008	-	.000
زمان× نوع گاز	1042.229	4	-	-	.000

[1] Hydrophobic clusters

[Downloaded from amfi.ir on 2026-07-08]



شکل٤. میزان تغییرات اسیدیته نمونه شاهد و نمونه‌های تحت تیمار پلاسمای سرد آرگون و هوا

جدول٤. تجزیه واریانس pH لیمو ترش شاهد و نمونه‌های تحت تیمار پلاسمای سرد آرگون و هوا

منابع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	خطا
زمان فراوری	3936.107	4	656.018	17.196	.001
نوع گاز	267.050	1	38.150	-	.000
زمان× نوع گاز	4203.157	4	-	-	.000

بافت و الاستیسیته لیموترش

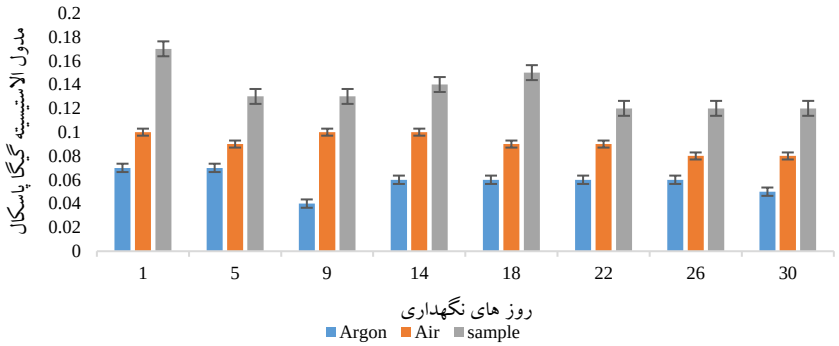
در بررسی ساختار بافت و مطالعه‌ی سطح لیموترش، از موارد مهم و اصلی در تعیین میزان کیفیت لیموترش، بررسی مدول الاستیسیته محصول است که می‌تواند نشان دهنده‌ی مقبولیت کیفیت محصول باشد. افزایش مدت زمان نگهداری لیموترش می‌تواند روی خاصیت ترشی و بافت آن تاثیر گذار باشد. در مطالعات انجام شده بر بررسی مدول الاستیسیته[1] و کاهش مقاومت سطحی یا نفوذپذیری[2] در بافت لیموترش، درصد مقاومت سطحی محصولات با گذشت زمان کاهش یافت که این موضوع به دلیل کاهش فعالیت آبی و به اصطلاح پیری محصول به دلیل فعالیت‌های شیمیایی و آنزیمی میوه در طول مدت نگهداری می‌باشد. در روز ۳۰ام از مدت ماندگاری لیموترش کمترین میزان مدول الاستیسیته تحت تیمار پلاسمای سرد آرگون و هوا به ترتیب GPa ۰/۱۵و ۰/۱ و در نمونه شاهد میزان GPa ۰/۱۲ می‌باشد (شکل ۵). بررسی و مقایسه میزان نفوذپذیری در نمونه‌های تحت تیمار پلاسمای سرد و نمونه‌ی شاهد، با گذشت سی روز پس از نگهداری محصول، نشان داد که گشتاور نیروی نفوذپذیری درسطح لیمو ترش در سی امین روز پس از اعمال تیمار پلاسمای سرد آرگون و هوای تحت تاثیر تیمار پلاسمای سرد معادل N ۸و در نمونه‌ی شاهد N ۶ می باشدکه نشان دهنده ی مقاومت سطحی بالاتر نمونه‌ی تحت تیمار پلاسمای سرد پس از گذشت سی روز به نسبت نمونه‌ی شاهد می‌باشد. (شکل ۶). بهترین کیفیت ماندگاری با توجه به مدول الاسیتسیته و نفوذپذیری مربوط به روز ۲۲ ام می‌باشد که مدل الاستیسیته در آرگون و هوای تحت تیمار پلاسمای سرد به ترتیب Pa ۰/۱۲ و ۰/۰۹ و در نمونه‌ی شاهد GPa ۰/۱۲ اندازه‌گیری شد که نمونه‌ها دارای شرایط مقبول‌تری جهت

[1]- E_{mod}

[2]-Fmax

[Downloaded from amfi.ir on 2026-07-08]

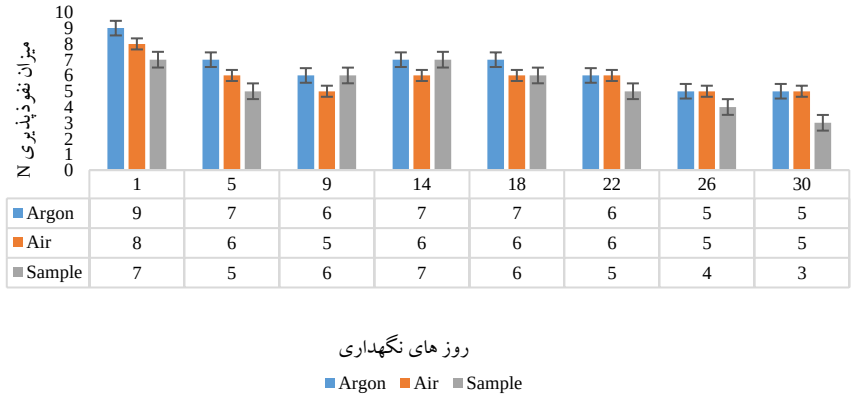
استفاده می‌باشند (جدول ۵). در بررسی تأثیر پلاسمای سرد اتمسفری در گوجه گیلاسی در طول مدت ماندگاری نتایج مشابهی ارائه شد(۲). یافته‌های مطالعه اثر پلاسمای سرد در گوجه فرنگی نشان می‌دهد که تیمار پلاسمای سرد می‌تواند کیفیت و پایداری محصول را بهبود دهد و در طول فراوری موجب حفظ خواص فیزیکوشیمیایی و مواد مغذی زیستی گوجه‌فرنگی شود (۱۲).



شکل۵. بررسی مدول الاستیسیته نمونه‌ی شاهد و نمونه‌های تحت تیمار پلاسمای سرد آرگون وهوا

جدول۵. تجزیه واریانس مدول الاستیسته لیمو ترش شاهد و نمونه‌های تحت تیمار پلاسمای سرد آرگون و هوا

منابع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	خطا
زمان فراوری	7428.130	4	2476.043	46.427	.001
نوع گاز	213.330	1	53.333	-	.000
زمان× نوع گاز	7641.460	4	-	-	.000



شکل٦. بررسی میزان نفوذ پذیری سطح لیمو ترش شاهد و نمونه‌های تحت تیمار پلاسمای سرد آرگون و هوا

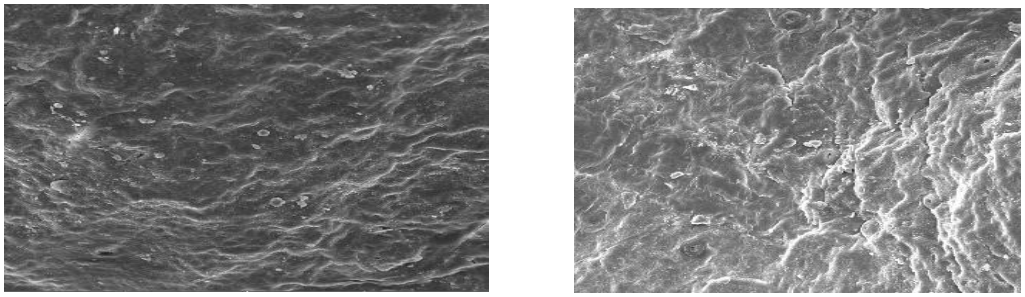
جدول٦. تجزیه واریانس میزان نفوذ پذیری سطح لیمو ترش شاهد و نمونه‌های تحت تیمار پلاسمای سرد آرگون و هوا

منابع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	خطا
زمان فراوری	11039.040	4	2207.808	34.832	.000
نوع گاز	380.310	1	63.385	-	.000
زمان× نوع گاز	11419.350	4	-	-	.000

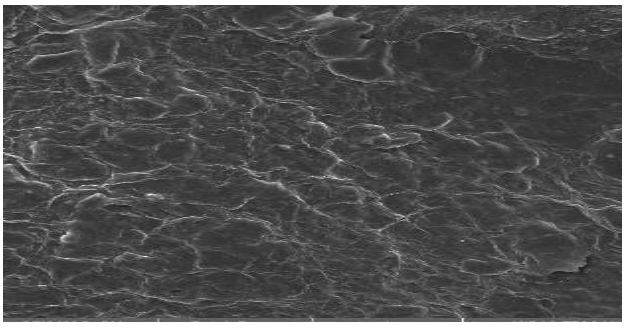
[Downloaded from amfi.ir on 2026-07-08]

بررسی میزان تغییرات مولکولی سطح لیمو ترش نمونه‌ی شاهد و نمونه‌های تحت تیمار پلاسمای سرد آرگون و هوا به وسیله SEM

برای بررسی تغییرات سطح لیمو ترش از میکروسکوپ الکترونی روبشی [1] (SEM) استفاده شد. پس از بررسی عکس های میکروسکوپی آنالیز شده توسط دستگاه SEM تغییرات سطح بررسی شد.در بررسی عکس‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی در نمونه‌ی قبل از تیمار پلاسمای سرد، می توان میزان خلل و فرج سطح لیمو ترش را مشاهده کرد. همچنین، پس از القای میکروبی سطح لیمو ترش می‌توان فعالیت میکروارگانیزم‌ها و پر شدگی خلل فرج‌های سطح لیمو توسط میکروارگانیزم ها را مشاهده کرد. با اعمال تیمار پلاسمای سرد می‌توان به این مهم دست یافت که ساختار سطح لیمو ترش به وسیله ی انهدام ساختار سلولی میکروارگانیزم‌ها تا حدود زیادی حفظ شده است و پس از شکافته شدن ساختار سلولی میکروارگانیزم‌های موجود در سطح، خلل‌ها و فرج‌های موجود در سطح میوه اشکار شده است مقایسه و تحلیل مولکولی تصاویر به‌دست آمده از سطح لیموترش به وسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان داد تغییرات مولکولی در سطح میوه لیمو ترش در تمامی تیمارها وجود ند اشته است و تنها تغییر ایجاد شده قابل مشاهده کشته شدن و از هم گسسته شدن ساختار سلولی میکروارگانیزم‌های موجود در سطح نمونه‌های فراوری شده با پلاسمای سرد بوده و فراوری پلاسمای سرد سبب تغییرات بافتی در سطح لیمو ترش نشده است. نگایو و همکاران (۲۰۲۳) در بررسی خاصیت ضد میکروبی آندوفیت *استرپتومایسس* [2] در پرتقال، به نتایجی مشابه با اثر پلاسمای سرد بر کنترل شرایط میکروبی عامل فساد مرکبات دست یافته بودند (۱۳). مطابق با نتایج پژوهش حاضر عدم تغییر ساختار سطح لیموترش به دلیل اثر پلاسمای سرد می‌باشد (شکل ۷ و ۸).



شکل۷. **تصویرسمت راست ریز ساختاربافت لیمو ترش فراوری شده با پلاسمای سردو تصویر سمت چپ لیموترش حاوی تلفیح کپک**



شکل۸. تصویر ریز ساختاربافت لیمو ترش فراوری شده با پلاسمای سرد

[1] scanning electron microscope

[2] *Endophytic Streptomyces*

[Downloaded from amfi.ir on 2026-07-08]

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج ارائه‌شده در پژوهش تأثیر اثر پلاسمای سرد تحت تیمار گازهای آرگون و هوا بر مدت ماندگاری لیموترش و مطالعه‌ی اثرگذاری آنها بر فعالیت میکروبی و ساختار فیزیکی آن مدت ماندگاری لیموترش به مدت بیست روز نسبت به نمونه شاهد افزایش پیدا کرد؛ پلاسمای سرد منجر به لایه نشانی در سطح لیموترش گشت و اثرات گاز تأثیر مثبتی بر کنترل شرایط سطح لیموترش ایجاد نمود و نوعی از استریل بر سطح لیموترش ایجاد کرد که منجر به حفظ کیفیت لیموترش در طول مدت نگهداری شد، نتایج ارائه‌شده در این پژوهش نشان داد که در طول مدت نگهداری پلاسمای سرد می‌تواند اثر مثبت و معنی‌داری در حفظ کیفیت لیموترش تا پایان مدت نگهداری آن ایجاد می نماید؛ همان‌گونه که انتظار می‌رفت با گذشت زمان ساختار لیموترش دچار پیری می‌گردد و کیفیت آن کاهش می‌یابد که این تغییرات در سطح ۱ ٪ معنی‌دار می‌باشد. در جمع‌بندی نتایج می‌توان به این مهم اذعان داشت پلاسمای سرد آرگون و هوا با ایجاد لایه نشانی بر سطح محصول و کاهش قدرت انتقال جرم و رطوبت و انتقال گازهای ورودی و خروجی به ساختار لیموترش و ایجاد استریل سطحی، منجر به کاهش فعالیت میکروبی و افزایش ماندگاری محصول می‌شود.

منابع

1. Govindan SV, Cardillo TM, Moon SJ, Hansen HJ, Goldenberg DM. CEACAM5-targeted therapy of human colonic and pancreatic cancer xenografts with potent labetuzumab-SN-38 immunoconjugates. Clinical Cancer Res earch. 2009;15(19):6052-6061.
2. Misra NN. The contribution of non-thermal and advanced oxidation technologies towards dissipation of pesticide residues. Trends in food science & technology. 2015;45(2):229-244.
3. Roshanak S, Maleki M, Sani MA, Tavassoli M, Pirkhezranian Z, Shahidi F. The impact of cold plasma innovative technology on quality and safety of refrigerated hamburger: Analysis of microbial safety and physicochemical properties. International Journal of Food Microbiology. 2023;388:110066.
4. Liao X, Liu D, Xiang Q, Ahn J, Chen S, Ye X, Ding T. Inactivation mechanisms of non-thermal plasma on microbes: A review. Food Control. 2017; 1(75):83-91.
5. Ben-Yehoshua S, Barak E, Shapiro B. Postharvest curing at high temperatures reduces decay of individually sealed lemons, pomelos, and other citrus fruit. Journal of the American Society for Horticultural Science. 1987;112(4):658-63.
6. Kader A. Importance of fruits, nuts, and vegetables in human nutrition and health. Perishables handling quarterly. 2001 May;106(4):6.
7. Ouf SA, Basher AH, Mohamed AA. Inhibitory effect of double atmospheric pressure argon cold plasma on spores and mycotoxin production of Aspergillus niger contaminating date palm fruits. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2015;95(15):3204-3210.
8. Shi EL, Hammett GW, Stoltzfus-Dueck T, Hakim A. Gyrokinetic continuum simulation of turbulence in a straight open-field-line plasma. Journal of Plasma Physics. 2017;83(3):1-27.
9. Wu Y, Cheng JH, Keener KM, Sun DW. Inhibitory effects of dielectric barrier discharge cold plasma on pathogenic enzymes and anthracnose for mango postharvest preservation. Postharvest Biology and Technology. 2023;196:112181.
10. Zhou D, Sun R, Zhu W, Shi Y, Ni S, Wu C, Li T. Impact of dielectric barrier discharge cold plasma on the quality and phenolic metabolism in blueberries based on metabonomic analysis. Postharvest Biology and Technology. 2023;197:112208.
11. Monjazeb Marvdashti L, Arabameri M, Yousefi B, Eslami M, Emadi A, Ebrahimi A, Abdolshahi A, A Abdel-Wahhab M. Cold Plasma Technology Impact on Microorganisms Inactivation in Foods: A Systematic Review. Journal of Chemical Health Risks. 2023; 13(0):1-12.
12. Starek-Wójcicka A, Sagan A, Terebun P, Kwiatkowski M, Osmólska E, Krajewska M, Grządka E, Matsuyama N, Hayashi N, Pawlat J. Quality of Tomato Juice as Influenced by Non-Thermal Air Plasma Treatment. Applied Sciences. 2023;13(578): 1-13.
13. Hong-Thao PT, Mai-Linh NV, Hong-Lien NT, Van Hieu N. Biological characteristics and antimicrobial activity of endophytic Streptomyces sp. TQR12-4 isolated from elite Citrus nobilis cultivar Ham Yen of Vietnam. International journal of microbiology. 2016; 2016: 7207818.

[Downloaded from amfi.ir on 2026-07-08]

Evaluation of the effect of cold plasma on the shelf life of sour lemon

Naghmeh Helali[1], Seyed Ahmad Shahidy[1*], Alireza Shahab Lavasani[2*], Mahmoud Habibiyan[3]

[1]Department of Food Science and Technology, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran.

[2]Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Varamin - Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran.

[3]Chemistry and Chemical Engineering Research Center of Iran, Tehran, Iran.

Abstract

Cold plasma is one of the ways to increase useful life in the food industry, which reduces pollution. The aim of this study was to investigate the increase in the shelf life of lemons prepared with cold plasma. The samples were subjected to cold plasma treatment using two gases (argon and air) for a period of 0, 5, 10 and 20 minutes on the surface of lime, which reduced yeast and copy italicum 1 to 99%. The results of microbial analyzes revealed that within five minutes under the plasma treatment of argon cold gases and air, the microbial load reduced by 99% and had the least effect on the physical and appearance properties of the lime product. After applying the treatment, the samples were free of coliform and *P. italicumon* mold. Examining the physical properties of lime (texture and weight) showed that the effect of gas type had a significant effect on these indicators. The increase in plasma treatment time in six minutes and atmospheric pressure was significantly different ($p<0.05$). Examining the type of gas and its effect on the treatment showed that the type makes a significant difference and about ten percent of the effectiveness of argon gas is slightly higher than air. It will be a suitable and low-cost method for sterilizing and pasteurizing limes in order to preserve them.

Key words: Shelf life, Sour lemon, cold plasma

[*]sashahidy@yahoo.com

[*] shahablavasani@iauvaramin.ac.ir

[Downloaded from amfi.ir on 2026-07-08]