بررسی تاثیر فرایند حرارتی بر برخی ویژگی‌های کیفی ذرت طی دوره نگهداری انجمادی

الناز نیک ذات[a] ، سارا انصاری[*b]

[a] دانش آموخته گروه علوم و صنایع غذایی، واحد کازرون، دانشگاه آزاد اسلامی، کازرون، ایران
[b] استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، واحد کازرون، دانشگاه آزاد اسلامی، کازرون، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۶/۱۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۲/۱۰

چکیده

مقدمه: امروزه مصرف میوه و سبزی‌های منجمد افزایش یافته است. این امر بدلیل توانایی این محصولات در متقاعد کردن مصرف کننده از نظر حفظ ارزش غذایی، صرفه‌جویی در زمان و سایر دلایل عملی می‌باشد. هدف از این پژوهش بررسی برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی ذرت پس از فرایند حرارتی و نگهداری در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق ذرت شیرین به دو صورت دانه‌ای و متصل به بلال تحت تیمار حرارتی به مدت ۴، ۸ و ۱۲ دقیقه قرار گرفته و به مدت ۱۰ هفته در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. در طول دوره نگهداری و در فواصل زمانی ثابت دو هفته‌ای میزان افت آب، تغییرات رنگ، ترکیبات فنول کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فعالیت آنزیم پراکسیداز، سفتی بافت و ریزساختار نمونه‌ها سنجیده شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد میزان افت آب موجود در ساختار ذرت‌های دانه شده طی نگهداری انجمادی بطور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) افزایش یافت بطوریکه دانه‌های ذرت متصل به بلال در حفظ آب ساختار و بافت خود موثرتر از دانه‌های جدا عمل کردند. با افزایش زمان حرارت دهی میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز، ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی اکسیدانی بطور معنی داری ($p<۰/۰۵$) کاهش یافت. طی نگهداری انجمادی نیز افزایش قابل برگشت (فعالیت مجدد) آنزیم مشاهده شد. قدرت مهار رادیکال‌های آزاد بین ذرت‌های دانه شده و متصل به بلال از نظر آماری تفاوتی نداشت. میزان ترکیبات فنلی دانه‌های ذرت طی ۱۰ هفته نگهداری در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد تا هفته چهارم روند افزایشی و سپس کاهش معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) یافت. دانه‌های متصل به بلال نیز در مقایسه با ذرت‌های دانه شده متحمل تغییرات رنگ بیشتری بودند.

نتیجه‌گیری: تیمار حرارتی بر برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی ذرت طی نگهداری در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد تاثیر معنی‌داری دارد.

واژه‌های کلیدی: *انجماد، ذرت، فرایند حرارتی، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی*

[*] نویسنده مسئول مکاتبات email: ansari.fse@gmail.com ; ansari@kau.ac.ir

مقدمه

انجماد یکی از روش‌های رایج نگهداری میوه و سبزی‌ها به شمار می‌آید که نسبت به سایر روش‌های نگهداری موجب تغییرات کمتری در کیفیت تغذیه‌ای و ویژگی‌های حسی محصول می‌گردد. دمای پایین به صورت کارا موجب کاهش فعالیت‌های میکروبی، آنزیمی و همچنین شدت اکسیداسیون و تنفس در محصول می‌گردد (Awad *et al*., 2012; Kiani & Sun, 2011). بدین ترتیب لازم است قبل از انجماد تیمار آنزیم بری اعمال گردد. بلانچینگ شامل قرار گرفتن سبزی‌ها برای مدت کوتاه در معرض تیمار حرارتی که عموما در آب با دمای ۸۵ تا ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد انجام می‌شود، است. گزارش شده که این تیمار موجب افزایش ایمنی سبزی‌ها (مانند تخریب میکروفلورای سطحی) و ویژگی‌های کیفی (مانند طعم، رنگ و بو) بدلیل غیرفعال شدن آنزیم‌ها می‌گردد. گزارشات متناقضی نیز در زمینه تاثیر بلانچینگ بر کاهش ترکیبات مغذی ناپایدار حرارتی (مانند اسیدهای آمینه و پلی‌فنول‌ها) وجود دارد که میزان این ترکیبات پس از تیمار بدون تغییر و یا کاهش یافته است (Mazzeo *et al*., 2015). علاوه بر این اعمال بلانچینگ قبل از انجماد موجب تشدید رنگ، حفظ بافت سبزیجات و افزایش ماندگاری آنها می‌شود. طی فرایند انجماد تبدیل آب مایع به کریستال‌های یخ منجر به وارد شدن استرس به بافت گیاهی بدلیل عوامل متعددی مانند تغییر حجم آب پس از تبدیل به یخ، توزیع فضایی یخ در داخل بافت و اندازه هر یک از کریستال‌های یخ می‌گردد. این عوامل استرس‌زا می‌توانند بطور عمده محصولات منجمد را تحت تاثیر قرار داده و موجب افت کیفیت آنها شوند (Paciulli *et al*., 2015). به غیر از آنزیم بری، ذخیره‌سازی پس از انجماد و بویژه مرحله نهایی پخت قبل از مصرف می‌تواند کیفیت سبزی‌ها را تحت تاثیر قرار داده و منجر به افت بیشتر ترکیبات زیست فعال شود. تمامی این مراحل بایستی بصورت جداگانه از نظر تغذیه‌ای مورد توجه قرار گیرند، با توجه به این که میان آنها تعاملات قابل توجهی وجود دارد (Mazzeo *et al*., 2015). کیفیت محصولات منجمد و مشتری پسندی آنها بوسیله بهینه کردن فرآیند شامل سرعت انجماد، کیفیت مواد اولیه و شرایط انبارش بهبود می‌یابد (Paciulli *et al*., 2015).

مطالعات متعددی در زمینه تاثیر اعمال تیمار بلانچینگ قبل از انجماد بر میوه‌ها و سبزی‌ها انجام شده است. در این راستا Petzold و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیقی به مطالعه بررسی اثر آنزیم بری، انجماد و انبارداری پس از انجماد به مدت ۵ ماه در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد بر برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی انواع لوبیا در مرحله رسیدگی پرداخته و دریافتند که تیمار آنزیم بری اثر منفی بر این سبزی داشته و موجب توقف واکنش‌های تخریبی طی انبارداری انجمادی نمی‌گردد. این در حالی است که در مطالعه‌ای دیگر بر روی ساقه سبز مارچوبه، کدوی سبز و لوبیای سبز محققین بدین نتیجه دست یافتند که وقتی فرایند انجماد به طور صحیح صورت گیرد، سبزی‌ها منجمد آنزیم بری شده ارزش تغذیه‌ای پایین تر از نمونه‌های تازه نخواهند داشت (Mazzeo *et al*., 2015). Bajcan و همکاران (۲۰۱۳) نیز در بررسی تغییرات میزان فنول کل و فعالیت آنتی اکسیدانی اسفناج، نخود و ذرت شیرین منجمد طی یک دوره نگهداری ۱۰ ماهه گزارش کردند که بیشترین کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی و محتوی فنولی طی انجماد بترتیب در اسفناج (کاهش ۷۹/۳ درصدی) و نخود (کاهش ۶۲ درصدی) و کمترین کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی و محتوی فنولی بترتیب در نخود (کاهش ۲۶/۸ درصدی) و ذرت شیرین (کاهش ۵ درصدی) وجود داشت.

ذرت شیرین محصول خوراکی خانواده‌های گیاهان علفی *Zea mays L. var.rugosa Bonaf.* با میزان قند بالا می‌باشد که نوعی سبزی فسادپذیر با سرعت تنفس بالا است. ذرت شیرین به صورت نارس چیده شده و نه به عنوان غله بلکه به عنوان سبزی مصرف می‌شود. از آنجایی که مرحله رسیدن ذرت به تبدیل قند آن به نشاسته مربوط است، ذرت شیرین نباید در انبار بماند و بایستی به صورت تازه، قبل از اینکه دانه‌های آن سفت و نشاسته دار شود، مصرف، کنسرو و یا منجمد گردد. مهم‌ترین عامل تخریب کیفیت این محصول در طول دوره نگهداری کاهش میزان شیرینی آن می‌باشد. تاکنون روش‌های مختلف پس از برداشت از جمله اتمسفر تغییر یافته، بسته‌بندی شرینک[1]، بسته بندی منفذدار[2] و ترکیب این روش‌ها با سرمادهی و

[1] Shrink-Wrapping

[2] Perforated Package

پرتودهی به منظور کاهش سرعت تخریب کیفیت اولیه این محصول به کار رفته است. هر چند که بیشتر این روش‌ها در دماهای بیش از نقطه انجماد به کار رفته اند، اما با وجود اعمال این روش ها همچنان کاهش قند به میزان بالایی صورت گرفته است (Shao and Li, 2011).

با توجه به مطالب عنوان شده و درک اهمیت نگهداری میوه‌ها و سبزی‌ها با کیفیت فیزیکی، شیمیایی و میکروبی مطلوب، استفاده از فرایند دردسترس و کم هزینه انجماد (دمای ۱۸- درجه سلسیوس) می‌تواند در بهبود ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و ساختاری میوه‌ها و سبزی‌ها بسیار موثر باشد. هدف از این تحقیق بررسی برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی دو گروه مختلف ذرت‌های دانه شده و متصل به بلال پس از فرایند حرارتی و نگهداری در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد می باشد.

مواد و روش‌ها

- مواد اولیه

در این تحقیق ذرت شیرین رقم *Zea mays L. var.rugosa Bonaf* به دو صورت دانه شده و متصل به بلال جهت بررسی تاثیر فرایند حرارتی طی دوره نگهداری انجمادی در ۱۸- درجه سانتی گراد مورد آزمون قرار گرفت. در ابتدای کار جهت کاهش میزان خطا در طول آزمایشات، دانه‌های ذرت با طول (۰/۰۷±۱/۰۰ سانتی‌متر) و ضخامت (۰/۰۱±۰/۷۶ سانتی‌متر) و قطعات بلال با ارتفاع (۰/۲۵±۴/۲۵ سانتی‌متر) و قطر (۰/۱۸±۳/۹۳ سانتی‌متر) مشابه انتخاب و مورد آزمون قرار گرفتند. سپس ذرت‌های دانه شده و ذرت‌های متصل به بلال تحت تیمار حرارتی به مدت زمان‌های ۴، ۸ و ۱۲ دقیقه قرار گرفته و آبکش شدند. پس از ایجاد تعادل حرارتی آنها با دمای محیط نمونه‌ها را به مدت ۱۰ هفته در فریز ۱۸- درجه سانتی‌گراد قرار داده و طی این مدت هر ۲ هفته یک‌بار آزمون‌های مورد نظر که در زیر به آنها اشاره می‌شود بر روی نمونه‌های ذرت انجام گرفت. ترکیبات شیمیایی دانه ذرت مورد استفاده شامل رطوبت (استاندارد ایران به شماره ۲۷۰۵)، پروتئین (استاندارد ایران به شماره ۲۸۶۳) و چربی (استاندارد ایران به شماره ۲۸۶۲) اندازه گیری گردید.

- اندازه‌گیری کاهش میزان آب[1]

اندازه گیری کاهش میزان آب توسط اندازه گیری وزن نمونه قبل و بعد از انجماد زدایی به صورت درصد افت وزن اولیه محاسبه شد (Han *et al.*, 2004).

- سنجش سفتی بافت

بررسی ویژگی‌های بافتی دانه‌های ذرت پخته و نگهداری شده در ۱۸- درجه سانتی‌گراد با تست فشردگی تک محوره به کمک دستگاه بافت سنج (مدل تی-ای پلاس، استیبل میکروسیستم، ساخت انگلستان) انجام پذیرفت. برای این منظور نمونه توسط یک پروب با سطح مقطع استوانه‌ای به قطر ۳۰ میلی‌متر که با سرعت ۵ میلی متر بر ثانیه به طرف پایین حرکت می کرد تا فشرده شدن به میزان ۵۰ درصد قطر نمونه فشرده شد. در طی آزمون نیرو در مقابل زمان ثبت که بیشینه نیرو به عنوان معیار سفتی درنظر گرفته شد (Steffe, 1996).

- ارزیابی رنگ

اندازه گیری شاخص های رنگی به روش عکس برداری دیجیتال در اتاقک مخصوص تحت شرایط کنترل شده (از نظر شدت نور وفاصله دوربین) انجام و آنالیز عکس ها در برنامه فتوشاپ نسخه CS2 صورت گرفت (افشاری جویباری و همکاران، ۱۳۹۰). در این سیستم شاخص a* نشان دهنده قرمزی و سبزی (+a میزان قرمز بودن و –a میزان سبز بودن)، شاخص b* نشان دهنده میزان زردی و آبی بودن (+b میزان زرد بودن و –b میزان آبی بودن) و شاخص L* (نشان دهنده میزان روشنایی نمونه از صفر برای رنگ سیاه تا ۱۰۰ برای رنگ سفید) می‌باشد. پس از استخراج شاخص‌های رنگی L*، a* و b* ، تغییرات رنگ (ΔE) از فرمول (۱) بدست آمد.

$$\Delta E = \sqrt{(L_i - L_o)^2 + (a_i - a_o)^2 + (b_i - b_o)^2} \quad (۱)$$

که در آن اندیس i نشان دهنده عدد قرائت شده نمونه مورد نظر در طول دوره نگهداری و اندیس o نشان دهنده عدد قرائت شده نمونه منجمد شده در ابتدای دوره نگهداری می‌باشد.

[1] Drip Loss

- بررسی ریزساختار

جهت مشاهده اثر اعمال فرایند حرارتی بر میکروساختار ذرت‌های دانه شده و متصل به بلال طی نگهداری در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد از میکروسکوپ الکترونی روبشی[1] استفاده شد. برای این منظور قطعه کوچکی از دانه ذرت خشک شده به روش خشک‌کن انجمادی (مدل SPEDI VAC-GAUGE، ساخت کشور آلمان) بر روی یک قطعه فلزی دایره‌ای شکل از جنس آلومینیوم قرار گرفته و سطح نمونه ها توسط دستگاه Sputter coater Instrument (Fisons، انگلیس) و با عبور جریان گاز آرگون با یک لایه طلا پوشانده شد. سپس از نمونه ها توسط یک میکروسکوپ الکترونی (مدل ۵۵۲۶، کمبریج انگلیس) با پتانسیل الکترونی ۲۰ کیلو ولت عکس‌برداری شد.

- استخراج عصاره دانه‌های ذرت برای اندازه‌گیری میزان ترکیبات فنولی و آنتی اکسیدانی

حدود ۲ گرم دانه ذرت به فلاسک ۲۰ میلی لیتری حاوی محلول متانول ۸۰٪ اضافه شد. نمونه در شیکر با دور ۲۰۰ rpm به مدت ۳۰ دقیقه مخلوط گردید. سپس مخلوط حاصله در سانتریفیوژ با دور ۱۰۰۰۰×g در دمای ۴ درجه سانتی گراد به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. محلول رویی برای اندازه‌گیری ترکیبات فنولیک و آنتی اکسیدانی مورد استفاده قرار گرفت (Sitthitrai *et al*., 2015).

الف) اندازه گیری کل محتوی فنولی

تعیین کمی محتوی فنل کل با استفاده از روش رنگ سنجی براساس واکنش معرف فولین- سیوکالتیو[2] با گروه‌های هیدروکسیل فعال ترکیبات فنولیک تعیین شد. محلول‌های رقیق عصاره بدست آمده توسط معرف فولین- سیوکالتیو به مدت ۳۰ دقیقه اکسید و سپس واکنش توسط محلول سدیم کربنات خنثی گردید. سپس میزان جذب رنگ نمونه‌ها توسط اسپکتوفتومتر (مدل SPEKOL 1500، ساخت آلمان) در طول موج ۷۲۵ نانومتر اندازه گیری و میزان کل ترکیبات فنولی از منحنی استاندارد گالیک اسید بر گرم وزن تازه (GAE/g FW) بدست آمد (Sitthitrai *et al*., 2015).

ب) بررسی فعالیت آنتی اکسیدانی نمونه‌ها از طریق ارزیابی میزان مهار رادیکال‌های آزاد

بررسی فعالیت آنتی اکسیدانی نمونه ها از طریق ارزیابی میزان مهار رادیکال های آزاد انجام گرفت. در این روش ابتدا محلول استوک ۲و ′۲- دی فنیل ۱-پیکریل هیدرازیل را توسط حل کردن ۲۴ میلی‌گرم پودر DPPH در ۱۰۰ میلی‌لیتر متانول تهیه شد. سپس ۷۷ میلی‌لیتر از عصاره دانه‌های ذرت به ۳ میلی لیتر DPPH اضافه و محلول بدست آمده به مدت ۱۵ دقیقه در تاریکی نگهداری گردید. پس از آن با اسپکتوفتومتر میزان جذب در طول موج ۵۱۵ نانومتر قرائت شد و در نهایت با مراجعه به منحنی استاندارد نتایج به صورت µMTrolox/g FW محاسبه و گزارش گردید (Sitthitrai *et al*., 2015).

- بررسی فعالیت آنزیم پراکسیداز در دانه‌های ذرت

برای تهیه عصاره آنزیمی ابتدا حدود ۲ گرم پودر ذرت به ۲۰ میلی‌لیتر بافر تریس HCl با ۸ =pH اضافه و به مدت ۵ دقیقه مخلوط گردید. پس از سانتریفیوژ کردن با دور g× ۱۰۰۰۰ به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتیگراد، محلول رویی به عنوان عصاره آنزیمی خالص جهت آنالیز جمع‌آوری گردید. فعالیت آنزیم پراکسیداز با روش اسپکتروفتومتری Boyes وهمکاران (۱۹۹۷) با اصلاحاتی انجام شد. مخلوط واکنش به صورت تازه به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر بافر فسفات سدیم ۰/۲ مولار (pH=6.5) حاوی ۵۶۰ میکرولیتر گایاکول (۱۰۰٪) و ۱۹۵ میکرولیتر H_2O_2 (۳۰٪) در یک کووت کوارتز تهیه شد. عصاره آنزیمی خام (۰/۱۵ میلی لیتر) نیز به درون کووت حاوی ۳/۶ میلی لیتر محلول سوبسترا اضافه گردید. سپس میزان افزایش جذب در طول موج ۴۷۰ نانومتر اندازه‌گیری و نتیجه به صورت واحد/گرم وزن ذرت گزارش شد (Kidmose & Martens, 1999).

- تجزیه و تحلیل آماری

در این تحقیق تاثیر دو فاکتور زمان حرارت دهی (سه سطح) و شکل ساختاری نمونه (دو سطح) بر تغییرات کاهش میزان آب، محتوی فنول کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فعالیت آنزیم پراکسیداز، سفتی بافت، رنگ و ریزساختار نمونه

[1] Scanning Electron Microscopy (SEM)

[2] Folin-Ciocalteau

ذرت طی دوره نگهداری انجمادی بررسی گردید. ارزیابی فاکتورهای فوق در قالب طرح پایه بلوک‌های تصادفی با سه تکرار و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون دانکن (p<۰/۰۵) به کمک نرم‌افزار آماری SAS 9.1 انجام شد.

یافته‌ها

نمونه‌های ذرت قبل از اعمال فرآیند حرارتی بترتیب دارای ۱۳/۹۳ درصد رطوبت، ۳/۹۱ درصد چربی و ۱۰/۳۷ درصد پروتئین بودند.

- بررسی تغییرات کاهش میزان آب

جدول ۱ نتایج کاهش میزان آب ذرت دانه شده و متصل به بلال بعد از تیمار حرارتی به مدت ۴، ۸ و ۱۲ دقیقه طی نگهداری به مدت ۱۰ هفته در دمای ۱۸- درجه سانتی گراد را نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود با گذشت زمان تا هفته دهم میزان افت آب موجود در ساختار دانه‌ها بطور معنی داری ($P<0.05$) افزایش یافته است. چنان‌که میزان افت آب در دانه‌های ۴ دقیقه حرارت‌دهی شده از ۴/۳۱ درصد در هفته دوم به ۱۵/۲۱ درصد در هفته دهم رسیده است. همچنین با افزایش مدت زمان تیمار حرارتی دانه‌ها از ۴ دقیقه تا ۱۲ دقیقه دانه‌ها طی انجمادزدایی میزان آب بیشتری را از دست می دهند که از نظر آماری ($P<0.05$) اختلاف معنی‌داری با یکدیگر دارند. به گونه ای که پس از دو هفته نگهداری دانه‌های ذرت ۱۲ دقیقه حرارت‌دهی شده در ۱۸- درجه سانتی‌گراد نسبت به دانه‌های ۴ دقیقه ۲۴ درصد آب بیشتری از دست داده‌اند. از طرفی دانه‌های ذرت متصل به بلال در حفظ آب ساختار خود موثرتر از دانه‌های جدا عمل کرده‌اند و در مقایسه با ذرت های دانه شده میزان افت آب آن‌ها کمتر می‌باشد. بعلاوه قابل ذکر است که میزان افت آب در ذرت دانه شده و متصل به بلال از نظر آماری ($P<0.05$) معنی‌داری می‌باشد.

- بررسی فعالیت آنزیم پراکسیداز

جدول ۲ نتایج تغییر فعالیت آنزیم پراکسیداز ذرت دانه شده و متصل به بلال بعد از تیمار حرارتی به مدت ۴، ۸ و ۱۲ دقیقه طی نگهداری به مدت ۱۰ هفته در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهند. با حرارت دهی دانه‌های ذرت میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز بسیار کاهش یافته است و با افزایش زمان حرارت دهی افزایش غیرفعال شدن آنزیم مشاهده می‌شود که از نظر آماری ($p<0.05$) اختلاف معنی‌داری بین زمان‌های ۴، ۸ و ۱۲ دقیقه وجود دارد (از زمان صفر تا هفته چهارم). با گذشت زمان تا هفته ششم میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز ذرت دانه شده (۴ دقیقه) افزایش یافته است به گونه‌ای که از ۴/۳۸ واحد در زمان صفر به ۷/۵۳ واحد در هفته ششم رسید و پس از آن به وضعیت ثابت و پایداری رسید. در زمان صفر بلافاصله بعد از حرارت‌دهی در زمان‌های مشابه میزان فعالیت آنزیم ذرت دانه شده و متصل به بلال از نظر آماری ($p<0.05$) اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در هفته‌های دوم و چهارم میزان فعالیت آنزیم در ذرت دانه شده بیشتر از دانه‌های متصل به بلال بود که از نظر آماری ($p<0.05$) این اختلاف معنی‌دار بود. در حالیکه از هفته ششم تا هفته دهم میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در تمامی نمونه‌ها یکسان بود و از نظر آماری ($p<0.05$) اختلاف معنی داری نداشت.

جدول ۱- تغییرات کاهش میزان آب ذرت دانه شده و متصل به بلال پخته شده طی نگهداری انجمادی (درصد)

زمان (هفته)/ نمونه‌ها	دوم	چهارم	ششم	هشتم	دهم
دانه ذرت (۴ دقیقه)	۴/۳۱^{eD}±۰/۰۳	۵/۲۴^{dE}±۰/۰۷	۶/۶۱^{cE}±۰/۰۵	۹/۹۴^{bC}±۰/۰۴	۱۵/۲۱^{aD}±۰/۱۰
دانه ذرت (۸ دقیقه)	۴/۶۹^{eC}±۰/۰۱	۶/۰۵^{dC}±۰/۰۳	۷/۱۱^{cC}±۰/۰۳	۱۱/۰۱^{bB}±۰/۱۰	۱۶/۵۴^{aC}±۰/۱۱
دانه ذرت (۱۲ دقیقه)	۵/۷۰^{eA}±۰/۰۶	۷/۳۱^{dA}±۰/۰۶	۹/۵۱^{cA}±۰/۱۲	۱۵/۴۳^{bA}±۱/۱۳	۲۰/۱۸^{aA}±۰/۱۵
بلال قطعه شده (۴ دقیقه)	۴/۰۱^{eE}±۰/۰۹	۵/۰۱^{dF}±۰/۰۱	۶/۰۴^{cF}±۰/۰۹	۹/۰۰^{bC}±۰/۱۴	۱۴/۳۷^{aE}±۰/۱۰
بلال قطعه شده (۸ دقیقه)	۴/۲۱^{eD}±۰/۰۹	۵/۸۹^{dD}±۰/۰۹	۶/۹۱^{cD}±۰/۱۶	۹/۲۴^{bC}±۰/۰۷	۱۵/۵۷^{aD}±۰/۱۲
بلال قطعه شده (۱۲ دقیقه)	۵/۵۱^{dB}±۰/۱۶	۶/۲۵^{dB}±۰/۱۰	۸/۱۵^{cB}±۰/۱۱	۱۴/۵۶^{bA}±۰/۱۸	۱۸/۶۴^{aB}±۱/۱۲

* اعداد نشان داده شده میانگین سه تکرار می باشند (±SD).

** حروف کوچک متفاوت در هر ردیف نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار (α<۰/۰۵) است.

*** حروف بزرگ متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار (α<۰/۰۵) است.

جدول۲- فعالیت آنزیم پراکسیداز (واحد/گرم وزن تازه) ذرت دانه شده و متصل به بلال پخته شده طی نگهداری انجمادی

زمان (هفته)/ نمونه‌ها	۰	دوم	چهارم	ششم	هشتم	دهم
دانه ذرت (۴ دقیقه)	۴/۳۸^{dA}±۰/۱۲	۵/۱۶^{dA}±۰/۱۱	۶/۷۷^{cA}±۰/۱۹	۷/۵۲^{bA}±۰/۱۴	۸/۱۷^{aA}±۰/۰۹	۸/۵۲^{aA}±۱/۰۹
دانه ذرت (۸ دقیقه)	۲/۸۱^{eB}±۰/۰۹	۳/۷۸^{dB}±۰/۱۰	۶/۴۸^{cB}±۰/۱۱	۷/۵۳^{bA}±۰/۱۰	۸/۰۰^{aA}±۰/۱۱	۸/۳۲^{aA}±۰/۹۳
دانه ذرت (۱۲ دقیقه)	۱/۴۴^{eC}±۰/۱۰	۳/۴۹^{dD}±۰/۱۰	۶/۳۵^{cBC}±۰/۱۱	۷/۵۲^{bA}±۰/۱۳	۸/۱۷^{aA}±۰/۱۱	۸/۲۵^{aA}±۱/۰۱
بلال قطعه شده(۴ دقیقه)	۴/۳۴^{dA}±۰/۱۲	۴/۹۲^{dB}±۰/۱۳	۶/۴۴^{cB}±۰/۱۵	۷/۳۷^{bA}±۰/۱۱	۸/۱۷^{aA}±۰/۰۴	۸/۵۵^{aA}±۱/۰۲
بلال قطعه شده(۸ دقیقه)	۲/۸۷^{eB}±۰/۰۹	۳/۶۸^{dC}±۰/۰۸	۶/۱۷^{cC}±۰/۱۳	۷/۳۷^{bA}±۰/۱۷	۸/۰۷^{aA}±۰/۱۲	۸/۳۷^{aA}±۱/۰۰
بلال قطعه شده(۱۲ دقیقه)	۱/۴۴^{eC}±۰/۱۰	۳/۰۱^{dE}±۰/۰۶	۶/۱۷^{cC}±۰/۱۲	۷/۵۲^{bA}±۰/۱۱	۸/۱۴^{aA}±۰/۱۰	۸/۱۸^{aA}±۱/۱۰

* اعداد نشان داده شده میانگین سه تکرار می باشند (±SD).

** حروف کوچک متفاوت در هر ردیف نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار (α<۰/۰۵) است.

*** حروف بزرگ متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار (α<۰/۰۵) است.

- بررسی تغییرات فعالیت آنتی‌اکسیدانی

جدول ۳ نتایج تغییر فعالیت آنتی اکسیدانی ذرت دانه شده و متصل به بلال بعد از تیمار حرارتی به مدت ۴، ۸ و ۱۲ دقیقه طی نگهداری به مدت ۱۰ هفته در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهند. نتایج آنالیز واریانس حاکی از آن است که با افزایش زمان حرارت دهی از ۴ دقیقه به ۱۲ دقیقه قدرت مهار رادیکال‌های آزاد دانه‌های ذرت کاهش می‌یابد که از نظر آماری (P<0.05) معنی‌داری است. در حالیکه قدرت مهار رادیکال‌های آزاد بین ذرت دانه شده و متصل به بلال از نظر آماری تفاوتی نداشت. فعالیت آنتی‌اکسیدانی ذرت دانه شده بلافاصله پس از ۴ دقیقه حرارت‌دهی از ۶۶/۶ میکرومول ترولوکس به ۵۵/۱ میکرومول پس از ۱۲ دقیقه حرارت دهی رسیده و ۱۷ درصد کاهش یافته است. از طرف دیگر با گذشت زمان تا شش هفته میزان فعالیت آنتی اکسیدانی تمامی نمونه‌ها افزایش یافت و پس از آن تا هفته دهم روند کاهشی را نشان داد.

- بررسی تغییرات ترکیبات فنلی

جدول ۴ نتایج میزان ترکیبات فنلی ذرت دانه شده و متصل به بلال که به مدت ۴، ۸ و ۱۲ دقیقه پخته شده را طی نگهداری به مدت ۱۰ هفته در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد. میزان کل ترکیبات فنولی در زمان صفر در ذرت دانه شده بیشتر از دانه های متصل به بلال است که این اختلاف از نظر آماری (p<0.05) معنی دار است. میزان ترکیبات فنلی در ذرت دانه شده پس از ۴ دقیقه حرارت دهی ۱۴/۱ میلی‌گرم، در حالی که در دانه متصل به بلال ۱۳/۳ میلی‌گرم بود. نتایج آنالیز واریانس میزان ترکیبات فنلی دانه های ذرت طی ۱۰ هفته نگهداری در ۱۸- درجه سانتی گراد ابتدا در ۴ هفته اول روند افزایشی را نشان داد و سپس تا هفته دهم میزان کل ترکیبات فنلی کاهش یافت که از نظر آماری (p<0.05) این اختلاف معنی دار بود.

جدول ۳- فعالیت آنتی‌اکسیدانی (میکرومول ترولوکس/گرم وزن) ذرت دانه شده و متصل به بلال پخته شده طی نگهداری انجمادی

زمان (هفته)/ نمونه‌ها	دوم	چهارم	ششم	هشتم	دهم
دانه ذرت (۴ دقیقه)	۶۶/۶^{abA}±۲/۱۲	۶۹/۱^{aAB}±۲/۱۳	۷۰/۹^{aA}±۴/۸۵	۶۲/۹^{bA}±۳/۱۱	۵۵/۱۰^{cA}±۳/۰۴
دانه ذرت (۸ دقیقه)	۵۹/۲^{abB}±۲/۰۹	۶۱/۹^{aC}±۴/۰۸	۶۲/۹^{aB}±۳/۱۳	۵۵/۲^{bcB}±۴/۱۷	۵۱/۲^{cdA}±۳/۱۲
دانه ذرت (۱۲ دقیقه)	۵۲/۳^{abC}±۲/۱۰	۵۵/۴^{aC}±۲/۰۶	۵۶/۰۰^{aB}±۳/۱۶	۴۸/۳^{bcC}±۲/۱۱	۴۵/۲^{cdA}±۳/۱۰
بلال قطعه شده(۴ دقیقه)	۶۵/۰۲^{abA}±۳/۰۳	۷۰/۱^{aA}±۵/۱۱	۷۰/۹^{aA}±۵/۰۰	۶۰/۹^{bcAB}±۳/۱۴	۵۴/۹^{cdA}±۳/۰۹
بلال قطعه شده(۸ دقیقه)	۵۸/۵^{abB}±۲/۰۹	۶۲/۵^{bBCD}±۴/۱۰	۶۳/۲^{aB}±۳/۱۴	۵۵/۲^{bcB}±۴/۱۰	۵۱/۰۰^{cdA}±۳/۱۱
بلال قطعه شده(۱۲ دقیقه)	۵۱/۴^{abC}±۳/۱۰	۵۶/۴^{aC}±۴/۱۰	۵۷/۲^{aB}±۴/۰۱	۴۸/۲^{bcC}±۲/۱۳	۴۴/۲^{cdA}±۳/۱۱

* اعداد نشان داده شده میانگین سه تکرار می باشند (±SD).

** حروف کوچک متفاوت در هر ردیف نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار (α<۰/۰۵) است.

*** حروف بزرگ متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار (α<۰/۰۵) است.

جدول ٤- ترکیبات فنلی (میلی‌گرم/۱۰۰ گرم وزن تازه) ذرت دانه شده و متصل به بلال پخته شده طی نگهداری انجمادی

زمان (هفته)/ نمونه‌ها	۰	دوم	چهارم	ششم	هشتم	دهم
دانه ذرت (۴ دقیقه)	۱۴/۱^{bcA}±۰/۱۲	۱۵/۶^{abA}±۰/۵۳	۱۶/۱^{aA}±۱/۰۸	۱۳/۴^{cA}±۱/۱۱	۱۱/۵ ^{dA}±۱/۰۴	۹/۳^{eA}±۰/۷۲
دانه ذرت (۸ دقیقه)	۱۱/۳^{bcC}±۰/۱۲	۱۲/۱^{abB}±۰/۴۸	۱۲/۵^{aB}±۰/۷۳	۱۰/۷^{cB}±۰/۱۷	۸/۵^{dB}±۰/۳۲	۶/۰^{eB}±۰/۸۸
دانه ذرت (۱۲ دقیقه)	۸/۷^{cB}±۰/۱۰	۹/۳^{bC}±۰/۲۶	۱۰/۲^{aC}±۰/۳۶	۷/۳^{dC}±۰/۲۱	۴/۴^{eC}±۰/۱۰	۴/۰^{fCD}±۰/۱۰
بلال قطعه شده(۴ دقیقه)	۱۳/۳^{bB}±۰/۱۵	۱۵/۱^{aA}±۰/۵۱	۱۵/۵^{aA}±۱/۰۱	۱۰/۰^{cB}±۱/۰۴	۹/۱^{cdB}±۱/۰۹	۸/۳^{dA}±۰/۶۹
بلال قطعه شده(۸ دقیقه)	۱۰/۹^{bD}±۰/۱۹	۱۱/۴^{abB}±۰/۴۴	۱۱/۹^{aB}±۰/۶۴	۹/۷^{cB}±۰/۱۰	۷/۹^{dB}±۰/۳۱	۵/۱^{eBC}±۰/۹۵
بلال قطعه شده(۱۲ دقیقه)	۸/۵^{cE}±۰/۱۰	۹/۴^{CB}±۰/۲۱	۱۰/۰^{aC}±۰/۳۱	۷/۱^{dC}±۰/۲۳	۴/۴^{eC}±۰/۱۱	۳/۸^{fD}±۰/۱۱

* اعداد نشان داده شده میانگین سه تکرار می باشند (±SD).

** حروف کوچک متفاوت در هر ردیف نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار (α<۰/۰۵) است.

*** حروف بزرگ متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار (α<۰/۰۵) است.

- بررسی تغییرات بافت

جدول ۵ نتایج تغییرات سفتی بافت ذرت دانه شده و متصل به بلال بعد از تیمار حرارتی به مدت ۴، ۸ و ۱۲ دقیقه طی نگهداری در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد در زمان‌های ۰، ۵ و ۱۰ هفته را نشان می‌دهند. زمان صفر مربوط به دانه‌های ذرت بلافاصله پس از حرارت دهی به مدت ۴، ۸ و ۱۲ دقیقه می‌باشد. نتایج سفتی در جدول ۵ نشان می‌دهد که با افزایش زمان حرارت‌دهی از ۴ تا ۱۲ دقیقه سفتی بافت ذرت دانه شده و متصل به بلال کاهش می یابد که از نظر آماری (p<0.05) اختلاف آنها معنی دار است به گونه ای که سفتی بافت در ذرت دانه شده ۴ دقیقه پخته شده از ۲۴۱۱ نیوتن به ۱۲۵۹ نیوتن در نمونه ۱۲ دقیقه رسیده است. قابل توجه است که کاهش سفتی در دانه‌های متصل به بلال در مقایسه با ذرت دانه شده بعد از حرارت دهی به مدت ۴ و ۸ دقیقه کمتر است. از طرفی انجماد طی ۱۰ هفته منجر به نرمی بافت همه نمونه‌های دانه‌های ذرت شده است. به نحوی که در ذرت‌های دانه شده و متصل به بلال حرارت داده شده به مدت ۴ دقیقه سفتی بافت بترتیب به میزان ۳۵ و ۲۳ درصد و در ذرت دانه شده و متصل به بلال حرارت دیده به مدت ۱۲ دقیقه بترتیب به میزان ۶۶ و ۳۲ درصد بعد از ۱۰ هفته نگهداری در ۱۸- درجه سانتی گراد کاهش یافته است.

- بررسی تغییرات رنگ

در جدول ۶ اثر حرارت‌دهی بر ΔE محاسبه شده ذرت دانه شده و متصل به بلال در هفته‌های پنجم و دهم نگهداری در دمای ۱۸- درجه سانتی گراد را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش زمان تیمار حرارتی اختلاف رنگ دانه‌های ذرت با نمونه شاهد بیشتر می‌شود. در زمان صفر این اختلاف در ذرت دانه شده حرارت داده شده در زمان‌های مختلف معنی‌دار (p<۰/۰۵) است، هرچند در دانه‌های متصل به بلال میان زمان‌های ۴ و ۸ دقیقه اختلافی دیده نمی‌شود. ذرت دانه شده و ۱۲ دقیقه حرارت دهی شده در مقایسه با دانه‌های ۴ و ۸ دقیقه تغییر رنگ بیشتری را در زمان صفر متحمل شده‌اند. همچنین نگهداری در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد باعث افزایش میزان تغییر رنگ دانه‌های ذرت طی نگهداری به مدت ۱۰ هفته شده است به گونه‌ای که میزان تغییرات رنگ ذرت دانه شده و حرارت دهی شده به مدت ۴ دقیقه از ۱۰/۴۰ در زمان صفر به ۲۵/۲۱ بعد از ۱۰ هفته نگهداری رسیده است.

- مطالعات ریزساختاری

شکل ۱ (الف، ب، ج) به ترتیب تصاویر میکروسکوپ الکترونی دانه ذرت خام، ذرت دانه شده و متصل به بلال پخته- منجمد را نشان می دهد. این دو نمونه قبل از نگهداری در دمای ۱۸- درجه‌سانتی‌گراد به مدت ۸ دقیقه حرارت دهی شده اند.

بحث

- بررسی تغییرات کاهش میزان آب

افت آب بیشتر میوه‌ها و سبزی‌ها طی انجمادزدایی شامل مواد محلول از جمله پلی‌ساکاریدها، پروتئین‌ها و مقدار کمی ویتامین‌های محلول در آب و مواد معدنی می‌باشد (Tu *et al*., 2015). نتایج این تحقیق نشان داد که دانه‌های ذرت متصل به بلال در حفظ آب ساختار خود موثرتر از دانه‌های جدا عمل کرده و میزان افت آب آن‌ها

کمتر می‌باشد. احتمالا ذرت دانه شده طی حرارت دهی متحمل تخریب ساختاری بیشتری بوده و میزان نفوذ آب به درون دانه‌ها بیشتر بوده است که منجر به تشکیل کریستال‌های یخ بیشتر و بزرگ‌تر طی نگهداری در دمای انجماد شده‌اند و آب موجود در بافت خود را طی انجمادزدایی به میزان بیشتری از دست می‌دهند. همچنین میزان مواد محلول در آب از دست رفته در مقایسه با نمونه‌های متصل به بلال بیشتر خواهد بود. علاوه بر این با گذشت زمان کریستال‌های یخ بزرگتری تشکیل خواهد شد و کریستالیزاسیون با تخریب ساختار سلولی منجر به از دست رفتن آب بیشتری خواهد شد (Galetto *et al.*, 2010). Sanz و همکاران (۱۹۹۹) گزارش کردند که کریستالیزاسیون با آسیب رساندن به ساختار سلولی منجر به افت رطوبت می‌شود. Suutarinen و همکاران (۲۰۰۰) افت آب ۲۴ درصدی توت فرنگی بعد از انجمادزدایی گزارش کردند، در حالیکه Han و همکاران (۲۰۰۴) افت آب ۲۶ درصدی را مشاهده کردند.

- بررسی فعالیت آنزیم پراکسیداز

آنزیم پراکسیداز به عنوان شاخصی از غیرفعال سازی آنزیم در فرآیند آنزیم بری می‌باشد (Boyes *et al.*, 1997). غیرفعال سازی حرارتی آنزیم‌ها معمولا قابل برگشت است و آنزیم‌ها می‌توانند تحت شرایط معینی دوباره فعالیت خود را بازیابی کنند. گزارش شده است که فعالیت مجدد آنزیم‌ها بعد از غیرفعال شدن توسط حرارت یکی از ویژگی‌های آنزیم پراکسیداز می باشد. فعالیت مجدد پراکسیداز در سیستم‌های مدل مختلف توسط محققان دیده شده است (Rodrigo *et al.*, 1995; Adams *et al.*, 1996). بر اساس نتایج این تحقیق میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز طی حرارت دهی دانه های ذرت کاهش می‌یابد که این مساله را می‌توان به دناتوراسیون بیشتر ساختار آنزیم با افزایش مدت زمان حرارت‌دهی مرتبط دانست. علاوه بر این داده‌ها حاکی از افزایش قابل برگشت (فعالیت مجدد) آنزیم پراکسیداز نمونه‌های ذرت طی نگهداری در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد است. Sitthitrai و همکاران (۲۰۱۵)

جدول ۵- تغییرات بافت (نیوتن) ذرت دانه شده و متصل به بلال پخته شده طی نگهداری انجمادی

زمان (هفته)/ نمونه‌ها	۰	پنجم	دهم
کنترل	۳۰۹۱/۵^{A}±۳۱۲	-	-
دانه ذرت (۴ دقیقه)	۲۴۱۱^{aC}±۱۰۵	۱۹۳۱^{Bb}±۲۵۱	۱۵۵۱^{cB}±۲۲۲
دانه ذرت (۸ دقیقه)	۱۷۱۳^{aE}±۱۱۹	۹۵۹/۵^{bC}±۱۴۱	۸۰۲/۵^{bC}±۲۴۲
دانه ذرت (۱۲ دقیقه)	۱۲۵۹^{aF}±۸۹	۷۰۵^{Bc}±۷۱	۴۲۷/۵^{bE}±۷۱
بلال قطعه شده (۴ دقیقه)	۲۶۲۸^{aB}±۲۱۲	۲۲۰۵^{bA}±۲۰۳	۲۰۱۳^{bA}±۱۰۸
بلال قطعه شده (۸ دقیقه)	۲۰۰۰/۵^{aD}±۱۲۰	۱۶۱۲^{bD}±۱۸۱	۱۳۰۰/۵^{bC}±۱۷۳
بلال قطعه شده (۱۲ دقیقه)	۱۴۸۱^{aF}±۹۲	۷۲۵/۵^{bF}±۷۵	۶۶۲^{abD}±۸۶

* اعداد نشان داده شده میانگین سه تکرار می باشند (±SD).

** حروف کوچک متفاوت در هر ردیف نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار (α<۰/۰۵) است.

*** حروف بزرگ متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار (α<۰/۰۵) است.

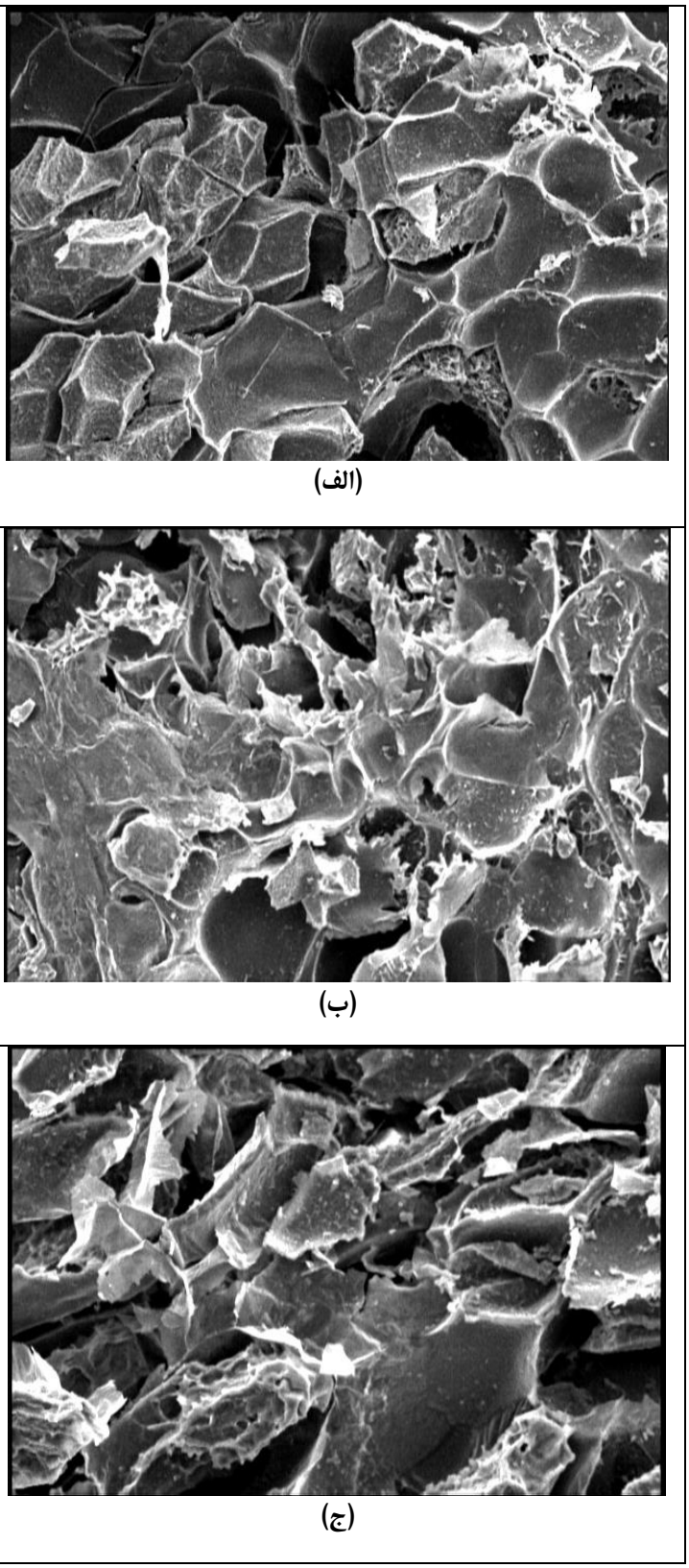
جدول ٦- تغییر رنگ (ΔE) ذرت دانه شده و متصل به بلال پخته شده طی نگهداری انجمادی

زمان (هفته)/ نمونه‌ها	۰	پنجم	دهم
دانه ذرت (۴ دقیقه)	۱۰/۴۰^{cE}	۱۷/۷۴^{bD}	۲۵/۲۱^{aE}
دانه ذرت (۸ دقیقه)	۱۲/۱۷^{cD}	۱۸/۲۱^{bC}	۲۶/۶۷^{aD}
دانه ذرت (۱۲ دقیقه)	۱۳/۳۶^{cC}	۱۸/۹۵^{bC}	۲۶/۹۵^{aD}
بلال قطعه شده (۴ دقیقه)	۲۰/۸۰^{cB}	۲۸/۶۶^{bB}	۳۷/۹۹^{aC}
بلال قطعه شده (۸ دقیقه)	۲۰/۸۰$^{c\ B}$	۲۸/۳۳^{bB}	۳۸/۰۰^{aB}
بلال قطعه شده (۱۲ دقیقه)	۲۱/۱۰^{cA}	۲۹/۱۰^{bA}	۳۸/۵۱^{aA}

* اعداد نشان داده شده میانگین سه تکرار می باشند (±SD).

** حروف کوچک متفاوت در هر ردیف نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار (α<۰/۰۵) است.

*** حروف بزرگ متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار (α<۰/۰۵) است.



(الف)

(ب)

(ج)

شکل ۱- تصاویر میکروسکوپ الکترونی دانه ذرت خام (الف)، ذرت دانه شده ۸ دقیقه پخته شده (ب) و ذرت متصل به بلال ۸ دقیقه پخته شده (ج) نگهداری شده در ۱۸- درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ هفته با بزرگنمایی ۲۰۰ میکرون

روند مشابهی را برای نمونه‌های ذرت برش خورده نگهداری شده در بسته‌بندی‌های اتمسفری طی انجماد گزارش کردند. نتایج این تحقیق نیز مطابق مطالعات Lee and Hammes (۱۹۷۹) و Boyes و همکاران (۱۹۹۷) است، آنها مشاهده کردند که حرارت‌دهی در دمای ۹۹ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه فعالیت آنزیم پراکسیداز را کاملا متوقف کرد. اما فعالیت آنزیم طی نگهداری در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد برای ۹ ماه قابل برگشت بود که دلیل آن را تغییرات کنفورماسیونی (ساختاری) آنزیم طی نگهداری بیان کردند. Gunes و Bayindirh (۱۹۹۳) بیان کردند که غیرفعال سازی کامل آنزیم برای تکمیل فرآیند آنزیم بری مورد نیاز نیست و هدف از آنزیم بری باید پایداری محصولات منجمد طی مدت زمان نگهداری باشد. علت عدم افزایش و ثابت شدن فعالیت آنزیم پراکسیداز دانه‌های ذرت بعد از هفته ششم را می توان به تغییرات ساختاری و/یا توده‌ای شدن[1] آنزیم در نتیجه منجمد شدن نسبت داد.

- بررسی تغییرات ترکیبات فنلی

قابلیت دسترسی زیستی ترکیبات شیمیایی گیاهی[2] تحت تاثیر ماتریکس و ریزساختار غذاها است و آن‌ها در شرایط مختلف نگهداری (نور، اکسیژن و دمای نگهداری) و در معرض فرایند حرارتی دچار تغییرات می‌شوند (Parada and Aguilera, 2007). نتایج این تحقیق نشان داد که در زمان صفر میزان کل ترکیبات فنولی در ذرت دانه شده حرارت دیده بیشتر از دانه‌های متصل به بلال حرارت دیده است. این مساله می‌تواند مربوط به تاثیر فرآیند حرارتی بر ساختار سلولی دانه و تخریب بیشتر دیواره سلولی باشد که منجر به رهایش ترکیبات فنلی و زیست فعال به دام افتاده در ساختارهای سلولی (نواحی فیبری) بیشتری می‌شود. این نتیجه به دست آمده با کارهای محققین پیشین از جمله Dewanto و همکاران (۲۰۰۲) مطابقت داشت. آنها گزارش کردند که فرولیک اسید، یک ترکیب فنولی موجود در دیواره سلولی دانه‌ها از جمله ذرت، گندم و جو، بعد از ۱۰ دقیقه پختن دو برابر شد و بعد از ۵۰ دقیقه تا ۹۰۰ ٪ افزایش یافت. Chism و Haard (۱۹۹۶) نتایج تحقیقات خود را این گونه بیان کردند که فرایند حرارتی می‌تواند با تخریب اجزاء سلولی منجر به رهایش بیشتر ترکیبات فنولی متصل شود.

بنابر نتایج آنالیز واریانس میزان ترکیبات فنلی دانه های ذرت طی ۴ هفته اول نگهداری در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد ابتدا روند افزایشی را نشان داد و سپس تا هفته دهم میزان کل ترکیبات فنلی کاهش یافت. دلیل کاهش ترکیبات فنولی طی دوره نگهداری احتمالا مربوط به تجزیه (اکسیداسیون) فرولیک اسید آزاد رها شده از فرم‌های متصل استری شده و نامحلول می‌باشد (Dewanto *et al.*, 2002). Sitthitrai و همکاران (۲۰۱۵) نتایج مشابهی را طی نگهداری ذرت در دمای انجماد مشاهده کردند به این نحو که در مراحل اولیه و طی یک ماه نگهداری میزان ترکیبات فنلی افزایش و سپس تا ماه ششم کاهش یافت. شاید بتوان افزایش اولیه ترکیبات فنلی طی نگهداری انجمادی را به افت آب بیشتر در ماه اول نسبت داد. همچنین تشکیل کریستال‌های یخ با کاهش آب پراکنده موجود در محیط درونی سبزیجات می‌تواند منجر به افزایش غلظت این ترکیبات در دانه ها شود. با این حال ذرت با داشتن ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و فنولی در ساختار خود می‌تواند یک غذای سالم و غنی از ترکیبات بیواکتیو در مقایسه با سایر غذاهای گیاهی معرفی شود. گزارشات دیگری مبنی بر کاهش این ترکیبات طی نگهداری در حالت انجماد در اسفناج، ذرت شیرین، نخودفرنگی (BajC˘an *et al.*, 2013)، آب‌انار (Mirsaeedghazi *et al.*, 2014) و همچنین اسفناج (Bunea *et al.*, 2008) وجود دارد. نتایج تحقیق حاضر با BajCan و همکاران (۲۰۱۳) نیز تطابق داشت. آنها نیز گزارش کردند ترکیبات فنلی کل ذرت شیرین طی نگهداری در دمای انجماد در ماه اول تا ۲۰ درصد افزایش و سپس کاهش یافت و دلیل آن را با افت آب مرتبط دانستند. اگرچه مکانیسم دقیق آن مشخص نیست.

- بررسی تغییرات فعالیت آنتی‌اکسیدانی

فعالیت آنتی‌اکسیدانی ذرت‌های پخته و منجمد شده به عوامل مختلفی از جمله ساختارهای گیاه، شرایط بسته‌بندی

[1] Enzyme Aggregation [2] Phytochemicals

و مدت زمان نگهداری بستگی دارد (Dewanto *et al*., 2002; Martınez *et al*., 2013). کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی ذرت بعد از فرایند حرارتی به دلیل حساسیت ساختاری این ترکیبات زیست فعال می باشد. علاوه بر این از آنجا که ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و فنولی هر دو از گروه ترکیبات زیست فعال هستند، هر دو روند مشابهی طی نگهداری نمونه های ذرت در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد دنبال کرده‌اند و دلایل روند افزایشی ابتدایی و سپس کاهشی این ترکیبات سلامتی بخش در بخش قبلی مربوط به بررسی تغییر ترکیبات فنولی آمده است. Bajčan و همکاران (۲۰۱۳) نیز در مقایسه فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌های ذرت شیرین، اسفناج و نخودفرنگی بیان کردند که بالاترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی مربوط به نمونه ذرت شیرین بود که طی نگهداری انجمادی از ماه سوم تا دهم کاهش قابل توجهی در فعالیت آنتی اکسیدانی آن مشاهده شد. علاوه بر این نتایج این تحقیق با Sitthitrai و همکاران (۲۰۱۵) نیز مطابقت داشت.

- بررسی تغییرات بافت

بافت بسیاری از غذاهای گیاهی یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های حسی در انتخاب توسط مصرف کننده‌هاست که توسط ترکیب دیواره سلولی و محتویات آن تعیین می‌شود. تغییر سفتی میوه‌ها و سبزی‌ها، به میزان رطوبت موجود در آن‌ها و تغییرهای متابولیسمی حین نگهداری بستگی دارد (Chiang and Luo, 2007). بنابر یافته های این تحقیق سفتی نمونه‌های ذرت منجمد طی دوره نگهداری کاهش می‌یابد که میزان این کاهش در دانه‌های ذرت متصل به بلال کمتر است. کاهش سفتی مربوط به کریستالیزاسیون یخ طی فرایند انجماد می‌باشد که منجر به آسیب سلولی و به‌دنبال آن تغییرات بافتی می‌گردد (Sanz *et al*., 1999). در واقع ساختار دانه‌های متصل به بلال در تحمل دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد و همچنین حرارت دهی قبل از انجماد نسبت به ذرت دانه شده موفقیت‌آمیزتر عمل کرده‌اند. احتمالا ساختار به شدت چسبیده بهم دانه‌های متصل به بلال در مقایسه با ذرت دانه شده در برابر آسیب‌های سرمایی مقاوم تر و با گذشت ۱۰ هفته در این دانه‌ها تعداد کریستال‌های بزرگ تشکیل شده کمترتر از دانه‌های جدا بوده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که بلال در کاهش آسیب‌های بافتی و بهبود بافت پس از انجمادزدایی نقش موثری داشته است. Tu و همکاران (۲۰۱۵) نیز کاهش قابل ملاحظه‌ای در سفتی بافت lotus root در مقایسه با نمونه شاهد بعد از انجمادزدایی گزارش کردند. کریستال‌های یخ تشکیل شده در سلول‌ها طی انجماد باعث تخریب سلول‌ها و بنابراین افت تورم سلول‌های زنده گیاهی طی انجمادزدایی می‌شوند.

- بررسی تغییرات رنگ

بنابر یافته‌های این پژوهش نگهداری در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد باعث افزایش میزان تغییر رنگ دانه‌های ذرت طی نگهداری به مدت ۱۰ هفته شده است. تغییر رنگ نمونه‌ها بدان دلیل می‌باشد که طی فرآیند انجمادزدایی، سبزی‌ها می‌توانند به آرامی آب خود را از دست داده و دهیدراته شوند (Dicsev, 1972) و همان‌طور که در قسمت قبل توضیح داده شد این اتفاق منجر به افت آب دانه‌ها طی انجماد می‌گردد. در نتیجه افت آب بیشتر ذرت‌های دانه شده غلظت رنگدانه‌ها در آن‌ها افزایش یافته، این مساله موجب می‌گردد که میزان تغییر رنگ آنها در مقایسه با دانه‌های متصل به بلال کمتر باشد. اگرچه اختلاف تغییرات رنگ در ذرت‌های دانه شده و متصل به بلال با گذشت زمان در هفته‌های پنجم و دهم کمتر شده است. گویی در این حالت زمان و دمای انجماد بر فرآیندهای حرارتی دانه‌های ذرت غلبه کرده و نقش چشمگیرتری در تغییر رنگ نمونه‌ها ایفا کرده‌اند. همچنین در دمای انجماد سرعت واکنش‌های بیوشیمیایی و تخریب‌های شیمیایی کاهش می‌یابد و دماهای پایین انجماد در کنترل تغییرات رنگ عملکرد موثرتری دارند. Scott و Eldridge (۲۰۰۵) نیز در مقایسه میزان کاروتنوئید در سه نمونه ذرت تازه، کنسرو شده و منجمد بدین نتیجه دست یافتند که کنسرو کردن میزان کاروتنوئیدهای ذرت را کاهش نمی‌دهد. این درحالی است که فرآیند انجماد میزان کاروتنوئیدها را افزایش داده و بنابراین بر فواید سلامتی بخش و قابلیت دسترسی زیستی دانه تاثیر می‌گذارد. Sitthitrai و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی تغییرات لوتئین و زئاگزانتین دانه‌های ذرت نگهداری

شده در حالت منجمد به مدت ۶ ماه گزارش کردند که پروفایل تغییرات رنگ دانه‌های ذرت به شدت به نحوه بسته‌بندی و مدت زمان نگهداری وابسته است. میزان لوتئین و زئاگزانتین در دانه‌های منجمد پس از یک ماه نگهداری شروع به کاهش کرد که در نتیجه تغییرات رنگ را در پی داشت.

- مطالعات ریزساختاری

همانطور که در تصاویر میکروسکوپ الکترونی دیده می‌شود در نمونه ذرت خام ساختار سلولی به صورت جزئی آسیب دیده که در نتیجه تصعید یخ در مراحل آماده سازی برای تهیه تصاویر میکروسکوپ الکترونی می‌باشد، اما اساسا سلول‌ها به خوبی و با نظم کنار یکدیگر قرار گرفته اند. پس از فرایند حرارتی و انجماد نیز سلول‌ها بنظر پاره و غیرمنظم در شکل می‌باشند و از دست رفتن برخی مواد آمورف و تخریب بافت مشاهده می‌شود. تصویر (ب) مربوط به ذرت دانه شده در مقایسه با تصویر (ج) مربوط به دانه متصل به بلال تخریب ساختاری و تعداد حفرات سلولی بیشتری را نشان می‌دهد که با توجه به نتایج سفتی بافت می‌تواند حاکی از تاثیر عمیق تر حرارت و سرما بر ذرت‌های دانه شده می باشد.

نتیجه‌گیری

بنابر یافته‌های این تحقیق زمان اعمال فرایند حرارتی، بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی ذرت طی نگهداری در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد تاثیر معنی داری دارد. بطوری که با افزایش زمان حرارت‌دهی از ۴ دقیقه تا ۱۲ دقیقه روند تغییر این ویژگی‌ها بیشتر می‌شود. نگهداری انجمادی ذرت برای مدت ۱۰ هفته موجب می‌گردد میزان افت آب دانه‌های ذرت افزایش و سفتی بافت کاهش یابد. که دانه‌های ذرت متصل به بلال در زمینه حفظ آب نسبت به ذرت دانه شده بهتر عمل می‌کنند. تصاویر میکروسکوپ الکترونی نیز تخریب ساختاری بیشتر ذرت دانه شده را نسبت به متصل به بلال تایید می‌کنند. همچنین نگهداری در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد باعث افزایش میزان تغییر رنگ دانه‌های ذرت می گردد که میزان آن در دانه‌های متصل به بلال در مقایسه با ذرت دانه شده بیشتر می‌باشد. میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز تا اواسط دوره نگهداری (هفته ششم) با گذشت زمان افزایش یافت که میزان این افزایش در ذرت دانه شده بیشتر از دانه‌های ذرت متصل به بلال بود. اما پس از آن به وضعیت ثابت و پایداری رسید و اختلاف معنی‌داری میان آنها دیده نشد. بعلاوه تا اواسط دوره نگهداری میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی و فنول کل افزایش و سپس کاهش یافت. دانه های متصل به بلال روند تغییرات فنول کل بیشتری نشان می دادند، در حالی که قدرت مهار رادیکال های آزاد بین ذرت دانه شده و متصل به بلال از نظر آماری تفاوتی نداشت.

منابع

افشاری جویباری، ح. و فرحناکی، ع. (۱۳۸۸). امکان استفاده از نرم افزار فتوشاپ برای اندازه‌گیری رنگ مواد غذایی بررسی تغییرات رنگ خرمدای مضافتی بم در طی رساندن مصنوعی پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، سال ۵ ، شماره ۱ ، صفحات ۳۷-۴۶.

بی‌نام. (۱۳۷۴). روش اندازه‌گیری رطوبت خام غلات و فرآورده‌های آن. استاندارد ملی ایران، شماره ۲۷۰۵، چاپ اول.

بی‌نام. (۱۳۷۴). روش اندازه‌گیری پروتئین خام غلات و فرآورده های آن. استاندارد ملی ایران، شماره ۲۸۶۳ ، چاپ اول.

بی‌نام. (۱۳۶۷). روش اندازه‌گیری چربی غلات و فرآورده‌های آن. استاندارد ملی ایران، شماره ۲۸۶۲، چاپ اول.

Adams, J. B., Harvey, A. & Dempsey, C. E. (1996). Regenerated and denaturated peroxidase as potential lipid oxidation catalysts. Food Chemistry, 57(4), 505–514.

Awad, T. S., Moharram, H. A., Shaltout, O. E., Asker, D. & Youssef, M. M. (2012). Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. Food Research International, 48(2), 410-427.

Bajčan, D., Tomáš, J., Uhlířová, G., Arvay, J., Trebichalský, P., Stanovič, R. & Šimanský, V. (2013). Antioxidant potential of spinach, peas and sweet corn in relation to freezing period. Czech Journal of Food Science, 31, 613-618.

Boyes, S., Chevis, P., Holden, J. & Perera, C. (1997). Microwave and water blanching of corn kernels: control of uniformity of heating during microwave blanching. Journal of Food Processing and Preservation, 21 (6), 461-484.

Bunea, A., Andjelkovic, M., Socaciu, C.,

Bobis, O., Neacsu, M., Verhe, R. & Camp, J.V. (2008). Total and individual carotenoids and phenolic acids content in fresh, refrigerated and processed spinach. Food Chemistry, 108 (2), 649-656.

Chiang, P. Y. & Luo, Y. (2007). Effects of pressurized cooking on the relationship between the chemical compositions and texture changes of lotus root (Nelumbo nucife ra Gaertn.). Food Chemistry, 105, 480-484.

Chism, G. W. & Haard, N. F. (1996). Characteristics of edible plant tissues, In Food Chemistry, 3rd ed., edited by Fennema, O. R., Dekker: New York, pp. 943-1011.

Dewanto, V., Wu, X. & Liu, R. H. (2002). Processed sweet corn has higher antioxidant activity. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 50 (17), 4959-4964.

Dicsev, S. (1972). Weight loss in vegetables during freezing. Huetoeipar 19, 33–36.

Galetto, C. D., Verdini, R. A., Zorrilla, S. E. & Rubiolo, A. A. (2010). Freezing of strawberries by immersion in CaCl2 solutions. Food Chemistry, 123 (2), 243-248.

Güneş, B. & Bayindirli, A. (1993). Peroxidase and lipoxygenase inactivation during blanching of green beans, green peas and carrots. LWT-Food Science and Technology, 26 (5), 406-410.

Han, C., Zhao, Y., Leonard, S. W. & Traber, M. G. (2004). Edible coatings to improve storability and enhance nutritional value of fresh and frozen strawberries (Fragaria x ananassa) and raspberries (Rubus ideaus). Postharvest Biology and Technology, 33, 67–78.

Kiani, H. & Sun, D. W. (2011). Water crystallization and its importance to freezing of foods: a review. Trends in Food Science and Technology, 22, 407-426.

Kidmose, U. & Martens, H. J. (1999). Changes in texture, microstructure and nutritional quality of carrot slices during blanching and freezing. Journal of the Science of Food and Agriculture, 79, 1747–1753.

Lee, Y.C. & Hammes, J. K. (1979). Heat inactivation of peroxidase in corn-on-the-cob. Journal of Food Science, 44(3), 785-787.

Martínez, S., Pérez, N., Carballo, J. & Franco, I. (2013). Effect of blanching methods and frozen storage on some quality parameters of turnip greens ("grelos"). LWT-Food Science and Technology, 51(1), 383-392.

Mazzeo, T., Paciulli, M., Chiavaro, E., Visconti, A., Fogliano, V., Ganino, T. & Pellegrini, N. (2015). Impact of the industrial freezing process on selected vegetables -Part II. Colour and bioactive compounds. Food Research International, 75, 89-97.

Mirsaeedghazi, H., Emam-Djomeh, Z. & Ahmadkhaniha, R. (2014). Effect of frozen storage on the anthocyanins and phenolic components of pomegranate juice. Journal of Food Science and Technology, 51(2), 382-386.

Paciulli, M., Ganino, T., Pellegrini, N., Rinaldi, M., Zaupa, M., Fabbri, A. & Chiavaro, E. (2015). Impact of the industrial freezing process on selected vegetables — Part I. Structure, texture and antioxidant capacity. Food Research International, 74, 329-337.

Parada, J. & Aguilera, J. M. (2007). Food microstructure affects the bioavailability of several nutrients. Journal of Food Science, 72 (2), R21-R32.

Petzold, G., Caro, M. & Moreno, J. (2014). Influence of blanching, freezing and frozen storage on physicochemical properties of broad beans (Vicia faba L). International journal of refrigeration, 40, 429-434.

Rodriguez-Saona, L. E., Barrett, D. M. & Selivonchick, D. P. (1995). Peroxidase and lipoxygenase influence on stability of polyunsatu-rated fatty acids in sweet corn (Zeamays L.) during frozen storage. Journal of Food Science, 60 (5), 1041–1044.

Sanz, P. D., De Elvira, C., Martino, M., Zartzky, N., Otero, L. & Carrasco, J. A. (1999). Freezing rate simulation as an aid to reducing crystallization damage in foods. Meat Science, 52(3), 275-278.

Scott, C. E. & Eldridge, A. L. (2005). Comparison of carotenoid content in fresh, frozen and canned corn. Journal of Food Composition and Analysis, 18 (6), 551-559.

Shao, X. & Li, Y. (2011). Quality control of fresh sweet corn in controlled freezing-point storage. African Journal of Biotechnology, 10 (65), 14534-14542.

Sitthitrai, K., Ketthaisong, D., Lertrat, K. & Tangwongchai, R. (2015). Bioactive, antioxidant and enzyme activity changes in frozen, cooked, mini, super-sweet corn (Zea mays L. saccharata 'Naulthong'). Journal of Food Composition and Analysis, 44, 1–9.

Steffe, J. F. (1996). Rheological methods in food process engineering (pp. 295–349). East Lansing, MI: Freeman Press.

Suutarinen, J., Honkapää, K., Heiniö, R. L., Autio, K. & Mokkila, M. (2000). The effect of different prefreezing treatments on the structure of strawberries before and after jam making. Lebensmittel-Wissenschaft Und-Technologie-Food Science and Technology, 33, 188–201.

Tu, J., Zhang, M., Xu, B. & Liu, H. (2015). Effects of different freezing methods on the quality and microstructure of lotus (Nelumbo nucifera) root. International Journal of Refrigeration, 52, 59-65.