

تأثیر روش‌های خشک کردن بر ویژگی‌های ساختاری، فیزیکی و حرارتی ژلاتین پای مرغ

سیما نعمت زاده^۱، رضا فرهمندفر^۲، رضا اسماعیل زاده کناری^۲، جمشید فرمانی^۲، مریم اثنی عشری^{۳*}

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.

^۲ استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.

^{۳*} استادیار، بخش تحقیقات فرآوری تولیدات دامی، موسسه تحقیقات علوم دامی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

تاریخ ارسال: ۱۴۰۳/۱۱/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۵

چکیده

یکی از تأثیرگذارترین عوامل بر کیفیت و ماندگاری ژلاتین فرایند خشک کردن است. این مطالعه به بررسی آثار روش‌های مختلف خشک کردن بر بازده استخراج، استحکام ژل، الگوی پروتئینی، ویژگی‌های ساختاری، رنگ، کدورت، ویسکوزیته و خصوصیات حرارتی ژلاتین پای مرغ پرداخت. نتایج نشان داد بیشترین مقدار بازده مربوط به خشک کردن آون هوای داغ 70°C ($8/60\%$) و کمترین آن برای نمونه خشک شده در روش پاششی 140°C (5%) بدست آمد. نمونه‌های ژلاتین روش خشک کردن انجمادی ($262/50\text{g}$) و ژلاتین آون هوای داغ 50°C ($260/50\text{g}$) بیشترین استحکام ژل را داشتند. تجزیه و تحلیل کالریمتری روشی تفاضلی نشان داد دمای ذوب ژلاتین بدست آمده از روش خشک کردن انجمادی ($72/2^{\circ}\text{C}$) بالاتر از سایر روش‌ها بود. بیشترین مقدار کدورت برای خشک کردن پاششی در دمای 120°C و 140°C درجه سلسیوس بدست آمد. خشک کردن پاششی در دمای 120°C درجه سلسیوس دارای بیشترین مقدار فاکتور L^* بود. آون هوای داغ با دمای 60°C درجه سلسیوس، کمترین فاکتور a^* را داشت. بیشترین مقدار ویسکوزیته مربوط به خشک کردن پاششی در دمای 120°C ($8/79\text{ cP}$) بود. همه نمونه‌های ژلاتین طیف مشابهی با نوارهای جذبی واقع در مناطق آمیدی در طیف سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه داشتند. پروتئین‌هایی با وزن‌های مولکولی مختلف در بررسی SDS-PAGE، تقریباً در تمامی نمونه‌های ژلاتین مشاهده شد، اما در ژلاتین حاصل از خشک کردن انجمادی، کمترین تخریب زنجیره‌های پروتئینی α و β روی داد. براساس نتایج این مطالعه، خشک کردن انجمادی را می‌توان به صورت نسبی، بهترین روش برای خشک کردن ژلاتین پای مرغ معرفی کرد.

کلمات کلیدی: استحکام ژل، استخراج اسیدی، پروتئین‌ها، خشک‌کن پاششی، خشک‌کن انجمادی

مقدمه

هیدروژنی بین زنجیره‌های α تثبیت می‌شوند. ژلاتین را می‌توان با برهم زدن پیوندهای هیدروژنی در مارپیچ سه‌گانه کلاژن بدست آورد (Karim et al., 2009). ژلاتین کاربرد گسترده‌ای در صنایع غذایی دارد و به عنوان ماده تغلیظ کننده در دسرها، تثبیت کننده در خامه شیر و همچنین کف‌کننده استفاده می‌شود. علاوه بر این، ژلاتین در صنایع آرایشی، دارویی، زیست‌پزشکی و بسته‌بندی‌های مبتنی بر مواد زیستی کاربردهای بی‌نظیر و نوظهوری دارد (Salemet et al., 2020). منبع، نوع کلاژن و سن گونه جانوری عواملی

ژلاتین پروتئین فیبری است که از طریق هیدرولیز حرارتی جزئی^۱ کلاژن بدست می‌آید (Mad-Ali et al., 2016). کلاژن در پوست، تاندون و غضروف یافت می‌شود و با استفاده از عملیات حرارتی مناسب می‌توان کلاژن را از این اندام‌ها استخراج کرد (Park et al. 2013). مولکول‌های کلاژن از سه زنجیره پلی‌پپتیدی به نام زنجیره‌های α تشکیل شده‌اند که به طور محکم به دور یکدیگر پیچیده شده و یک مارپیچ سه‌گانه را تشکیل می‌دهند که توسط پیوندهای

هستند که بر خواص ژلاتین تأثیر می‌گذارند. کیفیت اسیدهای آمینه موجود در ژلاتین همچون پرولین و هیدروکسی پرولین خواص و عملکرد منحصر به فرد ژلاتین را تعیین می‌کند، لذا می‌توان گفت این پارامتر بسیاری از خواص فیزیکوشیمیایی را تضمین می‌نماید و باعث ایجاد تفاوت بین ژلاتین‌ها می‌شود. هیدروکسی پرولین مشتقی از پرولین است و هردو با تشکیل پیوندهای هیدروژنی در ساختار کلاژن، مسئول پایداری و ساختار کلاژن هستند. میزان و نوع اسید آمینه نیز مسئول دمای ذوب و ژل شدن ژلاتین است. بنابراین تنوع اسیدهای آمینه، انواع مختلف منابع ژلاتین را متمایز و مشخص می‌کند (Huanget al., 2017). ژلاتین را می‌توان از پوست و استخوان حیواناتی همچون گاو و خوک استخراج کرد. با این حال، نگرانی‌هایی در مورد ایمنی به دلیل انسفالوپاتی اسفنجی شکل گاوی^۱ (بیماری جنون گاوی)، مسائل مذهبی (حلال بودن) به وجود آمده است. امروزه مورد دوم یعنی حلال بودن اهمیت بیشتری یافته، بنابراین تحقیق و توسعه در مورد منابع جایگزین ژلاتین از جمله ضایعات (پوست، استخوان، فلس و پا) طیور مورد توجه قرار گرفته است (Khaiari et al., 2017). میزان اسید آمینه موجود در ژلاتین حاصل از پوست طیور بیشتر از پستانداران و ماهی است. در مقایسه با ژلاتین موجودات آبی یا دریایی، ژلاتین‌های حیوانات خشکی دارای ویژگی‌های ژلی و رئولوژیکی بهتری هستند. فرآورده‌های فرعی ماهی از جمله پوست، فلس یا استخوان و غیره به دلیل فراوانی و هزینه کم برای تولید ژلاتین مورد استفاده قرار گرفته است. محققین از پوست ماهی برای تولید کلاژن، ژلاتین و همچنین هیدرولیزات زیست فعال استفاده کردند (Nurilmala et al., 2022). با این حال، بوی ماهی همراه با ژلاتین (خصوصاً از پوست تازه ماهی استخراج می‌شود) می‌تواند طیف وسیعی از کاربردهای آن را به ویژه به عنوان مواد غذایی یا مکمل‌های غذایی انسان محدود کند از این رو

استفاده از منابع دیگر مانند ضایعات طیور می‌تواند جایگزین مناسب باشد (Sae-Leaw & Benjakul, 2015). انواع مختلف ژلاتین دارای خصوصیات فیزیکوشیمیایی متفاوتی هستند که بر خواص رئولوژیکی و حرارتی (از جمله دمای ذوب و ژل شدن) تأثیر می‌گذارد. ویژگی‌های ژلاتین به نوع ماده اولیه، پیش تیمار، شرایط استخراج و خشک کردن بستگی دارد. لذا می‌توان گفت که شرایط استخراج مانند نوع و غلظت اسید یا قلیا، دما و زمان استخراج و همچنین روش‌های خشک کردن بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و عملکردهای بیولوژیکی ژلاتین تأثیرگذار است (Wang et al., 2015; Lin et al., 2017). پس از استخراج ژلاتین، خشک کردن یک فرآیند مهم برای بدست آوردن ژلاتینی با عملکرد بهتر و ماندگاری طولانی‌تر است. خشک کردن یک روش متداول در نگهداری مواد غذایی محسوب می‌شود که با حذف رطوبت به منظور جلوگیری از رشد باکتری‌ها و افزایش ماندگاری مواد غذایی همراه می‌باشد. خشک کردن یک عملیات پیچیده شامل انتقال گرما و جرم همراه با تغییرات فیزیکی یا شیمیایی می‌باشد که بر کیفیت محصول تأثیرگذار است. خواص عملکردی به طور نسبی به ساختار مکانی مولکول‌های پروتئین و وضعیت ارتباط آنها وابسته است. به‌طور کلی، خشک شدن باعث ایجاد تغییرات فیزیکوشیمیایی پروتئین‌ها در اثر انتقال همزمان گرما و جرم می‌شود (Nurafifah et al., 2018). در طی فرایند خشک کردن، گرما می‌تواند باعث ایجاد پیوندهای کووالانسی و غیرکووالانسی و در نتیجه باعث تغییر ساختار پروتئین شود. تغییرات قابل توجه در خصوصیات فیزیکوشیمیایی پروتئین‌ها تا حد زیادی بر ویژگی‌های عملکردی مانند انحلال‌پذیری، تشکیل ژل، کف کردن، امولسیون‌کنندگی، جذب چربی و آب تأثیرگذار است (Sinthusamran et al., 2015; Rasli et al., 2016; Dehnad et al., 2014). میزان

¹ Bovin Spongiform Encephalopathy (BSE)

تغییرات در خصوصیات فیزیکوشیمیایی پروتئین‌ها، عمدتاً به روش‌های خشک کردن بستگی دارد. برای مثال مطالعه سای لیو و همکاران (۲۰۱۶) بر آثار پیش تیمارهای مختلف پوست ماهی خاردار و روش‌های مختلف خشک کردن (خشک کردن انجمادی و پاششی) بر خواص، طعم و بوی ژلاتین حاصل نشان داد که خشک کردن پاششی همراه با یک پیش تیمار مناسب می‌تواند یک روش موثر برای تولید ژلاتین با بو و طعم نامطلوب ناچیز ماهی باشد. حمزه و همکاران (۲۰۱۸) نیز در بررسی اثرات روش‌های مختلف خشک کردن بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی ژلاتین بدست آمده از پوست ماهی مرکب گزارش کردند که خشک شدن با روش پاششی روشی موثر برای تولید ژلاتین از پوست ماهی مرکب با حداقل بوی ماهی است (Hamzeh et al., 2018). نتایج مطالعه کنوات و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد که خشک کردن با روش‌های انجمادی یا پاششی می‌تواند یک روش خشک کردن مناسب و با عملکرد بالا برای تهیه ژلاتین از ماهی روهو^۱ (*Labeo rohita*) باشد (Kanwate et al., 2019). سالم و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی اثرات دو فرایند خشک کردن (روش انجمادی و روش پاششی) را بر ژلاتین‌های استخراج شده از پوست سگ ماهی (*Squalus acanthias*) مورد مطالعه قرار دادند و گزارش کردند که خشک کردن پاششی روشی موثر برای تولید ژلاتین می‌باشد (Salem et al., 2020). براساس نتایج مشاهده شده در مطالعات مختلف، خشک کردن باید به روش‌های صحیح انجام شود تا کیفیت غذایی، رنگ، طعم و بافت مواد حفظ شود. لذا مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر روش‌های مختلف خشک کردن بر عملکرد و خصوصیات فیزیکوشیمیایی ژلاتین از پای مرغ انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه

در این پژوهش، پای مرغ تازه از فروشگاه مواد پروتئینی در شهرستان قائم‌شهر تهیه گردید. محلول‌ها و مواد شیمیایی از جمله اسید سولفوریک با درجه خلوص ۹۸ درصد، هیدروکسید سدیم و سایر مواد شیمیایی از شرکت مرک آلمان خریداری شد.

آماده سازی نمونه

پای مرغ به صورت تازه تهیه و در بسته‌بندی‌های پلاستیکی به آزمایشگاه منتقل شد. بعد از جداسازی ناخن، پای مرغ با آب سرد کاملاً شسته و سپس به قطعات ۳-۴ سانتیمتری تقسیم شد. قطعات پای مرغ بوسیله دستگاه خردکن به مدت ۳-۴ دقیقه به خوبی خرد گردید و سپس با آب گرم شسته شد تا ناخالصی‌های باقیمانده، خون و چربی اضافه کاملاً جدا شوند. پای مرغ حاصل تا زمان استفاده در فریزر آزمایشگاه با دمای ۲۰- درجه سلسیوس نگهداری شد.

استخراج ژلاتین و خشک کردن

در این پژوهش برای استخراج ژلاتین از روش اسیدی چاکاک و همکاران (۲۰۱۶) با تغییرات استفاده شد (Chakka et al., 2017). به ۲۰۰ گرم پای مرغ خرد شده، ۰/۵ مول هیدروکسید سدیم (نسبت ۲:۱ وزنی/حجمی) اضافه گردید و به مدت ۱۰ دقیقه با همزن مکانیکی (مدل ST۱۱، شرکت پارس آزما، ساخت ایران) با سرعت ۵۰ rpm همزده شد تا pH آن به حدود ۸/۵ برسد. سپس پای مرغ را با آب کاملاً شستشو داده تا pH آن تقریباً خنثی شود. پای مرغ به کمک پارچه صافی آگیری شده تا آب اضافی خارج گردد. در مرحله بعد، به پای مرغ محلول اسید سولفوریک ۲ نرمال با نسبت وزنی/حجمی ۴ اضافه شد. نمونه به مدت ۱ ساعت با همزن مکانیکی با سرعت ۵۰ rpm همزده شد. سپس نمونه را با آب شستشو داده تا pH به خنثی برسد. بار دیگر، پای مرغ با پارچه صافی آگیری و سپس نمونه درون بشر شیشه‌ای ریخته شد و آب مقطر با نسبت ۱:۲ به پای مرغ اضافه گردید و در بن ماری (مرت ۲، ساخت آلمان) در دمای ۷۵

¹ Rohu

² Memmert

با قطر ۱۲/۷ میلی‌متر تعیین شد. حداکثر نیرو (هنگامی که پیستون ۴ میلی‌متر درون ژل‌های ژلاتین نفوذ کرد) محاسبه شد (Mad-Ali *et al.*, 2016).

بررسی الگوی پروتئینی ژلاتین

این آزمون جهت تجزیه و تحلیل الگوهای پروتئینی و تعیین وزن مولکولی پروتئین به کار گرفته شد. برای تشکیل ژل پلی آکرل امید، از ۵ درصد ژل جداکننده و ۶ درصد ژل متراکم کننده استفاده گردید. محلول ژلاتین ۱۰ میلی گرم بر میلی‌لیتر و مخلوط بافر ۰/۵ مول با pH=۶/۸، ۵ درصد مرکاپتوتانول، ۲۰ درصد گلیسرول و ۰/۱ درصد بروموفنل آبی در معرض حرارت ۱۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۵ دقیقه قرار گرفت. بعد از حرارت دهی و سرما، محلول به درون چاه‌های ژل متراکم کننده تزریق و الکتروفورز (Bio-Rad، آمریکا) با سرعت ۱۵ میلی آمپر انجام شد (Huang *et al.*, 2017).

بررسی ویژگی‌های ساختاری ژلاتین با استفاده از FTIR

طیف سنجی FTIR نمونه‌های ژلاتین به عنوان مشخصه اصلی ژلاتین با استفاده از یک طیف سنج مادون قرمز Cary630 Technologies Agilent (آمریکا) ثبت گردید. این طیف‌ها در محدوده $4000-400\text{ cm}^{-1}$ (منطقه اواسط IR) با افزایش خودکار سیگنال، با وضوح 4 cm^{-1} در دمای ۲۵ درجه سلسیوس اندازه گیری شدند. داده‌های طیفی با استفاده از نرم افزار اکسل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند (Mirzapour-Kouhdasht *et al.*, 2019).

ارزیابی رنگ

رنگ ژل‌های ژلاتین (۶/۶۷ درصد وزنی بر حجم) با رنگ سنج آزمایشگاهی (مدل - IMG Pardazesh CAM SystemXI، ایران) اندازه گیری شد. اختلاف کلی رنگ (ΔE) با با فرمول‌های زیر محاسبه گردید (Farahmandfar *et al.*, 2017):

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (2)$$

درجه سلسیوس به مدت ۳ ساعت قرار داده شد. در آخر محلول ژلاتین را از یک کاغذ صافی عبور داده و مایع شفاف بدست آمده درون ظروف آلومینیومی ریخته شد و برای خشک کردن وارد دستگاه‌های خشک‌کن گردید. دستگاه‌های خشک‌کن استفاده شده در این پژوهش شامل آون هوای داغ (400ULM، ممرت، آلمان) در سه دمای ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت، خشک‌کن انجمادی (ZIRBUS، VaCo5-آلمان) در دمای ۴۵- درجه سلسیوس، خشک‌کن پاششی (DSD -02، DORSAtch، ساخت ایران) با دماهای ورودی ۱۲۰ و ۱۴۰ درجه سلسیوس بود. ورقه‌های ژلاتین خشک شده توسط دستگاه آسیاب (MKM6000، بوش، آلمان) پودر و الک شده و در کیسه‌های پلاستیکی (ضد رطوبت) در یخچال با دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شد.

آزمون‌های فیزیکوشیمیایی ژلاتین

بعد از استخراج ژلاتین، آزمون‌های مربوط به تعیین کیفیت ژلاتین مورد بررسی قرار گرفتند.

تعیین بازده استخراج ژلاتین

بازده استخراج ژلاتین بر اساس وزن تر پای مرغ (گرم) و به صورت درصد با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید (Rasli *et al.*, 2015).

$$(1) \quad 100 \times (\text{وزن پای مرغ/وزن پودر ژلاتین}) = \% \text{ بازده ژلاتین}$$

تعیین استحکام ژل ژلاتین

برای تعیین استحکام ژل ابتدا نمونه ژلاتین در آب مقطر (۶۰ درجه سلسیوس) حل شد تا غلظت نهایی ۶/۶۷ درصد (w/v) بدست آمد. محلول تا زمان حل شدن کامل ژلاتین، همزده شد. محلول ژلاتین به قالب استوانه ای با قطر ۳ سانتی‌متر و ارتفاع ۲/۵ سانتی‌متر منتقل و در دمای یخچال (۴ درجه سلسیوس) به مدت ۱۶ ساعت قرار داده شد. استحکام ژل با استفاده از دستگاه تجزیه و تحلیل بافت بروکفیلد (مدل CT3) با سل ۵ کیلوگرم، سرعت متقاطع ۱ میلی‌متر بر ثانیه، مجهز به پیستون استوانه‌ای تفلون مسطح

گرفت. همه آزمایشات با سرعت اسکن ۱۰ درجه سلسیوس در دقیقه انجام و از یک ظرف آلومینیومی خالی به عنوان مرجع استفاده شد (Salem *et al.*, 2020).

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌های بدست آمده از آزمون‌ها با نرم افزار SPSS نسخه ۲۶ در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد و میانگین‌ها در سطح احتمال خطای ۵ درصد با آزمون چند دامنه‌ای دانکن مقایسه گردید.

نتایج و بحث

بازده استخراج ژلاتین

در این پژوهش، میزان بازده استخراج ژلاتین پای مرغ به روش اسیدی (اسید سولفوریک) براساس وزن مرطوب محاسبه گردید (جدول ۱). بازده ژلاتین به نوع ماده اولیه و شرایط فرآیند استخراج بستگی دارد (Karim *et al.*, 2009). بیشترین مقدار بازده مربوط به روش خشک کردن آون هوای داغ ۷۰ درجه سلسیوس بود. مقدار بازده ژلاتین پای مرغ خشک شده در روش پاششی ۱۴۰ درجه سلسیوس (۵ درصد) پایین‌تر از سایر روش‌های خشک کردن بدست آمد. طبق یافته‌های سالم و همکاران (۲۰۲۰) ژلاتین سگ ماهی در روش خشک کردن پاششی دارای بازده کمتری نسبت به سایر روش‌ها بود (Salem *et al.*, 2020). کنوات و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند خشک کردن ژلاتین به روش پاششی، راندمان کمتری نسبت روش‌های انجمادی و ماکروویو دارد (Kanwate *et al.*, 2019). بازده کمتر در خشک کردن پاششی احتمالاً به دلیل چسبیدن پودر ژلاتین به دیوار خشک‌کن پاششی است و نمی‌توان آن را بازیابی نمود.

جدول ۱- بازده استخراج ژلاتین پای مرغ خشک شده با روش‌های مختلف
gelatin dried by different methods Table 1- The yield of chicken feet
Sample Gel strength (%)

$$X = \frac{(a^* + 1.75L^*)}{(5.645L^* + a^* - 3.012b^*)} \quad (3)$$

$$BI = \frac{(X - 0.31) \times 100}{0.17} \quad (4)$$

که در این فرمول‌ها، L^* نشان دهنده روشنایی، a^* شاخص رنگ سبز-قرمز و b^* شاخص رنگ آبی-زرد و همچنین ΔL^* ، Δa^* و Δb^* تفاوت بین پارامترهای رنگی مربوط به نمونه‌ها و استاندارد و BI شاخص قهوه‌ای است.

تعیین کدورت

برای تعیین کدورت محلول، ۵/۰ گرم پودر ژلاتین در ۱۵ میلی‌لیتر آب مقطر در دمای ۶۰ درجه سلسیوس به کمک همزن حل شد تا غلظت ۶/۶۷ درصد (w/v) بدست آمد. کدورت محلول‌های ژلاتین با خواندن میزان جذب در ۳۶۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر UV/Vis (Alpha-1502، هند) در دمای اتاق (۲۵ درجه سلسیوس) اندازه گیری شد (Mad-Ali *et al.*, 2016).

بررسی ویسکوزیته

ویسکوزیته نمونه‌های ژلاتین با دستگاه ویسکومتر بروکفیلد (DVII Ultra Brookfield، آمریکا) و به روش استاندارد تعیین گردید. ویسکوزیته محلول ۶/۶۷ درصد (w/v) ژلاتین با استفاده از اسپیندل شماره ۱۸-LV-SC4 با سرعت ۱۰۰ دور در دقیقه و در دمای ۴۰ درجه سلسیوس بر حسب واحد سانتی‌پواز اندازه‌گیری شد (Mohtar *et al.*, 2010).

آزمون کالریمتری روبشی تفاضلی^۱ (DSC)

DSC با استفاده از یک گرماسنج روبشی تفاضلی (DSC-500، نتزش، سوئیس) انجام شد. پودرهای ژلاتین به اندازه ۱۵ میلی‌گرم توزین و به طور دقیق در ظرف‌های آلومینیومی کاملاً بسته‌بندی شد. مشخصات حرارتی نمونه‌های ژلاتین در یک محدوده دمایی از ۲۰ تا ۹۰ درجه سلسیوس برای تعیین نقطه ذوب مورد تجزیه و تحلیل قرار

¹Differential scanning calorimetry

نمونه	قدرت ژل (%)
Hot air gelatin 50 °C	7.00 ± 0.04 ^c
Hot air gelatin 60 °C	7.75 ± 0.13 ^b
Hot air gelatin 70 °C	8.60 ± 0.20 ^a
Freeze-dried gelatin	7.50±0.18 ^b
Spray-dried gelatin 120 °C	5.50±0.31 ^d
Spray-dried gelatin 140 °C	5.00 ± 0.25 ^d

حروف متفاوت کوچک در هر ستون، بیانگر اختلاف معنی دار می باشد (P<0.05)

استحکام ژل ژلاتین

احتمالاً به دلیل تخریب حرارتی بیشتر در دماهای بالاتر در خشک کن پاششی است. بنابراین، برای تولید ژلاتین‌هایی با استحکام ژل قابل قبول، استفاده از دمای خشک کردن پایین‌تر و دنا توره شدن کمتر پروتئین مطلوب می‌باشد. طبق یافته‌های مدعلی و همکاران (۲۰۱۷) ژلاتین پوست بز خشک شده با روش‌های انجمادی و پاششی استحکام ژل بالاتری نسبت به ژلاتین تجاری داشتند و این قدرت ژل بالا به محتوای اسیدآمینه به‌خصوص هیدروکسی پرولین آن مربوط می‌باشد (Mad-Ali *et al.*, 2016). اسیدهای آمینه باعث پایداری مارپیچ سه‌گانه کلاژن و ساختار ژل از طریق پیوند هیدروژنی بین مولکول‌های آب آزاد و گروه هیدروکسیل هیدروکسی پرولین موجود در ژلاتین می‌گردند (Fernandez-Diaz *et al.*, 2001). علاوه بر این، تفاوت در استحکام ژل می‌تواند به دلیل تفاوت در ویژگی‌های ذاتی، مانند توزیع وزن مولکولی و ترکیب اسیدآمینه باشد. شرایط پیش تیمار و نوع ماده خام بر ترکیبات شیمیایی ژلاتین و در نتیجه بر خواص عملکردی (به ویژه ژل شدن) تأثیر می‌گذارد.

خصوصیت مهمی که ارزش ژلاتین تجاری را تعیین می‌کند، سفتی ژل آن است و این سفتی با قدرت ژل مشخص شد. نتایج این بررسی در جدول ۲ آمده است. نمونه‌های ژلاتین خشک شده در خشک‌کن انجمادی (۲۶۲/۵۰g) و ژلاتین آون هوای داغ ۵۰ درجه سلسیوس (۲۶۰/۵۰ g) بیشترین استحکام ژل را داشتند. طبق یافته‌های کواک و همکاران (۲۰۰۹) بیشترین استحکام ژلاتین کوسه مربوط به روش انجمادی بوده است که علت آن را می‌توان به تغییرات کمتر ژلاتین در دمای پایین‌تر نسبت داد (Kwat *et al.*, 2009). دلیل دیگر، احتمالاً این است که خشک کردن انجمادی، باعث ایجاد برهمکنش‌های مولکولی بیشتر و در نتیجه باعث افزایش سفتی پروتئین می‌شود. محققین گزارش دادند در ژلاتین کوسه، قدرت ژل در روش خشک کردن با آون در دمای ۳۰ درجه سلسیوس پایین‌تر از روش انجمادی است. داده‌ها نشان دادند که ژلاتین پای مرغ با روش آون هوای داغ، به ویژه در دمای پایین (۵۰ درجه سلسیوس)، استحکام ژل بالاتری نسبت به روش پاششی دارد. این تفاوت

جدول ۲- استحکام ژل ژلاتین پای مرغ خشک شده با روش‌های مختلف

Table 2. Gel strength of chicken feet gelatin dried by different methods

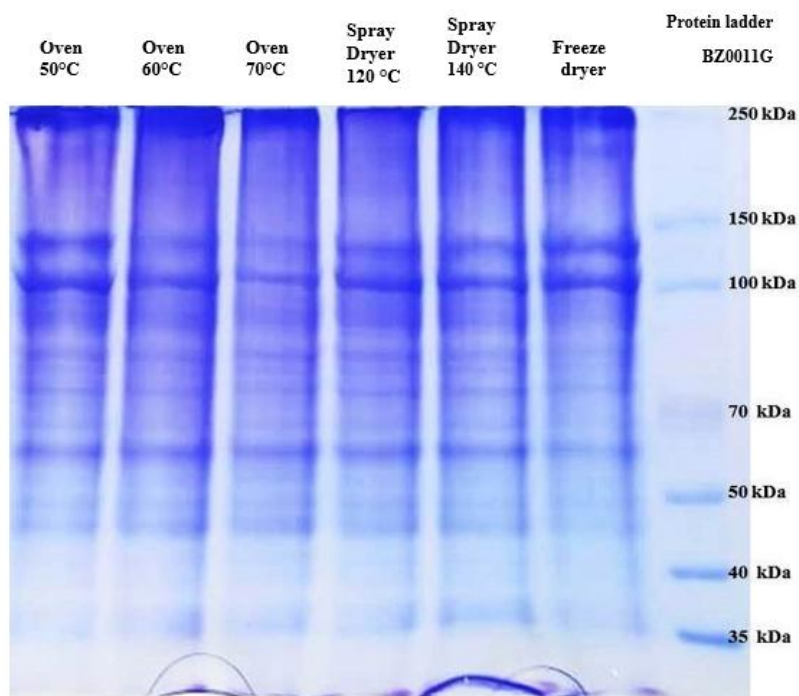
Sample	Gel strength (%)
نمونه	قدرت ژل (%)
Hot air gelatin 50 °C	260.50±3.00 ^a
Hot air gelatin 60 °C	230.50 ± 2.52 ^{ab}
Hot air gelatin 70 °C	241.50 ± 2.50 ^{ab}
Freeze-dried gelatin	262.50 ± 4.50 ^a
Spray-dried gelatin 120 °C	206.50 ± 3.50 ^b
Spray-dried gelatin 140 °C	234.00 ± 4.00 ^{ab}

حروف متفاوت کوچک در هر ستون، بیانگر اختلاف معنی دار می‌باشد (P<0.05)

الگوی پروتئینی ژلاتین

روشی SDS-PAGE معمول برای بررسی مراحل خالص سازی، محاسبه مقدار نسبی و تعیین

وزن مولکولی پروتئین‌ها بکار می‌رود (Sabzi *et al.*, 2024). توزیع وزن مولکولی، ساختار و ترکیب زیرواحدها شامل زنجیره آلفا و بتا و همچنین قطعات پروتئینی با وزن مولکولی کم در ژلاتین‌ها تأثیر قابل توجهی بر خواص عملکردی و فیزیکی ژلاتین‌ها دارد (Salem *et al.*, 2020). تأثیر روش‌های مختلف خشک کردن بر الگوهای پروتئینی ژلاتین پای مرغ در شکل (۱) ارائه شده است. پروتئین‌هایی با وزن مولکولی بالا (۱۰۰ تا ۲۵۰ کیلودالتون) در تمام نمونه‌های ژلاتین مشاهده شد. زنجیره آلفا با وزن مولکولی تقریبی ۱۳۰-۱۰۰ کیلودالتون در همه نمونه‌ها برجسته بود. گومز-گولن و همکاران (۲۰۱۱) بیان کردند که پیوندهای پروتئینی با وزن مولکولی بالاتر، تأثیر مثبت روی ویژگی‌های فیزیکی ژلاتین (مانند استحکام ژل) دارند (Gomez-Guillen *et al.*, 2011). با توجه به نتایج بدست آمده توسط کنوات و همکاران (۲۰۱۹)، ژلاتین خشک شده پاششی دارای باندهای پروتئینی با وزن‌های مولکولی پایین و بالا (۴۰ تا ۲۵۰ کیلودالتون) می‌باشد (Kanwate *et al.*, 2019). سای و لیو و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند نمونه ژلاتین خشک شده با روش پاششی در مقایسه با ژلاتین خشک شده با روش انجمادی، بیشتر تجزیه شد. در واقع ژلاتین خشک شده انجمادی با حفظ مقادیر بالاتر زنجیره‌های α و β ، استحکام ژل بالاتری نسبت به سایر نمونه‌ها داشت (شکل ۱). تخریب ژلاتین پوست کوسه در دمای بالا بیشتر از ژلاتین استخراج شده در دمای پایین بوده است (Sae-Leaw & Benjakul, 2015). همچنین نتایج خشک کردن در آون در دماهای مختلف (۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس) نشان داد که افزایش دما، باعث تخریب ژلاتین حین خشک کردن می‌گردد (شکل ۱) که این نتایج با تحقیقات گومز-گولن و همکاران (۲۰۰۲) مطابقت داشت (Gómez-Guillén *et al.*, 2002).



شکل ۱- الگوهای پروتئینی ژلاتین پای مرغ خشک شده با روش‌های مختلف

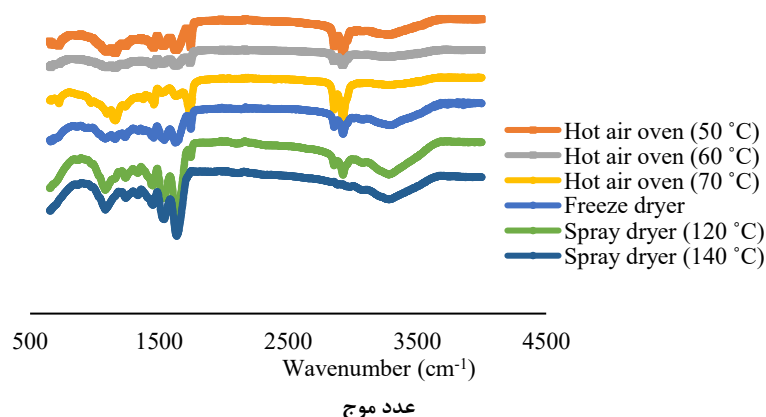
Figure 1- Protein patterns of chicken feet gelatin dried by different methods

ویژگی‌های ساختاری ژلاتین با استفاده از FTIR
آنالیز FTIR یکی از آنالیزهای پرکاربرد در حوزه شناسایی ترکیبات و پیوندهای موجود در مواد آلی و معدنی

و از زیرمجموعه‌های آنالیزهای طیف سنجی می‌باشد. براساس نتایج به دست آمده همه نمونه‌های ژلاتین طیف مشابهی با نوارهای جذبی واقع در مناطق آمیدی داشتند. باند آمید I مربوط به ژلاتین‌های پای مرغ در محدوده $1698/21$ و $1741/09$ cm^{-1} قرار گرفته است. جذب در ناحیه آمید I مفیدترین یافته طیف سنجی مادون قرمز در مطالعه ساختار پروتئین ثانویه است. در واقع تفاوت‌های طیفی در آمید I نمونه‌های مختلف ژلاتین تا حد زیادی به ترکیب متفاوت زنجیره‌های پلی‌پپتیدی و همچنین پیوند هیدروژنی در پروتئین نسبت داده شده است (Uriarte-Montoya et al., 2011). به طور کلی تفاوت قابل توجهی در پیک‌های آمید I بین نمونه‌های ژلاتین پای مرغ مشاهده نشد (شکل ۲ و جدول ۳).

طبق یافته‌های مادعلی و همکاران (۲۰۱۷) طول موج پیک آمید I در ژلاتین پوست بز حاصل از خشک کردن پاششی در مقایسه با خشک کردن انجمادی، کمی بالاتر بود (Mad-Ali et al., 2016). این امر، از دست دادن مارپیچ سه گانه و اختلال در واکنش بین زنجیره‌ای ناشی از خشک کردن پاششی در دمای بالا را نشان می‌دهد. همچنین حمزه و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که آمید I ژلاتین پوست ماهی خشک شده به روش پاششی در طول موج‌های بالاتر مشاهده شد که احتمالاً به دلیل از دست رفتن بیشتر مارپیچ سه گانه بوده است (Hamzeh et al., 2018). باندهای جذب شده نمونه‌های ژلاتین پای مرغ بدست آمده از روش‌های مختلف خشک کردن در آمید II در در محدوده $1618/05$ و $1629/24$ cm^{-1} قرار داشت. طبق یافته‌های مادعلی و همکاران (۲۰۱۷) باند آمید II، در ژلاتین پوست بز خشک شده به روش انجمادی در مقایسه با خشک کردن

پاششی به طول موج پایین‌تر تغییر یافت که این تغییر را می‌توان به پیوندهای هیدروژنی نسبت داد (Mad-Ali et al., 2016). در طول خشک کردن پاششی، پیوندهای هیدروژنی از بین رفته و پیوندهای H-N ممکن است مختل شوند. هاشیم و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که ارتعاش آمید II در اثر تغییر شکل پیوندهای H-N ایجاد می‌شود. باندهای آمید III برای ژلاتین‌های پای مرغ بدست آمده از روش‌های مختلف خشک کردن در طول موج‌های $1077/46$ تا $1159/48$ cm^{-1} مشاهده گردید و تغییرات قابل توجهی در آمید III مشاهده نشد (Hashim et al., 2010). باند آمید A که ناشی از ارتعاشات کششی گروه H-N است، برای ژلاتین پای مرغ در محدوده $3262/21$ cm^{-1} و $3366/6$ cm^{-1} ظاهر شد. طبق یافته‌های حمزه و همکاران (۲۰۱۸) باند آمید A برای نمونه‌های ژلاتین ماهی خشک شده با روش‌های پاششی و انجمادی در محدوده 3275 cm^{-1} و 3310 cm^{-1} مشاهده گردید (Hamzeh et al., 2018). طبق یافته‌های کنوات و همکاران (۲۰۱۹) طول موج‌های آمید A برای نمونه ژلاتین‌های خشک شده با روش‌های پاششی و انجمادی در محدوده 3273 و 3294 cm^{-1} قرار داشت (Kanwate et al., 2019). همچنین طول موج‌های آمید A روش پاششی کوتاه‌تر از روش انجمادی بدست آمد که احتمالاً به علت درگیری کوتاه تر پپتیدهای گروه H-N در باند هیدروژنی بوده است. باند آمید B در نمونه ژلاتین‌های مختلف پای مرغ در محدوده $2894/98$ و $2922/94$ cm^{-1} مشاهده گردید. همچنین طبق یافته‌های حمزه و همکاران (۲۰۱۸) پیک‌های آمید B در نمونه ژلاتین ماهی بدست آمده در روش‌های خشک کردن پاششی و انجمادی در محدوده 2907 و 2922 cm^{-1} قرار داشت (Hamzeh et al., 2018).



شکل ۲- نمودار FTIR ژلاتین پای مرغ خشک شده با روش‌های مختلف
Figure 2- FTIR diagram of chicken feet gelatin dried by different methods

جدول ۳- نوارهای آمیدی ژلاتین پای مرغ خشک شده با روش‌های مختلف
Table 3- Amide bands of chicken feet gelatin dried by different methods

Type of Amide	Wavenumber (cm ⁻¹)
نوع آمید	طول موج (cm ⁻¹)
Amid I	1698.21-1741.09
Amid II	1618.05-1629.24
Amid III	1077.46-1159.48
Amid A	3262.21-3366.6
Amid B	2894.98-2922.94

ارزیابی رنگ

و بیشترین مقدار زردی و ΔE مربوط به روش خشک کردن ژلاتین پای مرغ با آون هوای داغ ۷۰ درجه سلسیوس بود. طبق یافته‌های مادعلی و همکاران (۲۰۱۷) اگرچه بیشترین مقدار روشنایی مربوط به روش‌های خشک کردن پاششی و انجمادی است، اما فاکتور قرمزی و زردی در روش خشک کردن پاششی بالاتر از روش انجمادی می‌باشد (Mad- Ali *et al.*, 2016). با توجه به معادلات ارزیابی رنگ می‌توان دریافت که تغییر میزان روشنایی، قرمزی و زردی مواد غذایی (در اثر تخریب رنگدانه‌ها به هنگام خشک شدن آنها)، باعث افزایش تغییر رنگ کلی و شاخص قهوه‌ای شدن می‌شود و در نتیجه، خصوصیات کیفی ماده غذایی کاهش پیدا می‌کند. در طول خشک کردن، واکنش قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی ممکن است در دمای بالا ایجاد شود که می‌تواند زردی ژل را افزایش دهد. در طی خشک کردن، ترکیبات کربونیل

رنگ می‌تواند نشان دهنده تغییرات شیمیایی مواد غذایی در طی فرآیندهای حرارتی مثل قهوه‌ای شدن، کاراملیزاسیون، سرخ کردن و خشک کردن باشد (Farahmandfar *et al.*, 2019). پارامترهای رنگی شامل L^* ، a^* ، b^* و ΔE^* ژلاتین پای مرغ خشک شده با روش‌های مختلف در جدول ۴ و تصویر نمونه‌های خشک شده در شکل ۳ نشان داده شده است. خشک‌کن پاششی در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس با اختلاف معنی‌داری دارای بیشترین مقدار فاکتور L^* (روشنایی) یعنی ۷۱/۵۱ بود ($p < 0.05$). آون هوای داغ با دمای ۶۰ درجه سلسیوس کمترین فاکتور (a^*) (بیشترین سبزی) داشت، اما فاکتور زردی (b^*) در روش خشک کردن انجمادی (۶/۳۵) پایین‌تر از سایر روش‌های خشک کردن بدست آمد ($p < 0.05$). کمترین فاکتور روشنایی

(مانند آلدئید و کتون) از اکسیداسیون لیپید می‌توانند با گروه‌های آمینه اسیدهای آمینه آزاد یا پپتیدها از طریق واکنش قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی واکنش دهند. بنابراین نوع ماده خام و فرآیند استخراج ژلاتین به ویژه روش‌های خشک کردن می‌تواند بر رنگ ژلاتین تأثیرگذار باشد. نتایج بدست آمده از این پژوهش نشان داد که ژلاتین آون هوای داغ ۷۰ درجه سلسیوس بالاترین میزان پارامتر BI را به همراه داشت لذا عیب عمده خشک کردن با جریان هوای داغ، ایجاد رنگ

جدول ۴- پارامترهای رنگ ژلاتین پای مرغ خشک شده با روش‌های مختلف

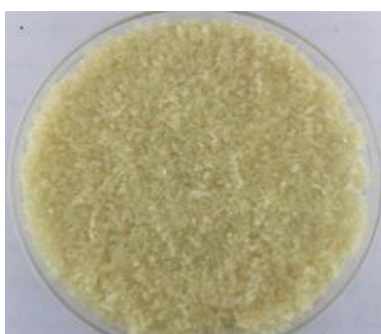
Table 4- Color parameters of chicken feet gelatin dried by different methods

Sample نمونه	BI شاخص قهوه ای شدن	ΔE اختلاف رنگ	b* شاخص زردی	a* شاخص قرمزی	L* شاخص روشنایی
Hot air gelatin 50 °C	44.69±0.31 ^b	39.68±0.71 ^b	25.71±0.89 ^c	-4.51±0.24 ^b	63.24±0.52 ^c
Hot air gelatin 60 °C	44.19±0.25 ^b	39.95±0.56 ^b	25.66±0.62 ^c	-5.02±0.39 ^b	62.91±0.66 ^c
Hot air gelatin 70 °C	55.58±0.47 ^a	42.81±0.45 ^a	28.73±0.49 ^b	-3.62±0.44 ^b	61.58±0.26 ^c
Freeze-dried gelatin	9.26±0.08 ^c	27.50±0.48 ^c	6.35±0.22 ^d	-4.84±0.26 ^b	66.53±1.42 ^b
Spray-dried gelatin 120 °C	7.73±0.51 ^d	23.78±0.12 ^d	8.54±0.18 ^d	-4.44±0.28 ^b	71.51±0.28 ^a
Spray-dried gelatin 140 °C	7.01±0.45 ^d	25.09±0.60 ^d	7.91±0.02 ^d	-4.38±0.37 ^b	69.88±1.36 ^a

حروف متفاوت کوچک در هر ستون، بیانگر اختلاف معنی دار می‌باشد (P<0.05)



Hot air gelatin 50 °C



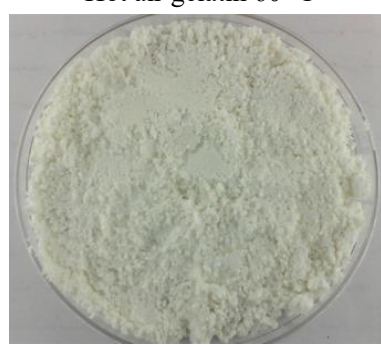
Hot air gelatin 60 °C



Hot air gelatin 70 °C



Freeze-dried gelatin



Spray-dried gelatin 120 °C



Spray-dried gelatin 140 °C

شکل ۳- تصاویر ژلاتین پای مرغ خشک شده حاصل از روش‌های مختلف

Figure 3- Images of chicken feet gelatin dried by different methods

کدورت

روش‌های خشک کردن پاششی در دمای ۱۲۰ و ۱۴۰ درجه سلسیوس بود. مادعلی و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند کدورت ژلاتین بدست آمده از روش‌های خشک کردن پاششی و انجمادی بالاتر از ژلاتین تجاری می‌باشد. این محققین بیان کردند هنگامی که ژلاتین در دمای بالا با روش پاششی خشک می‌شود، مولکول‌های ژلاتین ممکن است در معرض گروه‌های واکنشگر آبگریز قرار گیرند و در نتیجه تغییرات ساختاری و تا حدی تجمع در آنها صورت پذیرد (Mad-Ali et al., 2017).

شفافیت ژلاتین یکی از خواص زیبایی شناختی ضروری است و به طور کلی کیفیت و مقبولیت محصول نهایی را تعیین می‌کند. کدورت و رنگ تیره ژلاتین معمولاً ناشی از آلاینده‌های معدنی، پروتئینی و مخاطی است که در طول استخراج حذف نمی‌شوند. نتایج آزمون کدورت مربوط به ژلاتین پای مرغ بدست آمده در جدول ۵ نشان داده است. روش‌های خشک کردن بر کدورت محلول ژلاتین تأثیر گذارند به طوری که بیشترین مقدار کدورت مربوط به

جدول ۵- کدورت ژلاتین پای مرغ خشک شده به روش‌های مختلف

Table 5- Turbidity of chicken feet gelatin dried by different methods

Sample نمونه	Turbidity کدورت
Hot air gelatin 50 °C	1.26±0.11 ^d
Hot air gelatin 60 °C	1.85±0.06 ^c
Hot air gelatin 70 °C	2.08±0.03 ^b
Freeze-dried gelatin	1.96±0.01 ^c
Spray-dried gelatin 120 °C	2.66±0.08 ^a
Spray-dried gelatin 140 °C	2.60±0.01 ^a

حروف متفاوت کوچک در هر ستون، بیانگر اختلاف معنی دار می‌باشد (P<0.05)

ویسکوزیته

از مقدار گزارش شده توسط بوران و همکاران (۲۰۱۰) برای ژلاتین پوست ماهی (۵/۴۳ cP)، ژلاتین مرغ (۴/۹۴ cP) و ژلاتین پوست خوک (۵/۱۱ cP) بود.

گرماسنجی روبشی تفاضلی (DSC)

ژلاتین ممکن است در حین استفاده در صنایع غذایی یا دارویی یا در طول فرآیند ذخیره سازی، در معرض پردازش حرارتی قرار گیرد. به منظور توصیف خواص حرارتی ژلاتین-های استخراج شده، آنالیز DSC انجام شد. نتایج آنالیز DSC مربوط به ژلاتین‌های بدست آمده از روش‌های مختلف خشک کردن در شکل ۴ نشان داده شده است. نمودار DSC مربوط به ژلاتین‌های بدست آمده دارای یک پیک گرماگیر بودند و دمای ذوب در پایین‌ترین نقطه پیک گرماگیر مشاهده شد. دمای ذوب ژلاتین در خشک‌کن هوای داغ ۵۰،

ویسکوزیته مشخصه هیدروکلوئیدهایی مانند ژلاتین است که رابطه مستقیمی با وزن مولکولی، پراکندگی مولکولی^۱ و همچنین استحکام ژل دارد. ویسکوزیته دومین ویژگی فیزیکی مهم تجاری ژلاتین است. نتایج ویسکوزیته بدست آمده نمونه‌های ژلاتین پای مرغ در جدول ۶ نشان داده شده است. بیشترین مقدار ویسکوزیته مربوط به روش خشک کردن پاششی در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس (۸/۷۹ cP) بود. طبق یافته‌های بوران و همکاران (۲۰۱۰) افزایش ویسکوزیته ممکن است مربوط به ناخالصی‌هایی از قبیل بخش‌های پروتئینی غیر کلاژنی با وزن مولکولی نسبتاً بالا باشد (Boran et al., 2010). مقدار ویسکوزیته ژلاتین پای مرغ در روش خشک کردن پاششی در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس بالاتر

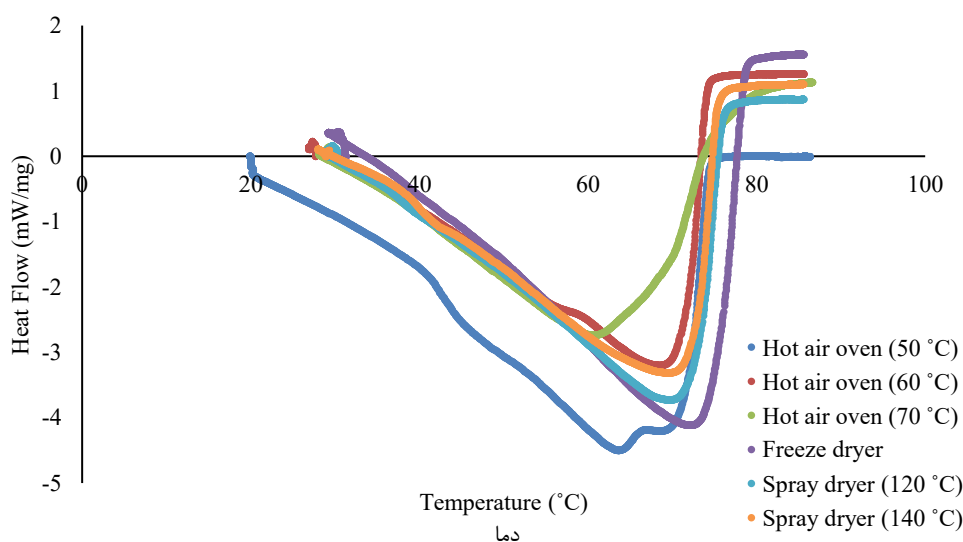
^۱ Polydispersity

۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس، خشک‌کن انجمادی، خشک‌کن پاششی ۱۲۰ و ۱۴۰ درجه سلسیوس به ترتیب ۶۳/۷، ۶۸/۶، ۶۰/۸، ۷۲/۲، ۶۹/۷ و ۶۹/۶ درجه سلسیوس بدست آمد لذا دمای ذوب ژلاتین بدست آمده از روش خشک کردن انجمادی بالاتر از سایر روش‌ها بود. در واقع دمای ذوب بالاتر ژلاتین در روش خشک کردن انجمادی، نشان دهنده پایداری ساختاری بیشتر آن نسبت به سایر روش‌های خشک کردن بود. طبق یافته‌های سالم و همکاران (۲۰۲۰) نتایج DSC نشان داد که ژلاتین بدست آمده در روش میکروویو و آون هوای داغ دارای دمای ذوب پایین‌تری بودند. این کاهش ممکن است به اختلال ساختار مارپیچ سه‌گانه زنجیره‌های ژلاتینی و همچنین به کاهش طول زنجیره نسبت داده شود (Salem et al., 2020).

جدول ۶- ویسکوزیته ژلاتین پای مرغ خشک شده به روش‌های مختلف
gelatin dried by different methods Table 6-Viscosity of chicken feet

Sample	Viscosity (cP)
نمونه	ویسکوزیته
Hot air gelatin 50 °C	8.28±0.13 ^b
Hot air gelatin 60 °C	6.99±0.18 ^c
Hot air gelatin 70 °C	5.25±0.11 ^d
Freeze-dried gelatin	6.75±0.14 ^c
Spray-dried gelatin 120 °C	8.79±0.20 ^a
Spray-dried gelatin 140 °C	4.92±0.15 ^d

حروف متفاوت کوچک در هر ستون، بیانگر اختلاف معنی دار می‌باشد (P<0.05)



شکل ۴- دمانگاشت DSC ژلاتین پای مرغ خشک شده به روش‌های مختلف
Figure 4- DSC thermogram of chicken feet gelatin dried by different methods

فیزیکوشیمیایی و عملکردی ژلاتین تأثیر متفاوتی داشتند.

همانطور که مشاهده شد خشک کردن آون هوای داغ ۷۰ درجه سلسیوس راندمان استخراج بالاتری را نسبت به سایر

نتیجه گیری

از بررسی نتایج پژوهش حاضر می‌توان نتیجه گرفت که روش‌های مختلف خشک کردن ژلاتین از پای مرغ بر خواص

روش‌ها داشت. بررسی الگوهای پروتئینی نشان داد که پروتئین‌ها با وزن‌های مولکولی مختلف تقریباً در تمامی نمونه‌های ژلاتین مشاهده می‌شود اما خشک‌کن انجمادی دارای تخریب پروتئین کمتری بود و زنجیره‌های α و β را حفظ کرد و بالاترین میزان استحکام ژل و دمای ذوب را به همراه داشت و از طرف دیگر، این نمونه‌ها شفافیت ژلاتین بالا (کدورت پایین) از خود نشان دادند. با توجه به داده‌های بدست آمده می‌توان گفت که روش‌های مختلف خشک کردن بر خصوصیات ژلاتین تهیه شده از پای مرغ تأثیر متفاوتی می‌گذارند و همچنین از بین روش‌های به‌کاربرده شده، خشک کردن انجمادی می‌تواند یک روش خشک کردن مناسب برای تهیه ژلاتین از پای مرغ باشد.

تعارض منافع

نویسندگان در زمینه انتشار مقاله ارائه شده به طور کامل از سوء اخلاق نشر، از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پرهیز نموده‌اند و منافعی تجاری در این راستا ندارند.

منابع

- Boran, G., Mulvaney, S. J., and Regenstien, J. M. 2010. Rheological properties of gelatin from Silver Carp skin compared to commercially available gelatins from different sources. *J. Food Sci.* 75(8): E565-E571.
- Chakka, A. K., Muhammed, A., Sakhare, P. Z., and Bhaskar, N. 2017. Poultry processing waste as an alternative source for mammalian gelatin: Extraction and characterization of gelatin from chicken feet using food grade acids. *Waste Biomass Valori.* 8(8): 2583-2593.
- Dehnad, D., Jafari, S. M., and Afrasiabi, M. 2016. Influence of drying on functional properties of food biopolymers: From traditional to novel dehydration techniques. *Trends Food Sci. Technol.* 57, 116-131.
- Farahmandfar, R., Mohseni, M., and Asnaashari, M. 2017. Effects of quince seed, almond, and tragacanth gum coating on the banana slices properties during the process of hot air drying. *Food Sci. Nutr.* 5(6): 1057-1064.
- Farahmandfar, R., Asnaashari, M., Amraie, M., and Salehi, M. 2019. Color and weight changes of fresh-cut banana slices coated by quince seed gum: Effect of concentration, storage temperature and duration. *Iranian Food Sci. Technol. Res. J.* 14(6): 75-85.
- Fernandez-Díaz, M. D., Montero, P., and Gomez-Guillen, M. C. 2001. Gel properties of collagens from skins of cod (*Gadus morhua*) and hake (*Merluccius merluccius*) and their modification by the coenhancers magnesium sulphate, glycerol and transglutaminase. *Food Chem.* 74(2): 161-167.
- Gómez-Guillén, M. C., Turnay, J., Fernández-Díaz, M. D., Ulmo, N., Lizarbe, M. A., and Montero, P. 2002. Structural and physical properties of gelatin extracted from different marine species: a comparative study. *Food Hydrocoll.* 16(1): 25-34.
- Hashim, D. M., Man, Y. C., Norakasha, R., Shuhaimi, M., Salmah, Y., and Syahariza, Z. A. 2010. Potential use of Fourier Transform Infrared Spectroscopy for differentiation of bovine and porcine gelatins. *Food Chem.* 118(3): 856-860.
- Hamzeh, A., Benjakul, S., Sae-Leaw, T., and Sinthusamran, S. 2018. Effect of drying methods on gelatin from splendid squid (*Loligo formosana*) skins. *Food Biosci.* 26, 96-103.
- Huang, T., Tu, Z. C., Wang, H., Shangguan, X., Zhang, L., Zhang, N. H., and Bansal, N. 2017. Pectin and enzyme complex modified fish scales gelatin: Rheological behavior, gel properties and nanostructure. *Carbohydr. Polym.* 156, 294-302.
- Kanwate, B. W., Ballari, R. V., and Kudre, T. G. 2019. Influence of spray-drying, freeze-drying and vacuum-drying on physicochemical and functional properties of gelatin from Labeo Rohita swim bladder. *Int. J. Biol. Macromol.* 121, 135-141.

- Karim, A. A., and Bhat, R. 2009. Fish gelatin: properties, challenges, and prospects as an alternative to mammalian gelatins. *Food hydrocoll.* 23(3): 563-576.
- Khiari, Z., Rico, D., Martin-Diana, A. B., and Barry-Ryan, C. 2017. Valorization of fish by-products: rheological, textural and microstructural properties of mackerel skin gelatins. *J. Mater. Cycles Waste Manag.* 19(1): 180-191.
- Kwat, K. S., Cho, S. M., Ji, C. I., Lee, Y. B., and Kim, S. B. 2009. Changes in functional properties of shark (*Isurus oxyrinchus*) Cartilage gelatin produced by different drying methods. *Int. J. Food Sci. Technol.* 44(8): 1480-1484.
- Lin, L., Regenstein, J. M., Lv, S., Lu, J., and Jiang, S. 2017. An overview of gelatin derived from aquatic animals: Properties and modification. *Trends Food Sci. Technol.* 68, 102-112.
- Mad-Ali, S., Benjakul, S., Prodpran, T., and Maqsood, S. 2016. Interfacial properties of gelatin from goat skin as influenced by drying methods. *LWT.* 73, 102-107.
- Mirzapour-Kouhdasht, A., Sabzipour, F., Taghizadeh, M. S., and Moosavi-Nasab, M. 2019. Physicochemical, rheological, and molecular characterization of colloidal gelatin produced from Common Carp by-products using microwave and ultrasound-assisted extraction. *J. Texture Stud.* 50(5): 416-425.
- Mohtar, N. F., Perera, C., & Quek, S. Y. 2010. Optimisation of gelatine extraction from hoki (*Macrurus novaezelandiae*) skins and measurement of gel strength and SDS-PAGE. *Food Chem.* 122(1): 307-313.
- Nagarajan, M., Benjakul, S., Prodpran, T., Songtipya, P., and Kishimura, H. 2012. Characteristics and functional properties of gelatin from Splendid Squid (*Loligo Formosana*) skin as affected by extraction temperatures. *Food hydrocoll.* 29(2): 389-397.
- Nurilmala, M., Suryamarevita, H., Hizbullah, H. H., Jacob, A. M., and Ochiai, Y. 2022. Fish skin as a biomaterial for halal collagen and gelatin. *Saudi J. Biol. Sci.* 29(2): 1100-1110.
- Nurafifah, F., Chuah, A. L., and Wahida, M. P. F. 2018. Drying of *Plectranthus amboinicus* (lour) spreng leaves by using oven dryer. *Eng. Agric. Environ. Food.* 11(4): 239-244.
- Park, J. H., Choe, J. H., Kim, H. W., Hwang, K. E., Song, D. H., Yeo, E. J., Kim, H.Y., Choi, Y.S., Lee, S.H. and Kim, C. J. 2013. Effects of various extraction methods on quality characteristics of duck feet gelatin. *Food Sci. Anim. Resour.* 33(2): 162-169.
- Rasli, H. I., and Sarbon, N. M. 2015. Effects of different drying methods on the rheological, functional and structural properties of chicken skin gelatin compared to bovine gelatin. *Int. Food Res. J.* 22(2): 584-592.
- Sabzi, F., Varidi, M. J., Varidi, M., and Asnaashari, M. 2024. Effect of verjuice (*Vitis vinifera* L.) on physicochemical and textural properties of beef *M. biceps femoris*. *Food Sci. Nutr.* 12(8): 5497-5517.
- Sae-Leaw, T., and Benjakul, S. 2015. Physico-chemical properties and fishy odour of gelatin from seabass (*Lates calcarifer*) skin stored in ice. *Food Biosci.* 10, 59-68.
- Salem, A., Fakhfakh, N., Jridi, M., Abdelhedi, O., Nasri, M., Debeaufort, F., and Zouari, N. 2020. Microstructure and characteristic properties of Dogfish skin gelatin gels prepared by freeze/spray-drying methods. *Int. J. Biol. Macromol.* 162, 1-10.
- Sinthusamran, S., Benjakul, S., and Kishimura, H. 2014. Characteristics and gel properties of gelatin from skin of seabass (*Lates calcarifer*) as influenced by extraction conditions. *Food Chem.* 152, 276-284.
- Uriarte-Montoya, M. H., Santacruz-Ortega, H., Cinco-Moroyoqui, F. J., Rouzaud-Sández, O., Plascencia-Jatomea, M., and Ezquerro-Brauer, J. M. 2011. Giant squid skin gelatin: Chemical composition and biophysical characterization. *Food Res. Int.* 44(10): 3243-3249.
- Wang, T. Y., Hsieh, C. H., Hung, C. C., Jao, C. L., Chen, M. C., and Hsu, K. C. 2015. Fish skin gelatin hydrolysates as dipeptidyl peptidase IV inhibitors and glucagon-like peptide-1 stimulators improve glycaemic control in diabetic rats: A comparison between warm-and cold-water fish. *J. Funct. Foods.* 19, 330-340.

Effect of Drying Methods on the Structural, Physical and Thermal Properties of Chicken Foot Gelatin

Sima Nematzadeh, Reza Farahmandfar, Reza Esmailzadeh Kenari, Jamshid Farmani, Maryam Asnaashari*

Corresponding Author: Assistant Professor, Department of Animal Processing, Animal Science Research Institute of Iran (ASRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

Email: asnaashari@asri.ir

Received: 31 January 2025 **Accepted:** 5 June 2025

http://doi: 10.22092/FOODER.2025.368486.1414

Abstract

The drying process is a crucial factor affecting the quality and shelf life of gelatin. This research explored how various drying techniques influence extraction yield, gel strength, protein pattern, structural features, color, turbidity, viscosity, and thermal properties of gelatin sourced from chicken feet. The findings revealed that hot air oven drying at 70°C produced the highest yield (8.60%), while spray drying at 140°C resulted in the lowest yield (5%). Both freeze-dried (262.50 g) and hot air oven-dried samples (260.50 g) exhibited the greatest gel strength. Differential scanning calorimetry indicated that the melting temperature of gelatin from freeze drying (72.2°C) was higher than that from other methods. The highest turbidity levels were recorded for spray drying at both 120°C and 140°C, with the highest L* value also seen at 120°C. The lowest a* value was found in samples dried at 60°C using a hot air oven. The highest viscosity measurement was associated with spray drying at 120°C (8.79 cP). Fourier transform infrared spectroscopy analysis showed that all gelatin samples had similar spectral features, with absorption bands in the amide regions. Proteins with different molecular weights were observed in almost all gelatin samples in SDS-PAGE analysis, but the least destruction of α and β protein chains occurred in gelatin obtained by freeze drying. Overall, the study suggests that freeze drying is the most effective method for drying gelatin from chicken feet.

Keywords: Gel strength, Acid extraction, Proteins, Spray dryer, Freeze dryer