

مروری بر اصول و روش‌های دودی کردن ماهیان خاویاری

ذبیح اله بهمنی^{*}، فاطمه نوغانی بهمیری^۱

۱- مرکز ملی تحقیقات فرآوری آبزیان، پژوهشکده آبی پروری آب‌های داخلی، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. بندرانزلی، گیلان، ایران. کدپستی: ۶۹۱۶-۴۱۶۶۶۱

چکیده

آبزیان به ویژه ماهیان خاویاری بعد از صید، مستعد فساد و آسیب می‌باشند که شدت آن به میزان اسیدیته، شرایط آب و هوایی، روش‌های فرآوری، نگهداری و دما در حین حمل و نقل بستگی دارد و این امر سبب ضرر و زیان مالی بسیاری به صنایع شیلاتی می‌شود. یکی از راه‌های کاهش ساد ماهی، استفاده از فرآیند دودی کردن است. دودی کردن نه تنها باعث افزایش عمر ماندگاری آبزیان می‌شود بلکه باعث ایجاد طعم و مزه خوشایند می‌گردد. هدف این مقاله، بیان تاریخچه، توصیف روش‌های مختلف دودی کردن ماهی، ترکیب شیمیایی ماهی دودی و دستگاه‌های مورد نیاز جهت دودی کردن ماهی می‌باشد. ماهیان خاویاری دودی مانند ماهی تازه حاوی مواد مغذی مانند پروتئین، چربی، فیبر، اسیدهای آمینه، مواد معدنی و ویتامین‌ها هستند که در ماهیان دودی میزان پروتئین، خاکستر، فیبر خام، اسیدهای آمینه، آمین‌های زیستی، مواد معدنی و فنول‌ها افزایش ولی محتوای رطوبت، فلور میکروبی به ویژه میکروب‌های بیماری‌زا (مانند گونه‌های ویبریو، مخمر، کپک و سالمونلا نمی‌توانند، رشد کنند)، کاهش می‌یابد. دودی کردن ماهی از نظر دمایی، به دو روش سرد و گرم انجام می‌شود در روش دودی گرم از دمای ۳۰ تا ۹۰ درجه سانتی‌گراد و در روش دودی سرد از دمای ۳۰ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد استفاده می‌شود، به طور کلی مصرف ماهی دودی می‌تواند برای انسان مفید باشد. در صورتی که تعداد باکتری‌های کلی مطابق با استانداردهای ماهی دودی بوده و عاری از میکروب‌های بیماری‌زا، قارچ‌ها، مخمرها و کپک‌ها باشد.

کلمات کلیدی: ماهیان خاویاری، روش‌های دودی کردن، ارزش غذایی، ترکیب شیمیایی، باکتری‌ها

^۱ نویسنده مسئول zabihbahmani@gmail.com *

بیان مسئله

ماهیان خاویاری به دلیل وجود پروتئین، اسیدهای چرب ضروری و غیراشباع بالا، دارای ارزش غذایی زیادی می باشند و در عین حال بسیار فسادپذیر هستند. میزان پرورش ماهیان خاویاری، از جمله فیل ماهی، قره برون، سبیری و ازون برون، ۴۷۸۷ تن گزارش شده است (سازمان شیلات ایران، ۱۴۰۲). فسادپذیری ماهیان به شرایط دمایی طی فرآیند عمل آوری، اسیدیته، گونه ماهی، آب و هوا، روش نگهداری و دمای حمل و نقل بستگی دارد (Adeyemi et al. 2013). تقریباً ۲۷ درصد از ماهی های صید شده به صورت تازه عرضه می شوند و ۷۳ درصد باقی مانده با روش های نگهداری مانند: نمک سود کردن، خشک کردن، انجماد، کنسرو کردن و دودی کردن فرآوری می شوند (Huss et al. 2000). دودی کردن را می توان به عنوان فرآیند نفوذ ترکیبات فرار در ماهی از طریق سوزاندن چوب تعریف کرد که می تواند محصولاتی با عطر و طعم خاص و ماندگاری طولانی تولید کند. فرآیند دودی کردن ترکیبی از فرآیندهای نمک سود کردن و خشک کردن است. این فرآیند را می توان در هر زمانی انجام داد و تحت تأثیر آب و هوا قرار نمی گیرد. فرآیندهای نگهداری مانند خشک کردن معمولی نیاز به نور خورشید دارند و به آب و هوا بستگی دارند، در حالی که فرآیند دودی کردن به آب و هوا بستگی ندارد زیرا فرآیند خشک کردن می تواند به دلیل گرمای حاصل از دود سوختن چوب انجام شود. تجزیه شیمیایی پروتئین، چربی و محتوای آب به فساد سریع ماهی کمک می کند. بنابراین، برای افزایش مدت زمان ماندگاری، فرآوری بیشتر مورد نیاز است. یکی از روش هایی که می توان استفاده کرد، دودی کردن ماهی است. دودی کردن ماهی از جمله روش هایی است که در زمینه فرآوری محصولات شیلاتی برای افزایش مدت زمان ماندگاری

محصول انجام می شود (Andhikawati & Pratiwi, 2021). ماهی دودی در صورت بسته بندی و نگهداری مناسب، حدود ۶ تا ۹ ماه ماندگاری دارد. ماهی دودی خشک شده ماندگاری بیشتری دارد و فرآیند توزیع ماهی دودی به نقاط فروش و مصرف کنندگان را تسهیل می نماید. دودی کردن، سبب ایجاد عطر و طعم بسیار خوشایند می شود و می تواند رشد میکروبی را مهار کند. یکی از روش های رایج برای دودی کردن، استفاده از دود مایع می باشد. مزایای استفاده از دود مایع شامل سهولت استفاده، کنترل آسان غلظت، یکنواختی محصول حاصل و سازگاری با محیط زیست است. در ایران از ماهیان مختلفی مانند ماهی سفید، کفال، کپور، ماهیان خاویاری، زالون، قزل آلا و سایر ماهیان پرورشی برای دودی کردن استفاده می گردد، در فرآیند دودی کردن ماهی از دمای ۸۰ تا ۱۰۰ درجه سانتی گراد به مدت ۳ تا ۴ ساعت یا دمای ۵۰ تا ۶۰ درجه سانتی گراد به مدت ۱۰ تا ۱۵ ساعت استفاده می شود (Berhimpon et al. 2018). با توجه به این که، ماهی بدون هیچگونه مواد نگهدارنده یا فرآوری، به شدت مستعد فساد است (Okonta & Ekelemu, 2005)، برای افزایش ماندگاری، کیفیت و ارزش غذایی، خود نیاز به جابجایی و نگهداری مناسب دارد (Andhikawati & Pratiwi, 2021). صنعت ماهیگیری علیرغم اهمیتش، از تلفات عظیم پس از صید رنج می برد که ۳۵ تا ۴۰ درصد از وزن صید و تلفات پس از آن سالانه حدود ۲۵ درصد از کل صید جهان را تشکیل می دهد (Food and Agriculture Organization, 2021). این تلفات تأثیر منفی عمیقی بر جوامع ماهیگیری دارد که وضعیت و میزان آن اغلب به فعالیت های پس از صید بستگی دارد. چنین تلفاتی همچنین تأثیر مخربی بر زندگی اجتماعی - اقتصادی جوامع ماهیگیری میگذارد و میزان پروتئین حیوانی موجود برای بخش بزرگی از جمعیت را کاهش می دهد (Adeyeye et al. 2019).

راهکارها و دستاوردها

دودی کردن مجموعه‌ای از فرآیندهای شیمیایی، حرارتی، انتشاری و بیوشیمیایی است که در محصول نمک‌سود شده اولیه انجام می‌شود. امروزه، این فناوری به اشکال مختلف برای فرآوری ۴۰ تا ۶۰ درصد از کل فرآورده‌های گوشتی و ۱۵ درصد از ماهی‌ها به کار می‌رود. دودی کردن به عنوان فرآیند نفوذ مواد فرار ناشی از تخریب حرارتی چوب به سطح گوشت یا فرآورده‌های ماهی تعریف می‌شود (Adeyeye, 2016). دود نه تنها طعم، رنگ و عطر خاصی به غذا می‌دهد، بلکه به دلیل خواص آبخزایی، ضدباکتریایی و آنتی‌اکسیدانی ناشی از دود مانند فرمالدئید و فنل‌ها در طول سوختن چوب و فرآیند دودی کردن، عمر ماندگاری آن را نیز افزایش می‌دهد (Muratore et al. 2007). ترکیبات فنلی تولید شده توسط «احتراق همراه با دما و شرایط دودی می‌تواند رشد میکروبی و اکسیداسیون را کاهش دهد (Varlet et al. 2007). قرار گرفتن ماهی در معرض دود باعث کاهش میزان رطوبت و غنی‌سازی گوشت ماهی با مواد مختلف دودزا می‌گردد. دودی که از سوختن چوب تولید شود سبب تولید چندین ماده ضد میکروبی در غذا می‌شود، که می‌تواند به طور موثری بسیاری از باکتری‌ها و واکنش‌های آنزیمی مضر، به ویژه در ترکیب با کاربرد دمای بالا را مهار و محدود کند (Uzojeinwa et al. 2016). فرآیند دودی کردن ماهی با استفاده از آتش انجام می‌شود. چوب حاوی سه جزء اصلی است که در فرآیند سوختن تجزیه شده و دود را تشکیل می‌دهد. فرآیند سوختن، پیرولیز نامیده می‌شود که به سادگی به عنوان تجزیه شیمیایی چوب توسط گرما تعریف می‌شود. اجزای اصلی چوب، سلولز، همی‌سلولز و لیگنین هستند (Alasalvar et al. 2011). مراحل اصلی در تهیه ماهی

دودی عبارتند از نمک‌سود کردن (از طریق حمام یا تزریق آب نمک مایع یا مخلوط نمک خشک)، دودی کردن سرد، خنک کردن، بسته‌بندی (هوا/خلأ یا اصلاح شده) و ذخیره‌سازی. دودی کردن، یکی از قدیمی‌ترین روش‌های نگهداری، ترکیبی از اثرات نمک‌سود کردن، خشک کردن، گرم کردن و دودی کردن است (Alasalvar et al. 2011). دودی کردن معمول ماهی یا سرد (۲۸ تا ۳۲ درجه سانتی‌گراد) یا گرم (۷۰ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد) است. دودی کردن سرد، گوشت را نمی‌پزد، پروتئین‌ها را منعقد نمی‌کند، آنزیم‌های فساد مواد غذایی را غیرفعال نمی‌کند یا عوامل بیماری‌زای غذایی را از بین نمی‌برد، و از این رو نگهداری در یخچال تا زمان مصرف ضروری است (Alasalvar et al. 2011)، دودی کردن شامل سه مرحله متوالی است: نمک‌سود کردن، خشک کردن و دودی کردن در دمای پایین، مساوی یا بیشتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (Montero et al. 2003). در دودی گرم سه فرآیند اصلی با هم ترکیب می‌شود:

(۱) پختن؛ از آنجایی که دودی کردن در دمای بالای ۸۰ درجه سانتی‌گراد انجام می‌شود، گوشت ماهی پخته شده، گرما باکتری‌های سطحی و داخل ماهی را از بین می‌برد و آنزیم‌های موجود در روده و گوشت ماهی غیرفعال می‌شوند.

(۲) خشک کردن؛ آتش، دود و گرما تولید می‌کند، که سبب خشک شدن ماهی می‌شود.

و (۳) دودی کردن، دود با سوزاندن چوب ترکیباتی تولید می‌شود که برخی از آنها باکتری‌ها را از بین می‌برند؛ این فرآیند دارای خاصیت نگهدارنده می‌باشد (شکل ۱).

حاوی ترکیباتی می باشد که مدت زمان ماندگاری را افزایش می دهد. این محصول دارای پروتئین بالا در عین حال چربی اشباع کم می باشد.

انواع دودی کردن

(۱) - دودی گرم: در این روش، دما معمولاً بالای ۳۰ درجه سانتی گراد می باشد و محدوده طبیعی آن بین ۷۰ تا ۸۰ درجه سانتی گراد است. در دودی گرم، ماهی کاملاً پخته می شود و مصرف کننده می تواند آن را بدون پخت مصرف کند.

(۲) - دودی سرد: معمولاً دما کمتر از ۳۰ درجه سانتی گراد می باشد. در این شرایط، پخت و انعقاد پروتئین اتفاق نمی افتد و فقط برای طعم دادن به گوشت ماهی استفاده می شود. بنابراین باید قبل از مصرف پخته شود. این روش در مناطق معتدل قابل اجراء می باشد زیرا دما در این کشورها بسیار پایین است.

(۳) - روش ترکیبی دودی گرم و سرد: در این روش، ماهی ابتدا به مدت چند ساعت در دمای زیر ۳۰ درجه سانتی گراد دوددهی می شود و سپس به مدت ۱۰ تا ۱۸ ساعت در دمای بالا بین ۷۰ تا ۸۰ درجه سانتی گراد فرآیند دودی کردن ادامه می یابد.

(۴) - دود مایع: این روش شامل تهیه عصاره دود مایع از تقطیر خشک چوب و سپس تغلیظ آن تا درجه خاصی است و بعداً با رقیق سازی مناسب مورد استفاده قرار می گیرد. ماهی ها در تماس با دود غلیظ برای مدت زمان لازم قرار می گیرند سپس خشک می شوند.

(۵) - دودی الکترواستاتیک: در اینجا ذرات دودی در یک میدان الکتریکی (معمولاً با بار مثبت) باردار می شوند و همزمان ماهی ها نیز بار منفی پیدا می کنند. ذرات دود با بار مثبت به ماهی متصل می شوند. این یک فرآیند سریع برای



شکل ۱. مراحل دودی کردن ماهیان خاویاری (فیل ماهی)

فرآیند دودی می تواند به صورت دودی گرم و مرطوب یا دودی گرم و خشک انجام شود. هر دو فرآیند در دماهای مناسب برای پختن ماهی انجام می شوند. دودی گرم و مرطوب معمولاً حدود ۱ تا ۲ ساعت طول می کشد و محصولی با رطوبت تقریبی ۴۰ تا ۵۵ درصد اما با ماندگاری محدود ۱ تا ۳ روز تولید می کند. دودی گرم و خشک، که معمولاً قبل از فرآیند اول انجام می شود، حدود ۱۰ تا ۱۸ ساعت و ممکن است چند روز به طول انجامد و محصولی با ۱۰ تا ۱۵ درصد رطوبت و حتی کمتر از ۱۰ درصد تولید می کند. ماهیانی که از این طریق دودی می شوند، در صورت نگهداری صحیح، ۶ تا ۹ ماه ماندگاری دارند. ماهی دودی

ماهی دودی است و می‌توان از آن برای حذف آلاینده‌های دود از ماهی دودی استفاده کرد (Andhikawati & Pratiwi, 2021).

چوب مورد استفاده برای دودی کردن

دود از «فیبر دودزا» تهیه می‌شود، منبع تولید دود، سوزاندن چوب بدون شعله است. در فرآیند دودی کردن از هر نوع چوبی نمی‌توان برای تولید دود استفاده کرد و به نوع چوب بستگی دارد زیرا بو و طعم چوب متفاوت است (Hui et al., 2001; McGee, 2004; Doe, 2017). برای دود کردن، از چوب سخت و مناسب استفاده می‌شود. انواع چوب مورد استفاده برای تولید دود شامل: پوست و غلاف نارگیل، چوب انبه، پوسته برنج، گردوی آمریکایی، بلوط، سیب، افرا، توس، راش یا توسکا و غیره. چوب از دو بخش قابل احتراق و غیرقابل احتراق تشکیل شده است. بخش قابل احتراق شامل سه قسمت می‌باشد: پلی‌ساکاریدها، لیگنین‌ها و تا حدودی رزین‌ها. پلیوزها حاوی سلولز و همی‌سلولزها هستند. پلیوزها و لیگنین‌ها اجزای اصلی چوب سخت هستند، اما در چوب نرم رزین‌ها مانند تربانتین رایج هستند. در چوب سخت، دو سوم پلی‌ساکاریدها و یک سوم را لیگنین تشکیل می‌دهد. چوب تازه بریده شده حاوی ۴۰ تا ۶۰ درصد رطوبت است که برای دودی کردن مناسب نیست. چوبی که حاوی رطوبت کمتر از ۲۵ درصد باشد برای دودی کردن مناسب است. اگر رطوبت بیش از ۲۵ درصد باشد، چوب مرطوب در نظر گرفته می‌شود. وقتی چوب سوزانده می‌شود، علاوه بر گاز اصلی مانند CO_2 ، مخلوطی از مواد شیمیایی و مقادیر کمی H_2O و CO تولید می‌کند. در زمان سوزاندن چوب، بخش پلی‌ساکارید آن مواد شیمیایی آلیفاتیک آزاد می‌کند و وقتی دما به ۲۸۰ درجه سانتیگراد می‌رسد، مواد شیمیایی مانند الکل، آلدهید، کتون و اسیدها آزاد می‌شوند. بخش لیگنین در برابر حرارت مقاوم

است و وقتی دما به ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد، می‌سوزد و ترکیبات فنلی آزاد می‌کند (Hui et al., 2001; McGee, 2004; Doe, 2017). این ترکیبات پلی‌فنلی هستند که طعم خاصی به ماهی دودی می‌دهند.

خواص شیمیایی دود

۱- خواص ضدباکتریایی: خواص ضدباکتریایی دود به دلیل اثر ترکیبی حرارت دادن، خشک کردن، نمک‌سود کردن و همچنین در نتیجه رسوب ترکیبات پلی‌فنلی روی ماهی است. ترکیبات پلی‌فنلی مانند فرمالدئید و اسید استیک اثر ضدباکتریایی داشته و می‌تواند از رشد قارچ جلوگیری و فعالیت‌های ویروسی را مهار کند. رسوب دود، بیشتر روی سطح است و از این رو دود در برابر باکتری‌های سطحی مؤثرتر از قسمت داخلی ماهی است (Hui et al., 2001; McGee, 2004; Doe, 2017).

۲- خواص ضداکسایش: دود همچنین دارای خواص آنتی‌اکسیدانی است و این خاصیت عمدتاً به دلیل وجود سه ماده شیمیایی مهم، یعنی ۲، ۶- دی‌متوکسی فنول؛ ۲، ۶- دی‌متوکسی-۴-متیل فنول و ۲، ۶- دی‌متوکسی-۴-اتیل فنول می‌باشد (Hui et al., 2001; McGee, 2004; Doe, 2017).

۳- ترکیب سرطانزا: دود به دلیل وجود هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای خاصیت سرطان‌زایی دارد. بنزو آلفا پیرن نشانگر وجود PAH های سرطانزا در محصولات ماهی دودی است و مشخص شده است که روش‌های دود دادن و مدت زمان دود دادن بر غلظت آن در ماهی دودی تأثیر می‌گذارند (Adeyeye, 2016). بسته به روش دود دادن، میزان ترکیبات سرطانزا در دود متفاوت است. برای جلوگیری یا کاهش ترکیبات سرطانزا در ماهی دودی، ماهی نباید به طور مستقیم در تماس با دود حاصل از آتش

تجهیزات دودی مورد استفاده برای دودی سنتی و صنعتی آبریان شامل موارد زیر است:

کوره فلزی استوانه‌ای

این روش در بسیاری از مناطق دنیا به ویژه کشورهای آفریقایی بسیار رایج است (شکل A ۲). معمولاً با اتصال دو بشکه نفتی فولادی ۴۴ گالنی روباز و ایجاد یک تنور در پایه آن ساخته می‌شود. قطر متوسط تنور فلزی متفاوت است و می‌تواند حدود ۱۱۵ سانتی‌متر و ارتفاع آن حدود ۹۰ سانتی‌متر باشد همچنین شامل یک تنور با ابعاد ۴۰ در ۴۰ سانتی‌متری باشد. میله‌های آهنی یا توری سیمی را می‌توان حدود ۶۰ سانتی‌متر بالاتر از پایه بشکه نصب کرد تا به عنوان تکیه‌گاهی برای لایه‌های ماهی عمل کند. این تنور از وزن سبک و قابلیت حمل بالایی برخوردار است، با این حال، بسیار مستعد زنگ‌زدگی و خوردگی می‌باشد. به عنوان یک تنور فلزی، در طول فرآیند دودی مقدار زیادی گرما آزاد می‌کند (Adeyeye and Oyewole, 2016).

تنور گلی مستطیل شکل

این تنور به شکل مستطیل است و از گل ساخته شده است (شکل B ۲). این تنور با میله‌های آهنی ضخیم یا توری سیمی پشتیبانی می‌شود که لایه‌های ماهی دودی شده را نگه می‌دارد. همچنین دارای یک سوراخ در امتداد یکی از اضلاع طولانی‌تر تنور برای بهبود تهویه است. نمونه‌های ماهی روی تکه‌های توری سیمی چیده شده و روی میله‌های آهنی نگهدارنده قرار می‌گیرند. در برخی موارد، لایه‌های ماهی دودی شده توسط چوب از هم جدا می‌شوند. این تنور در شهرهای ساحلی مختلف و مراکز فرآوری ماهی در غرب آفریقا استفاده می‌شود. از معایب این روش می‌توان: دشواری در جابجایی توری سیمی داغ پر از ماهی در حین

قرار گیرد. مدت زمان دود دادن نیز باید کاهش یابد. همچنین می‌توان از رسوب الکترواستاتیک استفاده کرد که از طریق آن دود از بین ماهی‌ها عبور می‌کند. رسوب الکترواستاتیک می‌تواند ترکیبات سرطان‌زا را جذب کرده و دود خالص تولید کند (Hui et al. 2001; McGee, 2004; Doe, 2017). در کشورهای مختلف از اجاق‌ها، کوره‌ها و دستگاه‌های دودی‌کننده مکانیکی (تولید انبوه) برای دودی کردن ماهیان استفاده می‌شود. در دهه‌های اخیر، از دودی کردن به دلیل اثر غیرفعال‌سازی دود (و فرآوری حرارتی) بر ترکیبات آنزیمی مضر و میکروارگانیسم‌ها به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته است (Simko, 2002). در صنایع مدرن، دودی کردن برای غنی‌سازی فرآورده‌های گوشتی با مشخصات حسی خاص استفاده می‌شود که تقاضای بالایی را در بازار به خود اختصاص داده است (Lorenzo et al. 2010). عواملی مانند نوع ژنراتور، نوع چوب، رطوبت یا دمای دودخانه، نقش کلیدی در رسوب بیش از ۴۰۰ ماده مختلف در ماهی دارد (Baron. 2023).

اجاق‌ها و کوره‌های دودی سنتی و مدرن

کوره‌های دودی‌سازی مختلفی در سراسر جهان مورد استفاده قرار می‌گیرند. کوره‌ها و تنورهای قدیمی دارای مصرف سوخت بالا، دشواری کنترل سیستم، هزینه خرید پایین و هزینه‌های عملیاتی بالایی باشند (Uzojeinwa et al. 2016). برای کنترل فرآیند دودی کردن، باید عوامل متعددی در نظر گرفته شود. این عوامل شامل جداسازی محفظه آتش از محفظه دودساز و افزایش جریان هوا به سمت بالا است. در طول عبور دود بین قفسه‌ها، چگالی آن به دلیل جذب توسط محصول کاهش، رطوبت و دما افزایش می‌یابد. برای دودی کردن یکنواخت همه محصولات، تعویض قفسه‌های داخل کوره مورد نیاز است. این کار را می‌توان به راحتی با استفاده از قاب‌های چرخ‌دار انجام داد (Boziaris, 2014).

دودکش در جلو دارد. محفظه احتراق پایه دودی کننده است و عموماً از گل ساخته می‌شود. بالای دیوار باید صاف باشد تا سینی‌ها کاملاً هم‌سطح قرار گیرند و هیچ دود یا گرمایی نتواند از طریق شکاف‌ها خارج شود (Nti et al. 2002; Jamin and Ayinla, 2003; Adelowo et al. 2021). جدا از غنا که در آن توسعه یافته است، این دودی کردن در بسیاری از کشورهای آفریقایی مانند بنین، نیجریه، کنیا، توگو، سیرالئون و تانزانیا به خوبی پذیرفته شده و مورد استقبال قرار گرفته است (Nti et al. 2002; Jamin and Ayinla, 2003; Adeyeye and Oyewole, 2016; Adelowo et al. 2021).



شکل ۲. کوره‌های سنتی برای دودی کردن آبزیان: A؛ کوره فلزی استوانه‌ای، B؛ کوره گلی، C؛ فر فلزی مستطیل، D؛ فر چورکور.

دودی کردن، ظرفیت کم، از دست دادن گرما و دود از طریق سوراخ تنور و اطراف لایه‌های ماهی که منجر به استفاده ناکارآمد از سوخت می‌شود؛ آسیب دیدن ماهی‌ها توسط چوب‌هایی که لایه‌های ماهی را جدا می‌کنند؛ جابجایی بیش از حد ماهی در حین دودی کردن و دشواری در کنترل گرما نام برد. (Jamin and Ayinla, 2003; Adeyeye and Oyewole, 2016 Adelowo et al. 2021).

فر فلزی مستطیل یا مربع

معمولاً از بشکه‌های فولادی روغن ۴۴ گالنی ساخته می‌شود. می‌توان آن را با تخته‌های چوبی نگه داشت یا تقویت کرد. مانند انواع مختلف تنور، میله‌های آهنی ضخیمی در بالای پایه قرار می‌گیرند تا ماهیانی که روی تکه‌های توری سیمی چیده شده‌اند، نگه دارند (شکل C ۲). همچنین دارای یک سوراخ بزرگ در پایه دیوار جانبی است. مهم‌ترین عیب این تنور شامل، ظرفیت کم؛ از دست دادن گرما و دود از طریق سوراخ و اطراف لایه‌های ماهی که منجر به استفاده ناکارآمد از سوخت می‌شود و همچنین گرمای زیادی را منعکس می‌کند که باعث ناراحتی فرآوری‌کنندگان می‌شود (Jamin and Ayinla, 2003; Adeyeye and Oyewole, 2016 Adelowo et al. 2021).

فر چورکور

این فر، نمونه‌ای بهبود یافته‌ی فر مستطیلی سنتی با سطح ثابت بود. این فر توسط موسسه تحقیقات غذایی غنا با همکاری زنان روستای چورکور و با کمک یکی از پروژه‌ی فائو در اوایل دهه‌ی ۱۹۷۰ طراحی و توسعه داده شد (Nti et al. 2002; Jamin and Ayinla, 2003; Adelowo et al. 2021). این فر از یک محفظه احتراق و یک واحد دودی کردن با مجموعه‌ای از سینی‌ها تشکیل شده است (شکل D ۲). محفظه احتراق مستطیل شکل، طول آن دو برابر عرض آن است که توسط یک دیوار از وسط تقسیم شده و دو سوراخ

برخلاف کشورهای گرمسیری و در حال توسعه که در آنها از فرها و کوره های دست ساز برای دودی کردن ماهی و گوشت استفاده می شود، در کشورهای غربی و توسعه یافته، تجهیزات پیشرفته دودی کردن مورد استفاده قرار می گیرد. فر و کوره های صنعتی و دودخانه ها در کشورهای غربی و توسعه یافته بسیار رایج هستند. این امر را می توان به سطح بالای توسعه فناوری آنها نسبت داد. فر یا کوره دودی کردن ماهی و گوشت نقش بسیار مهمی در طعم و مزه قابل قبول

یا غیر قابل قبول محصول دودی نهایی دارد (Adeyeye and Oyewole, 2016). یک فر دودی با کیفیت می تواند برش های ماهی و گوشت را در دمای نسبتاً پایین بپزد و به بافت های سخت اجازه دهد نرم شوند و چربی در مدت زمان طولانی ذوب شود (Davies, 2005). چندین نوع دودی کردن تجاری در بازار وجود دارد مانند دودی گودالی و گریل های پلت، اما برای آشپزخانه داخلی یا دودی کردن، بهترین گزینه فر دودی است.



شکل ۴. دستگاه دودی گریل



شکل ۳. دستگاه دودی گودالی

دودی کردن صنعتی و مدرن یا فر می توانند با برق یا گاز کار کنند. دودی های مدرن اکنون از فناوری گرمای هالو برای متمایز شدن از فر معمولی استفاده می کنند. دودی کردن با احاطه کردن ماهی یا گوشت برای دودی شدن با کابل های برقی با حرارت کم انجام می شود. گرمای هالو، ماهی یا گوشت را کاملاً تا دمای ثابتی می پزد که رطوبت را حفظ می کند و گرما را تا زمان انجام کامل حفظ می کند، همه اینها در حالی است که ماهی یا گوشت و موارد دیگر را دودی می کنند. بسیاری از دستگاه های دودی مدرن ممکن است از گردش هوای اجباری برای کاهش زمان دود

دادن استفاده کنند. همچنین می توان تماس بین آنها را از بین برد تا تشکیل PAHs و آمین های آروماتیک هتروسیکلیک کاهش یابد (Adeyeye and Oyewole, 2016; Adeyeye, 2016). اجاق های دودی می توانند به طور ویژه برای مشاغل کوچک تا متوسط طراحی شوند تا تجهیزاتی متناسب با نیازهای دودی کردن ماهی آنها فراهم شود. خرده فروشانی که به دودخانه نیاز دارند می توانند تجهیزاتی را انتخاب کنند تا با ارائه محصولات با ارزش افزوده، فروش و سود خود را بهبود بخشند.



شکل ۵- دستگاه های دودی مدرن

اثر دودی کردن بر ارزش غذایی و فلور میکروبی ماهیان خاویاری

(استروما) ۸ تا ۱۰ درصد می باشد، میزان رطوبت و چربی این ماهیان به ترتیب ۶۸ تا ۷۲ و ۸ تا ۱۰ درصد گزارش شد (Adeyeye et al. 2019). با دودی کردن میزان پروتئین و چربی بسته به نوع دودی افزایش، اما میزان رطوبت کاهش می یابد (جدول ۱). فلور میکروبی ماهیان خاویاری طی فرآیند دودی کردن کاهش می یابد.

ماهیان خاویاری دارای ارزش غذایی بالایی می باشند، میزان پروتئین این ماهیان حدود ۲۲ تا ۲۸ درصد می باشد که شامل پروتئین سارکوپلاسمیک ۱۷ تا ۲۲ درصد، پروتئین ساختاری (میوفبریلیک) ۷۰ تا ۷۵ و پروتئین های پیوندی

جدول ۱. ترکیبات شیمیایی و فلور میکروبی ماهیان خاویاری دودی

فاکتور مورد بررسی	فیله ماهی خاویاری	دودی سرد	دودی گرم مرطوب یا خشک
آب (%)	۶۸ تا ۷۲	۴۸ تا ۶۲	۳۲ تا ۵۵
پروتئین (%)	۲۲ تا ۲۸	۴۳ تا ۵۰	۴۵ تا ۶۰
چربی (%)	۸ تا ۱۱	۱۵ تا ۱۹	۱/۵ تا ۸
خاکستر (%)	< ۱	حدود ۱ درصد	< ۱
بی اچ	۶/۴۵ تا ۶/۸۳	۵/۳۸ تا ۵/۹	۶/۳۸ تا ۶/۶۲
ترکیبات PAHs (bpb)	کمتر از ۰/۰۲	کمتر از ۰/۲	کمتر از ۰/۲
ترکیبات حاوی فنلی (%)	-	۰/۵ تا ۲	۰/۵ تا ۱۲
شمارش کلی باکتری (CFU/g)	۱۰۰۰۰۰ تا ۵۰۰۰۰	۱۰۰۰۰ تا ۲۵۰۰	۴۵۰ تا ۱۱۰۰
مخمر (CFU/g)	۰	۰	۰
کپک (CFU/g)	۰	۰	۰
سالمونلا (CFU/g)	۰	۰	۰

مزایا و معایب دودی کردن

مزایای دودی کردن ماهی شامل افزایش ماندگاری ماهی، بهبود طعم، افزایش میزان استفاده در تهیه انواع سوپ و سس ها، کاهش ضایعات در زمان صید، امکان ذخیره سازی برای فصل کم باران جهت افزایش دسترسی سالانه مردم به پروتئین و تسهیل بسته بندی، حمل و نقل و بازاریابی ماهی به ویژه در مناطق روستایی و افزایش ضایعات پس از صید دستی ماهیان، تولید محصول بی کیفیت به دلیل آسیب دیدن ماهی در اثر جابجایی نامناسب روی تورهای سیمی که برای نگه داشتن آنها روی آتش استفاده می شود، از دست دادن دود و گرما، که منجر به عدم یکنواختی در دودی شدن می گردد، ظرفیت محدود دستگاههای دودی که ممکن است اجازه دودی کردن حجم بیشتری از ماهی را ندهد، زمان بر بودن از نظر میزان زمانی که برای رسیدگی به ماهی در فرآیند دودی کردن لازم است، توجه مداوم به شدت شعله و چرخش سینی ها به منظور خشک کردن و دودی کردن یکنواخت ماهی از جمله معایب دودی کردن محسوب می شوند (Adeyeye, 2019).

توصیه های ترویجی

دودی کردن، باعث جلوگیری از فساد و افزایش عمر ماندگاری آبزیان می شود علاوه بر این در محصول نهایی سبب ایجاد طعم و مزه مناسب نیز می گردد. دودی کردن یک روش سنتی جهت نگهداری آبزیان می باشد که از مواد دودی و حرارت استفاده می شود. بطور کلی دو روش دودی کردن وجود دارد، دودی کردن با دمای بالا (گرم) و دودی با دمای پایین (سرد). در فرآیند دودی، از دو نوع دود استفاده می شود یکی دود حاصل از سوختن درختان و دیگری دود مایع. در روش دودی گرم از دمای ۳۰ تا ۹۰ درجه سانتی گراد و در دودی سرد از دمای ۳۰ تا ۴۰ درجه

سانتی گراد استفاده می شود. ترکیبات شیمیایی موجود در ماهیان خاویاری دودی شامل محتوای آب، پروتئین، چربی، خاکستر، فیبر خام، مواد معدنی و فنل ها در مقایسه با ماهی تازه دارای تغییراتی می باشد. محتوای میکروبی ماهی دودی با روش های دودی کردن گرم و سرد مطابق با استانداردهای ماهی دودی است و عاری از میکروب های بیماری زا، قارچ ها، مخمرها و کپک ها می باشد.

تشکر و قدردانی

از همکارانم در مرکز ملی تحقیقات فرآوری آبزیان صمیمانه سپاسگزارم.

منابع

سالنامه آماری شیلات، ۱۴۰۳. سازمان شیلات ایران. ۶۴ صفحه

Adelowo, E.O., Okomoda, J.K. and Eyo, A.A., 2021. Construction, extension and evaluation of the improved smoking kiln (Banda) In Kainji Lake area.

Adeyeye, S.A.O., 2019. Smoking of fish: a critical review. *Journal of Culinary Science & Technology*, 17(6), pp.559-575.

Adeyeye, S.A.O., Fayemi, O.E. and Adebayo-Oyetoro, A.O., 2019. Amino acid, vitamin and mineral profiles of smoked fish as affected by smoking methods and fish types. *Journal of Culinary Science & Technology*, 17(3), pp.195-208.

Adeyeye, S.A.O. and Oyewole, O.B., 2016. An overview of traditional fish smoking in Africa. *Journal of culinary science & technology*, 14(3), pp.198-215.

Andhikawati, A. and Pratiwi, D.Y., 2021. A review: methods of smoking for the quality of smoked fish. *Asian Journal of Fisheries and Aquatic Research*, 13(4), pp.37-43.

Arvanitoyannis, I.S. and Kotsanopoulos, K.V., 2012. Smoking of fish and seafood: history, methods

- smoking process on muscle functional characteristics. *Journal of Food Science*, 68(4), 1155–1160.
- Muratore, G., Mazzaglia, A., Lanza, C.M. and Licciardello, F., 2007. Effect of process variables on the quality of swordfish fillets flavored with smoke condensate. *Journal of Food Processing and Preservation*, 31(2), pp.167-177.
- Nti, C.A., Plahar, W.A. and Larweh, P.M., 2002. Impact of adoption in Ghana of an improved fish processing technology on household income, health and nutrition. *International Journal of Consumer Studies*, 26(2), pp.102-108.
- Lorenzo, J.M., Purriños, L., Fontán, M.C.G. and Franco, D., 2010. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in two Spanish traditional smoked sausage varieties: “Androlla” and “Botillo”. *Meat science*, 86(3), pp.660-664.
- Okonta, A.A. and Ekelemu, J.K., 2005, November. A preliminary study of micro-organisms associated with fish spoilage in Asaba, Southern Nigeria. In *Proceedings of the 20th Annual Conference of the Fisheries Society of Nigeria (FISON), Port Harcourt, 14th-18th November* (Vol. 2005, pp. 557-760).
- Šimko, P., 2002. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked meat products and smoke flavoring food additives. *Journal of Chromatography B*, 770, 3–18.
- Uzoejinwa, B.B., Ani, A.O., Abada, U.C., Ugwuishiwu, B.O., Ohagwu, C.J. and Nwakaire, J.N., 2016. Small-scale food processing enterprises: measures for national development and addressing food security challenges in Nigeria.
- and effects on physical, nutritional and microbiological properties. *Food and bioprocess technology*, 5, pp.831-853.
- Baron, R., 2023. Smoking: A flavoring and preservation technique. *Current challenges for the aquatic products processing industry*, pp.229-251.
- Berhimpon, S., Montolalu, R.I., Dien, H.A., Mentang, F. and Meko, A.U.I., 2018. Concentration and application methods of liquid smoke for exotic smoked Skipjack (*Katsuwonus pelamis* L.). *International Food Research Journal*, 25(5).
- Bozianis, I.S. ed., 2014. *Seafood processing: Technology, quality and safety*. John Wiley & Sons.
- Davies, R.M., 2005, February. Development of Appropriate Technology of fish processing in Nigeria. In *A paper presented at a one-day workshop on intensive fish farming on Thursday, 24th February*.
- Doe, P.E. ed., 2017. *Fish drying and smoking: Production and quality*. Routledge.
- Erkan, N., Üretener, G., Alpas, H., Selçuk, A., Özden, Ö. and Buzrul, S., 2011. The effect of different high pressure conditions on the quality and shelf life of cold smoked fish. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 12(2), pp.104-110.
- Jamin, D. M., & Ayinla, A. O., 2003. Potential for the development of aquaculture in Africa Naga. 26(3), 7–13.
- Hui, Y.H., Hui, Y.H., Nip, W.-K., & Rogers, R. (Eds.). (2001). *Meat Science and Applications* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780203908082>
- Huss, H.H., Reilly, A. and Embarek, P.K.B., 2000. Prevention and control of hazards in seafood. *Food control*, 11(2), pp.149-156.
- McGee, H., 2004. Wood smoke and charred wood. *On Food and Cooking (Revised ed.)*, pp.448-450. Scribner. ISBN 0-684-80001-2.
- Montero, P., Gómez-Guillén, M. C., & Borderias, A. J., 2003. Influence of salmon provenance and

An overview of the principles and methods of smoking sturgeon

*Zabihohhah Bahmani*¹, Fatemeh Noghanchi Behambari¹*

- 1- National Fish Processing Research Center, Inland Water Aquaculture Institute, Iranian Fisheries Science Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Anzali port, Iran

*Corresponding author: zabihbahmani@gmail.com

Abstract

Aquatic animals, especially sturgeon, are susceptible to spoilage and damage after harvest, the severity of which depends on the acidity level, weather conditions, processing methods, storage and temperature during transportation, and this causes great economic losses to the fishing industry. One way to reduce damage and spoilage of fish is to use the smoking process. Smoking not only increases the shelf life of aquatic animals but also creates a new and pleasant taste. The purpose of this article is to explain the history, describe the different methods of smoking fish, the chemical composition of smoked fish and the equipment required for smoking fish. Smoked sturgeon, like fresh fish, contains nutrients such as protein, fat, fiber, amino acids, minerals and vitamins. In smoked fish, the amount of protein, ash, crude fiber, amino acids, biogenic amines, minerals and phenols increases, but the moisture content and microbial flora, especially pathogenic microbes (such as *Vibrio* species, yeast, mold and *Salmonella* cannot grow), decrease. Smoking fish is done in two ways in terms of temperature: cold and hot. The hot smoking method uses a temperature of 30 to 90 °C and the cold smoking method uses a temperature of 30 to 40 °C, so that the consumption of smoked fish is beneficial for humans. The total bacterial count is in accordance with the standards of smoked fish and is free of pathogenic microbes, fungi, yeasts and molds.

Keywords: Sturgeon, smoking methods, nutritional value, chemical composition, bacteria