

## فرآیندها و تکنیک های ساخت فوم های زیست تخریب پذیر

نرجس جنتی ها<sup>۱</sup>، ناصر صداقت<sup>۲\*</sup>، سید محمد علی رضوی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

<sup>۲،۳</sup> پروفسور، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

نویسنده مسئول: [sedaghat@um.ac.ir](mailto:sedaghat@um.ac.ir)\*

### چکیده

دنیای مدرن با مشکل عمده آلودگی محیط زیست مواجه است که به دلیل فعالیت های انسانی به وجود می آید. امروزه بیشتر فعالیت های بشری شامل استفاده از پلاستیک است. مواد پلیمری به راحتی تجزیه نمی شوند و این باعث تجمع پلاستیک در محل های دفن زباله و اقیانوس ها می شود. بنابراین، تلاش های قابل توجهی برای توسعه جایگزین های سازگار با محیط زیست انجام شده است. استفاده از پلیمرهای زیست تخریب پذیر و منابع تجدیدپذیر به عنوان جایگزینی برای بسته بندی های پلاستیکی مبتنی بر نفت به طور فزاینده ای توسط دانشمندان به ویژه کاربرد در بسته بندی مواد غذایی، در چند دهه اخیر مورد بحث قرار گرفته است. همچنین توسعه مواد زیست تخریب پذیر جایگزینی مناسب برای جایگزینی پلی استایرن منبسط شده است. تخریب زیستی روشی طبیعی برای بازیافت زباله ها در نظر گرفته می شود. به طور کلی، تجزیه زیستی به عنوان تجزیه مواد آلی توسط میکروارگانیسم ها یا محیط های بیولوژیکی تعریف می شود. از طریق این فرآیند طبیعی، آلاینده های سمی به صورت هوای بی بی ترکیبات کمتر سمی یا غیر سمی تبدیل می شوند. میکروارگانیسم ها به عنوان نیروهای طبیعی تجزیه زیستی در نظر گرفته می شوند و ساختار ترکیبات شیمیایی را از طریق عمل متابولیکی یا آنزیمی تغییر می دهند. توسعه و کاربردهای بیوفوم ها، حوزه های تحقیقاتی رو به رشدی هستند. در این مطالعه به فرآیند فوم ها و تکنیک های پردازش فوم ها (اکستروژن، تزریق، پخت/فشرده سازی) پلیمرهای زیست تخریب پذیر بیوفومی پرداخته می شود.

کلیدواژه ها: اکستروژن، پلیمر، زیست تخریب پذیر، پلاستیک

## مقدمه

در حال حاضر بیشتر ترکیبات آلی مورد استفاده در کاربردهای مختلف با استفاده از منابع تجدیدناپذیر مانند سوخت های فسیلی و زغال سنگ تهیه می شود. کمبود این منابع تجدید ناپذیر، و همچنین ماهیت غیرقابل تجزیه آنها، فرآورده های نفتی را گران می کند و تأثیر شدیدی بر محیط زیست دارد. مجموع تولید پلاستیک در سال ۲۰۲۰ به ۳۶۷ تن رسیده است که سهم پلیمر مورد استفاده به ۴۰/۵ درصد از کل رسیده است. تولید و فرآوری پلاستیک باعث صرف انرژی و منجر به افزایش گازهای گلخانه ای و نهایتاً گرمایش جهانی می شود علاوه بر این پلاستیک ها در هنگام سوختن باعث انتشار گازهای سمی می شوند بنابراین نیاز به جایگزینی پلاستیک ها با پلیمر های زیستی وجود دارد که مبتنی بر ترکیبات زیستی باشند (منافی و همکاران، ۲۰۱۴). مواد زیست پایه، موادی هستند که از مواد زنده و یا با روش های بیوتکنولوژیکی تولید می شوند و می توانند به صورت طبیعی یا مصنوعی به دست آیند. این مواد زیستی از کمپوست کشاورزی، چوب، روغن های گیاهی و الیاف طبیعی تولید می شوند این مواد، ارزان، فراوان، در دسترس، قابلیت زیست تخریب پذیری و سازگار با محیط زیست می باشند (بشیر و همکاران، ۲۰۱۵). بیوپلیمرها انواع مختلفی دارند که یکی از آنها فوم های پلیمری زیست تخریب پذیر و کمپوست پذیر است. فوم های پلیمری، مواد پلیمری متخلخلی هستند که شبکه آنها حاوی سوراخ های فوم ریز زیادی در داخل است. به طور کلی، این فوم های پلیمری دارای خواص ویژه ای مانند چگالی کم، عایق حرارت و صدای خوب، استحکام ویژه بالا یا مقاومت در برابر خوردگی بالا هستند (ستار و همکاران، ۲۰۱۵). این فوم های پلیمری را می توان به روش های مختلفی طبقه بندی کرد، اما یکی از رایج ترین روش ها، آنها را در سه دسته سختی، چگالی و ساختار کف کننده طبقه بندی می کند. برای تولید فوم های پلیمری باید از دمنده هایی استفاده کرد که می توان آنها را به دو دسته دمنده های فیزیکی و دمنده های شیمیایی دسته بندی نمود. دمنده های فیزیکی و شیمیایی را می توان به عنوان عوامل دمنده معدنی یا آلی طبقه بندی کرد. عوامل دمنده شیمیایی را به دو نوع تجزیه حرارتی و دمنده واکنشی تقسیم کرد نشان می دهد. (جین و همکاران، ۲۰۱۹).

## جدول «۱»

جدول ۱- طبقه بندی تعدادی از عوامل دمنده (جین و همکاران، ۲۰۱۹).

ترکیبات	عوامل دمنده فیزیکی	عوامل دمنده شیمیایی
غیر آلی	نیتروژن	عوامل دمنده واکنش
	کربن دی اکسید	سدیم بی کربنات
		بی کربنات

آب	کربنات	پودر روی
هوا	نیتريت	هیدروژن پر اکسید
ترکیبات آلی	پنتان	ایزوسیانات
	هگزان	عوامل فوم دهنده آزو عوامل فوم دهنده نیتروز
دمنده	دی کلرواتان	عوامل فوم دهنده آسیل هیدرازید
	فرئون	

برخی از عوامل موجود عبارتند از کلروفلوئوروکربن ها،

هیدروفلوئوروکربن ها، آزودی کربن آمید، آزوبیسزوبوتیرونیتریل، بوتان یا پنتان. با این حال، لازم است از عوامل دمنده فیزیکی کمتر مضر مانند دی اکسید کربن یا نیتروژن برای تولید فوم از پلیمرهای زیست تخریب پذیر استفاده نمود. حوزه های کاربرد این فوم ها شامل دستگاه های پزشکی، عایق صدا و حرارت، کامپوزیت های جاذب اشعه ماوراء بنفش، و بسته بندی می باشد (باهاث و همکاران، ۲۰۱۳).

کادام و همکاران (۲۰۱۹) بیان نمودند که فوم های پلی یورتان زیستی را می توان از پلی ال زیستی (مبتنی بر روغن کرچک)، با ترکیب نانورس بنتونیت در مخلوط پلی ال به عنوان تقویت کننده نانو، ایجاد نمود و باعث بهبود خواص مکانیکی و حرارتی کامپوزیت فوم شد همچنین لئو و همکاران (۲۰۱۸) فوم های پلی یورتان زیست تخریب پذیر مبتنی بر منابع زیستی مانند لیگنین، پلی ال های مبتنی بر روغن سویا و متیل دی فنیل دی ایزوسیانات پلیمری به دست آوردند. خواص مکانیکی، حرارتی و زیست تخریب پذیر نیز بهبود یافت. انواع دیگری از فوم ها نیز وجود دارند که می توانند از پسماندهای کشاورزی و صنعتی تولید شوند، مانند فوم های مبتنی بر نشاسته که به منظور کاهش استفاده از محصولات بسته بندی مبتنی بر نفت، به ویژه پلی استایرن کاربرد دارند (کاتاتیپ و همکاران، ۲۰۱۸). فوم های مبتنی بر نشاسته در بسیاری از شرایط محیطی زیست تخریب پذیر هستند و به همین دلیل است که به طور گسترده برای کاربردهای بسته بندی یک بار مصرف استفاده می شوند (باهاث و همکاران، ۲۰۱۳). پلیمرهای مبتنی بر نشاسته می توانند به راحتی توسط فرآیند های اکستروژن، پخت، فشرده سازی، قالب گیری تزریقی یا حرارت دادن مایکروویو و انجماد تحت خلاء تولید شوند. با این حال، پلیمرهای مبتنی بر نشاسته برخی از معایب مانند خواص خمشی و مکانیکی ضعیف، جذب آب و نفوذ پذیری به بخار آب بالا را نشان می دهند که می توان با استفاده از پرکننده های تقویت کننده مانند الیاف طبیعی، کیتوزان، نانورس، لیگنین، فیبر کرافت، ضایعات انگور و سلولز بهبود یابند (دیبیاجی و همکاران، ۲۰۱۴). پلیمرهای زیست تخریب پذیر به عنوان جایگزین مهمی برای پلاستیک های مصنوعی مبتنی بر نفت در نظر گرفته شده اند به دلیل هزینه پایین و به صرفه، فراوان، سازگار با محیط زیست، غیر سمی و بهبود خواص نفوذ ناپذیری و حرارتی به طور گسترده در حوزه های مختلف از جمله پزشکی، داروسازی، نساجی و بسته بندی مورد استفاده قرار می گیرند (رودریگوز و همکاران، ۲۰۲۰).

## ۲- فرآیند فوم ها

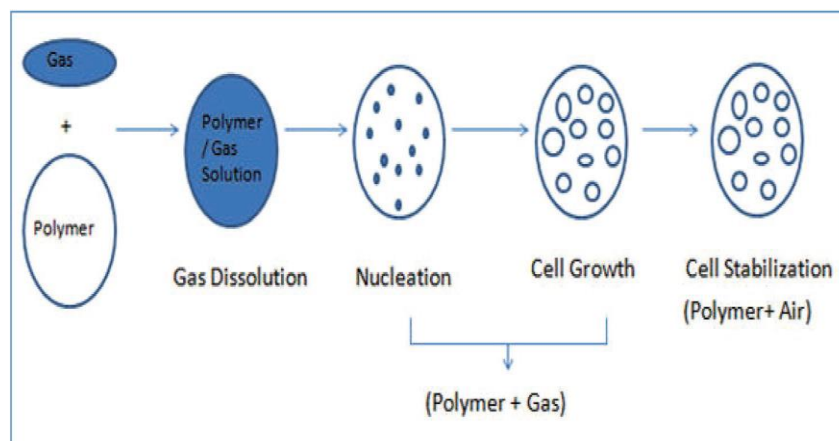
فوم یک سیستم متشکل از حفره های گازی کروی در یک ماتریس متراکم است ماتریس پلیمری، مورفولوژی فوم، ترکیب گاز، خواص حرارتی فوم پلیمری، تراکم سلولی، چگالی مواد و چگالی مواد کف شده، توزیع اندازه سلول، تخلخل (محتوای

سلول باز)، و پایداری ابعادی پارامترهایی هستند که خواص یک پلیمر فوم دار را تعیین می کند. همانطور که در شکل نشان داده شده است. (شکل «۱»)

فرآیند کف سازی به طور خلاصه شامل چهار مرحله است: ۱) انحلال گاز، تشکیل محلول پلیمر/گاز ۲) هسته سلولی، زمانی که سیستم اشباع شده به دلیل افزایش دما یا کاهش فشار فوق اشباع می شود ۳) رشد سلولی و ۴) تثبیت سلولی (بانرجی و همکاران، ۲۰۱۴).

مرحله اول: انحلال گاز تشکیل محلول پلیمر/گاز شامل تشکیل سلول است. این مرحله شامل افزودن یک عامل دمنده به پلیمر مذاب، تحت شرایط خاصی است که منجر به تولید مقدار زیادی گاز می شود. تشکیل گاز می تواند از یک سری واکنش های شیمیایی یا با افزودن یک گاز در داخل ظرف رخ دهد که منجر به تولید محلول پلیمر/گاز می شود. مرحله دوم: هسته سلولی با افزایش مقدار گاز، محلول فوق اشباع می شود و گاز از حالت محلول خارج می شود و در نتیجه هسته سلول از طریق هسته سازی شکل می گیرد مرحله سوم: رشد سلولی هنگامی که سلول ها تشکیل شدند، گاز داخل آنها فشار وارد می کند و هر چه اندازه سلول کوچکتر باشد، فشار وارد شده توسط گاز بیشتر می شود. هنگامی که دو سلول با اندازه های مختلف در مجاورت یکدیگر قرار می گیرند، گاز از کوچکترین سلول به بزرگترین سلول مهاجرت می کند و سلول ها ادغام می شوند. این هسته زایی منجر به افزایش تعداد سلول ها می شود و قطر منفذ سلول بزرگ می شود و اجازه رشد سلول را می دهد. سیستم فوم با توجه به ظرفیت تشکیل و رشد سلول ها، سطح و حجم خود را افزایش می دهد و باعث نازک شدن دیواره سلولی می شود که سیستم را بی ثبات می کند. مرحله چهارم: تثبیت سلولی تثبیت سیستم با خنک کردن یا با افزودن سورفکتانت ها انجام می شود. اجزاء با هم مخلوط می شوند و از توزیع یکنواخت سلول ها سود می برند (منگ و همکاران، ۲۰۱۹). در روش کف سازی مکانیکی، که روشی ایمن، کارآمد و اقتصادی است، هوا قبل از فرآیند کف کردن، با هم زدن مکانیکی به رزین های پلیمری اضافه می شود. این روش دارای مزایایی از جمله عدم نیاز به افزودن عامل کف کننده است (برگل و همکاران، ۲۰۱۷) روش کف کردن فیزیکی شامل مخلوط کردن مایع کم جوش با یک پلیمر است و از طریق ترکیب فشار و حرارت، کف کردن حاصل می شود. در طول سنتز، معرف های مختلفی در مخلوط وجود دارد. می توان از عوامل دمنده استفاده کرد، اما روش کف کردن معمولاً آلاینده تولید نمی کند یا در پایان فرآیند باقیمانده ای باقی نمی ماند. از دیگر مزایای این روش تاثیر کمی بر خواص پلاستیک های کف دار است. یکی از عواملی که باید در نظر گرفت این است که این روش کف سازی به ماشین قالب گیری تزریقی نیاز دارد و الزامات فنی تجهیزات بالا است دی اکسید کربن یا نیتروژن گازی در فرآیند کف کردن فیزیکی، از موادی هستند که آسیب مضر برای محیط زیست ایجاد نمی کنند (وو و همکاران، ۲۰۲۰) یک روند در فوم های زیستی، جایگزینی عناصر فوم های پلیمری به جای منابع زیستی مشتق شده است. برخی از اینها از روغن گیاهی عامل دار با الیاف مصنوعی، افزودن تقویت کننده ها و افزودنی ها برای افزایش عملکرد آن ایجاد شده اند. این تقویت کننده های زیستی همچنین می توانند مقاومت فوم های زیستی را در برابر رطوبت، آتش، پیری فیزیکی یا تخریب اکسیداتیو افزایش دهند فوم های مبتنی بر تانن تقویت شده با الیاف چوب سلولزی گزارش شده اند (اسپین و همکاران، ۲۰۱۶).. از ۹۵ درصد مواد خام طبیعی و از طریق فرآیند دمای اتاق بدون نیاز به پلیمریزاسیون اولیه تهیه شده اند. با دو روش می توان فرآیند کف کردن شیمیایی را انجام داد. روش اول افزودن یک عامل کف کننده به پلیمر مذاب است، با تجزیه عامل کف کننده، گاز آزاد می شود، سپس پلیمر با فشار دادن و حرارت دادن یا با استفاده از دستگاه قالب گیری فشرده سازی معمولی کف می شود. راه دیگر برای رسیدن به فرآیند کف کردن شیمیایی، واکنش شیمیایی بین دو پلیمر برای تولید گازهای بی اثر است (لو و

همکاران، ۲۰۲۱) شرط کنترل، دمای مخلوط واکنش است زیرا به عواملی مانند مدول کف، تکامل و رشد حباب ها، جداسازی سلول های فازی و پخت بستگی دارد برای فوم های بیو کامپوزیت ، روندهای پردازش متفاوتی با توجه به مواد اولیه خام وجود دارد. مو و همکاران (۲۰۲۰) تهیه فوم های مبتنی بر نشاسته / الیاف سلولزی/ پلی لاکتیک اسید و کربنات کلسیم، با استفاده از صمغ گوار (افزودنی چسبنده) ، استئارات منیزیم (عامل آزاد کننده قالب) با استفاده از فرآیند پخت استفاده کردند. فوم های حاصل ، خواص مکانیکی، پایداری ابعادی و مقاومت در برابر رطوبت را بهبود بخشیدند. از جمله مزایای تشکیل فوم به روش شیمیایی این است که عامل کف سازی می تواند از نظر حرارتی به یک محدوده دمایی خاص تجزیه شود و یک یا چند گاز آزاد کند، بنابراین ممکن است برای پلیمرهایی که ویسکوزیته مذاب در یک محدوده دمایی خاص دارند مناسب باشد. مزیت دیگر این است که کف کردن را می توان با استفاده از دستگاه قالب گیری تزریقی معمولی انجام داد. لازم است در نظر گرفته شود که برای این فرآیند، دقت بالایی در ساخت قالب مورد نیاز است(جین و همکاران، ۲۰۱۹).



شکل ۱- ارائه شماتیک فرآیند کف سازی (بانرجی و همکاران، ۲۰۱۴)

## ۲-۱ تکنیک های پردازش

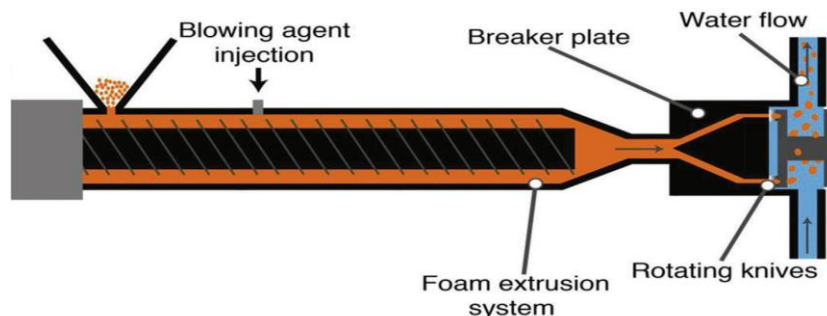
### ۲-۱-۱ روش اکستروژن

در فرآیند اکستروژن، یک پلیمر (ترکیب پلیمری یا کامپوزیت پلیمری) به قیف اکسترودر اضافه می شود. یک سیال فوق بحرانی به محفظه وارد می شود که در مذاب پلیمر حل می شود و ویسکوزیته آن را کاهش می دهد. از طریق کاهش دمای کف کردن، تراکم سلولی و مقاومت مذاب افزایش می یابد و در نهایت فوم های میکروسلولی به دست می آید(هیو و همکاران، ۲۰۲۰). توجه به این نکته حائز اهمیت است که در فرآیند اکستروژن، تنش برشی بالایی وجود دارد که منجر به تخریب (شکستن پیوند مولکولی) و افزایش ژلاتینه شدن پلیمر می شود، بنابراین لازم است ماهیت ماده بیوپلیمری مورد بررسی قرار گیرد(لباسکی و همکاران، ۲۰۱۵). اکسترودرهای تک و دو مارپیچ عمدتاً برای تولید فوم های مبتنی بر نشاسته بکار می روند اکسترودر تک مارپیچ به دلیل پایین بودن هزینه، رایج ترین نوع اکسترودر هستند در حالی که اکسترودر دو مارپیچ برای خروجی بالاتر استفاده می شود یک اکسترودر دو مارپیچ تقریباً ۳ برابر خروجی بیشتر نسبت به نوع تک مارپیچ دارد اکستروژن یک فرآیند

<sup>۱</sup> (دمای بالا، زمان کوتاه) است و برای مواد نشاسته ای می توان دما را بین ۱۲۰ تا ۱۷۰ درجه سانتی گراد با سرعت پیچ ۷۰ تا ۴۰۰ دور در دقیقه تنظیم نمود (ویلت و همکاران، ۲۰۰۹). یک روش جایگزین دیگر در استفاده از فوم اکستروژن، تولید گرانول تحت فرایند آب است.

همانطور که در شکل دیده می شود (شکل «۲»).

این فرآیند شامل پلیمر آغشته به گاز از طریق یک صفحه به یک جریان آب - بخار است. رشته اکستروژن شده توسط یک چاقوی دوار بریده می شود. فشار آب بیشتر از فشار بخار گاز منجر به گیر افتادن گاز در پلیمر در طول خنک سازی می شود این امر منجر به تولید قابل گسترش مهره ها می شود. در مقادیر کمتر فشار آب، گاز محلول تبخیر می شود و حباب هایی را تشکیل می دهد که در نهایت منجر به شکل گیری مهره های منبسط شده می شود. برای بدست آوردن مهره های با توزیع اندازه مناسب، مهره های قابل انبساط پس از تولید الک می شود و به دنبال آن پوششی با عوامل آنتی استاتیک انجام می شود (بانرجی و همکاران، ۲۰۱۴).



شکل ۲- شماتیک تولید گرانول به عنوان زیر واحدی از سیستم فوم اکستروژن (بانرجی و همکاران، ۲۰۱۴)

## ۲-۱-۲ روش تزریق

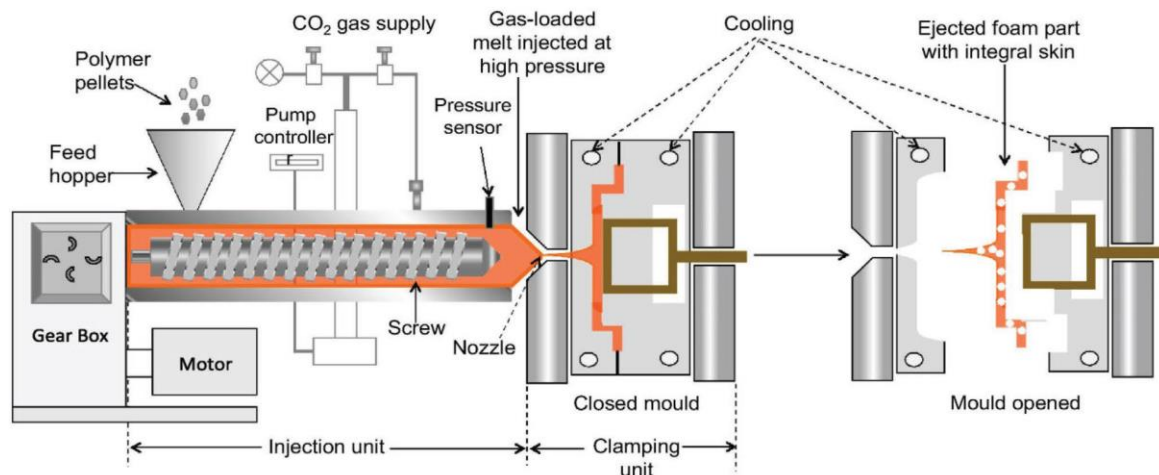
دستگاه قالب گیری تزریقی از دماهای مختلف تزریق تشکیل شده است. پارامترهای قالب گیری تزریقی مانند دمای تزریق و قالب، سرعت تزریق، فشار تزریق، زمان اقامت و زمان خنک سازی با توجه به شرایط پردازش برای پلاستیک سازی پلیمر (مخلوط های پلیمری یا ترکیب پلیمری) روی مقادیر ثابتی تنظیم می شوند. برای تزریق یک سیال فوق بحرانی، به داخل محفظه یا مذاب پلیمری تزریق می شود و سیال با پلیمر ذوب می شود تا یک محلول پلیمر/گاز همگن تشکیل شود. محلول تشکیل شده به داخل حفره قالب تزریق می شود ضخامت را می توان با تغییر فاصله باز شدن قالب کنترل کرد، که باعث ایجاد یک هسته سلولی همگن و/یا ناهمگن و رشد سلولی تا تشکیل کف می شود (جین و همکاران، ۲۰۱۹).

نمایش شماتیک از قالب گیری تزریق فوم مطابق شکل نشان داده می شود (شکل «۳»).

این فرآیند ترکیبی از فرآیند اکستروژن و قالب گیری تزریقی می باشد چنین طراحی منجر به تغییرات فشار می شود که برای جلوگیری از هسته زایی زودرس باید کنترل شود این فشار در محفظه باید همیشه بالاتر از فشار اشباع نگه داشته شود مخلوط مذاب/گاز همگن شده به داخل یک قالب کم فشار که در آن کف ایجاد می شود تزریق می شود این محلول گاز /

<sup>1</sup> High Temperature Short Time

مذاب در تماس فوری با دیواره های قالب فرار می گیرد و بلافاصله جامد می شود در حالیکه هسته، داغ و بصورت کف باقی می ماند. این نتیجه منجر به ساختار هسته- پوسته می شود (بانرجی و همکاران، ۲۰۱۴)



شکل ۳- نمایش شماتیک قالب گیری تزریق فوم (بانرجی و همکاران، ۲۰۱۴)

### ۲-۱-۲ روش پخت / فشرده سازی

روش پخت / فشرده سازی شامل قرار دادن مواد خام در قالب، که با حرارت دادن و فشرده سازی دنبال می شود در حین پخت، گرانول های نشاسته به صورت خمیر غلیظ ژلاتینه در می آیند آب محبوس شده به سرعت تبخیر می شود و باعث می شود خمیر به طور چشمگیری منبسط شود. به علاوه هنگامی که خمیر نشاسته قالب را پر کرد، آب باقیمانده تبخیر می شود سپس فوم نشاسته به تدریج خشک می شود و شکل قالب را به خود می گیرد پس از زمان بهینه سازی شده، فوم از قالب جدا می شود (اسپادار و همکاران، ۲۰۲۱) معمولاً درجه حرارت مناسب برای ژلاتینه شدن خوب نشاسته و همگنی کف، بین ۱۸۰ تا ۲۵۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱۲۵ تا ۳۰۰ ثانیه می باشد فوم های پخته شده به طور معمول دارای لایه بیرونی پوست متراکم با ساختار سلولی کوچک و بسته و فضای داخلی شل و بزرگ با ساختار سلول باز هستند. برای تولید فوم جهت بسته بندی، معمولاً از آب به عنوان عامل دمنده و نرم کننده، استفاده می شود که به ژلاتینه شدن نشاسته کمک می نماید (سویکیبا و همکاران، ۲۰۱۵).

### نتیجه گیری:

برخی از پیشرفت ها و مطالعات در استفاده از پلیمرهای زیستی مانند جایگزین های پلیمرهای مصنوعی به ویژه در کاربردهای فوم، انجام شده است، این تلاش ها بر روی طراحی فرآیند پاک تر، ایمن تر و سازگار با محیط زیست متمرکز شده اند. همچنین، برخی از پلیمرهای زیستی به عنوان فوم استفاده می شوند، مانند پلی لاکتیک اسید، پلی اتیلن گلیکول، سلولز و غیره. به عنوان مثال، یکی از کاربردها استفاده از پلی ال های مشتق شده طبیعی در سنتز پلی یورتان یا ایفای عامل دار برای تقویت ساختار است. بسیاری از کاربردها، استفاده از این فوم های زیستی را در ظروف غذا، بسته بندی مواد غذایی، وسایل پزشکی و غیره می باشند. توسعه و کاربردهای بیوفوم ها، حوزه های تحقیقاتی رو به رشدی هستند.

سی امین کنگره ملی و پنجمین کنگره بین المللی علوم و صنایع غذایی ایران  
The **30th** National Congress and the **5th** International  
Congress of **Food Sciences and Technology of Iran**

● مکان: تهران، دانشگاه تربیت مدرس ● زمان: شهریور ماه ۱۴۰۳



## منابع

- Bashir M., and Bashir S. 2015. Hydrophobic–hydrophilic character of hexamethyldisilane films polymerized by atmospheric pressure plasma jet. *Plasma Chem Plasma Process*, 35, 739–755.
- Bhat R., Abdullah N., Din R.H., and Tay G.S. 2013. Producing novel sago starch food packaging films by incorporating lignin isolated from oil palm black liquor waste. *J. Food Eng.* 119 (4), 707–713.
- Banerjee R., and Ray S. S, 2014. Foamability and special applications of microcellular thermoplastic polymers: A review on recent advances and future direction. *Macromolecular Materials and Engineering*, 305(10), 2000366.
- Bergel B. F., da Luz L. M., and Santana R. M. C. 2017. Comparative study of the influence of chitosan as coating of thermoplastic starch foam from potato, cassava and corn starch. *Progress in Organic Coatings*, 106, 27–32.
- Debiagi F., Kobayashi R.K.T., Nakazato C., Panagio L.A., and Mali S. 2014. Biodegradable active packaging based on cassava bagasse, polyvinyl alcohol and essential oil. *Ind. Crops Prod.* 52, 664–670.
- Espin M., Cruz-Tirado J., and Siche R. 2016. Mechanical properties of trays based on starch of native plant species and fiber of agroindustrial wastes. *Scientia Agropecuaria*, 7(2), 133–143.
- Hyv arinen M., Jabeen, R., and K arki, T. 2020. The modelling of extrusion processes for Polymers—a Review. *Polymers*, 12(6), 1306.
- Jin F. L., Zhao M., Park M., and Park S. J., Recent trends of foaming in polymer processing: A review. *Polymers (Basel)*, 11(6).
- Kadam H., Bandyopadhyay-Ghosh S., Malik N., and Ghosh S. B. 2019. Bio-based engineered nanocomposite foam with enhanced mechanical and thermal barrier properties, *J. Appl. Polym. Sci.*, 136(7), 1–7.



Kaewtatip K., Chiarathanakrit C., and Riyajan S. A. 2018. The effects of egg shell and shrimp shell on the properties of baked starch foam, *Powder Technology*, 335, 354–359.

Luo X., Xiao Y., Wu Q., and Zeng J. 2018. Development of high-performance biodegradable rigid polyurethane foams using all bioresource-based polyols: Lignin and soy oil-derived polyols, *Int. J. Biol. Macromol.*, 115, 786–791.

Lu B., Lin Q., Yin Z., Lin F., Chen X, and Huang B. 2021. Robust and lightweight bio foam based on cellulose nanofibrils for high-efficient methylene blue adsorption, *Cellulose*, 28(1), 273–288.

Lebowski E., Santos B. C. D., and Fujiwara S. T. 2015. Polímeros, Composite materials based on fibers from sugar cane and recycled polymers obtained by extrusion technique 25(1), 70–75.

Moo-Tun N. M., Iñiguez-Covarrubias G., and Valadez-Gonzalez A. 2020. Assessing the effect of PLA, cellulose microfibers and CaCO<sub>3</sub> on the properties of starch-based foams using a factorial design. *Polym. Test*, 86.

Manafi P., Ghasemi I., Karrabi M., Azizi H., and Ehsani namin P. 2014. Effect of graphene nanoplatelets on crystallization kinetics of poly (lactic acid), *Soft Mater*, 12,433–444.

Meng L., Liu H., Yu L., Duan Q., Chen L., and Liu, F., 2019. How water acting as both blowing agent and plasticizer effect on starch-based foam. *Industrial Crops and Products*, 134, 43–49.

Sattar R., Kausar A., and Siddiq M. 2015. Advances in thermoplastic polyurethane composites reinforced with carbon nanotubes and carbon nanofibers: A review. *J. Plast. Film Sheeting*, 31(2), 186–224, 2015.

Rodrigues N. H. P., de Souza J. T., Rodrigues R. L., Canteri M. H. G., Tramontin S. M. K., and de Francisco A. C. 2020. Starch-based foam packaging developed from a by-product of potato industrialization (*Solanum tuberosum* L.), *Applied Sciences*, 10(7), 2235.

Spada J. C., Seibert S. F., and Tessaro I. C. 2021. Impact of PLA Poly (Lactic Acid) and PBAT Poly (butylene adipate-co-terephthalate) coating on the properties of composites with high content of rice husk. *Journal of Polymers and the Environment*, 29, 1324–1331.

Soykeabkaew N., Thanomsilp C., and Suwanton O. 2015. A review: Starch-based composite foams. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 78, 246–263.

سی امین کنگره ملی و پنجمین کنگره بین المللی علوم و صنایع غذایی ایران  
The **30th** National Congress and the **5th** International  
Congress of **Food Sciences and Technology of Iran**

● مکان: تهران، دانشگاه تربیت مدرس ● زمان: شهریور ماه ۱۴۰۳



Willett J. L. 2009. Starch in polymer compositions, In *Starch*, Academic Press, 1,715-743.

Wu X., Yan W., Zhou Y., Luo L., Yu X., Luo L., Fan M., Du G. and Zhao, W. 2020. Thermal, morphological, and mechanical characteristics of sustainable tannin bio-based foams reinforced with wood cellulosic fibers. *Ind. Crops Prod.*, 158: 113029.

## Biodegradable foam manufacturing processes and techniques

Narges Jannatiha<sup>1</sup>, Naser Sedaghat<sup>2\*</sup>, Seyed Mohammad Ali Razavi<sup>3</sup>

Ph.D. candidate, Department of Food Sciences and Technology, Agriculture Faculty, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

<sup>2\*,3</sup> Professor, Department of Food Sciences and Technology, Agriculture Faculty, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Corresponding Author's E-mail: ([sedaghat@um.ac.ir](mailto:sedaghat@um.ac.ir))

### Abstract

The modern world is facing an important environmental problem, which is caused by human activities. Most human activities involve the use of plastic. Polymer materials do not break down easily and cause accumulation in plastic landfills and oceans. Therefore, significant efforts have been made to develop environmental compatibility. The use of degradable polymers and renewable resources as alternatives to petroleum-based plastic packaging has been increasingly discussed by research, especially the application in food packaging, over several decades. Also, the

سی امین کنگره ملی و پنجمین کنگره بین المللی علوم و صنایع غذایی ایران

The **30th** National Congress and the **5th** International Congress of **Food Sciences and Technology of Iran**

● مکان: تهران، دانشگاه تربیت مدرس ● زمان: شهریور ماه ۱۴۰۳



development of biodegradable materials is a suitable alternative to replace expanded polystyrene. Biodegradation is considered a natural method for recycling. In general, bioanalysis is defined as the analysis of substances by microorganisms or biological media. Through this natural process, toxic pollutants are aerobically or anaerobically converted into less toxic or non-toxic compounds. Microorganisms are considered as natural biological resources and change chemical compounds through metabolic or enzymatic action. The development and applications of biofoams are growing research areas. In this study, foams and foam processing techniques (extrusion, injection, curing/compression) of biodegradable biofoam polymers are investigated. Keywords: Nanoparticles, Biodegradability, and Food by-product.

Keywords: Extrusion, polymer, biodegradability, plastic