Homepagr: https://sanad.iau.ir/journal/jfst E-ISSN: 2676-7155

(Review Article)

A Review of the Use of Cold Plasma in the Preservation of Aquatic Food Products

Anahita Talebreza[1], Narges Mooraki[2*], Masoud Honarvar[3]

1- Department of Food Science and Technology, Faculty of Biological Science, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2- Department of Fisheries Science, Faculty of Marine Science and Technology, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
3- Department of Food Science and Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Received:02/08/2023 Accepted:26/09/2023

Doi: 10.71810/jfst.2024.1004753

Abstract

Preservation and guaranteed safety of seafood is a big challenge in many countries. Cold plasma is a relatively new technology that is used to preserve the quality of foods with a high rate of spoilage, especially aquatic food products. Non-thermal technologies, especially cold plasma, have attracted a lot of attention as a powerful tool for processed food, especially aquatic foods, in order to meet consumer expectations, in which stability and improved nutritional and organoleptic properties are considered. However, there are several limitations such as oxidation of protein and lipids, change in organoleptic properties and also color change, which limit the application of these technologies in the marine food industry. Foods that have been processed and stored with minimal or no heat, attract a lot of attention. Cold plasma produced by using energy to induce partial ionization of a gas has shown a very good ability to inactivate microorganisms and affect some destructive enzymes, which are aquatic pathogens, and also maintain the quality and increase the shelf life of aquatic food products by this non-thermal technology has been highly regarded. Further scientific understanding is important for the legal approval and development of plasma sources efficiently and on a large scale. Research in the field of applying cold plasma in the food technology domain is increasing. Currently, most of the focus is on the bactericidal effect of plasma. Plasma treatment clearly shows the inactivation of pathogens associated with spoilage, although the active species produced in this process will affect the matrix of food products, and the chemical composition and organoleptic properties of food should be considered in research.

Keywords: Non-thermal Process, Fishery Products, Food Matrix, Oxidation, Organoleptic Properties.

*Corresponding Author: Nargess_mooraki@yahoo.com

E-ISSN: 2676-7155 سایت مجله: https://sanad.iau.ir/journal/jfst

(مقاله مروری)

مروری بر کاربرد پلاسمای سرد در نگهداری فرآورده‌های آبزیان

آناهیتا طالب رضا [۱]، نرگس مورکی [۲*]، مسعود هنرور [۳]

۱-گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده علوم زیستی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۲-گروه شیلات، دانشکده علوم و فنون دریایی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۳- گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت:۱۴۰۲/۰۵/۱۱ تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۰۷/۰۴

Doi: Doi: 10.71810/jfst.2024.1004753

چکیده

حفظ و ایمنی تضمین شده غذاهای دریایی یک چالش بزرگ در بسیاری از کشورها می‌باشد. پلاسمای سرد یک فناوری نسبتا نوظهور که برای حفظ کیفیت غذاهایی با سرعت فساد پذیری بالا، به ویژه محصولات غذایی آبزیان مورد استفاده قرار می‌گیرد. فن‌آوری‌های غیرحرارتی، به ویژه پلاسمای سرد، به‌عنوان ابزاری قدرتمند برای مواد غذایی فرآوری شده، به ویژه گوشت آبزیان جهت برآوردن انتظار مصرف‌کننده، که در آن پایداری و خواص تغذیه‌ای و ارگانولپتیکی بهبود یافته‌ای مد نظر می‌باشد، توجه زیادی را به خود جلب کرده است. با این وجود، محدودیت‌های متعددی مانند اکسیداسیون پروتئین و لیپیدها، تغییر در خواص ارگانولپتیکی و همچنین تغییر رنگ وجود دارد که کاربرد این فناوری‌ها را در صنایع غذایی دریایی محدود می‌کند. غذاهایی که با حداقل یا غیرحرارتی فرآوری شده و نگهداری شده‌اند، توجه زیادی را به خود جلب می‌کنند. پلاسمای سرد تولید شده با استفاده از انرژی برای القای یونیزاسیون جزئی یک گاز، توانایی بسیار خوبی برای غیرفعال کردن میکروارگانیسم‌ها و تحت اثر قرار دادن برخی آنزیم‌های مخرب، که عوامل موثر فساد آبزیان هستند، نشان داده است و همچنین حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری محصولات غذایی آبزیان توسط این فناوری غیرحرارتی بسیار مورد توجه قرار گرفته شده‌است. درک علمی بیشتر برای تأیید قانونی و توسعه منابع پلاسما به صورت کارآمد و در مقیاس بزرگ حائز اهمیت است. تحقیق در زمینه پلاسمای سرد در حوزه مواد غذایی درحال افزایش یافته است. درحال حاضر بیشتر تمرکز بر اثر باکتریسیدال پلاسما معطوف است. تیمار پلاسما به وضوح غیرفعال شدن عوامل بیماری‌زا مرتبط با فساد را نشان می‌دهد، هرچند گونه‌های فعال تولید شده در این فرآیند بر ماتریس محصولات خوراکی، و ترکیب شیمی و خواص ارگانواپتیک مواد غذایی موثر خواهد بود که باید در تحقیقات مورد توجه قرارگیرد.

واژه‌های کلیدی: فرآیند غیرحرارتی، محصولات شیلاتی، ماتریس غذایی، اکسیداسیون، خواص ارگانولپتیک.

[*]مسئول مکاتبات: Nargess_mooraki@yahoo.com

۱- مقدمه

تولید جهانی غذاهای دریایی در سال ۲۰۱۸ نسبت به سال ۲۰۰۷، ۱۹ درصد افزایش یافته است (۱۵). با توجه به افزایش مصرف سرانه برآورد شد که سرانه مصرف تا سال ۲۰۲۳ به ۲۳/۳ کیلوگرم برسد (۱۳ ،۳۵). غذاهای دریایی به دلیل وجود ترکیبات مغذی، محتوای آب و pH بالا و به دلیل فعالیت‌های شیمیایی، میکروبی و آنزیمی بسیار فساد پذیرهستند (۶۱). فاسد شدن آبزیان منجر به تولید ترکیبات بدبو، بد طعم و همچنین تولید ترکیبات سمی می‌شود، بنابراین نیاز به نگهداری آبزیان، ایمنی مصرف کنندگان را تضمین می‌کند. نگهداری با استفاده از فرا خنک سازی، بسته بندی اتمسفر اصلاح شده، بسته‌بندی فعال، پوشش‌های خوراکی فعال، پرتودهی، ترکیبات شیمیایی، باکتریوسین‌ها، نانوذرات و کاربرد اسانس که به صورت جداگانه یا در ترکیب با سایر تکنیک‌ها اعمال می‌شوند، مورد بحث قرار گرفته‌اند، تاثیر منفی بر کیفیت آبزیان و ویژگی‌های تغذیه‌ای را نشان دادند (۳). یکی از انواع روش‌های نگهداری مورد بحث، کاربرد پلاسمای سرد برای حفظ کیفیت، کاهش فساد، و افزایش عمر مفید AFPs[1]، حفظ مزایای تغذیه‌ای و سلامتی است. پلاسما اصطلاحی است که به گاز کاملا یونیزه شده اطلاق می‌شود که از مواد مختلفی مانند فوتون‌ها و الکترون‌های آزاد به همراه اتم هایی در حالت برانگیخته با بار خنثی تشکیل شده است. پلاسما به دلیل داشتن تعداد یون های مثبت و منفی برابر، دارای بار خالص صفر است(۵۷). به طور کلی پلاسما به دو نوع طبقه بندی می‌شود: پلاسمای حرارتی (گرم) و غیر حرارتی (سرد) بر اساس مکانیسم تولید متمایز می‌شود. تولید پلاسمای حرارتی به فشار و دمای بالا با الکترون‌های سنگین نیاز دارد. پلاسمای غیرحرارتی یا دمای نزدیک به محیط تحت اتمسفر یا خلاء در دمای ۳۰ تا ۶۰ درجه سانتیگراد تولید می‌شود که به انرژی کم نیاز دارد (۳۲،۶۰). در این روش، یونیزاسیون گونه‌های اکسیژن فعال (ROS[2])، گونه‌های نیتروژن فعال (RNS[3])، گونه‌های باردارمنفی و مثبت، چندین رادیکال با عمر کوتاه و تشعشعات (اشعه ماوراء بنفش و نور مرئی) تولید می‌شود که به طور مستقیم یا غیرمستقیم با ماتریس غذای تحت تیمار واکنش می‌دهد و در حالی‌که میکروب‌زدایی صورت می‌گیرد، ویژگی "تازگی[4]" در محصولات حفظ می‌گردد، می‌تواند بر مواد مغذی نمونه تاثیر منفی یا مثبت داشته باشد (۶۰،۳۲). فرآوری غیرحرارتی حداقل اثرات مضر را بر روی ویژگی‌های تغذیه‌ای و حسی غذاهای تیمار شده دارد، با این حال گزارش شده است که تیمار پلاسما منجر به استرس اکسیداتیو، آسیب رساندن به سیستم‌های متابولیک و در نهایت منجر به مرگ سلول می‌شود (۲۶). بررسی تاثیر فرآوری‌های غیرحرارتی نظیر پلاسمای سرد برای به حداقل رساندن اثرات منفی آن بر کیفیت محصولات غذایی امری ضروری است. پذیرش پلاسمای سرد برای ضد عفونی مواد غذایی در حال افزایش است، زیرا هیچ عامل مضر یا شیمیایی/ سنتزی در طی فرآیند مورد استفاده قرار نمی‌گیرد و محدوده دمای عملیاتی نزدیک به محیط است. علاوه بر این، یک فناوری سازگار با محیط زیست محسوب می‌شود. با این حال تکنولوژی پلاسمای سرد نیاز به بهینه‌سازی دارد تا با نیازهای ماتریس غذایی محصولات هدف تیمار مطابقت داشته باشد. به منظور نیل به این هدف که فناوری جدیدی مانند پلاسمای سرد اتمسفری در صنایع غذایی مورد پذیرش موفقیت‌آمیز قرار گیرد، چندین جنبه غیرفناوری باید در کاربرد آن مد نظر قرار گیرد. اول اینکه مصرف کننده نیروی محرکه اصلی است و انتظارات وی دائماً در حال تغییر است. در حال

1 -Aquatic Food Products

2 -Reactive Oxygen Species
3 -Reactive Nitrogen Species
4 -Freshness

حاضر، مصرف کنندگان، غذاهای با کیفیت و غنی از مواد مغذی، بدون مواد نگهدارنده سنتزی یا مواد شیمیایی را برای خود و حتی حیوانات خانگی می‌خواهند. همچنین زیر مجموعه‌ای از مصرف-کنندگان وجود دارند که قیمت را به عنوان اولویت بعدی در نظر می‌گیرند و حاضرند برای خواسته‌های خود هزینه بیشتری بپردازند (۲۴). در بیشتر موارد، استفاده از پلاسمای سرد اتمسفری برای گوشت به شکل قرار گرفتن در معرض به شکل مستقیم اجرا نشده است، بلکه در ماتریس بسته‌بندی مورد استفاده قرار گرفته است. محدودیت اولیه ناسازگاری آن در پردازش مواد غذایی هنگام کار در خلاء می‌باشد (۳۴). بسیاری از محققان تاثیر مثبت تیمار با پلاسمای سرد اتمسفری را بر کیفیت گوشت گزارش کرده‌اند (۲۸،۵). تحقیقات مرتبط با اعمال پلاسمای سرد بر محصولات غذایی در ایران بصورت محدود و عمدتا متمرکز بر کاهش بار میکروبی صورت گرفته‌اند و تاثیر آن بر اجزاء حساس در ماده غذایی، به خصوص لیپیدها، ویتامین‌ها و ترکیبات زیست فعال مسائلی هستند که هنوز نیاز به بررسی بیشتر دارند و با انجام آن‌ها این تکنولوژی کاربرد و پذیرش وسیع‌تری در صنایع غذایی در کشور خواهد یافت.

۲- کاربرد پلاسمای سرد در نگهداری و کیفیت محصولات غذایی آبزیان

آبزیان، به دلیل داشتن بافت لطیف و ارزش غذایی بالا در زمره محصولات غذایی محبوب هستند. با این حال، ماندگاری غذاهای دریایی به دلیل محتوی بالای مواد مغذی، pH خنثی و رطوبت بالا محدود است (۵۹). فساد آبزیان به محض صید و به دنبال یک مکانیسم بسیار پیچیده آغاز می‌شود و با سرعت متفاوتی توسعه می‌یابد (۱۴). میزان اکسیداسیون لیپید در محصولات شیلاتی تا حد زیادی تحت تأثیر فعالیت‌های قبل از صید (استرس فیزیکی و جراحات)، فعالیت‌های پس از صید (pH، کاهش زمان سرمایش و دما) و پارامترهای موثر در فرآیند فرآوری (دمای فرآوری، کاهش اندازه، نوع بسته‌بندی، شرایط نگهداری، شرایط توزیع و مواد افزودنی) است (۳۰). به‌طور کلی، فساد از طریق عملکرد دو فاکتور اصلی، میکروارگانیسم‌ها وآنزیم‌ها، سبب از بین رفتن محصول می‌گردد؛ در حالی که اکسیداسیون پروتئین‌ها و لیپیدها سبب افت کیفیت غذا می‌شوند (۵۴،۳۷). تجزیه پروتئین‌ها و ترکیبات نیتروژن‌دار غیرپروتئینی منجر به ایجاد بو یا طعم نامطلوب مانند تری متیل آمین، آمونیاک و سایر مولکول‌های نیتروژن‌دار می‌شود. همچنین غذاهای دریایی سرشار از اسیدهای چرب غیراشباع چندگانه هستند که سبب می‌شود بیشتر در معرض اکسیداسیون قرار گیرند. بو و طعم ناخوشایند، از دست دادن ارزش تغذیه‌ای، تولید مولکول‌های ضد تغذیه‌ای و تغییر رنگ عمدتاً پیامدهای اکسیداسیون لیپیدی در محصولات دریایی است. در طول فرآیند تولید، توزیع و نگهداری محصولات غذایی آبزیان، تجزیه و تحلیل نقطه کنترل بحرانی، اقدامات بهداشتی خوب و شیوه‌های تولید خوب برای کنترل فساد بسیار مهم است (۲۷). تأثیر روش‌های سنتی/ مرسوم نگهداری، که عمدتاً فناوری‌های حرارتی هستند، برکیفیت غذاهای دریایی به وفور مورد مطالعه قرار گرفته است. علاوه بر این، تقاضای مصرف کنندگان برای غذاهای دریایی کمتر فرآوری شده، با ماندگاری طولانی افزایش یافته است (۳۸). با این وجود، غذاهای دریایی بسیار تازه عملاً برای تیمار انتخاب می‌شوند تا کیفیت اولیه خود را حفظ کنند. همان طور که پیشتر اشاره شد پلاسمای سرد یکی از فناوری‌های جدیدی است که برای نگهداری انواع غذاها مورد بررسی قرار گرفته است. پلاسمای سرد تولید شده با روش‌های مختلف در جدول ۱ معرفی شده‌است. در مقایسه با فرآیندهای حرارتی که معمولاً مورد استفاده قرار می‌گیرند، ظاهر غذاهای دریایی با حرارت‌دهی به شدت تغییر می‌کند

و با دناتوره شدن حرارتی پروتئین‌ها آب محصول از دست می‌رود. در این حالت غذاهای دریایی بافت سختی پیدا کرده و حالت آبدار بودن خود را از دست می‌دهند. بنابراین، فرآیندهای حرارتی به‌طور کامل درک کیفیت مصرف‌کنندگان را تغییر می‌دهد؛ که در این حالت بیشتر به عنوان "غذاهای دریایی پخته" در نظر گرفته می‌شوند. گونه‌های فعال تولید شده در زمان تیمار با پلاسما را می‌توان با استفاده از گازهای مختلف، مانند اکسیژن، نیتروژن، آرگون، هلیوم و هوا، برای مطابقت با نیازهای فرآوری محصول هدف تغییر داد. علاوه بر این، از آن جایی که گونه‌های واکنشی تولید شده در طی فرآیند پلاسمای سرد، صرف نظر از پارامترهای فرآیند، می‌توانند اکسیداسیون مولکول‌های پروتئینی، لیپیدی، آنزیم‌ها و ترکیبات زیست فعال را در غذاهای دریایی تیمار شده تسریع کنند، بهینه‌سازی فاکتورهای فرآیند برای پلاسمای سرد ضروری است. این برای به حداکثر رساندن کارایی تیمار پلاسمای سرد در غیرفعال کردن میکروارگانیسم‌های عامل بیماری‌زا یا فساد، بدون تغییر در ویژگی‌های کیفی، به ویژه برای غذاهای دریایی خام ضروری می‌باشد. با این حال، با توجه به تأثیر منفی گونه‌های فعال که با خاصیت ضد میکروبی عمل می‌کنند، به ویژه بر اکسیداسیون لیپید و پروتئین، پیش تیمار قبلی غذاهای دریایی با آنتی‌اکسیدان‌های مؤثر، بویژه ترکیبات طبیعی، می‌تواند میزان این پدیده را کاهش دهد. آبزیان همان طور که ذکر شد، بسیار مستعد فساد هستند. پلاسمای سرد برای افزایش ماندگاری غذاها از طریق غیرفعال کردن آنزیم‌ها، میکروارگانیسم‌ها و کاهش اکسیداسیون لیپیدها به‌طور خاص در مطالعات پیشین پیشنهاد شده‌است (جدول ۲).

جدول۱- انواع راکتور مولد پلاسمای سرد (۴۸).

نوع راکتور پلاسمای سرد	نحوه عملکرد
سد تخلیه دی الکتریک	تخلیه مانع دی الکتریک بین دو الکترود که با لایه‌های دی الکتریک پوشیده شده‌اند عمل می‌کند که جریان را متوقف می‌کند و در نتیجه تولید جرقه را مهار می‌کند. DBD به‌طور کلی در فرکانس‌های بین ۰/۰۵ تا ۵۰۰ کیلوهرتز کار می‌کند. فشار گاز در DBD از ۱۰۴ تا ۱۰۶ Pa است و می‌توان آن را تا حدودی تغییر داد. فاصله بین دو الکترود از ۰/۱ میلی متر تا چند سانتی متر متغیر است. این یک سیستم دینامیک است که می‌تواند با انواع مختلف گازها کار کند و تخلیه همگن می‌دهد. تخلیه می‌تواند در غیاب جریان گاز نیز ایجاد شود. این راکتور به دلیل سازگاری با اشکال و اندازه‌های مختلف، قوی‌ترین راکتور مولد پلاسما است.
جت‌های پلاسما	دستگاه‌های جت پلاسما از دو الکترود محور مشترک تشکیل شده‌اند که گاز حامل با سرعت‌های تغذیه متفاوت بین آن‌ها جریان دارد.
تخلیه کرونا	این نوع دارای تخلیه ضعیفی هستند که در فشارهای اتمسفر نزدیک الکترودها مشاهده می‌شوند. هندسه الکترودهای مورد استفاده سیم‌های نوک تیز، لبه دار یا نازک هستند. این ترکیبات می‌توانند در حالت جریان مستقیم یا ولتاژ پالسی کار کنند و الکترود نیز می‌تواند پتانسیل مثبت یا منفی داشته باشد. بیشتر یونیزاسیون در اطراف الکترودها ایجاد می‌شود و در نتیجه باعث تیمار غیریکنواخت می‌شود. محدودیت اصلی کرونا این است که در یک منطقه کوچک کار می‌کند.
تخلیه کرونا	همان‌طور که از نام این راکتورها پیداست، بدون الکترود و با استفاده از مگنترون توسط مایکروویو هدایت می‌شوند. پلاسمای تولید شده توسط یک کابل محور مشترک حضور گاز عامل به محفظه هدایت می‌شود. این نوع سیستم‌ها به راحتی قابل کنترل هستند.
پلاسمای تخلیه قوسی	هنگامی که یک ولتاژ نسبتاً بالا برای ایجاد یک شکست استاتیک کافی به فاصله بین الکترودها اعمال می‌شود، اولین تجزیه در کوتاه‌ترین فاصله اتفاق می‌افتد و یک ستون پلاسما ظاهر می‌شود. تخلیه قوس حرارتی با مقاومت ظاهری کم تولید می‌شود، سپس در مدت طولانی با جریان گاز به حالت غیر حرارتی خاموش می‌شود. جریان گاز ستون پلاسما را هل می‌دهد و تخلیه را به سمت پایین جابه‌جا می‌کند و در نتیجه طول ستون پلاسما افزایش می‌یابد. طول زیاد ستون باعث افزایش اتلاف حرارت در ستون می‌شود که از انرژی ورودی منبع تغذیه بیشتر است. در نتیجه، پلاسما به دلیل عدم توانایی منبع تغذیه برای حفظ چنین ستون پلاسمایی با طول زیاد، خنک می‌شود. در این مرحله، ولتاژ به یک مقدار بحرانی خاص نزدیک می‌شود که باعث نوترکیبی پلاسما و ایجاد شکست جدید در باریک‌ترین فضای بین الکترودها می‌شود. عملیات پلاسما معمولاً در دماهای نسبتاً پایین انجام می‌شود که این ویژگی امکان به کارگیری مواد حساس به حرارت را فراهم می‌کند.

جدول۲- کاربرد پلاسمای سرد برای نگهداری آبزیان

نوع آبزی	نوع تیمار پلاسما سرد	اکسیداسیون لیپید	اکسیداسیون پروتئین	منابع
Herring (*Clupea harengus*)	پلاسمای بسته بندی در ۷۰ و ۸۰ کیلو ولت با شرایط هوای جوی در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵۰ درصد	افزایش	-	Albertos *et al*., 2019
Mackerel (*Scomber scombrus*)	پلاسمای بسته بندی (۷۰ و ۸۰ کیلوولت) به مدت ۱، ۳ و ۵ دقیقه در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵۰ درصد	افزایش	-	Albertos *et al*., 2017
Sea bream (*Sparus aurata*)	پلاسمای سرد اتمسفری با استفاده از تخلیه سد دی‌الکتریک سطحی تولید شد و با استفاده از هوای اتمسفر درفرکانس ۳ کیلو ولت و ۴۵ کیلوهرتز برای ۱۵دقیقه در ۲۵ درجه سانتی‌گراد	افزایش	-	Rathod *et al*., 2021
Mackrel	تخلیه سد دی‌الکتریک، در تخلیه ۸۰ کیلو ولت به مدت ۵ دقیقه، به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد و سپس نگهداری در دمای ۴، ۸ و ۲۰ – درجه سانتی‌گراد صورت گرفت	کاهش	افزایش	Pérez-Andrés *et al*., 2020
Shrimps (*Metapenaeus ensis*)	(DBD) تخلیه سد دی‌الکتریک پلاسمای سرد اتمسفری(ACP) با توان ورودی ۳۰ وات، به مدت ۱۰ دقیقه تحت تیمار قرار گرفتند	افزایش(کم)	بدون تغییر	Liao *et al*., 2018
Allaska pollock (*Theragra chalcogramma*)	پلاسمای سرد اتمسفر تولید شده با DBD در ولتاژهای ۱۰ ، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و 60 کیلوولت به مدت ۱۰ دقیقه	-	افزایش	Miao *et al*., 20۱۹
Squid (*Argentinus ilex*)	DBD به عنوان منبع پلاسما در ولتاژ 60 کیلو ولت برای ۱۵، 60، ۱۲۰،۱۸۰، ۲۴۰ و ۳۰۰ ثانیه استفاده شد	-	افزایش	Niaysaba *et al.,* 2019
Asian sea bass (*Lates calcarifer*)	پلاسمای سرد اتمسفری ولتاژ بالای تخلیه‌ی سد دی‌الکتریک (DBD-HVCAP) در ۸۰ کیلوولت به مدت۰، ۵/۲، ۵، ۵/۷ و ۱۰ دقیقه در دمای اتاق، با استفاده از مخلوط گاز اکسیژن: آرگون (۱۰:۹۰)	افزایش	افزایش	Olatunde *et al*., 2019a
Asian sea bass (*Lates calcarifer*)	سیستم پلاسمای سرد اتمسفری تخلیه سد دی‌الکتریک ولتاژ بالا (HVCAP) با ورودی۲۳۰ ولت در ۵۰ هرتز و خروجی ۸۰ کیلوولت به مدت ۵/۲، ۵، ۵/۷ و ۱۰ دقیقه	افزایش	افزایش	Olatunde *et al*., 2019b
Asian sea bass (*Lates calcarifer*)	پلاسمای سرد سد تخلیه دی‌الکتریک درون کیسه، با استفاده از مخلوط گاز آرگون: اکسیژن (۱۰:۹۰) و دی اکسید کربن: آرگون: اکسیژن (۱۰: 60:60) در ۸۰ کیلوولت به مدت ۵ دقیقه و شرایط دمای محیط	افزایش و تحت تاثیرترکیبات گاز	افزایش و تحت تاثیرترکیبات گاز	Olatunde *et al*., 2020
Asian sea bass (*Lates calcarifer*)	سیستم پلاسمای سرد اتمسفری ولتاژ بالا با ولتاژ 16 کیلو ولت، با استفاده از مخلوط گاز آرگون :اکسیژن (۱۰: ۹۰) به مدت ۵ دقیقه در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد	کاهش	کاهش	Olatunde *et al*., 2019c
White shrimps (*Litopenaeus vannamei*)	پلاسمای سرد تولید شده با استفاده از تخلیه سد دی‌الکتریک اشباع شده با نیتروژن و اکسیژن تحت شرایط اتمسفری در۴۰ کیلوولت به مدت ۱۰ دقیقه	-	-	De Souza Silva 2019 *et al*.,
Asian sea bass (*Lates calcarifer*)	پلاسمای سرد اتمسفری ولتاژ بالا تولید شده با استفاده از تخلیه سد دی‌الکتریک به مدت ۵ دقیقه در اتمسفر آرگون اکسیژن (۱۰ :۹۰)	کاهش	-	Singh and Benjakul , 2020
Threadfin bream (*Nemipterus bleekeri*)	پلاسمای سرد تولید شده در فشار اتمسفر، از گاز آرگون، با استفاده از ژنراتور فرکانس رادیویی در ۳۰ وات	-	افزایش	Panpipat and Chaijan, 2020
Asian sea bass (*Lates calcarifer*)	پلاسمای سرد تولید شده با ۲۳۰ ولت در ۵۰هرتز، 80 kVRMS به مدت ۵ دقیقه در دمای اتاق نمونه‌ها تحت تیمار قرار گرفتند	کاهش	کاهش	Olatunde *et al.,* 2020a
King prawn (*Litopenaeus vannamei*)	جت پلاسما فشار اتمسفر در ۵۰ کیلوهرتز با استفاده از ۲۲۰ولت با هوای خشک فیلتر شده، در معرض دما و با نظارت در۰، ۲، ۴، 6، و ۱۰ دقیقه تحت تیمار قرار گرفتند	-	بدون تغییر	Ekezie *et al*., 2019
Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*)	پلاسمای سرد اتمسفری ولتاژ بالا تولید شده با استفاده از تخلیه سد دی‌الکتریک در 16 kVRMS با ترکیبات مختلف گاز آرگون: اکسیژن (۲۰: ۸۰) و آرگون: هوا(۲۰: ۸۰)	کاهش	کاهش	Shiekh and Benjkul, 2020

۳- تاثیر بر اجزای غذایی

همان‌طور که پیشتر گفته شد پلاسمای اتمسفر سرد از گونه‌های فعال فراوان تشکیل شده‌است که به شدت با اجزای غذا برهمکنش کرده و منجر به ایجاد منبع غنی از واکنش شیمیایی مانند دیمریزاسیون، اکسیداسیون، دآمیداسیون، نیتراسیون، سولفوکسیداسیون، هیدروژن زدایی و/ یا هیدروکسیلاسیون اسیدهای آمینه می‌شود (۵۸،۴۶). همان طور که توسط بسیاری از محققان گزارش شده است، در محصولات گوشتی، تیمار پلاسمای سرد به صورت مثبت بر کیفیت ماده گوشتی تأثیر می‌گذارد (۲۸،۵). همان طور که گفته شد پلاسمای سرد از گونه‌های مختلف نیتروژن فعال (گونه های پایدار) تشکیل شده‌است که به صورت اکسید نیتروژن حل می‌شوند و در حضور آب اسید نیتریک تشکیل می‌دهند که بعداً به نیترات / نیتریت تجزیه می‌شود. تعدیل بیشتر مخلوط گاز نیز بر فعالیت آب در محصولات گوشتی تأثیر می‌گذارد. کاهش فعالیت آبی (aw) در ۰.۷۱aw زمانی که ۲۵ درصد O_2 و ۷۵ درصد مخلوط گاز Ar در تولید پلاسمای سرد استفاده شد،ثبت گردید (۱۹). فعالیت آبی پایین برای جلوگیری از رشد باکتری در محصولات گوشتی ضروری است. با این حال، اعمال تیمار پلاسمای سرد مبتنی بر مولکول اکسیژن بر روی گوشت مقدار L* را افزایش می‌دهد، در حالی که گاز Ar همان مقدار را کاهش می‌دهد. این امر به تبخیر رطوبت موجود در سطح گوشت پس از کاربرد CAP نسبت داده شد (۱۹). pH ماهی یک ویژگی کیفی مهم است که مقبولیت محصولات غذایی آبزیان را تعیین می‌کند (۵۶). هرگونه تغییر شدید در pH با فساد محصولات غذایی آبزیان مرتبط است و کیفیت بافتی و حسی را دچار اختلال می‌کند (۲۰). پلاسمای سرد به دلیل تشکیل اسیدهایی مانند HNO_3، HNO_2، H_3O^+، H_2O_2 و O_3 باعث کاهش pH ماتریس نمونه تیمار شده می‌شود که به تدریج در طول ذخیره سازی افزایش می‌یابد. با این حال، کاهش بیشتر pH در طول ذخیره سازی محصولات غذایی آبزیان، ناشی از تجزیه پروتئین، با تیمار پلاسمای سرد به تاخیر می‌افتد که می‌تواند به غیر فعال شدن آنزیم‌ها و تخریب جمعیت میکروبی نسبت داده شود (۴۶). بنابراین تیمار پلاسمای سرد نقش مهمی در تنظیم پارامترهای فیزیکی محصولات تازه از جمله رنگ، تازگی و pH دارد. که می‌تواند درصد ترکیبات زیست فعال را به صورت وابسته به دوز افزایش یا کاهش دهد (۵۳). پلاسمای حرارتی در فشار اتمسفر دمایی برابر با ۶۰۰۰ کلوین تولید می‌کند که مربوط به میانگین انرژی جنبشی کمتر از ۱eV است که می‌تواند به طور غیرمستقیم و در فاصله معینی روی غذا اعمال شود. با این حال، تیمار پلاسمای سرد غیرحرارتی دمایی بین ۱۰۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰K در فشار اتمسفر مربوط به میانگین انرژی جنبشی بیش از ۱eV تولید می‌کند. اگرچه دمای گاز در پلاسمای سرد نزدیک به محیط باقی می‌ماند، اما از طریق برخورد الکترون باعث ایجاد واکنش های شیمیایی و حالت‌های برانگیختگی می‌شود. این سبب اعمال مستقیم روی غذا می‌شود (۴۹). در نتیجه، به نظر می‌رسد این تکنیک در تیمار ترکیبات زیست فعال حساس به حرارت موفق باشد، اما باعث تخریب ویتامین‌های حساس می‌شود.آبزیان به عنوان منبعی از چربی‌های با کیفیت، غنی از اسیدهای چرب غیراشباع در نظر گرفته می‌شوند. لیپیدها در برابر اکسیداسیون ناشی از گونه‌های فعال تولید شده حساس هستند و تأثیر منفی بر کیفیت مواد غذایی، تولید اکسیدان‌های اولیه و ثانویه همراه با ایجاد بو و طعم خواهد داشت. برای حفظ کیفیت لازم است تا نوع و ترکیب گاز، زمان و شدت مواجه به صورت بهینه تعیین شود. در مطالعه‌ای افزایش سطح اکسیداسیون اولیه لیپیدها را از ماهی خال دار[1] (*S. scombrus*) تیمار شده با پلاسمای سرد در سطح

1-Mackerel

انرژی بالاتر و مدت طولانی تر گزارش شد که بر حسب مقدار پراکسید تولید شده اندازه‌گیری صورت گرفت (۱). به طور مشابه، اکسیداسیون لیپید در برش‌های سی بس آسیایی با افزایش مواجهه با تیمار پلاسمای سرد در مقایسه با شاهد افزایش یافت (۴۱،۴۰). پلاسمای سرد چندین گونه فعال و رادیکال‌های آزاد تولید می‌کند که خواص اکسیداتیو لیپیدی قوی از خود نشان می‌دهند. ماده واکنش‌دهنده اسید تیوباربیتوریک (TBARS[1]) یک پارامتر مهم برای سنجش وضعیت اکسیداسیون لیپید که تحت تأثیر کاربرد پلاسمای DBD در۷۰ کیلو ولت قرار نمی‌گیرد،درحالیکه ۸۰ کیلو ولت فرآیند اکسیداسیون را افزایش می‌دهد و باعث ایجاد بد طعمی در شاه ماهی می‌شود (۲). مقادیر بالاتر شاخص تیوباربیتوریک اسید به تشکیل محصولات اکسیداسیون لیپید ثانویه به تیمار پلاسمای سرد نسبت داده شد. به طور مشابه، در برش‌های پولاک آلاسکایی خشک شده[2] و برش‌های ماهی مرکب، شاخص تیوباربیتوریک اسید به دلیل تیمار پلاسمای سرد به طور قابل توجهی افزایش یافت (۷،۶). تیوباربیتوریک اسید با افزایش زمان قرار گرفتن در معرض پلاسمای سرد افزایش می‌یابد که می‌تواند به دلیل افزایش کم آبی و اکسیداسیون باشد. تنوع در محتوای لیپید، ترکیب آن و استفاده نادرست می‌تواند اکسیداسیون لیپید را افزایش دهد. البته محتوی لیپیدی و نوع اسیدهای چرب نمونه نیز در حصول نتیجه مطلوب نهایی موثر می‌باشد، با این حال، روش کاربرد پلاسما بهینه برای کاهش اکسیداسیون لیپید ضروری است. در مطالعه دیگری گزارش شد که پیش تیمار برش‌های ماهی سی بس آسیایی با عصاره‌های طبیعی و به دنبال آن اعمال پلاسمای سرد می‌تواند سرعت اکسیداسیون لیپیدها را در مقایسه با تیمار پلاسمای سرد به تنهایی کاهش دهد (۳۹). لازم به ذکر است اکسیداسیون لیپید الزاما با تولید بوی بد همراه نمی‌باشد. به طور مشابه، کاهش سرعت اکسیداسیون لیپید در برش‌های سی بس آسیایی که با آنتی‌اکسیدان طبیعی (عصاره پوسته نارگیل) پیش تمار شده بودند و به دنبال آن تیمار پلاسمای سرد صورت گرفت، گزارش شد (۴۳). در مقایسه با اسید اسکوربیک، اکسیداسیون لیپید با عصاره طبیعی بهتر کنترل شد. این ممکن است به دلیل توانایی بالاتر عصاره طبیعی انتخاب شده برای مهار رادیکال‌های آزاد تولید شده توسط تیمار پلاسمای سرد باشد (۴۰، ۴۱). یافته‌های مشابهی مشخص کرد، که می‌توان از اکسیداسیون لیپیدی ناشی از کاربرد پلاسمای سرد با پیش تیمار نمونه با عصاره برگ چاموانگ و استفاده از ترکیب گازی آرگون- هوا جایگزین اکسیژن آرگون جلوگیری کرد (۵۱)، به این معنی که نگهدارنده‌های طبیعی دارای فعالیت آنتی اکسیدانی می‌توانند از تغییر ساختار مولکولی اسیدهای چرب چند غیر اشباع و اسیدهای چرب تک غیر اشباع ناشی از اعمال پلاسمای سرد جلوگیری کنند و در نتیجه شدت اکسیداسیون را کاهش دهند. درجه بالای غیراشباعیت لیپیدها در آبزیان به راحتی توسط گونه‌های واکنشی تولید شده در فرآیند پلاسمای سرد تجزیه می‌شوند و حساسیت بالایی نسبت به اکسیداسیون دارند. استفاده از عصاره‌های طبیعی که به‌عنوان پرواکسیدان ارزیابی شده‌اند، ثابت کرده‌اند که اکسیداسیون لیپید ناشی از کاربرد پلاسمای سرد را به تاخیر می‌اندازند (۵۱،۵۴ و۵۵). همچنین Pérez-Andrés و همکاران (۲۰۲۰) مشخص کردند که CAP هیچ تاثیری بر کلسترول یا محتوای چربی ندارد. با این حال، مقادیر بالاتر پراکسید و شاخص اسید تیوباربیتوریک ($TBAR_S$) برای نمونه‌های تیمار شده سنجش شد، که نشان می‌دهد پلاسما می‌تواند تسریع اکسیداسیون اولیه و ثانویه را در لیپیدها القا کند. آبزیان یک منبع غنی از پروتئین با ارزش غذایی بالا هستند (۴). کاربرد پلاسمای سرد می‌تواند ساختار و ترکیب بیومولکول‌ها

1 -Thiobarbituric Acid Reactive Substances
2-Dried Alaska Pollock Shreds

را تحت تاثیر قرار دهد، که آن را جایگزین خوب و مناسبی برای روش‌های سنتی به منظور افزایش خواص عملکردی پروتئین‌ها می‌کند (۵۰). به عبارت دیگر، تیمار CP عملکرد پروتئین‌های غذایی را از طریق تغییرات ساختاری و مولکولی تغییر می‌دهد (۱۲). اکتومیوزین استخراج شده از میگوی پا سفید (*Litopenaeus vannamei*) در معرض جت پلاسما با فشار اتمسفر تولید شده در گاز آرگون قرار گرفت. اکتومیوزین در چند دقیقه اول مواجه با پلاسما، کاهش ۲ درصدی در pH و افزایش ۴/۵ درصد در حلالیت را نشان داد. تقریباً ۵/۳۷ و۵۰ درصد افزایش به ترتیب در فعالیت امولسیون کنندگی و ظرفیت کف کردن، پس از پنج دقیقه قرارگرفتن در معرض پلاسما مشاهده شد (۱۰). Ekezie و همکاران (۲۰۱۹) اثر تیمار جت پلاسما با فشار اتمسفر (۱۰-۰ دقیقه) را بر روی خواص ساختاری و فیزیکوشیمیایی پروتئین‌های میوفیبریلار استخراج شده از میگوی پا سفید (*L. vannamei*) بررسی کردند. آبگریزی سطح و اندازه ذرات پروتئین‌های میوفیبریلار با اعمال تیمار افزایش یافت. آن‌ها همچنین گزارش دادند که کاربردهای پلاسما بر خواص پروتئین تأثیر گذار و ممکن است باعث دناتوره شدن جزئی شود. همان‌طور که عنوان شد پروتئین‌های ماهی دارای چندین ویژگی عملکردی هستند (۲۵)، که می‌تواند به شدت تحت تاثیر تیمار پلاسمای سرد قرار گیرد. بدین جهت، نیاز به ارزیابی تاثیر پلاسمای سرد بر پروتئین آبزیان مهم است. از این‌رو، می‌توان پیشنهاد کرد که اکسیداسیون پروتئین‌ها به عوامل مختلفی مانند نوع پلاسما، مخلوط گاز، زمان تیمار، توان ورودی، فاز و حجم محصول بستگی دارد. اخیراً چندین مطالعه کاربردهای فناوری مانع یا عصاره طبیعی را برای کاهش تأثیر اکسیداسیون پروتئین‌ها یا پلیمریزاسیون یا شلاته شدن برجسته کرده‌اند (۴۸)، تجزیه و تحلیل رزونانس مغناطیسی هسته‌ای نشان داد که پس از تیمار با پلاسمای سرد، حداکثر مقدار آب ذخیره شده در شبکه پروتئین متراکم به شدت در ماهی خال‌دار (*S. scombrus*) و شاه ماهی[1] (*C. harengus*) کاهش یافت. تغییرات در ساختار پروتئین ناشی از تیمار پلاسمای سرد با انتشار یا مهاجرت آب به ماتریکس خارج سلولی مرتبط بود (۲،۱). پلاسمای سرد به‌طور موثر اکسیداسیون و تجزیه پروتئین را افزایش داد (۴۵). نتایج مشابهی توسط Pérez-Andrés و همکاران در سال۲۰۲۰ مشاهده شد، که شتاب در تشکیل کربونیلها را گزارش کرد که نشان دهنده اکسیداسیون پروتئین در ماهی خال دار است، که توسط پلاسمای سرد القا شده‌است. افزایش اکسیداسیون میوفیبریل‌های باریک که در معرض پلاسمای سرد قرار گرفتند به عنوان تابعی از زمان مشاهده شد که با افزایش همراه بود. تشکیل محتوای کربونیل پلیمریزاسیون زنجیره سنگین میوزین و اکتین نیز رخ داد. به‌طور کلی، زنجیره سنگین میوزین و اکتین ماهی، پروتئینهای غالب، در هنگام استفاده از پلاسمای سرد مستعد اکسیداسیون و پروتئولیز بودند (۴۱). به‌طور مشابه، در مطالعه دیگری، برش‌های ماهی سی بس تیمار شده با HVCAP[2] همراه با اسید اسکوربیک و عصاره اتانولی پوسته نارگیل، بدون در نظر گرفتن افزودن آنتی‌اکسیدان‌ها، محتوای کربونیل بیشتری نسبت به شاهد نشان دادند (۴۰). جدا از اکسیداسیون، گونه‌های فعال تشکیل شده توسط پلاسمای سرد نیز قادر به شکستن پروتئین‌ها بودند. محلول پپتید TCA[3] و محتوای کربونیل کل در طول ذخیره سازی برش‌های سی بس تیمار شده با پلاسمای سرد افزایش یافت، که نشان می‌دهد اکسیداسیون لیپیدی که باعث اکسیداسیون پروتئین‌ها می‌شود، افزایش یافته. با این حال، پیش تیمار با آنتی اکسیدان‌ها باعث

1-Herring
2-High-voltage Cold Atmospheric Plasma
3- Trichloroacetic Acid

کاهش اکسیداسیون پروتئین می‌شود که به توانایی آنتی‌اکسیدان‌ها برای مهار اکسیداسیون لیپیدها مرتبط است. پیش تیمار با پوسته نارگیل اتانولی (آزاد یا محصور شده) می‌تواند اکسیداسیون و تخریب پروتئین ناشی از پلاسمای سرد، عمدتاً از طریق مهار گونه‌های فعال را به تعویق بیاندازد (۴۰،۴۱و۴۲). افزایش قابل توجهی در نمونه‌های تیمار شده با پلاسمای سرد شامل ترکیب گازی آرگون / اکسیژن به دلیل تولید گونه‌های اکسیژن فعال مشاهده شد. علاوه بر این، از دست دادن زنجیره سنگین میوزین و باند اکتین نیز مشاهده شد. با این حال، تیمار با عصاره برگ چاموانگ به دلیل ظرفیت آنتی اکسیدانی بالاتر، سطح اکسیداسیون پروتئین را به تاخیر می‌اندازد. به طور مشابه، افزایش تایید شده در اکسیداسیون پروتئین‌ها در ماهی سی بس آسیایی با تیمار پلاسمای سرد گزارش شد. پیش تیمار با کیتوالیگوساکارید به‌طور موثر تشکیل محتوای کربونیل کل را کاهش داد که با خواص آنتی اکسیدانی و ضد باکتریایی کیتوالیگوساکاریدها مرتبط است (۵۱). افزایش اولیه سولفیدریل با کشش و باز شدن پروتئین همراه بود، در حالی که کاهش بیشتر به دلیل تجمع پروتئین یا اتصال عرضی به دلیل اکسیداسیون پروتئین ناشی از گونه‌های فعال از پلاسمای سرد اتمسفری بود. اصلاح ساختاری پروتئین زمانی انجام شد که ولتاژ بالا بیش از ۳۰ کیلو ولت اعمال شد و باعث پلیمریزاسیون پروتئین‌ها گردید. کاهش محتوای سولفیدریل آزاد نشان دهنده تغییر در ساختار پروتئین با اکسیداسیون است که در آن پیوند دی – سولفید می‌تواند تشکیل شود. مشاهدات مشابهی در مطالعه دیگری گزارش شد که در آن کاهش جزئی در محتوای سولفیدریل در میگوی پاسفید پس از ۴ دقیقه تیمار پلاسما مشاهده شد (۱۱). از این‌رو، می‌توان پیشنهاد کرد که اکسیداسیون یا تجزیه پروتئین به عوامل مختلفی مانند نوع پلاسما، مخلوط هوا، مدت تیمار، توان ورودی و فاز و حجم نمونه بستگی دارد. کاهش فعالیت آنزیمی یکی از اهداف اولیه فرآوری برای انواع محصولات غذایی است. گونه‌های فعال شیمیایی تولید شده توسط پلاسمای سرد منجر به شکستن پیوند و تغییرات زنجیره جانبی آنزیم‌ها می‌شود که ساختار ثانویه آن‌ها و متعاقباً عملکرد ساختارهای سوم و/ یا چهارتایی را تغییر می‌دهد (۲۹). گزارش شده‌است که کاربرد پلاسمای سرد طیفی از آنزیم‌ها مانند α-آمیلاز، α-کیموتریپسین، آلکالین فسفاتاز، لیپاز، لیپوکسیژناز، لیزوزیم، پراکسیداز، پلی فنل اکسیداز، پروتئاز و سوپراکسید دیسموتاز را غیرفعال می‌کند. بیشتر این آنزیم‌ها در محصولات تازه مانند سیب، برنج قهوه‌ای، تخم مرغ، خربزه، قارچ، توت فرنگی و گوجه فرنگی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند (۴۴،۳۳). با این حال، مطالعات بسیار کمی تاثیر پلاسمای سرد را بر مهار آنزیم‌های غذاهای دریایی و محصولات وابسته گزارش کرده‌اند. بسیاری از مطالعات کاهش تخریب پروتئین، کاهش حلالیت پروتئین، کاهش اکسیداسیون پروتئین، کاهش اکسیداسیون لیپید و کاهش محتوای سولفیدریل پروتئین را به دلیل تیمار پلاسمای سرد گزارش کرده اند. در مقابل، افزایش تجمع پروتئین باعث افزایش محتوای کربونیل پروتئین، افزایش آب گریزی سطح پروتئین میوفیبریلار و افزایش خواص ژل شدن پروتئین میوفیبریلار که این را می‌توان با مهار لیپازها، پروتئازها و آنزیم‌های وابسته با استفاده از پلاسمای سرد تأیید کرد،گزارش شده‌است (۴۸). با این حال، برای ایجاد یک همبستگی دقیق، مطالعات آینده باید مهار آنزیم‌های مختلف را به دلیل استفاده از پلاسمای سرد ارزیابی کنند. در بین غذاهای دریایی، ماهی، سخت پوستان، و نرم تنان (صدف‌ها) مهم‌ترین محصولات غذایی هستند که باعث واکنش‌های آلرژیک می‌شوند (۲۳،۱۷). آلرژن‌های غذایی معمولا گلیکوپروتئین‌های محلول در آب هستند (۱۶). تروپومیوزین (پروتئین

میوفیبریلار) یک آلرژن اصلی در اکثر صدف‌ها است. محققان روش‌هایی را برای کاهش حساسیت‌زایی غذاهای دریایی بررسی کرده‌اند و عملیات حرارتی یکی از این روش‌ها است. با این حال، به دلیل طبیعت پایدار تروپومیوزین در برابر حرارت، عملیات حرارتی ساده به اندازه کافی آلرژی‌زایی را کاهش نمی‌دهد. پاسخ آلرژیک تروپومیوزین در میگوی پاسفید تازه (*L. vannamei*) که در معرض جت پلاسمای آرگون سرد قرار گرفته بود، بررسی شد. پس از ۱۵ دقیقه تیمار، ظرفیت اتصال IgE و IgG به ترتیب ۱۷/۶ و ۲۶/۸۷ درصد کاهش یافت. علاوه بر این، آبگریزی سطحی و محتوای گروه سولفیدریل آزاد کل پس از بیش از ۹ دقیقه دستخوش تغییر شد. این تغییر به تغییر اسیدهای آمینه در ناحیه اتصال IgE نسبت داده می‌شود که بر ظرفیت اتصال آنتی بادی تروپومیوزین با تغییرات احتمالی در ساختارهای α-مارپیچ و β-ورق تأثیر می‌گذارد. مکانیسم دیگری که در دناتوره شدن پروتئین دخیل است، کاهش حلالیت پروتئین به دلیل تشکیل لخته می‌باشد. اتصال عرضی همچنین می‌تواند محتوای آلرژن ماده غذایی را کاهش دهد (۱۶،۹). رنگ به عنوان یک ویژگی کیفی مهم در نظر گرفته می‌شود که بر مقبولیت محصولات غذایی آبزیان تأثیر می‌گذارد (۵۲). از این‌رو، ارزیابی و اندازه‌گیری اثرات پلاسما بر ویژگی‌های خارجی به ویژه بر رنگ محصول برای پاسخگویی به تقاضای مختلف بازار ضروری است (۲۱). Pérez-Andrés و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیقی دریافتند که تفاوت معنی‌داری بین نمونه‌های گوشت چرخ شده گاو، گوسفند، خوک و مرغ کنترل و تیمار شده با پلاسما مشاهده نشد که نشان می‌دهد تیمار پلاسما اثرات قابل توجهی بر رنگ گوشت ندارد. این یافته‌ها با نتایج گزارش شده برای گوشت گاو و خوک توسط Jayasena و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد. این گروه همچنین هیچ تغییر معنی‌داری را در مقادیر L^* و b^* گوشت گاو گزارش نکردند، با این حال، در مقابل، همان گروه مقادیر a^* را به‌طور قابل‌توجهی پایین‌تر برای گوشت گوساله تیمار شده با پلاسما و به طور قابل توجهی بالاتر گزارش کردند. در این مطالعه، هیچ اثر قابل توجهی بر روی مقادیر a^* ناشی از تیمار با پلاسما پیدا نکردند. تیمار پلاسمای سرد به طور مثبت بر مقادیر رنگ محصولات غذایی آبزیان تأثیر می‌گذارد. طبق تحقیقات افزایش در جذابیت نمونه‌های تیمار شده با پلاسمای سرد گزارش شده است. با این حال، زمان تیمار بر این موضوع تاثیر قابل توجهی دارد؛ با افزایش قرار گرفتن در معرض تیمار، تغییرات رنگ قابل توجهی گزارش شد. استفاده از عصاره‌های گیاهی نیز شاخص رنگ را کاهش داد که می‌توان با کپسوله کردن عصاره در یک لیپوزوم آن را بهبود بخشید. کیفیت حسی یکی از عوامل تعیین کننده در فساد ماهی است، زیرا در بسیاری از محصولات مشاهده شده است که تغییرات در ویژگی‌های حسی تا حد زیادی قبل از رسیدن به هر گونه خطری برای سلامت مصرف کننده رخ می‌دهد، درحقیقت ویژگی‌های حسی به‌طور قابل توجهی ماندگاری بیشتر محصولات غذایی را محدود می‌کند (۱۸). از این رو، ارزیابی تاثیر تیمار پلاسمای سرد بر ویژگی‌های حسی محصولات غذایی آبزیان حائز اهمیت است. چندین واکنش، به ویژه اکسیداسیون لیپید، می‌تواند بر خواص حسی غذاهای دریایی تحت تیمار با CP تأثیر منفی بگذارد. طبق گزارشات مشخص شد که کیفیت حسی محصولات غذایی آبزیان با تیمار پلاسمای سرد حفظ می‌شود. با این حال، اشکال عمده مشاهده شده، کاهش پذیرش کلی برای نمونه‌هایی بود که برای مدت طولانی‌تری تیمار شدند، که بیشتر به علت اکسیداسیون لیپید و متعاقباً طعم و بوی نامطلوب بود. جالب توجه است که بسیاری از مطالعات گزارش کرده‌اند که اکسیداسیون ناشی از تیمار با پلاسمای سرد را می‌توان با استفاده از عصاره‌های طبیعی غنی از

آنتی‌اکسیدان کاهش داد. با این حال، استفاده از عصاره‌های طبیعی خام ممکن است مقبولیت ظاهری محصولات را کاهش دهد، که نشان دهنده لزوم تحقیقات بیشتر در مورد استفاده از آنتی اکسیدان‌های خالص به جای عصاره‌های طبیعی خام است (۴۸).

۴- نتیجه‌گیری

تقاضا برای غذاهای خام یا بدون قرار گرفتن در معرض عملیات حرارتی به دلیل عواملی مانند ترجیح مصرف‌کنندگان به غذاهای سالم و توسعه آگاهی مصرف کننده در حال افزایش است. استفاده از فناوری پلاسما علاوه بر بهبود کیفیت میکروبیولوژیکی غذا می‌تواند از برخی تغییرات حسی، شیمیایی و فیزیکی جلوگیری کند. می توان نتیجه گرفت که کاربرد CP با افزایش ماندگاری مواد غذایی در ارائه محصولات با کیفیت بالاتر برای مصرف موثر است. به‌طورکلی تحقیقات بیشتری در مورد تأثیر این فناوری بر کیفیت محصولات غذایی قبل از تأیید و پذیرش آن به ترتیب توسط قانون‌گذاران و صنعت مورد نیاز است. برای جلوگیری از افت کیفیت، نیاز به درک واکنش‌های شیمیایی مرتبط با گونه‌های پلاسما وجود دارد. این امر به ویژه در هنگام تلاش برای درک تأثیر CAP بر فراکسیون‌های لیپیدی حائز اهمیت است و باید بر روی بررسی چندین بخش لیپیدی به صورت موازی مانند کلسترول و همچنین اسیدهای چرب متمرکز شود تا درک واضح تری از ترتیب اکسید شدن فراکسیون‌های چربی به‌دست آورد. همچنین مطالعات نشان دادند که تحت شرایط بهینه، اثر تیمار CP بر خواص پروتئین و بویژه ساختار آلرژن‌ها برای صنایع غذایی امیدوارکننده به نظر می‌رسد و کاربردهای جدید مبتنی بر اصلاح هنوز نیاز به بررسی دارند. پلاسمای سرد بر روی آنزیم اصلی عامل فساد محصولات شیلاتی، هیستیدین دکربوکسیلاز، نیز نیاز به بررسی دارد. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که تیمار پلاسما ممکن است به طور بالقوه در کاربردهای تجاری برای کاهش حساسیت‌زایی یا فعالیت آنزیمی محصولات غذایی آبزیان مفید باشد. علاوه بر این، CP را می‌توان با سایر فناوری‌های غیر حرارتی (نانو فناوری، نور پالسی و اولتراسوند) و انواع تکنولوژی بسته‌بندی برای دستیابی به نتایج بهتر ترکیب کرد و به طور گسترده‌تری برای اطمینان از ایمنی مواد غذایی مورد استفاده قرارداد.

۵- منابع

1. Albertos I, Martin-Diana A. B, Cullen P. J, Tiwari B. K, Ojha S, Bourke P. et al. Effects of dielectric barrier discharge (DBD) generated plasma on microbial reduction and quality parameters of fresh Mackerel (*Scomber scombrus*) fillets. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2017; 44:117–122. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.07.006
2. Albertos I, Martin-Diana A. B, Cullen P. J, Tiwari B. K, Ojha K. S, Bourke P. et al. Shelf-life extension of Herring (*Clupea harengus*) using in-package atmospheric plasma technology. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2019; 53:85–91. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.09.010
3. Cao X, Islam M. N, Chitrakar B, Duan Z, Xu W, Zhong S. Effect of combined chlorogenic acid and chitosan coating on antioxidant, antimicrobial, and sensory properties of snakehead fish in cold storage. *Food Science & Nutrition*. 2020; 8(2):973–981. https://doi.org/10.1002/fsn3.1378
4. Chalamaiah M, Ulug S. K, Hong H, Wu J. Regulatory requirements of bioactive peptides (protein hydrolysates) from food

proteins. *Journal of Functional Foods*. 2019; 58:123–129. https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.04.050

5. Chaplot S, Yadav B, Jeon B, Roopesh. Atmospheric cold plasma and peracetic acid–based hurdle intervention to reduce salmonella on raw poultry meat. *Journal of Food Protection*. 2019; 82(5):878–888. https://doi.org/10.4315/0362-028x.jfp-18-377
6. Choi S, Puligundla P, Mok C. Microbial decontamination of dried Alaska pollock shreds using corona discharge plasma jet: Effects on physicochemical and sensory characteristics. *Journal of Food Science*. 2016; 81(4): M952–M957. https://doi.org/10.1111/1750-3841.13261
7. Choi S, Puligundla P, Mok C. Impact of corona discharge plasma treatment on microbial load and physicochemical and sensory characteristics of semi-dried squid (*Todarodes pacificus*). *Food Science and Biotechnology*. 2017; 26(4): 1137–1144. https://doi.org/10.1007/s10068-017-0137-8
8. De Souza Silva D. A, Da Silva Campêlo M. C, De Oliveira Soares Rebouças L, De Oliveira Vitoriano J, Alves C, Junior Da Silva J. B. A. et al. Use of cold atmospheric plasma to preserve the quality of White shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Journal of Food Protection*. 2019; 82(7): 1217–1223. https://doi.org/10.4315/0362-028x.jfp-18-369
9. Ekezie F. C, Cheng J, Sun D. Effects of nonthermal food processing technologies on food allergens: A review of recent research advances. *Trends in Food Science & Technology*. 2018a; 74: 12–25. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.01.007
10. Ekezie F. C, Cheng J, Sun D. Effects of mild oxidative and structural modifications induced by argon plasma on physicochemical properties of actomyosin from King prawn (*Litopenaeus vannamei*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2018b; 66(50): 13285–13294. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b05178
11. Ekezie F. C, Cheng J, Sun D. Effects of atmospheric pressure plasma jet on the conformation and physicochemical properties of myofibrillar proteins from King prawn (*Litopenaeus vannamei*). *Food Chemistry*. 2019; 276:147–156. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.113
12. Ekezie F. C, Sun D, Cheng J. A review on recent advances in cold plasma technology for the food industry: Current applications and future trends. *Trends in Food Science and Technology*. 2017; 69:46–58. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.08.007
13. Esua O. J, Cheng J, Sun D. Functionalization of water as a nonthermal approach for ensuring safety and quality of meat and seafood products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 61(3): 431–449. https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1735297
14. FAO., 2005. Postharvest changes in fish. Fisheries and aquaculture department, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
15. FAO.,2020. *The State of world Fisheries and Aquaculture*: *Sustainability in action*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
16. Filho E. G. A, De Brito E. S. Rodrigues S. 2019. Effects of cold plasma processing in food components. In *Elsevier eBooks,* pp.253–268.

17. Gavahian M, Chu Y, Khaneghah A. M, Barba F. J, Misra N. A critical analysis of the cold plasma induced lipid oxidation in foods. *Trends in Food Science and Technology*. 2018; 77:32–41. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.04.009
18. Giménez A, Ares F, Ares G. Sensory shelf-life estimation: A review of current methodological approaches. *Food Research International*. 2012; 49(1): 311–325. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.07.008
19. Gök V, Aktop S, Özkan M, Tomar O. The effects of atmospheric cold plasma on inactivation of Listeria monocytogenes and Staphylococcus aureus and some quality characteristics of pastırma—A dry-cured beef product. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2019; 56, 102188. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102188
20. He Y, Huang H, Li L. Yang X. Label-free proteomics of Tilapia fillets and their relationship with meat texture during post-mortem storage. *Food Analytical Methods*. 2018; 11(11):3023-3033. https://doi.org/10.1007/s12161-018-1273-3
21. Hong H, Yang X, You Z, Cheng F. Visual quality detection of aquatic products using machine vision. *Aquaculture Engineering*. 2014; 63: 62–71. https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2014.10.003
22. Jayasena D. D, Kim H. J, Yong H. I, Park S. H, Kim K, Choe W. et al. Flexible thin-layer dielectric barrier discharge plasma treatment of pork butt and beef loin: Effects on pathogen inactivation and meat-quality attributes. *Food Microbiology*. 46: 51–57. https://doi.org/10.1016/j.fm.2014.07.009
23. Kamath S. D, Rahman A. M. A, Komoda T, Lopata A. L. 2013; Impact of heat processing on the detection of the major shellfish allergen tropomyosin in crustaceans and molluscs using specific monoclonal antibodies. *Food Chemistry*, 141(4), pp.4031–4039. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.06.105
24. Keener K. M, Misra N. Future of cold plasma in food processing. In *Elsevier eBooks*. 2016; 343–360. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-801365-6.00014-7
25. Khan S, Rehman A, Shah H, Aadil R. M, Ali A, Shehzad Q, Ashraf W. et al. 2020. Fish protein and its derivatives: the novel applications, bioactivities, and their functional significance in food products. *Food Reviews International*. 2020; 38(8): https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1828452
26. Kim Y, Yun H, Eom S, Sung B, Lee S, Jeon S. et al. Bactericidal action mechanism of nonthermal plasma: denaturation of membrane proteins. *IEEE Transactions on Radiation and Plasma Medical Sciences*. 2018; 2(1): 77–83. https://doi.org/10.1109/trpms.2017.2762732
27. Li T, Li J, Hu W, Zhang X, Li X Zhao J. Shelf-life extension of Crucian carp (*Carassius auratus*) using natural preservatives during chilled storage. *Food Chemistry*. 2012; 135(1):140–145. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.04.115
28. Luo J, Nasiru M. M, Yan W, Zhuang H, Zhou G, Zhang J. Effects of dielectric barrier discharge cold plasma treatment on the structure and binding capacity of aroma compounds of myofibrillar proteins from dry-cured bacon. *Food Science and Technology*. 2020; 117: 108606. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108606

29. Mandal R, Singh A. Recent developments in cold plasma decontamination technology in the food industry. *Trends in Food Science & Technology*. 2018; 80: 93–103. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.014
30. Mariutti L. R. B, Bragagnolo N. Influence of salt on lipid oxidation in meat and seafood products: A review. *Food Research International*. 2017; 94: 90–100. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.02.003
31. Miao W, Nyaisaba B. M, Koddy J. K, Chen M, Hatab S, Deng S. Effect of cold atmospheric plasma on the physicochemical and functional properties of myofibrillar protein from Alaska pollock (*Theragra chalcogramma*). *International Journal of Food Science and Technology*. 2019; 55(2): 517–525. https://doi.org/10.1111/ijfs.14295
32. Misra N, Tiwari B. K, Raghavarao K, Cullen P. J. Nonthermal plasma inactivation of Foodborne pathogens. *Food Engineering Reviews*. 2011; 3(3–4): pp.159–170. https://doi.org/10.1007/s12393-011-9041-9
33. Misra N, Pankaj S, Segat A, Ishikawa K. Cold plasma interactions with enzymes in foods and model systems. *Trends in Food Science and Technology*. 2016; 55:39–47. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.07.001
34. Moutiq R, Misra N, Mendonca A. F, Keener K. M. In-package decontamination of chicken breast using cold plasma technology: Microbial, quality and storage studies. *Meat Science*. 2020; 159: 107942. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107942
35. Nations, F. a. a. O. O. T. U., 2018. Fishery and Aquaculture Statistics: In *FAO eBooks*. https://doi.org/10.4060/cb1213t
36. Nyaisaba B. M, Miao W, Hatab S, Siloam A, Chen M, Deng S. Effects of cold atmospheric plasma on squid proteases and gel properties of protein concentrate from Squid (*Argentinus ilex*) mantle. *Food Chemistry*. 2019; 291:68–76. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.04.012
37. Odeyemi O. A, Alegbeleye O, Strateva M, Stratev D. Understanding spoilage microbial community and spoilage mechanisms in foods of animal origin. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2020; 19(2): 311–331. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12526
38. Olatunde O. O, Benjakul S. Nonthermal processes for shelf-life extension of seafoods: a revisit. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 17(4): 892–904. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12354
39. Olatunde O. O, Benjakul S. Antioxidants from crustaceans: A panacea for lipid oxidation in marine-Based foods. *Food Reviews International*. 2020; 38(1): 1–31. https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1717522
40. Olatunde O. O, Benjakul S, Vongkamjan K. Dielectric barrier discharge high voltage cold atmospheric plasma: an innovative nonthermal technology for extending the shelf-life of Asian sea bass slices. *Journal of Food Science*. 2019a. 84(7): 1871–1880. https://doi.org/10.1111/1750-3841.14669
41. Olatunde O. O, Benjakul S, Vongkamjan K. High voltage cold atmospheric plasma: Antibacterial properties and its effect on quality of Asian sea bass slices. *Innovative Food Science*

and Emerging Technologies. 2019b. 52: 305–312. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.01.011

42. Olatunde O. O, Benjakul S, Vongkamjan, K. Combined effects of high voltage cold atmospheric plasma and antioxidants on the qualities and shelf-life of Asian sea bass slices. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2019c; 54: 113–122. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.03.012
43. Olatunde O. O, Benjakul S, Vongkamjan K. Cold plasma combined with liposomal ethanolic coconut husk extract: A potential hurdle technology for shelf-life extension of Asian sea bass slices packaged under modified atmosphere. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2020a; 65: 102448. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102448
44. Pan Y, Cheng J, Sun D. Cold plasma-mediated treatments for shelf-life extension of fresh produce: A review of recent research Developments. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2019; 18(5): 1312–1326. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12474
45. Panpipat W, Chaijan M. Effect of atmospheric pressure cold plasma on biophysical properties and aggregation of natural actomyosin from Threadfin bream (*Nemipterus bleekeri*). *Food and Bioprocess Technology*. 2020; 13(5): 851–859. https://doi.org/10.1007/s11947-020-02441-w
46. Pérez-Andrés J. M, Álvarez C, Cullen P, Tiwari B. K. Effect of cold plasma on the techno-functional properties of animal protein food ingredients. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2019; 58: 102205. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102205
47. Pérez-Andrés J. M, De Alba M, Harrison S. M, Brunton N. P, Cullen P. J, Tiwari B. K. Effects of cold atmospheric plasma on Mackerel lipid and protein oxidation during storage. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*. 2020; 118: 108697. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108697
48. Rathod N. B, Ranveer R. C, Bhagwat P, Özogul F, Benjakul S, Pillai S. et al. Cold plasma for the preservation of aquatic food products: An overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2021; 20(5): 4407–4425. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12815
49. Schlüter O, Ehlbeck J, Hertel C, Habermeyer M, Roth A, Engel K. et al. Opinion on the use of plasma processes for treatment of foods*. *Molecular Nutrition & Food Research*. 2013; 57(5): 920–927. https://doi.org/10.1002/mnfr.201300039
50. Sharma S, Singh R. K. Cold plasma treatment of dairy proteins in relation to functionality enhancement. *Trends in Food Science and Technology*. 2020; 102:30–36. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.05.013
51. Shiekh K. A, Benjakul S. Effect of high voltage cold atmospheric plasma processing on the quality and shelf-life of Pacific white shrimp treated with chamuang leaf extract. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2020; 64: 102435. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102435
52. Sikorski Z. E. Food quality and standards pertaining to fish. In *Food Quality and Standards-Volume II* (editor: R. Lasztity). EOLSS Publications. 2009; 10: 134.

https://nanopdf.com/download/eolss-publications_pdf

53. Silveira M. R, Coutinho N. M, Esmerino E. A, Moraes J, Fernandes L. M, Pimentel T. C. et al. Guava-flavored whey beverage processed by cold plasma technology: Bioactive compounds, fatty acid profile and volatile compounds. Food Chemistry. 2019; 279:120–127. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.128
54. Singh A, Benjakul S, Olatunde O. O, Yesilsu A. F. The combined effect of squid pen chitooligosaccharide and high voltage cold atmospheric plasma on the quality of Asian sea bass slices inoculated with Pseudomonas aeruginosa. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2020; 21(01):41–50. https://doi.org/10.4194/1303-2712-v21_1_05
55. Singh A, Benjakul S. The combined effect of squid pen chitooligosaccharides and high voltage cold atmospheric plasma on the shelf-life extension of Asian sea bass slices stored at 4 °C. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2020; 64: 102339. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102339
56. Skjold V, Joensen J. K, Esaiassen M, Olsen R. L. Determination of pH in pre rigor fish muscle – Method matters. *Journal of Aquatic Food Product Technology*. 2020; https://doi.org/10.1080/10498850.2020.1748781
57. Strumiłło, C., 2009. A Review of: *Advanced Drying Technologies* (editors: T. Kudra and A.S. Mujumdar), 2nd ed. 27(10), pp.1164–1165. https://doi.org/10.1080/07373930903221846
58. Takai E, Kitamura T, Kuwabara J, Ikawa S, Yoshizawa S, Shiraki K. et al. Chemical modification of amino acids by atmospheric-pressure cold plasma in aqueous solution. *Journal of Physics D*. 2014; 47(28): 285403. https://doi.org/10.1088/0022-3727/47/28/285403
59. Viji P, Venkateshwarlu G, Ravishankar C, Gopal T. S. Role of plant extracts as natural additives in fish and fish products-A review. *Fishery Technology*. 2017; 54: 145–154. https://www.researchgate.net/publication/321945174_Role_of_Plant_Extracts_as_Natural_Additives_in_Fish_and_Fish_Products_-_A_Review
60. Yepez X. V, Misra N. N, Keener K. M. Nonthermal plasma technology. In *Food engineering series*. 2020; 607–628. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42660-6_23
61. Yu D, Wu L, Regenstein J. M, Jiang Q, Yang F, Xu Y. et al.Recent advances in quality retention of non-frozen fish and fishery products: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2019; 60(10): 1747–1759. https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1596067