بررسی اثر روش خنک کردن تحت خلاء بر برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و میکروبی کیک روغنی

معصومه مالمیر[a]، بابک غیاثی طرزی[b]*، غلامحسن اسدی[b]، حسین میرسعید قاضی[c]، بابک دلخوش[d]

[a] دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
[b] استادیار دانشکده علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
[c] استادیار مهندسی صنایع غذایی، گروه فناوری صنایع غذایی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران
[d] استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۱۱/۱۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۲/۲۹

چکیده

مقدمه: در صنعت پخت نیاز است تا محصولات به محض خروج از فر و قبل از بسته‌بندی خنک شوند تا از کندانسه شدن بخار درون بسته جلوگیری شود. هدف از این تحقیق ساخت سیستم خنک کننده تحت خلاء و بررسی مقایسه ای اثرات استفاده از روش‌های متفاوت خنک کردن بر روی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و میکروبی کیک روغنی بوده است.

مواد و روش‌ها: نمونه‌ها بعد از پخت، به سه روش متفاوت خنک کردن توسط هوای ساکن (۲۴°C)، توسط هوای متحرک (سرعت هوای ۱/۵ متر بر ثانیه) و در روش سوم نمونه‌ها تحت خلاء (۴۰ میلی بار) خنک گردیدند. فرایند خنک سازی نمونه‌ها با رسیدن دمای مرکز آنها به ۳۰ درجه سلسیوس پایان یافت. در هر سه روش، زمان خنک کردن، افت وزنی، میزان رطوبت، فعالیت آبی، سفتی بافت و ویژگی‌های حسی کیک‌ها مورد ارزیابی قرار گرفتند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که خنک کردن تحت خلاء در زمان بسیار کمتری (۹۴ ثانیه) انجام شد و بیشترین افت وزنی (۴/۵۸ درصد) را در مقایسه با دو روش دیگر دارد ($p<0.01$). همچنین کیک خنک شده تحت خلاء دارای بافت سفت‌تر و میزان رطوبت و فعالیت آبی و بار میکروبی کمتری بود ($P<0.01$). تفاوت معنی‌داری بین نمونه‌های خنک شده توسط هوای ساکن و هوای متحرک در صفات فعالیت آبی و سفتی بافت کیک وجود نداشت. ارزیابی حسی نیز بیانگر آن بود که نمونه‌های کیک خنک شده تحت خلاء بافت خشک‌تری نسبت به دو نمونه دیگر دارند، با این وجود در پذیرش کلی نمونه ها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

نتیجه‌گیری: خنک کردن تحت خلاء مزایای بسیاری از جمله کاهش زمان خنک کردن و کاهش بار میکروبی محصولات را موجب می شود. در نتیجه انتظار می‌رود استفاده از این روش در آینده کاربرد بیشتری داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: *افت وزنی، خنک کردن تحت خلاء، خنک کردن توسط هوا، زمان خنک کردن، سفتی، کیک*

* نویسنده مسئول مکاتبات email: babakghiassi@hotmail.com

مقدمه

محصولات پخت شامل کیک و نان یکی از اجزای مهم در رژیم غذایی در بیشتر کشورها وفرهنگ‌ها می‌باشند. این محصولات منبع با ارزشی از مواد مغذی در رژیم غذایی هستند و کالری و حدود نیمی از پروتئین موردنیاز مصرف کنندگان را فراهم می‌نمایند. مواد مغذی در محصولات پخت شامل کربوهیدرات‌ها، پروتئین، چربی، ویتامین‌ها و مواد معدنی می‌باشد (Saranraj & Geetha, 2012).

خنک‌سازی تحت خلاء به عنوان روشی جدید برای خنک کردن سریع مواد مرطوب مطرح شده است. این امر برای فرآوری برخی از محصولات که در آن‌ها میکروارگانیسم‌ها به طور سریع رشد می‌کنند، حیاتی است. به همین دلیل، از این فناوری در صنایع غذائی و دارویی استفاده می شود. این روش در تمامی محصولات غذایی که آب را به صورت آزاد در خود دارند و همچنین محصولاتی که خروج آب از آنها باعث تخریب و فروپاشی بافت آنها نمی‌شود مورد استفاده قرار می‌گیرد. خنک کردن تحت خلاء از طریق تبخیر قسمتی از رطوبت[1] محصول تحت شرایط خلاء به دست می‌آید. مهمترین شاخصه ی این روش سرعت خنک کردن بالای آن است که توسط روش‌های متداول به دست نمی‌آید. در گذشته‌ها این روش برای حذف گرمای حاصل از تنفس سبزی‌های برگی بعد از برداشت به منظور افزایش ماندگاری محصولات به کار برده می‌شده است (Anon, 1981). سپس کاربرد آن به بخش‌های دیگر صنعت غذا مثل صنایع پخت (کیک و محصولات قنادی و نانوایی)، شیلات و غذاهای حاوی قطعات ریز[2]توسعه پیدا کرده است (Sun & Zheng, 2006).

در فشار یک اتمسفری آب در ۱۰۰ درجه سلسیوس می‌جوشد و در صورتی که فشار به زیر یک اتمسفر کاهش داده شود آب در دمای پایین‌تری خواهد جوشید. در صورتیکه محصولی دارای آب آزاد، در یک ظرف دربسته که فشار آن از طریق پمپ خلاء کاهش یافته، قرار داده شود، اختلاف فشار بین آب در محصول و محیط موجب می‌شود آب تبخیر شود و بخار تولید شده در محیط اطراف آزاد شود. گرمای نهان[3] مورد نیاز برای تبخیر آب از طریق تبدیل گرمای محسوس محصول حاصل می‌شود و در نتیجه دمای محصول کاهش یافته و محصول خنک می‌شود. بخار تولید شده باید به طور مداوم تخلیه شود وگرنه درون ظرف تجمع پیدا می‌کند و فرایند خنک کردن را متوقف می‌کند. دمای نهایی محصول می‌تواند به دقت توسط تنظیم کردن فشار نهایی محیط کنترل شود که معمولا به کمتر از ۶/۵ میلی بار برای فراورده‌های غذایی نمی‌رسد وگرنه ممکن است یخزدگی اتفاق بیفتد که موجب تخریب فراورده می‌شود (McDonald & Sun, 2000).

در صنعت پخت نیاز است تا محصولات به محض خروج از فر و قبل از بسته‌بندی خنک شوند تا از کندانسه شدن بخار درون بسته جلوگیری شود. خنک کردن تحت خلاء یک روش سریع خنک کردن برای محدوده‌ی وسیعی از محصولات پختنی شامل انواع نان‌ها و کیک‌ها می باشد (Anon, 2004). در حال حاضر این روش به طور تجاری برای بعضی محصولات نانوایی در ایتالیا استفاده می‌شود مانند پنتونی[4]، که یک کیک تخمیر شده ایتالیایی است و با استفاده از این روش می‌تواند در ۴ دقیقه خنک شود، در حالیکه توسط هوا خنک کردن تا ۲۴ ساعت به طول می‌انجامد (Everington, 1993).

هدف از این مطالعه طراحی سیستم خنک کردن تحت خلا و بررسی اثرات استفاده از این روش برروی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و میکروبی کیک روغنی و مقایسه آن با روش‌های متداول می‌باشد.

مواد و روش‌ها

- سیستم خنک کننده تحت خلاء

در این تحقیق جهت نگهداشتن خلاء، محفظه ای به حجم ۶/۸ لیتر از جنس استیل زنگ نزن ساخته شد و از پمپ خلاء تیغه ای چرخشی شرکت JB آمریکا مدل DV-85 با قدرت مکش ۸۵ لیتر بر دقیقه استفاده شد. جهت کندانس کردن بخارات حاصل از فرایند و جلوگیری از ورود بخارات به داخل پمپ خلاء و تسریع سرعت واکنش از یک مبرد شیشه‌ای دو لوله‌ای استفاده گردید، از لوله داخلی بخار عبور کرده و از فاصله بین دو لوله نیز آب سرد عبور کرده و با جذب حرارت، بخارات به مایع تبدیل شدند. همچنین

[1] Water Evaporation [2] Particulate Foods [3] Latent Heat of Evaporation [4] Panetonni

جهت اندازه گیری و ثبت دمای مرکز کیک موجود در داخل محفظه خلاء، از حسگرهای PT100 که متصل به دیتالاگر بودند، استفاده شد و و داده‌های حاصل به کامپیوتر متصل به سیستم منتقل شد (شکل ۱).

- تهیه و آماده سازی نمونه‌های کیک

خمیر کیک با فرمولاسیون مشخص (جدول ۱) به روش مخلوط کردن یک مرحله‌ای تهیه و در فر با دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس در قالب‌های کیک ۳۰۰ گرمی پخته شد.

خنک کردن نمونه‌های کیک شامل سه روش خنک کردن توسط هوای ساکن (در دما و فشار محیط)، توسط هوای متحرک (در دما و فشار محیط، مقابل پنکه با سرعت هوای ۱/۵ متر بر ثانیه) و تحت خلاء (۴۰ میلی بار) انجام گرفت و با رسیدن دمای مرکز آنها به دمای ۳۰ درجه سلسیوس پایان یافت.

- روش‌های انجام آزمون‌ها

- اندازه‌گیری زمان خنک‌کردن

نمونه‌های کیک به محض خروج از فر، در شرایط تحت بررسی قرار گرفته و زمان لازم جهت رسیدن دمای مرکز کیک به ۳۰ درجه سلسیوس با استفاده از کرنومتر اندازه‌گیری شد. دمای مرکز نمونه‌های کیک در روش خنک کردن تحت خلاء توسط حسگر دما که در مرکز کیک قرار داده شده بود و در دو روش دیگر توسط دماسنج جیوه‌ای اندازه گیری شد.

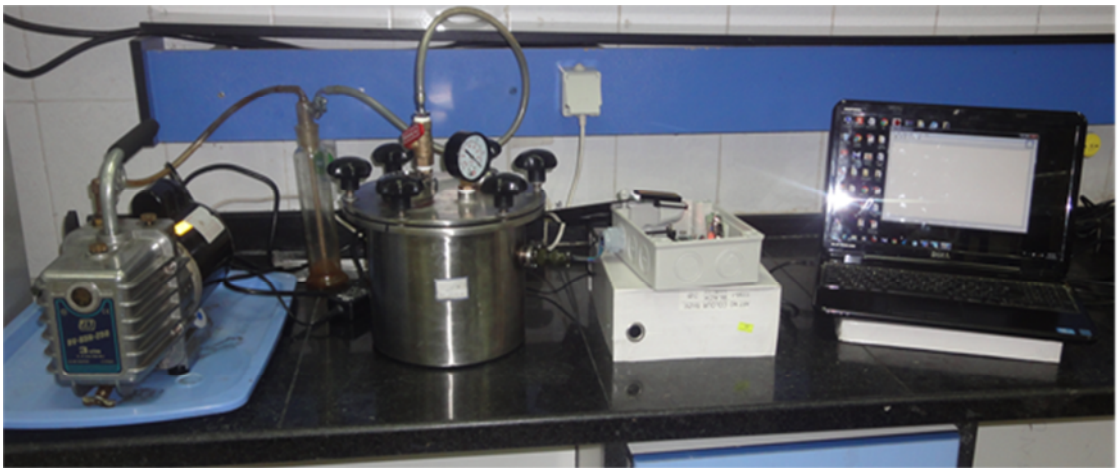
- ارزیابی فیزیکوشیمیایی، میکروبی و حسی کیک

برای اندازه‌گیری درصد افت وزنی، نمونه‌های کدگذاری شده قبل و بعد از پخت با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شده و درصد افت وزنی محاسبه شد.

به شماره ۱۱-۴۴ استفاده شد. AACC جهت تعیین رطوبت نمونه‌های کیک از روش استاندارد

فعالیت آبی نمونه‌های کیک مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۱۵۵۹ با کمک دستگاه اندازه‌گیری فعالیت آبی Novasina محاسبه شد.

تغییرات بافتی ناشی از تاثیر روش‌های مختلف خنک کردن به وسیله دستگاه بافت‌سنج Testometric مدل M350-10CT ارزیابی گردید. شرایط آزمون تراکمی به این صورت بود که ابتدا نمونه‌ها به شکل قطعات مکعب به ابعاد ۲/۵ × ۲/۵× ۲/۵ سانتی‌متری برش داده شدند، سپس توسط یک پروب باقطر ۵۰ میلی‌متر با سرعت *mm/min* ۵۰ به میزان ۵۰ درصد فشرده شدند، میزان نیروی فشاری وارد شده به نمونه برحسب نیوتن گزارش شد (Chaiya & Pongsawatmanit, 2011).



شکل ۱- سیستم خنک کننده تحت خلاء

جدول ۱- ترکیب خمیر کیک

ترکیبات	آرد	شکر	آب	تخم مرغ	روغن	قند اینورت	امولسیفایر	بیکینگ پودر
درصد	۳۶	۲۰	۱۷/۵	۱۱	۱۰	۳	۱/۵	۱

شمارش کلی میکروارگانیزم‌ها طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۵۲۷۲ انجام گرفت. از محیط کشت پلیت کانت آگاراستفاده شد و به صورت پورپلیت کشت داده شد و پس از گرمخانه‌گذاری در دمای ۳۰ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت تعداد میکروارگانیزم‌های قابل شمارش در هر گرم نمونه محاسبه گردیدند.

آزمون‌های حسی شامل بافت، مرطوب بودن بافت، قابلیت جویدن و پذیرش کلی توسط یک گروه ارزیاب حسی ۱۵ نفره با استفاده از تست هدونیک پنج نقطه‌ای انجام گردیدند.

- تجزیه و تحلیل آماری

بررسی و تجزیه و تحلیل داده‌ها به وسیله تجزیه واریانس و بر اساس طرح فاکتوریل بر پایه طرح کاملا تصادفی و در سطح معنی‌داری ۱٪ به وسیله نرم‌افزار SPSS انجام گرفته است و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن صورت گرفت. جهت تجزیه و تحلیل داده‌های بدست آمده از آزمون ارزیابی حسی از تست فریدمن استفاده گردید.

یافته‌ها

نمودار ۱ زمان لازم جهت خنک کردن مرکز کیک تا دمای ۳۰ درجه سلسیوس را نشان می‌دهد. روش‌های خنک کردن AC[1]، FAC[2] و VC[3] که به ترتیب خنک کردن توسط هوای ساکن، خنک‌کردن توسط هوای متحرک و خنک کردن تحت خلاء می‌باشند، از نظر این فاکتور اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری در سطح ۱٪ داشتند.

با توجه به نتایج نمودار ۲ بین میزان افت وزنی خنک کردن سه روش مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری ($p<0.01$) مشاهده شد. بطوریکه نمونه AC پایین ترین افت وزنی را دارا بود و نمونه VC دارای بالاترین افت وزنی نسبت به سایر نمونه ها بوده است.

همانطور که در نمودار ۳ مشاهده می‌شود، روش‌های AC و FAC از لحاظ آماری در میزان رطوبت اختلاف معنی‌داری نسبت بهم نداشتند ($p>0.05$)، و روشVC نسبت به سایر روش‌ها اختلاف معنی‌داری پیدا کرده است ($p<0.01$)، به طوریکه کمترین رطوبت کیک در روش خنک کردن تحت خلاء مشاهده شده است.

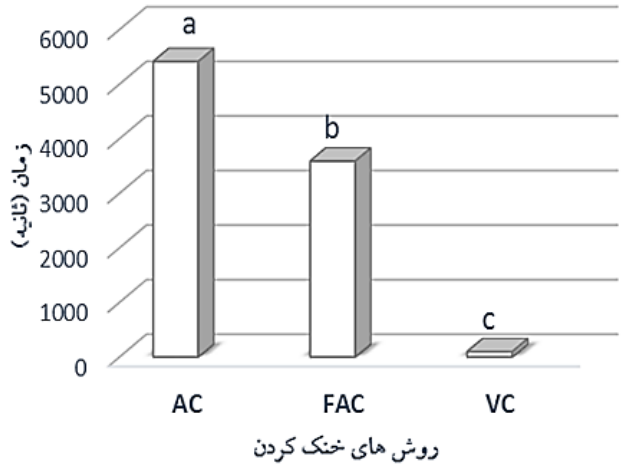
همانطور که در نمودار ۴ مشاهده می‌شود، روش‌های AC و FAC در میزان فعالیت آبی اختلاف معنی‌داری نسبت بهم نداشتند ($p>0.05$)، ولی روش خنک کردن VC نسبت به سایر روش‌ها اختلاف معنی‌داری پیدا کرده است ($p<0.01$)، به طوریکه کمترین فعالیت آبی کیک در روش خنک کردن تحت خلاء مشاهده شده است.

همان طور که مشاهده می‌شود با توجه به نتایج آزمون دانکن که در نمودار ۵ نشان داده شده است، روش‌های AC و FAC اختلاف معنی‌داری در میزان سفتی بافت نسبت به یکدیگر نداشتند و روش VC، از لحاظ آماری در میزان سفتی بافت اختلاف معنی‌داری رانسبت به سایر تیمارها دارا می‌باشد ($p<0.01$). بطوریکه در روش خنک کردن تحت خلاء، سفتی بافت نمونه های کیک نیز افزایش یافته است.

با توجه به نمودار ۶ تمامی نمونه‌ها در میزان شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها اختلاف معنی‌داری نسبت به یکدیگر داشتند ($p<0.01$). بطوریکه نمونهAC بالاترین شمارش میکروبی را دارا بود و نمونه VC دارای پایین‌ترین شمارش میکروبی نسبت به سایر نمونه‌ها بوده است.

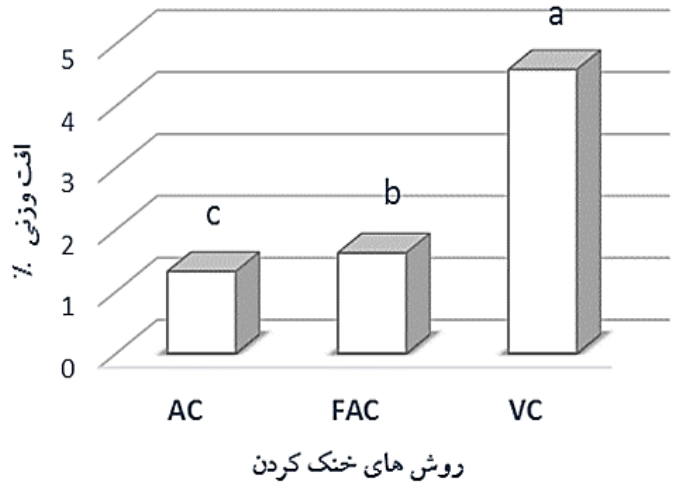
جدول ۲ بیانگر نتایج مربوط به آزمون فریدمن می‌باشد، براساس این جدول نمونه‌های کیک خنک شده توسط هوای ساکن، هوای متحرک و تحت خلاء از لحاظ ویژگی‌های احساس دهانی و پذیرش کلی اختلاف معنی‌داری نداشته‌اند ($p>0.05$) و رتبه‌بندی اعتبار نمی‌یابد، اما از لحاظ بافت و مرطوب بودن اختلاف معنی‌داری را نشان دادند ($p<0.05$) و رتبه بندی اعتبار می‌یابد. براساس جدول ۳ نمونه خنک شده توسط هوای ساکن بالاترین امتیاز را از لحاظ ویژگی بافت و مرطوب بودن برخوردار بوده است و کمترین امتیاز متعلق به نمونه خنک شده تحت خلاء بوده است.

[1] Air Cooling [2] Forced Air Cooling [3] Vacuum Cooling



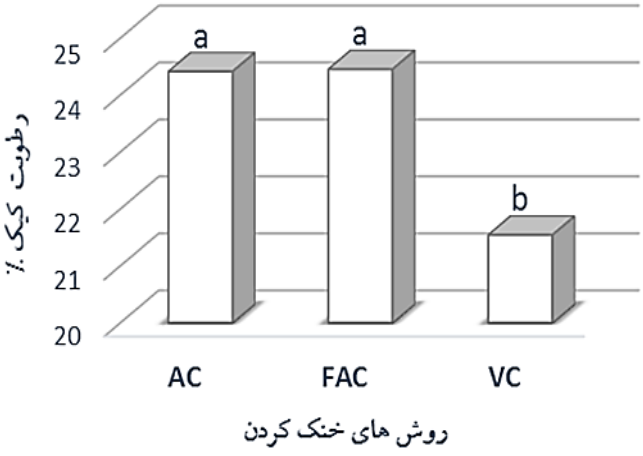
نمودار۱- مقایسه میانگین زمان لازم جهت خنک کردن مرکز کیک تا دمای ۳۰ درجه سلسیوس

* حروف لاتین متفاوت در نمودارها نشان دهنده معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها در سطح ۰/۰۱می‌باشد.



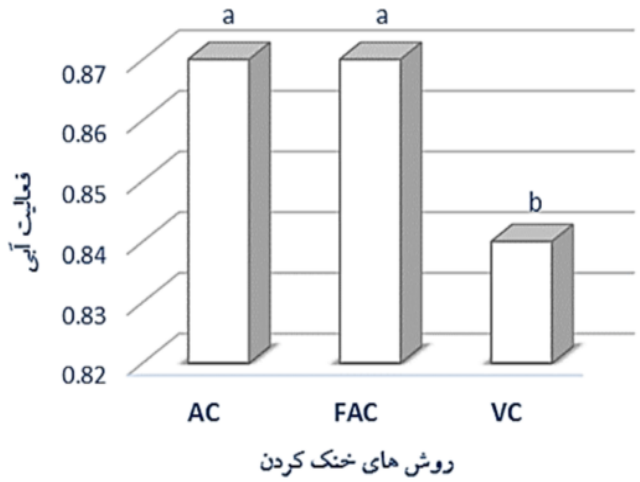
نمودار۲- مقایسه میانگین افت وزنی خنک کردن

* حروف لاتین متفاوت در نمودارها نشان دهنده معنی دار بودن اختلاف میانگین‌ها در سطح ۰/۰۱می باشد.



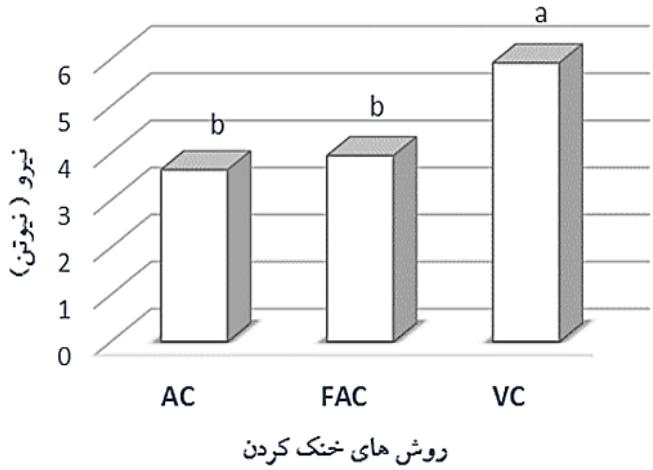
نمودار ۳- مقایسه میانگین رطوبت نمونه های کیک

* حروف لاتین متفاوت در نمودارها نشان دهنده معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها در سطح ۰/۰۱می‌باشد.



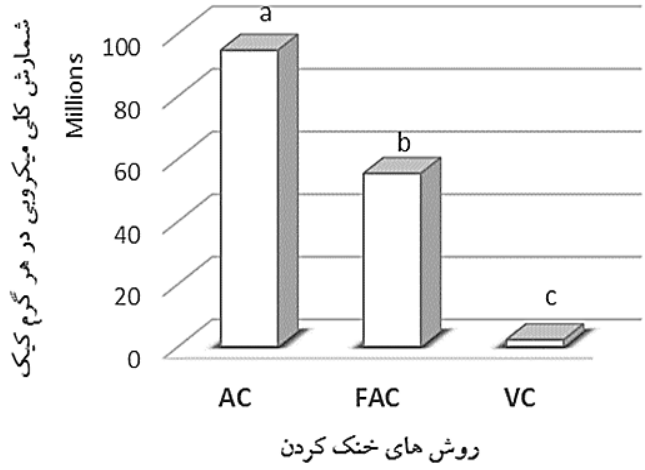
نمودار ٤- مقایسه میانگین فعالیت آبی نمونه های کیک

* حروف لاتین متفاوت در نمودارها نشان دهنده معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها در سطح ۰/۰۱می باشد.



نمودار٥- مقایسه میانگین سفتی بافت نمونه‌های کیک

* حروف لاتین متفاوت در نمودارها نشان دهنده معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها در سطح ۰/۰۱می باشد.



نمودار ٦- مقایسه میانگین شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها

* حروف لاتین متفاوت در نمودارها نشان دهنده معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها در سطح ۰/۰۱می‌باشد.

جدول ۲- نتایج آزمون فریدمن

صفت	تعداد	Chi-Square	درجه آزادی	درجه معنی‌داری
بافت	۱۵	۶/۲۸۰	۲	۰/۰۴۳
مرطوب بودن بافت	۱۵	۸/۴۱۹	۲	۰/۰۱۵
احساس دهانی	۱۵	۳/۱۱۶	۲	۰/۲۱۱
پذیرش کلی	۱۵	۵/۵۳۸	۲	۰/۰۶۳

جدول ۳- نتایج رتبه بندی

نمونه / صفت	بافت	مرطوب بودن	احساس دهانی	پذیرش کلی
AC	۲/۴۰	۲/۳۷	۲/۲۳	۲/۴۰
FAC	۲/۰۳	۲/۱۳	۲/۰۷	۱/۸۰
VC	۱/۵۷	۱/۵۰	۱/۷۰	۱/۸۰

بحث

زمان خنک کردن در این تحقیق، به زمان لازم جهت رسیدن دمای مرکز نان به ۳۰°C گفته می‌شود. تحقیقات بسیاری نشان دادند استفاده از خنک کردن تحت خلاء باعث کاهش زمان خنک کردن می‌شود. در این تحقیق نیز نوع روش خنک کردن مورد استفاده، تاثیر معنی‌داری بر زمان خنک کردن مرکز نمونه‌ها داشت. بنابراین با توجه به نتایج بدست آمده در این پژوهش (نمودار ۱)، زمان لازم برای خنک کردن تحت خلاء ۱ دقیقه و ۳۴ ثانیه طول کشید، در صورتیکه زمان لازم جهت خنک کردن توسط هوای ساکن اتاق و هوای متحرک به ترتیب ۹۰ و ۶۰ دقیقه طول کشید. تفاوت بین سرعت خنک کردن تحت خلاء و روش خنک کردن توسط هوا در نتیجه‌ی مکانیزم‌های متفاوت این دو روش است. روش خنک کرن توسط هوا، شامل دو مکانیزم جدا در خنک کردن است. اولی توسط انتقال حرارت است که اساسا از طریق جابه جایی به هوای محیط اطراف ایجاد می‌شود، اما همچنین ممکن است روش‌های انتقال حرارت تابشی و هدایتی هم دخالت داشته باشند. دومین مکانیزم با تبخیر است که در واقع رطوبت از پوسته تبخیر می‌شود و انرژی موردنیاز برای تبخیر آن از حرارت پوسته حاصل می‌شود (Cauvain & Wiggins, 1998). همچنین نتایج تحقیقات Sun و Wang در سال ۲۰۰۰ بیانگر این بوده است که خنک کردن تحت خلاء از طریق تبخیر آب حاصل می‌شود در حالیکه روش‌های متداول بر اساس انتقال حرارت هدایتی است و از آنجایی که نسبت انتقال حرارت هدایتی[1] به تبخیری[2] کمتر از ۱به ۱۶ است بنابر این خنک کردن تحت خلاء سریع تر است. در این تحقیق زمان لازم جهت خنک کردن توسط هوای متحرک کمتر از هوای ساکن بود، علت را می توان اینطور تفسیر کرد که در زمان استفاده از هوای متحرک مکانیزم انتقال حرارت جابجایی اجباری[3] مطرح می‌شود که این نوع مکانیزم نسبت به مکانیزم انتقال حرارت جابجایی طبیعی[4] با سرعت بیشتری انجام می‌شود، چون ضریب انتقال حرارت جابجایی اجباری بیشتر است و همین امر باعث سریع‌تر خنک شدن می‌شود (Holman, 1977).

بر اساس نمودار ۲، نتایج حاصل از آنالیز واریانس، گویای معنی‌دار بودن اثر روش خنک کردن بر افت وزنی نمونه‌ها بود ($p<0.01$). همانطور که اشاره شد خنک کردن تحت خلاء از طریق تبخیر قسمتی از رطوبت محصول

[1] Conductive Heat Transfer
[2] Evaporative Heat Transfer
[3] Forced Convection
[4] Natural Convection

تحت شرایط خلاء به دست می‌آید. بنابر مطالعات انجام شده، خنک کردن تحت خلاء در محصولات پخت معمولا منجر به حدود یک درصد افت وزنی به ازای هر ۱۰ درجه سلسیوس کاهش دما می‌شود به عنوان مثال یک نمونه کاهش دمایی از ۹۸ درجه تا ۳۰ درجه سلسیوس منجر به افت وزنی ۶/۸ ٪ می‌شود (Acker & Ball, 1977; Everington, 1993)، در مقابل افت وزنی توسط خنک کردن در هوا حدود ۳ تا ۵ ٪ است که بستگی به سرعت جابجایی، رطوبت نسبی و دمای هوا دارد (Everington, 1993)، پس اختلاف افت وزنی بین دو روش کم می‌باشد و افت وزنی در روش خلاء را می توان توسط کاهش دادن زمان پخت با هدف افزایش محتوای رطوبت باقیمانده در محصول جبران کرد (Acker & Ball, 1977; Bradshaw, 1976). یا می‌توان با اسپری کردن آب استریل روی محصول خارج شده از فر قبل از ورود به اتاقک خلاء، این افت وزنی را جبران کرد، در این حالت آب اسپری شده توسط منافذ محصول پخته شده جذب می‌شود (Sloan, 1996). در نتایج این تحقیق نیز مشاهده شده است که بیشترین درصد افت وزنی در روش خلاء (۴/۵۸ ٪) می‌باشد. همچنین در این پژوهش اختلاف در میزان افت وزنی دو روش خنک کردن توسط هوای متحرک (۱/۶۲ ٪) و هوای ساکن (۱/۳۲ ٪) می تواند به این دلیل باشد که در روش استفاده از هوای متحرک، زیاد بودن سرعت هوا، شدت انتقال حرارت از طریق تبخیر رطوبت محصول را افزایش می‌دهد، لذا مقدار تبخیر رطوبت نیز افزایش می‌یابد و منجر به افت وزنی بیشتری در این روش می‌شود.

طبق نمودار ۳ نمونه خنک شده تحت خلاء پایین‌ترین میزان رطوبت را در مقایسه با سایر روش‌ها دارا بوده است که این نتایج با گزارشات Primo-Martin و همکاران در سال ۲۰۰۸ مطابقت دارد. علت را می توان اینطور تفسیر کرد که، برخلاف روش‌های معمول خنک کردن، در روش تحت خلاء کاهش دما از طریق تبخیر آب حاصل می‌شود که می‌تواند هم روی سطح محصول وهم در داخل محصول اتفاق بیفتد این عامل سبب خواهد شد تا میزان رطوبت محصول نهایی کاهش یابد (McDonald & Sun, 2000).

میزان آب موجود، درجه حرارت وغلظت مواد محلول بر روی فعالیت آبی موثر است. در این پژوهش با تغییر روش خنک کردن، میزان رطوبت محصول تغییر کرد. با توجه به نمودار ۴ بیشترین فعالیت آبی در دو روش متداول خنک کردن توسط هوای ساکن و متحرک و کمترین فعالیت آبی در روش خنک کردن تحت خلاء مشاهده می‌شود. دلیل این مسئله به افت بیشتر رطوبت در کیک خنک شده تحت خلاء نسبت به دو روش دیگر مربوط می‌شود.

از آنجاییکه ارتباط مستقیمی بین میزان رطوبت و سفتی بافت وجود دارد، و با در نظر گرفتن اینکه خنک کردن تحت خلاء از طریق تبخیر مقداری از رطوبت محصول حاصل می‌شود، بنابراین در این پژوهش نیز مشاهده شد (نمودار ۵)، که نمونه‌های کیک خنک شده تحت خلاء در مقایسه با سایر روش‌ها از سفتی بیشتری برخوردار بودند. که این نتایج با گزارشات ارائه شده توسط Primo-Martin و همکاران در سال ۲۰۰۸ مطابقت داشت.

طبق نمودار ۶ در مورد شمارش کلی میکرو ارگانیزم‌ها مشاهده شده است که نمونه خنک شده تحت خلاء بار میکروبی بسیار پایین‌تری ($۲/۲ \times ۱۰^{۶}$ cfu/gr) در مقایسه با روش خنک‌کردن توسط هوای ساکن (۹۴×۱۰^{۶} cfu/gr) و خنک‌کردن توسط هوای متحرک (۵۵×۱۰^{۶} cfu/gr) دارد و این امر نشان دهنده افزایش ماندگاری میکروبی در این روش می‌باشد. رشد کپک‌ها روی محصولات صنعت پخت یک مشکل بزرگ است که منجر به ضررهای اقتصادی می‌شود، که این ضررها وابسته به نوع محصول، فصل و روش فرایند حدود ۱ تا ۵ درصد است. اسپورهای کپک‌ها معمولا در مرحله‌ی پخت محصولات از بین می‌روند. این به این معنی است که تمام مشکلات فساد میکروبی بعد از مرحله ی پخت ایجاد می شود. بنابراین به عنوان مثال در مورد کیک، آلودگی میکروبی از طریق هوا، سطوح، تجهیزات، یا اضافه کردن مواد خام بعد از پخت در طول عملیات خنک کردن، تکه تکه کردن یا بسته‌بندی محصولات ایجاد می‌شود (Saranraj & Geetha, 2012). در مقایسه با روش‌های متداول خنک کردن (توسط هوای ساکن یا متحرک)، خنک‌سازی تحت خلاء بهداشتی تر است، زیرا هوا فقط در انتهای فرایند وقتی که درب اتاقک خلاء باز می شود در تماس با محصول قرار می‌گیرد (Longmore, 1973). نمونه خنک شده توسط هوای متحرک نیز بار میکروبی کمتری را نشان داده است که دلیل این امر را می‌توان اینطور بیان کرد که حرکت هوا

منجر به پراکنده کردن و دور کردن اسپورهای موجود در هوا از روی سطح محصول شده است. قابل ذکر است جهت بررسی ماندگاری میکروبی نمونه‌های کیک از نگهدارنده‌های شیمیایی در فرمولاسیون استفاده نشده بود. بنابراین با کمک گرفتن از روش بی‌خطر خنک کردن تحت خلاء می‌توان از اثرات سوء احتمالی نگهدارنده‌ها کاست.

براساس نتایج بدست آمده از آزمون ارزیابی حسی (جداول ۲ و ۳)، کیک خنک شده توسط هوای ساکن در مقایسه با کیک خنک شده توسط هوای متحرک و تحت خلاء بالاترین امتیاز را از لحاظ ویژگی بافت و مرطوب بودن برخوردار بوده است، علت را می‌توان اینطور عنوان کرد که در روش خنک کردن توسط هوای متحرک انتقال حرارت بیشتری از طریق تبخیر صورت می‌گیرد و موجب کاهش بیشتر رطوبت، به خصوص رطوبت پوسته کیک می‌شود و پوسته سفت‌تری نسبت به کیک خنک شده توسط هوای ساکن شکل می‌گیرد.همچنین در روش تحت خلاء، خنک کردن از طریق تبخیر رطوبت حاصل می‌شود که این دلیل منجر به بافت سفت تر و رطوبت کمتر نمونه خنک شده در این روش نسبت به دو روش دیگر می‌باشد. همچنین مشاهده شد که نمونه‌های کیک در سه روش خنک کردن از لحاظ ویژگی‌های احساس دهانی و پذیرش کلی اختلاف معنی‌داری نداشتند.

نتیجه‌گیری

در فضای رقابتی کنونی، واحدهای تولید کننده صنعت غذا همچون بسیاری از صنایع دیگر برای تولید و فروش محصولات خود با مشکلات عدیده‌ای روبه رو هستند. مصرف کنندگان متقاضی محصولات معتبر خوش طعم، بهداشتی و با کیفیت هستند که همگی به طور مستقیم با فناوری تولید در ارتباط است. در واقع، می‌توان گفت امروزه بیشترین رقابت در صنعت غذا در ابعاد تکنولوژیکی است. بنابراین، بهره‌گیری از آخرین فناوری‌های روز دنیا برای حفظ و گسترش بازار صنعت غذا و فراوری غذا امری ضروری است. خنک کردن تحت خلاء یک تکنیک سریع خنک کردن برای موادغذایی مرطوب و متخلخل است و تنها برای محصولاتی قابل کاربرد است که نسبت سطح به حجم زیادی دارند و می‌توانند مقداری از رطوبت خود را بدون اینکه تخریب شوند، از دست بدهند. از معایب این روش افت وزنی بالاتر نسبت به روش‌های متداول است، اما قابل ذکر است که افت وزنی در روش خلاء را می‌توان توسط کاهش دادن زمان پخت با هدف افزایش محتوای رطوبت باقیمانده در محصول جبران کرد (Acker & Ball,1977; Bradshaw, 1976)، یا می‌توان با اسپری کردن آب استریل روی محصول خارج شده از فر قبل از ورود به اتاقک خلاء، این افت وزنی را جبران کرد، در این حالت آب اسپری شده توسط منافذ محصول پخته شده جذب می‌شود (Sloan, 1996). برقرار کردن سیستم خنک کردن تحت خلاء نیاز به سرمایه گذاری اولیه بالایی دارد، اما در مقابل از آنجایی که خنک کردن تحت خلاء یک روش موثر و کارآمد برای صنعت غذا محسوب می‌شود و به دلیل سرعت بالای آن باعث افزایش بازده تولید می‌شود و همچنین به دلیل امکان برقرار کردن شرایط تقریبا استریل در طول فرایند باعث افزایش ماندگاری محصول و کاهش استفاده از نگهدارنده‌ها می‌شود، انتظار می‌رود استفاده از آن در آینده کاربرد داشته باشد.

سپاسگزاری

از مدیریت محترم گروه مکانیزاسیون کشاورزی جناب آقای دکتر بابک بهشتی، از شرکت آذرنوش شکوفه و همچنین از مسئولین محترم مجتمع آزمایشگاهی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران که در انجام این پژوهش همکاری صمیمانه داشتند قدردانی می‌گردد.

منابع

بی‌نام. (۱۳۸۵). استاندارد ملی ایران شماره ۲۵۵۳، انتشارات توسعه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. کیک ـ ویژگی‌ها و روش‌های آزمون، تجدید نظر سوم.

زمانی، ح.، ملک زاده، غ. و ملک زاده، ا. (۱۳۸۷). معرفی کاربردهای فناوری خلا در تحقیقات نوین غذایی. هجدهمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی- پژوهشکده علوم و صنایع غذایی خراسان رضوی.

Acker, R. & Ball, K. M. J. (1977). Modulated vacuum cooling and vacuum treatment of bakery products. Getreide Mehl und Brot, 31, 134–138.

Anon. (1981). Rapid vacuum cooling. Food Processing Industry.

Anon. (2004). Its cooler to work with a vacuum. Food Manufacture (May), 53–54.

Bradshaw, W. (1976). Modulated vacuum cooling for bakery products Bakery Digest, 50, 26 –31.

Chaiya, B. & Pongsawatmanit, R. (2011). Quality of Batter and Sponge Cake Prepared from Wheat-Tapioca Flour Blends. Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand, 45, 305 - 313

Everington, D. W. (1993). Vacuum technology for food processing. In A. Turner (Ed.), Food technology international Europe, pp. 71–74. London: Sterling Publications Ltd

Holman, J. P. (1997). "Heat Transfer", Eighth Edition, McGraw-Hill.

Longmore, A. P. (1973). The pros and cons of vacuum cooling. Food Industries of South Africa, 26(6–7), 9–11.

McDonald, K. & Sun, D. W. (2000). Vacuum cooling technology for the food processing industry: a review. Journal of Food Engineering, 45, pp. 55 – 65

Primo-Martin, C., de Beukelaer, H., Hamer, R. J. & van Vliet, T. (2008). Fracture behavior of bread crust: effect of bread cooling conditions. Journal of Food Engineering, 89, 285-290.

Saranraj, P. & Geetha, M. (2012). Microbial Spoilage of Bakery Products and Its Control by Preservatives. International Journal of Pharmaceutical & Biological Archives; 3(1), pp. 38-48.

Sloan, R. (1996). Cooling baked products. Trends in Food Science & Technology.

Sun, D. W. & Wang, L. J. (2000). Heat transfer characteristics of cooked meats using different cooling methods. International Journal of Refrigeration, 23(7), pp. 508–516.

Sun, D. W. & Zheng, L. (2006). Vacuum cooling for the agri-food industry: Past, present and future. Journal of Food Engineering, 77.2, pp. 203 – 214.

Sun, D. W. & Zheng, L. (2005). Vacuum Cooling of Foods. Emerging technologies for food processing. Comp. Sun, D-W. Dublin: Elsevier Ltd, 579 – 602.

Wiggins, C. (1998) Proving, baking and cooling. In: Technology of Breadmaking (eds S.P. Cauvain and L.S. Young), Blackie Academic & Professional, London, pp. 120–48.

Zheng, L. & Sun, D. W. (2004). Vacuum cooling for the food industry – a review of recentresearch advances. Trends in Food Science & Technology, 15 (12), 555–568.