مقاله ترویجی

# مروری بر کاربرد بسته‌بندی‌های هوشمند دارای نشانگر تازگی در غذاهای دریایی

صونا دودانگه [1×]

تاریخ دریافت مقاله: تیرماه ۱۳۹۹
تاریخ پذیرش مقاله: آذرماه ۱۳۹۹

## چکیده

**گوشت و جسم ماهی زمانی که ماهی زنده است، استریل در نظر گرفته می‌شود. فساد ماهی می‌تواند خیلی سریع بعد از صید و در طول مراحل مختلف زنجیره تولید، فرآوری و شرایط نگهداری اتّفاق بیفتد. ماهی یک کالا با فسادپذیری بالاست. فساد ماهی به محض مرگ ماهی، شروع می‌گردد. در شرایط گرمسیری، اگر ماهی به درستی سرد نشده باشد، در مدّت چند ساعت بعد از صید، سریعاً فاسد می‌گردد. بسته‌بندی هوشمند یک سیستم حاوی نشان‌گر در داخل یا بیرون بسته است که اطّلاعاتی را در رابطه با بسته‌بندی و غذا فراهم می‌نماید. برخی نشان‌گرهایی که در بسته‌بندی غذای دریایی قرار داده شده‌اند، برای هشدار مصرف‌کنندگان به تغییرات شیمیایی اتّفاق افتاده در داخل محصول طراحی شده‌اند. بسته‌بندی هوشمند می‌تواند به طور مؤثری تغییرات کیفی غذا در طی نگهداری را نشان دهد.**

## واژه‌های کلیدی

استریل، فسادپذیری، بسته‌بندی هوشمند، نشان‌گر، هشدار

## ۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، کیفیت و سلامت غذا یک نگرانی عمده برای مصرف‌کنندگان، تولیدکنندگان، صنایع غذایی و تنظیم‌کنندگان قوانین تغذیه‌ای در سراسر جهان شده است. چنین روندی ممکن است ناشی از جهانی شدن تجارت غذا و تغییرات در عادت‌های غذا خوردن و رفتار مصرف‌کننده نظیر: افزایش تقاضا برای محصولات طبیعی، تازه، با حداقل فرآیند با آماده‌سازی راحت و آماده خوردن باشد.

بنابراین، در چندین سال اخیر تولید محصولات غذایی سالم و باکیفیت به ویژه ماهی و به طور کلی غذاهای دریایی توجّه بسیار زیادی را در جهان به خود جلب نموده است.

ماهی و دیگر غذاهای دریایی به دلیل ارزش تغذیه‌ای بالا به عنوان کالاهای بسیار مهم برای رژیم غذایی انسان در نظر گرفته می‌شوند و از این رو، مصرف آن‌ها به طور

۱- دانشجوی دکترای تخصصی فنّاوری مواد غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان. ایران.
(× نویسنده مسئول: sawnadodange@gmail.com)

قابل ملاحظه‌ای در طول دهه‌های اخیر افزایش یافته است. در واقع براساس آمار سازمان کشاورزی و خواروبار ایالات متحده، مصرف ماهی از ۹/۹ کیلوگرم در سال ۱۹۶۰ به حدود ۲۰ کیلوگرم در سال ۲۰۱۵ افزایش یافته است. امروزه با توجّه به رشد فزاینده جمعیت جهان، نیاز به مواد پروتئینی روز به روز بیشتر می‌شود. پروتئین‌های با منشأ گیاهی به تنهایی تأمین‌کننده این نیاز نمی‌باشند، بلکه پروتئین‌های حیوانی به خصوص پروتئین‌های با منشأ دریایی در این روند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد و درصد زیادی از نیازهای پروتئینی انسان، دام و طیور را می‌توانند برطرف سازند. دریا تقریباً منبعی نامحدود جهت تولید این گونه محصولات می‌باشد. غذاهای دریایی به دلیل طبخ ساده، لذیذ بودن و تنوع، جایگاه خاصی را در بین مردم جهان دارند و به همین دلیل، طرفداران زیادی را در سراسر جهان به سوی خود جلب نموده‌اند.

## ۲- مکانیسم‌های فساد ماهی

در ماهی خام، فساد ماهی ناشی از سه فرآیند می‌باشد:

۱- فرآیند آنزیمی، ۲- فرآیند میکروبی و ۳- فرآیند شیمیایی

آنزیم‌ها و باکتری‌ها هیچ تغییرات نامطلوبی را در سلول‌های زنده موجب نمی‌گردند که دلیل آن مکانیسم دفاعی طبیعی می‌باشد. در ماهی مرده، آنزیم‌ها درگیر تغییرات آنزیمی[1] شده و باکتری‌ها می‌توانند به ماهیچه ماهی حمله نموده و آنجا تکثیر پیدا کنند. احشاء ماهی پر از آنزیم‌های پروتئولیتیک[2] است و در ماهی مرده، این آنزیم‌ها احشاء و نواحی شکم را هضم می‌نمایند که منجر به نرمی زیاد ماهی می‌گردد. باکتری‌هایی که در سطح، آبشش‌ها و احشاء ماهی حضور دارند به ماهی مرده حمله می‌کنند، بافت را تجزیه نموده و تغییرات نامطلوبی را ایجاد می‌نمایند. بدبویی و بدطعمی، لزج شدن، تولید گاز، بی‌رنگ شدن و بافت نرم علائم واضح فساد هستند. ترکیبات درگیر در فرآیند فساد شامل: پروتئین‌ها، چربی‌ها، کربوهیدرات‌ها، نوکلئوتیدها و ترکیبات نیتروژنی غیرپروتئینی هستند. نرخ و سرعت فساد وابسته به دماست و کاهش دما می‌تواند سرعت فساد را کاهش دهد [۱].

### ۲-۱- فساد آنزیمی

فساد اتولیتیکی مسئول کاهش سریع کیفیت ماهی تازه می‌باشد. تغییر آنزیمی اولیه در ماهیچه ماهی هیدرولیز تدریجی گلیکوژن به لاکتیک اسید است که به عنوان گلیکولیز شناخته می‌شود.

#### ۲-۱-۱- گلیکولیز

بعد از مرگ، گردش خون متوقّف شده و بعد از مدّت زمان کوتاهی ذخایر اکسیژن سلول‌ها به اتمام می‌رسد و از این رو برخلاف سلول‌های زنده، گلیکوژن قادر به تبدیل به دی‌اکسید کربن و آب نخواهد بود. در دوره پس از مرگ، گلیکولیز از طریق مسیر بی‌هوازی ادامه می‌یابد که محصول نهایی لاکتیک اسید است. به دلیل تجمع لاکتیک اسید، pH ماهیچه افت می‌نماید. در ماهی، گلیکولیز تا اتمام کامل ذخیره گلیکوژن ادامه خواهد یافت. به طور کلی، ماهیچه ماهی به نسبت حاوی مقدار کمی از گلیکوژن در مقایسه با ماهیچه پستانداران است و به تبع آن pH نهایی پس از صید بالاتر است. این موضوع گوشت ماهی را به حمله میکروبی حساس‌تر می‌سازد.

اگرچه، اختلاف زیادی در محتوای گلیکوژن گونه‌های مختلف وجود دارد. در ماهی، گلیکوژن در ماهیچه تیره بیشتر از ماهیچه سفید متمرکز است. در ماهی تحت استرس، گلیکوژن به سرعت به اتمام می‌رسد. لاکتیک اسید شکل گرفته pH را از ۷/۲-۷ به حدود ۶/۵-۶/۲ کاهش می‌دهد. در برخی گونه‌ها pH نهایی ۵/۸-۵/۶ خواهد بود. کاهش pH همراه با سفت شدن پس از مرگ طبیعی، جمود نعشی نامیده می‌شود. جمود نعشی از ابتدا تا ۸ ساعت بعد از مرگ آغاز می‌گردد و برای ۱۰ تا ۱۲۰ ساعت به طول می‌انجامد که بستگی به خستگی، دما،

1- Autolytic
2- Proteolytic

آسیب فیزیکی و اندازه ماهی دارد. سختی بعد از این مرحله برطرف می‌گردد.

**۲-۱-۲- تغییرات طعم در ماهی (تخریب نوکلئوتید)**

مهم‌ترین تجزیه‌های آنزیمی آن‌هایی هستند که بر طعم اثر می‌گذارند. تجزیه و تخریب نوکلئوتید در ماهیچه ماهی ترکیبات طعم‌دار زیادی را تولید می‌نماید. این ترکیبات از طریق شکستن آدنوزین تری فسفات[1] توسط یکسری از واکنش‌های د-فسفوریلاسیون[2] و د-آمیناسیون[3] شکل می‌گیرند.

ATP ⟶ ADP ⟶ AMP ⟶ IMP ⟶ Inosine ⟶ Ribose ⟶ Hypoxanthine

به تدریج آدنوزین تری فسفات به آدنوزین دی فسفات، آدنوزین مونوفسفات و اینوزین مونو فسفات و آمونیاک هیدرولیز می‌گردد. در دمای محیط، شکست آدنوزین تری فسفات خیلی سریع رخ می‌دهد و اینوزین مونوفسفات در ماهیچه ماهی تجمع می‌یابد. در ماهی تازه، سطح اینوزین[4] مونوفسفات خیلی بالاست و یک طعم نامطلوب شیرین، گوشتی و خاص به ماهی می‌دهد. همچنان که اتولیز[5] ادامه می‌یابد، سطح آدنوزین مونوفسفات کاهش می‌یابد و طعم خنثی اینوزین یا طعم تلخ هیپوگزانتین[6] در ماهیچه انباشته می‌شود. به عنوان یک نتیجه ماهی بی‌مزه‌تر می‌گردد. برخی از این ترکیبات با گذشت زمان افزایش می‌یابند و به عنوان شاخص در تازگی ماهی استفاده شده‌اند.

**۲-۱-۳- ترکیدن شکم**

فساد آنزیمی می‌تواند موجب ترکیدن شکم در ماهی گردد، به ویژه اگر ماده در اختیار آنزیم فراوان باشد. ماهی‌ها مقدار زیادی آنزیم‌های تجزیه‌کننده دارند. این ماهی‌ها به سرعت کیفیت خود را از دست داده و به محض صید فساد به راحتی در آن‌ها اتفاق خواهد افتاد. باکتری‌ها در ترکیبات محلول احشاء تکثیر یافته و گازهایی نظیر دی‌اکسید کربن و هیدروژن تولید می‌نمایند. تولید این گازها منجر به ترکیدن شکم بعد از دوره کوتاهی از نگهداری می‌گردد.

**۲-۱-٤- تغییرات رنگی در ماهی**

رنگ یک عامل مهم در کیفیت غذای دریایی می‌باشد. تغییر رنگ در غذاهای دریایی از طریق واکنش آنزیمی یا غیرآنزیمی نظیر: اکسایش چربی یا پیگمان‌ها ایجاد می‌گردد. تغییر رنگ در غذای دریایی یک نشانه از فساد می‌باشد. تغییرات رنگی مهم در غذاهای دریایی که توسط آنزیم‌ها یا اکسیداسیون چربی اتّفاق می‌افتد در ذیل آمده‌اند.

**۲-۱-٤-۱- تغییرات رنگی سیاه/ آبی**

این نوع تغییر رنگ بیشتر در میگو و خرچنگ‌ها رخ می‌دهد.

**۲-۱-٤-۲- زرد شدن گوشت ماهی**

منجمد نگه‌داشتن برخی ماهی‌ها موجب زرد شدن گوشت زیر پوست در ماهی می‌گردد. انجماد یا دیگر فرآوری‌ها موجب تجزیه کروماتوفورها[7] و آزادسازی کاروتنوئیدها[8] و مهاجرت آن‌ها به لایه چربی زیرپوستی (تحت الجلدی) و در نهایت موجب زردی می‌گردد. زردی همراه با اکسایش لیپید و واکنش کربونیل- آمین در طول دوره نگهداری در شرایط انجماد مشاهده می‌شود.

**۲-۱-٤-۳- تغییرات رنگی قهوه‌ای**

تغییر رنگ زرد یا قهوه‌ای با استفاده از واکنش پروتئین یا آمینواسیدها یا اکسایش لیپید اتفاق می‌افتد. تغییر رنگ قهوه‌ای در محصولات فرآوری شده متنوعی نظیر ماهی حلوای سفید[9]، ماهی ساردین، ماهی خال خالی[10]، کوسه‌ماهی نمک سود، مارماهی دریایی و غیره مشاهده

1- Adenosine Triphosphate(ATP)
2- D *Phosphorylation*
3- Deamination
4- Inosine
5- Utolysis
6- *Hypoxanthine*
7- Chromatophores
8- Carotenoid
9- Pomfret
10- Jack Mackerel

می‌شود. تغییر رنگ ناشی از قهوه‌ای شدن پروتئین- چربی در ماهی چرب بیشتر از ماهی لاغر و نحیف می‌باشد.

## ۲-۲- فساد میکروبی

فساد ماهی اساساً ناشی از عمل باکتری می‌باشد. باکتری‌ها در گل و لای سطح، پوست، آبشش‌ها و روده ماهی حضور دارند. باکتری‌ها شروع به حمله به بافت‌ها کرده و موجب فساد و تولید ترکیبات نامطلوب می‌گردند. نوع باکتری ماهی به مقدار زیادی به فلور میکروبی محیط بستگی دارد. اگرچه، در صنعت فرآوری ماهی، دو نوع از میکروارگانیسم‌ها نگران‌کننده هستند که عبارتند از: ساپروفیت‌ها و پاتوژن‌ها.

### ۲-۲-۱- ساپروفیت‌ها یا باکتری‌های ایجاد کننده فساد

این ارگانیسم‌ها مسئول ایجاد فساد در ماهی هستند. ارگانیسم‌های مهم عامل فساد در گونه‌های سودوموناس[1]، فلاووباکترها[2]، اسینتوباکترها[3]، ائروموناس[4] و موراکسلا[5] یافت می‌گردند. باکتری‌های عامل فساد براساس توانایی آن‌ها در تولید هیدروژن سولفید، احیای تری‌متیل‌آمین اکسید[6] به تری‌متیل‌آمین[7] و تبدیل اوره به آمونیاک تقسیم‌بندی می‌گردند. ترکیبات گوگردی فرّار بسیاری توسط *سودوموناس* تولید می‌شوند. اندازه‌گیری کمی این ترکیبات نشان‌دهنده درجه فساد است. زمانی که سطح باکتری به بالای $10^7$ ارگانیسم در گرم (CFU/gr) برسد گوشت ماهی شروع به فساد قابل رؤیت با تشکیل کلنی می‌نماید.

گوشت کیفیت پخت خود نظیر آبدار بودن، بافت مستحکم و غیره را از دست می‌دهد و آن را به یک محصول که نرم بوده، رنگ پریده و بی‌طعم است، تغییر می‌دهد. تغییرات عمده که توسط میکروارگانیسم‌های ماهی موجب تنزل کیفیت می‌گردند عبارتند از:

1- Pseudomonas
2- Flavobacter
3- Acinetobacter
4- Aeromonas
5- Moraxella
6- Trimethylamine -N-oxide (TMAO)
7- Trimethylamine(TMA)

### ۲-۲-۱-۱- تولید آمونیاک

ارگانیسم‌های فساد ترکیبات نیتروژنی را به بازهای فرّار بدون بو تبدیل می‌نمایند. ترکیبات غیرپروتئینی حاضر در ماهی سوبسترا خوب برای ارگانیسم‌های عامل فساد هستند. آمینو اسید آزاد در ماهیچه ماهی به راحتی توسط ارگانیسم‌های فساد معمولی توسط فرآیند دآمیناسیون به کار گرفته می‌شود. این موضوع موجب تشکیل آمونیاک می‌گردد که ترکیب اولیه تولید شده در طول تجزیه ماهی تازه است. آمونیاک، ترکیب عمده نیتروژنی فرّار کل است که اغلب به عنوان یک شاخص کیفیت برای ماهی تازه استفاده می‌شود. اوره‌ای که در نرم آبشش‌داران نظیر: کوسه‌ها وجود دارد توسط فعالیت باکتری‌ها به آمونیاک تجزیه می‌گردد. بنابراین، سطح بالای آمونیاک در این گونه‌ها نیز نشانگر فساد می‌باشد.

### ۲-۲-۱-۲- شکل‌گیری تری‌متیل‌آمین

ماهی دریایی از طریق حضور ترکیب بدون بو به نام تری‌متیل‌آمین اکسید قابل تشخیص است. ماهی مسطح دریا و ماهیان استخوانی شامل مقادیر کمی از این ترکیب هستند (۰/۵-۰/۱ ٪) در حالی که نرم آبشش‌داران حاوی سطوح بسیار بالایی هستند (۱/۵-۱ ٪). باکتری‌های عامل فساد، این ماده را به تری‌متیل‌آمین بدبو تبدیل می‌نمایند. تری‌متیل‌آمین در ماهیچه ماهی، ابتدا به آهستگی و سپس با سرعت بالاتری در ماهی نگهداری شده در محیط تولید می‌گردد.

### ۲-۲-۱-۳- تشکیل هیستامین

فساد میکروبی ماهی مواد سمّی نظیر هیستامین در ماهی‌های خاصی تولید می‌نماید. مسمومیت هیستامین یا مسمومیت ماهی اسکومبروئید در بسیاری از کشورها متداول است. ماهی‌های اسکومبروئید[8] و دیگر ماهی‌های تیره حاوی سطوح بالایی از آمینواسید آزاد نظیر هیستیدین[9] در ماهیچه خودشان هستند.

8- Scombridae
9- Histidine

در طول فساد، هیستیدین توسط باکتری‌ها به هیستامین تبدیل می‌شوند. بیش از ۵۰ نوع ماهی شامل گونه‌های محبوب نظیر: تن[1]، بونیتو[2]، ماکرل[3]، ماهی آبی[4]، ماهی گیش‌ماهیان[6]، شاه‌ماهی[7]، ساردین[8] و ماهی کولی[9] نشان داده شده است که قابلیت تهدید مسمومیت هیستامینی را دارا هستند. تولید هیستامین با افزایش دما در مراحل مختلف فرآوری و نگهداری ماهی افزایش می‌یابد و دمای بهینه برای فعالیت میکروبی ۳۷ درجه سلسیوس می‌باشد.

*مورگانلامورگانی*[10]، *کلبسیلا پنومونیا*[11] و هافنیا آلوئی[12] ارگانیسم‌های اصلی فساد تولیدکننده هیستامین هستند. دمای پایین نگهداری بلافاصله بعد از صید، تولید هیستامین را کاهش می‌دهد [۲].

**۲-۲-۱-٤- تولید ایندول**

تبدیل تریپتوفان[13] به ایندول نتیجه دیگری از تجزیه و تخریب آمینواسید توسط باکتری‌ها است. سازمان کشاورزی و خواروبار از سطح ایندول به همراه ارزیابی حسی برای اندازه‌گیری تجزیه میگو استفاده می‌نماید.

**۲-۲-۱-۵- ترکیبات دیگر شکل گرفته طی فساد باکتریایی**

تعداد دیگری از مواد در ماهی نظیر آمینواسیدهای آزاد، قندها، پپتیدها، کراتین، به علاوه لیپید و پروتئین‌ها برای فعالیت باکتریایی در دسترس هستند. آزمون شیمیایی فساد ماهیچه ماهی نشان داده است که ترکیبات گوگردی فرّار نظیر هیدروژن سولفید، دی‌متیل سولفید و متیل‌مرکاپتان[14] مهم‌ترین ترکیبات حسی هستند. استر اسیدهای چرب نظیر اسیدهای استیک، پروپیونیک[15]، بوتیریک[16] و هگزانوئیک[17] نیز تولید می‌شوند. ترکیبات گوگردی فعال روی خصوصیات ارگانولپتیکی به ویژه بو در ماهی در حال فساد تأثیر می‌گذارد. برخی از باکتری‌های از نوع پروتئولیتیک[18] هستند و بدون شک از عوامل ایجاد بوی آمونیاکی هستند که از شکستن پروتئین ایجاد می‌گردد(جدول ۱).

**۲-۲-۲- باکتری‌های پاتوژن**

باکتری‌های پاتوژن در غذاهای دریایی شامل دو نوع می‌باشند:

**۲-۲-۲-۱- باکتری‌های ذاتی (طبیعی)**

این دسته به طور گسترده در محیط آبی توزیع شده‌اند. این پاتوژن‌ها در تعداد کم وجود دارند و مشکل جدّی در فساد ماهی تازه ایجاد نمی‌نمایند. لیکن رشد و تکثیر آن‌ها در غذای دریایی مسئله جدی است و می‌تواند موجب بیماری گردد. از این دسته می‌توان به *کلستریدیوم بوتولینوم*[19]، گونه ویبریو[20]، گونه *آئرومونا‌س*[21] اشاره نمود.

**۲-۲-۲-۲- باکتری‌های غیربومی (غیرطبیعی)**

وجود آن‌ها در غذای دریایی به عنوان آلودگی تلقی می‌گردد. منبع آن‌ها محیط آبی آلوده، فاضلاب شهری، فضولات حیوانات، نسل بشر، کارگران، به علاوه سطح و محیطی که غذای دریایی فرآیند می‌گردد، می‌باشند (جدول ۲) [۳].

نظیر گونه سالمونلا[22]، شیگلا[23]، ای.کلای[24] و *استافیلوکوکوس اورئوس*[25]

1- Tuna
2- Bonito
3- Mackerel
4- Blue Fish
5- Dolphin Fish (Mahi mahi)
6- Carangids
7- Herring
8- Sardine
9- Anchovies
10- Morganella Morganii
11- Klebsiella Pneumoniae
12- Hafnia Alvei
13- *Tryptophan*
*14- Methyl Mercaptan*

15- *Propionic*
16- *Butyric*
17- Hexanoic
18- Proteolytic
19- Clostridium Botulinum
20- Vibrio sp.
21- Aeromonas sp.
22- Salmonella sp.
23- Shigella sp.
24- Escherichia Coli
25- Staphylococcus Aureus

**جدول ۱- سوبسترا و ترکیبات حاصل از میکروارگانیسم‌های عامل فساد در ماهی**

| سوبسترا | ترکیباتی که بر اثر فعالیت باکتریایی تولید می‌شوند. |
|---|---|
| اینوزین | هیپوگزانتین |
| کربوهیدرات و لاکتات | استیک اسید، کربن دی‌اکسید و آب |
| متیونین و سیستئین | هیدروژن سولفید، متان‌تیول و اتان‌تیول |
| تریپتوفان | ایندول |
| گلیسین<br>لوسین و سرین | استر اسیدهای استیک، پروپیونیک، بوتیریک و هگزانوئیک |
| تری‌متیل‌آمین اکسید | تری‌متیل‌آمین |
| اوره | آمونیاک |
| لیپیدها | کربونیل‌ها |
| پروتئین‌ها | تیروزین، ایندول، اسکاتول، پوتریسین، کادآورین |
| هیستیدین | هیستامین |

**جدول ۲- آمینواسیدها و آمین‌های بیوژن شکل گرفته توسط تجزیه باکتریایی**

| آمینواسید | آمین بیوژن | واکنش |
|---|---|---|
| هیستامین | هیستیدین | دکربوکسیلاسیون |
| تیروزین | تیرآمین | دکربوکسیلاسیون |
| لیزین | کادآورین | دکربوکسیلاسیون |
| آرژنین | آگماتین | دکربوکسیلاسیون |
| ال-فنیل-آلانین | بتا-فنیل‌اتیل-آمین | دکربوکسیلاسیون |
| اورنیتین | پوتریسین | دکربوکسیلاسیون |
| | اسپرمیدین | سنتز اسپرمیدین |
| | اسپرمین | سنتز اسپرمین |

**۲-۳- فساد شیمیایی (اکسیداسیون لیپیدهای ماهی)**

لیپید موجود در بدن ماهی با سطح بالایی از اسیدهای چرب چندغیراشباعی و بنابراین قابلیت تغییرات اکسیداتیو مشخص می‌گردد. به ویژه در ماهی چرب، اکسیداسیون چربی موجب افزایش مشکلاتی نظیر طعم و بوی تند شدن به علاوه بی‌رنگ شدن می‌گردد. اکسیداسیون لیپید توسط دو فرآیند رخ می‌دهد

**۲-۳-۱- اتواکسیداسیون:** تأثیر اکسیژن بر روی اسیدهای چرب غیراشباع

**۲-۳-۲- هیدرولیز لیپید:** یک هیدرولیز آنزیمی با اسیدهای چرب آزاد.

تند شدن اکسایشی نگرانی بزرگ در نگهداری ماهی چرب است. در گونه‌های دریایی نظیر ساردین، ماکرل[1] و هرینگ، طی فساد مشاهده می‌گردد. در ابتدا، هیدروپراکسید شکل می‌گیرد که بعدا به آلدئیدها و کتون‌ها که به طور معمول طعم تندی را ایجاد می‌کنند، تجزیه می‌گردد. شروع و تسریع اکسیداسیون توسط حرارت، نور (اشعه فرابنفش)، حضور برخی ترکیبات معدنی (نظیر مس و آهن)، محتوای رطوبت، سطح زیاد، حضور هوا و غیره صورت می‌گیرد. ضد اکسیدان‌هایی نظیر آلفا - توکوفرول[2]، *آسکوربیک اسید*[3]، سیتریک اسید یا *کاروتنوئیدها*[4] می‌توانند اکسیداسیون را مهار نمایند.

1- Mackerel
2- Alpha-Tocopherol
3- Ascorbic Acid
4- Carotenoid

## ۳- شاخص‌های مؤثر بر فساد

فساد در ماهی بسته به گونه‌های ماهی، شرایط بهداشتی، روش‌های رسیدگی و نگهداری با سرعت‌های مختلفی اتّفاق می‌افتد. سرعت فساد به طور عمده وابسته به دما است. افزایش دما از صفر تا ۵ درجه سانتی‌گراد سرعت فساد را در بسیاری از گونه‌های ماهی دو برابر می‌نماید. بنابراین، سرد نمودن ماهی بلافاصله بعد از صید (سرد نمودن سریع)، بررسی دقیق، برش و بهداشت خوب نگهداری سرعت فساد را به تعویق خواهد انداخت.

آزمایش‌ها و روش‌های مختلفی جهت تشخیص ماهی سالم از فاسد به کار برده می‌شود که معمول‌ترین آن‌ها بررسی حسی و ظاهری ماهی از نظر ارگانولپتیکی، انجام آزمایش‌های شیمیایی و میکروبی می‌باشند.

## ٤- بسته‌بندی هوشمند

اغلب غذاهای بسته‌بندی شده تنها توسط یک تاریخ معین عرضه می‌شوند. این تاریخ‌ها بستگی به این دارد که محصول در دمای مناسبی در هر مرحله از فرآیند توزیع نگهداری شده باشد. به همین دلیل، برای موادغذایی با فسادپذیری بالا نظیر ماهی، گوشت، شیر و غیره یک خطر قطعی وجود دارد که ممکن است محصول به هنگام عرضه به مشتری فاسد شده باشد هرچند که ظاهری مناسب داشته باشد و از نظر تاریخ انقضا مشکلی نداشته باشد، نتیجه این خواهد بود که ایجاد نگرانی برای سلامت عمومی نموده و به شهرت و اعتبار تأمین‌کنندگان آسیب بزند.

روش‌های فراوانی برای آنالیز فاز گازی داخل بسته وجود دارد، از روش‌های با هزینه و عملکرد بالا نظیر GC-MS[1]، بینی‌های الکترونیکی و آشکارسازهای با حالت جامد تا حس‌گرهای بسیار ساده و ارزان قیمت، نظیر رنگ‌های فعال شیمیایی تثبیت شده[2] در پلیمر یا شبکه‌های سل-ژل.

نوع رنگ ترکیب شده در داخل حس‌گر بستگی به طبیعت فرآیند فساد ماده غذایی دارد. در رابطه با ماهی سفید بسته‌بندی شده، تعدادی از ترکیبات فرار به ویژه آمین‌های فرار نظیر: آمونیاک، دی‌متیل‌آمین و تری‌متیل‌آمین به عنوان ترکیبات حاصل از فساد آزاد می‌شوند. به دلیل آزاد شدن این ترکیبات، فضای فوقانی بسته‌بندی به شدت قلیایی می‌گردد. این تغییر در pH می‌تواند توسط نشان‌گر رنگی مناسبی نشان داده شود. بسته‌بندی هوشمند یک سیستم حاوی نشان‌گر در داخل یا بیرون بسته است که اطّلاعاتی را در رابطه با بسته‌بندی و غذا فراهم می‌نماید [٤].

بسته‌بندی هوشمند به دو روش مورد استفاده قرار می‌گیرد، اندازه‌گیری شرایط خارج از بسته و اندازه‌گیری کیفیت غذای داخل بسته‌بندی [٥].

ابزارهای بسته‌بندی هوشمند می‌توانند به اندازه‌گیری و گزارش تغییرات در اتمسفر بسته‌بندی بپردازند. آن‌ها همچنین می‌توانند دما را طی انتقال و نگهداری محصولات بسته‌بندی شده اندازه‌گیری نمایند. نشان‌گرها باید به راحتی فعال شوند و تغییرات برگشت‌ناپذیر را نشان دهند.

برخی نشان‌گرهایی که در بسته‌بندی غذای دریایی قرار داده شده‌اند، برای هشدار مصرف‌کنندگان به تغییرات شیمیایی اتّفاق افتاده در داخل محصول طراحی شده‌اند. افزودن این نشان‌گرها به غذای دریایی بسته‌بندی شده به بازرسان جهت تصمیم‌گیری در رابطه با تازگی ماهی کمک می‌نمایند و این موضوع موجب می‌گردد تا بازرسی به صورت مؤثرتری انجام گیرد.

بخش مرکزی بسته‌بندی هوشمند، نشانگرها و حسگرها هستند که وظیفه تخمین و بیان کیفیت غذا را بر عهده دارند. برای مصرف‌کنندگان، بسته‌بندی هوشمند فراهم کننده یک تجربه مصرف سالم‌تر، راحت‌تر و دلپذیرتر است. برای تامین کنندگان و فروشنده‌ها، بسته-بندی هوشمند قادر به کاهش هزینه، بهبود ارزش محصول و افزایش سود می‌باشد [٦].

1- Gas Chromatography–Mass Spectrometry
2- Immobilized

فنّاوری‌های بسته‌بندی هوشمند معمولاً به سه دسته تقسیم می‌شوند: نشانگرها، حسگرها و تراشه‌های RFID[1]. نتایج مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که بسته‌بندی‌های هوشمند نشان‌دهنده تازگی نیز می‌توانند به این سه دسته تقسیم شوند.

### ٤-١- نشان‌گرها

عموماً، یک نشانگر می‌تواند به عنوان یک جسم با خصوصیات ویژه تعریف می‌شود و تغییر رنگ آن می‌تواند تغییر در یک خاصیت شیمیایی در محصول غذایی و حد آن تغییر را نشان دهد. نشانگرها اساساً به نشان‌گرهای زمان- دما و نشان‌گرهای تازگی طبقه‌بندی شوند.

یک نشانگر تازگی می‌تواند درجه تغییر کیفیت محصول را که توسط میکروارگانیسم‌ها و آنزیم‌ها در غذا ایجاد شده را نشان دهد. واکنش متابولیت‌ها یا مواد شیمیایی میکروارگانیسم‌های محصولات ماهی با نشانگرهای بسته‌بندی، اطّلاعات بصری در رابطه با کیفیت محصولات ماهی فراهم می‌نماید. در حال حاضر، بیش‌ترین نشانگرهای تازگی برای محصولات ماهی براساس تغییر یک رنگ حساس به pH در نشانگر است که با TVB-N[2] موجود در فضای بالای بسته‌بندی محصول واکنش می‌دهد. ساختن نشانگر ساده است، استفاده از آن آسان بوده، و پتانسیل بالایی در توسعه یافتن دارد.

#### ٤-١-١- مکانیسم نشان‌گر

معمولاً، نشانگرهای بصری حساس به pH شامل دو جزء مهم می‌باشند، تکیه‌گاه‌های جامد و رنگ‌های حساس به تغییرات pH [٧].

روش رنگ‌سنجی غیرتهاجمی می‌تواند به سرعت و با حساسیت بالا، ترکیبات مربوط به فساد ماهی را تشخیص دهد. اصل واکنش براساس افزایش pH در هوا و فضای داخل بسته‌بندی است که ناشی از رهاسازی آمین فرّار در ماهی است، که موجب تغییر شیمیایی رنگ حساس به pH و بنابراین تغییر در رنگ می‌گردد. مصرف‌کنندگان و فروشندگان به سرعت و به صورت غیرمخرب از طریق تغییر رنگ مرئی نشانگر در بسته‌بندی قادر به تشخیص تازگی ماهی با چشم غیرمسلح می‌باشند. بنابراین، این روش چشم‌انداز و آینده وسیعی در بازار دارد.

#### ٤-١-٢- نشان‌گرهای تازگی

یک شناساگر ایده‌آل جهت کنترل محصولات غذایی بسته‌بندی شده باید به فساد یا عدم تازگی محصول، به علاوه شرایط نامناسب دمایی یا نشت بسته‌بندی اشاره نماید. اطّلاعات به دست آمده از طریق سیستم‌های بسته-بندی هوشمند در مورد کیفیت محصولات غذایی ممکن است به هر دو روش غیرمستقیم(به عنوان مثال انحراف از دمای نگهداری و تغییرات در غلظت اکسیژن/دی‌اکسید کربن می‌توانند اشاره به کاهش کیفیت داشته باشند) و مستقیم باشد. این نشانگرهای تازگی براساس ردیابی متابولیت‌های فرار تولید شده نظیر کربن دی‌اکسید، دی‌استیل، آمین‌ها، آمونیاک و هیدروژن سولفید عمل می‌نمایند. نشانگرهای تازگی اطّلاعاتی از کیفیت فرآورده را به طور مستقیم فراهم می‌سازند که از رشد میکروبی یا تغییرات شیمیایی در داخل محصول غذایی ناشی می‌گردد.

کیفیت میکروبیولوژیکی می‌تواند از طریق واکنش‌های بین نشانگرهای که داخل بسته‌بندی قرار دارند و متابولیت‌های رشد میکروبی تعیین گردد. تشخیص شیمیایی فساد ماهی و تغییرات شیمیایی در ماهی در طول نگهداری پایه و اساس چیزی است که نشانگرهای تازگی ممکن است براساس متابولیت‌های هدف توسعه یابند.

#### ٤-١-٣- نشان‌گر رنگ‌سنجی شیمیایی سنتزی

نشان‌گرهای شیمیای سنتزی استفاده شده برای نشان دادن تازگی ماهی مزایای بسیاری دارند، نظیر حساسیت به تغییرات pH، قیمت پایین، خصوصیات شیمیایی پایدار، سمیت کم، تولید صنعتی و غیره. این نشانگرها موضوع

1- Fourier-Transform Infrared Spectroscopy
2- Total Volatile Basic Nitrogen

اصلی پژوهش در نشانگرهای اولیه بسته‌بندی هوشمند بوده‌اند.

پاکوویت و همکارانش (۲۰۰۷) بروموکرزول سبز[1] را در داخل فیلم پلی‌اتیلن گلیکول ترفتالات[2] قرار دادند. آن‌ها فیلم آبگریز را به عنوان فیلم نشانگر رنگ سنجی براساس pH اضافه کردند. تغییر در رنگ نشانگر از زرد به آبی نشان داد که نمونه ماهی فاسد شده است [۸].

چان، کیم و شین (۲۰۱٤)، یک نشانگر تازگی ساده و کم هزینه حساس به pH با قابلیت تغییر رنگ تولید نمودند که به منظور تشخیص تغییرات در محتوای TVB-N و تری‌متیل-آمین در نمونه‌های ماهی مورد استفاده قرار گرفت [۹].

کوسوندی و همکاران (۲۰۱۲) یک نشانگر تازگی بر پایه پلی‌آنیلین[3] ساختند که یک تغییر رنگ مشخص (از آبی به سبز) در نمایش تازگی شیرماهی[4] نشان داد [۱۰].

به طور مشابه، وانگ و همکاران (۲۰۱۸) یک نشانگر رنگ‌سنجی تجدیدپذیر بر پایه پلی‌آنیلین برای نمایش تازگی نمونه‌های ماهی تولید نمودند. این نشانگر، یک نشانگر خوب برای نشان دادن تازگی ماهی تیلاپیا[5] بود [۱۱].

مو و همکاران (۲۰۱۷) بروموکروزول[6] سبز را در فیلم آلومینیومی آندی متخلخل (با مزایای سطحی ویژه بزرگ و تخلخل منظم بالا) برای درست کردن یک نشانگر رنگ‌سنجی قرار دادند که به TVB-N آزاد شده طی فساد، با تغییرات رنگی مرئی پاسخ می‌داد. اگرچه این مواد نشانگر همگی ترکیبات شیمیایی هستند، آن‌ها به راحتی به تولید انبوه با مزایای پایداری، هزینه کم، مؤثر و غیرسمّی می‌رسند. در سال‌های اخیر، بسته‌بندی‌های هوشمند با نشانگرهای رنگ‌سنجی سنتزی در نمایش تازگی ماهی استفاده شده‌اند.

1- Bromocresol Green(BCG)
2- Polyethylene Terephthalate(PET)
3- Polyaniline(PANI)
4- Milk Fish
5- *Tilapia*
6- *Bromocresol*

**٤-۱-٤- نشانگر رنگ‌سنجی طبیعی**

اخیراً، مشخص شده است که مواد شیمیایی سنتزی برای بسته‌بندی مواد غذایی مناسب نیستند که ناشی از سمیت و خطرآفرینی احتمالی آن‌ها است. بنابراین، در سال‌های اخیر، پژوهش‌ها بر روی رنگ‌های طبیعی با قابلیت حس pH، نظیر آنتوسیانین‌ها و کورکومین[7] متمرکز شده‌اند، که مزایایی نظیر غیرسمّی بودن و زیست تخریب‌پذیری دارند. اگرچه، زمانی که کورکومین به عنوان یک نشانگر استفاده می‌شود، تغییر رنگ آن از زرد به نارنجی واضح نیست، بنابراین، تشخیص و قضاوت تازگی محصول مشکل است [۱۲].

بنابراین، تمرکز پژوهش‌ها بر روی آنتوسیانین‌های استخراج شده از میوه‌ها و سبزیجات طبیعی به عنوان منبع رنگ‌های حساس به pH می‌باشد. آنتوسیانین‌ها رنگدانه‌های طبیعی محلول در آب هستند که به طور گسترده در گیاهان یافت می‌شوند. آن‌ها تغییرات رنگی مختلفی را تحت شرایط اسیدی و بازی ایجاد می‌نمایند که ناشی از تغییرات در ساختار آن‌ها می‌باشد. از آنجایی‌که آنتوسیانین‌ها به طور گسترده وجود دارند، غیرسمّی و زیست تخریب‌پذیر هستند، از آن‌ها به عنوان نشانگرهای تازگی در بسته‌بندی هوشمند بسیاری از غذاها استفاده شده است.

ژانگ و همکاران (۲۰۱٤)، یک فیلم با عملکرد نشانگر رنگ‌سنجی ساختند. فیلم اساساً از آنتوسیانین استخراج شده از نوعی گل(بهیمه[8]) ساخته شده بود. فیلم نشانگر با قابلیت رنگ‌سنجی یک تغییر رنگ بنفش- سبز قابل توجّهی را به دلیل آزاد شدن TVB-N از نمونه ماهی در طول نگهداری به نمایش گذاشت [۱۳].

ژائی و همکاران (۲۰۱۷) یک فیلم نشانگر رنگ‌سنجی جدید از طریق اتصالات عرضی آنتوسیانین چای ترش[9] با شبکه نشاسته-پلی‌وینیل‌الکل تولید نمودند. زمانی‌که کپور

7- *Curcumin*
8- Bauhinia
9- Roselle

نقره‌ای[1] فاسد شد، رنگ طبیعی آنتوسیانین از بنفش به زرد تغییر نمود [۱٤].

ما و همکاران (۲۰۱۸) دریافتند که فیلم هوشمند تهیه شده از افزودن عصاره توت قرمز[2] به پلی‌وینیل‌الکل و نانوذرّات کیتوزان در فرآیند فساد نمونه ماهی توانست از قرمز به سبز تغییر رنگ دهد [۱۵].

سیلوا-پریرا و همکاران (۲۰۱۵) یک نشان‌گر رنگ‌سنجی حساس به pH با عصاره کلم قرمز، نشاسته ذرّت و کیتوزان تهیه نمودند که اثر نشان‌گری خوبی داشت و تغییرات رنگی قابل توجّهی برای تازگی ماهی داشت. نتایج نشان دادند که فیلم زمانی‌که نمونه ماهی در مراحل ابتدایی فساد قرار داشت، رنگ سبز آبی و زمانی‌که کاملاً نمونه ماهی فاسد شد رنگ زرد را از خود نشان داد [۱٦].

همچنین یک فیلم مشابه از ماتریس پکتین حاوی عصاره کلم قرمز به عنوان یک نشان‌گر رنگ‌سنجی تهیه شد [۱۷].

چن و همکاران (۲۰۱۸) کاربرد موفّقیّت آمیز یک نشان‌گر رنگ‌سنجی تازه براساس انکپسوله‌های حاوی عصاره کلم قرمز بر پایه آلژینات برای نمایش فساد قزل‌آلای رنگین کمانی را گزارش نمودند. نتایج نشان داد که برچسب نشان‌گر به خوبی توانست کیفیت نمونه‌های ماهی نظیر تازگی (قرمز)، تازگی متوسط (زرد)، و فاسد (سبز) را نشان دهد [۱۸].

آردیانسیاه و همکاران (۲۰۱۸) یک نشان‌گر تازگی حاوی شبکه گلوکز مانیتول و پلی‌وینیل الکل و عصاره بتا آنتوسیانین حاصل از پوست میوه اژدها[3] ساختند. زمانی‌که رنگ نشان‌گر از بنفش به زرد تغییر نمود، نشان دهنده این بود که نمونه‌های ماهی از حالت تازه به حالت فاسد تغییر نموده‌اند [۱۹].

هوآنگ و همکاران (۲۰۱۹) یک نشان‌گر تازگی جدید با استفاده از عصاره ریشه نوعی گل[4]حاوی آنتوسیانین و آگار به عنوان مواد اولیه تولید نمودند. نتایج حاکی از آن بود که نشانگر یک بی‌رنگی واضح در طول تغییر (فساد) ماهی نشان داد. تغییر رنگ برچسب براساس تغییرات محتوای TVB-N در نمونه‌های ماهی بود [۲۰].

## ۵- نتیجه‌گیری

استفاده از بسته‌بندی‌های هوشمند با قابلیت نشان دادن تازگی، با توجّه به این مسئله که ماهی و به طور کلی غذاهای دریایی جزء غذاهای با فسادپذیری بالاست و شرایط نگهداری در ایجاد فساد آن‌ها بسیار مؤثر است، می‌تواند روشی بسیار مؤثر در جهت کاهش ضایعات این صنعت باشد. این نشان‌گرها به واسطه تغییر رنگی که در ظاهر آن‌ها ایجاد می‌گردد به راحتی قادر به نشان دادن کیفیت محصول موجود در بسته‌بندی هستند.

## ۶- منابع


1. Ashie, I. N. A., Smith, J. P., Simpson, B. K., & Haard, N. F. (1996). **"Spoilage and shelf-life extension of fresh fish and shellfish,"** Critical Reviews in Food Science & Nutrition, 36(1-2), 87-121.
2. Emborg, J., Laursen, B. G., & Dalgaard, P. (2005). **"Significant histamine formation in tuna (Thunnus albacares) at 2 C—effect of vacuum-and modified atmosphere-packaging on psychrotolerant bacteria,"** International journal of food microbiology, 101(3), 263-279.
3. Ghaly, A. E., Dave, D., Budge, S., & Brooks, M. S. (2010). **"Fish spoilage mechanisms and preservation techniques,"** American journal of applied sciences, 7(7), 859.
4. Lakshmanan, P. T. (2000). **"Fish spoilage and quality assessment,"** Indian Council of Agricultural Research, 26-40.
5. Gomes, C., Castell-Perez, M. E., Chimbombi, E., Barros, F., Sun, D., Liu, J., ... & Wright, A. O.


1- Silver Carb
2- Mulberry
3- Dragon Fruits
4- *Arnebia Sinesis*

(2009). **"Effect of oxygen-absorbing packaging on the shelf life of a liquid-based component of military operational rations,"** Journal of food science, 74(4), E167-E176.

6. Pacquit, A., Frisby, J., Diamond, D., Lau, K. T., Farrell, A., Quilty, B., & Diamond, D. (2007). **"Development of a smart packaging for the monitoring of fish spoilage,"** Food chemistry, 102(2), 466-470.

7. Golasz, L. B., Silva, J. D., & Silva, S. B. D. (2013). **"Film with anthocyanins as an indicator of chilled pork deterioration,"** Food Science and Technology, 33, 155-162.

8. Pacquit, A., Lau, K. T., & Diamond, D. (2005, June). **"Smart packaging for the monitoring of fish freshness,"** In Opto-Ireland 2005: Optical Sensing and Spectroscopy (Vol. 5826, pp. 545-550). International Society for Optics and Photonics.

9. Chun, H. N., Kim, B., & Shin, H. S. (2014). **"Evaluation of a freshness indicator for quality of fish products during storage,"** Food science and biotechnology, 23(5), 1719-1725.

10. Kuswandi, B. (2012). **"Jayus; Restyana, A.; Abdullah, A.; Heng, LY; Ahmad, M. A novel colorimetric food package label for fish spoilage based on polyaniline film,"** Food Control, 25, 184-189.

11. Wang, W., Li, M., Li, H., Liu, X., Guo, T., Zhang, G., & Xiong, Y. (2018). **"A renewable intelligent colorimetric indicator based on polyaniline for detecting freshness of tilapia,"**Packaging Technology and Science, 31(3), 133-140.

12. Mo, R., Quan, Q., Li, T., Yuan, Q., Su, T., Yan, X., ... & Li, C. (2017). **"An intelligent label for freshness of fish based on a porous anodic aluminum membrane and bromocresol green,"**ChemistrySelect, 2(28), 8779-8784.

13. Liu, J., Wang, H., Wang, P., Guo, M., Jiang, S., Li, X., & Jiang, S. (2018). **"Films based on κ-carrageenan incorporated with curcumin for freshness monitoring,"** Food Hydrocolloids, 83, 134-142.

14. Zhang, M., Meng, X., Bhandari, B., Fang, Z., & Chen, H. (2015). **"Recent application of modified atmosphere packaging (MAP) in fresh and fresh-cut foods,"** Food Reviews International, 31(2), 172-193.

15. Zhai, X., Shi, J., Zou, X., Wang, S., Jiang, C., Zhang, J., ... & Holmes, M. (2017). **"Novel colorimetric films based on starch/polyvinyl alcohol incorporated with roselle anthocyanins for fish freshness monitoring,"** Food Hydrocolloids, 69, 308-317.

16. Ma, Q., Liang, T., Cao, L., & Wang, L. (2018). **"Intelligent poly (vinyl alcohol)-chitosan nanoparticles-mulberry extracts films capable of monitoring pH variations,"** International journal of biological macromolecules, 108, 576-584.

17. Silva-Pereira, M. C., Teixeira, J. A., Pereira-Júnior, V. A., & Stefani, R. (2015). **"Chitosan/corn starch blend films with extract from Brassica oleraceae (red cabbage) as a visual indicator of fish deterioration,"** LWT-Food Science and Technology, 61(1), 258-262.

18. Dudnyk, I., Janeček, E. R., Vaucher-Joset, J., & Stellacci, F. (2018). **"Edible sensors for**

**meat and seafood freshness,"** Sensors and Actuators B: Chemical, 259, 1108-1112.

19. Chen, H. Z., Zhang, M., Bhandari, B., & Yang, C. H. (2019). **"Development of a novel colorimetric food package label for monitoring lean pork freshness,"** LWT, 99, 43-49.

20. Apriliyanti, M. W., Wahyono, A., Fatoni, M., Poerwanto, B., & Suryaningsih, W. (2018). **"The Potency of betacyanins extract from a peel of dragon fruits as a source of colourimetric indicator to develop intelligent packaging for fish freshness monitoring,"** E&ES, 207(1), 012038.

## آدرس نویسنده

اصفهان- خمینی شهر- بزرگراه دانشگاه صنعتی اصفهان- دانشگاه صنعتی اصفهان- دانشکده کشاورزی- گروه آموزشی صنایع غذایی- کد پستی: ۸۳۱۱۱-۸٤۱٥٦