مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی_پژوهشی

اثر ریزپوشانی بر زنده مانی پروبیوتیک ها طی فرآیندهای چاپ سه بعدی و پخت خمیر کوکی بر پایه ضایعات قنادی

مهسا صیادی[۱]، زینب السادات ابراهیم زاده موسوی[۲]، سید هادی رضوی[۳]

۱-کارشناسی ارشد صنایع غذایی، دانشکده منابع طبیعی و کشاورزی دانشگاه تهران

۲- استادیار گروه صنایع‌غذایی، دانشکده منابع طبیعی و کشاورزی دانشگاه تهران. پست الکترونی

۳-استاد گروه صنایع غذایی، دانشکدهکشاورزی و منابع طبیعی و کشاورزیدانشگاه تهران

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۲/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۳/۹

کلمات کلیدی:

پروبیوتیک،

کوکی،

ریزپوشانی ،

زنده‌مانی،

چاپ سه بعدی

DOI: 10.22034/FSCT.20.136.186

DOR:20.1001.1.20088787.1402.20.136.14.2

* مسئول مکاتبات:

zeinab.mosavi@ut.ac.ir

چکیده

زنده مانی پروبیوتیک‌ها طی فرایند تولید محصولات غذایی با چالش‌های مختلفی رو به رو می یاشد. یکی از فرایندهای نوظهور تولید محصولات غذایی استفاده از چاپ سه‌بعدی بوده کهتا کنون اثراین فرایند بر زندمانی پروبیوتیک ها چندان مورد مطالعه قرار نگرفته است. در این پژوهشاثر ریزپوشانی بر زنده مانی سلول ها طی فرایند چاپ سه بعدی و پخت کوکی (بر پایه ضایعات حاصل از فراورده های قنادی) بر زنده مانی سلول ها مورد بررسی قرار گرفت.ابتدا شرایط تولید دانک نیز با تغییر درصد محلول های آلژینات سدیم و کلسیم کلرید بهینه سازی گردید. سپس، اثر ریزپوشانیبا درصد های مختلف دانک (۵،۰،۱۰%) بر سفتی بافت خمیر به عنوان فاکتور مهم در چاپ پذیری خمیر نیز بررسی شد .در نهایت میزان زنده مانی سلول ها طی فرایند چاپ و پخت (دمای C ۱۵۰° و ۱۸۰°C به مدت ۱۰ دقیقه) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج تصاویر تهیه شده نشان دادکه با افزایش غلظت محلول سدیم آلژینات و کلسیم کلرید یکنواختی و کرویت دانک ها افزایش می یابد.کارایی درونپوشانی دانک بر پایه آلژینات در این روش بکار ۸۹/۴۱٪ بود. بهینه درصد دانک جهت برخورداری از ویژگی مطلوب چاپ پذیری خمیر و کوکی پخته شده ۵٪ (وزنی-وزنی) گزارش شد. ریزپوشانی باعث افزایش درصد زنده‌مانی پروبیوتیک ها طی چاپ سه بعدی و پختگردید. بدین صورت که درصد زنده مانی پروبیوتیک های ریزپوشانی شده (T2)بعد از چاپ سه بعدی و پخت (دمای C ۱۵۰°) به ترتیب ۹۶/۸۶٪ و ۶۲/۵۸٪ بود. این در حالیست که درصد زنده مانی برای نمونه حاوی سلول های آزاد (T1) به ترتیب برابر با ۶۰/۷۷٪ و ۴۳/۰۵٪ اعلام شد.با این وجود هیچ سلول زنده پروبیوتیک در هر دوی شرایط آزاد و درون پوشانی در دمای دمایC ۱۸۰° مشاهده نشد.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-19]

[DOR: 20.1001.1.20088787.1402.20.136.14.2]

[DOI: 10.22034/FSCT.20.136.186]

۱- مقدمه

ضایعات مواد غذایی، ضایعات تجزیه‌پذیری‌اند که می‌توانند بر محیط، سلامتی جمعیت و توسعه پایدار۱ تأثیر بگذارند [۱] بر اساس گزارشبراساس گزارش سازمان جهانی خواربار و کشاورزی (FAO)، نزدیک به ۱,۶ میلیارد تن مواد غذایی شامل سبزیجات تازه، میوه‌ها، گوشت، فرآورده‌های نانوایی۲ و محصولات لبنی، به‌سادگی در زنجیره‌های غذایی۳ خارج شده و از دست می‌روند.بر اساس گزارش‌ها فائو از این ۱,۳ میلیارد تن ضایعات در دنیا سهم ایران ۲,۷ درصد از آن یعنی ۳۵ میلیون تن در سال هست که بیشترین میزان ضایعات مربوط به نان، میوه و سبزیجات و برنج است[۲].در حال حاضر در کشور ما برخلاف کشورهای پیشرفته، ضایعات نان یکی از مهمترین فراورده های غذایی دورریز است که از مرحله برداشت غلات تا تولید و مصرف نان حدود ۳۰ درصد تخمین زده شده به طوری که سالانه معادل ۳۰۰ میلیون دلار ضایعات نان هدر می رود.در اصطلاح به کلیه ضایعات نان های تولیدی، بیسکوئیت ها، کیک ها و کلوچه، شیرینی ها و ماکارونی و.... ضایعات نان گفته می شود.ضایعات نانوایی ترکیبی از ترکیبات مختلفی سرشار از مواد مغذی است که می‌توان آن‌ها را در صنایع دیگری مورداستفاده قرارداد، اما درنهایت این ضایعات باارزش در محل‌ها دفن زباله قرار می‌گیرند[۳].صنعت قنادی۴در دنیا سالیانه چندین تن ضایعات تولید می‌کند. ضایعات حاصل از قنادی ها منابع غنی از مواد مغذی یوده که می توان از آن در صنایع مختلف استفاده نمود و تولید و توسعه پایدار محصولات با ارزش افزوده بالا را سبب می شود. این درحالی است که ضایغات قنادی به راحتی دور ریخته می شود که مشکلات اقتصادی و زیست محیطی را به همراه خواهد داشت [۴].

چاپ سه‌بعدی مواد غذایی ترکی‌بی از فنّاوری چاپ سه‌بعدی و فرآوری مواد غذایی است و از مواد قابل خوراکی مثل پودر یا آب‌میوه جات و سبزی‌جات، نشاسته، گوشت، شکلات، جلبک و غیره به‌عنوان مواد اولیه جهت فرآیند چاپ کردن استفاده می‌کند[۵] . مهم‌ترین ویژگیی‌ا درواقع مزیت چاپ سه‌بعدی، ایجاد ساختارهای پیچیده سه‌بعدی هست، اما در حوزه صنایع غذایی، پتانسیل ارائه تغذیه شخصی‌و انتخاب غذای شخصی می‌تواند اصلی‌ترین دلیلی باشد که فنّاوری چاپ سه‌بعدی به‌سرعت در حال پیشرفت هست[5]فناوری چاپ سه‌بعدی مواد غذایی می‌تواند فرمولاسیون غذا را برای پاسخ‌گویی به نیاز افرادی با ترجیحات چشایی، نیازهای غذایی و شرایط جسمی مختلف برآورده سازد. همچون کسانی که بیماری‌هایی چون دیسفاژی دارند[۶]. فناوری‌چاپسه بعدی‌همچنی‌نبرای‌تولی‌دغذاهای‌سفارشی۵ برای ورزشکاران، زنان باردار و ... مناسب باشد. این امر توسط حذف، کاهش یا تغییر در محتوای پروتئین، چربی، فیبر، سلولز، ویتامین و ... و با افزودن یا معرفی ترکیبات عملکردی چون آنتوسیانین‌ها، کاروتنوئید ها و پروبیوتیک ها برای ایجاد عملکردهای مطلوب، حاصل می‌شود[۷]. علی‌رغم مزیت بالقوه چاپ سه بعدی مواد غذایی در تأثیرات سلامتی و محیطی، تحقیقات کمی در مورد استفاده از

1-Sustainable development
2-Bakery
3-Food supply chain
4-Confectionary industry
5-Customized foods

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-19]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1402.20.136.14.2]
[DOI: 10.22034/FSCT.20.136.186]

ضای‌عات مواد غذایی به عنوان مواد تشک‌ی‌ل دهنده برای چاپ سه بعدی مواد غذایی وجود دارد[۸].

در طی دهه گذشته گرای‌ش به تول‌ی‌د محصولات غذایی عملگرای حاوی سلول های پروب‌ی‌وت‌ی‌ک به دل‌ی‌ل‌اثرات‌مثبت‌ف‌ی‌زی‌ولوژی‌ک‌ی و سلامت‌ی بخش آنهارشدچشمگ‌ی‌ری‌داشتهاست[9]. پروب‌ی‌وت‌ی‌ک‌ها م‌ی‌کروارگان‌ی‌زم‌های‌زنده‌ای‌هستندکهاگردرمقدارمناسب (106 –107CFU/g)مورداستفاده قرار بگ‌ی‌رند م‌ی توانند اثرات سلامت‌ی بخش‌یاز جمله بهبود عملکرد دستگاه گوارش، س‌ی‌ستم‌های‌اکس‌ی‌داس‌ی‌ون-اح‌ی‌ا و متابول‌ی‌سم درشت مغذی‌هادرم‌ی‌زبانای‌جادکنند[۱۰, ۱۱]. در طی سالهای اخ‌ی‌ر تحق‌ی‌قات‌ی در خصوص استفاده از فناوری چاپ سه بعدی در تول‌ی‌د محصولات غذایی حاوی پروب‌ی‌وت‌ی‌ک صورت گرفته است. نمونه ای از ای‌ن محصولات شامل اسنک ها بر پای‌ه غلات، س‌ی‌ب زم‌ی‌ن‌ی، شکلات، م‌ی‌وه و سبزی[۱۲-۱۵]م‌ی باشد. زنده مانی پروبیوتیک‌ها طی فرایند تولید محصولات غذایی با چالش‌های مختلفی رو به رو می یاشد. شرای‌ط‌حاکمبرفرای‌ندتول‌ی‌دموادغذایی م‌ی تواند منجر به از دست رفتنزندمان‌ی مقادی‌ر قابل‌توجه‌ی از پروب‌ی‌وت‌ی‌ک‌هابهدل‌ی‌ل صدمات سلول‌ی ناش‌ی از گرما، استرس مکان‌ی‌ک‌یی‌ااسمزی‌و بس‌ی‌اری از شرای‌ط دی‌گر شود[۱۶].

بهعنوانمثال،درصورتاستفادهازچاپسه‌ی‌عدی‌درتول‌ی‌دمحصولاتغذایی‌حاوی‌پروب‌ی‌وت‌ی‌کفاکتورهای‌متعددی‌برزندهمان‌ی‌سلولهانقشدارند. فاکتورهای چاپ مانند قطر نازل، دمای فرای‌ند چاپ، مدت زمان نگه داری، سرعت اکستروژن، فشار اکستروژن و شرای‌ط انبارداری بر زنده مان‌ی سلول های پروب‌ی‌وت‌ی‌ک اثر زی‌ادی دارند [۱۳]. چندی‌ن استراتژی در طول سالهای اخ‌ی‌ر برای غلبه بر ای‌ن موانع برای ای‌جاد حداکثر قابل‌ی‌ت زنده ماندن پروب‌ی‌وت‌ی‌ک‌هادرهنگامفرآی‌ندهایانبارداری محصول، توزی‌ع در بازار و همچن‌ی‌ن‌پسازمصرفدردستگاهگوارشی‌عن‌ی‌ش‌ی‌ره معده و شرای‌ط نمک های صفراوی روده، مورد بررس‌ی قرار گرفته است. تولید میکرو کپسول‌های حاوی پروبیوتیک به سه دسته اصلی اکستروژن، امولسیون و خشک‌کن پاششی تقسیم می‌شود که اکثر تحقیقات با استفاده از فناوری‌های اکستروژن یا امولسیون انجام می‌شود[۱۷].. روش اکستروژن معمولاً برای ریز پوشانی سلول‌های میکروبی به کار می‌رود اکستروژن یک روش فیزیکی است که در آن سلول‌های پروبیوتیک زنده در مواد هیدرو کلوئیدی مانند آلژینات و کاراگینان قرار می‌گیرند این‌یک فرایند بسیار متداول است که بر اساس عبور اجباری محلول حاوی سلول‌های میکروبی از طریق نازل یا دهانه‌های کوچک با استفاده از دستگاه‌های تولید کننده قطرات مناسب انجام می‌شود.[۱۶, ۱۸-۲۱].

هدف از این تحقیق تولید کوکی فراسودمند حاوی پروبیوتیک با استفاده از ضایعات حاصل از صنعت قنادی به شکل خمیر به عنوان حامل سلول های پروبیوتیک توسط چاپگر می باشد. افرون بر این زنده مانی سلول ها به صورت آزاد و ریزپوشانی شده حین فرایند چاپ و پخت نیز مورد ارزیابی قرار می گیرد.

۲.مواد و روش‌ها

۲,۱. لیست مواد و تجهیزات و دستگاههای مورد استفاده

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-19]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1402.20.136.14.2]
[DOI: 10.22034/FSCT.20.136.186]

Table 1. Materials used in study

Country	Manufacturer	Materials
USA	Sigma-Aldrich	Sodium Alginate
Germany	Merck	Calcium Chloride
Germany	Merck	Sodium Citrate
Iran	University of Tehran	Lactobacillus plantarum DSMZ 20174
Canada	Qlab	MRS Broth
Iran	–	Yazdi Cake

Table 2:Equipments used in study**Country**	**The manufacturer and model of the device**	**Devices**
Iran	Pars Khazar	Microwave
Germany	Heidolf MR3001 K	Magnetic Stirrer
Germany	Hettich Universal 320	Centrifuge
Germany	IKA genius	Vortex
Japan	AND	Accurate scale
USA	Brookfield	Texture Analyzer
Germany	Zeiss	SEM
Iran	---	Sieve (mesh 20)

۲,۲.تهیه و آماده سازی سلول های باکتریایی

لاکتوباسیلوس پلانتاروم DSMZ 20174، از آزمایشگاه گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی دانشگاه تهران تهیه شد .فعال سازی باکتری لاکتوباسیلوس پلانتاروم در محیط کشت MRS آگار در دمای 37 °c به مدت ۴۸ ساعت انجام شد. سپس یک کلونی از محیط جامد MRS آگار به محیط مایع MRS اضافه شد و محیط کشت مورد نظر را در انکوباتور با دمای ۳۷ درجه سانتی گراد به‌مدت ۲۴ ساعت قرار داده و پس از ۲۴ ساعت مجدداً یک میلی‌لیتر از محیط کشت را به محیط کشت مایع MRS تلقیح شد. در نهایت جداسازی باکتری‌ها پس ازگذشت مدت زمان ۱۸ ساعت از تلقیح و هنگامی‌که در ابتدای مرحله سکون (انتهای مرحله لگاریتمی) قرار گرفتند، صورت‌گرفت [۲۲]. جهت جداسازی سوسپانسیون باکتری از محیط کشت، ابتدا محیط کشت حاوی میکروارگانیسم به‌مدت ۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در سانتریفیوژ با دور ۶۰۰۰ rpm، سانتریفوژ شد. در ادامه محیط کشت را خارج کرده و توده باکتری دو بار توسط سرم فیزیولوژی شستشو داده‌شده و مجدداً سانتریفوژ شد. در نهایت سوسپانسیون جداشده توسط سرم فیزیولوژی رقت سازی شده و شمارش میکروارگانیسم انجام شد[۲۳]..

۲,۳. ریزپوشانی میکروب با روش اکستروژن

فرآیند ریزپوشانی با استفاده از روش اکستروژن مطابق روش ست و همکاران[۲۴]صورت گرفت. به این منظور ابتدا ۰/۴ گرم پودر آلژینات سدیم را به ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر افزوده و به مدت یک شبانه روز در دمای محیط تحت همزنی قرار گرفت. سپس محلول حاصل استریل شد و در یخچال با دمای ۴ °C نگهداری شد. در ادامه یک میلی‌لیتر سوسپانسیون باکتریایی تهیه شده به محلول آلژینات سدیم اضافه شده و به‌طور کاملاً یکنواخت پراکنده شد. در ادامه محلول تهیه شده را توسط سرنگ استریل به صورت قطره قطره به محلول ۳٪ کلسیم کلرید به‌عنوان محلول سخت کننده در حال همزنی ملایم اضافه‌شد. در نهایت ریزپوشش تهیه شده با هدف استفاده‌های بعدی، در ۴ °C نگهداری شدند.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-19]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1402.20.136.14.2]
[DOI: 10.22034/FSCT.20.136.186]

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-19]

[DOR: 20.1001.1.20088787.1402.20.136.14.2]

[DOI: 10.22034/FSCT.20.136.186]

۲,۴.بررسی کارایی ریزپوشانی

جهت ارزیابی میزان کارایی ریزپوشانی[۲۵]ابتدا ۱ گرم از ریزپوشش های تولید شده را به ۹ میلی‌لیتر محلول استریل سیترات سدیم ۰/۱ مولارافزوده و به مدت ۴۵ دقیقه در دما یتحتهمزنی قرار داده تا دانک‌ها به صورت کامل حل شده و باکتری‌ها از ریزپوشش هاآزاد شوند. سپس رقت مناسبی از محلول حاصل تهیه‌شده و در محیط کشت MRS آگار کشت داده شد. درنهایت با هدف رشد میکروارگانیسم مورد نظر محیط کشت‌ها را در دمای دمای°C ۳۷ به مدت ۴۸ ساعت انکوبه گذاری شدند. میزان کارایی ریزپوشانی توسط معادله ۱ محاسبه شد:

معادله ۱:

$$\text{ریزپوشانیکارایی}(\%) = \frac{N_1}{N_0} \times 100$$

که در آن N_0= تعداد باکتری اولیه و N_1= تعداد باکتری پس از ریزپوشانیاست.

۲,۵.بررسی اندازه ریزپوشش تولید شده

به‌منظور اندازه‌گیری اندازه ریزپوشش، ابتدا با استفاده از میکروسکوپ نوری از ریزپوشش تصویر برداری صورت گرفت. سپس اندازه دانک‌ها با استفاده از نرم افزار ImageJنسخه‌ی1.52a ارزیابی شد[۲۶]..

۲,۶.بارگزاری سلول ها و چاپ سه بعدی خمیر کوکی

۱گرم از اریزپوشینه های تولید شده در ۹ گرم آب و ۱۰/۵ گرم پودر شیرینی (تهیه شده از ضایعات قنادی) مخلوط شده است و پس از بهینه‌سازیفرمولاسیونخمیرکوکی، شرایطچاپسه‌بعدیخمیر مورد بهینه‌سازی قرار گرفت. شرایطبهینهپارامترهای مؤثر بر چاپخمیر به صورت: سرعت پرینت برابر با ۲۰ میلیلیتر بر ثانیه،قطر خروجی نازل برابر با ۲ میلی متر، حجم سرنگ برابر با ۲۰ میلیلیتر، ارتفاع نازل ۱/۵ میلی متر، و ارتفاع لایه‌هانیز برابر با ۱/۵ میلی متر بود. تمامیطراحی‌ها، از جمله طراحیدستگاه، نازل و شرایطکلیدستگاه در اینتحقیق توسط تیمپژوهنده انجام شد.سپس خمیر حاوی سلول های پروبیوتیک توسط چاپ سه بعدی، چاپ شد. و در نهایت خمیر چاپ شده در دو دمای ۱۵۰°Cو °C ۱۸۰به مدت ۱۰ دقیقه در آون خانگی پخته شد.

۲,۷. ارزیابیزنده مانی سلول های پروبیوتیکمحصولپسازفرآیند چاپ سه بعدی و پخت

[۲۷]ابتدا نمونه خمیر یا کوکی تهیه شده در شرایط استریل همگن شده و سپس یک گرم از نمونهتوزین شده و در محلول سیترات سدیم ۱٪ پراکنده شد. سپس نمونه تا تخریب کامل ریزپوشش ها و آزاد شدنسلول های ریزپوشانی شده، تحت همزنی قرار گرفت. سپس نمونه مورد نظر را تا رقت مناسب رقیق کرده و در محیط MRS آگار به صورت اختلاطی کشت داده و شمارش صورت گرفت و نتایج بر حسب CFU/ml گزارش شد.

۲,۸.بررسی بافت محصول نهایی

به‌منظورارزیابیخصوصیاتبافتینمونه‌ها، آزمونTPAبااستفاده از دستگاهBrookfield انجام شد. ابتدانمونه‌هابا قطر ۳ سانتی‌مترچاپ شده و سپس بر رویسکویدستگاه قرار گرفته و پروبسیلندریبا قطر 50میلی‌متر به آرامی تا عمق ۵۰٪ نمونه در نمونه‌ها نفوذ کرد و مجدداً به سطح نمونه برگشت. اینسیکلحرکتی در مجموع برای هر نمونه دوبارتکرار شد.

۲,۹. آنالیز آماری

بهینه‌سازی تولید ریزپوششبا استفاده از روش یک فاکتور در زمان برای پارامترهای غلظت محلول آلژینات و غلظت محلول کلسیم کلرید مورد بررسی قرارگرفت. مقایسه میانگین داده‌ها (حداقل یه تکرار برای هر آزمون) با استفاده از نرم‌افزار Minitab نسخه ۱۸، تحت روش آنالیز یک طرفه واریانس و با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

۳. نتایج

۳,۱.بهینه‌سازیشرایطتولیدریزپوشش

به‌منظور تولید ریزپوشش با اندازه و شکل‌های یکسان، شرایط تولید ریزپوشش ها مورد بهینه‌سازی قرار گرفت. در همین راستا، اثر دو پارامتر غلظت سدیم آلژینات و غلظت محول کلسیم کلرید بر روی خصوصیات ریزپوشش ها مورد بررسی قرار گرفت. در این خصوص باید گفت که هدف از بهینه‌سازی، دستیابی به ریزپوشش کروی و ریز و با اندازه‌های حدود ۲ میلی‌متر بود، چرا که اندازه‌ی نازل دستگاه چاپگر سه‌بعدی مورد استفاده در این تحقیق حدودا برابر با ۲ میلی‌متر بود. افزایش اندازه دانک‌ها به بیش از ۲ میلی‌متر باعث گرفتگی دستگاه و اخلال در فرآیند چاپ سه‌بعدی می‌شد. به علاوه، کنترل اندازه دانک‌هایکی از پارامترهای مهم به منظور کاربرد آن‌هابرای تثبیت و ریزپوشانیسلول‌های زنده به شمار می‌رود. افزایش اندازه ریزپوششمنجر به محدودیت در انتشار مواد مغذی به درون دانک‌ها می‌شود. به طور دقیق‌تر، ورود مواد مغذی مانند اکسیژن به داخل دانک‌ها منجر به مرگ سلول در نتیجهمتابولیسم سلول‌هایمجاور و تولید متابولیت‌های رقابتی می‌شود. به‌علاوه،دانک‌های کوچک‌تر در برابر تنش‌ها برشی و فشاری مقاوم‌تر هستند و ممکن است باعث بروز پاسخ ایمنی کمتریتوسط بدن شوند[۲۸].

۳,۱,۱. اثر غلظت محلول آلژینات سدیم بر خصوصیات ریزپوشش

به‌منظور بررسی اثر غلظت محلول آلژینات سدیم بر خصوصیات ریزپوششها، محلول‌هایی با غلظت‌های ۲ تا ۴٪ (وزنی/حجمی) تهیه شد و سپس به درون سرنگ انتقال یافت و با فشار دست و قطره قطره از سرنگ خارج و به درون ظرف حاوی محلول کلسیم کلرید ۲٪ (وزنی/حجمی) ریخته شد.انتخاب غلظت‌های ۲ تا ۴٪ (وزنی/حجمی) در این تحقیق به دلیل این امر بود که به منظور تشکیل ریزپوشش، ویسکوزیته‌ی محلول سدیم آلژینات می‌بایست از ۶۰ میلی‌پاسکال بیشتر باشد[۲۹]. میانگین اندازه ریزپوشش تشکیل شده در اثر تغییر غلظت محلول آلژینات در جدول (۱) آورده شده است. همانطور که در جدول مشاهده می‌شود، با افزایش غلظت محلول آلژینات، اندازه‌ی ریزپوشش ها به طور معنی‌داری ($p< ۰/۰۵$) افزایش پیدا کرد.عوامل متعددی از جمله فاصله‌ی نازل تا سطح محلول ژل‌کننده، خصوصیات آلژینات استفاده شده، غلظت محلول کلسیم کلرید و غلظت محلول آلژینات سدیم می‌توانند بر اندازه، شکل و یکنواختی ریزپوشش هاتاثیرگذار باشند[۳۰, ۳۱]. همچنین گزارش شده که با افزایش بی‌رویه‌ی غلظت آلژینات، ویسکوزیته افزایش یافته، و در نتیجه محلول آلژینات به سختی قابلیت پمپ شدن از سرنگ را خواهد داشت و ریزپوشش های کروی حاصل نمی‌شوند [۳۲, ۳۳]. نظر به این‌که تمامی عوامل از جمله غلظت محلول ژل‌کننده (کلسیم کلرید) در این آزمون یکسان در نظر گرفته‌شد، می‌توان تغییر در اندازه و یکنواختی ریزپوشش-های تشکیل‌شده را تنها به غلظت محلول سدیم آلژینات

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-19]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1402.20.136.14.2]
[DOI: 10.22034/FSCT.20.136.186]

نسبت داد. با افزایش غلظت محلول آلژینات، ویسکوزیته‌ی محلول افزایش یافت که این افزایش به نوبه‌ی خود باعث افزایش اندازه قطره خارج شده از نازل و در نهایت افزایش اندازه ریزپوشش‌ها شد. در پژوهش انجام شده توسط کاور و همکاران گزارش شد که افزایش غلظت محلول سدیم آلژینات از ۱٪ به ۳٪ (وزنی/حجمی) منجر به افزایش اندازه‌ی ریزپوشش‌های تولیدی شد [۳۴]

در خصوص یکنواختی شکل ریزپوشش ها نیز باید گفت که با افزایش غلظت محلول آلژینات، ریزپوشش ها گردتر و یکنواخت‌تر شدند. تغییر شکل در ریزپوشش‌های تولید شده از محلول آلژینات با غلظت ۲٪ در مقایسه با دانک‌های تولید شده از محلول با غلظت ۴٪ بیشتر بود (شکل ۱). این پدیده اثر کشش سطحی بر یکنواختی ریزپوشش‌ها را نشان می‌دهد. با افزایش غلظت آلژینات در محلول، کشش سطحی کاهش بیشتری خواهد داشت. کاهش کشش سطحی منجر خواهد شد که قطره رها شده از نوک نازل، قبل از برخورد به سطح محلول ژل‌کننده، راحت‌تر بتواند شکل کروی به خود بگیرد[۳۲]. همچنین در محلول‌های رقیق‌تر به نسبت انواع غلیظ‌تر، امکان پخش‌شوندگی و تغییر شکل قطرات هنگام برخورد به سطح محلول ژل‌کننده افزایش می-یابد[39].افزایش ویسکوزیته سبب می‌شود که قطره هنگام برخورد، از خود رفتار یک جسم کروی جامد را بروز دهد که این رفتار منجر به مقاومت بیشتر نسبت به تغییر شکل می‌گردد. هنگامی که قطره وارد محلول ژل می شود، نیروهای ویسکوز[1] درون قطره برای حفظ شکل قطره کروی عمل می‌کنند در حالی که نیروهای کششی[2] که از محلول اطراف بر روی سطح قطره اعمال می‌شود، تمایل دارند که قطره محلول آلژینات (دانک) را مختل کند. قطرات محلول آلژینات با ویسکوزیته کم کمتر قادر به حفظ شکل کروی خود در برابر نیروهای کششی در برخورد با سطح حمام ژل هستند[33].

Table 1. Investigation of the effect of alginate solution concentration on the average size of beads (concentration of 2% w / w calcium chloride)

	Alginate concentration (% by weight / volume)		
	2	3	4
Average particle size (mm)	2.030±0.014[a]	2.150±0.015[b]	2.257±0.021[c]

Different letters in each row show a significant difference at the 95% level (p <0.05).

1-Viscous forces

2-Drag forces

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-19]

[DOR: 20.1001.1.20088787.1402.20.136.14.2]

[DOI: 10.22034/FSCT.20.136.186]

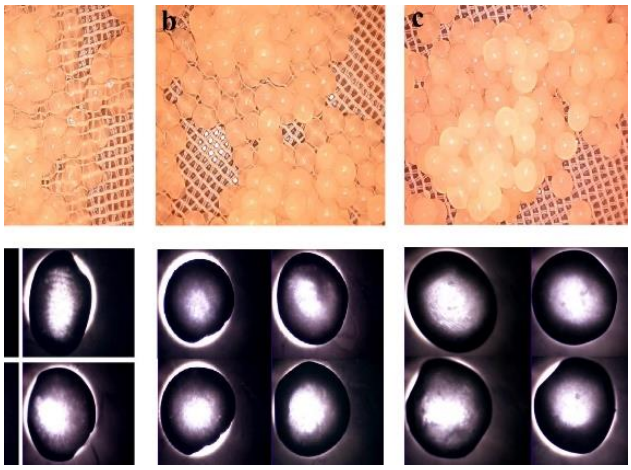

Figure 1. Effect of alginate concentration on the properties of beads. Microscopic image of produced beads with a concentration of 2%Sodium alginate (w / w (a), 3% (b), 4% (c)

۳،۱،۲. اثر غلظت کلسیم کلرید بر خصوصیات دانک‌ها

یکی از خصوصیات بارز آلژینات‌ها، توانایی تشکیل ژل در حضور یون‌ها چندظرفیتی (خصوصا دو ظرفیتی) می‌باشد [۳۵]. از مکانیسم تشکیل ژل در آلژینات‌ها به عنوان مدل جعبه تخم‌مرغی[1] یاد می‌شود. شکل‌گیری ژل‌های آلژیناتدر اثر حضوریون عمدتاً توسط برهمکنش‌های الکترواستاتیک بین گروه‌های کربوکسیل با بار منفی در مولکول‌های آلژینات و کاتیون‌های دارای بار مثبت تشکیل می‌شوند که منجر به تشکیل کمپلکس‌های پلی الکترولیتمی‌گردد[۳۶]. نتایج مربوط به اندازه ریزپوشش ها تشکیل شده در اثر تغییر غلظت محلول کلسیم کلرید در جدول **۲**آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود اندازه ریزپوشش ها با افزایش غلظت محلول کلسیم کلرید به طور معنی‌داری ($p<$ ۰/۰۵) کاهش می‌یابد. به‌علاوه، ریزپوشش‌های تشکیل شده، با افزایش غلظت کلسیم کلرید یکنواخت‌تر و کروی‌تر شده‌اند (شکل ۲).در این خصوص باید گفت که افزایش غلظت کلسیم کلرید، منجر افزایش عوامل کراس‌لینک کننده می‌گردد، لذا قطره به محض ورود به محلول کلسیم کلرید تبدیل به ژل می‌شود. در ادامه، به دلیل کوچک بودن اندازه ریزپوشش‌ها سرعت دسترسی یون‌های کلسیم به مرکز ریزپوشش‌ها افزایش یافته و در نهایت اکثر نواحی که قابلیت ایجاد پیوند یونی را دارند توسط یون کلسیم اشغال می‌شوند. این پدیده به معنی ژلاسیون کامل دانک‌ها می‌باشد. با افزایش میزان ژلاسیون، میزان خروج آب یا همان پدیده‌ی سینرزیس و همچنین سفتی ریزپوشش افزایش می‌یابد، و لذا یزپوشش ها ایجاد شده، اندازه‌ی کوچکتری خواهد داشت[۳۷]. در نهایت با توجه به نتایج بدست آمده از بخش بهینه‌سازی تولید دانک‌ها، به منظور حداکثرسازی کارایی درون‌پوشانیو درعین حال، حصول ریزپوششهای ریز با شکل یکنواخت، دانک‌ها با استفاده از محلول ۴٪ (وزنی/حجمی) سدیم آلژینات و در غلظت ۳٪ (وزنی/حجمی) محلول ژل‌کننده کلسیم کلرید تولید شدند. از ریزپوشش‌های تولید شده به منظور بررسی کارایی درون-پوشانی و همچنین کاربرد در فرمولاسیون کوکی استفاده شد.

Table 2. Investigation of the effect of calcium chloride solution concentration on the average size of thebeads (4% w / w Sodium alginate concentration)

	Calcium chloride concentration (% by weight / volume)		
	1	2	3
Average particle size (mm)	2.375±0.053[a]	2.257±0.046[b]	2.06±0.021[c]

1- Egg-box model

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-19]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1402.20.136.14.2]
[DOI: 10.22034/FSCT.20.136.186]

Different letters in each row show a significant difference at the 95% level (p <0.05).

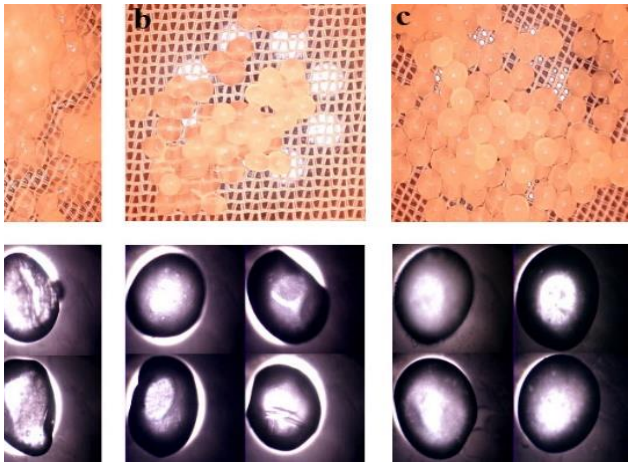

Figure 2. Effect of alginate concentration on the properties of beads. Microscopic image of bead produced with differentconcentrationsof calcium chloride: 1% (a), 3% (b) and 4% (c)

۳،۲. بارگذاری باکتری درون ریزپوشش‌ها

کارایی درونپوشانیبه‌صورت درصد مواد هسته درون‌پوشانی شده توسط ماده‌ی دیواره در مقایسه با میزان کل آن ماده در فرآیند درونپوشانی تعریف می‌شود. به منظور بررسی کارایی ریزپوشانی، مقدار 10^{15} CFU/ml باکتری در ۱۰ میلی لیتر محلول تشکیل‌دهنده‌ی ریزپوشش تلقیح شد. انتظار میرود در حالت ایده‌آل، 10^{14}CFU/ml در هر گرم از ریزپوشش یافت شود. نتایج نشان داد که در هر گرم از این ریزپوشش‌ها مقدار $0/33\times10^{13}$ CFU/gr باکتری وجود داشت. این امر بدین معنی است که کارایی ریزپوشانی ریزپوششهای آلژینات در این روش برابر با ۸۹/۴۱٪ بوده است. در مطالعه‌ی انجام شده توسط ست و همکاران، کارایی ریز-پوشانی باکتری‌های *استرپتوکوکوس ترموفیلوس* و *لاکتوباسیلوس بولگاریکوس* در ریزپوشش‌های آلژینات به روش اکستروژن برابر با ۸۱/۰۶±۰,۳۲۴٪ بوده است . در مطالعه‌یدیگرکهبه‌منظوردرون‌پوشانی*لاکتوباسیلوسپلانتاروم* در هیدروژلبرپایههیبریدپروتئیناآلژینات–سویاصورت گرفت، میزانکاراییریزپوشانیبین ۹۲–۹۰ درصدگزارش شد [۳۸]. همچنینپترایتیهگزارشکردندکهکاراییدرون‌پوشانیبرایباکتری-های*لاکتوباسیلوسپلانتاروم*، *لاکتوباسیلوسریوتری*و *لاکتوباسیلوسهلوتیکوس*به ترتیب برابر با۵٪،۵۲٪، ۹± ۷٪،۳۰٪ و ۲٪،۲۱ بوده است. همچنین آن‌ها گزارشکردندکه حضور کلسیمکلرید به عنوان عامل تشکیلریزپوشش در بازه‌ی ۱ تا ۵٪ (وزنی/حجمی)، منجر به توقف رشد باکتری*لاکتوباسیلوسپلانتاروم*می‌گرددکهاین اثر در غلظت ۵٪ به حداکثر خود می‌رسد. همچنین محققان اظهار داشتند که افزایش غلظت کلسیم کلرید به ۱۰٪ باعث ایجاد اثر کشندگی و در نتیجه کاهش زنده‌مانی باکتری شد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که آلژینات می‌تواند به عنوان یک ماده‌ی دیواره‌ی مناسب، به منظور درون‌پوشانی باکتری عمل کند.[۳۹].

۳،۳. آزمون آنالیز پروفایل بافتی

به‌منظور بررسی سفتی نمونه‌های کوکی پس از پخت آزمون آنالیز پروفایل بافتی بر روی نمونه‌های کوکی پس از پخت به مدت ۱۰ دقیقه در دو دمای ۱۵۰° و ۱۸۰°C صورت گرفت. باید اظهار داشت که سفتی نمونه‌های کوکی در بازه‌ی ۱۶/۱۰ تا ۳۰/۰۴ نیوتن بود. وارقسه[1] و همکاران بود که سفتی نمونه‌های کوکی چاپ‌شده توسط چاپگر سه‌بعدی را بین ۲/۴۵ تا ۱۷/۶۵ نیوتن گزارش‌کردند[۴۰]. همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، با افزایش دمای پخت کوکی‌ها، سفتی نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش یافت.در دمای فر

1- Varghese

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-19]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1402.20.136.14.2]
[DOI: 10.22034/FSCT.20.136.186]

پخت بالاتر، ویسکوزیته خمیر به سرعت تحت اثر ژلاتینه‌شدن نشاسته و انعقاد پروتئینافزایش مییابد. دمای بالاتر فر همچنین منجر به فرار زودهنگام گازها و بخارات از خمیر شده که منجر به متراکم‌تر شدن و سفت‌تر شدن کوکی‌ها می‌شود [۴۱].

در خصوص اثر افزودن ریزپوشش‌ها باید گفت که با افزوده‌شدن دانک به فرمولاسیون کوکی، سفتی کوکی‌ها پس از پخت در هر دو دما نسبت به نمونه‌ی شاهد افزایش یافت. افزودن ریزپوشش به فرمولاسیون منجر به افزایش ویسکوزیته خمیر شد. افزایش ویسکوزیته‌ی خمیر، در هنگام چاپ سه‌بعدی منجر به افزایش یکنواختی مخلوط و خروج آن به‌صورت هموژن از دستگاه می‌شود. یکتواختی مخلوط هنگام خروج از نازل، می‌تواند باعث افزایش چگالی چاپ خمیر گردد که خود سبب کاهش تخلخل نسبت به نمونه‌های بدون ریزپوشش می‌شود.

Table **3: The effect of temperature and microencapsules on the firmness of baked cookies**

		Cooking Temperature	
		°150 C	C °180
Firmness(N)	T_1	^{Ba} ± ۳/۸۱ ۱۶/۱۰	^{Ab} ± ۴/۸۵ ۲۶/۸۸
	T_2	^{Ba} ± ۴/۲۸ ۱۹/۰۱	^{Ab} ± ۴/۰۳ ۳۰/۰۴

Different letters in each row show a significant difference at the 95% level (p <0.05).

T1: Samples containing free probiotic cells

T2:Samples containingmicroencapsulatedprobioticcells

۳،۴. بررسی زنده‌مانی باکتری‌ها پس از فرآیند چاپ سه‌بعدی

به‌منظور بررسی اثر محافظت‌کنندگی ریزپوشش ها ها بر زنده‌مانی باکتری در فرمولاسیون کوکی، شمارش باکتری‌ها برای نمونه‌های T_1(حاوی سلول های آزاد پروبیوتیک) و T_2(حاویسلول های ریزپوشانی شده) صورت گرفت. نتایج حاصل نشان داد که ریزپوشانی باکتری با آلژیناتسدیم ، به طور موفقیت‌آمیز و معنی‌داری ($p<$ ۰/۰۵) باعث افزایش زنده‌مانی باکتری‌ها در خمیر پس از چاپ سه‌بعدی شد. زنده‌مانی برای نمونه‌های T_1و T_2به ترتیب برابر با ۲/۴۹ ±۷۷/۶۰ و۱/۷۸ ± ۹۶/۸۶٪ بود (شکل ۳و ۴). یکی از دلایل اصلی انجام فرآیند ریزپوشانی پروبیوتیک‌ها، محافظت از این میکروارگانیسم‌ها در مواجه با شرایط نامطلوب محیطی است.این شرایط نامطلوب مجموعه‌ای از عوامل از جمله اسیدیته بالا، نمک‌های صفراوی و آنزیم‌ها است[۴۲]. با این حال، یکی از مهمترین شرایطی که اغلب نادیده گرفته می‌شود، شرایط فرآیندی مواد غذایی است. یکی از این شرایط، تنش‌های مکانیکی بالایی است که گاها در فراوری مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این پژوهش از دستگاه چاپگر سه‌بعدی و روش اکستروژن به-منظور چاپ خمیر فرموله‌شده استفاده شد. یکی از خصوصیات این‌گونه فرآیندها، اعمال فشار و در نتیجه افزایش تنش برشی در نازل است. فشار واردشده به خمیر هنگام فرآیند چاپ، و همچنین تفاوت در اندازه نازل نسبت به اندازه مخزن، منجر به افزایش تنش برشی می-گردد.افزایش تنش برشی در نازل هنگام فرآیند چاپ می-تواند منجر به آسیب رسانی به غشاء سلول و کاهش زنده-مانی پس از چاپ شود. به‌طور معمول در اثر اعمال تنش، سلول‌ها بتدا سعی در آداپته کردن خود با شرایط محیطی می‌کنند و در صورتی که در انجام این‌کار ناموفق باشند،

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-19]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1402.20.136.14.2]
[DOI: 10.22034/FSCT.20.136.186]

تنش باعث مرگ سلول‌ها می‌شود . با این‌حال باید گفت نمونه‌ی شاهد از میزان زنده‌مانی بالایی برخوردار بود. در توجیه زنده‌مانی بالای باکتری‌ها در نمونه‌ی شاهد، باید گفت که ثابت شده استفاده از فرآیند اکستروژن در فشارهای پایین می‌تواند آسیب به سلول‌ها را تا حدی کاهش دهد[۴۳]. با این حال تفاوت معنی‌داری میان نمونه‌های T_1 و T_2مشاهده شد. افزایش زنده‌مانی باکتری‌ها در نمونهT_2 به‌دلیل اثر محافظت‌کنندگی ریزپوشش بر روی میکروارگانیسم بود.

۳،۵.بررسی زنده‌مانی باکتری‌ها پس از فرآیند پخت

استفاده از پروبیوتیک‌ها در صنعت نانوایی و قنادی، به علت شرایط دمایی بالا، چالش بزرگی برای محققین می-باشد.دمای بیش از حد منجر به تغییر در ساختار های ها، مانند پروتئین و اسید نوکلئیک سلول‌ماکرومولکول شکند، که باکتریاییشده وپیوند بین واحدهای مونومری را می در نهایت باعث از بین‌فتن مونومرها و مرگ باکتری‌ها می-شود[۴۳]. در مطالعه ای که توسط لو ژانگ و همکارانش صورت گرفت و از نان به عنوان حاملی برای پروبیوتیک (لاکتوباسیلوس پلانتاروم) در دماهای مختلف استفاده شد، که در تمامی شرایط پخت مقدار پروبویتیک‌ها به اندازه ۴-۵ لگاریتم کاهش پیدا کردند[۴۴]. نتایج نشان دادند که محتوای رطوبت موجود در نمونه‌ها عامل مهمی در میزان ها طی فرآیند حرارتی می‌باشدبه این کاهش پروبیوتیک صورت‌که کمتر بودن میزان رطوبت در پوسته نان سبب افزایش زنده‌مانی پروبیوتیک‌ها نسبت به مغز نان شده‌است که دارای رطوبت بیشتری می‌باشد. نتایج حاصل از شمارش ۱۵۰° و Cباکتری‌ها قبل و پس از پخت در دو دمای ۱۸۰° ، در ۱۸۰°C نشان‌داد که پس از پخت در دمای C هیچکدام از نمونه‌ها باکتری‌ها زنده باقی نماندند(شکل ۳ و ۴). با این حال، شمارش باکتری‌ها در کوکی‌های پخت‌شده ۱۵۰° در نمونه‌های حاوی سلول های Cدر دمای ریزپوشیده شده و مقایسه نتایج با تعداد سلول های نمونه‌ی شاهد پس از پخت نشان‌دهنده‌ی کارایی ریزپوشانی در حفظ زنده‌مانی باکتری‌ها بود. همانطور که شکل ۳ و ۴ مشخص شده‌است، زنده‌مانی باکتری‌ها پس از پخت در ۱۵۰°و به مدت ۱۰ دقیقه، برای نمونه‌های Cدمای دمای به‌ترتیب برابریا۳/۷۲ ± ۴۳/۰۵ و ۲/۲۳ ± ۶۲/۵۸ T_2 و T_1). عباس‌زاده pبود که تفاوت میان آن‌ها معنی‌دار بود(۰/۰۵ > و همکاران در پژوهشی از دانک‌های آلژینات پوشانده شده با کیتوزان به منظور درون‌پوشانی *لاکتوباسیلوس رامنوسوز* ° ۵۵، ۶۰ Cاستفاده کردند و اثر تیمار حرارتی در سه دمای و ۶۵ را بر زندمانی باکتری مذکور مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که اثر محافظتی پوشش، در دماهای بالاتر بیشتر بود. آنها بیان داشتند که درون‌پوشانی با استفاده از ها را افزایش دهد و آلژیناتمی‌تواند مقاومت حرارتی باکتری این اثر در غلظت‌های بالاتر آلژینات افزایش می‌یابد [۴۵]. های دینگ و همکاران گزارش کردند که باکتری پروبیوتیکدرون‌پوشانی شده با آلژینات در طول فرآیند ° ۶۵ به مدت ۳۰ دقیقه،باعث کاهش ۴ Cحرارتی در دمای لگاریتمی باکتری‌ها شد، در حالی که این کاهش برای حالت درون‌پوشانی نشده برابر با ۶/۷ لگاریتم بود[۴۶]. علاوه بر این، توسط تئو و همکاران نشان داده شد که میزان باکتری *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس*آزاد پس از قرار گرفتن در ° ۶۰ به مدت ۳۰ دقیقه، حدود ۵ Cمعرض دمای سیکللگاریتمی کاهش یافت، در حالی که این کاهش در حالت درون‌پوشانی شده برابر با۲ سیکل لگاریتمی بود [۲۹]. مالمو و همکاران در تحقیق برای بررسی اثر درون-پوشانی لاکتوباسیلوس رویتری در آلژینات و ترکیب آلژینات و کیتوزان، نشان دادند که میزان زنده‌مانی پس از پخت در سوفله‌ی شکلاتی برابر با ۷٪ و ۱۰٪ جمعیت اولیه باکتری تلقیح شده بود، در حالی که با تلقیح باکتری به

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-19]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1402.20.136.14.2]
[DOI: 10.22034/FSCT.20.136.186]

صورت درون‌پوشانی نشده، میزان جمعیت باکتریایی به ۱٪ کاهش یافته بود [۴۱].

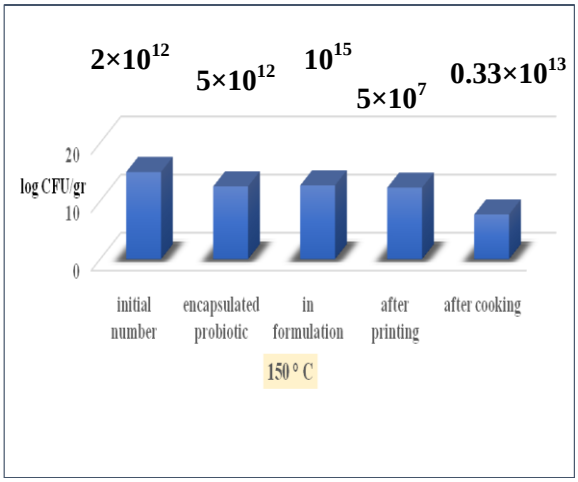

Figure 3. Density of probiotics at different stages of the process in sample T1 (Sample containing free probiotic cells)

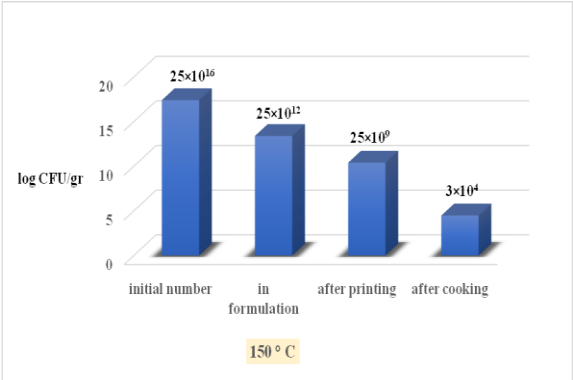

Figure 4. Cell density of probiotics at different stages of the process in sample T2 (Sample containing microencapsulated cells)

۴. نتیجه‌گیری

در این پژوهش، ضایعات شیرینی به عنوان ماده اولیه برای تولید محصول حاوی پروبیوتیک توسط فناوری چاپ سه بعدی مورد استفاده قرار گرفت. پروبیوتیک مورد نظر (لاکتوباسیلوس پلانتاروم) توسط روش اکستروژن و آلژینات سدیم ریزپوشانی شدند و سپس در فرمولاسیون خمیر کوکی مورد استفاده قرار گرفتند. بررسی شرایط چاپ خمیر و پخت نشان داد که استفده از ضایعات فراورده های قنادی گزینه مناسبی برای فرمولاسیون و تولید محصولات فراسودمند به کمک چاپ سه بعدی می باشد. با این وجود تحقیقات بیشتری جهت بررسی شرایط فرایند از جمله دما، زمان، سایز نازل، نیروی وارد شده هنگام چاپ و غیرهجهت بهبود زنده‌مانی پروبیوتیک‌ها لازم می باشد. همچنین استفاده از سایر ترکیبات به‌عنوان ماده دیواره برای ریزپوشانی پروبیوتیک‌هاو مقایسه با روش بکارگرفته شده می تواند دربهبودی حداکثری سلول ها طی فرایند چاپ و پخت کمک شایانی بکند.

۵- منابع

[1] Ferronato N, Torretta V. Waste mismanagement in developing countries: A review of global issues. International journal of environmental research and public health. 2019;16(6):1060.

[2] Sepaskhah A. A Menu of Solutions to the Food Security Challenge in Iran. Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources. 2016;1(1):23-34.

[3] Nazari H, Ghalami Z. Effect of quality attributes of bakery's yeast on bread waste production (A case study in Zanjan, Iran). Journal of food science and technology(Iran). 2016;13(58):31-45.

[4] Govindaraju M, Sathasivam KV, Marimuthu K. Waste to wealth: value recovery from bakery wastes. Sustainability. 2021;13(5):2835.

[5] Jiang H, Zheng L, Zou Y, Tong Z, Han S, Wang S. 3D food printing: Main components selection by considering rheological properties. Critical reviews in food science and nutrition. 2019;59(14):2335-47.

[6] Cohen DL, Lipton JI, Cutler M, Coulter D, Vesco A, Lipson H, editors. Hydrocolloid printing: a novel platform for customized food production. 2009 International Solid Freeform Fabrication Symposium; 2009: University of Texas at Austin.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-19]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1402.20.136.14.2]
[DOI: 10.22034/FSCT.20.136.186]

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-19]

[DOR: 20.1001.1.20088787.1402.20.136.14.2]

[DOI: 10.22034/FSCT.20.136.186]

[7] Dankar I, Haddarah A, Omar FE, Sepulcre F, Pujolà M. 3D printing technology: The new era for food customization and elaboration. Trends in food science & technology. 2018;75:231-42.

[8] Leo CH, Lee CP, Foo SY, Tan JCW, Tan JD, Ong ES, et al. 3D printed nutritious snacks from orange peel waste. Materials Today: Proceedings. 2022.

[9] Ashaolu TJ. Immune boosting functional foods and their mechanisms: A critical evaluation of probiotics and prebiotics. Biomedicine & Pharmacotherapy. 2020;130:110625.

[10] Muzzafar A, Sharma V. Microencapsulation of probiotics for incorporation in cream biscuits. Journal of Food Measurement and Characterization. 2018;12(3):2193-201.

[11] Syiemlieh I, Morya S. Dairy and non-dairy based probiotics: A review. Pharma Innov J. 2022;11:2956-64.

[12] Zhang L, Lou Y, Schutyser MAI. 3D printing of cereal-based food structures containing probiotics. Food Structure. 2018;18:14-22.

[13] Liu Z, Bhandari B, Zhang M. Incorporation of probiotics (Bifidobacterium animalis subsp. Lactis) into 3D printed mashed potatoes: Effects of variables on the viability. Food Research International. 2020;128:108795.

[14] Yuan Y, Yin M, Zhai Q, Chen M. The encapsulation strategy to improve the survival of probiotics for food application: From rough multicellular to single-cell surface engineering and microbial mediation. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2022:1-17.

[15] Godoi FC, Prakash S, Bhandari BR. 3D printing of plant-based foods. Engineering Plant-Based Food Systems: Elsevier; 2023. p. 301-14.

[16] Bustos P, Borquez R. Influence of Osmotic Stress and Encapsulating Materials on the Stability of Autochthonous Lactobacillus plantarum after Spray Drying. Drying Technology. 2013;31:57.

[17] Khoshdouni Farahani Z, Mousavi M, Seyedain Ardebili M, Bakhoda H. The influence of sodium alginate and sodium alginate/WPI as coating material on microcapsules of Jujube extract produced by spray dryer. Journal of Food Processing and Preservation. 2022;46(12):e17175.

[18] Panjanapongchai S, Chavapradit C, Anal AK. Microencapsulation of Probiotics and its Potential Industrial Applications. Probiotics, Prebiotics and Synbiotics: Technological Advancements Towards Safety and Industrial Applications. 2022:213-32.

[19] Dianawati D, Mishra V, Shah NP. Stability of microencapsulated Lactobacillus acidophilus and Lactococcus lactis ssp. cremoris during storage at room temperature at low aw. Food Research International. 2013;50(1):259-65.

[20] Dantas A, Verruck S, de Liz GR, Hernandez E, Prudencio ES. Lactose-free skim milk and prebiotics as carrier agents of Bifidobacterium BB-12 microencapsulation: physicochemical properties, survival during storage and in vitro gastrointestinal condition behaviour. International Journal of Food Science & Technology. 2021;56(5):2132-45.

[21] Burgain J, Gaiani C, Linder M, Scher J. Encapsulation of probiotic living cells: From laboratory scale to industrial applications. Journal of food engineering. 2011;104(4):467-83.

[22] Yousefi H, Soleimanian-Zad S, Shahedi Bagh Khandan M. Microencapsulation of Probiotics by Emulsion Method for Production of Probiotic Bread. Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Technology. 2017;11(4):99-106.

[23] Milani E, Naiimi H, Mortazavi SA, Arash K. The effect of simulated conditions of the stomach and intestine on the survival of microencapsulated probiotic bacteria Lactobacillus casei (Lactobacillus casei) in Masti Synbiotic ice cream". The Iranian Food Science and Technology Research Journal. 2012;8(2):-.

[24] Schutyser M, Houlder S, de Wit M, Buijsse C, Alting A. Fused deposition modelling of sodium caseinate dispersions. Journal of Food Engineering. 2018;220:49-55.

[25] Song H, Yu W, Liu X, Ma X. Improved probiotic viability in stress environments with post-culture of alginate-chitosan microencapsulated low density cells. Carbohydrate polymers. 2014;108:10-6.

[26] Farahani ZK, Mousavi M, Ardebili SMS, Bakhoda H. Modification of sodium alginate by octenyl succinic anhydride to fabricate beads for encapsulating jujube extract. Current Research in Food Science. 2022;5:157-66.

[27] Zhang L, Lou Y, Schutyser MA. 3D printing of cereal-based food structures containing probiotics. Food structure. 2018;18:14-22.

[28] Arslan-Tontul S, Erbas M, Gorgulu A. The use of probiotic-loaded single-and double-layered microcapsules in cake production. Probiotics and antimicrobial proteins. 2019;11(3):840-9.

[29] Teoh PL, Mirhosseini SH, Mustafa S, Manap MYA. Tolerance of free and encapsulated probiotics towards heat treatment and high sodium concentration. Journal of Food, Agriculture & Environment. 2011;9(1):69-73.

[30] Malmo C, La Storia A, Mauriello G. Microencapsulation of Lactobacillus reuteri DSM 17938 cells coated in alginate beads with chitosan by spray drying to use as a probiotic cell in a chocolate soufflé. Food and Bioprocess Technology. 2013;6(3):795-805.

[31] Krasaekoopt W, Bhandari B, Deeth H. The influence of coating materials on some properties of alginate beads and survivability of microencapsulated probiotic bacteria. International dairy journal. 2004;14(8):737-43.
[32] Li ZQ, Hou LD, Li Z, Zheng W, Li L, editors. Study on shape optimization of calcium–alginate beads. Advanced Materials Research; 2013: Trans Tech Publ.
[33] Seifert DB, Phillips JA. Production of small, monodispersed alginate beads for cell immobilization. Biotechnology progress. 1997;13(5):562-8.
[34] Kaur N, Singh B, Sharma S. Hydrogels for potential food application: Effect of sodium alginate and calcium chloride on physical and morphological properties. The Pharma Innovation Journal. 2018;7(7):142-8.
[35] Hu C, Lu W, Mata A, Nishinari K, Fang Y. Ions-induced gelation of alginate: Mechanisms and applications. International Journal of Biological Macromolecules. 2021;177:578-88.
[36] Liu X, Yu W, Zhang Y, Xue W, Yu W, Xiong Y, et al. Characterization of structure and diffusion behaviour of Ca-alginate beads prepared with external or internal calcium sources. Journal of microencapsulation. 2002;19(6):775-82.
[37] Ramdhan T, Ching SH, Prakash S, Bhandari B. Time dependent gelling properties of cuboid alginate gels made by external gelation method: Effects of alginate-CaCl2 solution ratios and pH. Food hydrocolloids. 2019;90:232-40.
[38] Praepanitchai O-A, Noomhorm A, Anal AK. Survival and behavior of encapsulated probiotics (Lactobacillus plantarum) in calcium-alginate-soy protein isolate-based hydrogel beads in different processing conditions (pH and temperature) and in pasteurized mango juice. BioMed research international. 2019;2019.
[39] Petraitytė S, Šipailienė A. Enhancing encapsulation efficiency of alginate capsules containing lactic acid bacteria by using different divalent cross-linkers sources. Lwt. 2019;110:307-15.
[40] Varghese C, Wolodko J, Chen L, Doschak M, Srivastav PP, Roopesh M. Influence of selected product and process parameters on microstructure, rheological, and textural properties of 3D printed cookies. Foods. 2020;9(7):907.
[41] Panghal A, Chhikara N, Khatkar B. Effect of processing parameters and principal ingredients on quality of sugar snap cookies: a response surface approach. Journal of food science and technology. 2018;55(8):3127-34.
[42] Călinoiu L-F, Ştefănescu BE, Pop ID, Muntean L, Vodnar DC. Chitosan coating applications in probiotic microencapsulation. Coatings. 2019;9(3):194.
[43] Nair K, Gandhi M, Khalil S, Yan KC, Marcolongo M, Barbee K, et al. Characterization of cell viability during bioprinting processes. Biotechnology Journal: Healthcare Nutrition Technology. 2009;4(8):1168-77.
[44] Zhang L, Taal MA, Boom RM, Chen XD, Schutyser MA. Effect of baking conditions and storage on the viability of Lactobacillus plantarum supplemented to bread. LWT. 2018;87:318-25.
[45] Gandomi H, Abbaszadeh S, Misaghi A, Bokaie S, Noori N. Effect of chitosan-alginate encapsulation with inulin on survival of Lactobacillus rhamnosus GG during apple juice storage and under simulated gastrointestinal conditions. LWT-Food Science and Technology. 2016;69:365-71.
[46] Ding W, Shah NP. Effect of various encapsulating materials on the stability of probiotic bacteria. Journal of food science. 2009;74(2):M100-M7.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-19]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1402.20.136.14.2]
[DOI: 10.22034/FSCT.20.136.186]

Journal of Food Science and Technology (Iran)

Homepage:www.fsct.modares.ir

Scientific Research

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-19]

[DOR: 20.1001.1.20088787.1402.20.136.14.2]

[DOI: 10.22034/FSCT.20.136.186]

Effect of microencapsulation on probiotic viability in 3D printed cookies based on confectionary's waste

Mahsa Sayadi[1], Zeinab Ebrahimzadeh Mousavi*[2], SeyedHadiRazavi[3]

[1]**Alumni student,of Food Science and Engineering, College of Natural Resources and Agriculture, University of Tehran**

[2]**Assistant Professor, Department of Food Science and Engineering, College of Natural Resources and Agriculture, University of Tehran.**

[3]**Professor, Department of Food Industry, College of Agriculture and Natural Resources and Agriculture, University of Tehran.**

ABSTRACT

The survival of probiotics in food products face various challenges during the production process. One of the emerging processes in the production of food products is 3D printing.The effect of this process on the viability of probiotics has not been studied so far.In this research, the effect of micro-encapsulation on cell viability during the process of 3D printing and cookie baking (based on waste from confectionery products) was investigated. First, the conditions for the production of micro-capsules were optimized by modulating the percentage of sodium alginate and calcium chloride solutions. Then, the effect of micro-encapsulation with different concentrations of micro-capsules (10, 5, 0% w/w) on the firmness of the dough texture was also investigated as an important factor in the printability of the dough. Finally, the cell viability was evaluated during the printing and baking process (150°C and 180°C for 10 minutes).The results of the microscopic images showed that with the increase in the concentration of sodium alginate and calcium chloride solution, the uniformity and sphericity of the micro-capsule increases. The efficiency of alginate-based micro-encapsulation in this method was 89.41%. The optimal concentration of micro-capsules in order to have the desired printability of baked dough, was reported as 5% w/w. Microencapsulation increased the survival rate of probiotics during 3D printing and baking. The survival percentage of microencapsulated probiotics (T2) after 3D printing and baking (150°C temperature) was 96.86% and 62.58%, respectively. Meanwhile, the survival percentage for the sample containing free cells (T1) was reported 60.77% and 43.05%, respectively. However, no viable probiotic cells were observed in both free and encapsulated cells conditions at 180°C.

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 2023/5/16
Accepted:2023/5/30

Keywords:

Probiotics,

Cookies,

Microencapsulation,

Survival,

3D printing

DOI: 10.22034/FSCT.20.136.186
DOR:20.1001.1.20088787.1402.20.136.14.2

*Corresponding Author E-Mail:
zeinab.mosavi@ut.ac.ir