

فیلم های خوراکی: شاخص های کیفی و روش های تولید

سیدامیر محمد مرتضویان^{1*}، محمد حسین عزیزی²، سارا سهراب وندی³

1- عضو هیات علمی دانشکده تغذیه و صنایع غذایی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی.

2- عضو هیات علمی گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

3- عضو هیات علمی انستیتوی تحقیقات تغذیه و صنایع غذایی کشور، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی.

(تاریخ دریافت: 88/1/18 تاریخ پذیرش: 88/12/3)

چکیده

زیست-کافت بودن (تجزیه پذیر بودن زیستی)، خوراکی بودن و کارآمد بودن فیلم های خوراکی سبب شده است که این فیلم ها به عنوان جایگزین های فیلم های سنتزی به طور وسیع مورد مطالعه، پژوهش و کاربرد قرار گیرند. از جمله کاربردهای فیلم های خوراکی در ارتباط با مواد غذایی می توان به پوشش دادن فرآورده های قنادی، میوه ها و سبزی های تازه، برخی فرآورده های گوشتی، برخی فرآورده های لبنی، شکلات، تنقلات، غلات صبحانه ای، طیور و ماهی، فرآورده های منجمد، فرآورده های خشک شده و خشک شده انجمادی و نظایر اینها اشاره داشت. کارآیی فیلم های خوراکی به شاخص های کیفی آن ها مربوط می شود. این شاخص ها نیز به نوبه خود از جنس فیلم و روش تولید آن اثر می پذیرند. در این مقاله، شاخص های کیفی فیلم های خوراکی، روش های سنجش این خواص و روش های پایه ای تولید آن ها مورد مرور قرار می گیرد.

کلید واژه گان: بسپار، پوشش، زیست-کافت، فیلم خوراکی

1- مقدمه

گسترده⁶ محلول های فیلم ساز روی یک سطح و خشک کردن آن پدید می آیند. پوشش های خوراکی⁷ در اثر غوطه ور کردن مواد غذایی در محلول های سازنده یا پاشیدن (اسپری کردن) محلول سازنده بر سطح آن ها و در نتیجه، آغشته شدن سطح مواد غذایی ایجاد می شوند.

امروزه، در بسته بندی مواد غذایی، فیلم های خوراکی به طور روز افزون جایگزین فیلم های پلیمری سنتزی می شوند [4]. از آن جمله می توان به پوشش دادن انواع این فیلم ها بر سطح فرآورده های غذایی نظیر فرآورده های قنادی⁸، میوه ها و

فیلم¹، پوششی یکنواخت و یکپارچه با ضخامت کمتر از 0/01 اینچ است [1]. فیلم های خوراکی² که در ارتباط با مواد غذایی کاربرد دارند، زیست-کافت³ هستند؛ یعنی قابلیت تجزیه شدن به عناصر ساده سازنده را به وسیله موجودات ذره بینی و ریز زنده های خاک دارند. به عبارت دیگر، با چرخه های زیستی طبیعی واپاشیده می شوند [2و3]. این فیلمها ممکن است تجزیه پذیر⁴ یا تجزیه ناپذیر⁵ باشند. ترکیبات سلولزی، پکتین، کیتین و کیتوزان از جمله مواد خوراکی هضم ناپذیر به شمار می آیند [3]. فیلم های خوراکی در اثر

* مسئول مکاتبات: mortazvn@sbmu.ac.ir

1. Film
2. Edible films
3. Biodegradable
4. Digestible
5. Non-digestible
6. Dispense
7. Edible coatings
8. Confectionary

ترکیبات پادمیکروبی¹⁰، پاداکسنده‌ها¹¹، مواد طعم‌دهنده و رنگ‌ها عمل می‌کنند [30]؛ مانع سبز شدن سطحی سیب‌زمینی در برابر نور می‌شوند [27] و جذب بیش از حد روغن به بافت محصول و خروج بیش از حد آب از آن را طی سرخ کردن به طور چشمگیر کاهش می‌دهند [23 و 31].

از آنجا که کارایی فیلم های خوراکی به شاخص های کیفی آن ها مربوط می شود و این شاخص ها نیز به نوبه خود از جنس فیلم ها و روش تولید آن ها اثر می پذیرند، در این مقاله، شاخص های کیفی فیلم های خوراکی و روش های پایه ای تولید آن ها مورد مرور قرار می گیرد.

2- شاخص های کیفی فیلم های خوراکی

به منظور ارزیابی کیفیت ساختاری - کاری فیلم های خوراکی، تعریف کردن و قرارداد کردن پاره‌ای شاخص های کیفی به همراه تبیین روش های سنجش آنها حایز اهمیت است. در این بخش، مهمترین این شاخص ها مورد اشاره قرار گرفته اند. شاخص های مورد بحث را می توان به دسته های گوناگون شامل شاخص های مربوط به خواص ممانعتی، مکانیکی، ظاهری، شیمیایی، ریزساختاری¹²، حسی و نظایر اینها تقسیم کرد.

2-1- شاخص های مربوط به خواص

ممانعتی

گازهایی که بررسی خواص ممانعتی فیلم ها نسبت به آنها اهمیت دارد عمدتاً شامل اکسیژن، بخار آب و در مواردی دی اکسید کربن هستند. خواص ممانعتی فیلم های خوراکی به گازها / بخارات¹³ در صنعت غذا، در شرایطی که جلوگیری از پدیده های نامطلوبی نظیر از دست رفتن رایحه، جذب بوهای نامطلوب از محیط، از دست رفتن رطوبت غذا و جذب رطوبت از اتمسفر به غذاهای خشک مطرح باشد، از اهمیت فراوان برخوردار است [32]. به طور کلی فیلم های خوراکی به دلیل آبدوست بودن، از خواص ممانعتی مطلوب به O_2 و CO_2 به ویژه در رطوبت نسبی پایین برخوردار هستند [33]. عوامل محیطی دما و رطوبت نسبی سهم مهمی در تعیین میزان تراوایی این فیلم ها دارند [34]. در خصوص میوه ها و سبزی ها تازه که دارای تنفس هوایی هستند، نفوذپذیری نسبی فیلم ها به

سبزی های تازه، برخی فرآورده های گوشتی، برخی فرآورده های لبنی، شکلات، تنقلات¹، غلات صبحانه ای²، طیور و ماهی، فرآورده های منجمد، فرآورده های خشک شده و خشک شده³ انجمادی³ و نظایر اینها اشاره داشت [5 و 14 - 6]. نشاسته و مشتقات آن، سلولز و مشتقات آن، آرابینوزیلان ها، گالاکتومانان ها، آلزینات، ژلان، لوبیای خرنوب، پکتین، کیتوزان، کاراگینان، کلاژن، ژلاتین، گلو تن گندم، ژئین ذرت، پروتئین های میوفیبریلی گوشت، پروتئین های سویا، پروتئین های شیر، پروتئین بادام زمینی، پروتئین پنبه دانه و فیلم های با پایه لیپید از مهمترین مواد مورد استفاده در تهیه فیلم های خوراکی هستند [15].

پوشش محصولات غذایی با فیلم های خوراکی و پوشش های خوراکی، آنها را از مزایای گوناگون از نقطه نظر جنبه های سلامت بخش، حسی و اقتصادی برخوردار می سازد. برخی از مهمترین این مزایا به شرح زیر هستند: به سبب زیست کافت بودن، بر خلاف فیلم های سنتزی باعث آلودگی محیط زیست نمی شوند [16]؛ خود، از ارزش تغذیه ای نیز برخوردار هستند [16]؛ مانع فساد و آلودگی میکروبی می شوند [17 - 19]؛ فساد و پلاستیسیته⁴ میوه ها و سبزی ها را طی انبارداری به تعویق می اندازند [20 و 21]؛ ظاهر یا جلوه غذا را به نحو مطلوب حفظ می کنند [22 - 24]؛ مانع جذب رطوبت یا آگیری⁵ مواد غذایی با رطوبت کم و تبعات منفی ناشی از آن همچون بدبافتی⁶ حاصل از تبلور قندها در فرآورده، بدرنگی و جلوگیری از کلوخه شدن⁷ پودرها می شوند [25]؛ مانع از دست رفتن رایحه غذا می شوند [26]؛ مانع قهوه ای شدن آرزیمی و غیر آرزیمی مواد غذایی می شوند [21 و 27]؛ بر استحکام و یکپارچگی بافت مواد غذایی می افزایند [27]؛ از افت ترکیبات مغذی در اثر واکنش های ناخواسته همچون اکسایش و واکنش های قهوه ای شدن جلوگیری می کنند [4 و 27]؛ بدطعمی و بدرنگی و آثار سوء ناشی از آن ها را کاهش می دهند [4، 21، 28 و 29]؛ مانع چکیدن یا تراوش⁸ در گوشت می شوند [27]؛ به عنوان حامل⁹ مواد افزودنی نظیر

1. Snacks
2. Breakfast cereals
3. Freeze-dried
4. Faint
5. Moisture gain
6. Off texture
7. Granules
8. Drip or leach or exudation
9. Carrier

10. Antimicrobial
11. Antioxidants
12. Microstructural
13. Gas/vapor barrier properties (GBP or VBP)

طول کشیده شده فیلم تا نقطه پاره شدن آن اندازه گیری شود، از اصطلاح «کشیدگی در پارگی = EB¹³» استفاده می شود [37] و [38]. در صورتی که نسبت طول کشیده شده فیلم به طول نخستین آن پیش از نقطه پاره شدن به صورت درصد گزارش شود، اصطلاح «درصد کشیدگی = PE¹⁴» کاربرد دارد [30]. این شاخص را «مقاومت به پاره شدن = TR¹⁵» نیز نامیده اند [30]

2-2-2- مقاومت به سوراخ شدن (PS)¹⁶

حداکثر تنش لازم برای سوراخ شدن یا پاره شدن فیلم و یا رسیدن به حدی از کشیدگی¹⁸ طی آزمون فشاری¹⁹ با محور²⁰ است. مقاومت به سوراخ شدن با آزمون نفوذ²¹ سنجیده می شود. این آزمون روشی مناسب برای سنجش استحکام مکانیکی²² فیلم است [23، 39 و 40].

2-2-3- خواص شکند (FP)²³

مقدار نیروی لازم برای آغاز از بین رفتن پیوستگی ساختار جسم (ایجاد شکست ساختاری) در نقاط مختلف بافت است. این خواص با دستگاه بافت سنج²⁴ اندازه گیری می شود [35].

2-2-4- مدول الاستیک (EM)²⁵

نمایاگر مقدار نیروی لازم برای تغییر شکل جسم الاستیک تا حدی مشخص است. مدول الاستیک با دستگاه بافت سنج اندازه گیری می شود [41]. کاربرد واژه سختی²⁶ نیز در این ارتباط مرسوم است [42].

2-2-5- بیشینه بار (ML)

نمایانگر حداکثر نیرویی است که فیلم بدون تغییر شکل تحمل می کند. بیشینه بار با دستگاه بافت سنج سنجیده می شود [41].

گازهای اکسیژن و دی اکسیدکربن و نیز سایر گازها نظیر اتیلن ضرورت دارد. حفظ شرایط تنفس پایه و حداقل در میوه ها و سبزی ها و در نتیجه کاهش سرعت تصاعد گاز اتیلن به اتمسفر انبار بر طول عمر این محصولات می افزاید. قطع کامل تنفس سبب پلاسیدگی زودرس در محصولات یادشده می شود [20 و 21]. زیاد بودن رطوبت در مواد غذایی باعث واکنش های شیمیایی و آنزیمی مخرب¹ و زایل شدن² بافت آن ها می شود [33]. به طور کلی، خواص ممانعتی فیلم های زیست - پلیمری به رطوبت به دلیل خاصیت آبدوستی آن ها، بر خلاف خواص ممانعتی به اکسیژن و سایر گازها، ضعیف است [35]. ممانعت به جذب رطوبت علاوه بر اثرات یاد شده، از کلوخه شدن طی بسته بندی، نگهداری و حمل و نقل جلوگیری می کند [34]. ممانعت به عبور بخار آب با شاخص «تراوایی بخار آب = WVP³» یا «سرعت گذر بخار آب = WVTR⁴» [20 و 30] و ممانعت به عبور اکسیژن با شاخص «تراوایی اکسیژن = OP⁵» یا «سرعت گذر اکسیژن = OTR⁶» سنجیده می شود [18]. اندازه گیری میزان تراوایی به گازها با استفاده از سلول های گذر گازی⁷ یا نمونه برداری مداوم از فضای خروجی فیلم با روش کروماتوگرافی گازی پویا⁸ [32] امکان پذیر است. شاخص OTR⁹ نیز به منظور برآورد میزان عبور روغن از فیلم قابل تعریف است. در ارتباط با مواد بودار نیز می توان به تعریف شاخص های مربوط پرداخت.

2-2- شاخص های مربوط به خواص مکانیکی

خواص مکانیکی فیلم ها به نیروهای بین مولکولی زنجیرهای پلیمری سازنده آن ها، نسبت ترکیبات سازنده، افزودنی های اضافه شده و شرایط محیطی بستگی دارد [4، 27 و 34]. مهمترین شاخص های سنجش خواص مکانیکی به قرار زیر هستند:

2-2-1- استحکام کششی (TS¹⁰ یا ES¹¹)

استحکام کششی، حداکثر تنش لازم برای پاره شدن فیلم طی آزمون کششی است. استحکام کششی با دستگاه تجزیه و تحلیل بافت¹² اندازه گیری می شود [4، 20 و 36]. هنگامی که

1. Deteriorative chemical enzymatic reactions
2. Degradation
3. Water vapor permeability
4. Water vapor transmission rate
5. Oxygen permeability
6. Oxygen transmission rate
7. Gas transmission cells
8. Dynamic GC
9. Oil transmission rate
10. Tensile strength
11. Elongation/extension strength
12. Texture analyzer

13. Elongation-at-break
14. Percent elongation
15. Tear resistance
16. Puncture strength
17. Rupture
18. Elongation limit
19. Compressive test
20. Probe
21. Penetration test
22. Mechanical strength
23. Fracture properties
24. Texturometer
25. Elastic modulus
26. Rigidity or toughness

2-3-3- ضخامت¹⁸ [34]

ضخامت فیلم ها با دستگاه های ویژه ضخامت سنج تعیین می شود.

2-3-4- شاخص های مربوط به خواص حسی

این خواص از طریق ارزیابی حسی¹⁹ سنجیده می شوند و مهمترین آنها حس دهانی²⁰ و بررسی احتمالی پس-طعم های نامطلوب است [29]. برای مثال ساختار شیمیایی مواد چرب و ساختار بلوری²¹ و فشردگی مولکولی²² برخی از ترکیبات ممکن است سبب ایجاد احساس دهانی نامطلوب مومی²³ شود [29].

2-4- شاخص های مربوط به خواص

شیمیایی

از آن جمله می توان به پایداری شیمیایی فیلم ها نسبت به pH، اسید و حلال های آلی، کشش سطحی محلول فیلم ساز یا ژل تشکیل شده، حلالیت در آب²⁴، چسبندگی²⁵ به ماده غذایی و سایر مواد دارای تماس خارجی، قابلیت خیس خوردن²⁶ و تمایل هم چسبی²⁷ فیلم ها به یکدیگر در مواد غذایی مرکب که اجزای فیلم پوش شده آنها در تماس با یکدیگر قرار دارند اشاره کرد [4، 27 و 34]. پایداری امولسیون فیلم از شاخص های با اهمیت دیگر است. عدم پایداری امولسیون در ساختار فیلم به پدیده هایی همچون خامه

ای شدن¹ و هم آمیزی² و در نتیجه آن ایجاد ساختار شبه دو لایه³ منجر می شود [47]. گاه چنین پیامدی ممکن است مفید واقع شود. برای مثال شواهد آشکار ساخته اند که هر چه میزان پدیده های یاد شده در فیلم آرابینوزیلان⁴— روغن هیدروژنه

2-2-6- مدول ذخیره (E')¹ و تانژانت زاویه فازی

$$^2(\tan d)$$

مدول ذخیره نشانگر خاصیت الاستیک جسم در آزمون نوسانی³ است. تانژانت زاویه فازی بر نسبت مدول افت⁴ به مدول ذخیره⁵ دلالت دارد. این شاخص ها با دستگاه تحلیل گر گرمایی - مکانیکی پویا⁶ اندازه گیری می شوند و آزمون انجام شده را تجزیه و تحلیل مکانیکی پویا - گرمایی (DMTA)⁷ می نامند. این آزمون به بررسی اثر تنش های مکانیکی پویا همراه با تنش های گرمایی بر خواص مکانیکی فیلم ها می پردازد [43 و 44].

2-2-7- ویسکوالاستیسیته⁸

ویسکوالاستیسیته نمایانگر دارا بودن هر دو ویژگی ویسکوز و الاستیک در جسم است. این ویژگی از طریق آزمون تنش - استراحت⁹ ارزیابی می شود [45].

2-3-3- شاخص های مربوط به خواص فیزیکی ظاهری

2-3-1- شفافیت¹⁰ یا کدری/ماتی¹¹

از شفافیت یا کدری گاه تحت عنوان شیشه ای بودن¹² و ابری بودن یا مه - گون بودن¹³ از آن یاد می شود [30]. این شاخص با آزمون های طیف سنجی نوری¹⁴ و تفرق نوری¹⁵ مورد سنجش قرار می گیرد [20].

2-3-2- تورم پذیری¹⁶

این شاخص که با آزمون تورم سنجی¹⁷ اندازه گیری می شود، نشان دهنده ظرفیت جذب آب یا فاز مایع به وسیله فیلم است [2، 42 و 46].

1. Storage modulus
2. The tangent of the phase angle
3. Oscillatory test
4. Loss modulus
5. Storage modulus
6. Dynamic mechanical thermal analyzer
7. Dynamic-mechanical-thermal analysis
8. Viscoelasticity
9. Stress-relaxation testing
10. Transparency
11. Opacity
12. Gloss
13. Haze
14. Spectrophotometry
15. Light scattering/diffraction
16. Swelling property
17. Swelling test

18. Thickness
19. Sensory evaluation
20. Mouthfeel
21. Crystalline structure
22. Packing
23. Waxy mouthfeel
24. water solubility
25. Sticking or adhesion
26. Wetability
27. Agglomeration tendency
1. Creaming
2. Coalescence
3. Bilayer-like
4. Arabionxylane

اثرات ازدحام بار در نمونه نارسا¹⁹، باید سطح نمونه پیش از قرارگیری در مسیر باریکه الکترون²⁰ با ماده‌ای رسانا پوشش داده شود. دیگر آنکه برای جلوگیری از تبخیر آب بافت طی عملیات، نمونه باید آبدایی یا منجمد شود. هر دو پدیده یاد شده باعث ایجاد تغییرات محسوس در ساختار مولکولی نمونه‌ها می‌شوند. در مقابل، روش AFM حالت طبیعی²¹ بافت نمونه را بهتر حفظ می‌کند و از این رو در مطالعات دقیق‌تر بافت مورد استفاده دارد [48]. لازم است اضافه شود که روش طیف‌سنجی لومینانس²² نیز در بررسی جزئیات مولکولی بافت به کار برده شده است [49 و 50].

3- روش‌های تولید فیلم‌های خوراکی

به طور کلی فیلم‌های خوراکی از محلول‌ها یا پراکنش‌ها (دیسپرسیون‌ها)ی ترکیبات فیلم‌ساز²³ پدید می‌آیند [33]. اجزای اصلی فیلم‌سازی را می‌توان به سه بخش شامل حلال، پلیمر/ پلیمرهای با وزن مولکول بالا و نرم کننده²⁴ تقسیم کرد. ریخت‌سازها باید همچون پلیمرها محلول در حلال و نیز با آنها قابل امتزاج باشند [42 و 48]. تولید فیلم مستلزم وجود دست کم یک ترکیب پلیمری است که قادر به ایجاد ساختار شبکه‌ای²⁵ با استحکام و پیوستگی کافی باشد [51]. در ارتباط با تولید فیلم‌های خوراکی، نکات و ظرایف فراوان وجود دارند که هر یک بر خواص نهایی فیلم‌های تولید شده اثر قابل ملاحظه دارند. از جمله آنها می‌توان به اثر عواملی نظیر جنس و غلظت پلیمر فیلم‌ساز، pH محلول لفاف‌ساز، دما، زمان، قدرت یونی محلول فیلم‌ساز، نوع و مقدار افزودنی‌های مورد استفاده، فشار، نوع ترکیب‌بندی فیلم از نظر ساده یا مرکب بودن و مخلوط یا لایه‌ای بودن (قرارگیری دو یا چند لایه مجزا روی یکدیگر یا مخلوط شدن اجزا)، جزییات مربوط به خواص شیمیایی هر یک از اجزای فیلم‌ساز، حضور الکترولیت‌ها و روش تولید فیلم اشاره داشت [5، 20، 48 و 52]. برای مثال، در ارتباط با غلظت پلیمر فیلم‌ساز دانسته شده است که محلول‌های WPI با غلظت 8% تشکیل فیلم نمی‌دهند، زیرا پس از خشک کردن، نیروهای بین مولکولی

شده هسته خرما - امولسیون‌کننده بیشتر باشد، WVP فیلم کاهش می‌یابد.

در پژوهش یاد شده، ساختار شبه دو لایه بر اثر استفاده از دمای بالای خشک کردن ایجاد شد و خواص کاری فیلم‌های خوراکی با پایه آرابینوزیلان را بهبود داد [47].

2- 5- شاخص مربوط به خاصیت گرمایی

از جمله این شاخص‌ها می‌توان به تخریب گرمایی⁵ یا پایداری گرمایی⁶، ضریب انتقال شیشه‌ای، نقطه ذوب و کریستالی شدن اشاره کرد. روش‌های سنجش این شاخص‌ها، گرما - ثقل‌سنجی⁷، طیف‌سنجی زیر قرمز (IS)⁸ و گرماسنجی تصویربرداری افتراقی (DSC)⁹ است [25 و 43]. گاه از واژه تجزیه و تحلیل گرمایی¹⁰ بدین منظور استفاده می‌شود [2 و 46].

2- 6- شاخص‌های مربوط به خواص

ریزساختاری

تجزیه و تحلیل ریزساختار¹¹ فیلم‌ها با استفاده از شاخص‌هایی نظیر جزئیات ساختاری¹² واکنش‌های بین اجزای سازنده فیلم، آرایش زنجیرهای پلیمری و کریستالی شدن آنها، هموارسنجی سطح فیلم و نظایر اینها امکان‌پذیر است [2، 4، 27، 46 و 48]. به منظور مشاهده جزء به جزء اجزای سازنده فیلم، روش‌های SEM¹³ [2، 4 و 46]، TEM¹⁴ [43] و AFM¹⁵ [43 و 48] به کار برده شده‌اند. مطالعه آرایش زنجیرهای پلیمری و کریستالی شدن با روش افتراق پرتو X¹⁶ [48] و بررسی واکنش‌های بین اجزای سازنده فیلم با روش‌های افتراق پرتو X و FTIR¹⁷ [23، 30 و 37] امکان‌پذیر است. بررسی همگنی¹⁸ بافت با روش SEM انجام می‌شود [25]. استفاده از روش SEM در مطالعات بافت با دو محدودیت همراه است: نخست اینکه به منظور جلوگیری از

5. Thermal degradation
6. Thermal stability
7. Thermogravimetry
8. Infrared spectroscopy
9. Differential scanning calorimetry
10. Thermal analysis
11. Structural analysis
12. Detail structure
13. Scanning electron microscopy
14. Transmission electron microscopy
15. Atomic force microscopy
16. X-ray diffraction
17. Fourier-transform infrared spectroscopy
18. Homogeneity

19. Nonconductive-specimen charging effects
20. Electron beam
21. Natural state
22. Luminescence spectroscopy
23. Film-forming agents
24. Plasticizer
25. Structural matrix

لایه سازی، برس زنی¹¹، غرقابی یا غوطه‌وری¹² و پوشش‌دهی با بسترسیتال¹³ را شامل می‌شود [5, 26-29, 36, 40 و 51]. در تهیه محلول‌های امولسیون دارای چربی باید دقت شود که دمای امولسیون بالاتر از نقطه ذوب چربی و کمتر از نقطه ژلاتینه شدن پروتئین یا پلی‌ساکارید و نیز نقطه فرارایت¹⁴ حلال باشد [35]. همچنین باید توجه داشت که تولید فیلم‌های امولسیون با سرعت بیشتر انجام شود، در غیر این صورت ممکن است طی خشک کردن فیلم، ترکیبات لیپیدی در سطح آن مجتمع شوند [35]. روش‌های پوشش‌دهی مستقیم محلول فیلم‌ساز بر سطح غذا از اهمیت خاص برخوردار هستند. گفته شده است که استفاده از شیوه غرقابی یا غوطه‌وری بر شیوه افشانی ترجیح دارد، از این رو که به ایجاد پوشش یکنواخت¹⁵ می‌انجامد [40]. نیز دانسته شده است که شیوه برس مالی در مورد پوشش‌دهی فیلم‌های خوراکی با پایه سلولز بر توت فرنگی و دانه‌ها¹⁶ در مقایسه با روش‌های روکش دادن و غرقاب کردن بهترین نتیجه را به دست می‌دهد و از دست دادن رطوبت در این محصولات را به حداقل می‌رساند [56]: شیوه بسترسیتال به دلیل چندکارگی¹⁷ و سهولت¹⁸ بیشتر در ارتباط با شکل و ابعاد مواد غذایی در صنعت غذا کاربرد روبه رشد یافته است. نیز پژوهش‌ها نشان داده‌اند که مشکل هم‌چسبی ذرات غذا پس از پوشش یافتن با این روش (در شرایط افشاندن از بالا) در مورد صمغ‌ها از جمله لوبیای خرنوب، کربوکسی متیل سلولز (CMC) و آلزینات سدیم به حداقل می‌رسد [27]. شیوه بسترسیتال در واقع ترکیب دو فرآیند سیال‌سازی ذرات و تکه‌های مواد غذایی و افشاندن محلول فیلم‌ساز است. این محلول ممکن است از بالا، پایین یا به صورت زاویه‌دار (مورب) افشاندن شود که به ترتیب عنوان‌های «بسترسیتال - با افشاندن از بالا¹ / با افشاندن از پایین² و با افشاندن مورب³» را به خود می‌گیرد. این روش برای ریزپوشانی نیز کاربرد دارد [27].

برای تشکیل فیلم کافی نخواهند بود. غلظت 11% > نیز به تولید ژل طی گرما دادن می‌انجامد. از این رو غلظت‌های 12%- 8 در این ارتباط بهینه شناخته شده‌اند [53]. در ارتباط با جزییات مربوط به خواص شیمیایی اجزا می‌توان به تولید فیلم از شیر خشک بی‌چربی¹ اشاره داشت که طی این فرآیند، تبلور لاکتوز از تشکیل فیلم جلوگیری می‌کند [54]. دما بر دنا‌توره کردن پروتئین‌ها از شکل کروی به شکل رشته‌ای و نیز ایجاد برخی اتصالات عرضی میان - مولکولی اثر دارد. دماهای بالا ممکن است آبکافت² رشته‌های پروتئینی و افزایش حلالیت آنها را سبب شوند [5 و 55]. برای مثال، در مورد نقش تعیین‌کننده دما دانسته شده است که دمای 75°C به مدت زمان 30 دقیقه برای تشکیل فیلم‌های مناسب پروتئین‌های آب پنیر لازم است [53]. ریخت‌سازها از طریق کاهش نیروهای جاذبه بین مولکولی سبب کاهش شکنندگی³ و افزایش انعطاف‌پذیری⁴ فیلم می‌شوند. نیز بر شاخص‌های مقاومت به پاره شدن، مقاومت کششی و سختی آن اثر می‌گذارند [42]. شکل 1 نمایانگر مراحل تولید فیلم‌های خوراکی است. تولید این فیلم‌ها را می‌توان در دو قسمت شامل تشکیل فیلم به صورت مجزا و تشکیل فیلم به طور مستقیم بر سطح غذا مورد بررسی قرار داد. در حالت نخست، ابتدا فیلم ساخته شده و سپس بر سطح ماده غذایی پوشش داده می‌شود، حال آنکه در حالت دوم تشکیل فیلم و پوشش‌دهی آن بر سطح غذا در یک مرحله صورت می‌گیرد. هر یک از روش‌های بالا که مورد استفاده قرار گیرند، نخستین مرحله در تولید فیلم، تهیه محلول فیلم‌ساز⁵ است. این محلول، حلال، پلیمر فیلم‌ساز و افزودنی‌ها (از جمله ریخت‌سازها) را شامل می‌شود [52]. محلول فیلم‌ساز ممکن است از نوع تک‌ترکیب یا مخلوط (امولسیون) باشد. در شیوه تشکیل مجزای فیلم، محلول فیلم‌ساز پس از تهیه شدن با یکی از روش‌های لایه‌سازی⁶ یا ریخته‌گری⁷، گسترانده⁸ و خشک می‌شود. فیلم حاصل با روش‌های روکش‌دادن⁹ بر سطح ماده غذایی پوشش داده می‌شود. معادل این شیوه‌ها در روش پوشش‌دهی مستقیم فیلم بر غذا، شیوه‌های افشانی¹⁰

11. Brushing

12. Dipping/immersion

13. Fluidized bed

14. Solvent volatilization

15. Even coat

16. Beans

17. Versatility

18. Simplicity

1. Top-spray fluidized bed processing

2. Bottom-spray

3. Tangential-spray

1. Non-fat dry milk

2. Hydrolysis

3. Brittleness

4. Flexibility

5. Film-Forming solution

6. Lamination

7. Casting

8. Extend

9. Wrapping

10. Spraying

امواج فراصوت نیز می‌توانند از خواص اصلاح‌کننده بر فیلم‌ها برخوردار باشند [57 و 58]. لازم به توضیح است که تولید فیلم‌ها باید در شرایط پادعفونی یا اسپتیک¹⁸ انجام شود تا فیلم‌های تولید شده استریل باشند [38].

4- نتیجه‌گیری

فرآیند طراحی و تولید فیلم‌های خوراکی از پیچیدگی خاصی برخوردار است، از آن رو که طراحی و توسعه کارآمد آن به همکاری مشترک حوزه‌های شیمی، رئولوژی، ایمن‌شناسی، مهندسی مواد غذایی، تغذیه و فن‌آوری فرآورده‌های غذایی نیاز دارد. به رغم پژوهش‌های بسیار گوناگون انجام شده در این ارتباط، هنوز جای کار و پژوهش گسترده وجود دارد. طراحی و کاربست شیوه‌های بهینه و نوین تولید فیلم‌های خوراکی و مطالعه دقیق‌تر اثر فرآیند بر خواص مکانیکی، ممانعتی و ظاهری آنها، ساخت و استعمال فیلم‌های ویژه هر فرآورده، بررسی جذب سطحی مواد بودار و سایر ترکیبات به فیلم، مهاجرت افزودنی‌ها از فیلم به توده غذا، نفوذپذیری انواع ترکیبات از محیط غذا به بیرون و از بیرون به محیط غذا از خلال فیلم‌های گوناگون، مطالعه دقیق‌تر خواص ایمن‌شناختی و تغذیه‌ای فیلم‌ها و اثر فرآیندهای گوناگون تولید و نگهداری بر تغییرات آنها، بررسی و بهبود خواص حسی فیلم‌ها، تهیه اقتصادی‌تر فیلم‌ها چه از نظر فرآیند تولید و چه از نظر ترکیبات فیلم‌ساز، تبیین و کاربرد روش‌های بهینه سنجش خواص کیفی فیلم‌ها از نقطه نظرات دقت، سرعت و سهولت و بهبود شیوه‌های تولید، همگی از جمله مواردی هستند که بر ضرورت انجام پژوهش بیشتر و گسترده‌تر در این حوزه صحه می‌گذارند.

قالب‌ریزی محلول‌های فیلم‌ساز برای تشکیل فیلم به شیوه‌های گوناگون امکان‌پذیر است. یکی از راه‌های آن قالب‌ریزی این محلول بر یک صفحه مسطح⁴ یا لاوک‌های پخت تفلن - پوش⁵ و سپس خشک کردن در کوره یا فر⁶ است. در صورتی که محلول فیلم‌ساز غلیظ و گرانبه⁷ باشد (مانند تفکیک شده پروتئین سویا)، شفته⁸ نامیده می‌شود و باید بر سطح قالب گسترده⁹ شود [5]. راه دیگر پرس کردن داغ ضمن روزن‌رانی¹⁰ است [26 و 28]. فیلم‌های قالب‌ریزی شده دارای معایبی هستند که از آن جمله می‌توان به دشواری در صنعتی کردن این روش در مقیاس کلان و نیز دشواری در چسبندگی و پوشش - بست¹¹ فیلم بر سطح مواد غذایی اشاره کرد [29].

آخرین مرحله در تولید فیلم، خشک کردن آن است. در بیشتر موارد، خشک کردن پس از گستراندن محلول فیلم‌ساز توسط هوا انجام می‌شود (24 ساعت در دمای اتاق). اما به منظور سرعت بخشیدن به کار، خشک کردن با دمای کوره و ریزموج¹² نیز به کار برده شده است [5 و 20]. استفاده از دماهای بالای خشک کردن مطلوب نیست، زیرا با تأخیر سریع و بیش از اندازه فیلم و در نتیجه آن پیدایش نقایصی همچون منافذ ریز¹³، ناهمگنی¹⁴، کدر شدن و زرد شدن فیلم همراه می‌شود [33 و 40]. طی فرآیند تولید فیلم، ممکن است از برخی فرآیندهای اصلاح‌کننده نظیر پرتودهی¹⁵، در معرض امواج فراصوت¹⁶ قرار دادن و جهت‌دهی¹⁷ استفاده شود. پرتودهی¹⁵ به ایجاد اتصالات جانبی میان زنجیرهای پلیمری سازنده فیلم و در نتیجه بهبود خواص مکانیکی - ممانعتی آن و همچنین استریل شدن فیلم منجر می‌شود [17 و 23]. جهت‌دهی از طریق تحت کشش قرار دادن فیلم باعث ردیف شدن و همسو شدن زنجیرهای پلیمری در کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها و همچنین بلورها (کریستال‌ها) در چربی‌ها می‌شود و از این طریق خواص مکانیکی فیلم را بهبود می‌دهد [33].

4. Flat plate
5. Teflon-coated baking pans
6. Oven
7. Viscose
8. Slurry
9. Spread
10. Extrusion and hot pressing
11. Coat-seal
12. Microwave
13. Pinholes
14. Non-uniformity
15. γ -irradiation
16. Ultrasound
17. Orientation

18. Aseptic

5- منابع

- [11] Williams, S. K., Oblinger, J. L. and West, R. L. 1978. Evaluation of a calcium alginate film for use on beef cuts. *Journal of Food Science*, 43: 292-296.
- [12] Lazarus, C. R., West, R. L., Oblinger, J. L. and Palmer, A. Z. 1976. Evaluation of a calcium alginate coating and a protective plastic wrapping for the control of carcass shrinkage. *Journal of Food Science*, 41: 639-641.
- [13] Meyer, R. C., Winter, A. R. and Weiser, I. I. 1959. Edible protective coatings for extending the shelf life of poultry. *Food Technology*, 13: 146-148.
- [14] Rice, J. 1994. What's new in edible films? *Food Processing*, 55: 61-62.
- [15] Mortazavian, A. M., Azizi, H. and Sohrabvandi, S. 2009. A review: Applicational edible films in food. *Iranian Journal of Food Science and Technology*. Accepted for publication.
- [16] Dewettinck, K., Deroo, L., Messen, W. and Huyghebaert, A. 1998. Agglomeration tendency during top-spray fluidized bed coating with gums. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 31: 576-584.
- [17] Ouattara, B., Canh, L. T., Vachon, C., Mateescu, M. A. and Lacroix, M. 2002. Use of γ -radiation the chemical stability of milk protein films. *Radiation Physics and Chemistry*, 63: 821-825.
- [18] Ayranci, E. and Tunc, S. 2002. A method for the measurement of the Oxygen permeability and the development of edible films to reduce the rate of oxidative reactions in fresh foods. *Food Chemistry*, 80: 423-431.
- [19] Coupland, J. N., Shaw, N. B., Monahan, F. J., O'Riordan, E. D. and O'Sullivan, M. 1999. Modeling the effect of glycerol on the moisture sorption behavior of whey protein edible films. *Journal of Food Engineering*, 43: 25-30.
- [20] Kaya, S. and Kaya, A. 1999. Microwave drying effects on properties of whey protein isolate edible films. *Journal of Food Engineering*, 43: 91-96.
- [21] Ozdemir, M. and Floros, J. D. 2000. Analysis and modeling of potassium sorbate diffusion through edible whey protein films. *Journal of Food Engineering*, 47: 149-135.
- [22] Foulk, J. A. and Bunn, J. M. 2000. Properties of compression-molded acetylated soy protein films. *Industrial Crops and Products*, 14: 11-22.
- [1] Ouattara, B., Simard, R. E., Piette, G., Begin, A. and Holley, R. A. 2000. Diffusion of acetic and propionic acids from chitosan-based antimicrobial packaging films. *Journal of Food Science*, 65: 768-773.
- [2] Figueiro, S. D. Goes, J. C., Moreira, R. A. and Sombra, A. S. B. 2004. On the physico-chemical and dielectric properties of glutaraldehyde crosslinked galactomannan-collagen films. *Carbohydrate Polymers*, 56: 313-320.
- [3] Liu, C. C., Tellez – Garay, A. M. and Castell-Perez, M. E. 2004. Physical and mechanical properties of peanut protein films. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 37: 731-738.
- [4] Lee, K. Y. Shim, J. and Lee, H. G. 2003. Mechanical properties of gellan and gelatin composite films. *Carbohydrate Polymers*, 56: 251-254.
- [5] Brandenburg, A. H., Weller, C. L. and Testin, R. F. 1993. Edible films and coatings from soy protein. *Journal of Food Science*, 58: 1086-1089.
- [6] Wanstedt, K. G., Seideman, S. C., Donnelly, I. S. and Quenzer, N. M. 1981. Sensory attributes of precooked, calcium alginate – coated park patties. *Journal of Food Protection*, 44: 732-735.
- [7] Stuchell, Y. M. and Krochta, J. M. 1995. Edible coating on frozen ding salmon: Effect on whey protein isolates and acetylated monoglycerides on moisture loss and lipid oxidation. *Journal of Food Science*, 60: 28-31.
- [8] Hwang, K. T., Rhim, J. W. and Park, I. J. 1997. Effects of k-carrageenan-based film packaging on moisture loss and lipid oxidation of mackerel mince. *Korean Journal of Food Science and Technology*, 29: 390-393.
- [9] Allen, I, Nelson, A. L., Steinberg, M. P. and McGill, J. N. 1963. Edible corn-carbohydrate food coating II. Evaluation on fresh meat products. *Food Technology*, 17: 1442-1446.
- [10] Gennadios, A., Hanna, M. A. and Kurth, L. B. 1997. Application of edible coatings on meats, poultry and seafoods: A review. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 30: 337-350.

- Gum) based edible films. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 33: 63-67.
- [35] Anker, M., Berntsen, J., Hermansson, A. M. and Stading, M. 2001. Improved water vapor barrier of whey protein film, by addition of an acetylated monoglyceride. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 3: 81-92.
- [36] Chick, J. and Ustunol, Z. 1998. Mechanical and barrier properties of lactic acid and rennet precipitated casein-based edible films. *Journal of Food Science*, 63: 1024-1027.
- [37] Xu, Y. X., Kim, K. M., Hanna, M. A. and Nag, D. 2004. Chitosan – starch composite film: preparation and characterization. *Industrial Crops and Products*, 21:185-192
- [38] Banerjee, R., Chen, H. and Wu, J. 1996. Milk protein-based edible film mechanical strength changes clue to ultrasound process. *Journal of Food Science*, 61: 824-828.
- [39] Rhim, J. W., Gennadios, A., Weller, C. L., Cezeirat, C. and Hanna, M. A. 1998. Soy protein isolate-dialdehyde starch films. *Industrial Crops and Products*, 8: 195-203.
- [40] Rayner, M., Ciolfi, V., Maves, B., Stedman, P. and Mittal, G. S. 2000. Development and application of soy-protein films to reduce fat intake in deep-fried foods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80: 777-782.
- [41] Longares, A., Monahan, F. J., O’Riordan, E. D. and O’Sullivan, M. 2004. Physical properties and sensory evaluation of WPI films of varying thickness. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 37: 545-550.
- [42] Mahmoud, R. and Savello, P. A. 1992. Mechanical properties and water vapor permeability through whey protein films. *Journal of Dairy Science*, 75: 942-946.
- [43] Simon-Lukasik, K. V. and Ludescher, R. D. 2004. Erythrosin B phosphorescence a probe of Oxygen diffusion in amorphous gelatin films. *Food Hydrocolloids*, 18: 621-630.
- [44] Fama, L., Rojas, A. M., Goyanes, S. and Gerschenson, L. 2005. Mechanical properties of tapioca-starch edible films containing sorbates. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 38: 631-639
- [45] Shellhammer, T. H., Rumsey, T. R. and Krochta, J. M. 1997. Viscoelastic properties of edible lipids. *Journal of Food Engineering*, 33: 305-320.
- [23] Lacroix, M. Le, T. C., Ouattara, B., Yu, H., Letendre, M., Sabato, S. F., Mateescu, M. A. and Patterson, G. 2002. Use of γ -irradiation to produce films from whey, casein and soya proteins structure and functionals characteristics. *Radiation Physics and Chemistry*, 63: 827-832.
- [24] Holownia, K. I., Erickson, M. C., Chinnan, M. S. and Eitenmiller, R. R. 2000. Tocopherol losses in peanut oil during pressure frying of marinated chicken strips coated with edible films. *Food Research International*, 34: 77-80.
- [25] Barreto, P. L. M., Pires, A. T. N. and Soldi, V. 2002. Thermal degradation of edible films based on milk proteins and gelatin in inert atmosphere. *Polymer Degradation and Stability*, 79: 147-152.
- [26] Arvanitoyannis, I. and Biliaderis, C. G. 1998. Physical properties of polyol-plasticized edible blends made of methyl cellulose and soluble starch. *Carbohydrate Polymers*, 38: 47-58.
- [27] Nussinovitch, A. 1997. *Hydrocolloid Application: Gum technology in the food and other industries*. Chapman & Hall, UK.
- [28] Cho, S. Y., Park, J. W. and Rhee, C. 2001. Properties of laminated films from whey powder and sodium caseinate mixtures and zein layers. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 35: 135-139.
- [29] Biquet, B. and Labuza, T. P. 1988. Evaluation of chocolate films as an edible moisture barrier, *Journal of Food Science*, 53: 989-998.
- [30] Shaw, N. B., Monahan, F. J., O’Riordan, E. D. and O’Sullivan, M. 2001. Effect of soy oil and glycerol on physical properties of composite WPI films. *Journal of Food Engineering*, 51: 299-304.
- [31] Greener, I. K. and Fennema, O. 1989. Evaluation of Edible, bilayer films for use as moisture barriers for food. *Journal of Food Science*, 54: 1400-1406.
- [32] Debeaufort, F. and Voilley, A. 1994. Aroma compound and water vapor permeability of edible films and polymeric packagings. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 42: 2871-2875.
- [33] Kester, J. J. and Fennema, O. 1976. Edible films and coatings: A review. *Journal of Food Science*, 40: 47-59.
- [34] Aydinli, M. and Tutas, M. 1999. Water sorption and water vapor permeability properties of polysaccharide (Locust Bean

- [52] Cug, B., Aymard., C., Cuq, J.L. and Guibert, S. 1995. Edible packaging films based on fish myofibrillar proteins. *Journal of Food Science*, 6: 1369-1374.
- [53] McHugh, T. H. and Krochta, J. M. 1994. Sorbitol-and glycerol – plasticized whey protein edible films. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 42: 841-845.
- [54] Maynes, J. R. and Krochta, J. M. 1994. Properties of edible films from total milk protein. *Journal of Food Science*, 59: 909-911.
- [55] Bain, W. M., Circle, S. J. and Olson, R. A. 1961. *Synthetic and Protein Adhesives for Paper Coating*. TAPPI, New York, USA.
- [56] Ayranci, E. and Tunc, S. 1997. Cellulose-based edible films and their effects on fresh beans and strawberries. *Z Lebensm Unters Forsch A*, 205: 470-473.
- [57] Yuki, E. and Ishikawa, Y. 1976. Tocopherols of nine vegetable frying oils and their changes under simulated deep fat frying conditions. *Journal of the American Oil Chemist Society*, 53: 673-676.
- [58] Kester, J. J. and Fennema, O. 1989. An edible film of lipids and cellulose ethers. *Journal of Food Science*, 54: 1391-1392.
- [46] Lieberman, E. R. and Gilbert, S. G. 1973. Gas permeation of collagen films as affected by cross-linkage, moisture, and plasticizer content. *Journal of Polymer Science*, 41: 33-43.
- [47] The, D. P., Debeaufort, F., Peroval, C., Despre, D., Courthaudon, J. T. and Voilley, A. 2002. Arabinoxylan – Lipid – based edible films and coatings. 3. Influence of drying temperature on film structure and functional properties. *Journal of Agriculture and Food chemistry*, 50: 2423-2428.
- [48] Lent, L. E., Vanasupa, L. S. and Tong, P. S. 1998. Whey protein edible film structures determined by atomic force microscope. *Journal of Food Science*, 63: 824-827.
- [49] Lakowicz, J. R. 1999. *Principles of fluorescence spectroscopy*. Plenum Press, New York, USA.
- [50] Slavik, J. 1994. *Fluorescent probes in cellular and molecular biology*, Boca Raton, FL, CRC Press, USA.
- [51] Mariniello, L., Di Pierro, P., Esposito, C., Sorrention, A., Masi, P. and Porta, R. 2003. Preparation and mechanical properties of edible pectin-soy flour films obtained in the absence or presence of transglutaminase. *Journal of Biotechnology*, 102: 191-198.

Edible films: Qualitative parameters and production methods

Mortazavian, A. M. ^{1*}, Azizi, M. H. ², Sohrabvandi, S. ³

1. Department of Food Technology, Faculty of Nutrition Sciences and Food Technology/National Nutrition and Food Technology Research Institute, Shahid Beheshti University
2. Department of Food Science and Technology Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University
3. Department of Food Technology, National Nutrition and Food Technology Research Institute, Shahid Beheshti University

(Received:88/1/18 Accepted: 88/12/3)

Being biodegradable, edible and efficient have caused edible films to be widely investigated and used as a good replacement for synthetic materials in packaging of food products. Coating confectionaries, fresh fruits and vegetables, some meat products, some dairy products, chocolate, snacks, breakfast cereals, fish and poultries, frozen products, dried and freeze dried products are from those food materials that are regularly coated by edible films. The efficiency of edible films depends on their quality parameters, the latter are principally affected by the type of film-producing materials as well as its method of preparation. This article reviews quality parameters of edible films, their test methods and principal production techniques.

Keywords: Biodegradable, Coating, Edible film, Polymer

* Corresponding author E-mail address: mortazvn@sbmu.ac.ir