



مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی-پژوهشی

استفاده از استارتر انکپسوله جهت تهیه پودر ماست نیمه آماده: بررسی سرعت تخمیر و خصوصیات حسی ماست قالبی در طول زمان

علی معتمدزادگان^{۱*}، هدا فهیم^۲، مجتبی اصغر نژاد^۳، مریم نوذری^۴، علی باقری^۵، صدیقه مزینانی^۵

۱- استاد تمام، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲- گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۳- مدیر واحد تحقیق و توسعه، شرکت فرآورده‌های لبنی گلا، آمل

۴- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، ساری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، واحد تحقیق و توسعه شرکت فرآورده‌های لبنی گلا، آمل

۵- مدیر تحقیق و توسعه دپارتمان غذایی گروه صنعتی جهان صادرات، تهران

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخ های مقاله :	در این مطالعه، اثر انکپسوله کردن استارتر با پلیمرهای مختلف جهت افزودن به پودر ماست و همچنین اثر دو دمای نگهداری محیط و یخچال بر قدرت تخمیر، زمان گرمخانه‌گذاری، آب‌اندازی و خصوصیات حسی ماست قالبی در طی زمان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که انکپسوله کردن باکتری، سبب کاهش معنی‌دار حلالیت پودر ماست شده و در مقابل زمان گرمخانه‌گذاری آنها نسبت به نمونه های بدون کپسول به صورت معنی‌داری از ۳ ساعت به ۴/۵ ساعت افزایش یافت. این پارامتر همچنین تحت تاثیر دما و دوره نگهداری قرار گرفت و دمای بالاتر و زمان ماندگاری بیشتر هر دو سبب افزایش زمان گرمخانه‌گذاری شد. در بین تمامی نمونه‌ها، دو نمونه انکپسوله شده در ایزوله پروتئین سویا-پکتین و ژلاتین-کنسانتره پروتئین آب پنیر به دلیل برهمکنش این ترکیبات با پروتئین‌های شیر و مولکول‌های آب، آب‌اندازی کمتری داشتند. کیفیت میکروبی تمامی نمونه‌های پودر ماست تحت تاثیر دوره نگهداری، دمای نگهداری یا نوع باکتری های انکپسوله قرار نگرفتند و در تمامی دوره در محدوده مجاز بودند. آنالیز حسی در روز اول تولید اختلاف معنی‌داری بین نمونه‌ها نشان نداد و تمامی آنها امتیاز قابل قبولی داشتند. با این حال، افزایش زمان نگهداری خصوصاً در نمونه‌های انکپسوله و نگهداری شده در دمای محیط، سبب کاهش معنی‌دار تمامی خصوصیات حسی شد. به طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که انکپسوله کردن باکتری جهت حفظ فعالیت تخمیری آنها در طولانی مدت راهکار مناسبی نبوده و برای دستیابی به این هدف باید روش‌ها و متغیرهای دیگری را مورد آزمون قرار داد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۹/۸	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۳/۷	
کلمات کلیدی:	
استارتر انکپسوله،	
زمان گرمخانه‌گذاری،	
قدرت تخمیر،	
ماست	
DOI: 10.22034/FSCT.22.166.94.	
* مسئول مکاتبات:	

۱-مقدمه

ماست محصولی تخمیری است که از طریق تخمیر شیر با استفاده از باکتری‌های استارتر لاکتوباسیلوس بولگاریکوس و استرپتوکوکوس ترموفیلوس تولید می‌شود (سویه های ترموفیل و هموفرممتاتیو) (۱). علی رغم خواص تغذیه ای بالا، ماندگاری این محصول کوتاه بوده و در شرایط محیطی (۲۵-۳۰ درجه سانتیگراد) تا ۱ روز و در دمای ۷ درجه سانتیگراد حدود ۵ روز قابل نگهداری است که این مدت زمان کوتاه ماندگاری یکی از موانع اصلی تجاری سازی و صادرات این محصول می‌باشد، از طرف دیگر، جهت توزیع این محصول باید دمای ۲ تا ۴ درجه سانتیگراد در سراسر زنجیره توزیع حفظ شود تا نه تنها مانع از رشد مخمرها و کپک‌ها شود، بلکه از فعالیت بیش از حد استارتر و ترش شدن محصول نیز جلوگیری کند که مجموع این موارد سبب افزایش قیمت تمام شده محصول می‌شود (۲).

برای غلبه بر مشکل ماندگاری ماست تازه، یکی از روش‌های مقرون به صرفه و رایج، خشک کردن و تولید پودر ماست است به این صورت که ماست کاملاً آماده شده و نهایی را به روش‌های مختلف خشک می‌کنند. روش‌هایی که تاکنون در مقیاس صنعتی و نیمه صنعتی جهت خشک کردن و تولید پودر ماست انجام شده است عمدتاً روش‌های خشک کردن انجمادی و خشک کردن پاششی بوده است (۳). پودرهای ماست تهیه شده به این روش‌ها هزینه حمل و نقل و نگهداری پایین‌تری داشته و جابجایی آنها با سهولت بیشتری انجام می‌شود (۲). با این حال، علی رغم سهولت حمل و نقل و هزینه پایین‌تر، پودر ماست‌های تهیه شده به این روش‌ها دارای عطر و طعم بسیار کمتری نسبت به ماست تازه بوده و حتی ممکن است عطر و طعم آن به طور کامل تغییر کرده و مطلوب مصرف کنند نباشد. همچنین پودر

ماست‌های تهیه شده به این روش‌ها به احتمال زیاد پس از آبگیری مجدد بافت مناسبی همانند بافت اولیه ماست تازه نخواهند داشت که از این نظر نیز نمی‌توانند رضایت مصرف کننده را جلب نمایند (۴). به همین دلیل، تهیه پودر ماستی که عمر ماندگاری طولانی‌تری داشته و هنگام مصرف عطر و طعم و بافت ماست تازه را داشته باشد رویکردی نوین در این زمینه به حساب می‌آید.

یک راه جهت اینکه هم بتوان هم از مزیت ماندگاری بالا و سهولت حمل و نقل پودر ماست بهره برد و هم اینکه مصرف کننده ماستی با عطر و طعم و بافت تازه در دسترس داشته باشد، تولید پودر ماست نه با خشک کردن ماست آماده، بلکه با مخلوط کردن ماده خشک اولیه و استارترهای تولید کننده ماست است. با استفاده از چنین استراتژی، به دلیل اینکه پودر اولیه ماست به صورت خشک است، امکان نگهداری طولانی مدت و حمل و نقل آن بدون نیاز ضروری به حفظ کامل زنجیره سرد امکان پذیر می‌شود، از طرف دیگر، زمانی که مصرف کننده پودر ماست را با آب مخلوط می‌کند، باکتری‌های استارتر شروع به فعالیت کرده و محصول نهایی ماستی است که نه تنها عطر و طعم و بافت ماست تازه را دارد، بلکه به دلیل عدم نیاز به پاستوریزه کردن ماست، تعداد باکتری‌های استارتر موجود در ماست همگی در حالت فعال بوده و مصرف کننده از خواص سلامتی بخش باکتری‌های اسیدلاکتیک فعال موجود در این نوع ماست بهره می‌برد.

مهمترین چالش موجود در تهیه چنین پودر ماستی، حفظ زنده‌مانی باکتری‌های استارتر در طول نگهداری و حمل و نقل، تا رسیدن به دست مصرف کننده است. این امر از آن جهت مهم است که باکتری‌های استارتر در اثر فعالیت خود

باعث ایجاد بافت خاص ماست و ترکیبات عامل عطر و طعم در ماست می‌شوند و در صورت غیر فعال شدن آنها، اساساً ماست تولید نخواهد شد (۵). یک روش رایج جهت افزایش عمر زنده‌مانی باکتری‌ها در محصولات مختلف، انکپسولاسیون آنها است. انکپسولاسیون فرایندی است که در آن سلول باکتریایی درون لایه‌ای از ترکیبات به عنوان پوشش محافظ قرار داده می‌شود (۶). محصور کردن سلول‌های باکتریایی در دیواره‌های پلیمری مختلف می‌تواند آنها را از تماس مستقیم با محیط نامطلوب (مانند تخریب حرارتی، اکسیداتیو، رطوبت و...) جدا کرده و در نتیجه به طور بالقوه آسیب سلولی را کاهش دهد (۷).

علی رغم اینکه تاکنون مطالعات زیادی امکان انکپسوله کردن باکتری‌های پروبیوتیک جهت استفاده در محصولات لبنی را مورد بررسی قرار داده‌اند، اما تاکنون هیچ تحقیقی روی انکپسوله کردن باکتری‌های استارتر ماست انجام نشده است. توجه به این نکته ضروری است که انکپسوله کردن باکتری‌های استارتر کاملاً متفاوت از باکتری‌های پروبیوتیک هست. در انکپسوله کردن پروبیوتیک‌ها، هدف حفظ زنده‌مانی این باکتری‌ها در تعداد مکفی (10^6 - 10^7 کلنی بر گرم) از ابتدای تولید تا رسیدن به دست مصرف کننده، هضم و ورود به دستگاه گوارش و روده انسان است (۸). در مقابل، هدف اصلی در انکپسوله کردن باکتری‌های استارتر این است که در درجه اول در برابر عوامل تخریب کننده محیطی محافظت شده و در درجه دوم، هنگام مخلوط شدن پودر ماست با آب، به سرعت از پوشش دیواره خارج شده و فعالیت تخمیری خود را جهت تولید ماست آغاز کنند. با توجه به این تفاوت، انتخاب ترکیبات دیواره‌ای به نحوی که از سلول‌های استارتر در برابر شرایط محیطی (از زمان تولید پودر تا رسیدن به دست مصرف کننده) حفاظت کرده و در

مقابل هنگام تولید ماست (مخلوط کردن پودر با آب) به سرعت در آب حل شده و سلول باکتری را آزاد کند، یک چالش مهم در این تحقیق بود. بنابراین هدف اصلی در این مطالعه، تولید پودر ماست نیمه آماده حاوی استارترهای انکپسوله بود که علاوه بر حفظ زنده‌مانی و قابلیت تخمیر استارترها در مدت زمان نگهداری طولانی‌تر (به واسطه انکپسوله کردن با پلیمرهای مختلف)؛ ماست تولیدی نهایی آن دارای ویژگی‌های ارگانولپتیکی مناسبی در مقایسه با نمونه شاهد (حاوی استارتر انکپسوله نشده)، باشد.

۲- مواد و روش‌ها

پلیمرهای مورد استفاده در این تحقیقی همگی درجه غذایی داشته که نوع و برند آنها به شرح زیر می‌باشد: یوتا کاراگینان (Glenthams Life Sciences, GC3873, UK)، کربوکسی متیل سلولز (Shandong Yulong Cellulose Technology Co. Ltd, CHINA)، ایزوله پروتئین سویا (Shandong Yuxin Bio-Tech Co., LTD. CHINA)، پکتین (Cargill Deutschland GmbH, Germany)، کنسانتره آب پنیر (Lactoprot, Deutschland GMB, Germany)، ژلاتین (Cartino Gelatin Co., Ltd., Thailand)، مالتودکسترین (Future International Co., Ltd, CHINA) و همچنین استارتر ماست از شرکت کریستین هانسن (YoFlex® Express 1.0) خریداری شد. پودر ماست فرموله شده متشکل از شیر خشک (۸۱.۶٪)، مخلوط استابیلایزر (۱۱٪)، و کنسانتره پروتئین شیر (۷.۴٪) در شرکت لبنیات گلا (Gela Dairy Co, Amol) تهیه گردید.

۲-۱ فرمولاسیون ترکیب پلیمری دیواره

پس از بررسی پلیمرهای مختلف از نظر حلالیت در آب، ویسکوزیته، حالت فیزیکی در دمای ۵۰ درجه و دمای

(جهت محافظت از سلول‌های باکتریایی حین خشک کردن انجمادی) انتخاب شدند. فرمولاسیون نهایی پلیمرهای دیواره کپسول حاوی استارتر در جدول ۱ آورده شده است.

یخچال، در نهایت پلیمرهای ذکر شده با غلظت‌های مطلوب در جدول ۱ جهت فرمولاسیون دیواره انتخاب شدند. در تمامی فرمول‌ها، مالتودکستین به عنوان محافظ سرمایی

Table 1. different type and mixing ratios of biopolymers used for encapsulation of bacteria

Treatment code	Polymer percentage for each capsule	Bacteria used in capsules (%)	Encapsulated starter used in 100 g of yogurt powder (g)	Pure bacteria (available in capsules) in 100 g of yogurt powder (g)	Temperature storage
A1	Non-encapsulated Bacteria (control)	-	(0.28 g of pure bacteria without capsules)	0.28	Ambient temperature
R1	Non-encapsulated Bacteria (control)	-	(0.28 g of pure bacteria without capsules)	0.28	Refrigerated temperature
A2	Carboxymethyl Cellulose (0.5%), Iota Carrageenan (5%), Maltodextrin (10%)	2	1.52	0.4	Ambient temperature
R2	Carboxymethyl Cellulose (0.5%), Iota Carrageenan (5%), Maltodextrin (10%)	2	1.52	0.4	Refrigerated temperature
A3	Carboxymethyl Cellulose (1%), Whey Protein Concentrate (5%), Maltodextrin (10%)	2	1.76	0.4	Ambient temperature
R3	Carboxymethyl Cellulose (1%), Whey Protein Concentrate (5%), Maltodextrin (10%)	2	1.76	0.4	Refrigerated temperature
A4	Whey Protein Concentrate (2.5%), Gelatin (3%), Maltodextrin (10%)	1.2	2.80	0.4	Ambient temperature
R4	Whey Protein Concentrate (2.5%), Gelatin (3%), Maltodextrin (10%)	1.2	2.80	0.4	Refrigerated temperature
A5	Isolated Soy Protein (5%), Pectin (1%), Maltodextrin (10%)	1.2	2.88	0.4	Ambient temperature
R5	Isolated Soy Protein (5%), Pectin (1%), Maltodextrin (10%)	1.2	2.88	0.4	Refrigerated temperature

اضافه شده و با التراتورکس به مدت ۵ دقیقه کاملاً با یکدیگر مخلوط گردیدند تا اطمینان حاصل شود که استارتر تا حد ممکن به صورت یکنواخت بین زنجیره‌های پلیمری به دام افتاده است. پس از این مرحله، بلافاصله محلول‌های تهیه شده به مدت یک شب در دمای ۲۰- درجه فریز شده و روز بعد در فریزدرایر به مدت ۲ روز خشک شدند.

انکپسوله کردن استارترها به روش نگوین و همکاران (۹) با اندکی تغییر انجام گرفت. پیش از انکپسوله کردن، تمامی پلیمرها به صورت محلول استوک ساخته شده، در اتوکلاو استریل شده و به نسبت‌های ذکر شده در جدول ۱ با هم مخلوط شدند. پس از خنک شدن محلول تا حدود دمای محیط، به فرمول‌ها بین ۱/۲ تا ۲ درصد استارتر ماست تجاری

۲-۲ تولید پودر ماست حاوی استارترهای انکپسوله

جهت تولید پودر ماست حاوی استارتر کپسوله نشده (نمونه شاهد)، استارتر به میزان ۰/۲۸۴ درصد (که معادل با درصد معمول مورد استفاده در کارخانه جهت تولید ماست بود) به پودر ماست پیش آماده تهیه شده توسط شرکت گلا اضافه شد و در بسته بندی پلی اتیلنی وکیوم گردیدند. نمونه‌های حاوی استارتر انکپسوله نیز به همین روش تهیه شدند با این تفاوت که با در نظر گرفتن احتمال تنش‌های پیش آمده حین انکپسوله کردن و انجماد، مقدار خالص باکتری انکپسوله بالاتری نسبت به نمونه شاهد به پودر ماست اضافه گردید به نحوی که تمامی تیمارهای انکپسوله حاوی ۰/۴ درصد استارتر خالص به ازای هر ۱۰۰ گرم پودر ماست بود (جدول ۱). از تمامی فرمول‌ها دو نمونه جهت بررسی قابلیت نگهداری در دمای محیط و دمای یخچال تهیه شد.

۲-۳ تهیه ماست

جهت تولید ماست، ۱۳ گرم از پودر ماست (نگهداری شده در دمای محیط و دمای یخچال) به ۱۰۰ میلی‌لیتر آب با دمای ۴۵ درجه سانتیگراد اضافه شده و کاملاً به هم زده شد تا هیچ کلوخه و ذره حل نشده‌ای باقی نماند. سپس ظروف حاوی نمونه‌ها تا زمان رسیدن به pH و اسیدیته نهایی ماست در آون با دمای ۴۵ درجه سانتیگراد قرار داده شدند. پس از رسیدن به pH و اسیدیته مطلوب، ماست‌های حاصله در یخچال قرار داده شده و پس از ۲۴ ساعت یخچال‌گذاری آزمون‌های مورد نظر روی آن انجام شد (۱۰). تمامی آزمون‌های ماست در فواصل دو هفته‌ای طی شش هفته ماندگاری انجام شدند.

۲-۴ حلالیت پودر ماست

جهت اندازه‌گیری حلالیت پودر ماست فرموله شده در آب، روش مورد استفاده توسط زنده بودی و همکاران (۱۱) مورد استفاده قرار گرفت. ۱ گرم پودر به ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد و ۵ دقیقه روی استیرر در دمای محیط با دور ۶۰۰ rpm همزده شد. سپس مخلوط در لوله فالكون ریخته شده و ۱۰ دقیقه در ۲۰۰۰ rpm سانتریفوژ شد. سوپرناتانت موجود در فالكون پس از سانتریفوژ در پلیت شیشه‌ای ریخته شده و در دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد تا رسیدن به وزن ثابت توزین گردید. درصد حلالیت با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

$$\text{فرمول ۱} \quad ۱۰۰ \times \frac{\text{وزن ماده خشک اولیه}}{\text{وزن ماده خشک پس از آون}} = \text{درصد حلالیت}$$

۲-۵ درصد رطوبت پودر ماست

درصد رطوبت پودر بر اساس روش سیر و همکاران (۱۲)، اندازه‌گیری گردید. ۵ گرم پودر ماست در پلیت شیشه‌ای ریخته شده و در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد قرار داده شد. وزن پلیت و نمونه پس از ۵ ساعت توزین گردید (۱۲). از فرمول زیر برای تعیین درصد رطوبت پودر استفاده شد:

$$\text{فرمول ۲} \quad ۱۰۰ \times \frac{\text{وزن اولیه}}{\text{وزن ثانویه}} = \text{درصد رطوبت}$$

۲-۶ بررسی مدت زمان رسیدن به اسیدیته (قدرت تخمیر)

جهت بررسی قدرت تخمیر پودر ماست حاوی باکتری انکپسوله شده، مدت زمان گرمخانه‌گذاری تا رسیدن به اسیدیته ۷۲-۸۰ و pH بین ۴/۳-۴/۵ ثبت گردید. هر قدر مدت زمان رسیدن به pH و اسیدیته نهایی کوتاه‌تر باشد، قدرت تخمیر باکتری‌های موجود در پودر ماست بالاتر است.

دور ریخته شده و باقی مانده وزن گردید. اختلاف وزن قبل و بعد از سانتریفوژ به عنوان درصد ظرفیت نگهداری آب ماست گزارش شد.

$$\text{فرمول ۴} \quad \text{ظرفیت نگهداری آب} = \frac{\text{وزن اولیه نمونه}}{\text{وزن نمونه پس از سانتریفوژ}} \times 100$$

۲-۱۰ آنالیز حسی

آزمون حسی مطابق روش انجام شده توسط کایلاساپاتی و همکاران (۷) به صورت آزمون هدونیک ۵ نقطه ای انجام شد. نمونه‌های ماست مطابق روش هدونیک ۵ نقطه ای با سیستم امتیازدهی ۱ تا ۵ (۱: بسیار نامطلوب، ۵: بسیار مطلوب) بررسی شدند و مزه، بو، احساس دهانی، یکنواختی ظاهری بافت و پذیرش کلی توسط داوران مورد بررسی قرار گرفتند. نمونه‌ها با اعداد تصادفی شماره گذاری شده و به گروه ارزیاب نیمه آموزش دیده شامل ۱۰ نفر (۶ نفر زن-۴ نفر مرد) داده شدند. بعد از تست هر نمونه، و جهت عدم تداخل امتیازهای مربوط به تیمارهای مختلف، بعد از هر بار تست ارزیاب‌ها از آب جهت شست و شوی دهان استفاده نمودند.

۲-۱۱ کیفیت میکروبی

به منظور تأیید کیفیت میکروبی نمونه‌ها، آزمون‌های میکروبی شامل شمارش تعداد کل میکروارگانیسم‌ها، کلی‌فرم و کپک و مخمر روی پودرهای ماست بسته بندی شده بلافاصله پس از تولید و همچنین شش هفته پس از تولید بر اساس استاندارد ملی ایران (میکروبیولوژی (میکروب شناسی) شیر و فرآورده‌های آن- ویژگی‌ها و روش‌های آزمون، شماره ۲۴۰۶) انجام گرفت (۱۶).

۲-۱۲ آنالیز آماری

جهت اندازه‌گیری pH، در فواصل زمانی یک ساعته ماست‌ها از گرمخانه بیرون آورده شده و با قرار دادن الکترود pH متر در ماست pH آن ثبت شد (۱۳).

۲-۷ اسیدیته

جهت اندازه‌گیری اسیدیته، ۹ گرم ماست به ۹ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد و کاملاً با همزن مخلوط گردید تا یکدست و بدون کلوخه شود. سپس چند قطره معرف الکلی فنل فتالین ۰/۵٪ (w/v) به مخلوط اضافه شده و با سود ۰/۱ نرمال تا پدیدار شدن رنگ صورتی کمرنگ پایدار تیترا شد. میزان سود مصرفی جهت محاسبه اسیدیته استفاده گردید (۱۳).

۲-۸ آب‌اندازی ماست

آزمون سینرزیس بر اساس روش فرمانی و همکاران (۱۴) جهت مشخص شدن میزان آب‌اندازی ماست در حالت سکون انجام شد. برای انجام این آزمون نمونه‌های ماست همزده شده، ۲۵ گرم از هر نمونه ماست توزین گردیده و به مدت ۲ ساعت روی کاغذ واتمن در دمای یخچال قرار داده شدند. سپس وزن مایع جمع شده در ظرف زیرین از وزن ظرف خالی کسر شده و درصد آب‌اندازی با فرمول زیر محاسبه گردید.

$$\text{فرمول ۳} \quad \text{درصد آب اندازی} = \frac{\text{وزن مایع آزاد شده}}{\text{وزن اولیه ماست}} \times 100$$

۲-۹ ظرفیت نگهداری آب ماست

این آزمون برای بررسی توانایی نگهداری آب ماتریس سه بعدی ماست تحت تنش فیزیکی بر اساس روش زمانی و همکاران (۱۵) انجام شد. جهت انجام این آزمون، ۱۰ میلی‌لیتر نمونه ماست در لوله فالکون ۱۵ میلی‌لیتری ریخته شده و به مدت ۲۰ دقیقه در ۲۰۰۰ rpm سانتریفوژ شد. مایع فاز رویی

با توجه معیارهای ذکر شده در بالا، پلیمرهای پلیمرهای یوتا کاراگان، کربوکسی متیل سلولز، ایزوله پروتئین سویا، پکتین، کنسانتره آب پنیر و ژلاتین به عنوان دیواره کپسول جهت انکپسوله کردن استارترها انتخاب شدند.

۳-۱ درصد رطوبت و حلالیت پودر ماست

جدول ۲ درصد حلالیت و رطوبت فرمولاسیونهای مختلف پودر ماست را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که حلالیت نمونه‌های شاهد (انکپسوله نشده) نسبت به نمونه‌های کپسوله شده به صورت معنی‌داری بالا بود ($P < 0.05$). یک دلیل این موضوع می‌تواند حلالیت پایین‌تر پلیمرهای مورد استفاده برای انکپسوله کردن باشد. به طور کلی، حلالیت پروتئین‌های گیاهی مانند ایزوله پروتئین سویا پایین‌تر از پروتئین‌های شیر است که این حلالیت پایین نیز در نتیجه وجود گروه‌های هیدروفوبیک و ساختار خاص پروتئین‌های گیاهی است که مانع از حلالیت صد درصد در آب می‌شوند (۱۷، ۱۸). از طرف دیگر، گزارش شده است که برهم‌کنش بین پروتئین‌های شیر و پلی‌ساکاریدهایی چون یوتاکاراگینان، پکتین می‌تواند سبب کاهش حلالیت میسل‌های کازئین یا پروتئین‌های آب پنیر و در نتیجه به طور کلی کاهش حلالیت پروتئین‌های شیر گردد (۱۹). در نتیجه، کاهش حلالیت پودرهای ماست حاوی پروتئین‌ها و پلی‌ساکاریدهای استفاده شده به عنوان دیواره کپسول را می‌توان به موارد ذکر شده در بالا نسبت داد.

در مقابل، نتایج درصد رطوبت نمونه‌ها نشان داد که پودرهای حاوی باکتری‌های انکپسوله شده با پلیمرهای مختلف از نظر این پارامتر چندان اختلاف معنی‌داری ندارند. با این حال، بالاترین درصد رطوبت مربوط به نمونه‌های شاهد و نمونه انکپسوله شده با یوتاکاراگینان و کربوکسی متیل سلولز بود. کمترین درصد رطوبت نیز در نمونه انکپسوله شده با کنسانتره آب پنیر و ژلاتین مشاهده گردید که با یکدیگر اختلاف

جهت آنالیز آماری نمونه‌ها از طرح تصادفی ساده استفاده شد. تمامی آزمون‌ها با سه تکرار روی نمونه‌ها انجام شده و مقایسه میانگین آنها از One-Way ANOVA و آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد انجام گردید. همچنین جهت مقایسه هر تیمار در دمای محیط و دمای یخچال از آزمون تی تست مستقل استفاده شد. آنالیزها با استفاده از نرم افزار SPSS 16.0 انجام شده و نمودارها با استفاده از نرم افزار اکسل رسم شدند.

۳- نتایج و بحث

همانطور که گفته شد، انتخاب نوع پلیمر با توجه به اهداف مورد نظر ما در انکپسوله کردن استارترها از نظر موارد زیر حائز اهمیت بود:

۱. غلظت و ویسکوزیته پلیمر باید به حدی می‌بود که سلول‌های استارتر بتوانند لایه لای زنجیره به دام بیافتند، در نتیجه غلظت محلول نبایستی به حدی زیاد می‌بود که پراکنش سلول‌های استارتر امکان پذیر نبوده و همچنین نمی‌بایست به حدی رقیق باشد که سلول‌های استارتر پس از مخلوط شدن با پلیمر در نتیجه ویسکوزیته پایین مخلوط، ته نشین شوند.
۲. پلیمر باید به آسانی در آب با دمای ۴۵ درجه سانتیگراد قابل حل بوده و در این دما به سرعت استارتر را آزاد کند تا عمل تخمیر شروع شود.
۳. پلیمر انتخابی نباید در دمای یخچال ژل محکم تشکیل داده و بافت غیر طبیعی به ماست بدهد و همچنین در این دما نباید ذرات آگلومره یا رسوب باقی بگذارد.

تهیه می‌شوند به دلیل حفظ ساختار بسیار متخلخل خود تمایل بالایی به جذب آب داشته و در نتیجه در صورت قرار گرفتن در محیطی با رطوبت یکسان، نسبت به ترکیبات غیر فریزد رای شده سریعتر آب را جذب می‌کنند (۲۰). اگر چه که ما در مطالعه خود پس از تولید باکتری‌های انکپسوله آن‌ها را نیز با خشک کن انجمادی تهیه کردیم؛ اما، میزان جذب رطوبت پودرهای حاوی باکتری‌های انکپسوله به دلیل برهمکنش احتمالی بین پلیمرهای دیواره باهم و یا با پلیمرهای دیواره و پروتئین‌های شیر خشک پایین‌تر بود.

معنی‌دار داشتند ($P < 0.05$). پایین‌تر بودن درصد رطوبت نمونه‌های انکپسوله شده می‌تواند به دلیل برهمکنش بین پروتئین‌های شیر و بیوپلیمرهای دیواره کپسول باشد. به بیان دیگر، ایجاد کمپلکس بین پروتئین- پروتئین یا پروتئین- پلی‌ساکارید ممکن است مانع از جذب آب توسط کمپلکس شده و رطوبت کلی پودر را کاهش دهد. در مقابل، نمونه شاهد که حاوی استارتر بدون هیچ نوع پلیمر انکپسوله کننده‌ای بود رطوبت بیشتری داشت که دلیل آن را می‌توان به وجود استارتر لیوفیلیزه که قابلیت جذب آب بالایی دارد نسبت داد. به طور کلی موادی که تحت خشک کن انجمادی

Table2. solubility and moisture content of yogurt powders containing encapsulated bacteria

Treatment	Solubility (%)	Moisture (%)
1	90.6±0.19 ^a	3.93±0.11 ^{ab}
2	73.7±2.82 ^b	3.97±0.02 ^a
3	72.38±2.88 ^b	3.62±0.05 ^{bc}
4	71.9±0.17 ^b	3.65±0.54 ^c
5	71.15±0.59 ^b	3.79±0.7 ^{abc}

Means with same superscripts within a column are not significantly different ($p > 0.05$)

All values are mean ± standard deviation of three replicates

نشان داد که

۳-۲ مدت

زمان گرمخانه‌گذاری (سرعت تخمیر)

با افزایش زمان ماندگاری، توانایی تخمیر تمامی استارترها کاهش می‌یابد. این کاهش سرعت تخمیر در انتهای شش هفته برای نمونه‌های نگهداری شده در دمای محیط به صورت معنی‌داری بالاتر از نمونه‌های نگهداری شده در دمای یخچال بود. دمای نگهداری یکی از فاکتورهایی است که می‌تواند اثر منفی بر قابلیت زنده ماندن باکتری‌های اسیدلاکتیک در زمان نگهداری ماست داشته باشد (۲۱). زمان رسیدن به اسیدیته نمونه‌های انکپسوله نگهداری شده در دمای محیط پس از ۶ هفته بین ۶ تا ۶/۵ ساعت و نمونه‌های متناظر با آنها که در دمای یخچال نگهداری شده بودند بین ۵ تا ۵/۵ ساعت بود (شکل ۱ A). دلیل اصلی

سرعت تخمیر فرمولاسیون‌های مختلف پودر ماست حاوی باکتری‌های انکپسوله و آزاد در شکل ۱ آورده شده‌اند. مهمترین عامل در تعیین ماندگاری فرمولاسیون‌های مختلف پودر ماست، فعال ماندن استارتر تا زمان رسیدن دست مصرف کننده است. تمامی نمونه‌های انکپسوله شده در روز اول پس از ۴/۵ ساعت گرمخانه‌گذاری در ۴۶ درجه سانتیگراد به اسیدیته و pH مورد نظر رسیدند. این درحالی بود که نمونه شاهد پس از ۳ ساعت به اسیدیته مربوطه رسید. نتایج سرعت تخمیر در طول ۶ هفته نگهداری نیز

تفاوت در سرعت تخمیر نمونه‌های نگهداری شده در دمای یخچال و محیط، سریعتر فعال شدن استارترها در دمای بالاتر است. به طور کلی گزارش شده است که دمای بهینه برای رشد و فعالیت اغلب باکتری‌های اسید لاکتیک بین ۴۵-۳۰ درجه سانتیگراد است به این معنی که در این دما استارترها فعال شده و شروع به تخمیر می‌کنند (۲۲). با توجه به اینکه نمونه‌های پودر ماست ما که در دمای محیط نگهداری شده بود و این دما بین ۲۰-۳۰ درجه سانتیگراد بود، دلیل کاهش سرعت تخمیر نمونه‌های نگهداری شده در دمای محیط را می‌توان به غیرفعال شدن برخی از باکتری‌های استارتر در دمای محیط نسبت داد. این درحالی است که استارترهای موجود در نمونه‌های متناظر آنها که در دمای یخچال قرار داده شده بودند به دلیل اینکه این دما پایین‌تر از دمای فعالیت آنها بود، با نرخ کمتری فعال شده و سرعت تخمیر آنها در هفته ششم نگهداری، بالاتر بود. این نتایج با آنچه که پاتیل و همکاران (۲۰۱۹)، در رابطه با عمر قفسه‌ای باکتری‌های لاکتیک اسید انکپسوله مشاهده کردند مطابقت داشت (۲۱). این محققان بیان کردند که زنده‌مانی و عمر قفسه‌ای باکتری‌هایی که در دمای یخچال (۴ درجه سانتیگراد) نگهداری شده بودند بیشتر از باکتری‌های نگهداری شده در دمای محیط (۳۷ درجه سانتیگراد) بود که با نتایج حاصل از کار ما مشابهت داشت.

شکل ۲ B نشان می‌دهد که در روز اول آزمایش، تمامی نمونه‌های انکپسوله شده سرعت تخمیر کمتری نسبت به نمونه شاهد داشتند. دلیل این نتیجه را می‌توان به موارد مختلفی نسبت داد؛ یکی از این موارد مربوط به باکتری‌هایی است که بین زنجیره‌های پلیمری کپسوله شده‌اند که از نظر دسترسی به مواد غذایی و سوبسترا محدودیت دارند چرا که ماتریس پیرامون سلول‌های باکتری مانع از دسترسی سریع به

سوبسترا (لاکتوز) می‌شود. لذا جهت دسترسی به سوبسترا، در ابتدا نیاز است که زنجیره‌های پلیمری در آب حل شده و سپس باکتری‌ها به درون محیط رها شوند که این فرایند نسبت به نمونه شاهد بدون کپسول زمان طولانی‌تری نیاز دارد که به معنای افزایش فاز تاخیر (lag phase) است. این نتایج با آنچه که گوتیز و همکاران (۲۰۲۴) در رابطه با باکتری‌های انکپسوله شده و آزاد مشاهده کردند مطابقت داشت. آنها گزارش کردند که lag phase نمونه‌های انکپسوله شده در هیدروژل نسبت به انواع کپسوله نشده بین ۱/۵ تا ۳/۵ برابر افزایش یافت (۲۳).

از طرف دیگر، فرایند انکپسوله کردن و در ادامه فریزدرای کردن باکتری‌ها نیز می‌تواند تا حدی سبب آسیب به سلول‌های استارتر و کاهش سرعت تخمیر آنها نسبت به نمونه شاهد شود. انکپسوله کردن استارتر در این مطالعه شامل اضافه کردن باکتری لیوفلیزه به محلول پلیمری (دیواره کپسول) و همزدن شدید آن است. این فرایند احتمالاً باعث شده است که دیواره سلولی برخی از باکتری‌ها در نتیجه همزدن شدید، در تماس با رطوبت و در ادامه منجمد کردن مخلوط پلیمری آسیب ببیند که در نتیجه منجر به افزایش زمان مورد نیاز برای رسیدن به اسیدیته مطلوب گردید (کاهش سرعت تخمیر). این نتایج با بررسی زمان گرمخانه‌گذاری نمونه‌های انکپسوله شده با نمونه شاهد (حاوی دوز مشابه با نمونه‌های انکپسوله) کاملاً مطابقت داشت (شکل ۱). همچنین بررسی فعالیت تخمیری نمونه‌ها در طول زمان نیز نشان داد که با افزایش زمان نگهداری، سرعت تخمیر تمامی فرمولاسیون‌های پودر ماست کاهش یافته و زمان گرمخانه‌گذاری آنها افزایش یافت، همچنین، در تمامی فواصل زمانی مورد آزمایش، نمونه‌های انکپسوله جهت رسیدن به اسیدیته مطلوب نیازمند زمان بیشتری

یافت و از حدود $10^{14} \times 3$ برای باکتری‌های انکپسوله نشده به $10^{14} \times 1/5$ برای انواع انکپسوله شده بلافاصله پس از فریزدرای کاهش یافت (۲۴). همچنین، در مطالعه دیگری که توسط پاسوت و همکاران (۲۰۱۱)، انجام شد گزارش گردید که استرس ناشی از فرایند فریزدرای به خودی خود می‌تواند باعث کاهش فعالیت تخمیری لاکتوباسیلوس بولگاریکوس شود که با نتایج حاصل از این مطالعه نیز کاملاً مطابقت داشت (۲۵).

نسبت به نمونه شاهد بودند و زمان گرمخانه‌گذاری نمونه‌های انکپسوله از ۴ ساعت تا تقریباً ۶/۵ ساعت در طول ۶ هفته افزایش یافت. این نتایج همچنین با نتایج حاصل از کار کوئلیو روشا و همکاران (۲۰۱۸)، در رابطه با انکپسوله کردن و در ادامه فریزدرای کردن باکتری‌های اسیدلاکتیک مطابقت داشت. این محققان مشاهده کردند که زنده‌مانی باکتری‌های اسیدلاکتیک انکپسوله شده در مقایسه با انواع انکپسوله نشده چه بلافاصله پس از فریزدرای و چه پنج روز پس از فریز درای به صورت معنی‌داری کاهش

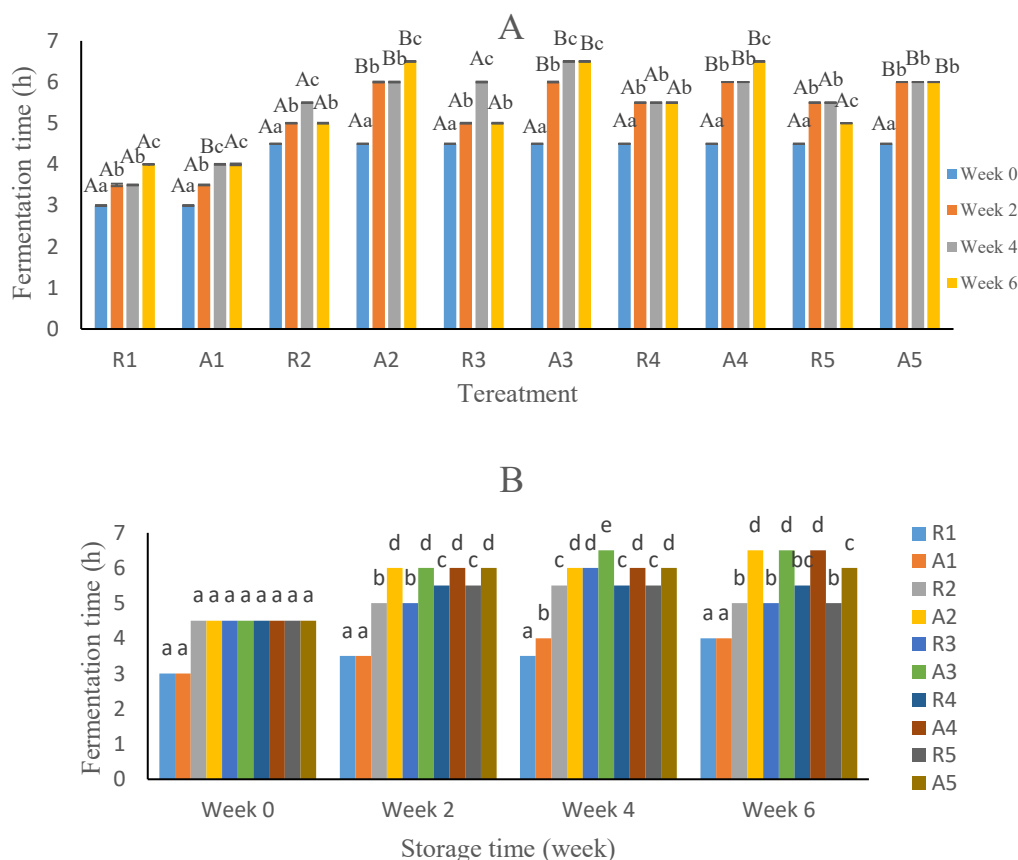


Figure 1-fermentation time of yogurt powders containing different encapsulated bacteria A) comparison of fermentation ability of each formulation during storage period. Lowercase letters show significant difference between each formulation during storage period and uppercase letters show significant difference between same samples stored at refrigerated or ambient temperatures., B) comparison of fermentation ability of different formulations in each week.

۳-۳ آب‌اندازی و درصد نگهداری آب ماست‌ها

شکل ۲ A و B به ترتیب درصد آب‌اندازی و ظرفیت نگهداری آب ماست‌های تهیه شده از فرمول‌های مختلف پودر ماست را در طول زمان نشان می‌دهد. آب‌اندازی یا سینرسیس به معنی جدا شدن خودبه خود آب پنیر روی سطح ماست است که نکته‌ای منفی برای این محصول محسوب می‌شود. سینرسیس به طور مستقیم نشان می‌دهد که ماتریس ماست تا چه حد می‌تواند ساختار خود را حفظ کرده، آب پنیر را در ماتریس سه بعدی خود به دام انداخته و مانع از خروج آن از ماتریس شود (۲۶). از طرف دیگر، درصد نگهداری آب ماست (WHC)^۱ نیز به نوعی نشان دهنده توانایی ماتریس ماست برای ممانعت از خروج آب پنیر تحت تنش است. با این حال هر دو این پارامترها به طور کلی نشان دهنده ضعیف بودن شبکه ژلی هستند (۲۷). نتایج نشان می‌دهد که در کل نمونه‌ها، با افزایش زمان ماندگاری درصد آب‌اندازی افزایش و ظرفیت نگهداری آب نمونه‌ها کاهش می‌یابد به نحوی که کمترین آب‌اندازی و بیشترین ظرفیت نگهداری آب در هفته اول مشاهده شد که با نتایج همان نمونه در انتهای ۶ هفته اختلاف معنی‌داری داشت ($P < 0.05$). این نتایج با آنچه که سوپاویتیت پاتانا و همکاران (۲۰۱۰)، در رابطه با افزایش آب‌اندازی ماست‌های تهیه شده از شیر گاو در طول دوره نگهداری مشاهده کردند مطابقت داشت. این محققان افزایش آب‌اندازی در طول زمان را به تضعیف شبکه ژلی ماست در نتیجه تضعیف برهمکنش‌های پروتئین-پروتئین نسبت دادند (۲۷).

از طرف دیگر، افزایش آب‌اندازی و کاهش درصد نگهداری آب ماست را می‌توان به مدت زمان گرمخانه‌گذاری طولانی‌تر نمونه‌ها در انتهای ۶ هفته نگهداری نسبت داد. در انتهای دوره نگهداری، به دلیل کاهش سرعت تخمیر استارترهای ماست، سرعت تولید اسید کمتر بوده و مدت زمان طولانی‌تری برای رسیدن به اسیدیته نهایی نیاز است. این مدت زمان طولانی‌تر به این معنی است که پروتئین‌های موجود در پودر ماست مدت طولانی‌تری در pH بالاتر در معرض دمای گرمخانه‌گذاری بوده و در نتیجه امکان بازآرایی گسترده‌تر ساختار پروتئینی در این شرایط فراهم می‌شود. این بازآرایی گسترده منجر به تشکیل شبکه ژلی ضعیفی شده که سبب افزایش آب‌اندازی ماست می‌گردد، که همانطور که گفته شد، آب‌اندازی در ماست به دلیل تغییر ساختار شبکه پروتئینی رخ داده و منجر به کاهش قدرت اتصال پروتئین‌ها با آب می‌شود. در مطالعه‌ای که توسط لی و لوسی (۲۰۰۴) انجام شد، گزارش گردید که دو فاکتور مهم در تشکیل شبکه ژلی محکم در ماست، سرعت تولید اسید و دمای گرمخانه‌گذاری هستند (۲۸). به طور کلی مکانیسم دخیل در تولید شبکه ماست شامل کاهش pH توسط استارت‌ر است که در ادامه باعث می‌شود کلسیم فسفات کلوئیدی موجود در میسل کازئین به صورت محلول در آمده و از آن خارج شود. خروج این ترکیب از میسل کازئین سبب بازآرایی نسبی ساختار درونی آن شده و برهمکنش کازئین-کازئین را تضعیف می‌کند. در شرایطی که تولید اسید آهسته‌تر صورت می‌گیرد، شروع حل شدن کلسیم فسفات کلوئیدی اندکی سریع‌تر و در pH بالاتری شروع می‌شود که باعث تغییر نوع ذرات کازئینی حاضر در ژل نهایی می‌گردد. به بیان بهتر، به

دلیل اینکه خروج کلسیم فسفات کازئینی در pH بالاتر رخ داده، بازآرایی درونی ساختار میسل کازئین بیشتر بوده و نتیجه نهایی آن تشکیل یک ژل ضعیف‌تر در ماست است (۲۸). این نتایج با آنچه که ما در رابطه با اثر زمان هلندگاری بر آب‌اندازی و ظرفیت نگهداری آب نمونه‌ها مشاهده کردیم مشابهت داشت.

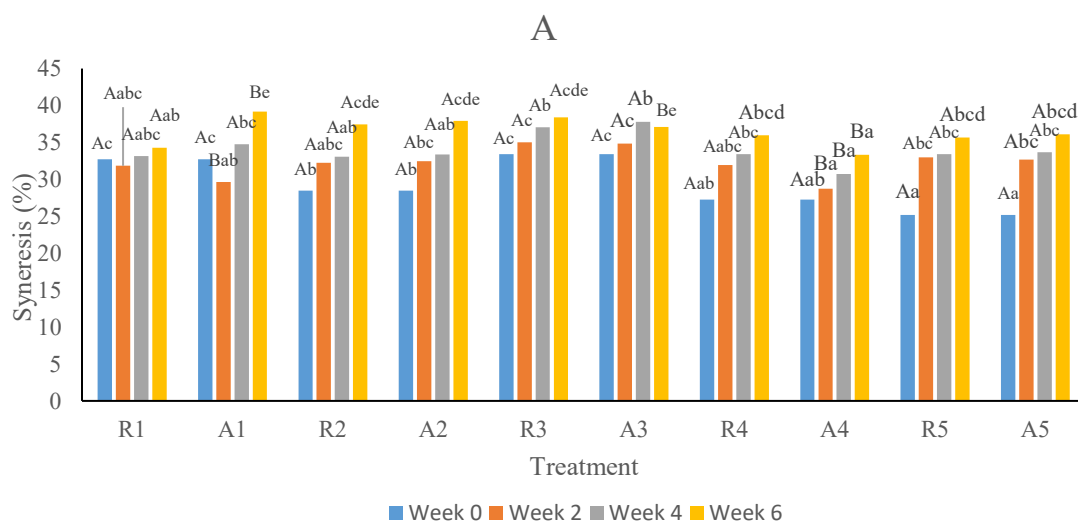
از طرف دیگر، مقایسه فرمولاسیون‌های مختلف در هر هفته نشان داد که به طور کلی درصد آب‌اندازی فرمول ۴ و ۵ پایین‌تر و ظرفیت نگهداری آنها بالاتر از سایر نمونه‌ها است. فرمول شماره ۴ حاوی استارتر انکپسوله با دیواره‌های متشکل از ۲/۵٪ کنسانتره آب پنیر، و ۳٪ ژلاتین و فرمول شماره ۵ حاوی استارتر انکپسوله با دیواره‌های متشکل از ۵٪ ایزوله پروتئین سویا و ۱٪ پکتین بود. از یک طرف، افزایش ماده خشک یکی از فاکتورهای موثر در کاهش آب‌اندازی ماست است که در نمونه‌های انکپسوله به دلیل استفاده از پلیمرهای دیواره برای انکپسوله کردن استارتر بالاتر بود. به طور کلی، اولین رویکرد در جهت کاهش آب‌اندازی، افزایش ماده خشک شیر است که با استفاده از ترکیبات افزودنی مختلفی محقق می‌شود که در این بین نقش پروتئین‌ها برجسته‌تر از سایر ترکیبات است. برهمکنش بین پروتئین‌ها و همچنین افزایش نسبت پروتئین به جامدات کل شیر دو عامل اساسی هستند که اثر قابل توجهی بر تولید شبکه ژلی مستحکم‌تر با احتمال از هم گسیختگی کمتر را دارد (۲۹). از جمله پروتئین‌های مورد استفاده جهت کاهش آب‌اندازی و افزایش استحکام ژل ماست پروتئین‌های آب پنیر است که با افزودن آنها به صورت دیواره پوششی استارتر به پودر ماست، قابلیت نگهداری آب ماست افزایش می‌یابد. همچنین گزارش شده است ژلاتین (که در این مطالعه در فرمول شماره ۴ از آن به عنوان دیواره‌های کپسول

استفاده شده بود) به عنوان تثبیت کننده می‌تواند به صورت موثری آب‌اندازی ماست را کاهش دهد. (۲۹،۳۰). در نتیجه، آب‌اندازی پایین‌تر پودرهای ماستی که حاوی استارترهای انکپسوله فرمول ۴ و ۵ بودند را می‌توان به وجود این ترکیبات در دیواره کپسول نسبت داد. در همین راستا، نگوین و همکاران (۲۰۱۷)، گزارش کردند که ژلاتین به دلیل توانایی آن در برهمکنش با کازئین و اتصال توده‌های کازئینی با زنجیره‌های پروتئینی شیر می‌تولند یک ژل سه بعدی محکم و قلیل انعطاف تولید کند که به خوبی آب و پروتئین آب پنیر را در خود محصور کند (۳۱). معتمدزادگان و همکاران (۲۰۱۵) نیز گزارش کردند که استفاده از ژلاتین در ماست قالبی به دو دلیل سبب کاهش آب‌اندازی نمونه‌ها شد: ۱- افزودن ژلاتین باعث افزایش ماده خشک ماست شده و با توده‌ای کردن بافت آن سبب کاهش آب‌اندازی می‌شود ۲- زنجیره‌های ژلاتینی با هاتریس کازئین اتصال برقرار کرده، سبب تغییر ساختار سطحی آن شده و شبکه به هم پیوسته‌ای را تشکیل می‌دهند که به خوبی می‌تواند آب را در خود نگه دارد (۳۲).

از طرف دیگر، فرمول ۲ که حاوی ۰/۵٪ کربوکسی متیل سلولز و ۵٪ یوتا کاراگینان و فرمول ۳ که حاوی ۱٪ کربوکسی متیل سلولز و ۵٪ کنسانتره آب پنیر بود تاثیر مثبتی بر کاهش آب‌اندازی ماست نشان ندادند. در مطالعات پیشین گزارش شده است که استفاده از کاراگینان و کربوکسی متیل سلولز اگرچه باعث افزایش ویسکوزیته ماست می‌گردد، اما در مقابل سینرسیس یا آب‌اندازی آن را نیز افزایش می‌دهد که می‌تواند به دلیل مکانیسم تهی سازی-

تشکیل شده بودند آب‌اندازی بیشتری نسبت به ژل‌های تشکیل شده در حضور ژلاتین داشتند (۳۱)؛ که هم راستا با نتایج این مطالعه بود. فرمول شماره ۳ که حاوی ۱٪ کربوکسی متیل سلولز و ۵٪ کنسانتره آب پنیر بود، اگرچه که انتظار می‌رفت به دلیل محتوای بالاتر پروتئین، آب‌اندازی کمتری داشته باشد، اما به دلیل وجود کربوکسی متیل سلولز همراه با پروتئین آب پنیر اثر معکوسی را نشان داد. دلیل این امر احتمالا این است که بارهای منفی روی کربوکسی متیل سلولز بارهای مثبت پروتئین‌های شیر (و احتمالا پروتئین آب پنیر مورد استفاده در دیواره انکپسوله‌ها) را خنثی کرده و در نتیجه کمپلکسی را تشکیل دادند که رسوب کرده و مانع از تاثیر گذاری مثبت پروتئین‌های شیر و پروتئین‌های آب پنیر موجود در فرمول جهت استحکام ژل شد. این نتایج با آنچه که گاد و محمد (۲۰۱۴) در رابطه با نوشیدنی ماست حاوی کربوکسی متیل سلولز به عنوان تثبیت کننده گزارش کردند مشابهت داشت (۳۷).

فلوکولاسیون^۲ باشد (۳۳،۳۴). به بیان واضح تر، وجود کاراگینان حین تشکیل شبکه ژلی ماست باعث می‌شود که شبکه بسیار متخلخلی از ذرات کازئینی در حضور کاراگینان تشکیل شده که باعث خروج آب پنیر از ساختار و جمع شدن شبکه کازئینی شود (۳۵،۳۶). در مورد اول که از پلیمرهای کربوکسی متیل سلولز و یوتا کاراگینان به عنوان دیواره استفاده شده بود، آب‌اندازی بالاتری نسبت به سایر نمونه‌ها خصوصا فرمول ۴ و ۵ مشاهده شد که می‌تواند به دلایل ذکر شده در بالا باشد. در همین راستا، اندیچ و همکاران (۲۰۱۳)، گزارش کردند که استفاده از کربوکسی متیل سلولز سبب افزایش جداسازی آب پنیر در ژل ماست شده و سینرسیس را افزایش می‌دهد در حالی که استفاده از ژلاتین اثر معکوسی داشته و ژل مسحکم تر و آب‌اندازی کمتری را حاصل می‌آورد (۳۳)؛ که با نتایج حاصل از این تحقیق مشابهت داشت. همچنین نگوین و همکاران (۲۰۱۷)، نیز گزارش کردند ژل‌های ماستی که در حضور کاراگینان



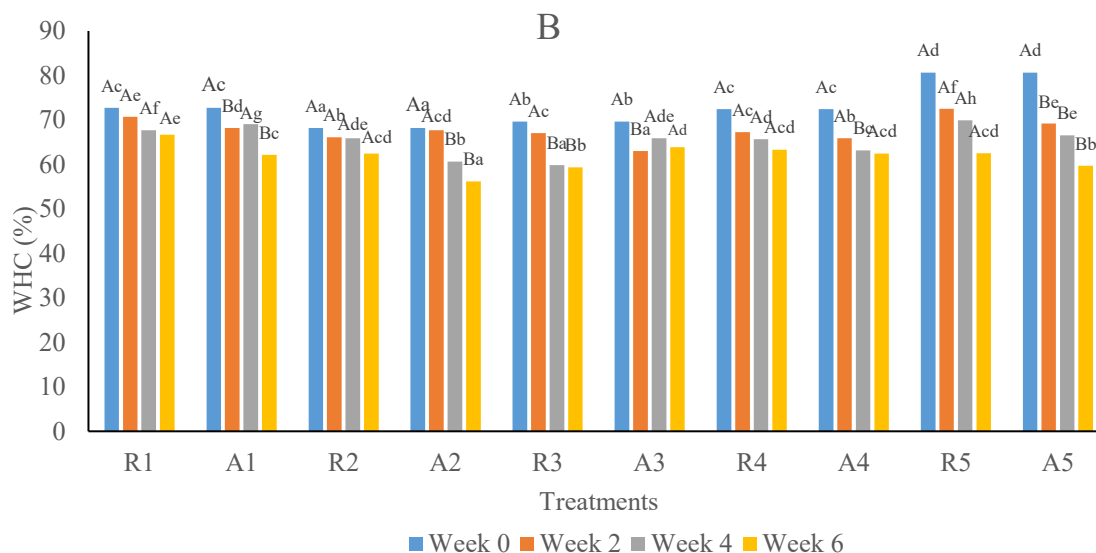


Figure 2 A) syneresis, and B) water holding capacity of yogurt powders containing different encapsulated bacteria. Lowercase letters show significant difference between each formulation during storage period and uppercase letters show significant difference between same samples stored at refrigerated or ambient temperatures

باکتریایی با افزایش زمان نگهداری یک نتیجه قابل انتظار است که در مطالعات بسیاری از محققان گزارش شده است. برای مثال، اکبری و همکاران (۲۰۲۳)، جهت کاهش لود باکتریایی شیر پس چرخ تازه به آنها اوزون در غلظت‌های مختلف تزریق کرده و مشاهده کردند حتی در دوزهای بالای تزریق اوزون، پس از ۱۵ روز نگهداری توتال کانت نمونه‌ها نسبت به روز اول افزایش داشت (۳۸). همچنین جلیلی و سیف زاده (۲۰۲۱)، که با استفاده از ژلاتین و پکتین کره لبنی کم چرب تهیه کرده بودند نیز گزارش کردند که با افزایش زمان نگهداری تا پنج هفته، شمارش باکتریایی نمونه‌ها افزایش می‌یابد (۳۹)، که با نتایج حاصل از کار ما مشابهت داشت.

۳-۴ کیفیت میکروبی

بررسی میزان آلودگی احتمالی نمونه‌های پودر در ابتدا و انتهای دوره نگهداری در جدول ۹ آورده شده اند. شمارش کپک و مخمر و همچنین تعداد کلی فرم‌های تمامی نمونه‌ها در روز صفر و هفته ششم نگهداری کمتر از ۱۰ کلنی بود که در محدوده استاندارد است. با این حال، میزان توتال کانت در تمامی نمونه‌ها پس از ۶ هفته اندکی افزایش یافت که احتمالاً به دلیل فراهم آمدن شرایط مناسب رشد در طول زمان به حد مکفی جهت تکثیر باکتری‌های آسیب دیده است. با این حال، میزان آلودگی تمام نمونه‌ها در حد مطلوب بود که نشان می‌دهد فرآیند انکپسوله کردن و تهیه پودر ماست تحت شرایط بهداشتی مطلوب انجام شده است. افزایش شمار

Table 3. microbial analysis of yogurt powders at first and end days of storage

Treatment	Week 0			Week 6		
	Mold and Yeast	Total count	Coliform	Mold and Yeast	Total count	Coliform
R1	10>	10>	10>	10>	10>	10>
A1	10>	$0 \cdot 10^2 - 4 \cdot 10^1$	10>	10>	$0 \cdot 10^2 - 0 \cdot 10^1$	10>
R2	10>	$1 \cdot 10^2$	10>	10>	$20 \cdot 10^1$	10>
A2	10>	$1 \cdot 10^2$	10>	10>	$TNTC \cdot 10^3$	10>
R3	10	$2 \cdot 10^2 - 10 \cdot 10^1$	10>	10>	$15 \cdot 10^1$	10>
A3	10	$2 \cdot 10^2 - 10 \cdot 10^1$	10>	10>	$TNTC \cdot 10^3$	10>
R4	10	$12 \cdot 10^2 - 1 \cdot 10^1$	10>	10>	$15 \cdot 10^2 - 20 \cdot 10^1$	10>
A4	10	$12 \cdot 10^2 - 1 \cdot 10^1$	10>	10>	$TNTC \cdot 10^3$	10>
R5	10>	$4 \cdot 10^2 - 5 \cdot 10^1$	10>	10>	$4 \cdot 10^2 - 5 \cdot 10^1$	10>
A5	10>	$4 \cdot 10^2 - 5 \cdot 10^1$	10>	10>	$12 \cdot 10^2 - 16 \cdot 10^1$	10>

*A: Ambient temperature

*R: Refrigerator temperature

که در رابطه با سرعت تخمیر استارتر و همچنین آب‌اندازی و ظرفیت نگهداری آب به دست آوردیم هم راستا بود. همانطور که گفته شد، افزایش زمان نگهداری سبب کاهش سرعت تخمیر استارتر می‌شود که نیاز به زمان گرمخانه‌گذاری را افزایش می‌دهد که این نیز به نوبه خود سبب کاهش استحکام ژل ماست، افزایش آب‌اندازی و به طبع آن، کاهش خصوصیات حسی می‌شود. وجود پلیمرهای مختلف به عنوان دیواره کپسول استارتر در تیمارهای مختلف سبب کاهش یا افزایش کمی آب‌اندازی و استحکام ژل شد، با این حال از نظر پنبلیست‌ها این تغییرات از نظر کیفی ملموس نبود که یک دلیل آن را می‌توان به مقدار نسبتاً کم این پلیمرها در پودر ماست دانست که از درک آستانه حسی پنبلیست‌ها پایین‌تر بود. کاهش خصوصیات حسی و امتیاز حسی نمونه‌های ماست در طول زمان در مطالعه‌ای که توسط کریمی و منافی (۲۰۲۱)، روی ماست‌های کم چرب حاوی ایزوله پروتئین سویا انجام شد، گزارش گردید. این محققان کاهش امتیاز حسی مربوط به بافت، طعم و همین‌طور پذیرش کلی را، به افزایش آب‌اندازی و کاهش استحکام ژل ماست و همچنین تند شدن چربی موجود در ماست در انتهای دوره نگهداری

۳-۵ آنالیز حسی

نتایج مربوط به آنالیز حسی نمونه‌ها در جدول ۴ آورده شده است. به طور کلی، در هفته اول تمامی نمونه‌ها امتیاز مقبولی دریافت کرده و اختلاف معنی‌داری بین نمونه‌ها مشاهده نشد که نشان می‌دهد استفاده از پلیمرهای مختلف برای کپسول کردن باکتری‌ها، روی خصوصیات حسی آنها تاثیر نداشته است و تمامی نمونه‌ها کیفیتی برابر با نمونه شاهد داشته‌اند. این نتایج مشابه با یافته‌های کایلاساپاتی (۲۰۰۶) در رابطه با ماست‌های حاوی پروبیوتیک‌های انکپسوله شده و آزاد بود؛ این محققان بیان داشتند که انکپسوله کردن پروبیوتیک‌ها تفاوت معنی‌داری از لحاظ خصوصیات حسی نسبت به نمونه شاهد (حاوی باکتری‌های آزاد) ایجاد نکرده است (۷)؛ که با نتایج حاصل از این مطالعه مطابقت داشت. با این حال، در تمامی نمونه‌ها با افزایش زمان نگهداری به ۶ هفته، امتیاز مربوط به تمامی خصوصیات حسی (بجز بو) کاهش یافت. دلیل این امر را می‌توان به کاهش سرعت تخمیر باکتری‌ها و افزایش زمان گرمخانه‌گذاری مرتبط دانست که باعث شد ژل نهایی ماست ضعیف‌تر شده و خصوصاً احساس دهانی، بافت و تا حدی طعم آن تغییر کند. نتایج خصوصیات حسی با آنچه

نسبت دادند (۴۰)؛ که با نتایج حاصل از این پژوهش هم راستا بود. همچنین نتایج مشابهی در مطالعه انجام شده توسط آذرخشان و همکاران (۲۰۲۲) نیز گزارش گردید (۴۱). در مقابل، ناطقی (۲۰۲۰) گزارش کرد که ویژگی‌های بافت غیر دهانی و پذیرش کلی نمونه‌ها با افزودن صمغ زرد نسبت به نمونه شاهد افزایش یافته ولی تفاوت معنی‌داری در بافت دهانی و طعم مشاهده نشد (۴۲). دلیل تفاوت نتایج این محقق با پژوهش حاضر احتمالاً به دلیل مقدار بیشتر صمغ مصرفی در نمونه‌ها بود. اگرچه که هیدروکلوئیدهایی که ما به عنوان دیواره کپسول استارتر استفاده کردیم همگی قادر به باند کردن آب، افزایش ویسکوزیته و بهبود خصوصیات بافتی ماست بودند، اما مقادیر مورد استفاده در این کار نسبت به مطالعه انجام شده توسط ناطقی پایین‌تر بوده در نتیجه از نظر پنبلیست‌ها بین آنها تفاوت خاصی مشاهده نشد.

Table 4. sensorial properties of yogurts prepared from yogurt powders containing encapsulated bacteria

Treatment	week 6					week 4					week 2					week 0				
	General acceptance	Uniformity	Mouthfeel	Odor	Flavor	General acceptance	Uniformity	Mouthfeel	Odor	Flavor	General acceptance	Uniformity	Mouthfeel	Odor	Flavor	General acceptance	Uniformity	Mouthfeel	Odor	Flavor
R1	3.2±0.4	2.8±0.4	3±0	4.6±0.5	3.6±0.5	3.6±0.9	3.8±0.4	3.6±1.1	3.8±0.8	3.6±1.1	4.6±0.5	4.2±0.4	4.8±0.4	5±0	4.2±0.8	3.6±1.3	4.2±0.8	4±1.4	3.6±1.1	3.6±1.3
A1	1.8±0.4	2.4±0.9	1.8±0.8	3.6±0.9	1.8±0.4	2.6±1.1	3.2±1.6	2.6±1.8	2.6±1.5	2±1	3.8±0.4	4.2±0.4	4.2±0.4	4.6±0.5	3.2±1.5	3.6±1.3	4.2±0.8	4±1.4	3.6±1.1	3.6±1.3
R2	3.8±0.8	4.6±0.5	4±0.7	4±0.7	3±0.7	3.2±1.1	3±1	3.4±1.8	4.4±0.9	3.4±1.8	4.2±0.4	3.4±0.5	4.2±0.8	4.4±0.9	3.8±0.8	3.2±1.1	3.8±1.6	3.4±1.7	4±1.4	3.2±1.1
A2	3±0.7	2.6±0.9	3.4±1.1	4±0.7	3.6±1.1	4±0.7	4.4±0.9	4±1	3.8±1.6	4.2±0.8	3.4±0.9	3.6±0.5	3.8±1.3	4.2±1.1	2.8±0.8	3.2±1.1	3.8±1.6	3.4±1.7	4±1.4	3.2±1.1
R3	3.8±0.8	4.4±0.5	3.6±0.9	4±0.5	3.6±0.9	3±1.2	4±1	3.2±1.1	4.2±0.8	3.2±1.1	4.2±0.4	4.4±0.5	4.4±0.5	4.4±0.5	3.8±0.4	3±1	3.6±1.5	3.8±1.3	3.8±1.3	3.4±0.55
A3	3.4±1.1	2.8±1.3	4.4±0.5	4.8±0.4	3.6±1.1	4.4±0.5	4.8±0.4	3.8±0.4	4.4±0.9	4.2±0.4	4.6±0.5	5±0	4.8±0.4	4.2±0.8	4.8±0.4	3±1	3.6±1.5	3.8±1.3	3.8±1.3	3.4±0.5
R4	3.8±0.4	4.4±0.5	3.8±0.8	4.6±0.5	3.4±0.5	3.4±1.1	3.2±1.6	3.8±0.8	2.6±0.9	3±0.7	4.2±0.8	4.6±0.5	4.2±0.8	4.6±0.9	4±0.7	3.4±0.9	3.4±1.5	4±1	3.2±1.5	3.8±1.1
A4	3.8±0.4	4.6±0.5	4.2±0.8	4.6±0.5	3.8±0.4	3.2±0.4	3.6±1.1	3.6±1.1	4.2±0.8	3.2±0.4	2.8±0.4	2.4±0.9	2.8±0.4	3±0.7	3±0	3.4±0.9	3.4±1.5	4±1	3.2±1.5	3.8±1.1
R5	3.8±0.4	4±0	3.6±0.9	4.6±0.5	3.6±0.9	4±0.7	3.6±1.1	3.8±0.8	4.2±0.8	3.8±0.8	4±0	4.6±0.5	5±0	4.6±0.9	4±0	3.4±0.9	3.6±1.5	4±0.7	3.8±0.8	3.4±0.9
A5	3.4±0.5	4.6±0.5	3.8±0.4	3.6±0.9	3±0	3.6±0.5	3.4±1.1	3±1.6	3.8±1.1	3.4±0.9	4.2±0.4	4.6±0.9	4.6±0.5	4.2±0.8	4.4±0.5	3.4±0.9	3.6±1.5	4±0.7	3.8±0.8	3.4±0.9

*A: Ambient temperature
*R: Refrigerator temperature

۴- نتیجه گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که درصد رطوبت پودرهای ماست تهیه شده تقریباً همگی در یک محدوده بوده (بین ۳.۶۲ تا ۳.۹۷٪) اما حلالیت نمونه‌های حاوی استارتر انکپسوله نشده (۹۰.۶٪) بالاتر از انواع انکپسوله شده بود (۷۱-۷۳٪) که در نتیجه وجود پلیمرهای مورد استفاده برای انکپسوله کردن بود. زمان گرمخانه‌گذاری نمونه‌های انکپسوله شده نسبت به انواع آزاد در روز اول نگهداری افزایش معنی‌دار داشت و از ۳ ساعت برای نمونه انکپسوله نشده به ۴/۵ ساعت برای تمامی نمونه‌های کپسوله شده افزایش یافت که نشان می‌داد انکپسوله کردن تاثیر مثبتی بر حفظ زنده‌مانی و سرعت تخمیر استارترها ندارد. همچنین با افزایش زمان نگهداری، سرعت تخمیر تمامی نمونه‌ها کاهش و زمان گرمخانه‌گذاری آنها یافت. در نمونه‌های انکپسوله، افزایش زمان گرمخانه‌گذاری سبب شد که آب‌اندازی آنها افزایش و ظرفیت نگهداری آب آنها کاهش یابد. با این حال آب‌اندازی نمونه‌های انکپسوله شده در ایزوله پروتئین سویا-پکتین (۲۵.۱۹٪) و ژلاتین-کنسانتره پروتئین آب پنیر (۲۷.۲۵٪) نسبت به سایر نمونه‌ها کمتر بوده و در عین حال این نمونه‌ها ظرفیت نگهداری آب بالاتر داشتند که این نیز به دلیل استفاده از پلیمرهای مورد

۶- منابع

استفاده در دیواره کپسول و قابلیت ایجاد شبکه یا استحکام شبکه پروتئینی ماست بود که به نوبه خود حفظ آب را در سیستم بهبود می‌بخشید. تمامی نمونه‌های پودری از نظر کیفیت میکروبی تا اتمام دوره نگهداری در محدوده مجاز بودند. آنالیز حسی نمونه‌ها نیز نشان داد که در ابتدای دوره، خصوصیات حسی مختلف مانند طعم، مزه و بافت اختلاف خاصی با ماست‌های حاوی استارتر کپسوله نشده نداشت و کیفیت حسی ماست‌های تولیدی به این روش به صورت قابل قبولی بالا بود، با این حال، تمامی خصوصیات حسی با افزایش زمان نگهداری کاهش یافتند که این کاهش برای نمونه‌های نگهداری شده در محیط بارزتر بود. به طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که انکپسوله کردن باکتری جهت حفظ فعالیت تخمیری آنها در طولانی مدت راهکار مناسبی نبوده و برای دستیابی به این هدف باید روش‌های دیگر را مورد آزمون قرار داد.

۵- تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از شرکت فرآورده‌های لبنی گلا که با حمایت فنی و مالی امکان انجام این پژوهش را فراهم نموده‌اند تشکر و قدردانی می‌نمایند.

- [1] Mozuraityte, R., Rodríguez-Turienzo, L., Shima, A. R., Salina, H. F., Masniza, M., & Atiqah, A. H. (2012). Viability of lactic acid bacteria in home made yogurt containing sago starch oligosaccharides. *International Journal of Basic & Applied Science*, 12, 58-62.
- [2] Kumar, P., & Mishra, H. N. (2004). Yoghurt powder—a review of process technology, storage and utilization. *Food and Bioproducts Processing*, 82(2), 133-142.
- [3] Hayaloglu, A. A.; Karabulut, I.; Alpaslan, M.; Kelbaliyev, G. (2007). Mathematical modeling of drying characteristics of strained yoghurt in a

convective type tray-dryer. *Journal of Food Engineering*, v. 78, n. 1, p. 109-117.

- [4] Koc, B., Yilmazer, M. S., Balkır, P., & Ertekin, F. K. (2010). Spray Drying of Yogurt: Optimization of Process Conditions for Improving Viability and Other Quality Attributes. *Drying Technology*, 28(4), 495-507. <https://doi.org/10.1080/07373931003613809>
- [5] Chen Chen, Shanshan Zhao, Guangfei Hao, Haiyan Yu, Huaixiang Tian & Guozhong Zhao (2017) Role of lactic acid bacteria on the yogurt flavour: A review, *International Journal of Food Properties*.

- [6] Nasirvand, F., & Babolani Mogadam, N. (2022). Investigation of survival of probiotic *Lactobacillus casei* and *Bifidobacterium lactis* encapsulated with calcium alginate-inulin in cold green tea drink. *Food Research Journal*, 32(1), 137-149. doi: 10.22034/fr.2021.46353.1795
- [7] Kailasapathy, K. (2006). Survival of free and encapsulated probiotic bacteria and their effect on the sensory properties of yoghurt. *LWT*, 39, 1221-1227.
- [8] Mardani Ghahfarokhi V, Khosrowshahi Asl A, Zomorodi S. Co-encapsulation of *Lactobacillus acidophilus* (La-5) and omega-3 rich oil through complex coacervation. *FSCT 2021*; 18 (120) :199-213
- [9] Nguyen, T. T., Nguyen, P. T., Nguyen, T. T. U., Nguyen, T. B. N., Bui, N. B., & Nguyen, H. T. (2022). Efficacy of the incorporation between self-encapsulation and cryoprotectants on improving the freeze-dried survival of probiotic bacteria. *Journal of Applied Microbiology*, 132(4), 3217-3225.
- [10] Javidi Y, Goli M. Investigation of physico-chemical and microbial properties of low fat yogurt enriched with whey protein concentration, milk protein concentration, and wheat-psyllium fiber. *FSCT 2021*; 18 (112) :247-260
- [11] F. Zendeboodi, S. Yeganehzad, A. R. Sadeghian, (2018). Production of carbohydrate-protein based soft drink powder containing date syrup by spray dryer: evaluation effect of drying carriers on physical properties of the powdered drink, *Food Science and Technology*, 15(5), 43-54. magiran.com/p1859411
- [12] Siyar Z, Motamedzadegan A, Mohammadzadeh Milani J, Rashidinejad A. (2022). The Effect of the Liposomal Encapsulated Saffron Extract on the Physicochemical Properties of a Functional Ricotta Cheese. *Molecules*. 27(1):120. <https://doi.org/10.3390/molecules27010120>
- [13] Iran National Standards Organization (2022). Milk and milk products- Determination of titrable acidity and pH- test method. INSO 2852 2nd Revision.
- [14] Farmani, J., Edalatkhah, M., Motamedzadegan, A., & Mardani, M. (2016). Production of set yoghurt analogue through replacement of milk fat with canola and sesame oil. *International Journal of Dairy Technology*, 69(3), 433-440.
- [15] Zamani, A., Almasi, H., & Ghanbarzadeh, B. (2015). Effect of Guar and Carboxymethyl Cellulose Thickening agentson the physical and rheological properties of set fruit yogurt. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 46(1), 57-66. doi: 10.22059/ijbse.2015.54337
- [16] Iran National Standards Organization (2024). Microbiology of milk and milk products- Specification and test methods. INSO 2406 4th Revision.
- [17] Wei, N. S., & Sulaiman, R. (2022). Effect of maltodextrin, arabic gum, and beetroot juice concentration on the powder properties of spray-dried beetroot-skim milk mixtures. *Acta Universitatis Cibiniensis. Series E: Food Technology*, 26(2), 209-224.
- [18] Lima, R. R., Stephani, R., Perrone, Í. T., & de Carvalho, A. F. (2023). Plant-based proteins: a review of factors modifying the protein structure and affecting emulsifying properties. *Food Chemistry Advances*, 100397.
- [19] Goh, K. K., Teo, A., Sarkar, A., & Singh, H. (2020). Milk protein-polysaccharide interactions. In *Milk proteins* (pp. 499-535). Academic Press.
- [20] Feng, S., Bi, J., Yi, J., Li, X., Li, J., & Ma, Y. (2022). Cell wall polysaccharides and mono-/disaccharides as chemical determinants for the texture and hygroscopicity of freeze-dried fruit and vegetable cubes. *Food Chemistry*, 395, 133574.
- [21] Patil, A., Disouza, J., & Pawar, S. (2019). Shelf life stability of encapsulated lactic acid bacteria isolated from Sheep milk thrived in different milk as natural media. *Small ruminant research*, 170, 19-25.
- [22] Sionek B, Szydłowska A, Trzaskowska M, Kolożyn-Krajewska D. The Impact of Physicochemical Conditions on Lactic Acid Bacteria Survival in Food Products. *Fermentation*. 2024; 10(6):298. <https://doi.org/10.3390/fermentation10060298>.
- [23] Gutierrez, M. M., Reed, J. A., McElroy, R. A., & Hansen, R. R. (2024). Bacteria encapsulation into polyethylene glycol hydrogels using Michael-type addition reactions. *MRS Advances*, 1-7.
- [24] Coelho-Rocha, N. D., De Castro, C. P., De Jesus, L. C., Leclercq, S. Y., de Cicco Sandes, S. H., Nunes, A. C., ... & Mancha-Agresti, P. (2018). Microencapsulation of lactic acid bacteria improves the gastrointestinal delivery and in situ expression of recombinant fluorescent protein. *Frontiers in microbiology*, 9, 2398.
- [25] Passot, S. S., Fonseca, F., Cenard, S., Douania, I., & Trelea, I. C. I. C. (2011, May). Quality degradation of lactic acid bacteria during the freeze drying process: experimental study and mathematical modelling. In *ICEF 11, International Congress of Engineering and Food*.

- [26] Amatayakul, T., Sherkat, F., & Shah, N. P. (2006). Syneresis in set yogurt as affected by EPS starter cultures and levels of solids. *International Journal of dairy technology*, 59(3), 216-221.
- [27] Supavititpatana, P., Wirjantoro, T. I., & Raviyan, P. (2010). Characteristics and shelf-life of corn milk yogurt. *Journal of Natural Science*, 9(1), 133-147.
- [28] Lee, W. J., & Lucey, J. A. (2004). Structure and physical properties of yogurt gels: Effect of inoculation rate and incubation temperature. *Journal of dairy science*, 87(10), 3153-3164.
- [29] Arab, M., Yousefi, M., Khanniri, E., Azari, M., Ghasemzadeh-Mohammadi, V., & Mollakhalili-Meybodi, N. (2023). A comprehensive review on yogurt syneresis: Effect of processing conditions and added additives. *Journal of Food Science and Technology*, 60(6), 1656-1665.
- [30] Ebdali S, Motamedzadegan A. Effect of partial replacement of solids with gelatin on functional properties of non-fat yogurt. *Iranian J Nutr Sci Food Technol* 2013; 8 (2) :221-229.
- [31] Nguyen, P. T., Kravchuk, O., Bhandari, B., & Prakash, S. (2017). Effect of different hydrocolloids on texture, rheology, tribology and sensory perception of texture and mouthfeel of low-fat pot-set yoghurt. *Food Hydrocolloids*, 72, 90-104.
- [32] Motamedzadegan A, Shahidi S A, Hosseini parvar S H, Ebdali S. Evaluation effects of gelatins types on functional properties of fat free set style yogurt. *FSCT* 2015; 12 (47) :221-230.
- [33] Andiç, S., Boran, G., & Tunçtürk, Y. (2013). Effects of Carboxyl Methyl Cellulose and Edible Cow Gelatin on Physico-chemical, Textural and Sensory Properties of Yoghurt. *International Journal of Agriculture & Biology*, 15(2).
- [34] Pang, Z., Deeth, H., & Bansal, N. (2015). Effect of polysaccharides with different ionic charge on the rheological, microstructural and textural properties of acid milk gels. *Food research international*, 72, 62-73.
- [35] Sanchez, C., Zuniga-Lopez, R., Schmitt, C., Despond, S., & Hardy, J. (2000). Microstructure of acid-induced skim milk–locust bean gum–xanthan gels. *International Dairy Journal*, 10(3), 199-212.
- [36] Hemar, Y., Tamehana, M., Munro, P. A., & Singh, H. J. F. H. (2001). Viscosity, microstructure and phase behavior of aqueous mixtures of commercial milk protein products and xanthan gum. *Food Hydrocolloids*, 15(4-6), 565-574.
- [37] Gad, A. S., & Mohamad, S. H. (2014). Effect of hydrocolloid type on physiochemical properties of nonfat drinkable yogurt fermented with ropy and non-ropy yogurt cultures. *Comunicata Scientiae*, 5(3), 318-325.
- [38] Akbari S, Pajohi-Alamoti M, Karami M. (2023). Ozonation of the pasteurized skim milk to extend the shelf life: evaluation of the chemical and microbial properties. *FSCT*; 20 (142) :15-30
- [39] Jalili H, Seifzadeh M. (2021). Production of dietary low-fat spread using pectin and gelatin extracted from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) skin and its evaluation during 5 weeks at refrigerated storage. *isfj*; 30 (6) :145-156
- [40] Karimi, L., & Manafi Dizaj Yekan, M. (2021). Production of Functional Low-Fat Yogurt Fortified with Soy Protein Isolate. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 52(4), 585-598. doi:10.22059/ijbse.2021.312193.665350
- [41] Azarashkan, Z., Motamedzadegan, A., Ghorbani-HasanSaraei, A., Biparva, P., & Rahaiee, S. (2022). Investigation of the physicochemical, antioxidant, rheological, and sensory properties of ricotta cheese enriched with free and nano-encapsulated broccoli sprout extract. *Food Science & Nutrition*, 10(11), 4059-4072.
- [42] Nateghi, L. (2020). An Investigation about Possibility the Manufacture of Low-Fat Stirred Yoghurt using Zedo Gum. *FOOD ENGINEERING RESEARCH (JOURNAL OF AGRICULTURAL ENGINEERING RESEARCH)*, 18(67), 29-42.



Journal of Food Science and Technology (Iran)

Homepage: www.fsct.modares.ir

Scientific Research

Using Encapsulated Starter Culture to Prepare Semi-Prepared Yogurt Powder: Evaluation of Fermentation Activity and Sensory Characteristics of Set Yogurt During Storage

Ali Motamedzadegan^{1*}, Hoda Fahim², Mojtaba Asgharnejad³, Maryam Nozari⁴, Ali Bagheri⁴,
Sedigheh Mazinani⁵

- 1- Full professor, department of food science and engineering, sari agricultural science and natural resources
- 2- Department of food science and engineering, sari agricultural science and natural resources
- 3- Research and Development manager, Gela, Dairy Products Company, Amol
- 4- M.Sc. graduate in food science and engineering, sari agricultural science and natural resources, Research and Development unit, Gela, Dairy Products Company, Amol
- 5- Research and Development manager of food department at Jahan Saderat Industrial group, Tehran

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Article History: Received:2024/11/28 Accepted:2025/5/28 Keywords: Encapsulated starter culture, Fermentation activity, Incubation time, Yogurt DOI: 10.22034/FSCT.22.166.94. *Corresponding Author E-	This study investigated the impact of encapsulating starter cultures with various biopolymers for incorporation into yogurt powder, as well as the effects of two storage temperatures (ambient and refrigerated) on fermentation activity, incubation time, syneresis, and sensory attributes of set- yogurts over time. Encapsulation significantly reduced the solubility of yogurt powder. However, it also led to a statistically significant increase in incubation time, from 3.0 to 4.5 hours, compared to non-encapsulated samples. Incubation time was further influenced by storage temperature and time; those stored in ambient temperature at the end of storage time revealed extended fermentation times. Among the samples, those encapsulated with soy protein isolate–pectin and gelatin–whey protein concentrate exhibited significantly lower syneresis and higher WHC, likely due to favorable interactions between the encapsulating agents, milk proteins, and water molecules. The microbiological quality of all yogurt powders remained within acceptable range throughout storage, irrespective of the storage conditions or encapsulation material. Sensory evaluation on the first day of production showed no significant differences among samples, all of which received acceptable scores. However, increasing storage time, particularly at ambient temperature, resulted in a significant decline in sensory scores in encapsulated samples. Overall, the findings indicate that encapsulation of starter cultures, in its current form, is not an effective strategy for preserving long-term fermentative activity, and alternative approaches or optimization of encapsulation parameters may be necessary to achieve this goal.