مروری بر فرآیند تولید فیلم‌های خوراکی(ترجمه)

زهرا جعفری[1]. سونیا طاهری[2]. آتنا السادات مظلوم[3*]

تاریخ دریافت مقاله: بهمن ماه ۱۳۹۳

تاریخ پذیرش مقاله: مرداد ماه ۱۳۹٤

چکیده

فیلم‌های خوراکی با دو مشخصه اساسی تعریف می‌شوند. نخست: خوراکی بودن که بیان‌کننده آن است که فیلم و تمام اجزای آن، باید برای خوردن امن بوده یا به طور کلی هر میزان مصرف آن برای بدن عارضه ایجاد نکند یعنی مطابق با تعریف سازمان غذا و داروی آمریکا باشند. دوم، ماده تشکیل‌دهنده فیلم‌های خوارکی، معمولاً باید یک هیدروکلوئید یا پلیمر حلال در آب باشند. به علاوه، این فیلم‌ها باید با تجهیزات و امکاناتی مناسب فرآیند تولید محصولات خوراکی، تولید شوند. پوشش خوراکی بکار رفته در میوه‌ها، سبزیجات، گوشت و سایر محصولات خوراکی که برای محافظت یا بهبود ظاهر آن‌ها استفاده می‌شود اغلب فیلم‌های خوراکی نامیده می‌شوند. فیلم‌های خوراکی را می‌توان مستقیماً مصرف کرد(مثل فیلم خوشبوکننده دهان) یا می‌توان برای پوشاندن محصولات خوراکی استفاده نمود که در این صورت، لفافه‌ای یا لایه‌ای را بر روی سایر محصولات خوراکی تشکیل می‌دهند. در بیشتر موارد، این فیلم‌ها قابل حل در آب هستند و به سرعت در آب یا دهان حل می‌شوند. با این حال، برخی مؤلفه‌های فیلم‌های خوراکی(مثل لاک یا پروتئین سویا) می‌توانند غیرقابل حل در آب باشند؛ اما در صورت مصرف، هضم می‌شوند. فیلم‌های خوراکی به روش‌های مختلفی تولید می شود از قبیل روش پوشش دهی تیغه‌ای قابل تنظیم، پوشش‌دهی میله‌ای، پوشش‌دهی تیغه‌ای و پوشش دهی اکستروژنی شیاردار که در این مقاله به آن‌ها اشاره خواهد شد.

واژه‌های کلیدی

فیلم خوراکی، بسته‌بندی، پوشش‌دهی[4]، خشک کردن[5].

۱- مقدمه

قرن‌هاست مردم بدون آنکه متوجّه باشند از فیلم خوراکی استفاده می‌کنند. لفافه سوسیس، جلبک دریایی (نوری[6]) برای پوشش سوشی و ورق برنج برای لفافه آبنبات قندی، تنها چند نمونه هستند. تولید تجاری فیلم‌های خوراکی بر پایه پلیمر، با استفاده از روش‌های مدرن ریخته‌گری و خشک کردن در حدود سال ۱۹٦۰ آغاز شد. هیدروکسی پروپیل متیل سلولز[7](HPMC)، پلیمری با درجه خوراکی که توسط شرکت شیمیایی دوو[8] تولید شد، برای تولید فیلم خوراکی مورد استفاده قرار

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد ، گروه صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد آیت الله آملی(zahra.jafari@yahoo.com).

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد ، گروه صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد آیت الله آملی(sonya.taheri@yahoo.com).

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین- پیشوا.

(* مترجم مسئول: Atena.mazloom@uahoo.com)

4- Coating

5- Drying

6- Nori

7- Hydroxy Propyl Methyl Cellulose

8- Doo

گرفت. این فیلم‌ها با میزان مشخصی از ویتامین‌ها و املاح معدنی غنی شده و برای صنعت پخت و پز استفاده می‌گردید. این کاربرد به صورت پیشرو باقی‌مانده و تا امروز به طور مداوم مورد استفاده قرار گرفته است. در طی سال‌ها فیلم‌های خوراکی زیادی توسعه یافته که برای این منظور تقریباً هر پلیمر قابل خوردنی بکار گرفته شده است. اترهای سلولز، نشاسته ها، پکتین[1]، آلژینات‌ها[2]، ژلاتین[3]، پولولان[4] و ترکیب این مواد معمولاً کاربرد تجاری دارد. بسیاری از پلیمرهای طبیعی و مصنوعی دیگر، همچنین عصاره پروتئین(مثل سویا و آب پنیر)، به صورت تجاری در حجم‌های کوچک‌تر استفاده شده‌اند. تعداد کمی از شرکت‌ها در ایالات متحده و سرتاسر دنیا تجهیزات و امکاناتی را برای تولید فیلم‌های خوراکی ساخته و توسعه داده‌اند. این تجهیزات در موقعیت مناسب کارخانه برای تولید تجاری خوراک، محصولات مراقبت شخصی، و محصولاتی جهت مبارزه با مواد مخدر نصب شده اند. تمام این امکانات مطابق شیوه‌های استاندارد تولید[5](GMP) ایجاد شده است.

۲- کاربرد فیلم‌های خوراکی

کاربردهای تجاری برای فیلم های خوراکی همچنان در چنان فضای سریعی بروز می کنند که هیچ لیست جامعی نمی‌تواند جاری و کامل باشد. بهبود در فرمولاسیون و روش های ساخت فیلم به گسترش سودمند این فیلم ها کمک می‌کند. بیشتر کاربردها در چند دستهٔ گسترده قرار می‌گیرند که در(جدول ۱) نشان داده شده است.

جدول ۱- کاربرد فیلم‌های خوراکی

دسته‌ها	کاربرد
بسته‌بندی	ویتامین‌ها، آنزیم‌ها، رنگ‌های خوراکی، افزودنی‌های خوراکی، ترکیبات آشامیدنی، سوپ،
فیلم‌های ساده	خوشبوکننده دهان، افزودنی‌های خمیردندان، شیرینی‌جات، برچسب‌ها، مواد غذایی که خاصیت دارویی دارند، داروهای بدون نسخه (OTC)، ضد بارداری
لفاف‌ها	ویتامین‌ها، طعم‌دهنده گوشت، سوشی، روکش‌های خوراکی، برّاق‌کننده گوشت، ترکیب چاشنی‌ها

۳- توسعهٔ محصول

در توسعه، فیلم‌های خوراکی بسیار مؤثرتر خواهد بود برای درک بهتر مفهوم فرمولاسیون، ارزیابی آزمایشگاهی و تولید نمونه تا تولید کامل کارخانه‌ای یک روش مشخصی را بکار گیریم. پیشرفت دقیق در هر کدام از این مراحل توسعه ای، برای تولید کارآمد فیلم های با کیفیت، ضروری است. توسعهٔ محصول با ایده یا مفهومی آغاز می شود که به روشنی بیان شده است. آنگاه چالش انتخاب ترکیبات، روش آماده سازی محلول و فرآیند خشک کنندگی است که فیلمی را با خصوصیات عملکرد مطلوب و با هزینه قابل قبول تولید کند. این توسعه معمولاً از توالی مشخصی از فعالیت‌ها پیروی می‌کند:

۳-۱- آزمایشگاه

- تعریف اهداف تولید
- انتخاب ترکیبات
- شبیه‌سازی فرآیندهای تولید
- آماده‌سازی و آزمایش فرمولاسیون فیلم
- پیشروی به سوی ارزیابی مقیاس پایلوت

1- Pectin
2- Algenat
3- Gelatin
4- Pullulan
5- Glycol- Modified Polyethylene

برای اینکه محصول جدیدی از یک مفهوم به یک فیلم سودمند تجاری تبدیل شود، باید تحت آزمایش‌های سختی در آزمایشگاه قرار گیرد. یک آزمایشگاه مجهّز باید دارای طیف وسیعی از مواد اولیه برای تولید فیلم خوراکی باشد. انواع مختلف پلیمرهای حلال در آب با درجه‌بندی متفاوت، طیف وسیعی از مواد پلاستیسایزر خوارکی، سورفاکتانت‌ها، فیبرها، رنگ‌ها، چاشنی ها، شیرین‌کننده‌ها و سایر افزودنی‌های استاندارد موجود باشد. تجهیزات آماده‌سازی محلول، تولید مواد را در طیف وسیعی از ویسکوزیته و مقاومت در برابر فشار را فراهم خواهند کرد.

این آزمایشگاه توانایی آماده کردن فیلم‌های مرطوب نظیر طناب‌های مه بر و تیغه‌های قابل تنظیم با استفاده از تجهیزات مناسب را دارد. این محلول بر روی یک سوبسترا یا بستر، معمولاً یک پلیت شیشه‌ای، با ضخامت معین ریخته می‌شود. پلیت روکش شده در یک کوره همرفتی قرارداده می‌شود تا فیلم را به نقطهٔ نزدیک به رطوب معین خود (یعنی ٪۸-٦ طبق وزن) خشک کند، که پس از آن فیلم خشک شده به منظور آزمایش از پلیت خارج می‌شود. آزمایشگاهی که به خوبی طراحی شده باشد، دارای تجهیزات آزمایش فیلم به منظور سنجش خصوصیات فیزیکی فیلم‌ها، رطوبت تعادل، درجه حلالیت در آب و سایر خصوصیات مختص کاربر خواهد بود. انتخاب ترکیبات، آماده سازی حلال های آبی و ترتیب اضافه کردن ترکیبات، سازگاری ترکیبات، جامدات حلال، ویسکوزیته و قوام محلول باید برای فرآیندهای تولید تجاری تعیین شوند. ضخامت فیلم، خشک و مرطوب بودن، و حداکثر حرارت مجاز خشک کردن، عناصری هستند که به منظور راهنمایی برای هر دو مقیاس نمونه و تولید با مقیاس کامل می توانند در آزمایشگاه بکار روند.

۳-۲- فرمولاسیون

تمام ترکیبات در فیلم های خوراکی باید[1] GRAS بوده یا برای مصرف در کاربرد مد نظر ما هیچ عارضه‌ای نداشته باشد. این الزام، انتخاب ترکیبات و سطح استفاده آن‌ها در فیلم ها را به شدّت محدود می کند. فرمولاسیون فیلم‌های خوراکی با انتخاب پلیمر یا ترکیب پلیمرهایی آغاز می‌شود که پایه فیلم را تشکیل خواهند داد. بیشتر پلیمرهای تجاری با درجات مختلف، با انواع ویسکوزیته و قابلیت شیمیایی، موجود هستند. ضروری است پلیمرهایی که انتخاب می‌شوند با ترکیبات اصلی فیلم، هم در تولید و هم در انبار کردن فیلم ها و خصوصیات اساسی مصرف نهایی سازگار باشند. پلیمرهایی که معمولاً برای تولید تجاری فیلم های خوراکی استفاده می‌شوند در (جدول ۲) فهرست شده‌اند.

جدول ۲- هیدروکلوئیدهایی که معمولاً در فیلم‌های خوراکی تجاری استفاده شده‌اند.

پلی‌ساکاریدها/ پلیمرها	پروتئین‌ها
کاراگینان	
کربوکسی متیل سلولز	
صمغ اقاقیا	
هیدروکسی پروپیل متیل‌سلولز	
هیدروکسی پروپیل سلولز	پنیر بی‌چربی (کازین)
نشاسته‌های اصلاح شده	ژلاتین
پکتین	پروتئین سویا
پولولان	پروتئین آب پنیر
سدیم آلگینات	
صمغ زانتان	
پلی‌وینیل پیرولیدون	
پلی اتیلن اکساید	

1- Generally Recommended s Safe

بی میلر و ویسلر[1] (۱۹۹۲)، نوسینوویچ[2] (۲۰۰۳) و اشتین باخل و ری[3] (۲۰۰۶) رابطه پلی‌ساکاریدها و پلیمرهای مختلف و نحوه عملکرد ساختاری و کاربرد آن‌ها را مورد بحث قرار داده‌اند.

پلاستیسایزرها به حلال های پلیمری اضافه می‌شوند تا نرمی، انعطاف پذیری، کشسانی، شفافیت و مقاوت در برابر حرارت را بهبود دهند. استفاده از چندین پلاستیسایزر در یک فرمولاسیون متداول نیست، زیرا هر پلاستیسایزر واکنش متفاوتی به پلیمرهای بکار رفته، نشان خواهد. شاخص‌های حلالیت با هرترکیب پلاستیسایزر/ پلیمر متفاوت است و اگر بیش از ۱۰ ٪ وزن پلیمر پلاستیسایزر اضافه شود، حالت کشتسانی فیلم به شدّت کاهش می یابد. میزان افزودن پلاستیسایزر در یک فیلم از ۵٪ تا ۵۰٪ وزن پلیمر و عملکرد فیزیکی مطلوب فیلم متفاوت خواهد بود. بسیار غیر معمول است، که یک پلاستیسایزر اضافه شده به میزان۵۰٪ قابل مصرف ، پایدار و قابلیت حل شدن را داشته باشد. انتخاب پلاستیسایزرهای خوراکی که معمولاً بکار می‌رود بسیار محدود می‌باشد که در(جدول ۳) آورده شده است.

جدول ۳- پلاستیسایزرهای خوراکی

نام	فرمول مولکولی	حالت	نام‌های دیگر
گلیسرول	$C_3H_5(OH)_3$	مایع	گلیسیرین، گلیسرین، پروپان ۱،۲،۳- تریول
پروپیلن گلیکول	$C_3H_8O_2$	مایع	پروپان ۱،۲ دیول
پلی اتیلن گلیکول	$C_{2n}H_{4n+1}O_{n+1}$	جامد	۱،۳- دیاستیل‌اوکسی پروپان ۲- ایلاستیت
مونوگلیسیریدهای استیلات شده ۱،۶ بوتانیدول	$C_9H_{14}O_6$	مایع	
تریاستین	$C_9H_{14}O_6$	جامد	
ساربیتول			
نشاسته هیدروژنه شده هیدرولیز می‌شود.			

1- Bimilar and Visler
2- Nosinovech
3- Ashin Bakhl and Ree

سورفاکتانت‌ها عملکردهای حیاتی در آماده‌سازی محلول‌ها و تولید فیلم‌ها دارند که شامل:

- برای تثبیت امولسیون باید در فرمولاسیون از موادی استفاده شود که ترکیبات آن‌ها بر پایه روغن یا موم باشد.
- ضدکف در طی آماده سازی محلول (سورفاکتانت معمولاً نخستین ترکیب اضافه شده به آب می‌باشند.)
- مواد رطوبت‌دهنده برای اطمینان از مرطوب شدن یکنواخت سوبسترا (نوار نقّاله، خط آزاد، فیلم پلی‌استر)؛ به منظور کاهش کشش سطحی محلول با سطح زیرین سوبسترا.
- هم سطح کردن[4] کاهش عارضه‌های سطحی فیلم مرطوب(حباب‌ها، سوراخ‌ها، بریده بریده شدن)
- ضد کف که این مواد کمک می‌کنند هوای داخل محلول از آن خارج شود قبل از اینکه محلول در قالب قالب‌گیری شود.

طیف وسیعی ازسورفاکتانت‌های خوراکی قابل استفاده هستند.معمولاً به میزان ۱٪ یا کمتر براساس وزن پلیمر افزوده می‌شود. سورفاکتانت‌هایی که معمولاً استفاده می‌شوند: سوربیتان[5] مونولیت[6]، سوربیتان مونوستریت سدیم لوریل سولفات[7]، گلیسرول مونولیت[8] و لسیتین[9] هستند.

فیبرهای حل شدنی و فیبرهای حل نشدنی هم در فرمولاسیون‌های فیلم خوراکی بکار می‌روند تا استحکام فیلم، پایداری ابعاد، حذف ناخالصی(ظاهر)، خصوصیات هضم شدن مورد نظر یا به عنوان عواملی برخالف پیوند دادن و محدود کردن قابلیت تحرک ترکیبات فعال(مثل ویتامین‌های محلول در چربی) را فراهم کنند. در برخی موارد، فیبرهای موجود تغذیه یا

4- Leveling Agent
5- Sorbitan
6- Monolith
7- Sorbitan Mono Sodium Lauryl Sulfate Street
8- Glycerol Monolith
9- Lecithin

گوارش وجود مفیدند. مقدار افـزودن فیبرهـا بـا عملکـرد مورد نظر آن‌ها تعیین می‌شوند و از ۵٪ تـا ۲۵٪ بـسته بـه جامدهای پلیمری متفاوت خواهند بود. برخی منـابع فیبـر در (جدول ٤) آورده شده است.

جدول ٤- فیبرهای مورد استفاده در فیلم‌های خوراکی

فیبر حل شدنی	فیبر حل نشدنی
فیبرسول II	سلولز چوب خالص
اینولین	میکروکریستالین سلولز
سیلیوم	فیبر جو دوسر

ماده اولیه فعال یا عملگرا، افزودنی‌هایی هستند که فرا سودمندند و تعیین‌کننـده نحـوه کـاربرد نهـایی فـیلم‌هـای خوراکی هستند. برخی فیلم‌هـا، ماننـد فـیلم‌هـایی کـه بـه عنوان بسته بندی قابل حل شدن استفاده مـی‌شـوند، دارای ترکیبات عملگرا نمی باشـند، ولـی هـدف طراحـی بیـشتر فیلم های خوراکی به گونه ای است کـه ترکیبـات عملگـرا بـرای مـصرف نهـایی در آن‌هـا بکـار رود. عملگراهـا در ساده‌ترین فرم خود مـی‌تواننـد رنـگ‌هـا، طعـم‌دهنـدها و شیرین‌کننده هایی باشند که معمولاً ظاهر را بهبود می‌دهنـد و هنگامی که در دهان گذاشته مـی‌شـوند رضـایت‌منـدی مصرف‌کننده را بـه وجـود مـی‌آورنـد. کاربردشـان شـامل شیرینی‌ها (آبنبات) و خوشبوکننده دهان است. در اسـتفاده بـا عملکـرد بـالاتر، انتخـاب ترکیبـات عملگـرا محـدودهٔ وسیعی را پوشـش مـی‌دهـد. چنـد مثـال از عملگراهـا و استفادهٔ نهایی آن‌ها در(جدول ۵) آورده شده‌است.

جدول ۵- مواد عملگرای فیلم‌های خوراکی

فعال‌ها	استفاده نهایی
پوره میوه و سبزی	میان وعده‌های تغذیه‌ای
مواد تغذیه‌ای با خاصیت دارویی	مکمل سلامتی
ویتامین‌ها	ویتامین‌های قابل مصرف
داروی سرفه و سرماخوردگی	OTC داروهای بدون
هیدوژن پروکسید	نسخه
دارو	سفیدکننده دندان
	تحویل دارو

مقدار افزودن مواد عملگرا بـستگی بـه نحـوه کـاربرد فـیلم مـورد نظـر دارد. هـدف بـرای اسـنک‌هـای تغذیه ای(غذاهای میان وعده) اسـتفاده از حـداکثر میـزان مواد عملگرا می‌باشد. حتّی می توان ۱۰۰٪ وزن جامدهای پلیمری یا بیشتر از آن‌هـا اسـتفاده نمـود. بـرای مـصرف دارویی، میزان افزودن مواد عملگرا بایستی برای هر نـوع فیلمی که می‌خواهد استفاده شود کاملاً دقیق و مـشخص باشد. میزان افزودن معمولاً بیشتر از ۵٪ تا ۲۰٪، براسـاس جامدهای پلیمری خواهد بـود. بـه عنـوان مثـالی از یـک فیلم، فرمولاسیونی با ترکیب ویتامین در(جدول ٦) نـشان داده شـده اسـت. ایـن جـدول بـه خلاصـه‌سـازی و روشن سازی توضیحات انتخاب ترکیبات عملگـرا کمـک خواهد کرد.

جدول ٦- فرمول فیلم خوراکی حاوی مکمل‌های ویتامین

ترکیب	کارکرد	وزن (گرم)	٪ جامدات
HPMC(باوزن		۳۸,۹۵	۳۸,۹۵
مولکولی پایین)	پلیمر	۱۰,۰۰	۱۰,۰۰
گلیسرول	نرم‌کننده	٦,۰۰	٦,۰۰
پروپیلن گلیکول	نرم‌کننده	٦,۰۰	٦,۰۰
پلی‌اتیلن گلیکول	نرم‌کننده	۵,۰۰	۵,۰۰
فیبرسول ۲	فیبر حل شدنی	۵,۰۰	۵,۰۰
آویجل	فیبر حل نشدنی	۰,۵۰	۵۰.
PGMS	مواد فعال	۲۰,۰۰	۲۰,۰۰
ترکیب ویتامین	فعال‌ها	۸۰۰,۰۰	–
آب	چاشنی	۲,۰۰	۲,۰۰
منتول	چاشنی	۵,۰۰	۵,۰۰
اسانس	مواد فعال	۰,۵۰	۰,۵۰
پلی‌سوربات ۸۰	پایدارکننده	۰,۵۰	۰,۵۰
صمغ زانتان	رنگ‌دهنده	۰,۰۵	۰,۵۰
FD&C قرمز	شیرین‌کننده	۰,۵۰	۰,۵۰
سوکرالوز	حلال	۱۰۰,۰	–
آب		۱,۰۰۰	٪۱۰۰,۰

٤- روش تهیه فیلم خوراکی

هیدروکسی پروپیل متیل سلولز(HPMC) و پروپیلن گلیکول مونوستیرات [1](PGMS) را با حجم بالایی از آب در تانک اصلی محلول اضافه کنید. توسط همزن با دور متوسط مخلوط نمایید تا مطمئن شوید که پلیمر به خوبی مرطوب شده است. تمام ترکیبات دیگر را به فرمول اضافه کنید. به طور معمول، ترکیبات عملگرا در آخرین مرحله به محلول اصلی، اضافه می‌شود. طعم‌دهنده‌ها توسط یک همزن با دور تند در تانک دیگری مخلوط شده تا یک امولسیون [2] پایدار به وجود آید. سپس این امولسیون به تانک محلول اصلی اضافه می‌شود. فرمول نهایی ۱۰٪ ماده خشک خواهد داشت.

در این روش از مواد ضد میکروبی استفاده می‌شود تا در برابر رشد میکروبی از محلول در زمانی که فیلم در حال خشک شدن می‌باشد، محافظت نماید و همچنین در زمان انبار کردن فیلم نهایی، مانع از رشد میکروب‌ها شود. در بیشتر فرمولاسیون‌ها [3]، این محافظت‌ها به کاربرد ترکیباتی نظیر متیل پارابن‌ها [4]، پروپیل پارابن‌ها [5] و بنزوات سدیم [6] محدود می‌شود. هیدروکسی تولوئن بوتیلات شده [7](BHT)، هیدروکسی انیزول بوتیلات شده [8](BHA) و اسید آسکوربیک معمولاً به عنوان آنتی‌اکسیدان استفاده شده‌اند.

٥- آماده‌سازی محلول

در هر فرمولاسیونی که تعریف می‌شود، ضروری است که کلیه مواد اولیه بکار گرفته شده، قابلیت حل شدن یا پراکنده شدن در محلول را داشته باشد تا یک محلول پایدار و یکنواختی را که برای فرآیندهای ایجاد فیلم مناسب است، به وجود آورد.

1- Glycol Mono-Nitrate
2- Emulsion
3- Formulation
4- Ethyl Parabens
5- Propyl Parabens
6- Sodium Benzoate
7- Tert-Butylated Hydroxytoluene
8- Butylated-Hydroxyanisole

ایجاد یک پروتکل [9] محلول برای فرمولاسیون جدید، از رویه و روشی پیروی می کند که در صورت نیاز قابل تغییر است. شناسایی خصوصیات اصلی محصول نهایی عبارتند از:

- استحکام فیلم
- قابلیت انحلال
- مقدار مواد فعال‌کننده‌ها
- ظاهر
- طعم
- بافت در دهان

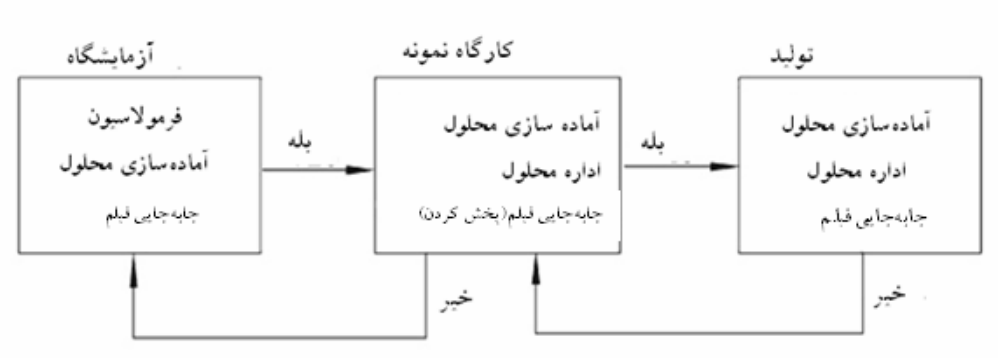
انتخاب یک پلیمر یا ترکیبی از پلیمرها براساس ویژگی‌های مورد نظر ذیل می‌باشد:

- ویژگی‌های شکل‌دهی فیلم
- سازگاری با فعال‌کننده‌ها
- خصوصیات قابلیت حل شدن/ انحلال
- پایداری فیلم در انبار(شکل ۱)

تعیین ترتیب اضافه کردن ترکیبات عبارتست از:

- آب
- سورفاکتانت‌ها [10](ضد کف)
- پلیمر(برای انحلال کامل به بیشترین میزان آب و مخلوط کردن با همزن دور بالا نیاز دارد)
- فیبر
- ترکیبات فعال
- چاشنی/ رنگ(آماده‌سازی در امولسیون جداگانه در صورت نیاز)
- شیرین‌کننده
- موادی که به فرآیند تولید کمک می‌کنند(جداکننده‌ها از نوار نقّاله، نگهدارنده‌ها)
- آب(تنظیم ویسکوزیته [11] نهایی و مقدار مواد جامد مورد نیاز)

9- Protocols
10- Surfactants
11- Viscosity



شکل ۱- پیشرفت توسعهٔ فیلم

انتخاب نوع تجهیزات میکس کردن و اختلاط(همزن) عبارتند از:

- دور متوسط همزن(اطمینان از انحلال پلیمرها)
- پراکندگی یکنواخت ترکیبات
- دور تند همزن برای ایجاد امولسیون‌های با قوام بالا
- وکیوم سامانه تخلیه هوا
- دور کند همزن برای مخلوط کردن پیوسته و یکنواخت

موارد کیفیتی و حمل‌ونقل، بر میزان ماده جامد و ویسکوزیته محلول‌ها اثرگذار است. باید مقدار کافی آب وجود داشته باشد تا بتوان پلیمرها را برای استحکام بهینه فیلم به خوبی هیدراته[1] و مرطوب نمود. ویسکوزیته باید به اندازه کافی زیاد باشد تا پایداری محلول را حفظ کند و ترکیبات نامحلول را در سوسپانسیون[2] معلّق نگه دارد و حالت امولسیونی را حفظ کند و نیز ویسکوزیته باید به اندازه کافی کم باشد تا امکان مخلوط کردن یکنواخت، پمپاژ[3] محلول در فیلترها، انتقال محلول به خط پخش فیلم و انتشار محلول در یک فیلم یکنواخت نازک طی پخش کردن فراهم شود. برای بیشتر فرآیندهای فیلم خوراکی، جامدهای محلول تقریباً ٪۳۵-۲۰ با ویسکوزیته ۱۰۰۰۰-۱۰۰۰ صدم پواز[4] خواهد بود.

با افزایش دمایی که معمولاً ناشی از کاهش چسبندگی است، دمای محلول نیز بر چسبندگی این مایعات اثر خواهد گذاشت.

٦- تبدیل فیلم

تبدیل محلول آبی به فیلم‌های خوراکی اساساً یک روش پوشش‌دهی(روکش کردن) می‌باشد که توسط دستگاه‌ها و تجهیزاتی که بدین منظور طراحی شده‌اند باید انجام شود. در حالی که روش‌های بسیار و قابل دسترسی برای ساخت روکش‌های نازک یا فیلم‌های نازک وجود دارد، ولی تنها دو روش تبدیل برای تولید فیلم‌های خوراکی معمول است:۱- روی نوار نقّاله ها قالبگیری یا ریخته شود ۲- یا روی سوبسترهای یکبار مصرف(مثل ورق‌های جداکننده) ریخته شود که معمولاً در خط تولید رویر ورق‌های یکبار مصرف ریخته می‌شود و در پایان ورق‌ها از فیلم جدا می‌شوند.

اجزاء اصلی و اساسی فرآیند پوشش‌دهی مشابه هستند:

- روش‌های پوشش‌دهی(روش روکش کردن)
- انتقال فیلم مرطوب
- آون‌ها یا محفظه‌های خشک‌کن
- عملیات ثانویه
- خارج کردن از مرحله خشک‌کن
- پیچیدن در رول‌های اصلی فیلم
- مراحل بعدی تبدیل فیلم

1- Hydrated
2- Suspension
3- Pumping
4- Poise

۷- روش‌های پوشش‌دهی(پوشش دادن)

روش‌های آزمایشگاهی پوشش‌دهی برای شبیه‌سازی روش های ممکن مورد استفاده برای تولید کامل فیلم تجاری استفاده می‌شوند. به دلایل عملیاتی بودن روش‌های آزمایشگاهی، حتّی از میله‌های سیم‌پیچی شده یا روکش‌کننده‌های تیغه‌ای قابل تنظیم استفاده می‌شود. فیلم‌های مرطوب روی پلیت شیشه ای با ضخامت مطلوب شکل می‌گیرد و در آون‌های همرفتی با چرخش جریان هوای خشک، قرار می‌گیرند.

۷-۱- پوشش‌دهی میله‌ای

از یک میلهٔ سیم پیچی شده برای پخش کردن یکنواخت محلول‌های داخل مخزن بر روی پلیت‌های شیشه ای استفاده شده است. میله به آرامی روی صفحه کشیده شده و میله دور خودش می‌چرخد. میله سیم‌پیچی شده دارای برآمدگی‌های باریک بسیاری است که متناسب با تعداد سیم‌ها و محل قرار گرفتن سیم‌ها روی میله، محلول بر روی سطح تا انتهای آن برآمدگی‌های باریک ریخته می‌شود، ولی وقتی وارد خشک‌کن می‌شوند به خودی خود خشک می‌شوند و روکش‌های صاف و یکنواختی به دست می‌آید. میله‌های سیمی را از منابع مختلفی در حد مقیاس آزمایشگاه می‌توان تهیه نمود.

۷-۲- پوشش‌دهی تیغه‌ای قابل تنظیم[1]

برای استفادهٔ آزمایشگاهی، یک قاب فلزی محکم به منظور پشتیبانی از تیغهٔ روکش‌کننده استفاده شده است. در هر دو انتهای تیغه، تنظیمات در حد میکرومتر برای تنظیم تیغه در فاصله دقیقی از سطحی که باید پوشش‌دهی شود، تعبیه شده است. مخزن محلول پوشش‌دهی، پشت تیغه پاشیده می‌شود و تیغه دقیقاً بعد از آن قرار گرفته و باعث می‌شود محلول به نرمی روی سطح کشیده شود تا روکشی یکنواخت به دست آید. صفحه روکش شده برای خشک شدن در آون قرار می‌گیرد. منابع تیغه قابل تنظیم برای مقیاس آزمایشگاهی در دسترس هستند.

روش های پوشش‌دهی در مقیاس تولید تجاری، بسیار زیاد هستند. ولی انتخاب یک روش، وابستگی شدیدی به محصول نهایی مورد نظر، رئولوژی[2](علم جریان مواد) محلول، سرعت صفحه و فنّاوری روش خشک کن مورد استفاده دارد. نمونه هایی از روش های پوشش‌دهی شامل: اسپری کردن، غوطه‌وری، گراور[3]، پوشش‌دهی بسیار نازک و پوشش‌دهی غلتک معکوس می‌باشد. برای تولید فیلم‌های خوراکی، فنّاوری‌های دیگری که بیشتر کاربرد دارند، شامل تیغه روی غلتک و اکستروژن[4] قالبی شیاردار می‌باشد.

۷-۳- پوشش‌دهی تیغه‌ای[5]

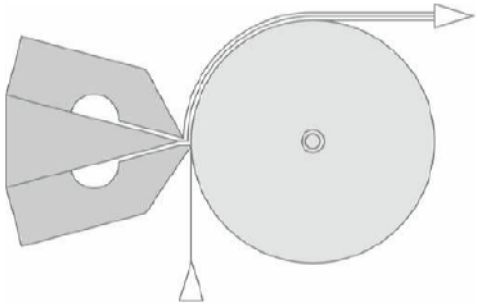
یک تیغهٔ ثابت و سخت، لایه‌ای دقیق از محلول را در صفحه‌ای که زیر تیغه حرکت می‌کند، یکنواخت می‌نماید. تنظیمات میکرومتر برای تنظیم ارتفاع تیغهٔ بالای صفحه و افزایش/ کاهش ضخامت فیلم مرطوب تعبیه شده است. از آنجایی که یک غلتک یا درام معمولاً زیر تیغه قرار گرفته، این فرآیند با نام پوشش‌دهی تیغه، روی غلتک شناخته می‌شود. محلول اضافی در مخزنی پشت تیغه نگهداشته می‌شود. فیلم‌های پوشش‌دهی تیغه‌ای هر تغییری را در سطح روکش ایجاد می‌نماید و یک فیلم صاف و یکنواخت تولید می‌کند. این دستگاه‌های پوشش‌دهی غیرپیچیده هستند که راه‌اندازی آن‌ها ساده است و نیاز به نگهداری کمی دارند. تمیز کردن و راه اندازی آن‌ها برای تولیدات کوچک نیز آسان است.

1- Adjustable Knife

2- Rheologi
3- Graveur
4- Extrusion
5- Knife Coating

۷-٤- پوشش‌دهی اکستروژنی شیاردار[1]

معمولاً قالب های اکستروژن، کاملاً تخصصی هستند و برای بکارگیری محلول‌های مرطوبی که روی سوبسترای[2] متحرک نیاز است، طراحی می‌شود. قالب اکستروژن به دو بخش ها بالایی و پایینی تقسیم می‌شود که به هم متصل می‌باشند. بین این دو بخش، یک کانال، جریان محلول قرار دارد که از این کانال جریان محلول خارج می‌شود. این کانال، جریان و محلول پوشش‌دهی، به لبه‌های قالب (یا شیار خروجی) هدایت می‌کند و یک جریان یکنواخت و خطی شکل از آن خارج می‌شود. لبه‌های قالب، بسیار نزدیک به صفحه متحرک قرار گرفته است که فیلم را از شیار خروجی بیرون می‌کشد. در اغلب موارد، یک منبع خلأ(یک سامانه خلأ) روی قالب ساخته شده تا هم فیلم مرطوب را تثبیت سازد و هم ضایعات آون (مثل هوای داخل آون) را به حداقل برساند. ضخامت فیلم به وسیله تنظیمات فضای بین لبه های قالب تنظیم می‌شود یا به وسیله افزایش سرعت سوبسترا موجب می‌شود فیلم مرطوب کشیده شده و نازک‌تر شود و این سامانه ماهرانه راه‌اندازی شده و قالب‌های اکستروژن به طور دقیق تمیز گردد، از این سامانه برای تولید انبوه یک نوع فیلم خاص یا برای تولید فیلم‌هایی با ضخامت بسیار باریک و محکم استفاده می‌شود. قالب های اکستروژن برای دما و فشارهای مختلف طراحی می‌شوند. قالب‌ها را می‌توان طوری طراحی کرد که همزمان چندین لایه فیلم مرطوب روی آن‌ها ریخته شود(شکل ۲).

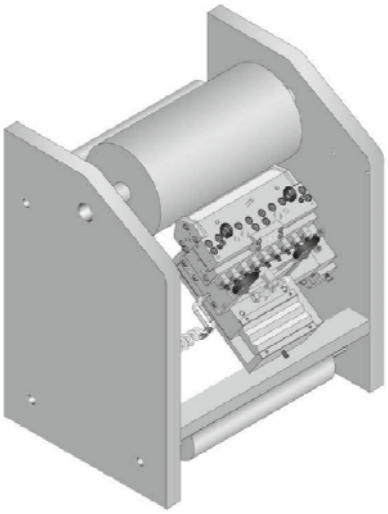


شکل ۲- پوشش دادن با قالب کم فشار، دو لایه

۸- اساس پوشش‌دهی

نخستین گام برای اجرای پوشش‌دهی، تعریف دقیق محلول پوشش‌دهی، تجهیزات مورد نیاز آن و ویژگی‌های مورد نظر فیلم می‌باشد. متغیرهای کلیدی که باید مدنظر قرار داد شامل موارد ذیل است(شکل ۳):

- فرمولاسیون پوشش‌دهی
- تعداد لایه‌ها
- ضخامت فیلم مرطوب
- ویسکوزیته
- مقدار مواد جامد در محلول
- دمای محلول
- دقّت مورد نیاز پوشش‌دهی
- جنس سوبسترا



شکل ۳- مرحله اکستروژن توسط پوشش‌دهی

۸-۱- فرمولاسیون پوشش‌دهی

درک خصوصیات محلول پوشش به منظور طراحی یک فرآیند کارآمد پوشش‌دهی، امری حیاتی است. اگر فرمولاسیون خیلی حساسیت به عملیات همزن، دما و کشش سطحی فعال داشته باشد یا حاوی مواد فرّار باشد، تنظیمات باید به گونه‌ای باشد تا مطمئن شوید که

1- Lot extrusion Coating
2- Substrate

حمل‌ونقل محلول دچار هیچ نقصی نمی‌شود و در فیلم نهایی آسیبی ایجاد نمی‌کند.

۸-۲- تعداد لایه‌ها

بیشتر فیلم های خوراکی به صورت تک لایهٔ همگن ساخته شده اند. برای داشتن فیلم‌های چند لایه، ضروری است که چند تا مسیر خروجی در مراحل پوشش‌دهی و خشک کردن داشته باشید. قرار گرفتن لایه‌های اولیه در معرض گرما به صورت بالقوه باعث آسیب به طعم، رنگ و سایر موادی که حساس به دما هستند، می شود. با این حال، هم روش پوشش‌دهی تیغه و هم روش پوشش‌دهی تیغه‌ای اکستروژن را می توان به گونه ای اصلاح کرد که دو یا چند لایه از محلول مرطوب در یک مسیر یکنواخت حمل شوند. فیلم‌های خوراکی منحصر بفرد را می‌توان با استفاده از این روش‌ها تولید کرد(شکل ٤).

شکل ٤- کابرد فیلم‌های خوراکی در بسته‌بندی محصولات باغی

۸-۳- ضخامت فیلم مرطوب

ضخامت پوشش[1] عامل اصلی در انتخاب روش پوشش‌دهی و طراحی فرآیند پوشش‌دهی است. فیلم های بسیار نازک را به سختی می‌توان به صورت یکنواخت پوشش کرد و منجر به خشک شدن بیش از حد و ساخت فیلم‌های ضعیف و شکننده می شود. بسته به ویسکوزیته و نوع محلول، ضخامت ایده‌آل فیلم مرطوب در محدوده ۰/۰۳۰- ۰/۰۱۰ اینچ(۷٦۲-۲٥٤ پیکومتر) خواهد بود و منجر به ضخامت فیلم خشک ۰/۰۰۳۰-۰/۰۰۱۵ اینچی (۷٦-۳۸ پیکومتر) می شود. قابل ذکر است که ضخامت فیلم خشک نهایی زیر ۰/۰۰۱ اینچ (۲۵ پیکومتر) را پس از خشک شدن به سختی می‌توان تولید کرد.

۸-٤- ویسکوزیته

ویسکوزیته تمام محلول‌های پلیمری بستگی زیاد به سرعت برشی[2]، دما و مقدار مواد جامد موجود در محلول دارد. با اینکه ویسکوزیته محلول در شرایط ایستا در آزمایشگاه قابل اندازه‌گیری، مشاهده و کنترل کردن است ولی کنترل ویسکوزیته تحت شرایط برشی دینامیک در اکثر سامانه‌های تولید بسیار دشوار است. بسیار مهم است که از تغیرات پنهانی فرآیند تولید در هنگام نوسانات دما و شرایط مخلوط کردن محلول آگاهی داشته باشید.

۸-٥- مقدار مواد جامد در محلول

هنگامی که فرمولاسیون و ویسکوزیته فرآیند تولید تعیین می‌شود، در واقع مقدار مواد جامد در محلول تعیین می‌گردد. مقدار مواد جامد تا زمانی که ویسکوزیته برای پوشش‌دهی[3] محلول قابل پذیرش باشد، ثابت باقی می ماند. به هر دلیلی افزودن آب برای کاهش ویسکوزیته باعث کاهش جامدهای محلول خواهد شد. مقدار مواد جامد، یکی از شاخص‌های تعیین‌کننده ضخامت فیلم مرطوب است زیرا ضخامت فیلم مرطوب، ضرب در درصد مقدار مواد جامد برابر با ضخامت فیلم خشک است. برای مثال، اگر ۱۰ ٪ محلولی حاوی مواد جامد در ۰/۰۲۰ اینچ (۵۰۸ پیکومتر) قالب قرار گیرد برابر با ۰/۰۰۲ اینچ (۵۱ پیکومتر) در ضخامت فیلم خشک خواهد بود. اگر مقدار جامدهای محلول خیلی بالا باشند(مثلاً ۵۰٪)، ضخامت فیلم مرطوب

1- Thick Coat

2- Shear Rate

3- Côte Out

ممکن است خیلی کم شود، به همین دلیل برای کنترل فرآیند تولید و فرمولاسیون، بایستی حتماً مقدار مواد جامد کاهش یابد.

۸-٦- دمای محلول

حفظ ثبات دما در کل فرآیند تولید برای تولید دقیق فیلم، ضروری است. با تغییر دما، ویسکوزیته و خصوصیات جریان محلول و فرآیند خشک کردن نیز تغییر خواهد کرد و تأثیر زیادی بر فرآیند تولید و کیفیت محصول فیلم نهایی خواهد داشت.

۸-۷- دقّت فرآیند پوشش‌دهی

سطحی که روی آن پوشش‌دهی صورت می‌گیرد در کیفیت فیلم تولید شده بسیار حائز اهمیت است. خواه این سطح نوار نقّاله، فیلم پلی‌استر، کاغذهای پوشش شده، یا سایر سوبستراها باشد. محلول پوشش‌دهی باید سوبسترا را مرطوب کرده و به سرعت به سطحی از ضخامت برساند که یک فیلم مرطوب یکنواخت و نرم به دست آید. در صورتی که میزان فعالیت کشش سطحی محلول پوشش‌دهی کمتر از کشش سطحی سوبسترا باشد، فیلم به راحتی حرکت می‌کند ولی اگر برعکس باشد، محلول تمایل دارد که از سوبسترا جلوتر حرکت کند و باعث تولید فیلمی می‌شود که کیفیت خوبی ندارد.

می‌توان عوامل فعال سطحی را به محلول اضافه کرد تا سطح مرطوب و همتراز کردن محلول را بهبود بخشید. همچنین می‌توان سوبسترا را پوشش‌دهی کرد تا ویژگی مرطوب شدن را در آن بهبود داد یا می‌توان سطح را با استفاده از شعله یا روش تخلیه کرونا[1] و یا فرآیندهای دیگر اصلاح نمود تا بتوانیم ویژگی‌های کشش سطحی و پوشش‌پذیری را بهبود دهیم.

۹- خشک کردن

تمام فیلم‌های خوراکی به صورت محلول‌های آبی آغاز شده و به شکل مایع به روی سوبسترا ریخته می‌شود؛ اما این فیلم ها، در حالت خشک استفاده می‌شوند. خشک کردن، فرآیند حیاتی است که این تبدیل را ممکن می‌سازد. خشک کردن می تواند خصوصیات پوشش‌دهی را افزایش یا کاهش دهد. فرآیندهای پوشش‌دهی و خشک کردن با همدیگر در تعامل هستند. متعاقباً، محدودیت در خشک کردن باعث محدود کردن بهینه سازی فرآیند پوشش‌دهی می شود و برعکس. خشک کردن پوشش‌دهی، باعث می‌شود که حلال از فیلم جدا شود که این حلال، حالت امولسیون و حلالیت را به صورت سوسپانسیون یا معلّق نگه داشتن مواد جامد برای محلول ایجاد می‌کند و پس از آنکه حلال از محلول جدا می‌شود تنها مواد جامد روی سوبسترا باقی می‌ماند. برای بیشتر اهداف، از آب به عنوان حلال یا عامل انتقال مواد استفاده می‌شود. بسیاری از مواد فرّار مانند طعم‌دهنده‌ها و پلاستی‌سایزرها در فرآیند خشک کردن از بین می‌روند. برای خشک کردن به یک سامانه حرارتی که آب را در یک فرآیند کنترل شده تبخیر کند، نیاز است. حذف آب باید بدون ایجاد صدمه به فرمولاسیون یا تداخل با خواص فیزیکی مورد نظر فیلم ایجاد گردد.

۱۰- اساس خشک کردن

خشک‌کن‌های زیادی طراحی شده‌اند و منابع انرژی بسیاری در تجهیزات تعبیه شده که برای حذف آب از فیلم‌های نازک استفاده شده‌اند. تمام این‌ها شامل ورودی انرژی برای افزایش دمای فیلم خشک و تبخیر آب می‌باشد(شکل ۵). انرژی اعمال شده با نرخ فیلم مرطوب گرما دیده، نرخ کارایی خشک کردن و کیفیت فیلم خشک مرتبط است. طراحی های اولیهٔ خشک‌کن مورد استفاده در تولید فیلم‌های خوراکی شامل موارد ذیل است:

- همرفت هوای داغ
- برخورد هوای داغ
- بخار

1- Corona Discharge

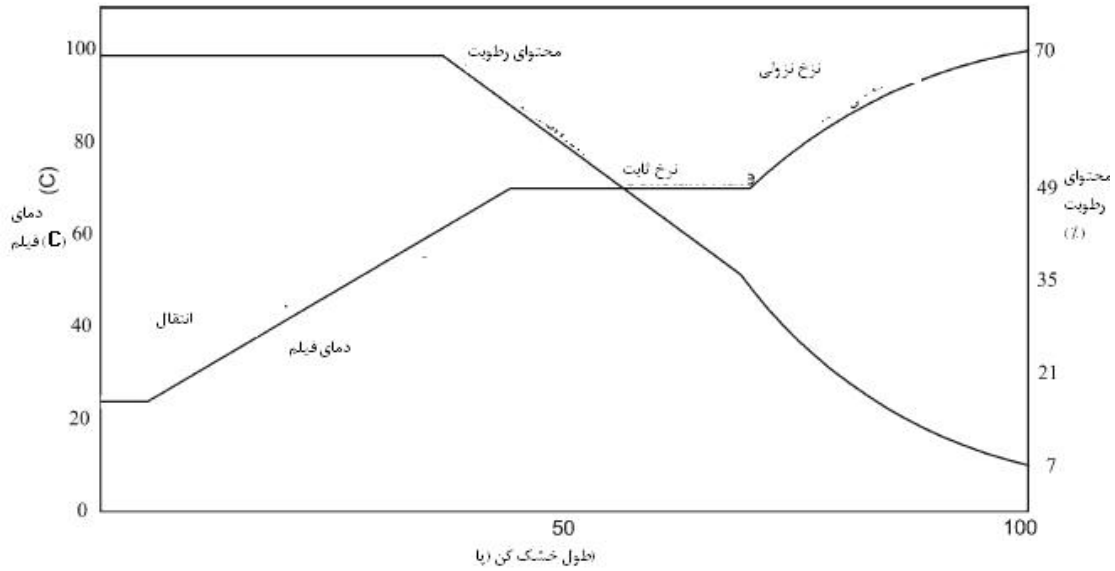
- تشعشع
- شناور بودن هوای داغ
- خشک کردن منطقه‌ای

در تمـام ایـن فرآینـدها، محلـول مرطـوب بـر روی سوبسترا(نوار نقّاله یا صفحات حمل‌کننده) در دمای از پـیش تعیین شده ریخته می‌شود. معمـولاً درجـه حـرارت کارخانـه ثابت یا کمی بالاتر است. با ورود فـیلم مرطـوب بـه محفظـه خشک‌کن، مرحله سرعت خشک کردن ثابت آغاز مـی شـود، نقطه‌ای که سرعت تبخیر آب تقریباً ثابت مانـده و اصـولاً بـا مقاومت انتقال جرم سطحی محدود شده است. تمام گرمـای ورودی برای تبخیر آب استفاده می‌شود، که می توانـد آزادانـه به سطح لایه خارجی حرکت کرده و از آنجا خارج شود.

آب را از روی سطح خارجی برمی‌دارد و باعـث مـی‌شـود میزان رطوب محفظه افزایش یابد. با نزدیک شدن هـوا بـه نقطه ورودی صفحه، کارآیی خشک‌کن کاهش یافته و هـوا توسط فن تهویه حذف می‌شود. امکان طراحی این خشک-کن با دو یا چند ناحیه برای کنترل و کـارآیی بهتـر وجـود دارد.

۱۰-۲- برخورد هوای داغ

خشک کن های برخودی با یک سری از شکاف‌هـا[1] یـا نازل ها طراحی شده‌اند که در عرض خشک کن و به فاصله چند اینچ در طول خشک‌کن قرار گرفته‌اند. این شـکاف‌هـا از فضایی تغذیه شده‌اند که دما، حجم و سرعت هوای داغ



شکل ۵- گراف نرخ خشک کردن

۱۰-۱- همرفتی هوای داغ

با خشک‌کن‌های همرفتـی سـاده، هـوای داغ بـه محفظـه خشک کن دمیده شده و این هوای داغ روی سطح سوبسترای در حال حرکت جریان پیدا می‌کند. هوای داغ از روی سـطح صفحه دمیده می‌شود و یا می‌تواند از زیر صفحه، یا همزمـان از هر دو طرف دمیده شود. همزمان که هوای خـشک و داغ، از سطح به روی فیلم مرطوب برخورد می‌کند و مانند سوهان

ورودی به اجاق را کنترل می‌کنند. اجاق‌های برخوردی معمولاً دارای نـواحی چندگانـه‌ای بـا کنتـرل‌هـای مـستقل هستند که امکـان تنظـیم دقیـق پروفایـل[2] خـشک‌کننـده را فراهم می‌کنند. نازل‌های پیوندی را مـی‌تـوان بـالا و پـایین زیرسوبسترا استفاده کرد.

1- Slots
2- Profile

این گونه نازل ها، هـوای خـشک‌کـن را در سـطح فـیلم مرطوب هدایت کرده که موجب مـی‌شـود یـک نـوع حالـت گردشی به وجود بیاید و مانند سوهان آب سـطح خـارجی را بر می‌دارد، و کارآیی خشک‌کن را بهبود می‌بخشد. در ابتـدای فرآیند خشک کردن، در حالی که فیلم مرطوب بسیار متحرک است، سرعت بالای هوای ورودی مـی توانـد باعـث حرکـت فیلم مرطوب شده و آسیب جدّی را در فـیلم خـشک ایجـاد کند. برای متعادل کردن کارآیی خشک کردن با کیفیـت فـیلم بهینه باید دقّت کرد.

۱۰-۳- خشک کردن به روش بخار

در برخی از فرآیندهای خشک کردن، از تلفیق نوار نقّالـه استیل با استفاده از پیوند هوا و بخار استفاده مـی‌کننـد و ایـن جریان پیونـدی بـا فـیلم مرطـوب روی نـوار نقّالـه برخـورد می‌کند. کارآیی دقیق انتقال گرمای بخار به نـوار نقّالـه باعـث توسعهٔ خشک کردن پایین به بالای فـیلم مرطـوب شـده کـه بسیار مطلوب می‌باشد. چونکـه تمایـل فـیلم مرطـوب بـرای تبدیل شدن به یک پوستهٔ خـشک را بـه حـداقل مـی‌رسـاند. برخورد هوای داغ روی سطح فیلم مرطوب باعث می‌شود بـه سرعت رطوبت از سطح خارجی حذف شود و خشک کردن بخار و پیوندی را می‌توان در چندین ناحیه فراهم کرد.

۱۰-٤- شناور شدن هوای داغ

این اجاق برای پوشش‌دهی صفحاتی کـه حامـل محلـول هستند، طراحی شده است و از نازل هـایی در قـسمت بـالا و هم در پایین صفحه متحرک استفاده می کند. با کنتـرل حجـم هوا و فشار نازل‌های پیوندی، صفحه روی بالشتکی از هـوای داغ شناور شده و به طور مـؤثر و یکپارچـه از هـر دو طـرف گرم می‌شود. خشک‌کننده‌های شناور اغلب طی مرحله نهـایی در خشک‌کننده‌های چند ناحیه‌ای استفاده شده‌اند تـا سـطوح رطوبت دقیق و یکنواختی همراه با نرمی در فیلم نهایی ایجاد کنند.

۱۰-۵- خشک کردن منطقه‌ای

در شرایط ایده آل، رطوبت باید از یـک فـیلم مرطـوب طی یک سرعت مشخص برداشته شود، ایـن عمـل باعـث می‌شود که فشارها و آسیب‌هـایی کـه بـه فـیلم در هنگـام خشک کردن وارد می‌شود بـه حـداقل برسـد. در صـورت نادیـده گـرفتن ایـن مـسئله، ایـن فـشارها هنگـامی کـه از سوبسترا جدا می‌شود باعـث ایجـاد عـوارض شـدیدی در پوسته، انحنای شدید و بد شکل شدن فـیلم خـشک شـده می‌شود. یک روش مؤثر بـرای حـداقل کـردن نقـص‌هـای فرآیند، استفاده از خشک کـردن منطقـه‌ای اسـت. در ایـن فرآیند، اجاق با چند محفظـه خـشک‌کننـده طراحـی شـده است. محفظه نخست اتمسفری از دما و رطوبت نسبی بالا فراهم می کند که به سـرعت دمـای فـیلم مرطـوب را بـالا می برد؛ اما نرخ تبخیر آب را به حداقل می‌رساند. علـت آن ظرفیت پایین هوای مرطوب برای حمـل رطوبـت اضـافی آمده از فیلم خوراکی است. با گذر فیلم مرطوب از محفظه دوم، رطوبت نسبی در سطح پایین‌تری تنظـیم شـده تـا بـه خشک کردن با نرخ تدریجی کنترل شده ادامـه دهـد. ایـن فرآیند آرام کنترل شده، امکان زمان کافی و حفـظ قابلیـت تحرک فیلم را می‌دهد که باعث آزاد شدن فشارها در فـیلم همزمان با توسعه آن‌ها می شود. این فرآینـد در هـر تعـداد محفظه مورد نیاز برای تولید یـک فـیلم خـشک عـاری از فـشار، تکـرار شـده اسـت. خطـوط فرآینـد ایـن طراحـی می‌تواند ۲۰۰ فوت یا بیشتر طول داشته باشد.

۱۱- نتیجه‌گیری

طراحی و تولید فیلم‌های خوراکی از پیچیدگی خاصـی برخوردار می‌باشـد، از ایـن جهـت کـه طراحـی و توسـعه کارآمد آن به همکاری مشترک حوزه‌های شیمی، رئولوژی، ایمـن‌شناسـی، مهندسـی مـواد غـذایی، تغذیـه و فنّـاوری فرآورده‌های غذایی نیاز دارد. به رغم پـژوهش‌هـای بـسیار گوناگون انجام شـده در ایـن ارتبـاط، هنـوز جـای کـار و

پژوهش گسترده وجود دارد. از مزایای فیلم‌های خـوراکی در ارتباط با مواد غذایی، می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

- زیست تخریب‌پذیر بودن فیلم‌ها؛
- ارزش تغذیه‌ای آن‌ها؛
- حفظ ایمنی؛
- کاهش فساد و پوسیدگی میوه‌جات؛
- منجر به حفظ ظاهر غذا به دلیـل ممانعـت از تبخیـر و خشک شدن محصول و جلوگیری از جذب رطوبـت بـه وسیله مواد غذایی می‌شود؛
- مانع از دست رفتن رایحه‌های مواد غذایی؛
- مانع قهوه‌ای شدن به دلیل جلوگیری از رسیدن اکسیژن به ماده غذایی؛
- استحکام مکانیکی ماده غذایی؛
- کاهش چسبندگی آب نبات‌ها؛
- جلـوگیری از جـذب بـیش از حـد روغـن بـه بافـت محصول و خروج بیش از حد آب طی سرخ کردن؛
- مانع سـبز شـدن سـطحی سـیب زمینـی در برابـر نـور می‌شوند.

صرفنظر از مزایای فیلم‌های خوراکی، نقطه ضعف‌هایی هم دارندکه عبارتند از:

- استحکام کمتر و خواص مکانیکی ضعیف‌تر در مقایسه با لفاف پلاستیکی سنتزی دارند.
- لفاف‌های طبیعـی بـه ویـژه در رطوبـت کـم، شـکننده هستند و به همین دلیل افزودن پلاسـتی‌سـایزر ضـروری است.

۱۲- منبع

1. Milda E. Embuscado Kerry C. Huber. (2009). **"Edible films and coatings for food applications".** Translated by Mazloom, A. S. Springer. Season 14, Page 368.

آدرس

تهران- شـهریار- امیریـه- خ پیچـک- کارخانـه پیچک- کد پستی۳۳۵۱۱۵۹۱۶۶.