غنی‌سازی مواد بسته‌بندی بر پایهٔ زیست پلیمر رژیمی به وسیله عصاره زیست فعال گیاهان

مجتبی آذری آنپار[1*]، ناصر سلطانی تهرانی[2]

تاریخ دریافت مقاله: اسفند ماه۱۳۹۲
تاریخ پذیرش مقاله: دی ماه ۱۳۹۳

چکیده

با توجّه به اهمیت عصاره‌های گیاهی و قرارگیری آن‌ها در لیست GRAS بودن آن‌ها و اختلاط آن‌ها در بسته‌بندی‌هایی از جنس پلیمرهای زیستی رژیمی، اخیراً مورد توجّه قرار گرفته است. پلی‌ساکاریدها(مانند کیتوزان و آلژینات) و پروتئین‌ها(مانند ایزوله پروتئین سویا و آب پنیر، ژلاتین و زئین)، به عنوان بستر پلیمر خوراکی هستند که از آن‌ها برای انتقال انواع عصاره‌های زیست‌فعال شامل: عصاره چای سبز، هسته انگور، زغال اخته و قره قاط استفاده می‌شود. علاوه بر این، اثبات شده که عصاره‌های گیاهی باعث بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی و زیست فعالی بسته‌بندی شده و به این ترتیب می‌توانند کاربردهای کلی آن‌ها اعم از خصوصیات فیزیکی، ظرفیت ضداکسیدانی و فعالیت ضد میکروبی را در مواد غذایی افزایش دهند و به طور خلاصه، شاخص‌های مختلف محصولات نهایی شامل رنگ، بو، مزه و سایر خصوصیات را تعیین نمایند. شاخص‌های اصلی شامل: منشأ عصاره‌ها و بستر زیست‌پلیمر(مثلاً فیلم حاصل از پروتئین یا پلی‌ساکارید که به عنوان بستر برای عصاره‌ها استفاده می‌شود)، ترکیب بسترهای پلیمری، عصاره‌ها و فرآوری مواد تشکیل‌دهنده مورد استفاده می‌باشند. فعل و انفعالات میان بسترهای پلیمری و عصاره‌ها به خوبی شناخته شده‌اند. علاوه بر آن، مشخص شده که پلی‌فنول‌ها به عنوان یکی از ترکیبات کلیدی زیست‌فعال می‌باشند که می‌توانند در پیوندهای هیدروژنی احتمالی که در این فعل و انفعالات نقش بسزایی را ایفا می‌کنند، شرکت نمایند.

واژه‌های کلیدی

زیست‌پلیمر، بسته‌بندی، مواد غذایی، پلی‌فنول[3] و عصاره‌های گیاهی.

۱- مقدمه

مواد غذایی با منشأ گیاهی، طیف وسیعی از میوه‌ها، سبزیجات و حبوبات را شامل می‌شود. این نوع مواد غذایی به دلیل اثرات سلامتی بخشی که در مطالعات اپیدمیولوژی[4] نشان داده‌اند، دستاوردهای قابل توجّه علمی را به دنبال داشته‌اند. طیف گوناگونی از مواد شیمیایی گیاهی[5] موجود در مواد غذایی، مانند فلاونوئیدها[6] و فنول‌ها، از مهم‌ترین ترکیبات زیست فعال[7] محسوب می‌شوند. خواص زیستی[8] مختلفی که این مواد ممکن است دارا باشند شامل: خواص ضدباکتری[9]، ضدقارچی[10]،

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
(* نویسنده مسئول: mojtabaazari80@yahoo.com)
۲- عضو هیئت علمی گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه زابل.
(Nasersoltani@uoz.ac.ir)

3- Polyphenol
4- Epidemiological
5- Phytochemicals
6- Flavonoid
7- Bioactive
8- Biological
9- Antibacterial
10- Antifungal

ضدویروسی[1]، ضد ژنوتوکسی[2]، ضد التهاب[3]، محافظت‌کننده از حملات قلبی[4]، ضد حساسیت[5]، ضدسرطان[6]، ماده نگهدارنده شیمیایی[7]، ضداکسیدان، ضد اسهال، کاهش‌دهنده قند خون[8] (کاهش قند خون) و خواص ضد بیماری دیابتی[9] می‌باشد[۱]. با تولید غذای عملگرای[10] جدید که محتوی مواد شیمیایی گیاهی زیست فعال و عصاره‌های گیاهی هستند، موجب افزایش ایمنی مواد غذایی در جهت ارتقاء سطح سلامت می‌شوند. به منظور استفاده از مواد گیاهی زیست فعال در زمینه‌های[11] مختلف مواد غذایی، برای توسعه روش‌های مؤثر جهت حفظ و ارائه قابلیت‌های عملگرایی و زیست فعالی آن‌ها در طی شرایط تهاجمی از قبیل دست زدن، فرآوری و نگهداری محصول نهایی، نقش تعیین‌کننده‌ای را ایفاء نموده‌اند[۱]. در حال حاضر، یکی از جدیدترین موضوعات، تحقیق روی اختلاط عصاره‌های طبیعی زیست‌فعال[12] درون مواد بر پایه پلیمرهای رژیمی، مانند فیلم‌های بر پایه پروتئین/ نشاسته/ ترکیبات نانوفیبر[13] می‌باشد. در واقع، ثابت شده است که افزودن عصاره‌های گیاهی برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی فیلم‌ها را بهبود داده و به این ترتیب می‌توانند کاربردهای کلی آن‌ها را گسترش دهند.

۲- تأثیر عصاره‌های گیاهی روی خصوصیات فیزیکوشیمیایی زیست‌پلیمرهای رژیمی

محققان به طور موفقیت‌آمیزی از دو نوع زیست پلیمر رژیمی، فیلم‌های بر پایه زیست پلیمر طبیعی، تولید کردند که شامل موارد ذیل می‌باشند:

- پلی‌ساکاریدهایی[14] مانند مشتقات سلولزی، پکتین[15]، آلژینات[16]، کاراگینان[17]، کیتوزان[18]، پولولان[19] و صمغ‌های طبیعی.

- پروتئین‌های مشتق شده از گیاهان مانند: حبوبات، دانه‌ها و غلّاتی مانند سویا، گلوتن آرد[20]، پنبه دانه، برنج، بادام‌زمینی، زئین[21] ذرّت و نخود) و پروتئین مشتق شده از غذاهای حیوانی(گوشت، ماهی، مرغ، تخم مرغ و شیر) از جمله کلاژن[22]، کراتین[23]، سفیده تخم مرغ، کازئین، پروتئین آب پنیر و پروتئین‌های میوفیبریل[24] ماهی).

طبیعت خوراکی و زیست تخریب‌پذیر بودن این زیست‌پلیمرها، قابلیت بالایی را برای استفاده از آن‌ها در سامانه غذایی فراهم می‌سازد. متأسفانه، ممکن است این مواد به طور همزمان باعث تولید فیلم‌هایی با خصوصیات فیزیکوشیمیایی نامطلوب مثل خصوصیات مکانیکی ضعیف و یا خصوصیات بازدارندگی کم در مقابل آب شوند که احتمال کاربرد و امکان استفاده از آن‌ها در بسته‌بندی مواد غذایی خاص را محدود می‌کند[۱]. اخیراً بیشتر مطالعات انجام شده در خصوص زیست پلیمرهای رژیمی بر روی پروتئین‌های گیاهی(به عنوان مثال پروتئین سویا)، پروتئین حیوانی(به عنوان مثال ژلاتین[25] تولید شده

1- Antiviral
2- Antigenotoxic
3- Anti-inflammatory
4- Cardioprotective
5- Anti-genotoxic
6- Anticancer
7- Chemopreventive
8- Hypoglycemic
9- Antidiabetic properties
10- Functional foods
11- Matrix
12- Dietary biopolymers
13- Nano fiber

14- Polysaccharide
15- Pectin
16- Algenat
17- Carraginan
18- Chitosan
19- Pullulan
20- Gluten
21- Zein
22- Collagen
23- Ceratin
24- Myofibrill
25- Gelatin

از ماهی کاتل[1] گونه سپیا فارائونیس[2] و همچنین پلی‌ساکاریدهایی(مانند کربوکسی متیل سلولز(CMC[3]) و کیتوزان) شده است[۱].

۲-۱- خواص مکانیکی فیلم خوراکی حاوی ترکیبات زیست فعال

تغییرات ایجاد شده در خصوصیات مکانیکی فیلم‌ها، مربوط به نوع عصاره‌های گیاهی و زیست‌پلیمرهای مورد استفاده می‌باشند. سیریپاتراوان[4] و هارته[5] (۲۰۱۰) با موفقیت فیلمی بر پایه کیتوزان را با عصاره چای سبز[6] (GTE) (دِاستیله کردن[7] با درجه ۹۵٪) و نرم‌کننده[8] (پلاستیسایزر) گلیسرول[9] تهیه نمودند و گزارش کردند که خواص مکانیکی فیلم‌هایی که تحت تأثیر افزودن GTE در غلظت کم(۵ وزنی - وزنی/۰ – ۰) به دست آمده بودند، معنادار نبود. با این حال، به محض اینکه فیلم کیتوزان با GTE از ۵ تا ۲۰ ٪ ترکیب شد هر دو عامل TS[10] و EAB[11] نسبت به نمونه شاهد به طور قابل توجّهی به ترتیب تا ۱۶٪ و ۱۱٪ افزایش یافتند. این دلیل محکمی است که نشان می‌دهد چگونه عصاره می‌تواند به طور معناداری خواص مکانیکی فیلم‌ها را تغییر دهد[۲].

در تحقیقی مشابه، مشخص شد که وقتی ۱٪ عصاره هسته انگور[12] (GSE) در فیلم حاصل از ایزوله پروتئین سویا[13] (SPI) مخلوط شده، ضخامت، قدرت سوراخ‌شوندگی[14](PS) و TS به ترتیب به طور قابل توجّهی تا ۱۳۵، ۱۱۰ و ۲۲٪ افزایش پیدا کردند؛ اما هیچ تغییر قابل توجّهی در EAB مشاهده نشد.

از آنجایی که محققان دیگر مشاهده کردند که اختلاط عصاره زغال اخته[15] BBE (۰/۵ گرم عصاره الکلی- آبی) با فیلم حاصل از SPI (۵ گرم SPI + ۲ نانو میلی‌لیتر گلیسرول)، EAB آن را در مقایسه با فیلم شاهد(بدون BBE) تا ۵۰ ٪ و اساساً بدون تأثیر روی TS، به طور معناداری کاهش داد. این مطلب نیز جالب بود که در فیلم SPI وقتی ۰/۵٪ عصاره تمشک قرمز غنی از آنتوسیانین[16] (ARRE) [۰/۵ گرم پودر تمشک در ۹۵٪ اتیل الکل/ آب/ ۸۵ ٪ اسید لاکتیک (٪۸۰:۱۹:۱ v/v/v)] درون محلول‌های تشکیل‌دهنده فیلم مخلوط شد، هر دو عامل TS (۵۳٪) و EAB (۴۰٪)، افزایش پیدا کردند[۳].

صرف‌نظر از نوع زیست‌پلیمر، تغییرات ایجاد شده در خواص مکانیکی فیلم‌ها تقریباً با تنوع و ترکیبات شیمیایی عصاره‌های گیاهی مورد استفاده کنترل می‌شود.

در یک مطالعه مقایسه تأثیر افزودن دو نوع عصاره مختلف برگ بومی مورتا[17] (مثل، سولویو بزرگ[18] (SG) و سولویو کوچک[19] (SC) که بر روی نیروی پارگی[20] و تغییر شکل ناشی از سوراخ شدن[21] فیلم حاصل از ژلاتین ماهی تن انجام شد، نتایج نشان داد که در مقایسه با نمونه شاهد، فیلم‌های حاوی SC نیروی پارگی و تشکیل آن را به طور معناداری، به ترتیب تا حدود ۵۳٪ و ۷۴٪ کاهش دادند. این اختلافات را می‌توان به عصارهSC نسبت داد که در مقایسه با عصاره SG حاوی مقدار بالایی از فلاون‌های مریستین[22] و کوئریستین[23] می‌باشند[۵].

1- Cuttlefish
2- Sepia pharaonis
3- Carboxy methyl cellulose
4- Siripatrawan
5- Harte
6- Green tea extract
7- Deacetylation
8- Plasticizer
9- Glycerol
10- Tensile strength
11- Elongation at break
12- Grape seed extract
13- Soy protein isolate

14- Puncture strength
15- Blueberry extract
16- Anthocyanin – rich red raspberry extract
17- Murta ecotypes
18- Soloyo grande
19- Soloyo chico
20- Puncture force
21- Puncture deformation
22- Myrucetin
23- Quercterin

فیلم حاصل از ژلاتین پوست ماهی کاتل[1] با ۱٪ عصاره اتانولی دارچین[2] (CME)، میخک[3](CLE) و رازیانه[4] (SAE)، منجر به افزایش TS آن‌ها به ترتیب تا ۱۹، ۱۹/۱ و ۱۶/۲٪ شد؛ اما EAB فیلم‌های حاصله در مقایسه با فیلم شاهد بدون عصاره گیاهی به ترتیب تا ۳۰، ۲۱، ٪۲۰ کاهش پیدا کرد[۹].

در مطالعه دیگری فیلم‌های با پایه ژلاتینی بر پایه(پوست گاوی و پوست ماهی تن) با عصاره رزماری و پونه(در دو غلظت مختلف) مخلوط شدند. مطلب قابل توجّه این است که در فیلم حاصل از ژلاتین پوست ماهی تن با غلظت بالای عصاره رزماری، به طور معناداری کم‌ترین مقدار تغییر شکل ناشی از پارگی[5] فیلم دیده شد و هر دو عصاره پونه آبی[6] یا رزماری خواص مکانیکی(نیروی پارگی[7] و تغییر شکل ناشی از پارگی) فیلم را تغییر ندادند. محققان بر این باورند که چنین نتایجی، احتمالاً به علت برهم‌کنش‌های زیاد پروتئین-پروتئین[8] موجود در ژلاتین پوست گاوی است که در مقایسه با ژلاتین پوست ماهی تن ممکن است توانایی مداخله برهم‌کنش بین پلی‌فنول‌ها با زنجیره پروتئین را داشته باشد. علاوه بر این، از لحاظ ترکیب فنولی با وزن مولکولی کم، هم عصاره پونه آبی و هم عصاره رزماری خاصیت فنولی کم‌تری را دارا می‌باشند[۱۰ و ۱۱ و ۱۲].

به علاوه منشأ عصاره گیاهی یا زیست‌پلیمر و یا متغیرهای دیگر، ممکن است نقش مهمی را در بهبود خواص مکانیکی فیلم‌های بر پایه زیست‌پلیمر به هنگام افزودن عصاره‌های گیاهی را داشته باشد. این متغیرها شامل مواد افزونی، مانند نرم‌کننده‌ها یا حلال‌های مورد استفاده برای استخراج عصاره گیاهی و همچنین فرآیند تشکیل فیلم، از قبیل اضافه کردن عصاره قبل یا بعد از تیمار حرارتی محلول تشکیل‌دهنده فیلم می‌باشد. علاوه بر این، سوکروز[9] ۲٪ (۰/۱۱ ± ۰/۷۲مگاپاسگال TS، ۳/۱۷ ± ۱۲/۳۵٪ EAB) و فروکتوز[10](۰/۰۹ ± ۰/۹٤ مگاپاسگال TS، ۳/۲۸ ± ۲۵/۵٤٪ EAB) در فیلم پروتئینی با ٤٪ RBP[11] منجر به ایجاد یک اختلاف معناداری در TS و EAB در مقایسه با نمونه شاهد شد[٦]. همچنین مشاهده شده است که حلال عصاره تمشک(اسید لاکتیک به تنهایی) قادر بود به طور معناداری EAB فیلم حاصل از SPI را تا ۳۹٪ افزایش دهد. با این حال، بحث‌ها راجع به اثر متغیرهای دیگر، روی نتیجه پژوهش محدود می‌شود[۳].

۲-۲- خصوصیات بازدارندگی فیلم‌ها

تأثیر عصاره‌های گیاهی بر روی خواص بازدارندگی در برابر آب، اکسیژن و نور فیلم‌های بر پایه زیست پلیمر به شدّت مورد بررسی قرار گرفته است. در طی تحقیقات مختلف، گزارش شده هنگامی که عصاره‌های گیاهی به فیلم‌های زیست پلیمری مختلف افزوده شد کاهش معناداری در خواص بازدارندگی دیده شده است. به عنوان مثال، در فیلم‌های کیتوزانی با افزایش عصاره چای سبز GTE از ۰ تا ۲۰٪ منجر به کاهش ۳۳٪ در WVPC[12] شد[۲]. هنگامی که فیلم تهیه شده از ژلاتین حاصل از پوست ماهی نقره‌ای[13] گونه هیپوفتالم ایچتیس مولیتریکس[14] با عصاره چای سبز اختلاط یافت WVP آن کاهش پیدا نمود[۱۳]. وقتی ۰/۵٪ عصاره تمشک[۰/۵ گرم پودر تمشک در اتیل الکل ۹۵٪ / آب/ اسید لاکتیک ۸۵٪ (۱:۱۹:۸۰%V/V/V)] به محلول‌های تشکیل‌دهنده فیلم افزوده شد، کاهش ۳۳٪ در WVPC فیلم حاوی ۱۰٪ SPI (گلیسرول به عنوان پلاستیسایزر«نرم‌کننده» مشاهده شد. WVP فیلم حاوی

1- Cuttle fish (S. pharaonis)
2- Cinnamon extract
3- Clove extract
4- Star anise extract
5- Breaking deformation
6- Aqueous oregano
7- Breaking force
8- Protein-protein interactions
9- Sucrose
10- Fructose
11- Rice bran protein
12- Water vapor permeability coefficient
13- Silver carp
14- Hypophthalm ichthys molitrix

گلیدیوم کورنیوم[1](GC) و ایزوله پروتئین آب پنیر[2](WPI) (GC- WPI) با افزودن عصاره هسته انگور(GSE) نیز به طور معناداری کاهش پیدا کرد[۹].

همچنین در فیلم حاصل از ژلاتین پوست ماهی کاتل با ۱٪ عصاره اتانولی[3] CME[4]، CLE و SAE در مقایسه با فیلم شاهد بدون افزودن عصاره گیاهی، کاهش WVP (به ترتیب تا ۱۷٪ ، ۱۹٪ و ۱۸٪) دیده شد [١٤]. موارد استثنا نیز در این باره مشاهده شده است، به عنوان مثال افزودن عصاره‌های گیاهی پونه کوهی و رزماری تغییر قابل توجّهی در WVP فیلم‌های ژلاتینی حاصل از پوست ماهی تن و پوست گاو ایجاد نکرد[۱۰، ۱۱، ۱۲].

WVP فیلم‌های حاصل از ٤ درصد پروتئین سبوس برنج(RBP) حاوی RA حتّی با افزودن ۱٪ تا ۳٪ از RA هیچ تغییر قابل توجّهی از خود نشان نداد[٦]. همچنین در فیلم پروتئین حاصل از سبوس جو و ژلاتین[5] (BBG هنگامی که مقدار GSE افزایش یافت میزان WVP نیز افزایش پیدا کرد. دلیل این امر، تعاملات بین مولکولی و تغییر در اندازه منافذ فیلم‌ها می‌باشد[۷].

در موردی دیگر، افزودن بتاسیانین[6] به فیلم‌های کربوکسی متیل سلولز[7](HPMC) افزایش قابل توجّهی در WVP از خود نشان داد که در آن فیلم تهیه شده با ٤ درصد بتاسیانین، بیشترین WVP و کم‌ترین نفوذپذیری به اکسیژن را از خود نشان دادند[۱۵]. مقایسه مطالعات انجام شده، نشان داد که ترکیبات پلی‌فنولی، خواص بازدارندگی نهایی فیلم حاصله را تعیین می‌کند و افزودن عصاره‌های گیاهی در برگ بومی مورتا(یعنی SG و SC) اثرات متفاوتی بر روی WVP فیلم حاصل از ژلاتین پوست ماهی تن ایجاد نمود. SG به طور قابل توجّهی WVP فیلم حاصل از ژلاتین را (تا ۳۲٪) کاهش داد، در حالی که مشابه آنچه که در اثر افزودن SG اتّفاق افتاد، افزودن SC هیچ تأثیری در WVP نداشت. چنین تفاوت‌هایی می‌تواند به علت محتوای فنولی بالایی که SG نسبت به مواردی که حاوی SC دارد، باشد[۸]. علاوه بر این، فیلم‌های بر پایه ژلاتین، در اثر افزودن عصاره SG و SC نیز اثرات مختلفی روی WVP و نفوذپذیری به گاز (GP)[8] فیلم‌های بر پایه CMC مشاهده شد[١٦]. به ویژه افزودن SG به فیلم حاصل از CMC، WVP را تا ۲۰٪ به طور معناداری کاهش داد، به هر حال، SC اثرات قابل توجّهی را روی WVP از خود نشان نداد. آنالیز[9] HPLC/MS نشان داد که عصاره SG نسبت به عصاره SC دارای غلظت بالایی از فلاونول‌ها[10] می‌باشد و به علت قطبیت بیشتر(به عنوان مثال گروه هیدروکسیل) که در عصاره SC می‌باشد، WVP بیشتری می‌تواند داشته باشد[۸ و ١٦]. به غیر از WVP، برخی از خصوصیات مربوط به آب در فیلم‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفته‌اند. حلالیت فیلم‌های حاصل از ژلاتین پوست ماهی کاتل فیش اختلاط یافته با عصاره گل گاو زبان در آب کم‌تر گردید. اثرات پونه کوهی یا رزماری روی حلالیت فیلم‌های ژلاتینی حاصل از پوست گاوی در آب بررسی شدند و مشخص شد که با فیلمی که با همان عصاره ولی از ژلاتین پوست ماهی تن تهیه شده بود، اختلاف دارد. فیلم‌های خوراکی با بهینه خواص نفوذپذیری نسبت به گاز برای کنترل تبادل گازهای تنفسی برخی از مواد غذایی مانند میوه‌ها و سبزیجات می‌تواند بسیار کارآمد باشند. خواص بازدارندگی در برابر گاز در فیلم‌های اختلاط شده با عصاره‌های گیاهی، به‌ویژه آن‌هایی که به CO_2 و O_2 خیلی حساس می‌باشند، باعث شده که مطالعات زیادی بر روی آن‌ها انجام شود. منشأ میوه‌ها و سبزیجات می‌تواند یکی از عوامل تعیین‌کننده نتایج باشد.

1- Gelidium corneum
2- Whey protein isolate
3- Etanol
4- Cinnamon extract
5- Barley bran protein and gelatin
6- Betacyanin
7- Hydroxypropyl methylcellulose
8- Gas permeability
9- Analysis
10- Flavonols

برای مثال SG، نفوذپذیری را به طور معناداری افزایش داد، به‌ویژه نفوذپذیری به CO_2 و O_2 به ترتیب حدود ٦٨٪ و ٤٦٪ شدند. با این حال، SC بدون اینکه اثر قابل توجّهی روی نفوذپذیری CO_2 فیلم‌های بر پایه CMC داشته باشد، به طور معناداری نفوذپذیری به O_2 را تا ٢٧٪ کاهش داد. از طرف دیگر، فیلم‌های بر پایه CMC حاوی عصاره SC با فلاونول‌های بالا(مریستین و کوئرسیتین[1]) نسبت به عصاره SG مورد توجّه می‌باشند[١٦].

مقدار نفوذپذیری نسبت به اکسیژن[2] در فیلم شاهد و فیلم‌های حاوی GSE و کارواکرول در غلظت‌های مختلف(فیلم١ (w/v ٪١/٢٥ غلظتGSE– ppm ٦٨٤ ppm-٩/٦ غلظت کارواکرول[3])، فیلم ٢(w/v ٪١/٢ غلظت GSE و ppm ٤٠٠ -ppm ٦٠ غلظت کارواکرول) و فیلم ٣(w/v ٪١/٢٤ غلظت GSE -١٦٠ppm -ppm ٩٠ غلظت کارواکرول) مورد بررسی قرار گرفت. نفوذپذیری O_2P فیلم‌ها با افزایش غلظت GSE(فیلم ١) و افزایش غلظت کارواکرول (فیلم ٢) افزایش پیدا کرد که احتمالاً به علت تغییرات ریزساختاری ایجاد شده در فیلم می‌باشد. نفوذپذیری نسبت به گاز، وابسته به ساختار بلوری فیلم بوده و به هر حال با افزایش ساختار بلوری فیلم O_2P و CO_2P[4] کاهش می‌یابد. افزودن GTE و کارواکرول در غلظت‌های مختلف در فیلم کیتوزان به طور قابل توجّهی نفوذپذیری نسبت به CO_2P را کاهش داد که دلیل اصلی این کاهش، حلالیت کم CO_2 در GSE و کارواکرول است[١٧].

ترکیبات شیمیایی موجود در عصاره‌های گیاهی و جهت بهبود زیست‌پلیمرهای رژیمی به‌کار می‌روند و می‌توانند موجب عملکردهای مختلفی شوند. اطّلاعات کمی در خصوص اینکه عصاره‌های گیاهی زیست فعال مناسب‌ترین مواد برای بسته‌بندی بر پایه زیست پلیمرها می‌باشند، وجود دارد. در این باره، کدورت فیلم‌ها نیز مورد توجّه قرار گرفته است. از آنجایی که کدورت فیلم‌ها افزایش می‌یابد، خواص بازدارندگی در برابر نور به طور قطعی بهبود می‌یابد[١٦].

٢-٣- خصوصیات حسی فیلم‌ها

خواص حسی، یکی از شاخص‌های کیفی مواد بسته‌بندی بوده و از مهم‌ترین شاخص‌های پذیرش توسط مصرف‌کننده می‌باشد. رنگ می‌تواند به عنوان یک مختصات سه گانه که CIELAB[5] نامیده می‌شود، دارای L*، a* و b* بیان شود که معمولاً یک روش متداول برای رنگ‌سنجی(L* = 0 ، بیانگر سیاهی و L* = 100 بیانگر سفیدی)، حالت بین قرمزی و سبزی(a* مثبت بیانگر قرمزی و a* منفی بیانگر سبزی) و همچنین حالت بین زردی و آبی(b* منفی بیانگر آبی و b* مثبت بیانگر زردی) است که معمولاً نشان می‌دهد افزودن عصاره‌های گیاهی مختلف، رنگ اولیه فیلم‌های بر پایه زیست‌پلیمری را تا حدودی تغییر می‌دهد که شدّت تغییر رنگ، بستگی به غلظت و منشأ عصاره‌های گیاهی دارد. مثلاً افزودن GTE به فیلم‌های کیتوزان، شفافیت آن‌ها را کاهش داده و هنگامی که غلظت‌های مختلفی از GTE اضافه شد(تا ٢٠ درصد)، قرمزی و زردی فیلم‌ها افزایش یافت. در یک مطالعهٔ دیگر، نشان داده شد که b* میان فیلم‌های SPI که هم حاوی GTE بودند و هم بدون GTE، هیچ اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. به هر حال، افزودن عصاره تمشک، مقدار b* فیلم حاوی SPI را افزایش داد. پیشنهاد شده است که اختلافات ایجاد شده در تغییر رنگ، به علت وجود انواع مختلفی از پلی‌فنول‌ها در عصاره‌های مختلف می‌باشد[١].

در فیلم ژلاتینی حاصل از گربه ماهی و فیلم حاصل از سول[6] (که یک نوع گونه ماهی می‌باشد) هنگامی که عصاره گل گاو زبان افزوده شد، مقدار کدورت افزایش

1- Quercterin
2- Oxygen permeability
3- Carvacrol
4- Carbon dioxide permeability

٥- فضارنگ CIELAB را می‌توان به صورت یک فضای سه‌بعدی درنظر گرفت که موقعیت هر رنگ در این فضا، با مختصات رنگی آن یعنی L^*، a^* و b^* مشخص می‌گردد.

6- Sole

یافت. صرف‌نظر از نوع منبع ژلاتین، اضافه کردن عصاره‌های آبی پونه کوهی/ رزماری در مقایسه با فیلم‌های شاهد منجر به افزایش کدورت فیلم شد. از طرف دیگر، تنوع در تغییر کدورت فیلم‌های حاصله نیز به تفاوت ترکیبات پلی‌فنلی در عصاره‌های مختلف و همچنین زیست پلیمرها نسبت داده شده است. انتقال نور مرئی و UV(۲۰۰ – ۸۰۰ نانومتر) از بین فیلم‌های ژلاتینی حاصل از پوست شکم ماهی کاتل با یا بدون هیدرولیز[1] جزئی(۱/۲ درجه هیدرولیز) که با ۱٪ عصاره اتانولی CMC، CLE و SAE مخلوط شده بودند، مورد بررسی قرار گرفت. با افزودن عصاره‌های مختلف، افزایشی در مقدار شفافیت فیلم‌های ژلاتینی ترکیب شده با عصاره‌های گیاهی مشاهده شد[۱٤].

تنوع در انتقال نور و شفافیت، ممکن است به علت رنگدانه‌های خاصی باشد که در این عصاره‌ها وجود دارند[۱۱، ۱۲ و ۱۳]. در موردی دیگر افزودن GTE به فیلم حاصل از ژلاتین پوست ماهی نقره‌ای، باعث بهبود خصوصیات بازدارندگی در مقابل نور شد[۱۳].

در کل، پیگمان‌های[2] فنولی موجود در عصاره‌های گیاهی به احتمال زیاد در رنگ‌های مختلفی که در این فیلم‌ها مشاهده شدند، شرکت دارند.

۲-٤- خصوصیات ضد میکروبی فیلم‌ها

می‌توان با ترکیب عصاره‌های گیاهی(به عنوان مثال عوامل ضد میکروبی) در فیلم‌های خوراکی بر پایه پروتئین و یا نشاسته، بسته‌بندی‌های ضد میکروبی تولید نمود. این موضوع می‌تواند منجر به مهارکنندگی علیه پاتوژن‌ها[3] و میکروارگانیسم‌های[4] عامل فساد در بسته‌بندی مواد غذایی و به دنبال آن افزایش عمر نگهداری[5] و ایمنی آن‌ها شود. اخیراً کامپوس[6] و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که فعالیت‌های ضدمیکروبی فیلم‌های خوراکی، شامل فیلم‌های پروتئین سویا که حاوی ترکیباتی از عصاره هسته انگور یا عصاره چای سبز و نیسین[7] بودند، نشان دادند که می‌تواند مانع از رشد لیستریا مونوسایتوژنس[8] شود[۱۸]. به‌طور مشابه زمانی که GTE به فیلم‌های حاوی SPI افزوده شد، به طور امیدوارکننده‌ای فعالیت ضدمیکروبی علیه استرپتوکوکوس موتانس[9] و استافیلوکوکوس اورئوس[10](پاتوژن غذا) مشاهده شد[٤]. همچنین GSE نه تنها فعالیت‌های ضدمیکروبی در فیلم SPI ایجاد نمود بلکه می‌تواند به عنوان یکی از امیدوارکننده‌ترین عوامل ضدمیکروبی در فیلم‌های بر پایه پلیمرهای دیگر به عنوان مثال فیلم GC-WPI استفاده شود. اختلاط GSE با فیلم‌های GC-WPI ، با افزایش غلظت GSE، بازدارندگی از رشد باکتری‌ها را افزایش داد. مثلاً افزودن ۰/۱ درصد GSE جمعیت اشرشیاکلای[11]، لیستریامونوسایتوژنز، سالمونلا تیفی موریوم[12] را به ترتیب ۱، ۱/٦ و ۰/٦ log CFU/g کاهش داد[٤]. در تولید فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی با خاصیت ضد میکروبی از اسانس‌های روغنی نیز به طور گسترده‌ای استفاده شده است. اسانس‌های روغنی، محلول‌های روغنی هستند که از بخش‌های مختلف گیاهان مثل گل‌ها، جوانه‌ها، بذرها، برگ‌ها، پوست، چوب، میوه و ریشه به دست می‌آیند. ترکیبات عمده اسانس‌های روغنی، ترکیبات فنولی هستند که خاصیت ضد میکروبی داشته و بسیاری از آن‌ها در لیست مواد GRAS قرار می‌گیرند. همچنین سایر ترکیبات جزئی موجود در اسانس‌های روغنی بسیاری از گیاهان وجود دارد. نمونه‌هایی از این گیاهان عبارتند از: میخک، سیر، مریم گلی، پونه کوهی،

1- Hydrolysis
2- Pigman
3- Pathogen
4- Microorganisms
5- Shelf life
6- Cumpus
7- Nisin
8- L. monocytogenes
9- Streptococcus mutans
10- Staphylococcus aureus
11- E. coli O157 :H7
12- S. typhimurium

آویشن، رزماری، دارچین، اکالیپتوس[1]، زردچوبه، خردل و ترب کوهی. فعالیت ضدمیکروبی اسانس‌های روغنی را می‌توان به محتوای مونوتروپن[2] آن‌ها نسبت داد که به علت ویژگی چربی‌دوستی، یکپارچگی در غشاء سیتوپلاسمی[3] باکتری‌ها را از بین برده و نفوذناپذیری آن‌ها به پروتون‌ها[4] و سایر یون‌های بزرگ را محدود می‌سازد. ترکیبات چربی‌دوست بر اساس ضریب تفکیک خود، در ساختارهای دولایه‌ای لیپیدی تجمع پیدا کرده و باعث تخریب ساختار غشاء می‌شوند. برخی از معایب اسانس‌های روغنی، ناپایداری شیمیایی و بیولوژیکی، حلالیت پایین در آب و توزیع ضعیف به سمت مکان‌های هدف است. به طور کلی، سطوح اسانس‌های روغنی و ترکیبات آن‌ها که برای جلوگیری از رشد میکروبی لازم است، در مواد غذایی نسبت به محیط‌های کشت بالاتر است. دلیل این امر، به علت برهم‌کنش‌های بین ترکیبات فنولی و برخی از ترکیبات مواد غذایی مثل پروتئین‌ها و چربی است. همچنین گزارش شده که کربوهیدرات‌ها تأثیری روی عمل بازدارندگی اسانس‌های روغنی در محیط‌های کشت مایع ندارند. بنابراین افزودن اسانس‌های روغنی و ترکیبات روغنی به فرمولاسیون[5] فیلم‌های خوراکی می‌تواند روش جدیدی در بهبود پایداری اسانس‌های روغنی و دسترسی زیستی آن‌ها باشد. همچنین به طور همزمان، فعالیت ضدمیکروبی فیلم‌ها نیز می‌تواند، افزایش یابد. اسانس‌های روغنی گیاهی به طور قابل توجّهی نفوذپذیری به اکسیژن و بخارآب را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد؛ اما به میزان قابل ملاحظه‌ای مدول الاستیک[6] فیلم‌ها را کاهش می‌دهند. در مورد عملکرد برخی از اسانس‌های روغنی در فیلم‌های خوراکی، مطالعه پایداری این ترکیبات دارای اهمیت است[۱۹].

تاکنون اسانس‌های روغنی یا ترکیبات آن‌ها به صورت بسیار گسترده در فرمولاسیون فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی به منظور حفاظت از انواع مختلفی از مواد غذایی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. روغن پونه کوهی به فیلم‌های ضد میکروبی حاصل از ایزوله پروتئین آب پنیر اضافه شد و در نمونه‌های گوشت گاو تازه مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۵- خواص ضداکسیدانی[7] فیلم‌ها

اختلاط عصاره‌های گیاهی(به عنوان عوامل ضداکسیدان) با فیلم‌های خوراکی بر پایه نشاسته یا پروتئین می‌توانند بسته‌بندی‌ای ایجاد کنند که خواص ضداکسیدانی داشته باشد. از چنین بسته‌بندی می‌توان برای مهار کردن و یا کاهش تخریب اکسایش درون مواد غذایی استفاده کرد. به عنوان مثال، مشخص شد وقتی که غلظت GTE در فیلم‌های کیتوزان از ۰ تا ۲۰ درصد افزایش می‌یابد محتوای کل فنول و قدرت مهار رادیکال آزاد فیلم‌های کیتوزان از ۰ تا ۱۵ درصد افزایش پیدا می‌کند[۲]. محققان دیگر گزارش کردند که اختلاط دو نوع عصاره برگ بومی مورتا SG و SC قادر به افزایش ظرفیت ضداکسیدانی فیلم ژلاتینی حاصل از ماهی تن تا ۵ برابر بر پایه آزمون احیاکننده قدرت ضداکسیدان فریک (FRAP)[8] می‌باشد. اضافه کردن عصاره پونه کوهی یا رزماری به طور قابل توجّهی ظرفیت ضداکسیدانی فیلم‌های ژلاتینی حاصل از پوست ماهی تن و پوست گاوی را افزایش داد. فیلم‌های حاصل از ژلاتین پوست گربه ماهی تجاری و سرم گاوی، خواص ضداکسیدانی بالاتری نسبت به فیلم‌های اختلاط یافته با آلفا توکوفرول[9] و بوتیل هیدروکسی تولوئن[10](BHT) داشتند. این موضوع به وسیله فنول کل، آزمون FRAP، آزمون ABTS[11] و فعالیت شلات‌کنندگی آهن(II) نشان داده شد. به طور

1- Eukalyptus
2- Monotropens
3- Cytoplasm
4- Proton
5- Formulation
6- Elastic

7- Anty oxidant
8- Ferric reducing antioxidant power
9- Flpha-tocopherol
10- Butylated hydroxytoluene
11- 2,2-Azino-bis(3-Ethylbenzthiazoline-6-Sulfonic Acid)

کلی، پیشنهاد شده که پلی‌فنول‌ها در این عصاره‌ها به ظرفیت ضداکسیدانی زیست پلیمرها کمک می‌کنند[۸، ۱۰ و ۱۱]. اخیراً در ماهی تراچوروس[1] که با فیلم‌های بر پایه ژلاتین ماهی محتوی عصاره هسته گیاه گاو زبان پوشش داده شده و به مدّت ۲٤۰ روز در دمای ۲۰- درجه سلسیوس نگهداری شد و پس از رفع انجماد[2] به مدّت ٤ روز در دمای ٤ درجه سلسیوس نگهداری و اکسیداسیون لیپید مورد ارزیابی قرار گرفت. با آزمون فیلم‌ها ثابت شد که آن‌ها فعالیت ضداکسیدانی فوق‌العاده‌ای(ارزیابی مقادیر پرواکسید[3]، اسید تیوباربیوتوریک[4] ماده واکنش‌پذیر FRAP) را ایجاد می‌کنند.

به طور کلی، این فیلم‌ها قادر به مهار اکسیداسیون[5] لیپید این نوع ماهی در طی دوره نگهداری به ویژه بعد از رفع انجماد و نگهداری در سرما بودند[۱]. لازم به ذکر است که فعل و انفعالات احتمالی بین گروه‌های شیمیایی اصلی عصاره‌های گیاهی و زیست‌پلیمرها می‌توانند باعث کاهش خواص ضداکسیدانی فیلم‌های بر پایه زیست پلیمر اختلاط یافته با عصاره‌های گیاهی شوند. به منظور بررسی فعالیت ضداکسیدانی محلول‌های تشکیل‌دهنده فیلم، کاهو رومانی[6]، روغن کاهو[7]، و گردوی سفید[8] به عنوان مواد اولیه برای آزمون‌های پراکسیداز[9](POD) و پلی‌فنول اکسیداز[10] (PPO) مورد ارزیابی قرار گرفتند. محلول‌های تشکیل‌دهنده فیلم که مورد آزمون قرار گرفتند، شامل کیتوزان، کربوکسی متیل سلولز و محلول‌های کازئین بودند که با اولئورزین‌های[11] مختلف(زیتون، رزماری، پیاز، فلفل، قره قاط، سیر، اورگام[12] و اورگام + کارواکرول ۵ درصد) تقویت شده بودند. ترکیب کیتوزان با رزماری، زیتون و اولئورزین‌های قره قاط منجر به کاهش POD گردوی سفید شده است. ترکیب کیتوزان با رزماری، زیتون، قره قاط، اورگام و اولئورزین‌های کارواکرول منجر به کاهش فعالیت POD روغن کاهو شد. همه این ترکیبات، منجر به کاهش POD کاهو رومانی شدند. در مورد PPO نیز ترکیب کیتوزان با زیتون، سیر و فلفل دلمه‌ای به طور قابل توجّهی فعالیت PPO روغن و عصاره کاهو را کاهش داد. علاوه بر این، افزودن اولئورزین‌ها به کیتوزان کاهش فعالیت PPO روغن و عصاره کاهو را افزایش داد.

۲-٦- ریزساختار فیلم غنی‌سازی شده

ریزساختار فیلم خوراکی تقریباً به خصوصیات فیزیکوشیمیایی مواد تشکیل‌دهنده آن مربوط می‌شود. میکروسکوپ الکترونی روبشی[13](SEM) اجازه آنالیز ریزساختاری فیلم‌های زیست‌پلیمری را می‌دهد. برای مثال، تصاویر SEM نشان داد که عصاره تمشک افزوده شده به فیلم‌ها موجب تشکیل ریزساختارهایی با فشردگی بالا و سطح عرضی با انعطاف‌پذیری بالا می‌شود که این ریزساختار می‌تواند به علت فعل و انفعالات بین مولکولی عصاره تمشک و SPI باشد و همچنین داده‌های حاصل از طیف مادون قرمز[14] یا (FTIR) نشان داد که TS و EAB افزایش می‌یابد. با این حال، اختلاط عصاره دو برگ بومی به نام‌های SG و SC اثرات متفاوتی روی ریزساختار فیلم ژلاتینی حاصل از ماهی تن به وجود آوردند. فیلم‌های SC فشردگی و سطح نفوذپذیری بالایی داشته در حالی که فیلم‌های SG ساختار گرانولی[15] یکسانی دارند که شبیه نمونه‌های شاهد بدون عصاره بودند. تفاوت‌های کمی و پلی‌فنولی این دو عصاره، احتمالاً بیانگر تفاوت‌های

1- Trachurus trachurus
2- Thawing
3- Prooxide
4- Thiobarbituric
5- Oxidation
6- Romaine lettuce
7- Butter lettuce
8- Butternut
9- Peroxidase assay
10- Polyphenoloxidase assay
11- Oleoresins

12- Oreganum
13- Scanning electron microscopy
14- Fourier transform infrared
15- Granules

ریزساختاری میان فیلم‌های تولید شده با دو عصاره است که مشاهده شد[۳ و ۸].

ریز ساختارهای فیلم‌ها به نرم‌کننده‌های مورد استفاده نیز بستگی دارد. عصاره گوشت میوه قره قاط به فیلم‌های حاوی پکتین افزوده شد و از نرم کننده سوربیتول[1] یا گلیسرول در تهیه فیلم استفاده شد. ساختار سطح مقطع فیلم‌های نرم شده با سوربیتول نسبت به فیلم‌های نرم شده با گلیسرول که ناهموار بودند، به صورت منظم و فشرده است. بنابراین فیلم‌های نرم شده با سوربیتول قدرت کششی بالا و قابلیت طویل شدن تا حد پارگی بیشتری داشتند و نفوذپذیری به بخارآب آن‌ها کم‌تر از فیلم‌های نرم شده با گلیسرول بود. به علاوه، طی نگهداری به مدّت طولانی، به علت مهاجرت گلیسرول در فیلم‌های نرم شده با گلیسرول، ریزساختار آن‌ها ممکن است تغییر یابد در حالی که فیلم‌های نرم‌شده با سوربیتول، ثابت باقی می‌مانند[۱].

۳- فعل و انفعالات میان فنول و زیست پلیمر: مکانیسم بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی

با توجّه به آنچه که در بالا ذکر شد، پیشنهاد شده است که فعل و انفعالات میان ترکیبات پلی‌فنولی عصاره‌های گیاهی و زیست‌پلیمر نقش مهمی در بهبود مواد بر پایه زیست‌پلیمر بازی می‌کنند. این فعل و انفعالات احتمالی معمولاً با استفاده از طیف FTIR و ژل الکتروفورز پلی‌ساکارید دودسیل سدیم سولفات[2] (SDS-PAGE) مشاهده شده است. به‌ویژه، از طیف FTIR جهت مطالعه برهم‌کنش‌های درگیر در پیوندهای هیدروژنی روی تغییرات صورتبندی فیلم‌های پروتئینی استفاده می‌شود و از SDS-PAGE نیز برای نشان دادن فعل وانفعالات بین مولکولی عصاره و مونومرهای زیست‌پلیمر استفاده می‌شود، به عنوان مثال OH و COOH.NH در حضور اجزاء پروتئینی با وزن مولکولی کم، یک افزایش را در پروفایل الکتروفورز زیست‌پلیمرها از خود نشان دادند[۸]. پس از اختلاط عصاره‌های گیاهی، فیلم‌های بر پایه زیست‌پلیمر در مقایسه با نمونه‌های شاهد WVP کمتری داشتند. به صورت واضح مشخص شد که پلی‌فنول‌های عصاره‌های گیاهی می‌توانند هم پیوند هیدروژنی و هم پیوند کووالانسی[3] تشکیل دهند و در نتیجه، گروه‌های اصلی شرکت‌کننده(به عنوان مثال C=O و N-H) ماتریکس[4] زیست پلیمرها را اشغال می‌کنند. این کار می‌تواند تعداد گروه‌های هیدروژنی آزادی که پیوندهای آبدوست با آب را می‌دهند، کاهش دهد. این تعامل غیرکووالانسی میان پلی‌فنول و پروتئین هنگامی مشاهده شد که فعل وانفعالات میان پلی‌فنول‌های کشمش بی‌دانه سیاه و پروتئین‌های گندم وجود داشت[۳ و ۸].

طیف FTIR نشان داد که عصاره تمشک با ایجاد پیوندهای هیدروژنی و بدون تخریب ساختار، منجر به تغییرات ساختاری پروتئین سویا می‌شود. محققان همچنین اشاره کردند که پیوندهای هیدروژنی و کوالانسی بین شبکه کیتوزان و ترکیبات پلی‌فنولی در GTE، قابلیت دسترسی به گروه‌های هیدروژنی را محدود می‌کنند و به دنبال آن منجر به کاهش تمایل به آب در فیلم کیتوزان می‌شوند. علاوه بر این، به خوبی مشخص شده است که پیوندهای هیدروژنی که در اتصالات شرکت می‌کنند، بین ترکیبات فنولی عصاره‌های گیاهی و مولکول‌های پروتئین یا پلی‌ساکارید نیز اتّفاق می‌افتند. به عنوان یک نتیجه کلی، عصاره‌های گیاهی می‌توانند منجر به تغییرات خصوصیات فیزیکی، مثل افزایش ضخامت، دانسیته، مقاومت در برابر سوراخ شدگی، قدرت کششی یا تراکم ریزساختارها شوند. نمونه‌های حاوی ترکیبات پلی‌فنولی که در تعامل با گروه‌های واکنش‌پذیر کیتوزان هستند، تعامل‌های درون مولکولی را در زنجیره پلیمر کیتوزان افزایش دادند. SDS-PAGE نشان داد که عصاره تمشک تعامل بین مولکولی

1- Sorbitol
2- Sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis
3- Covalent
4- Matrix

مونومرهای پروتئین سویا را کاهش می‌دهد. این امر، ممکن است ناشی از این واقعیت باشد که پلی‌فنول در عصاره‌های تمشک متصل به بخش آبگریز زنجیره‌های جانبی پروتئین سویا باشد و منجر به درگیر شدن زنجیره‌های جانبی بین مولکول‌های مجاور شده که آن هم باعث متراکم‌تر یا فشرده‌تر شدن سطح مقطع فیلم غنی‌سازی شده گردد[۳]. در واقع، دو دستورالعمل احتمالی ممکن است باعث ایجاد تعامل بین پلی‌فنول و پروتئین شود. اولین تعامل، میان پروتئین و پلی‌فنول‌های با وزن مولکولی بالا می‌باشد، درحالی که دومین تعامل بین پروتئین و پلی‌فنول‌های با وزن مولکولی کم صورت می‌گیرد. قبلاً نشان داده شد که کمپلکس‌های[1] پروتئین و پلی‌فنول‌های نامحلول، زمانی اتّفاق می‌افتد که زغال اختته به محلول ژلاتین اضافه شود. محققان دیگر پی بردند که وقتی عصاره پونه در محلول ژلاتین حاصل از پوست ماهی تن مورد استفاده قرار گرفت، هیدرولیز اجزاء با وزن مولکولی کم در محلول افزایش یافت[۱۰].

بیوپلیمرهای مختلف ممکن است با پلی‌فنول‌های زیادی واکنش دهند. همان‌طور که در بالا نشان داده شد ژلاتین پوست ماهی تن در مقایسه با فیلم‌های ژلاتینی حاصل از پوست گاو با سهولت بیشتری با پلی‌فنول‌های موجود در عصاره پونه کوهی یا رزماری واکنش می‌دهد. بنابراین اختلاط ژلاتین حاصل از پوست ماهی تن با عصاره‌های گیاهی، نشان داد فیلم‌های حاصل بهبود در برخی از خصوصیات مانند افزایش حلالیت را نشان می‌دهند[۱].

٤- مطالعات آتی

٤-١- درون‌پوشانی[2] عصاره‌های گیاهی زیست‌فعال

همان‌طور که در بالا ذکر شد اختلاط عصاره‌های گیاهی زیست فعال با زیست پلیمرهای خوراکی به عنوان عوامل محرک خصوصیات فیزیکوشیمیایی و یا ارائه‌دهنده عملکرد زیست‌فعالی، توجّه زیادی را به خود جلب نموده است. با این حال، از آنجایی که این ترکیبات تحت شرایط نگهداری ویژه و استفاده نهایی دارای ثبات کمی هستند، استفاده مستقیم از آن‌ها درون مواد زیست فعال باعث ایجاد چالش‌هایی شده است. به عنوان مثال، در بیشتر مطالعات، مواد تشکیل‌دهنده محلول‌ها آبدوست هستند. متأسفانه فنول‌های گیاهی زیست فعال به علت خاصیت چربی‌دوستی، ممکن است با محیط‌های آبدوست سازگار نباشند. در یک مثال دیگر، استخراج آنتوسیانین زیست فعال از مواد گیاهی در شرایط اسیدی باعث عملکرد بالای استخراج آن می‌شود. به هر حال، هنگامی که عصاره‌های گیاهی غنی از آنتوسیانین درون محلول‌هایی با شرایط pH بالا(در مقایسه با pH استخراج) افزوده شوند، تخریب سریع فعالیت زیست‌فعالی ممکن است رخ دهد[۳]. به دلیل پیشرفت‌های اخیر در فنّاوری درون‌پوشانی، ریزپوشانی[3] عصاره‌های گیاهی زیست فعال به طور موفقیت‌آمیزی توسعه یافته است. ریزپوشانی می‌تواند باعث حفاظت هسته(به عنوان مثال عصاره گیاهان) از محیطی که شرایط برای آن‌ها نامساعد است، شود.

٤-٢- آشنایی با عصاره گیاهی زیست فعال موجود در مواد غذایی از طریق فنّاوری نانو

یکی از خواص منحصر به فرد نانو مواد، این است که آن‌ها حداقل در یک بعد در محدوده بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر می‌باشند. این مواد در مقایسه با مواد میکرومتری نسبت سطح به حجم خیلی زیادی دارند. با توجّه به این ویژگی منحصر به فرد، شبکه‌های نانو الیاف(نوعی دیگری از نانو مواد) به عنوان حامل‌های نویددهنده برای عصاره‌های گیاهی محسوب می‌شوند. فنّاوری نانو می‌تواند به عنوان یک سامانه حامل با تأثیرگذاری بالا برای ترکیبات گیاهی زیست فعال باشد[۱]. در سال ۲۰۰۸ یک بررسی انتقادی بر روی پیشرفت تحقیق در مورد پوشش‌های خوراکی اختلاط یافته با عصاره‌های گیاهی طبیعی شد که گذشته

1- Complex
2- Encapsulations

از این، امکان معرفی عصاره‌های گیاهی زیست فعال درون سامانه مواد غذایی از طریق فنّاوری نانو مورد بحث قرار گرفت. در سال ۲۰۱۱ یکی دیگر از بررسی انتقادی که به طور مرتّب انجام می‌شد بررسی قابلیت کاربردهای فنّاوری نانو در سامانه غذایی و زیست پلیمرهای رژیمی بر پایه پروتئین‌ها، پلی‌ساکاریدها و لیپیدها بود و به عنوان مواد نویددهنده برای فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی بر پایه نانو پوشش مطرح شدند. تمهیدات بالا، پایه و اساسی را برای معرفی عصاره‌های گیاهی زیست فعال درون نانو الیاف بر پایه زیست‌پلیمر یا تشک‌های پوشش‌دهی شده در مقیاس نانومتری[1] می‌باشد که هنوز تحت بررسی هستند.

٤-٣- ارزیابی فعالیت زیستی در شرایط آزمایشگاهی[2] و طبیعی[3]

ویژگی و حساسیت روش‌های با پایه شیمیایی ارزیابی کلیه خصوصیات زیست فعالی رژیمی را تضمین نمی‌کند. بنابراین، ترکیبی از چندین آزمون به عنوان یک اندازه‌گیری دقیق‌تر برای فعالیت‌های انجام شده در نظر گرفته شده است. برای مثال بسیاری از موادی که از نظر شیمیایی با نور فعال می‌شوند با منشأ غذایی به عنوان ضداکسیدان شناخته شده‌اند. به هر حال غذاهای مختلف(به عنوان مثال: میوه، سبزیجات و دانه‌های لگومینوس[4]) ممکن است در ترکیب و ظرفیت ضداکسیدانی متفاوت باشند. ظرفیت ضداکسیدانی همچنین به روش‌های ارزیابی مورد استفاده بستگی دارد. برخی از سنجش‌های معمول استفاده شده عبارتند از: کاهش آهن(فریک) در قدرت ضداکسیدانی(FRAP)، ظرفیت مهارکنندگی رادیکالی ۲ و۲دی فنیل-۱- پیکریل آلدوئید[5](DPPH) و ظرفیت جذب رادیکال اکسیژن[6](OPAC). تمام روش‌های شیمیایی موجود دو مکانیسم احتمالی انتقال اتم هیدروژن[7](HAT) یا انتقال الکترونی[8](SET) را منعکس می‌کنند، که مکانیسم‌های مربوطه برای ضداکسیدان‌های رژیمی در بدن انسان مورد استفاده قرار می‌گیرند. سنجش ORAC به عنوان مکانیسم اول استفاده می‌شود در حالی که دو سنجش دیگر (FRAP و DPPH) مبتنی بر مکانیسم دوم است. اختلاط ترکیبات زیست فعال محتوی ترکیبات ضداکسیدانی که می‌توانند در سامانه HAT و SET شرکت کنند باید باعث پاسخ ضداکسیدان قوی‌تری شوند. متأسفانه تا به امروز، تحقیقات گسترده تنها از طریق روش DPPH و FRAP برای نشان دادن ظرفیت ضداکسیدانی مواد حاصل استفاده شده است، اگرچه محققان کمی مثل گومز[9] و همکارانش(۲۰۰۷) سه روش(FRAP، DPPH و لینولئیک اسید[10] -SDS) را جهت مشاهده ظرفیت ضداکسیدانی فیلم‌های بر پایه ژلاتین اختلاط یافته با عصاره‌های برگ مورتا[11] به کار برده‌اند[۵].

٤-٤- مطالعات امکان‌سنجی برای کاربردهای عملی

پس از بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی یا زیست فعالی مواد زیست پلیمری اختلاط یافته با عصاره‌های گیاهی، فیلم حاصله دارای قابلیت کاربرد در بسته‌بندی مواد غذایی می‌باشد. به عنوان مثال، فیلم SPI حاوی عصاره زغال اخته می‌تواند برای جلوگیری از تخریب اکسیداتیو[12] گوشت بسته‌بندی شده به کار رود و فیلم SPI حاوی عصاره تمشک می‌تواند عمر انبارمانی محصول را نیز افزایش دهد. به علت افزایش سطح آبدوست فیلم SPI می‌توان از آن‌ها به عنوان یک جاذب

1- Nanolaminated mats
2- In vitro
3- In vivo
4- Leguminous
5- 2,2 Diphenyl 1-1- picrylhydrazyl

6- Oxygen radical absorbance capacity
7- Hydrogen atom transfer
8- Single electron transfer
9- Gomez
10- linoleic acid
11- Murta leaves
12- Oxidative

آب (عامل خشک‌کننده) برای محافظت از غذاهای خشک شده استفاده کرد. علاوه براین، عصاره قره قاط رنگ قرمز روشن، عطر و طعم منحصر به فردی به فیلم SPI می‌دهد. به هر حال، مطالعات امکان‌پذیری روی کاربردهای پیشنهادی انجام شده است[۵].

۵- نتیجه‌گیری

شواهد پژوهش‌های حاضر، نشان می‌دهند که عصاره‌های گیاهی می‌توانند باعث افزایش خصوصیات فیزیکی زیست پلیمرها و ترکیبات زیست فعال(از جمله فعالیت‌های ضداکسیدانی یا ضد میکروبی) در بسته‌بندی مواد غذایی شوند. با اصلاح فیلم‌های حاصل، مشخص شد که برای مثال فیلم SPI-ARRE می‌تواند عمر انبارمانی فیلم SPI را از طریق افزایش استحکام، طولانی کند یا می‌تواند مانند یک صفحه جذب‌کننده رطوبت یا به عبارتی به عنوان یک جاذب، برای حفظ غذاهای خشک مورد استفاده قرار گیرد. همچنین فیلم SPI-ARRE می‌تواند به عنوان یک بسته‌بندی مواد غذایی با رنگ منحصر به فرد مورد استفاده قرار گیرد. مشخص شده که تأثیر و یا نقش مهم عصاره‌های گیاهی بر روی ویژگی‌های مواد بر پایه زیست پلیمرها به فعالیت‌های طبیعی آن‌ها(به عنوان مثال: رنگ‌ها، طعم‌دهنده) و یا عوامل دیگر(به عنوان مثال: عوامل ضداکسیدانی و ضد میکروبی) برمی‌گردد. در نتیجه از آن‌ها به عنوان پوشش‌هایی با فعالیت ضداکسیدانی(یا ضد میکروبی) برای جلوگیری از اکسیداسیون(یا کاهش میکروب‌ها) در مواد غذایی بسته‌بندی شده، می‌توان استفاده کرد. آن‌ها همچنین به طور بالقوه‌ای می‌توانند به عنوان بهبوددهنده‌های حسی جهت افزایش رضایت و کاهش اثرات مضر(عطر، بافت و رنگ) در مواد غذایی بسته‌بندی شده به کار روند. عصاره‌های گیاهی حاوی پلی‌فنول‌های با وزن مولکولی بالا، به عنوان مثال پروسیانیدین[1]، می‌توانند عاملی برای تشکیل پیوندهای عرضی در زیست‌پلیمرها(به عنوان مثال کلاژن) نیز باشند.

لازم به ذکر است که اطّلاعات کمی در خصوص ارزیابی حسی مواد بر پایه زیست پلیمر حاوی عصاره‌های گیاهی وجود دارد. فنّاوری‌هایی مثل درون‌پوشانی و فنّاوری نانو می‌توانند در این خصوص نیز توسعه یابند. اگرچه کاربردهای بالقوه مواد زیست فعال در بسیاری از مطالعات گزارش شده، پیشنهاد شده است، اطّلاعات مربوط به امکان‌پذیری در خصوص استفاده از آن‌ها که انتظار می‌رود برای تجاری شدن مهم باشند در حال حاضر وجود ندارد.

1- Procyanidine

۶- منابع

1. Wang, S., Marcone, M. F., Barbut, S., Lim, L.T. Fortification of dietary biopolymers-based packaging material with bioactive plant extracts. Food research international 49, 80–91. 2012.
2. Siripatrawan, U., & Harte, B. R. "Physical properties and antioxidant activity of an active film from chitosan incorporated with green tea extract". Food hydrocolloids, 24(8), 770–775. 2010.
3. Wang, S., Marcone, M. F., Barbut, S., & Lim, L. T. "The impact of anthocyanin-rich red raspberry extract (ARRE) on the properties of edible soy protein isolates (SPI) films". Journal of food science, 77(4), C497–C505. 2012.
4. Kim, K. M., Lee, B. Y., Kim, Y. T., Choi, S. G., Lee, J., Cho, S. Y., et al. "Development of antimicrobial edible film incorporated with green tea extract". Food science and biotechnology, 15(3), 478–481. 2006
5. Rattaya, S., Benjakul, S., Prodpran, T. "Properties of fish skin gelatin film incorporated with seaweed extract". Journal of food engineering 95, 151–157. 2009.
6. Shin, Y. J., Jang, S. A., & Song, K. B. "Preparation and mechanical properties of rice bran protein

composite films containing gelatin or red algae". Food science and biotechnology, 20(3), 703–707. 2011.
7. Song, H, Y., Shin, Y, J., Song, K, B. "Preparation of a barley bran protein–gelatin composite film containing grapefruit seed extract and its application in salmon packaging". Journal of food engineering 113, 541–547. 2012.
8. Gomez-Guillen, M. C., Ihl, M., Bifani, V., Silva, A., & Montero, P. Edible films made from tuna-fish gelatin with antioxidant extracts of two different murta ecotypes leaves (Ugni molinae Turcz). Food hydrocolloids, 21(7), 1133–1143. 2007.
9. Lim, G. O., Jang, S. A., & Bin Song, K. "Physical and antimicrobial properties of Gelidium corneum/nano-clay composite film containing grapefruit seed extract or thymol". Journal of food engineering, 98(4), 415–420. 2010.
10. Gomez-Estaca, J., Bravo, L., Gomez-Guillen, M. C., Aleman, A., & Montero, P. Antioxidant properties of tuna-skin and bovine-hide gelatin films induced by the addition of oregano and rosemary extracts. Food chemistry, 112(1), 18–25. 2009a.
11. Gomez-Estaca, J., Gimenez, B., Montero, P., & Gomez-Guillen, M. C. "Incorporation of antioxidant borage extract into edible films based on sole skin gelatin or a commercial fish gelatin". Journal of food engineering, 92(1), 78–85. 2009b.
12. Gomez-Estaca, J., Montero, P., Fernandez-Martin, F., Aleman, A., & Gomez-Guillen, M. C. Physical and chemical properties of tuna-skin and bovine-hide gelatin films with added aqueous oregano and rosemary extracts. Food hydrocolloids, 23(5), 1334–1341. 2009c.
13. Wu, J., Chen, S., Ge, S., Miao, J., Li, J., Zhang, Q. "Prep aration, properties and antioxidant activity of an active film from silver carp Hypophthalm ichthys molitrix (skin gelatin incorporated with green tea extract". Food hydrocolloids 32, 42-51. 2013.
14. Hoque, M. S., Benjakul, S., & Prodpran, T. Properties of film from cuttlefish (Sepia pharaonis) skin gelatin incorporated with cinnamon, clove and star anise extracts. Food hydrocolloids, 25(5), 1085–1097. 2011.
15. Akhtar, M, J., Jacquot, M., Jamshidian, M., Imran, M., Arab-Tehrany, E, Desobry, S. Fabrication and physicoche mical characteriz ation of HPMC fi lms with commercial plant extract: Infl uence of light and fi lm composition. Food hydrocolloids 31, 420 – 427. 2013.
16. Bifani, V., Ramirez, C., Ihl, M., Rubilar, M., Garcia, A., & Zaritzky, N. Effects of murta (Ugni molinae Turcz) extract on gas and water vapor permeability of carboxymethylcellulose -based edible films. LWT- Food science and technology, 40(8), 1473–1481. 2007.
17. Rubilar, J, F., Cruz, R,M, S., Silva, H, D., Vicente, A, A., Khmelinskii, I., Vieira, M, C. "Physico-mechanical properties of chitosan films with carvacrol and grape seed extract". Journal of food engineering 115, 466–474. 2013.
18. Campos, C. A., Gerschenson, L. N., & Flores, S. K. Development of edible films and coatings with antimicrobial activity. Food and bioprocess technology , 4(6), 849-875. 2011.
19. Rojas-Graü, M., Avena-Bustillos, R., Olsen, C., Friedman, M., Henika, P Martín-Belloso, O., Pan, Z., McHugh, T. "Effects of plant essential oils., and oil compounds on mechanical, barrier and antimicrobial properties of alginate–apple puree edible films". Journal of food engineering, 81: 634-641. 2007.

آدرس نویسنده

گرگان – میدان بسیج – دانشگاه علوم کشاورزی و منـابع طبیعـی گرگـان(پـردیس) – دانـشکده صنایع غذایی.