بسته‌بندی مواد غذایی توسط بیوپلیمرهای با منشأ پروتئین گیاهی

نادیا شکرانه[1*]، یحیی مقصودلو[2]، سمیرا صباغ پور[3]، فرزانه حسن نیا[4]

تاریخ دریافت مقاله: بهمن ماه ۱۳۹۳

تاریخ پذیرش مقاله: فروردین ماه ۱۳۹۵

چکیده

مدّت‌های طولانی است که از پلیمرهای سنتزی مانند پلی‌اتیلن ترفتالات، پلی‌وینیل کلراید و پلی‌اتیلن به عنوان مواد بسته‌بندی استفاده می‌شود که بازاری در حدود ۱۲ میلیون تن در سال را به خود اختصاص می‌دهد. مهم‌ترین مشکل مواد بسته‌بندی سنتزی، زمان‌بر بودن فرآیند تجزیه آن‌ها می‌باشد که باعث آلودگی محیط زیست می‌گردند. از طرفی، آلودگی مواد بسته‌بندی پلاستیکی به وسیله مواد غذایی یا مواد بیولوژیکی و مهاجرت از بسته غذا، از مشکلات دیگر این مواد است که باعث کاهش امنیت غذایی و تغییر طعم می‌شوند. این مشکلات، زمینه‌ساز توسعه مواد بسته‌بندی زیست تخریب‌پذیر مانند فیلم‌های خوراکی از جنس پلی‌ساکاریدها و پروتئین‌ها شده است. در این مقاله مروری، چندین بیوپلیمر پروتئینی با منشأ گیاهی به همراه ویژگی‌ها، شرایط تولید، ویژگی‌های فیلم حاصل و موارد کاربرد آن‌ها در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی به تفکیک مورد بررسی قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی

بسته‌بندی، بیوپلیمر پروتئینی، گیاهی

۱- مقدمه

انواع بیوپلیمرهای مورد استفاده در تولید بسته‌بندی‌های زیستی به چهار دسته پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها[5]، لیپیدها و پلی‌استرها تقسیم‌بندی می‌شوند. بیوپلیمرهای پروتئینی نیز بر اساس منشأ پروتئین به دو دسته حیوانی (کازئین[6] و میوفیبریل[7]) و گیاهی(زئین و گلوتن[8]) تقسیم می‌گردند[۱] . هر یک از این بیوپلیمرها از نظر ساختاری متفاوت هستند، برخی دارای ساختار رشته‌ای و برخی کروی می‌باشند که هر یک از این نوع ساختارها، دارای ویژگی‌های منحصر به فردی هستند. پروتئین‌های رشته‌ای، بیشتر در بافت‌های حیوانی(مانند کلاژن[9]، کراتین[10] و میوزین[11]) وجود دارند، در آب نامحلول و یا کم محلول بوده، نوع پیوند مطرح در این نوع پروتئین‌ها، هیدروژنی می‌باشد و نسبت به دناتوراسیون[12] حرارتی، هیدرولیز[13] شیمیایی و آنزیمی نسبتاً مقاوم می‌باشند؛ اما پروتئین‌های

۱- دانشجو دکتری علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آیت الله آملی، آمل، مازندران .

(* نویسنده مسئول:nadia.shokraneh@yahoo.com)

۲- دانشیار دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان(amoltaj@gmail.com).

۳- دانشجو دکتری علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آیت الله آملی، آمل، مازندران (samira_sabaghpour@yahoo.com).

٤- دانشجو دکتری علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آیت الله آملی، آمل، مازندران(f.nia_14@yahoo.com).

5- Carbohydrates

6- Casein
7- Myofibril
8- Gluten
9- Collagen
10- Creatine
11- Myosin
12- Denaturation
13- Hydrolysis

کروی بیشتر در بافت‌های گیاهی (زئین ذرّت، گلیسینین[1] سویا و پروتئین‌های آب پنیر) وجود دارند و در آب یا محلول‌های آبی اسیدها، بازها و نمک‌ها محلول هستند. نوع پیوندهای مطرح در این نوع پروتئین‌ها، هیدروژنی، دی سولفید، آبگریز و یونی می‌باشند و نسبت به دناتوراسیون حرارتی، شیمیایی و آنزیمی حساس هستند [۳ و ٦].

شاخص‌هایی همچون، توانایی پروتئین در تشکیل پیوندهای بین مولکولی، شکل پروتئین (نسبت طول زنجیر بر قطر پروتئین) و شرایط تولید تعیین‌کننده میزان توانایی تشکیل فیلم توسط پروتئین‌ها است. به طور مثال هرچه نسبت طول زنجیر بر قطر پروتئین بیشتر باشد. توانایی تشکیل فیلم بیشتر خواهد بود. همچنین هرچه زنجیر پروتئین گسترده‌تر و توزیع گروه‌های قطبی، آبگریز و تیول[2] در طول زنجیره بیوپلیمر یکنواخت‌تر باشد، فیلم حاصل، قوی‌تر، انعطاف‌پذیری کمتر و نفوذپذیری پایین‌تر نسبت به گازها، بخارها و مایعات خواهد داشت[۷] .

برای تشکیل یک فیلم پروتئینی، ابتدا باید پیوندهای بین مولکولی شکسته شده، سپس زنجیره‌های پلیمری توسط پیوندهای جدید آرایش یابد و در نهایت یک شبکه سه بعدی پایدار تشکیل گردد[۷] . فیلم حاصل، بسته به شرایط مختلف اعم از نوع و غلظت پروتئین، نوع و pH حلال، نوع و غلظت نرم‌کننده و روش تولید می‌تواند ویژگی‌های عملکردی (بازدارندگی در برابر گازها و بخارآب، ویژگی‌های مکانیکی) متفاوتی داشته باشد [۱] . از نظر بازدارندگی دارای خصوصیات بازدارندگی خوبی در برابر اکسیژن و گازهایی همچون CO_2 می‌باشد به طوری که این فیلم‌ها را برای بسته‌بندی مواد حساس به اکسیژن مناسب می‌کند. نفوذپذیری پایین نسبت به مواد غیرقطبی مثل آروما[3] و روغن، و در مقابل نفوذپذیری بالا به مواد قطبی مثل بخارآب دارند. در بین بیوپلیمرهای پروتئینی، پروتئین‌های محلول در اتانول[4] آبی (زئین، گلوتن، کافیرین[5] و میوفیبریل[6] ماهی) به دلیل داشتن گروه‌های آبگریز در مقادیر بالا در ساختمان خود، فیلمی تولید می‌کنند که نفوذپذیری به بخار آب (WVP)[7] کمتری داشته، همچنین (OP)[8] کمتر نسبت به دیگر فیلم‌های پروتئینی دارند. بنابراین با استفاده از اجزای لیپیدی و آبگریز در محلول تشکیل‌دهنده فیلم می‌توان نفوذپذیری به بخار آب(WVP) را کاهش داد. در ارتباط با ویژگی‌های مکانیکی، فیلم‌های پروتئینی در مقایسه با اغلب فیلم‌های پلی‌ساکاریدی[9]، استحکام کششی نهایی کمتری (UTS)[10] داشته و نسبت به فیلم‌های سنتزی[11]، (UTS) و ازدیاد طول تا نقطه شکست[12] (ETB) کمتری دارند. همچنین با افزایش مقدار پلاستی‌سایزر[13] در این نوع از فیلم‌ها، مدول یانگ[14] (YM) و (UTS) کاهش و (ETB)[15] افزایش می‌یابد [۲] .

به طور کلی، نوع و غلظت پروتئین در حلال، نوع و pH حلال، نوع و غلظت نرم‌کننده و روش تولید فیلم از عوامل مؤثر بر ویژگی‌های عملکردی فیلم‌های پروتئینی می‌باشند[۱ و ۲] .

۲- فیلم حاصل از پروتئین زئین

۲-۱- ترکیب و ساختار پروتئین زئین

زئین یکی از پروتئین‌های ذرّت است که در دسته پرولامین‌ها[16] قرار دارد. درصد اجزای پروتئینی دانه ذرّت در (جدول ۱) آمده است [۸] .

1- Glycinine
2- Thiol
3- Aroma
4- Ethanol

5- Kafirin
6- Myofibrill
7- Water Vapor Permeability
8- Oxygen Permeability
9- Polysacchatide
10- Ultimate Tensile Strength
11- Synthetic
12- Elongation To Break
13- Plastisizer
14- Young Modulus
15- Ultimate Tensile Strength
16- Prolamin

جدول۱- اجزای پروتئین در دانه ذرّت (٪ بر پایه خشک)[۸]

اجزای پروتئینی دانه ذرّت				
پروتئین	حلالیت	دانه کامل	آندوسپرم	جوانه
آلبومین‌ها	آب	۸	٤	۳۰
گلوبولین‌ها	آب نمک	۹	٤	۳۰
گلوتلین‌ها	محلول قلیایی	٤۰	۳۹	۲۵
پرولامین (زئین)	الکل	۳۹	٤۷	۵

زئین طبیعی از نظر حلالیت در اتانول به دو بخش آلفا زئین[1] و بتا زئین[2] تقسیم می‌شود. آلفا زئین، ۸۰٪ زئین طبیعی را شامل می‌شود که در اتانول ۹۵-۹۰٪ و ایزوپروپانول[3] ۸۵٪ محلول می‌باشد. بتا زئین، ۲۰٪ زئین طبیعی است و در اتانول ٦۰٪ محلول است. بتا زئین در واقع آلفا زئینی است که توسط اتصالات دی سولفیدی[4] بهم متصل شده است و در مرحله خیساندن فرآیند استخراج زئین، به دلیل وجود شرایط احیاء بتا زئین به آلفا تبدیل می‌شود. به همین دلیل در زئین تجاری فقط آلفا زئین وجود دارد[۸] .

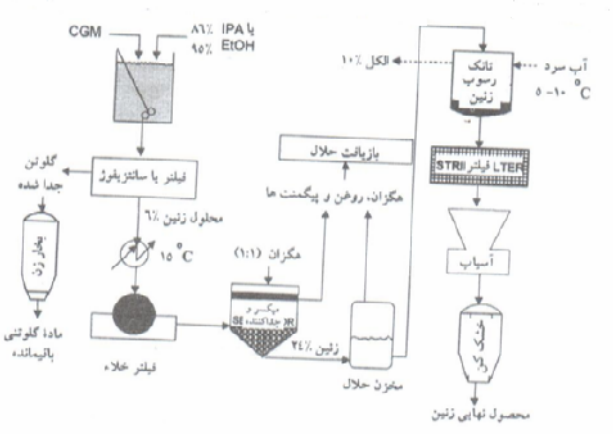
زئین طی دو مرحله استخراج می‌شود. در مرحله اول گلوتن از ذرّت استخراج شده و در مرحله دوم پروتئین زئین از گلوتن به دست می‌آید. در مرحله اول، به ترتیب این فرآیندها بر روی ذرّت انجام می‌شود:

- تمیز کردن،
- خیساندن و آسیاب کردن اول.

محصول فرعی به دست آمده در این مرحله، جوانه می‌باشد که جهت روغن کشی استفاده می‌گردد و بقایای آن[5] (CGF) به مصرف خوراک دام می‌رسد. در ادامه آسیاب کردن دوم با هدف حذف فیبر و در نهایت جداسازی نشاسته از گلوتن صورت می‌پذیرد. این جداسازی توسط سانتریفوژ[6] با دور بالا انجام می‌شود و محصول فرعی به دست آمده در این مرحله آرد گلوتن ذرّت (CGM)[7] است که پروتئین زئین از آن به دست می‌آید[۸] . مرحله دوم (CPC)[8] یعنی استخراج زئین از گلوتن به دو روش (CPC) و نیوتری لایت[9] انجام می‌شود. در روش(شکل۱) ابتدا یک تیمار حرارتی با اتانول (٪۹۵) یا ایزو پروپیل الکل (٪۸٦) در دمای ۶۰-۵۰ °C، به مدّت ۳۰ دقیقه تا ۲ ساعت انجام شده و سپس با عمل فیلتراسیون[10] یا سانتریفوژ کردن، محلول زئین ٦٪ به همراه یک سری ناخالصی‌ها به دست می‌آید. در ادامه با استفاده از فیلتر خلأ و افزودن حلال غیرقطبی هگزان[11]، ناخالصی‌های غیرپروتئینی نظیر: چربی‌ها و رنگ جداسازی می‌شوند. محلول حاصل در این مرحله، حاوی ۲٤٪ زئین است. رسوب‌دهی زئین توسط آب سرد (۱۰-۵ °C) در تانک رسوب‌دهی و با کمک فیلتراسیون انجام می‌شود. در پایان نیز پس از آسیاب و خشک کردن در خلأ، پروتئین زئین تولید می‌شود [۸] .

این روش به دلیل بالا بودن هزینه عملیات، راندمان کم، افت بالای حلال و تغییرات pH که منجر به ژلاسیون مکرّر زئین شده و کیفیت نهایی را کاهش می‌دهد، کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

1- α Zein
2- β Zein
3- Isopropanol
4- Disulfide Crosslink
5- Corn Gluten Feed
6- Centrifuged
7- Corn Gluten Meal
8- Corn Product Corporation
9- Nutrilite
10- Filtration
11- Hexan

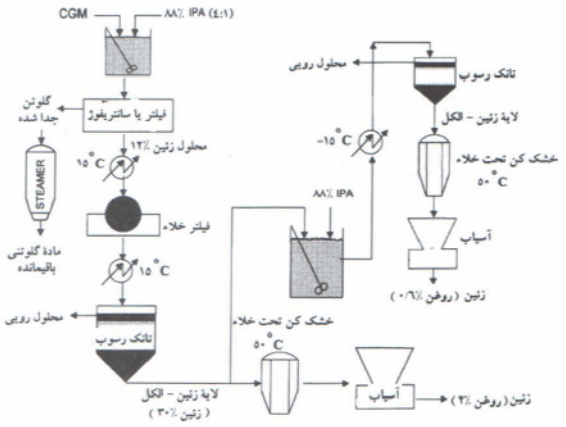


شکل ۱- فرآیند تولید زئین به روش CPC

به دلیل معایب موجود در روش (CPC)، روش نوتریلیت[1] جهت استخراج پروتئین زئین مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۲). در این روش از حلال‌های غیرقطبی نظیر: هگزان و بنزن جهت استخراج لیپیدها و رنگ استفاده نمی‌شود و پس از استخراج و فیلتراسیون، زئین در تانک تحت دمای ۱۵ °C- رسوب داده می‌شود. در نهایت زئین حاوی روغن دو مسیر را می‌تواند طی کند، یکی اینکه همراه با روغن خشک و پودر شده و به عنوان زئین با ٪۲ روغن عرضه گردد و دیگری اینکه مجدداً در الکل حل شده و یک مرحله دیگر رسوب داده شود و در نهایت پس از خشک و پودر شدن به عنوان زئین حاوی ٪۰/٦ روغن عرضه گردد[۸] .

۲-۲- روش‌های تولید فیلم‌های زئینی

این نوع از فیلم‌ها به روش‌های کاستینگ[2](مرطوب)، ترموپلاستیک (خشک) و رزینی (نیمه مرطوب) تهیه می‌شود. در روش رزینی امولسیون[3] تهیه شده به روش مرطوب را با آب سرد (۵ °C) رسوب داده و ماده نرمی به نام رزین را از آن جدا می‌کنند. رزین حاصل قالب‌پذیر است. سپس از طریق کشیدن رزین تا ایجاد غشائی نازک، در نهایت خشک کردن در دما و رطوبت نسبی محیط و یا از طریق قرار دادن درون قالب فلزی و پرس داغ (دمای ۷۰ تا ۸۵ درجه سانتی‌گراد و فشار ۲۵ مگا پاسکال[4]) تشکیل می‌شود [۹].



شکل ۲- فرآیند تولید زئین به روش نوتریلیت

2- Casting
3- Emulsion
4- Mega pascal

1- Nutrilite

۲-۳- ویژگی‌های عملکردی(خواص مکانیکی و بازدارندگی نسبت به بخار آب) فیلم‌های زئینی

بستگی به عوامل مختلفی همچون: نوع، غلظت نرم‌کننده و اتصال‌دهنده‌ها، نوع حلال، روش تولید، رطوبت نسبی، دمای اندازه‌گیری و لامینه کردن با بیوپلیمرهای دیگر دارد. به دلیل بالا بودن مقادیر بالای اسیدهای آمینه غیرقطبی در فیلم‌های رزینی، بازدارندگی بهتری نسبت به بخار آب در مقایسه با فیلم‌های خوراکی دیگر دارند. همچنین نفوذپذیری فیلم‌های زئینی نسبت به گازهای اکسیژن و دی اکسید کربن در رطوبت نسبی پایین، پایین‌تر از فیلم‌های سنتزی همچون پلی‌اتیلن است و میزان (OP)[1] فیلم‌های زئینی کمتر از فیلم‌های پلی‌ساکاریدی و ترکیب پلی‌ساکارید- لیپید می‌باشد[۱] .

۲-٤- موارد کاربرد فیلم‌های زئین در بسته‌بندی مواد غذایی

مطالعات آزمایشگاهی بر روی فیلم زئین حاکی از این امر است که از آن می‌توان به عنوان حامل ترکیبات ضدمیکروبی استفاده کرد. تاجیک و همکاران (۱۳۹۱)، از فیلم زئینی حاوی ترکیبات ضدمیکروبی اسانس آویشن شیرازی (۲ و ۳ درصد) و مونولورین[2] (۱ درصد) جهت کنترل رشد لیستریا مونوسیتوژنز[3] و اشرشیاکلی[4] استفاده کردند. نتایج نشان داد فیلم زئین حاوی اسانس و مونولورین موجب افزایش معنی‌داری در اثرات ضدباکتریایی در مقایسه با فیلم کنترل داشت و این افزایش، متأثر از میزان ترکیب ضدمیکروبی و نوع باکتری بود. از نظر اثربخشی نیز فیلم حاوی ۳ درصد اسانس آویشن شیرازی بهترین اثر ضدباکتریایی علیه هر دو باکتری داشت [۳] . از موارد دیگر کاربرد فیلم زئین می‌توان به افزایش مقاومت پوسته تخم‌مرغ، بازدارندگی در مقابل تبادل گازها و رطوبت در میوه‌ها و سبزیجاتی همچون سیب، گلابی، گوجه فرنگی و فرآورده گوشتی سوسیس اشاره کرد[۲ و ۱۰].

۳- فیلم حاصل از پروتئین گلوتن

۳-۱- ترکیب و ساختار پروتئین‌های گلوتن

آرد گندم دارای ٪ ۱۳-۹ پروتئین و ٪ ۸۰-۷۵ نشاسته است. این درحالی است که گلوتن حاوی ٪ ۸۰-۷۰ پروتئین، ٪۱٤-۱۰ نشاسته و پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای، ٪ ۸-٦ چربی و ٪ ۱/٤-۰/۸ مواد معدنی می‌باشد. پروتئین‌های گندم را براساس حلالیت به چهار دسته تقسیم‌بندی می‌کنند که در (جدول۲) آورده شده است[٤] .

جدول ۲- تقسیم‌بندی پروتئین‌های گندم بر اساس حلالیت [۲] .

پروتئین	حلالیت	مقدار (٪)
آلبومین	آب	۱۵-۲۲
گلوبولین	آب نمک	
گلیادین (پرولامین گندم)	الکل	۳۳-٤۵
گلوتنین (گلوتلین گندم)	محلول رقیق اسید یا باز	٤۰-٤۵

۳-۲- شرایط تولید فیلم‌های گلوتن

برای تولید این نوع از فیلم‌ها، معمولاً از روش مرطوب استفاده می‌شود ولی روش قالب‌گیری حرارتی نیز قابل انجام است. به دلیل نامحلول بودن پروتئین‌های گلوتنی، از حلال کمپلکس[5] استفاده می‌شود. حلال کمپلکس بایستی دارای شرایط اسیدی یا بازی، حاوی الکل و ترکیبات احیاءکننده سولفید باشد. حضور اتانول در ترکیب حلال، ضروری است، زیرا حذف آن منجر به افزایش نفوذپذیری به بخار آب و کاهش مقاومت به کشش می‌شود. افزودن نرم‌کننده‌ها (متداول‌ترین:

1- Oxygen Permeability
2- Monolaurin
3- Listeria Monocytogenes
4- Escherichia Coli
5- Complex

گلیسرول[1] و اتانول آمین) به مخلوط گلوتن جهت جلوگیری از شکنندگی و تردی فیلم و افزایش انعطاف‌پذیری همچون دیگر فیلم‌های پروتئینی ضروری است. بازها، ترکیبات احیاءکننده و اسیدهای متداول در تولید فیلم گلوتنی به شرح ذیل است.

- **بازهای مورد استفاده:** هیدروکسید سدیم[2]، هیدروکسید پتاسیم[3] و هیدروکسید آمونیوم[4].
- **ترکیبات احیاءکننده:** سولفیت سدیم[5]، سیستئین[6] یا مرکاپتواتانول[7] (مورد استفاده در محیط‌های اسیدی).
- **اسیدهای مورد استفاده** : اسید سیتریک[8]، اسید استیک[9]، اسید فسفریک[10]، اسید پروپیونیک[11] و اسید لاکتیک[12] [٤].

۳-۳- ویژگی‌های عملکردی (خواص مکانیکی و بازدارندگی نسبت به بخار آب و گاز) فیلم‌های گلوتنی

غلظت گلوتن و pH محلول تشکیل‌دهنده فیلم، از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده خواص این نوع از فیلم‌ها هستند. از نظر خواص مکانیکی در مقایسه با سایر فیلم‌ها مقاومت به کشش کمتر و افزایش طول تا نقطه شکست بالاتری دارند و افزایش دما طی تیمار حرارتی در روش کستینگ[13] منجر به افزایش مقاومت به کشش و کاهش انعطاف‌پذیری فیلم می‌شود. همچنین در pH های بالای ناحیه ایزوالکتریک[14] پروتئین‌ها (۱۳-۹) فیلم‌هایی با بالاترین مقاومت نسبت به کشش[15](TS) تشکیل می‌شود؛ اما از نقطه نظر بازدارندگی نسبت به بخار آب، دارای نفوذپذیری به بخار آب(WVP) برابر با سایر فیلم‌های پروتئینی یا پلی‌ساکاریدی هستند ولی در مقایسه با پلیمرهای سنتزی نفوذپذیری به بخار آب(WVP) بالاتری دارد. همچنین با افزایش رطوبت نسبی و دما سرعت انتقال بخار آب افزایش یافته و پوشش دادن فیلم‌های گلوتنی با چربی‌هایی نظیر: موم زنبور عسل WVP را تا حد زیادی کاهش می‌دهد. به دلیل افزایش تحرک زنجیرهای ماکرومولکول[16] آبدوست در اثر افزایش رطوبت نسبی و به دنبال آن افزایش حلالیت گاز در اثر تورم ماتریکس[17] به وسیله آب جذب شده، نفوذپذیری نسبت به گازها در این نوع از فیلم‌ها افزایش می‌یابد [٤].

۳-٤- عوامل مؤثر در ویژگی‌های عملکردی فیلم گلوتنی

مطالعات نشان داده است عواملی همچون pH حلال، دمای خشک کردن و میزان رطوبت فیلم در ویژگی‌های مکانیکی (میزان تنش حداکثر، کرنش در تنش حداکثر و مدول الاستیک[18]) و نفوذپذیری فیلم نسبت به بخارآب (WVP) نقش به سزایی دارند [۱۱].

۳-۵- روش‌های بهبود خواص مکانیکی

به منظور بهبود خواص مکانیکی فیلم، می‌توان از روش خیساندن فیلم در فرم آلدهید[19] و یا بخار دادن توسط آن، تابش دهی با اشعه گاما[20] (۱۰KGy) و اشعه UV[21]، تیمار حرارتی فیلم حاصل و تیمار شیمیایی توسط بخار H_2Co استفاده کرد. اساس عمل در کلیه این روش‌ها

1- Glycerol
2- Sodium Hydroxide
3- Potassium Hydroxide
4- Ammonium Hydroxide
5- Sodium Sulfite
6- Cysteine
7- Mercaptoethanol
8- Citric Acid
9- Acetic Acid
10- Phosphoric Acid
11- Propionic Acid
12- Lactic Acid
13- Casting
14- Isoelectric Point
15- Tensile Strength
16- Macro Molecule
17- Matrix
18- Modulud of Elastic
19- Formaldehyde
20- Gamma Ray
21- Ultraviolet

ایجـاد اتـصالات عرضـی کووالانـسی[1](پـل‌هـای متـیلن) می‌باشد[۱۲] .

۳-٦- موارد کاربرد فیلم‌های گلـوتنی در بـسته‌بنـدی مواد غذایی

فیلم‌های گلوتن با توجّه بـه داشـتن نفوذپـذیری انتخـابی نسبت به گازها برای بسته‌بندی میـوه‌هـا و سـبزی‌هـا تحـت شرایط اتمسفر اصلاح شده و به دلیل بازدارندگی نـسبت بـه آرومـا بـرای محـصولات حـاوی مـواد غیـرقطبـی نظیـر اسانس‌های روغنی مناسب هستند [۲] .

٤- فیلم حاصل از پروتئین سویا

٤-۱- ترکیب و ساختار پروتئین سویا

پروتئین‌های سویا در دانه‌های آلرون[2] قرار دارند و حاوی مقادیر زیادی اسیدهای آمینه لیزین[3]، آسپارژین[4] و گلوتـامین[5] هستند و از نظر متیونین[6] و تریپتوفان[7] فقیر می‌باشـند. بخـش اعظم پـروتئین‌هـای سـویا در آب نـامحلول و در آب نمـک محلول می‌باشند. به همین دلیل، جزء گلوبولین‌ها[8] دسته‌بندی می‌شوند. محصولات پـروتئین سـویا کـه در صـنایع غـذایی کـاربرد دارنـد عبارتنـد از: آرد سـویا[9] بـا ٪۵۹-۵۰ پـروتئین، کنسانتره پروتئین سویا[10] (SPC) با ٪۷۲-٦۵ پروتئین و ایزوله پروتئین سویا[11] (SPI) با بیش از ٪ ۹۰ پروتئین [۲] .

٤-۲- روش تولید فیلم پروتئین سویا

فیلم سویا سالیان طولانی به طور سنتی در ژاپـن تولیـد مـی‌شـده و یوبـا[12] نـام دارد. پیونـدهای دی سـولفیدی، هیدروفوبی[13] و هیـدروژنی پیونـدهای دخیـل در تـشکیل فیلم هستند. فیلم را می‌توان بـه روش مرطـوب[14] و روش خـشک (کـه بـه ویژگـی ترموپلاسـتیک[15] سـویا مربـوط مـی‌شـود) تولیـد کـرد[۸]. گلیـسرول و سـوربیتول[16]، متداول‌ترین پلاستی‌سایزرهای مورد استفاده در این نـوع از فیلم‌ها می‌باشند. مزایای این نوع از فیلم‌هـا توانـایی ایجـاد اتصالات عرضـی pr-pr (اسـیدهای آمینـه درگیـر در ایـن ارتباط، لیزین و سیستئین می‌باشند)، قابلیـت تـشکیل فـیلم با شبکه‌ای قوی و اثر ممانعتی خوب نسبت بـه اکـسیژن و چربی می‌باشـد و نفوذپـذیری بـالا نـسبت بـه رطوبـت از معایب این نوع از فیلم‌ها می‌باشد. از طریق ایجاد اتصالات عرضی به روش شیمیایی (NaOH)، تیمار فـیلم بـا اشـعه (UV)و نیز ایجاد اتصالات عرضی به روش آنزیمی (آنـزیم ترانس گلوتامیناز[17]) می‌توان ویژگی‌هـای فـیلم حاصـل را بهبود بخشید [۱۲].

٤-۳- موارد کاربرد فیلم سویا در بسته‌بنـدی مـواد غذایی

از فیلم سویا برای افزایش مقاومت پوسـته تخـم مـرغ، بازدارندگی در مقابل تبادل رطوبت و گازها در محصولاتی همچون میوه‌ها و سـبزیجات خـشک، سوسـیس و حامـل ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و آنتی‌میکروبی استفاده می‌شود [۲، ۱٤ و ۱۵] .

1- Covalent Cross Link
2- Aleron
3- Lysine
4- Aspargine
5- Glutamine
6- Methionine
7- Tryptophan
8- Globulin
9- Soybean Meal
10- Soy Protein Concentrate
11- Soy Protein Isolate

12- Yuba or Soy Milk Skin
13- Hydrophobic
14- Wet Process
15- Thermoplastic
16- Sorbitol
17- Trans Glutaminase

۵- فیلم‌های حاصل از پروتئین پنبه دانه

۵-۱- ترکیب و ساختار پروتئین پنبه دانه

پنبه دانه، گیاهی است که سال‌ها برای تولید لیف کاشته می‌شده است. در سال‌های اخیر، علاوه بر الیاف، روغن نیز از آن استخراج می‌شود. پروتئین پنبه دانه ۳۰ الی ٤٠ درصد مغز پنبه دانه را شامل می‌شود. این پروتئین‌ها شامل، گلوبولین‌ها[1] (٦٠٪)، آلبومین‌ها[2] (۳۰٪)، پرولامین‌ها[3] (٦/٨٪) و گلوتنین[4] (۰/۵٪) هستند. پروتئین‌های پنبه دانه دارای مقادیر زیادی اسیدهای آمینه یونیزه (آرژنین[5]، لیزین[6]، آسپارتیک اسید[7] و گلوتامیک اسید[8]) هستند و مقدار کمی آمینو اسیدهای گوگردی دارند و از آنجایی که این نوع از پروتئین‌ها در محیط بازی نسبت به اسیدی از حلالیت بالاتری برخوردارند، از حلال بازی رقیق جهت تهیه فیلم استفاده می‌شود [۲] .

۵-۲- روش تهیه فیلم‌های حاصل از پروتئین پنبه دانه

فیلم حاصل از پنبه دانه با استفاده از مغز و آرد آن امکان‌پذیر است. در روش استفاده از مغز پنبه دانه، ابتدا آن را خیسانده تا محلولی به نام شیر دانه روغنی[9] به دست آید. مایع به دست آمده را تا دمای ۵°C ± ۹۰ حرارت می‌دهند تا فیلم تشکیل گردد[۲] . در صورت استفاده از آرد پنبه دانه از روش تبخیر حلال(کاستینگ) استفاده می‌شود که به ترتیب شامل مراحل مخلوط کردن آرد پنبه دانه و آب، تنظیم pH، گرم کردن (بین ۷۰-۲۰ درجه سانتی‌گراد)، سانتریفوژ کردن و جداسازی مایع رویی، افزودن پلاستی‌سایزر، پخش کردن محلول تشکیل‌دهنده فیلم و تبخیر حلال در ٦٠ °C به مدّت ٢٤ ساعت می‌باشد[١٦] .

1- Globulin
2- Albumin
3- Prolamin
4- Glutenin
5- Arginine
6- Lysine
7- Aspartic Acid
8- Glutamic Acid
9- Oilseed Milk

۵-۳- ویژگی‌های عملکردی فیلم پنبه دانه

این نوع فیلم‌ها نیز همانند دیگر فیلم‌های پروتئینی شدیداً آبدوست هستند. به همین دلیل، با افزایش فعالیت آبی، میزان جذب رطوبت در آن‌ها افزایش می‌یابد. همانند دیگر فیلم‌های پروتئینی، می‌توان ویژگی‌های مکانیکی و عملکردی این نوع از فیلم‌ها را از طریق ایجاد پیوندهای عرضی با استفاده از ترکیباتی همچون فرم آلدهید، گلی اکسال[10] و گلوتارالدئید[11] بهبود بخشید. به طوری که مطالعات مارکوئی[12] (۲۰۰۱)، بر روی اثر سه ترکیب فرم آلدهید، گلوتارالدهید و گلی‌اکسال بر ویژگی‌های عملکردی فیلم پنبه دانه نشان داد، افزودن فرم آلدهید منجر به تولید فیلم مقاوم‌تری نسبت به دیگر ترکیبات می‌شود [١٦] .

٦- نتیجه گیری

همانگونه که از بررسی تحقیقات انجام گرفته برمی‌آید، فرآیند طراحی و تولید فیلم‌های خوراکی و زیست تخریب‌پذیر بر پایه پروتئین، علی‌رغم سادگی روش تولید، از پیچیدگی خاصی برخوردار است. به طوری که هر یک از عوامل، نوع پروتئین، غلظت پروتئین در حلال، نوع و pH حلال، نوع و غلظت نرم‌کننده و روش تولید در تعیین ویژگی‌های عملکردی فیلم حاصل تأثیر به سزایی دارد، لذا در تولید این نوع فیلم‌ها با در نظر گرفتن نوع ماده غذایی و ماهیت آن و نیز انتظارهای مورد نظر از بسته‌بندی بایستی فرمولاسیون فیلم تنظیم گردد. همچنین به دلیل ماهیت آبدوستی این نوع از فیلم‌ها، جهت بسته‌بندی مواد غذایی حساس به رطوبت حضور یک ترکیب لیپیدی(تشکیل فیلم امولسیونی)، لمینیت کردن با بیوپلیمرهای دیگر و یا استفاده از اتصال‌دهنده‌های عرضی می‌تواند مفید باشد. در نهایت با توجّه به وجود پتانسیل

10- Glyoxal
11- Glutaraldehyde
12- Marquie

بالا در صنایع مختلف کشور، استفاده از محصولات فرعی کارخانجات که اکثراً دور ریخته می‌شوند(مانند آب پنیر) و یا مصارف محدودی دارند(مانند کنجاله دانه‌های روغنی و سبوس برنج که به مصرف دام و طیور می‌رسد) در تولید فیلم و ترکیبات بسته‌بندی نه تنها به کاهش آلودگی زیست محیطی کمک شایانی می‌کند بلکه ایجاد ارزش افزوده فراوانی نیز خواهد کرد، که این امر، مستلزم مطالعات بیشتر و منسجم‌تر و ترغیب سرمایه‌داران به سرمایه‌گذاری در این زمینه می‌باشد. نکته حائز اهمیت دیگر، این است که در صورت خوراکی بودن این نوع از بسته‌بندی (پایه پروتئینی) به طور غیرمستقیم ارزش غذایی محصول نیز افزایش می‌یابد.

۷- منابع

۱. مقصودلو، ی.، دهناد، د. و دهقان سکاچای، الف. (۱۳۹۳). «**نوآوری‌ها در بسته‌بندی مواد غذایی**»، گرگان : انتشارات مؤسسه آموزش عالی گلستان.

۲. قنبرزاده، ب.، الماسی، ه. و زاهدی، ی. (۱۳۸۸).«**بیوپلیمرهای زیست تخریب‌پذیر و خوراکی**»، تهران: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

۳. تاجیک، ح.، رضوی روحانی، س.م.، مرادی، م. و فرهنگ فر، ع. (۱۳۹۱). «**بررسی ویژگی‌های ضدباکتریایی فیلم خوراکی زئین حاوی اسانس آویشن شیرازی و مونولورین بر علیه لیستریا مونوسیتوژنز و اشرشیاکلی O157:H7 در شرایط آزمایشگاهی**»، مجلّه پزشکی ارومیه، ۳: ۲۳۲-۲٤۰.

٤. قنبرزاده، ب. و الماسی، ه.(۱۳۸۸). «**مروری بر ویژگی‌های کاربردی فیلم‌های زیست تخریب‌پذیر خوراکی حاصل از پروتئین گلوتن گندم**»، نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران، شماره۳. ۱-۱۰.

۵. جونگ، اچ.هان،(۱۳۹۳). «**نوآوری‌ها در بسته‌بندی مواد غذایی**»، ترجمه یحیی مقصودلو، دانیال دهناد و آتنا دهقان سکاچائی، گرگان: مؤسسه آموزش عالی گلستان.

6. Guerrero, P., Garrido, T., Leceta, I. and de la Caba, K., (2013).**"Films based on proteins and polysaccharides: preparation and physical-chemical characterization",** European polymer journal, 49: 3713- 3721.
7. Cuq, B., Gontrad, N. and Guilbert, S.,(1998). **"Proteins as agricultural polymers for packaging production",** Cereal chemistry, 75: 1-9.
8. Shukla, R. and Cheryan, M.,(2001). **"Zein: the industrial protein from corn"**, Industrial crops and products, 13: 171-192.
9. Ghanbarzadeh, B., Oromiehie, A., Musavi, M., Razmi, E. and Milani, J., (2006).**"Effect of polyolic plasticizers on rheological and thermal properties of zein resins"**, Iranian polymer journal, 15: 779-787,
10. Liang, J., Xia, Q., Wang, S., Li, J., Huang, Q. and D.Ludescher, R., **(**2015).**"Influence of glycerol on the molecular mobility, oxygen permeability and microstructure of amorphous zein films"**, Food hydrocolloids, 44: 94-100.
11. Lens, J.P., de Graff, L.A., Stevels, W.M., Dietz, C.H.J.T., Verhelst, K.C.S., Vereijken, J.M. and Kolster, P.,(2003). **"Influence of processing and storage conditions on the mechanical and barrier properties of films cast from aqueous wheat gluten dispersions"**, Industrial crops and products, 17: 119-130.
12. Wihodo, M. and Moraru, C.I., **(**2013.). **"Physical and chemical methods used to enhance the structure and mechanical properties of protein films: A**

review", Food engineering, 114: 294-302.
13. Garrido, T., Etxabide, A., Penalba, M., de la Caba, K. and Guerrero, P., (2013).**"Preparation and characterization of soy protein thin films: processing-properties correlation"**, Material letters, 105: 110-112.
14. Gonzalez, A., Igarzabal, C.I.A., **"Soy protein-poly (lactic acid) bilayer films as biodegradable material for active food packaging"**, Food hydrocolloids, 33: 284-296, 2013.
15. Friesen, K., Chang, C. and Nickerson, M., **(**2015).**"Incorporation of phenolic compounds, rutin and epicatechin, in to soy protein isolate films: mechanical, barrier and cross-linking properties"**, Food chemistry, 172: 18-23.
16. Marquie, C.,(2001). **"Chemical reactions in cottonseed protein cross-linking by Formaldehyde, Glutaraldehyde, and Glyoxal for the formation of protein films with enhanced mechanical properties",** Agric.Food.Chem, 49: 4676-4681.

آدرس نویسنده

استان مازندران- دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آیت الله املی، آمل، مازندران، ایران.