



مروری بر روش های سنتی و نوین نگهداری گوشت

سیده بهاره میرپوریان^{۱*}، رومینا محبی^۲، زینب ارباب^۳

* ۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، گرایش شیمی مواد غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

baharemipourian@gmail.com

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.

rominamohebi93@gmail.com

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد بهداشت و کنترل کیفی مواد غذایی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه تهران، ایران.

Zeinab.arbab1375@gmail.com

چکیده

گوشت به عنوان یکی از منابع مهم پروتئین در تغذیه بشر، به دلیل ترکیب های آلی پیچیده رطوبت بالا بسیار مستعد فساد است. در طول تاریخ، انسان از روش های متنوعی برای نگهداری گوشت از جمله نمک سود کردن و دوددهی سنتی تا فناوری های پیشرفته ای مدرن مانند پرتودهی، فشار هیدرواستاتیک بالا و بسته بندی هوشمند استفاده کرده است. نگهداری گوشت به دلیل افزایش ماندگاری آن، تأثیر مثبتی بر اقتصاد این صنعت دارد و همچنین به دلیل مهار رشد میکروارگانیسم ها، سلامت عمومی را بهبود می بخشد و بسیار حائز اهمیت است. این مقاله با بررسی مروری روش های سنتی، دمایی، شیمیایی و فناوری های نوین، نگهداری گوشت را از گذشته تا به امروز بررسی می کند، مزایا و محدودیت های هر روش را تحلیل کرده و چشم انداز آینده را ترسیم می کند.

کلمات کلیدی: گوشت، روش های نگهداری، فساد، فناوری های نوین، ماندگاری

۱. مقدمه

گوشت یکی از اجزای کلیدی رژیم غذایی انسان است. حاوی اسیدهای آمینه ضروری برای بدن مانند هیستیدین، ایزولوسین، لوسین، متیونین، تریپتوفان و همچنین چربی ها که به عنوان یک منبع انرژی را برای بدن است. حاوی سطوح خوبی از لحاظ مواد معدنی، اسیدهای چرب و ویتامین ها (B6, B12, D) می باشد و منبع ارزشمندی از ریزمغذی های مختلف است که برای رشد و نمو ضروری می باشند [۱]. گوشت به دلیل فعالیت های آنزیمی، میزان آب بالا، رشد میکروبی و فرایندهای اکسیداتیو، محصولی بسیار فسادپذیر است که در صورت عدم بکارگیری روش های مناسب نگهداری، کیفیت تغذیه ای و ایمنی آن به شدت کاهش می یابد [۲]. از زمان های قدیم انسان برای افزایش ماندگاری گوشت، روش های بومی و ساده ای مانند خشک کردن، نمک سود کردن و دوددهی را به کار می برد. با پیشرفت علوم و فناوری در صنعت، این روش ها تدریجاً توسعه یافته و جای خود را روش های جدیدتری مانند تبرید (سرد کردن)، انجماد، بسته بندی فعال و هوشمند، فرایندهای غیرحرارتی



و نگهدارنده‌های زیستی دادند [۳]. هدف این مقاله، بررسی مروری از روش‌هایی است که منجر به نگهداری بهتر و حفظ کیفیت و ایمنی گوشت از گذشته تا به امروز شده‌اند تا درک جامع‌تر و بهتری از نقش این فرآیندها فراهم شود.

۲. روش‌های سنتی نگهداری گوشت

۲.۱. خشک کردن

خشک کردن یکی از قدیمی‌ترین و ساده‌ترین روش‌های نگهداری گوشت است. با حذف آب از بافت گوشت، رشد میکروارگانیسم‌ها که برای بقا به فعالیت آبی نیاز دارند، به شدت کاهش می‌یابد. روش‌های خشک کردن سنتی شامل خشک کردن در آفتاب و جریان هوا است، در حالی که شکل مدرن‌تر آن شامل خشک کردن انجمادی است. این روش، با انجماد سریع گوشت و سپس تبخیر این یخ در فشار پایین، موجب حفظ بیشتر ارزش تغذیه‌ای و بافت گوشت می‌شود. مزایای خشک کردن عبارت‌اند از سادگی، هزینه پایین و عدم نیاز به تجهیزات پیشرفته؛ اما معایب آن شامل اکسیداسیون چربی‌ها، تغییر رنگ و بافت و احتمال آلودگی محیطی است [۴].

۲.۲. نمک‌سود کردن

نمک‌سود کردن یکی از روش‌های قدیمی نگهداری گوشت است که از طریق ایجاد فشار اسمزی باعث کاهش فعالیت آبی و مهار میکروب‌ها می‌شود. دو نوع رایج نمک‌سود کردن عبارت‌اند از روش خشک (پاشیدن نمک روی گوشت) و روش تر (خیساندن گوشت در محلول نمکی) است. در برخی محصولات که به نام «گوشت‌های عمل‌آوری شده» (مانند ژامبون یا سوسیس) عرضه می‌شوند، از نیترات/نیتريت همراه با نمک استفاده می‌شود که علاوه بر نگهداری، رنگ صورتی مطلوبی به گوشت می‌دهد و از رشد باکتری‌هایی همچون کلستریدیوم بوتولینوم جلوگیری می‌کند. در مورد مصرف این نگهدارنده‌های شیمیایی نگرانی‌هایی نیز وجود دارد؛ مثلاً تشکیل نیتروزامین‌ها که برخی از آن‌ها ممکن است سرطان‌زا باشند [۵].

۲.۳. دوددهی

دوددهی یکی از روش‌های سنتی اما همچنان پرکاربرد در نگهداری گوشت است که بر پایه‌ی ترکیبی از چندین مکانیزم محافظتی عمل می‌کند. نخست، قرارگیری گوشت در معرض دود سبب کاهش رطوبت سطحی می‌شود و این کاهش فعالیت آبی در سطح محصول، رشد بسیاری از میکروارگانیسم‌های فسادزا را محدود می‌کند. دوم، دمای دود هرچند نسبتاً پایین‌تر از فرآوری‌های حرارتی مستقیم دارد و اثر گرمایی ملایم ایجاد می‌کند که می‌تواند به غیرفعال‌سازی بخشی از میکروفلور سطحی کمک کند. مهم‌ترین نقش دود مربوط به ترکیبات شیمیایی ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی موجود در آن است. دود چوب حاوی موادی مانند فنول‌ها، کربونیل‌ها، اسیدهای آلی، و ترکیبات رزینی است که می‌توانند از طریق مکانیسم‌هایی مانند تخریب غشای سلولی، تغییر pH، و ایجاد تنش اکسیداتیو، رشد باکتری‌ها و قارچ‌ها را مهار کنند. فنول‌ها علاوه بر اثر ضد میکروبی، دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی نیز بوده و از اکسیداسیون چربی‌ها جلوگیری می‌کنند؛ بنابراین دوددهی نه تنها زمان ماندگاری را افزایش می‌دهد، بلکه در تثبیت طعم، رنگ، و عطر ویژه‌ی محصولات گوشتی نیز نقش مهمی دارد. دوددهی از نظر ایمنی غذایی چالش‌هایی نیز به همراه دارد. فرآیند پیرولیز چوب می‌تواند منجر به تشکیل هیدروکربن‌های آروماتیک



چند حلقه ای^۱ شود که برخی از آن‌ها مانند بنزوپیرن از نظر سرطان‌زایی طبقه‌بندی شده‌اند. مقدار هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی تولیدشده به عواملی نظیر نوع چوب، میزان رطوبت سوخت، دمای احتراق، نوع دستگاه دودزا و فاصله گوشت از منبع دود بستگی دارد. به همین دلیل، استانداردهای بین‌المللی بر محدودسازی میزان هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی در محصولات دود داده‌شده تأکید دارند [۶].

۲.۴. تخمیر

تخمیر یکی از روش‌های مهم فرآوری و نگهداری گوشت است که بر پایه‌ی رشد کنترل‌شده میکروارگانیسم‌های سودمند عمدتاً گونه‌های لاکتوباسیلوس، پدیوکوکوس و در مواردی استافیلوکوکوس انجام می‌شود. این باکتری‌ها در طی فرآیند تخمیر، قندهای موجود یا افزوده‌شده به فرمولاسیون را متابولیزه کرده و اسید لاکتیک تولید می‌کنند. تجمع اسید لاکتیک موجب کاهش تدریجی pH حدود ۵.۳-۴.۶ در محصول می‌شود و این اسیدی‌سازی محیط، همراه با کاهش فعالیت آبی (در اثر خشک‌شدن نسبی)، سبب مهار رشد باکتری‌های فسادزا و پاتوژن‌هایی مانند سالمونلا، لیستریا مونوسیتوژنز و کلسترییدیوم بوتولینوم می‌گردد. علاوه بر ایجاد موانع میکروبی، تخمیر در گوشت فرآورده‌های پیچیده‌تری نیز ایجاد می‌کند. فعالیت آنزیمی باکتری‌ها و واکنش‌های بیوشیمیایی مرتبط با پروتئین‌ها و چربی‌ها باعث شکل‌گیری ترکیبات طعمی و عطری متنوع شامل الکل‌ها، اسیدهای چرب کوتاه‌زنجیر، استرها، آمین‌ها و ترکیبات سولفوردار می‌شود. این مجموعه واکنش‌ها، همان ویژگی طعم پیچیده، عطر مشخص و بافت سفت و منسجم را ایجاد می‌کنند که در محصولات گوشتی تخمیری مشاهده می‌شود. نمونه‌های شاخص گوشت‌های تخمیری شامل سوسیس‌های خشک تخمیری مانند پیرونی، سالامی هستند. این محصولات معمولاً ترکیبی از سه مانع اصلی برای ایمنی و ماندگاری ارائه می‌کنند کاهش pH در اثر تخمیر، کاهش فعالیت آبی در اثر خشک‌کردن کنترل‌شده وجود نمک و ادویه‌ها با اثر مهارکنندگی ملایم است. این مجموعه عوامل به‌صورت هم‌افزا موجب افزایش پایداری میکروبی و ایجاد ویژگی‌های حسی مطلوب در محصولات تخمیری گوشتی می‌شود [۷].

۳. روش‌های مبتنی بر دما

۳.۱. سرد کردن

تبرید یکی از ساده‌ترین و در عین حال پرکاربردترین روش‌های نگهداری گوشت است و معمولاً در بازه دمایی ۰ تا ۴ درجه سانتی‌گراد اعمال می‌شود. نگهداری گوشت در این محدوده دمایی سرعت رشد اغلب میکروارگانیسم‌های فسادزا و پاتوژن را کاهش می‌دهد، هرچند فرآیند تکثیر آنها به‌طور کامل متوقف نمی‌شود. در شرایط دمایی مذکور، پایداری میکروبی و شیمیایی گوشت افزایش یافته و کیفیت حسی آن برای مدت محدودی حفظ می‌گردد. به‌طور کلی، عمر ماندگاری گوشت تازه در شرایط تبرید بسته به نوع بافت ماهیچه‌ای، بار میکروبی اولیه، بهداشت کشتار، و نوع بسته‌بندی، حدود ۳ تا ۷ روز گزارش شده است [۸].

¹ Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAHs)



۳.۲. انجماد

انجماد یکی از مؤثرترین روش‌های افزایش ماندگاری گوشت بوده و معمولاً در دماهای کمتر از ۱۸- درجه سانتیگراد انجام می‌شود. در این فرآیند، بخش عمده آب موجود در بافت به صورت کریستال‌های یخ در می‌آید که موجب کاهش شدید فعالیت میکروبی، آنزیمی و واکنش‌های شیمیایی می‌گردد. با وجود نقش مؤثر انجماد در حفظ کیفیت، این فرایند می‌تواند با بروز برخی تغییرات نامطلوب همراه باشد. یکی از مهم‌ترین این تغییرات، پدیده سوختگی فریزر است که در اثر نوسانات دمایی و تبخیر سطحی آب رخ می‌دهد. در این حالت، بخار آب از سطح محصول خارج شده و مجدداً به صورت کریستال‌های یخ بر سطح تشکیل می‌شود که نتیجه آن خشک‌شدگی بافت، تغییر رنگ و کاهش کیفیت حسی است. علاوه بر این، طی فرآیند یخ‌زدایی ممکن است بخشی از آب به صورت آب‌چکه از بافت خارج شود که می‌تواند به کاهش آب‌پذیری، افت وزن و تغییراتی در ساختار بافت منجر شود. میزان این تغییرات وابسته به سرعت انجماد، اندازه کریستال‌های یخ و شرایط بسته‌بندی است [۹].

۳.۳. انجماد سریع

انجماد سریع^۲ یکی از روش‌های کارآمد انجماد محسوب می‌شود که در آن محصول با سرعت بسیار بالا و در مدت‌زمان کوتاه تا دماهای انجمادی کاهش می‌یابد. این فرایند موجب تشکیل کریستال‌های یخ ریز و یکنواخت درون‌بافتی می‌شود که نسبت به انجماد کند، آسیب بسیار کمتری به ساختار سلولی گوشت وارد می‌کنند. کاهش تخریب غشاهای محدود شدن پارگی فیبرهای ماهیچه‌ای در روش انجماد سریع منجر به حفظ بهتر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و حسی گوشت پس از یخ‌زدایی شده و میزان آب‌چکه و تغییرات بافتی را به حداقل می‌رساند. این ویژگی‌ها سبب شده که انجماد سریع به‌ویژه برای محصولات گوشتی قطعه‌قطعه‌شده و حساس به آسیب بافتی، یک روش مناسب در زنجیره سرد محسوب گردد [۱۰].

۴. روش‌های حرارتی صنعتی

۴.۱. پاستوریزاسیون

پاستوریزاسیون یک فرایند حرارتی کنترل‌شده است که در آن محصولات غذایی، مانند گوشت، در دمای ۷۵-۵۵ درجه سانتی‌گراد برای مدت زمان مشخصی گرم می‌شود تا بار میکروبی کاهش یابد، بدون آنکه محصول به طور کامل استریلیزه شود. این روش به‌ویژه در گوشت‌های آماده‌پخت و فرآوری‌شده کاربرد دارد و هدف آن افزایش ایمنی میکروبی در عین حفظ ویژگی‌های حسی و ساختار بافتی گوشت است. انتخاب دقیق دما و زمان حرارت‌دهی نقش مهمی در توازن بین کاهش میکروب‌ها و حفظ کیفیت محصول دارد [۱۱].

۴.۲. کنسروسازی / استریلیزاسیون

در فرآوری کنسرو گوشت، محصول ابتدا در قوطی یا ظرف مناسب بسته‌بندی می‌شود و سپس تحت عملیات حرارتی شدید در اتوکلاو قرار می‌گیرد. دماهای مورد استفاده معمولاً در محدوده ۱۲۰-۱۱۰ درجه سانتیگراد هستند که قادر به غیر

² Individually Quick Frozen IQF



فعال کردن تمامی میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا، شامل اسپورها و باکتری‌های مقاوم مانند کلستریدیوم بوتولینوم می‌باشد. این فرآیند استریلیزاسیون کامل باعث می‌شود که در صورت عدم آسیب مکانیکی به بسته‌بندی و نگهداری در شرایط محیطی مناسب، محصولات کنسروی قادر به حفظ ایمنی و کیفیت خود برای دوره‌های طولانی، از ماه‌ها تا سال‌ها باشند [۱۲].

۴.۳. پخت کامل و بسته‌بندی تحت خلأ

یکی دیگر از روش‌های صنعتی نگهداری گوشت، فرآیند پخت کامل با بسته‌بندی وکیوم در حالت گرم است. در این روش، گوشت پس از پخت به دمای داخلی مطلوب رسیده و سپس در حالی که هنوز گرم است، در بسته‌بندی خلأ قرار می‌گیرد. ایجاد خلأ باعث کاهش میزان اکسیژن موجود در بسته‌بندی شده و رشد میکروارگانیسم‌های هوازی را محدود می‌کند، در نتیجه ماندگاری محصول بدون نیاز به افزودنی‌های شیمیایی قوی افزایش می‌یابد. مزیت اصلی این روش، حفظ کیفیت حسی گوشت شامل بافت، طعم و رنگ طبیعی آن است، زیرا فرآیند پخت کنترل‌شده و بسته‌بندی فوری از اکسیداسیون و خشک‌شدگی جلوگیری می‌کند. علاوه بر این، ترکیب پخت حرارتی با وکیوم، بار میکروبی را به‌طور قابل توجهی کاهش داده و امکان نگهداری محصول برای دوره‌های طولانی‌تر تحت شرایط سردخانه‌ای یا خنک را فراهم می‌آورد [۱۳].

۵. روش‌های شیمیایی و افزودنی‌ها

۵.۱. نیتريت و نیترات

در صنعت گوشت، فرآیند عمل‌آوری شیمیایی معمولاً شامل استفاده از نمک‌های نیتريت و نیترات، به ویژه نیتريت سدیم می‌باشد. این ترکیبات نقش چندگانه‌ای در حفظ ایمنی و کیفیت محصول دارند از جمله کنترل میکروبی، نیتريت سدیم به عنوان یک عامل ضدباکتریایی مؤثر عمل می‌کند و به‌ویژه مانع رشد باکتری‌های کلستریدیوم بوتولینوم، تولیدکننده سم بوتولینوم می‌شود. این ویژگی، نیتريت را به یک ابزار کلیدی در جلوگیری از بوتولیسم در فرآورده‌های گوشتی عمل‌آوری‌شده تبدیل می‌کند. مورد بعدی ثبات رنگ و ظاهر محصول می‌باشد که نیتريت با واکنش با میوگلوبین گوشت، باعث تشکیل نیتروزومیوگلوبین می‌شود که رنگ صورتی یا قرمز روشن در محصولات مانند سوسیس و کالباس را حفظ می‌کند. این ویژگی علاوه بر جذابیت بصری، نشان‌دهنده کیفیت و فرآوری صحیح محصول است. در انتها تأثیر بر طعم و ماندگاری که نیتريت با مهار فعالیت میکروارگانیسم‌های فسادزا و کاهش اکسیداسیون چربی‌ها، به حفظ طعم، عطر و ماندگاری محصول کمک می‌کند. مکانیزم عمل به این صورت است که نیتريت ابتدا به نیتريك اسید و سپس به اکسید نیتريك تبدیل می‌شود که با میوگلوبین واکنش داده و رنگ پایدار ایجاد می‌کند. همچنین با تولید رادیکال‌های فعال، رشد باکتری‌ها محدود می‌شود. استفاده از نیتريت/نیترات باید تحت کنترل دقیق غلظت و زمان تماس باشد، زیرا مصرف بیش از حد می‌تواند منجر به تشکیل نیترات‌های سرطان‌زا (نیتروزآمین) شود. به همین دلیل، استانداردهای جهانی محدودیت‌های مشخصی برای مقدار نیتريت در فرآورده‌های گوشتی تعیین کرده‌اند [۵].



۵.۲. آنتی اکسیدان ها

چربی های موجود در گوشت به ویژه اسیدهای چرب غیراشباع، به دلیل حساسیت بالا در برابر اکسیداسیون لیپیدی، مستعد ایجاد واکنش های زنجیره ای رادیکالی هستند که منجر به تولید ترکیبات فرار نامطلوب، کاهش کیفیت حسی (ایجاد بو و طعم تندشدگی) و افت ارزش تغذیه ای محصول می شود. به منظور مهار این فرایند، از آنتی اکسیدان ها به عنوان ترکیباتی بازدارنده ی آغاز یا گسترش اکسیداسیون استفاده می شود. آنتی اکسیدان های طبیعی مانند اسید اسکوربیک، توکوفرول ها و عصاره ی رزماری، و همچنین آنتی اکسیدان های سنتتیک نظیر ^۳ BHA و ^۴ BHT، با خنثی سازی رادیکال های آزاد و پایدارسازی لیپیدها، نقش مؤثری در حفظ پایداری اکسیداتیو و ارتقای ماندگاری گوشت و فرآورده های گوشتی دارند [۱۴].

۵.۳. اسیدها و نگهدارنده های اسیدی

استفاده از اسیدهای آلی نظیر اسید لاکتیک، اسید سیتریک و اسید استیک یکی از رویکردهای مؤثر در بهبود ایمنی و افزایش ماندگاری مواد غذایی، به ویژه فرآورده های گوشتی و محصولات با رطوبت بالا، به شمار می رود. این اسیدها با کاهش pH محیط، موجب ایجاد شرایط نامساعد برای رشد و تکثیر بسیاری از میکروارگانیسم های فسادزا و پاتوژن می شوند. مکانیسم اثر آن ها علاوه بر کاهش pH، شامل نفوذ مولکول های اسید به داخل سلول میکروبی، انحلال در غشاء و ایجاد اختلال در هموستازی سلولی است؛ به طوری که پس از ورود به سیتوپلاسم و تفکیک مجدد، افت pH درون سلولی رخ داده و عملکرد آنزیمی، سنتز DNA و تکثیر باکتری به طور قابل توجهی مختل می شود. از منظر فناوری مواد غذایی، کاربرد این اسیدهای آلی می تواند به صورت مستقیم (افزودنی) یا غیرمستقیم (جزئی از فرمولاسیون یا پوشش های خوراکی) باشد. افزون بر این، اسیدهای آلی نقش مهمی در بهبود ویژگی های حسی، کنترل قهوه ای شدن آنزیمی، و افزایش پایداری اکسیداتیو نیز ایفا می کنند. در روش های سنتی نگهداری مواد غذایی نیز از منابع طبیعی اسیدهای آلی همچون سرکه (منبع اسید استیک) و آب لیمو (منبع اسید سیتریک) استفاده شده است. این مواد با ایجاد محیط اسیدی، کاهش فعالیت آبی و محدودسازی رشد میکروارگانیسم ها، به صورت تجربی نقشی مشابه افزودنی های اسیدی در صنایع غذایی امروزی داشته اند [۱۵].

۶. فناوری های نوین در نگهداری گوشت

۶.۱. پرتودهی

پرتودهی مواد غذایی با استفاده از پرتوهای یونیزه کننده نظیر گاما، الکترون پرتو و اشعه ایکس یکی از فناوری های نوین و کارآمد در بهبود ایمنی و افزایش ماندگاری فرآورده های غذایی، به ویژه گوشت و محصولات پروتئینی است. این فرایند که تحت عنوان "پاستوریزاسیون سرد"^۵ نیز شناخته می شود، قادر است بدون ایجاد افزایش قابل توجه در دمای محصول، طیف وسیعی از میکروارگانیسم ها شامل باکتری های بیماری زا، عوامل فسادزا و بخشی از انگل ها را غیرفعال کند. مکانیسم اصلی اثرگذاری پرتوهای یونیزان بر میکروارگانیسم ها شامل آسیب به DNA، ایجاد رادیکال های آزاد، تخریب غشا و اختلال در فرایندهای متابولیکی است که در نهایت منجر به مرگ سلولی یا ناتوانی در تکثیر می شود. کاربرد پرتودهی در گوشت

³ Butylated Hydroxyanisole

⁴ Butylated Hydroxytoluene

⁵ Cold Pasteurization



علاوه بر کاهش بار میکروبی، می‌تواند در افزایش ماندگاری، کاهش احتمال بروز مسمومیت‌های غذایی، و حفظ کیفیت تغذیه‌ای محصول نقش مؤثری ایفا کند. مطالعات نشان داده‌اند که پرتودهی در دزهای پایین تا متوسط، توانایی دستیابی به سطحی معادل «پاستوریزاسیون» را دارد؛ به این معنا که می‌تواند بسیاری از باکتری‌های پاتوژن مهم مانند لیستریا مونوسیتوژنز، سالمونلا را به‌طور مؤثری کاهش دهد، بدون آن‌که تغییرات مخربی در ویژگی‌های حسی شامل طعم، رنگ، بافت و آبداری ایجاد کند [۱۶].

۶.۲. فشار هیدرواستاتیک بالا

فناوری فشار هیدرواستاتیک بالا (HPP) یکی از روش‌های نوین و کارآمد در حوزه فرآوری و ایمن‌سازی مواد غذایی است که در آن محصول تحت فشارهای بسیار بالا معمولاً در محدوده ۴۰۰ تا ۶۰۰ مگاپاسکال قرار می‌گیرد. اعمال این فشار شدید، که به صورت یکنواخت و لحظه‌ای در سراسر ماده غذایی منتقل می‌شود، موجب غیرفعال‌سازی طیف وسیعی از میکروارگانیسم‌ها شامل باکتری‌های پاتوژن، عوامل فسادزا و بخشی از ویروس‌ها و مخمرها می‌گردد. مکانیسم اثر HPP عمدتاً به اختلال در یکپارچگی غشاء سلولی، تغییر در ساختار پروتئین‌های میکروبی، مهار فعالیت آنزیم‌ها و بی‌ثباتی مولکولی DNA مربوط است؛ این عوامل در مجموع توانایی میکروارگانیسم‌ها در تکثیر و بقا را به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌دهند. یکی از مزیت‌های کلیدی این روش، غیرحرارتی بودن آن است. در HPP افزایش دمای محصول بسیار محدود بوده و معمولاً به چند درجه سانتی‌گراد ختم می‌شود؛ به همین دلیل، بسیاری از اثرات نامطلوب مرتبط با فرآیندهای حرارتی مانند دناتوراسیون شدید پروتئین‌ها، تغییر در رنگ‌دانه‌های میوگلوبین، از دست رفتن آبداری و افت کیفیت بافتی تا حد زیادی کاهش می‌یابد. این ویژگی موجب می‌شود که HPP در مقایسه با روش‌های حرارتی سنتی، قابلیت بهتری در حفظ ویژگی‌های حسی (طعم، بافت، رنگ) و همچنین ارزش تغذیه‌ای گوشت داشته باشد [۱۷].

۶.۳. پلاسما سرد

پلاسما سرد یکی از فناوری‌های نوین و در حال تحقیق در حوزه نگهداری و ایمن‌سازی مواد غذایی، به‌ویژه محصولات گوشتی، محسوب می‌شود. این فناوری مبتنی بر ایجاد گاز یونیزه‌شده در دماهای پایین است که شامل مجموعه‌ای از یون‌ها، الکترون‌ها، رادیکال‌های آزاد، مولکول‌های فعال اکسیژن و نیتروژن و تابش فرابنفش با شدت پایین می‌باشد. این اجزا قادرند بدون نیاز به افزایش دمای محصول به سطح حرارت بالا، میکروارگانیسم‌ها، باکتری‌ها، ویروس‌ها و قارچ‌های سطحی گوشت را غیرفعال کنند. مکانیزم اثرگذاری پلاسما سرد بر میکروارگانیسم‌ها چندوجهی است و شامل اختلال در غشای سلولی، تخریب DNA، اکسیداسیون پروتئین‌ها و لیپیدها و اختلال در فرایندهای متابولیکی سلول می‌باشد. این اثرات منجر به کاهش توانایی تکثیر و بقای میکروارگانیسم‌ها می‌شود، بدون آنکه تغییرات حرارتی قابل‌توجهی در محصول ایجاد شود. به عبارت دیگر، پلاسما سرد یک روش غیرحرارتی و کنترل‌شده است که می‌تواند سطح ایمنی میکروبی گوشت را افزایش دهد، در حالی که ویژگی‌های حسی، ساختار بافتی و ارزش تغذیه‌ای محصول تا حد زیادی حفظ می‌شوند [۱۷].

⁶ High-Pressure Processing



۶.۴. بسته بندی پیشرفته

۶.۴.۱. بسته بندی اتمسفر اصلاح شده

بسته بندی با اتمسفر اصلاح شده^۷ یکی از فناوری های پیشرفته در نگهداری مواد غذایی است که با تغییر عمدی ترکیب گازهای موجود در فضای داخلی بسته، پایداری میکروبی و کیفیت فیزیکی و شیمیایی محصول را افزایش می دهد. در این روش، هوای معمولی داخل بسته که معمولاً از حدود ۷۸٪ نیتروژن، ۲۱٪ اکسیژن و ۰.۳٪ دی اکسید کربن تشکیل شده است، با ترکیب های گازی کنترل شده جایگزین می شود تا شرایطی نامساعد برای رشد میکروارگانیسم ها و فعالیت های تخریبی ایجاد گردد. به طور معمول، در بسته بندی مواد غذایی فسادپذیر به ویژه گوشت، فرآورده های دریایی، میوه ها و سبزیجات کاهش غلظت اکسیژن (O_2) به منظور جلوگیری از اکسیداسیون لیپیدها و مهار رشد باکتری های هوازی انجام می شود. همزمان، افزایش دی اکسید کربن (CO_2) به دلیل خاصیت ضد میکروبی آن، موجب کاهش سرعت تکثیر باکتری ها و قارچ های فسادزا می گردد. علاوه بر این، افزودن نیتروژن (N_2) به عنوان یک گاز خنثی، به جلوگیری از جمع شدن بسته کمک کرده و نقش پرکننده را ایفا می کند. انتخاب نسبت های بهینه ی گازها در بسته بندی با اتمسفر اصلاح شده به نوع ماده غذایی، میکروفلور غالب، pH، فعالیت آبی (aw)، چربی، و ویژگی های تنفسی (در مورد محصولات تازه) وابسته است. برای نمونه، در بسته بندی گوشت قرمز معمولاً سطح اکسیژن به طور کامل حذف نمی شود، زیرا وجود مقدار مشخصی O_2 برای حفظ رنگ مطلوب قرمز رنگ (اکسی میوگلوبین) ضروری است؛ در نتیجه، از مخلوط هایی با O_2 نسبتاً بالا ۸۰-۴۰٪ همراه با CO_2 و N_2 استفاده می شود. در مقابل، برای ماهی، گوشت سفید یا محصولات بیکن شده، ترکیبات کم اکسیژن یا کاملاً بدون اکسیژن ترجیح داده می شوند. این بسته بندی علاوه بر مهار رشد میکروبی، باعث کاهش سرعت واکنش های آنزیمی، محدود کردن اکسیداسیون لیپیدها، کاهش تغییرات حسی (بو، طعم، رنگ)، و حفظ آبداری بافت می شود. این مزایا موجب افزایش عمر نگهداری بدون نیاز به افزودن نگهدارنده های شیمیایی اضافی یا اعمال فرایندهای حرارتی شدید می گردد [۱۸].

۶.۴.۲. بسته بندی فعال و زیست فعال

بسته بندی فعال و زیست فعال^۸ یکی از رویکردهای نوین در فناوری نگهداری مواد غذایی بویژه گوشت است که با فراتر رفتن از نقش صرفاً محافظتی بسته بندی های سنتی، به طور فعال در افزایش ایمنی، حفظ کیفیت و بهبود ماندگاری محصولات گوشتی دخالت می کند. در این سیستم ها، مواد سازنده ی فیلم بسته بندی به ترکیبات عملکردی از جمله عوامل آنتی میکروبیال، آنتی اکسیدان یا هر دو مجهز می شوند تا به صورت کنترل شده با سطح محصول یا فضای درون بسته تعامل داشته باشند. در بسته بندی های حاوی ترکیبات آنتی میکروبیال، هدف اصلی مهار رشد میکروارگانیسم های فسادزا و پاتوژن ها است. این ترکیبات می توانند شامل یون های فلزی (مانند نقره و روی)، پلیمرهای طبیعی دارای خاصیت ضد میکروبی (مانند کیتوزان)، آنزیم ها (لیزوزیم)، یا ترکیبات زیست فعال استخراج شده از گیاهان (مانند پلی فنول ها و اسانس های گیاهی) باشند. آزادسازی تدریجی این عوامل یا تماس مستقیم آن ها با سطح گوشت موجب کاهش بار میکروبی، کند شدن آهنگ فساد، و افزایش ایمنی غذایی می شود. از سوی دیگر، بسته بندی های آنتی اکسیدانی با هدف جلوگیری از واکنش های اکسیداسیون بویژه اکسیداسیون لیپیدها و رنگدانه ها طراحی می شوند. حضور آنتی اکسیدان هایی مانند توکوفرول ها، اسید آسکوربیک، کاروتنوئیدها یا ترکیبات فنولی می تواند از تشکیل رادیکال های آزاد جلوگیری کرده و بدین ترتیب، مانع بروز

⁷ MAP (Modified Atmosphere Packaging)

⁸ Active and Bioactive Packaging



تغییرات نامطلوبی همچون تندى طعم، تغییر رنگ و کاهش ارزش تغذیه‌ای شود. بسته‌بندی زیست‌فعال، که عموماً از پلیمرهای زیست‌تجزیه‌پذیر یا منابع طبیعی تهیه می‌شود، علاوه بر ارائه عملکردهای مشابه (آنتی‌میکروبی)، با محیط‌زیست سازگارتر بوده و در راستای توسعه پایدار مواد غذایی طراحی می‌شود. ادغام ترکیبات طبیعی زیست‌فعال در ماتریس فیلم‌های بیوپلیمری مانند نشاسته، ژلاتین، پلی‌لاکتیک‌اسید یا پروتئین‌های گیاهی استراتژی مهمی است که هم‌زمان ایمنی غذا و پایداری محیطی را ارتقا می‌دهد. به طور کلی، بسته‌بندی فعال و زیست‌فعال با ایجاد تعامل هدفمند و کنترل‌شده با محصول، نقش مؤثری در کاهش سرعت فرآیندهای فساد، حفظ خواص حسی ارزش تغذیه‌ای، و افزایش عمر ماندگاری گوشت بازی می‌کند. این فناوری در سال‌های اخیر به‌عنوان یکی از محورهای اصلی توسعه در صنایع بسته‌بندی غذا مطرح شده و زمینه‌ساز تولید محصولات ایمن‌تر، سالم‌تر و پایداری است [۱۹].

۶.۵. فناوری‌های نوظهور دیگر

علاوه بر روش‌های مرسوم و فناوری‌های تثبیت‌شده در صنعت گوشت، مجموعه‌ای از فناوری‌های نوظهور و پژوهش‌محور در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته‌اند که هدف مشترک آن‌ها افزایش ایمنی، بهبود کیفیت، و کاهش فساد در محصولات پروتئینی است. این فناوری‌ها همچنان در مرحله توسعه یا ارزیابی صنعتی قرار دارند، اما نتایج اولیه حاکی از پتانسیل قابل توجه آن‌ها در بهبود سامانه‌های نوین نگهداری گوشت است. مهم‌ترین این رویکردها عبارت‌اند از:

۶.۵.۱. استفاده از ازن (O_3) فعال

ازن یک اکسیدکننده بسیار قوی با خاصیت ضد میکروبی شناخته‌شده است که می‌تواند میکروارگانیسم‌های فسادزا و پاتوژن‌های مهم غذایی را به سرعت غیرفعال کند. کاربرد ازن در صنایع غذایی به دو صورت گازی و محلول انجام می‌شود. عملکرد آن بر پایه اکسیداسیون غشا، پروتئین‌ها و ترکیبات حساس میکروبی است و در مقایسه با مواد شیمیایی ضد عفونی‌کننده سنتی، باقیمانده شیمیایی برجای نمی‌گذارد زیرا به سرعت به اکسیژن تجزیه می‌شود. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که استفاده از ازن در صورت کنترل دقیق دوز و زمان تماس می‌تواند بار میکروبی سطح گوشت را کاهش داده، سرعت فساد را کم کرده و زمان ماندگاری را افزایش دهد بدون آنکه تغییرات نامطلوبی در ویژگی‌های حسی ایجاد کند [۲۰].

۶.۵.۲. بسته‌بندی هوشمند مجهز به حسگرهای تازه

بسته‌بندی هوشمند یکی از جدیدترین گرایش‌ها در فناوری بسته‌بندی مواد غذایی است که با استفاده از حسگرهای رنگ‌سنج، حسگرهای گازی، یا شاخص‌های نوری قادر است وضعیت واقعی گوشت را در طول زنجیره توزیع و مصرف نشان دهد. این حسگرها تغییرات اختصاصی مرتبط با فساد مانند تولید ترکیبات فرار نیتروژنی (TVB-N)، افزایش آمین‌های بیوژنیک، یا افزایش pH را ردیابی کرده و از طریق تغییر رنگ یا سیگنال‌های قابل مشاهده به مصرف‌کننده یا توزیع‌کننده اطلاع می‌دهند. این سیستم‌ها نه تنها امکان پایش بی‌درنگ کیفیت را فراهم می‌کنند، بلکه می‌توانند در آینده به کاهش ضایعات غذایی و ارتقای شفافیت در زنجیره تأمین کمک کنند [۲۱].



۶.۵.۳. امواج اولتراسوند

اولتراسوند یک فناوری غیرحرارتی نوظهور است که در صنایع غذایی برای اهداف مختلفی از جمله بهبود نفوذ ترکیبات نگهدارنده، افزایش کارایی فرآوری، کاهش بار میکروبی و بهبود بافت مورد ارزیابی قرار گرفته است. مکانیزم اثرگذاری اولتراسوند بر پایه پدیده کاویتاسیون آکوستیک است؛ یعنی تشکیل و انفجار سریع میکروحباب‌ها در محیط، که موجب ایجاد تنش‌های مکانیکی، ریزجریان‌ها و افزایش نفوذپذیری ساختار بافتی می‌شود. در کاربردهای مرتبط با گوشت، اولتراسوند می‌تواند نفوذ نمک، ترکیبات ضد میکروبی، آنتی‌اکسیدان‌ها را افزایش دهد و در نتیجه مؤثرتر بودن فرآیندهای نگهداری یا عمل‌آوری را موجب گردد. این رویکرد همچنین یک ابزار کمکی برای کاهش زمان فرآوری و حفظ کیفیت حسی محصول محسوب می‌شود [۲۲].

۷. چالش‌ها و محدودیت‌ها

- (۱) مسائل ایمنی و مقرراتی: برخی روش‌ها مثل پرتودهی یا استفاده از نیتريت، با نگرانی‌های ایمنی همراهند و قانون‌گذاری در برخی کشورها محدودتر است.
- (۲) هزینه فناوری‌های پیشرفته: سرمایه‌گذاری در دستگاه‌های HPP، پلاسما یا بسته‌بندی هوشمند بالاست.
- (۳) پذیرش مصرف‌کننده: برخی مصرف‌کنندگان ممکن است بابت غذاهای پرتودهی شده یا فرآوری شده نگران باشند.
- (۴) پایداری محیطی: روش‌هایی که مصرف انرژی بالایی دارند، اثر زیست‌محیطی بیشتری دارند؛ از سوی دیگر، روش‌های سنتی مثل دوددهی ممکن است منجر به انتشار آلاینده‌ها شود.
- (۵) تغییر کیفیت حسی: بعضی روش‌ها ممکن است طعم، بافت یا ظاهر گوشت را تغییر دهند.

۸. چشم‌انداز آینده

نگهداری گوشت بر ترکیب چند روش متمرکز خواهد بود: استفاده ترکیبی از فناوری‌های غیرحرارتی مثل HPP، پلاسما، بسته‌بندی هوشمند با حسگرهای تازگی و افزودنی‌های زیستی (مثل ترکیبات آنتی‌میکروبیال طبیعی). این ترکیب می‌تواند کیفیت، ایمنی و ماندگاری گوشت را با حداقل تغییرات منفی در خواص حسی تأمین کند. علاوه بر این، توسعه فناوری‌های کم‌هزینه‌تر و پایدارتر (از لحاظ انرژی) اهمیت فزاینده‌ای دارد تا این تکنیک‌ها در مقیاس جهانی و در کشورهای در حال توسعه قابل دسترس شوند.

۹. نتیجه‌گیری

نگهداری گوشت از بدو تاریخ بشر تا امروز، مسیر پیشرفت قابل توجهی داشته است. از روش‌های ساده و در دسترس گذشته مثل نمک‌سود و دوددهی، به فناوری‌های بسیار پیشرفته‌ی امروزی مانند پرتودهی و فشار هیدرواستاتیک بالا رسیده‌ایم. هر روش دارای مزایا و محدودیت‌های خاص خود است و انتخاب مناسب بستگی به منابع، هزینه، مقررات و هدف دارد (مثلاً افزایش ماندگاری، حفظ کیفیت حسی یا ایمنی). آینده این حوزه احتمالاً ترکیبی از فناوری نوین، بسته‌بندی هوشمند و راه‌حل‌های طبیعی خواهد بود تا گوشت با ایمنی بالا و کیفیت مطلوب برای مصرف‌کننده فراهم شود.



۱۰. مراجع

1. Galal-Khallaf, A. (2021). Multiplex PCR and 12S rRNA gene sequencing for detection of meat adulteration: A case study in the Egyptian markets. *Gene*, 764, 145062.
2. Ramezan, Y., Kamkari, A., Lashkari, A., Moradi, D., & Tabrizi, A. N. (2024). A review on mechanisms and impacts of cold plasma treatment as a non-thermal technology on food pigments. *Food Science & Nutrition*, 12(3), 1502-1527.
3. Chiozzi, V., Agriopoulou, S., & Varzakas, T. (2022). Advances, applications, and comparison of thermal (pasteurization, sterilization, and aseptic packaging) against non-thermal (ultrasounds, UV radiation, ozonation, high hydrostatic pressure) technologies in food processing. *Applied Sciences*, 12(4), 2202.
4. Mediani, A., Hamezah, H. S., Jam, F. A., Mahadi, N. F., Chan, S. X. Y., Rohani, E. R., ... & Abas, F. (2022). A comprehensive review of drying meat products and the associated effects and changes. *Frontiers in nutrition*, 9, 1057366.
5. Shakil, M. H., Trisha, A. T., Rahman, M., Talukdar, S., Kobun, R., Huda, N., & Zzaman, W. (2022). Nitrites in cured meats, health risk issues, alternatives to nitrites: A review. *Foods*, 11(21), 3355.
6. Iko Afe, O. H., Kpoclou, Y. E., Douny, C., Anihouvi, V. B., Igout, A., Mahillon, J., ... & Scippo, M. L. (2021). Chemical hazards in smoked meat and fish. *Food science & nutrition*, 9(12), 6903-6922.
7. Toldrá, F. (2015). *Fermented meat and poultry*. Wiley Online Library.
8. Koutsoumanis, K., & Taoukis, P. S. (2005). Meat safety, refrigerated storage and transport: modeling and management. In *Improving the safety of fresh meat* (pp. 503-561). Woodhead Publishing.
9. Bao, Y., Erthjerg, P., Estévez, M., Yuan, L., & Gao, R. (2021). Freezing of meat and aquatic food: Underlying mechanisms and implications on protein oxidation. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(6), 5548-5569.
10. Du, X., Wang, B., Li, H., Liu, H., Shi, S., Feng, J., ... & Xia, X. (2022). Research progress on quality deterioration mechanism and control technology of frozen muscle foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(6), 4812-4846.
11. Roth, N. A. (2021). Practical Elimination of Raw Meat Microbiological Risk Using Thermal Pasteurization, a Novel Meat-Safety-Driven Technology. *Meat and Muscle Biology*, 5(3).
12. Madian, M. A., Mousa, M. M., & Ayoub, K. H. (2023). Chemical and Microbiological Spoilage of Canned Meat Products. *Alexandria Journal of Veterinary Sciences*, 79(1).



13. Stasiewicz, M., Lipiński, K., & Cierach, M. (2014). Quality of meat products packaged and stored under vacuum and modified atmosphere conditions. *Journal of food science and technology*, 51(9), 1982-1989.
14. Lorenzo, J. M., Pateiro, M., Domínguez, R., Barba, F. J., Putnik, P., Kovačević, D. B., ... & Franco, D. (2018). Berries extracts as natural antioxidants in meat products: A review. *Food Research International*, 106, 1095-1104.
15. Sorathiya, K. B., Melo, A., Hogg, M. C., & Pintado, M. (2025). Organic acids in food preservation: Exploring synergies, molecular insights, and sustainable applications. *Sustainability*, 17(8), 3434.
16. Orynbekov, D., Amirkhanov, K., Kalibekkyzy, Z., Muslimova, N., Nurymkhan, G., Nurgazezova, A., ... & Yessimbekov, Z. (2025). Effect of electron-beam irradiation on microbiological safety, nutritional quality, and structural characteristics of meat. *Foods*, 14(9), 1460.
17. Ghazali, M. H., Saleem, F., & Bashir, L. (2025). Cold plasma and high-pressure processing in sustainable meat preservation: A review. *Food, Nutrition and Health*, 2(1), 22.
18. Yan, Y., Zhang, Y., Fang, Z., Wang, Z. C., Nan, Y., Shi, H., ... & Gu, H. (2024). Modified atmosphere packaging and plant extracts synergistically enhance the preservation of meat: A review. *Food control*, 164, 110622.
19. Ahmed, M. W., Haque, M. A., Mohibbullah, M., Khan, M. S. I., Islam, M. A., Mondal, M. H. T., & Ahmmed, R. (2022). A review on active packaging for quality and safety of foods: Current trends, applications, prospects and challenges. *Food Packaging and Shelf Life*, 33, 100913.
20. Islam, F., Imran, A., Khalid, M. A., Afzaal, M., Fatima, M., & Chauhan, A. (2023). Green energy process “ozonation” and food safety: A comprehensive review. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 11(2), 488-503.
21. Osmólska, E., Stoma, M., & Starek-Wójcicka, A. (2022). Application of biosensors, sensors, and tags in intelligent packaging used for food products—a review. *Sensors*, 22(24), 9956.
22. Li, B., Zhong, M., Sun, Y., Liang, Q., Shen, L., Qayum, A., ... & Ren, X. (2024). Recent advancements in the utilization of ultrasonic technology for the curing of processed meat products: A comprehensive review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 103, 106796.