

# تأثیر غلظت های مختلف اینولین و آب پنیر بر ویژگی های کیفی و رئولوژیکی دوغ آلوئه ورای حاوی باکتری های پروبیوتیک ریزپوشانی شده

مسعود دزیانی<sup>1\*</sup>، فاطمه شهدادی<sup>2</sup>، رقیه عزتی<sup>1</sup>

1-بخش صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد صوفیان، صوفیان، ایران

2-گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران

(تاریخ دریافت: 98/11/19 تاریخ پذیرش: 99/03/11)

## چکیده

هدف این مطالعه بررسی اثر ریزپوشانی با آلژینات سدیم/نشاسته مقاوم و آلژینات سدیم/کیتوزان بر خواص کیفی، رئولوژیکی و زنده ماندن باکتری های پروبیوتیک بیفیدوباکتریوم اینمالیس زیرگونه لاکتیس در دوغ آلوئه ورا بود. میزان 10 درصد ژل آلوئه ورا همراه با غلظت های مختلف آب پنیر (5، 10 و 15 درصد) و اینولین (0/5، 1 و 1/5 درصد) به دوغ پروبیوتیک اضافه و تاثیر آن در حفاظت از باکتری های پروبیوتیک و خواص کیفی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد افزایش میزان اینولین تاثیر معنی داری بر pH نمونه های دوغ آلوئه ورا نداشت. افزایش درصد آب پنیر تا سطح 5 درصد تاثیر معنی داری بر pH نمونه ها نشان نداد ولی افزایش بیشتر آن باعث کاهش معنی دار pH نمونه ها در طول دوره نگهداری گردید. از لحاظ ویژگی های حسی نمونه های دوغ حاوی اینولین 1 درصد و باکتری های ریزپوشانی شده با آلژینات سدیم/کیتوزان بیشترین امتیاز از لحاظ طعم را دریافت کردند و کمترین امتیاز مربوط به تیمار شاهد (بدون اینولین و آب پنیر) و باکتری های آزاد بود. نمونه های دوغ حاوی اینولین 1/5 درصد کمترین میزان جدا شدن سرم و نمونه شاهد (بدون اینولین و آب پنیر) بیشترین درصد جدا شدن سرم را در پایان دوره نگهداری نشان داد. بطور کلی نمونه های حاوی ریزکپسول ها درصد جدا شدن سرم کمتری نسبت به نمونه های حاوی باکتری های آزاد در طول 28 روز نگهداری داشتند. بیشترین میزان ویسکوزیته ضریب قوام در بین تیمارهای مورد مطالعه به نمونه های دوغ حاوی اینولین 1/5 درصد اختصاص یافت. فرایند ریزپوشانی باعث افزایش ویسکوزیته ظاهری (121 cp)، شاخص قوام (152) و مدول افت (1741 Pa) و کاهش شاخص رفتار جریان (0/46) نمونه های دوغ گردید. ریزپوشانی باکتری های پروبیوتیک توسط آلژینات سدیم/نشاسته مقاوم و آلژینات سدیم/کیتوزان و استفاده از آب پنیر و اینولین در نمونه های دوغ باعث افزایش زنده ماندن آنها در طول دوره نگهداری گردید.

**کلید واژگان:** دوغ سین بیوتیک، آلوئه ورا، ریزپوشانی، اینولین، آب پنیر

\* مسئول مکاتبات: dezyani2002@yahoo.com

## 1- مقدمه

امروزه مصرف کنندگان مواد غذایی به مواردی مانند طعم مطبوع، پایین بودن کالری و چربی و اثر مفید غذا بر سلامتی توجه خاصی دارند. از این رو صنایع غذایی در تلاش است محصولات تولید نماید که طعم و خواص بهتری داشته باشند که در این بین فرآورده های لبنی کم چرب و فراوری شده با پروبیوتیک ها از اهمیت زیادی در ارتقاء سلامت برخوردار می باشند [1]. در سال های اخیر میل به استفاده از باکتری های مفیدی به نام پروبیوتیک ها به عنوان یک رژیم کمکی در صنایع غذایی رو به رشد بوده است. پروبیوتیک ها در درمان و پیشگیری بیماری هایی نظیر آلرژی، اسهال، عدم تحمل لاکتوز، عفونت دستگاه ادراری، عفونت با هلیکوباکتر، سندروم روده تحریک پذیر، التهاب روده و التهاب مزمن سینوس ها مؤثر می باشند [2]. به منظور اثر بخشی پروبیوتیک ها برای انسان، تعداد میکروارگانیسم های زنده باید بیش از  $6 \log \text{CFU/g}$  باشند تا میزان مناسب دوز روزانه  $10^6$ - $10^9$  باکتری زنده را فراهم کند. باکتری های پروبیوتیک به صورت مکمل های غذایی یا فرآورده های دارویی عرضه می شوند. نتایج برخی تحقیقات نشان داده است که بهترین تأثیر زمانی است که این باکتری ها به فرآورده غذایی و بویژه محصولات لبنی اضافه شوند [3]. از آن جا که در فرآورده های لبنی تخمیری میزان رشد و ماندگاری پروبیوتیک ها پایین است، لذا برای افزایش زمان ماندگاری و افزایش میزان کیفیت محصول پروبیوتیکی از پپتیدها، اسیدهای آمینه و اولیگوساکاریدهای غیرقابل هضم همراه میکروارگانیسم های پروبیوتیکی در این محصولات استفاده می گردد. محصولات پروبیوتیکی همراه با پری بیوتیک ها نقش مهمی در ایجاد تعادل میکروفلور روده دارد [4].

یکی دیگر از راه های افزایش زنده ماندن پروبیوتیک ها فرایند ریزپوشانی است. ریزپوشانی پروبیوتیک ها می تواند جهت افزایش قابلیت حیات در طی فرآیند و تحویل در قسمت های هدف در مجاری معدی و روده ای به کار گرفته شود. همچنین رهایش کنترل شده نیز از دیگر مزایای ریزپوشانی است که در مورد باکتری های پروبیوتیک می تواند مورد توجه قرار گیرد. به این شکل که استفاده از ترکیبات پوششی که مقاوم به شرایط معده و دستگاه گوارش باشند مانند استفاده از کربوهیدرات ها یا چربی ها که شرایط اسیدی روده را تحمل نموده و سبب

رهایش نشوند می تواند موجب حفاظت پروبیوتیک ها و رهایش آنها در مناطق هدف که همان روده است گردد [5]. ژل آلونه ورا، با توجه به ترکیب آن، دارای مواد مغذی است که به احتمال زیاد به ارتقاء رشد عوامل پروبیوتیک کمک می کند [6]. تحقیقات نشان داده که در محصولات تخمیری غنی شده با آلونه ورا زنده ماندن باکتری های پروبیوتیک لاکتوباسیلوس / اسیدوفیلوس و بیفیدوباکتریوم بیفیدوم در طی دوره نگهداری بهبود یافته است [7].

هدف از این تحقیق تولید دوغ آلونه ورا با استفاده از گونه های پروبیوتیک شامل باکتری های آزاد و ریز پوشانی شده لاکتوباسیلوس / اسیدوفیلوس و بیفیدوباکتریوم لاکتیس، موادی مانند اینولین و آب پنیر و بررسی برخی خصوصیات کیفی و رئولوژیکی این محصولات می باشد.

## 2- مواد و روش ها

مواد مورد استفاده در پژوهش شامل؛ باکتری بیفیدوباکتریوم انیمالیس زیرگونه لاکتیس (BI-01) و استارتر ماست (CY340) (شرکت کریستسن هانسن دانمارک)، آلزینات سدیم (سیگما آمریکا)، کیتوزان (با درجه دی استیلاسیون بیش از 75 درصد با وزن مولکولی کم) (سیگما آمریکا)، نشاسته مقاوم (درجه خلوص 99/9 درصد) (مرک آلمان)، اینولین متوسط زنجیر (شرکت سنسوس هلند)، پودر آب پنیر (پگاه ایران)، بافر فسفات (سیگما آمریکا) و ... بود.

### 2-1- فرایند ریزپوشانی و تولید دوغ پروبیوتیک

ریزپوشانی پروبیوتیک های مورد نظر به وسیله آلزینات و نشاسته مقاوم و همچنین آلزینات و کیتوزان (با وزن مولکولی کم، درجه استیلاسیون بیش از 75 درصد) با روش اکستروژن و با دستگاه میکروانکسپولاتور چند نازلی به صورت زیر انجام گرفت:

ابتدا 20 گرم آلزینات سدیم به 200 میلی لیتر آب مقطر اضافه و سپس استریل شد. پس از آن محلول آلزینات به مدت یک شب در یخچال قرار داده شد تا ذرات آلزینات به خوبی آب جذب کنند. میزان 10 گرم سوسپانسیون باکتریایی پروبیوتیک فعال شده با آلزینات اضافه و مخلوط حاصل توسط دستگاه میکرو انکسپولاتور چند نازلی به درون محلول کلرید کلسیم

دمای 5 درجه سانتی‌گراد نگهداری شد و در طول 30 روز نگهداری ارتفاع سوپرناتانت اندازه‌گیری گشت و درصد جدا شدن سرم بصورت زیر محاسبه شد [9]:

$$= \text{درصد جدا شدن سرم} \\ 100 \times \text{ارتفاع کل دوغ در بطری} / \text{ارتفاع سوپرناتانت}$$

## 2-4-2- تعیین pH

pH نمونه‌های دوغ با استفاده از یک pH متر دیجیتالی انجام گرفت. دستگاه pH متر با استفاده از محلول‌های بافر با pH 4 و pH 7 کالیبره شد.

## 2-4-3- اندازه‌گیری خواص رئولوژیکی

برای بررسی تاثیر غلظت‌های مختلف آلوه ورا، اینولین، آب پنیر و فرایند ریزپوشانی بر خواص رئولوژی و بافت دوغ سین بیوتیک، آزمون‌های رئولوژیکی یک روز بعد از آماده‌سازی در دمای  $10 \pm 0.2$  درجه سانتی‌گراد با استفاده از دستگاه رئومتر مجهز به ژئومتری استوانه‌ای هم مرکز انجام شد و برای جلوگیری از تبخیر نمونه‌ها از درپوش استفاده شد. برای اندازه‌گیری تنش برشی و ویسکوزیته به صورت تابعی از سرعت برشی و تعیین نوع رفتار جریانی نمونه‌ها سرعت برشی در دامنه  $1000S^{-1}$  -  $0/01$  اعمال و طی این روند تنش برشی هر 3 ثانیه اندازه‌گیری شد. از آنجا که سرعت برشی اعمال شده در حفره دهانی حدود  $50S^{-1}$  است [10، 11]. ویسکوزیته ظاهری بدست آمده از منحنی بالارونده در سرعت برشی  $47/6 S^{-1}$  به عنوان ویسکوزیته ظاهری نمونه‌ها گزارش شد. به علاوه، میزان برازش داده‌های بدست آمده از آزمون‌های عملی با مدل‌های ریاضی نیوتنی<sup>1</sup>، قانون توان<sup>2</sup>، بینگهام<sup>3</sup>، هرشل بالکلی<sup>4</sup> و کاسون<sup>5</sup> مورد بررسی قرار گرفت سپس، مناسب‌ترین مدل ریاضی انتخاب و سرانجام، شاخص‌های رئولوژیکی برای هر یک از نمونه‌ها گزارش شد.

آزمون‌های روبش کرنش در محدوده کرنش 0/01 تا 100 درصد و فرکانس 1 هرتز به منظور تعیین محدوده خطی انجام و در نهایت کرنش ثابت 1 درصد برای آزمون‌های بعدی انتخاب شد. آزمون روبش فرکانس در محدوده فرکانس 100 هرتز تا 0/01 و کرنش ثابت 1 درصد (چون کرنش 1 درصد

0/1 مولار حاوی توپین 80 تزریق گردید. بعد از تشکیل دانک‌ها، آنها شسته شده و دو مسیر را طی کردند: در مسیر اول 15 گرم از این دانک‌ها به درون 100 میلی‌لیتر محلول 1 درصد نشاسته مقاوم وارد شده و با سرعت ملایم برای پوشش‌دهی در زمان 10 دقیقه هم‌زده شدند. در مسیر دوم نیز 15 گرم از این دانک‌ها به درون 100 میلی‌لیتر محلول 1 درصد کیتوزان وارد شده و مانند مسیر قبل هم‌زده شد. دانک‌های پوشش داده شده با کیتوزان و نشاسته مقاوم بعد از طی مدت زمان فرایند شسته شده و در محلول پپتون استریل (0/1 گرم/100 گرم) و برای انجام آزمایشات مربوطه در دمای 4 درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید [5].

## 2-2- تولید دوغ

برای تولید دوغ شیر (1/5 درصد چربی و 11 درصد ماده خشک) کاملاً هموژنیزه شده و سپس در دمای 95 درجه سانتی‌گراد به مدت 10 دقیقه حرارت داده شد، سپس تا دمای تلقیح (40 درجه سانتی‌گراد) سرد و به آن 1 درصد استارتر ماست افزوده شده و در دمای 40 درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به pH 4/4 گرمخانه‌گذاری شد. بعد از گرمخانه‌گذاری لخته‌ها توسط دستگاه هموژنایزر شکسته شده و سپس 10 میلی‌لیتر از سوسپانسیون باکتری‌های پروبیوتیک (بیفیدوباکتریوم انیمالیس زیر گونه لاکتیس) آزاد و ریزپوشانی شده، میزان 10 درصد آلوه ورا، آب پنیر (5 و 10 و 15 درصد)، اینولین (0/5 و 1 و 1/5 درصد) و آب (نسبت 1 به 4) به آن اضافه و کاملاً هم‌زده شد تا مخلوطی یکنواخت به دست آید [8]. آزمون‌های مربوطه در چهار دوره 7 روزه بر روی محصولات نهایی انجام گرفت.

## 2-3- تهیه ژل آلوه ورا

پس از تهیه برگ آوئه ورا از مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد جیرفت، برگ‌ها شسته شدند. با یک چاقوی تیز نصف شده و لبه‌های دنداندار برش زده شد. لایه بالایی برگ از درازا شکاف داده و ژل با دقت از برگ جدا گردید و با آب سرد کاملاً شستشو داده شد. ژل‌ها بصورت قطعات کوچک بریده شدند.

## 2-4- آزمایشات

### 2-4-1- جدا شدن سرم

دوغ آلوه ورا در بطری‌های 250 میلی‌لیتری ریخته شده و در

1. Newtonian  
2. Power Law  
3. Bingham  
4. Herschel-Bulkley  
5. Casson

### 2-3- تغییرات pH و اسیدیته در نمونه های

#### دوغ پروبیوتیک

در جدول 1، میانگین pH نمونه های دوغ حاوی باکتری های آزاد و ریزپوشانی شده همراه با درصد های مختلف آب پنیر و اینولین از روز اول تا روز 28 ام نشان داده شده است. با توجه به جدول مشاهده می شود که تفاوت مقدار pH بین 7 تیمار مورد مطالعه در روز اول اختلاف معنی دار نداشت ( $P>0/05$ ). نتایج جدول 1 نشان می دهد که ریزپوشانی باکتری ها باعث شد تا کاهش pH در طول دوره نگهداری با شیب ملایم تری صورت گیرد. نمونه های حاوی ریزکپسول های آلژینات سدیم/کیتوزان کاهش pH کمتری نسبت به نمونه های حاوی ریزکپسول های آلژینات سدیم/نشاسته مقاوم و نمونه های دوغ حاوی باکتری های آزاد نشان دادند. افزایش میزان اینولین تأثیر معنی داری بر pH نمونه های دوغ نشان نداد. افزایش درصد آب پنیر تا سطح 5 درصد تأثیر معنی داری بر pH نمونه ها نشان نداد ولی افزایش بیشتر آن باعث کاهش معنی دار pH نمونه ها در طول دوره نگهداری گردید.

بر اساس نتایج بدست آمده باکتری های آزاد در طول نگهداری بطور معنی داری موجب کاهش pH نسبت به حالت کپسوله شده اند. بدلیل قرار گرفتن پروبیوتیک ها در داخل کپسول فعالیت اسیدی کمتری داشته و در نتیجه pH نمونه های حاوی پروبیوتیک کپسوله استفاده شده، بالاتر از فرم آزاد بود. بیفیدوباکتریوم ها توسط آنزیم فروکتو 6-فسفات می توانند از لاکتوز اسید استیک و اسید لاکتیک تولید کنند و اسیدیته نمونه را افزایش دهند [15].

مطالعات زیادی نشان داده اند که ریزپوشانی باکتری ها جذب مواد غذایی را کند و سرعت آزاد سازی متابولیت ها و از جمله اسیدهای آلی را از طریق ساختار کپسول آلژینات آهسته می کند [16، 17]

اسیدسازی علاوه بر مرحله تخمیر، در حین نگهداری محصول نیز رخ می دهد که بالا بودن میزان و سرعت اسیدسازی در این مرحله از مشکلات نگهداری این محصولات است. این فرایند بیشتر در ماست های معمولی رخ می دهد. این پدیده به فعالیت غیر قابل کنترل لاکتوباسیلوس بولگاریکوس در درجه حرارت یخچال و پایین مربوط می شود که موجب افزایش سرعت دو فاز شدن، کاهش تعداد سلول های زنده و تجمع اسید لاکتیک در محصول می شود. نتایج این مطالعه نشان داد که وجود

برای تمام نمونه ها به طور مشترک، به خوبی در منطقه خطی ویسکوالاستیک قرار داشت) انجام شد [12].

#### 2-4-4- تعیین ویژگی های حسی

نمونه های دوغ آلئوئورا یک روز بعد از تولید و روز بیست و هشتم نگهداری توسط یک گروه 10 نفره از ارزیاب های آموزش دیده از نظر خصوصیات حسی مورد ارزیابی قرار گرفت. ویژگی های مورد ارزیابی شامل رنگ، طعم و مزه، بو و بافت بود. جهت ارزیابی ویژگی های حسی از مقیاس درجه بندی 5 نقطه ای استفاده گردید که شامل [عالی (5 امتیاز)، رضایت بخش (4 امتیاز)، قابل قبول (3 امتیاز)، غیر قابل قبول (2 امتیاز) و غیر قابل مصرف (1 امتیاز)] بود [13]. میانگین داده های روز اول و بیست و هشتم گزارش شد.

#### 2-4-5- بررسی زنده ماندن باکتری های پروبیوتیک در

##### دوغ

تعداد سلول های زنده مانده باکتری های پروبیوتیک بیفیدوباکتریوم انیمالیس در هر یک از نمونه ها بلافاصله پس از آماده سازی نمونه های دوغ و طی 30 روز نگهداری در یخچال (هر 10 روز یکبار) تعیین گردید. شمارش باکتریایی نمونه های حاوی باکتری های آزاد و ریزپوشانی شده مطابق روش شهدادی و همکاران، (1396) انجام گرفت [14].

#### 2-5- روش تجزیه و تحلیل آماری داده ها

پس از اعمال تیمارها نتایج بدست آمده در قالب طرح کاملاً تصادفی بر پایه فاکتوریل در سطح 5 درصد آنالیز شد. کلیه آزمایشات در سه تکرار انجام گرفت و جهت تجزیه و تحلیل داده ها از نرم افزار SPSS:20 استفاده شد.

### 3- نتایج و بحث

#### 3-1- بازده فرایند ریزپوشانی

تعداد اولیه باکتری های پروبیوتیک بیفیدوباکتریوم انیمالیس (cfu/g) قبل از فرایند ریزپوشانی  $9/9 \pm 0/6 \times 10^{12}$  بود. بعد از فرایند ریزپوشانی با آلژینات سدیم/نشاسته مقاوم این میزان به (cfu/g)  $6/8 \pm 0/5 \times 10^{11}$  و بعد از ریزپوشانی با آلژینات سدیم/کیتوزان به (cfu/g)  $3/9 \pm 0/1 \times 10^{11}$  رسید. از بین رفتن باکتری ها در حین فرایند ریزپوشانی اندک بود که این به دلیل شرایط ملایم (دمای 15-30 درجه سانتی گراد) روش مورد استفاده می باشد.

باکتری‌های پروبیوتیک لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس و بیفیدوباکتریوم/انیمالیس می‌تواند این پدیده را کاهش دهد و اسیدسازی حین نگهداری تا حدی کنترل شود. در تحقیقات پیشین نیز اسیدسازی طی نگهداری ماست‌هایی که در تهیه آنها علاوه بر کشت ماست معمولی از باکتری‌های پروبیوتیک مثل لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس و بیفیدوباکتریوم‌ها استفاده شده باشد، کمتر ارزیابی شده است [18]. یکی از عوامل موثر بر فعالیت متابولیکی باکتری‌های ریزپوشانی شده در محصولات، اندازه لایه آلزینات است، هرچه لایه‌های به کار رفته در تشکیل کپسول‌ها بیشتر باشد روند اسیدی شدن کاهش می‌یابد [19]. در این مطالعه نیز استفاده از دو دیواره برای فرایند ریزپوشانی می‌تواند دلیلی بر کاهش اسیدیته نمونه‌های حاوی این دیواره‌ها

باشد.

مظلومی و همکاران (1390) تاثیر افزودن اینولین بر pH و اسیدیته ماست پروبیوتیک کم چرب را مورد مطالعه قرار دادند و گزارش نمودند که که اضافه نمودن اینولین بر اسیدیته قابل تیت و pH نمونه های ماست، اثر معنی داری نداشت [20]. Guven و همکاران (2005) گزارش کردند که افزودن اینولین تاثیر معنی داری بر مقادیر pH نمونه های ماست بدون چربی ندارد [21]. Paseephol (2008) مشاهده نمود که افزودن پودر اینولین pH اولیه و اسیدیته نمونه های ماست را تحت تاثیر قرار نداد و نشان داد که کاهش سطوح اسیدیته بیشتر مربوط به نوع باکتری های پروبیوتیک و فعالیت باکتری های آغاز گر ماست می باشد [22].

**Table 1** variation of pH in dough samples contained free and encapsulated probiotic bacteria

| Prebiotic    |                                                                | Storage days      |                    |                    |                    |                    |
|--------------|----------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|              |                                                                | 1                 | 7                  | 14                 | 21                 | 28                 |
| control      | Free probiotic bacteria                                        | 4.3 <sup>a</sup>  | 4.12 <sup>ab</sup> | 4.01 <sup>ab</sup> | 3.95 <sup>b</sup>  | 3.93 <sup>b</sup>  |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/resistant starch | 4.39 <sup>a</sup> | 4.34 <sup>a</sup>  | 4.23 <sup>ab</sup> | 4.18 <sup>ab</sup> | 4.1 <sup>ab</sup>  |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/chitosan         | 4.6 <sup>a</sup>  | 4.4 <sup>a</sup>   | 4.36 <sup>a</sup>  | 4.35 <sup>a</sup>  | 4.21 <sup>ab</sup> |
| Inulin 0.5 % | Free probiotic bacteria                                        | 4.35 <sup>a</sup> | 4.14 <sup>ab</sup> | 4.02 <sup>ab</sup> | 3.89 <sup>b</sup>  | 3.91 <sup>b</sup>  |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/resistant starch | 4.33 <sup>a</sup> | 4.31 <sup>a</sup>  | 4.2 <sup>ab</sup>  | 4.16 <sup>ab</sup> | 4.0 <sup>b</sup>   |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/chitosan         | 4.42 <sup>a</sup> | 4.39 <sup>a</sup>  | 4.39 <sup>a</sup>  | 4.37 <sup>a</sup>  | 4.19 <sup>ab</sup> |
| Inulin 1 %   | Free probiotic bacteria                                        | 4.34 <sup>a</sup> | 4.15 <sup>ab</sup> | 4.1 <sup>ab</sup>  | 3.88 <sup>b</sup>  | 3.95 <sup>b</sup>  |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/resistant starch | 4.41              | 4.33 <sup>a</sup>  | 4.22 <sup>ab</sup> | 4.18 <sup>ab</sup> | 4.12 <sup>ab</sup> |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/chitosan         | 4.4 <sup>a</sup>  | 4.4 <sup>a</sup>   | 4.37 <sup>a</sup>  | 4.37 <sup>a</sup>  | 4.31 <sup>ab</sup> |
| Inulin 1.5 % | Free probiotic bacteria                                        | 4.4 <sup>a</sup>  | 4.1 <sup>ab</sup>  | 4.13 <sup>ab</sup> | 4.0 <sup>bc</sup>  | 3.89 <sup>b</sup>  |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/resistant starch | 4.43 <sup>a</sup> | 4.41 <sup>a</sup>  | 4.33 <sup>a</sup>  | 4.27 <sup>ab</sup> | 4.16 <sup>ab</sup> |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/chitosan         | 4.46 <sup>a</sup> | 4.42 <sup>a</sup>  | 4.4 <sup>a</sup>   | 4.39 <sup>a</sup>  | 4.3 <sup>ab</sup>  |
| Whey 5 %     | Free probiotic bacteria                                        | 4.43 <sup>a</sup> | 4.04 <sup>ab</sup> | 3.89 <sup>b</sup>  | 3.78 <sup>b</sup>  | 3.7 <sup>b</sup>   |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/resistant starch | 4.44 <sup>a</sup> | 4.25 <sup>ab</sup> | 4.17 <sup>ab</sup> | 4.17 <sup>ab</sup> | 4.07 <sup>ab</sup> |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/chitosan         | 4.39 <sup>a</sup> | 4.31 <sup>a</sup>  | 4.31 <sup>a</sup>  | 4.25 <sup>a</sup>  | 4.25 <sup>ab</sup> |
| Whey 10 %    | Free probiotic bacteria                                        | 4.4 <sup>a</sup>  | 4.04 <sup>ab</sup> | 3.71 <sup>b</sup>  | 3.7 <sup>b</sup>   | 3.64 <sup>b</sup>  |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/resistant starch | 4.37 <sup>a</sup> | 4.15 <sup>ab</sup> | 4.1 <sup>ab</sup>  | 4.1 <sup>ab</sup>  | 3.8 <sup>b</sup>   |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/chitosan         | 4.4 <sup>a</sup>  | 4.22 <sup>ab</sup> | 4.15 <sup>ab</sup> | 4.15 <sup>ab</sup> | 4.05 <sup>ab</sup> |
| Whey 15 %    | Free probiotic bacteria                                        | 4.44 <sup>a</sup> | 4.0 <sup>b</sup>   | 3.61 <sup>c</sup>  | 3.6 <sup>b</sup>   | 3.55 <sup>bc</sup> |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/resistant starch | 4.41 <sup>a</sup> | 4.01 <sup>ab</sup> | 3.91 <sup>bc</sup> | 3.7 <sup>c</sup>   | 3.71 <sup>c</sup>  |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/chitosan         | 4.34 <sup>a</sup> | 4.19 <sup>ab</sup> | 3.98 <sup>b</sup>  | 3.92 <sup>b</sup>  | 3.82 <sup>b</sup>  |

Each observation is a mean  $\pm$  SD of 3 replications. In each tables means with same superscripts had no significant difference with each other ( $P > 0.05$ )

در پژوهش طاهریان و همکاران (1394) مشخص شد که پودر آب پنیر به لحاظ داشتن پروتئین های محلول در آب و قابل تجزیه توسط میکروارگانیسم های پروبیوتیک سبب کاهش pH محیط و افزایش اسیدیته شد [26].

### 3-3- بررسی ویژگی های رئولوژیکی نمونه های

#### دوغ

داده های مربوط به پارامترهای  $n$ ،  $k$  و ویسکوزیته ی به دست آمده از برازش مدل قانون توان بر نمودارهای جریانیه نمونه های دوغ حاوی غلظت های مختلف آب پنیر و اینولین در جدول 2 گزارش شده است. با افزایش درصد مواد مذکور، همان طور که انتظار می رفت میزان  $k$  و ویسکوزیته افزایش و میزان  $n$  کاهش یافت.

برخلاف نتایج ما محققان دیگر گزارش کردند که متابولیسم ترکیبات پلی فروکتان از جمله اینولین توسط باکتری های پروبیوتیک منجر به تولید اسیدهای چرب کوتاه زنجیر نظیر اسید پروپیونیک، اسید بوتیریک، اسید لاکتیک و اسید استیک می شود و در نتیجه pH محیط به مقدار زیادی کاهش پیدا می کند [23]. Donkor (2007) نشان داد که افزودن اینولین به ماست پروبیوتیک موجب افزایش تولید اسید لاکتیک می گردد [24].

افزودن آب پنیر به نمونه های دوغ باعث افزایش اسیدیته و کاهش نسبت به نمونه شاهد گردید. آب پنیر به دلیل داشتن سطح بالای قند لاکتوز و پروتئین های محلول در آب نظیر آلفا لاکتوآلبومین و بتا لاکتوگلوبولین منبع بسیار مناسبی جهت فعالیت باکتری های لاکتیکی و پروبیوتیک محسوب می شود و تولید اسید نیز توسط این باکتری ها افزایش می یابد [25].

**Table 2 Rheological Factors of Doogh Samples Containing Different Concentrations of Whey and Inulin**

| Treatments  | Viscosity (cp)     | Flow behavior index (n) | consistency coefficient (k) | R2    |
|-------------|--------------------|-------------------------|-----------------------------|-------|
| control     | 15 <sup>fm</sup>   | 0.77 <sup>a</sup>       | 37 <sup>lg</sup>            | 0.998 |
| Whey 5%     | 18.2 <sup>et</sup> | 0.74 <sup>a</sup>       | 46 <sup>et</sup>            | 0.991 |
| Whey10%     | 20 <sup>c</sup>    | 0.62 <sup>b</sup>       | 50 <sup>c</sup>             | 0.992 |
| Whey 15%    | 28.5 <sup>d</sup>  | 0.51 <sup>c</sup>       | 57 <sup>d</sup>             | 0.996 |
| Inulin 0.5% | 58 <sup>e</sup>    | 0.45 <sup>d</sup>       | 86 <sup>c</sup>             | 0.998 |
| Inulin 1%   | 69 <sup>b</sup>    | 0.41 <sup>d</sup>       | 122 <sup>b</sup>            | 0.991 |
| Inulin 1.5% | 108 <sup>a</sup>   | 0.32 <sup>c</sup>       | 209 <sup>a</sup>            | 0.989 |

\*In each column means with same superscripts had no significant difference with each other (P > 0.05)

مولکول های اینولین از طریق گروه های کربوکسیل پل ایجاد می کند، ولی از آنجایی که جهت تشکیل ژل و افزایش ویسکوزیته توسط اینولین وجود محیط اسیدی ضروری است و دوغ هم یک محیط اسیدی است، لذا ژل تشکیل شده توسط اینولین در محصول، ژل خوبی بوده و افزایش ویسکوزیته کاملاً محسوس است [27].

افزایش ویسکوزیته در اثر افزودن اینولین را می توان به خاصیت جاذب الرطوبه بودن اینولین و توانایی باند کردن آب نسبت داد [28]. وقتی اینولین با آب یا هر مایع دیگر مخلوط می شود، کریستال های میکرونی ذرات اینولین، شبکه ژلی سه بعدی را تشکیل می دهند که سبب می شود مقادیر زیادی آب در این شبکه بی حرکت باقی بماند و حالت فیزیکی محلول را تثبیت کند [29].

Kip و همکاران (2006) نیز گزارش کردند که با افزایش میزان اینولین ویسکوزیته ظاهری در ماست کم چرب نسبت به نمونه

نتایج نشان داده شده در جدول 2 حاکی از این است که افزایش مقدار آب پنیر تا 5 درصد تاثیر معنی داری بر ویسکوزیته نمونه های دوغ نسبت به نمونه شاهد نداشت اما افزایش آب پنیر از 10 تا 15 درصد ویسکوزیته را بطور معنی داری نسبت به نمونه کنترل افزایش داد ( $P < 0/05$ ). با افزایش مقدار اینولین ویسکوزیته نمونه های دوغ افزایش یافت. بطوریکه بیشترین میزان ویسکوزیته در بین تیمارهای مورد مطالعه به نمونه های دوغ حاوی اینولین 1/5 درصد اختصاص یافت. افزودن آب پنیر و اینولین به نمونه های دوغ باعث افزایش معنی داری در ضریب قوام گردید ( $P < 0/05$ ) به طوری که بالاترین ضریب قوام (209) برای نمونه حاوی 1/5 درصد اینولین بدست آمد. اینولین به علت داشتن گروه های آب دوست، میزان زیادی آب جذب کرده و بصورت یک شبکه سه بعدی در می آید و آب را در درون خود مهار کرده و تشکیل ژل می دهد. گرچه کلسیم موجود در شیر بین

های دیگر زیادتیر شد و از اینولین به عنوان یک قوام دهنده نام بردند که توانایی باند شدن با پلی ساکاریدهای خارج سلولی و پروتئین ها را داراست و منجر به بافت سفت و افزایش ویسکوزیته می شود [30].

**Table 3 Rheological Factors of Doogh Samples Containing Microencapsulated Probiotic Bacteria**

| Treatments                                                     | Viscosity(cp)      | Flow behavior index (n) | consistency coefficient (k) | Yield stress | R2    |
|----------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------------|--------------|-------|
| Free probiotic bacteria                                        | 58 <sup>c*</sup>   | 0.65 <sup>a</sup>       | 86 <sup>c</sup>             | 0            | 0.991 |
| Encapsulated probiotic bacteria with alginate/resistant starch | 121.5 <sup>a</sup> | 0.39 <sup>c</sup>       | 152 <sup>a</sup>            | 0.025        | 0.985 |
| Encapsulated probiotic bacteria with alginate/chitosan         | 92.4 <sup>b</sup>  | 0.53 <sup>b</sup>       | 112 <sup>b</sup>            | 0.01         | 0.994 |

\*In each column means with same superscripts had no significant difference with each other (P > 0.05)

$$\tau = \tau_0 + k(\dot{\gamma})^n \quad (2)$$

در معادله (1) و (2)  $\tau$ ،  $\dot{\gamma}$ ،  $\tau_0$ ،  $k$  و  $n$  به ترتیب تنش برشی (pa)، تنش تسلیم (pa)، سرعت برشی (1/s)، ضریب قوام (pa.s<sup>n</sup>) و شاخص رفتار جریان می باشند.

**ویژگی های رئولوژیکی ناپایا:** مقایسه اثر فرایند ریزپوشانی برطیف مکانیکی به دست آمده از آزمون روبش فرکانس نشان می دهد که مدول ذخیره و مدول افت در نمونه های حاوی ریزکپسول ها بیشتر از نمونه شاهد بود. این نکته تشکیل پیوندهای با ماهیت ویسکوز و همچنین، پیوندهای با قابلیت ذخیره انرژی بین گروه های عملگر پلی ساکاریدها (پکتین به عنوان پایدار کننده، آلژینات سدیم، کیتوزان، نشاسته مقاوم) با یکدیگر و با اجزای دوغ را نشان می دهد. در همه موارد، مقادیر مدول افت بیش از مدول ذخیره بود (میزان تانژانت افت بالاتر از یک) و به این ترتیب، کلیه نمونه ها به عنوان مایع ویسکوالاستیک معرفی می شوند.

پاسخ های رئولوژیکی بدست آمده از آزمون های نوسانی در فرکانس 1 هرتز نمونه های دوغ حاوی ریزکپسول های آلژینات سدیم/نشاسته و آلژینات سدیم/کیتوزان در جدول 4 نشان داده شده است. در هر سه نمونه دوغ مدول ویسکوز یا افت (G'') بیشتر از مدول الاستیک یا ذخیره (G') بود. نمونه های حاوی باکتری های پروبیوتیک ریزپوشانی شده با آلژینات سدیم/نشاسته دارای مدول ویسکوز بالاتری نسبت به دو نمونه دیگر بودند.

از جدول 3 مشاهده می گردد استفاده از شکل ریزپوشانی شده باکتری های پروبیوتیک موجب افزایش گرانیوی نمونه های دوغ شده است. ترکیب پلیمرهای مورد استفاده در ریزپوشانی باکتری ها نه تنها موجب افزایش قابلیت زیستی باکتری ها می شود بلکه ممکن است موجب بهبود خصوصیات ویسکوزیته دوغ نیز گردد [33]. وجود تنش تسلیم و رفتار رقیق شوندگی که در سیالات ژل مانند مانند ماست مشاهده می شود امکان نتیجه گیری مشابه در مورد دوغ را فراهم می کند. افزایش تنش تسلیم و تشدید رفتار رقیق شوندگی نمونه های دوغ نشان دهنده وجود نوعی شبکه ژل مانند است و با افزایش ویسکوزیته فاز پیوسته در برابر تنش وارد شده در جریان اندازه گیری رفتار جریان مقاومت می کند.

در بررسی تغییرات تنش برشی به صورت تابعی از سرعت برشی (داده ها نشان داده نشده است)، همه نمونه ها رفتار غیرنیوتنی نشان دادند و نیز بررسی تغییرات گرانیوی به صورت تابعی از سرعت برشی نشان داد که در همه نمونه ها گرانیوی با افزایش سرعت برشی کاهش یافت که این نوع رفتار وجه مشخصه سیالات شبه پلاستیک است. پس در نهایت مناسب ترین مدل برای جهت پیش گویی رفتار جریانی نوشیدنی های حاوی باکتری های آزاد (ریزپوشانی نشده) مدل قانون توان (معادله 1) و برای نمونه حاوی باکتری های ریزپوشانی شده مدل هرشل - بالکلی (معادله 2) شناخته شد.

$$\tau = k(\dot{\gamma})^n \quad (1)$$

**Table 4** Rheological Responses for Doogh Samples Containing Microencapsulated Probiotic Bacteria

| Treatments                                                     | G' (Pa)           | G'' (Pa)          | G* (Pa)             | Tan $\delta$ |
|----------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|---------------------|--------------|
| Free probiotic bacteria                                        | 777 <sup>c*</sup> | 1240 <sup>c</sup> | 1384.6 <sup>c</sup> | 1.59         |
| Encapsulated probiotic bacteria with alginate/resistant starch | 917 <sup>a</sup>  | 1741 <sup>a</sup> | 1866.2 <sup>a</sup> | 1.89         |
| Encapsulated probiotic bacteria with alginate/chitosan         | 844 <sup>b</sup>  | 1434 <sup>b</sup> | 1587.4 <sup>b</sup> | 1.7          |

اساس نتایج، بین تیمارهای حاوی باکتری های آزاد و تیمارهای حاوی باکتری های ریزپوشانی شده با هر دو دیواره و اینولین از نظر طعم اختلاف معنی داری وجود داشت و نمونه های حاوی باکتری های آزاد امتیاز کمتری در طعم دریافت کردند. دلیل آن قرار داشتن پروبیوتیک ها در داخل کپسول می باشد که فعالیت اسیدی کمتری داشته و در نتیجه امتیاز طعم دوج هایی که از پروبیوتیک کپسوله استفاده شده بطور معنی داری بیشتر از فرم آزاد بود.

هیچ کدام از تیمارهای فرایند ریزپوشانی، نوع دیواره و نوع ماده پری بیوتیک تاثیر معنی داری بر بوی دوج نشان ندادند ( $P>0/05$ ) اما تیمارهای حاوی اینولین از لحاظ عددی امتیازات بیشتری را بخود اختصاص دادند. فرایند ریزپوشانی و غلظت های مختلف اینولین و آب پنیر تاثیر معنی داری بر رنگ نمونه ها نداشتند. این نشان دهنده مزایای آلزینات سدیم، نشاسته مقاوم و کیتوزان، اینولین و آب پنیر به عنوان ترکیبات بدون رنگ می باشد، که تغییری در ظاهر محصول ایجاد نمی کنند. این یافته ها با نتایج Kailasapathy (2006) مطابقت دارد [32]. از لحاظ ویژگی طعم بیشترین امتیاز عددی مربوط به نمونه های دوج حاوی اینولین 1 درصد و باکتری های ریزپوشانی شده با آلزینات سدیم/ کیتوزان و کمترین امتیاز مربوط به تیمار شاهد (بدون اینولین و آب پنیر) و باکتری های آزاد بود. ارزیاب ها برای نمونه شاهد بافت بسیار بد و طعم و مزه بسیار ترش گزارش کردند که می تواند به دلیل تاثیر اسیدیته بالا بر استحکام بافت نوشیدنی باشد. بطور کلی نمونه های حاوی آب پنیر امتیاز کمتری را از لحاظ طعم و مزه نسبت به نمونه های حاوی اینولین دریافت کردند.

افزایش میزان  $G''$  به بالاتر از  $G'$  نشان دهنده حضور ژل ضعیف در محیط می باشد که شبکه ایجاد شده و فازپروتئینی را در بر گرفته است.

$\tan \delta$  در حالتی که 90 و 0 باشد به ترتیب رفتار ویسکوز کامل و جامد کامل را نشان می دهد و در صورتی که بین این دو عدد باشد رفتار ویسکوالاستیک را نشان می دهد. فرکانس های بالا نشان دهنده وضعیت ماده غذایی طی تکان های شدیدی است که به طور مثال در هنگام حمل و نقل به ماده وارد می شود و پایدار ماندن مواد در این شرایط نیز اهمیت بالایی دارد. با افزایش فرکانس این پارامتر افزایش می یابد که علت آن را می توان اینگونه توضیح داد که هنگامی که فرکانس های پائین به ماده اعمال می شود، ماده زمان کافی برای بازسازی پیوندهای شکسته شده را در چرخه فرکانس دارد ولی هنگامی که فرکانس های بالا اعمال می شود ماده فرصت بازسازی پیوندهای شکسته را نداشته و هنگامی که پیوندها شکسته می شوند جزء ویسکوز افزایش یافته و ماده رفتار مایع ویسکوالاستیک را نشان می دهد [31].

### 3-4- تاثیر فرایند ریزپوشانی بر ویژگی های

#### حسی نمونه های دوج پروبیوتیک

خواص حسی از عوامل اساسی پذیرش بسیاری از فرآورده ها و کسب رضایت از مصرف آنها است. در جدول 5 تاثیر نوع تیمارها بر خواص حسی نمونه های دوج آورده شده است. با توجه به نتایج ارزیابی خواص حسی دوج های مشاهده شد که تیمارهای حاوی اینولین 1 و 1/5 درصد و آب پنیر 5 درصد بیشترین امتیاز طعم را کسب کردند و تیمار شاهد (بدون اینولین و آب پنیر) کمترین امتیاز را دریافت کرد. هم چنین بر

Table 5 Sensory properties of doogh samples containing free and encapsulated probiotic bacteria

| Prebiotic    |                                                                | Sensory properties |                   |                  |                   |                       |
|--------------|----------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------|------------------|-------------------|-----------------------|
|              |                                                                | Flavor             | Odor              | Color            | Texture           | Overall acceptability |
| control      | Free probiotic bacteria                                        | 3 <sup>c</sup>     | 5 <sup>a</sup>    | 4.9 <sup>a</sup> | 4 <sup>b</sup>    | 4 <sup>b</sup>        |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/resistant starch | 4.3 <sup>b</sup>   | 5 <sup>a</sup>    | 5 <sup>a</sup>   | 4.4 <sup>b</sup>  | 4.5 <sup>b</sup>      |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/chitosan         | 3 <sup>c</sup>     | 5 <sup>a</sup>    | 5 <sup>a</sup>   | 4 <sup>b</sup>    | 4 <sup>b</sup>        |
| Inulin 0.5 % | Free probiotic bacteria                                        | 4.3 <sup>a</sup>   | 5 <sup>a</sup>    | 5 <sup>a</sup>   | 4.8 <sup>ab</sup> | 4.5 <sup>b</sup>      |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/resistant starch | 4.8 <sup>ab</sup>  | 5 <sup>a</sup>    | 5 <sup>a</sup>   | 4.4 <sup>b</sup>  | 4.8 <sup>ab</sup>     |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/chitosan         | 4.7 <sup>ab</sup>  | 5 <sup>a</sup>    | 4.9 <sup>a</sup> | 4.6 <sup>ab</sup> | 4.8 <sup>ab</sup>     |
| Inulin 1 %   | Free probiotic bacteria                                        | 4.2 <sup>b</sup>   | 5 <sup>a</sup>    | 5 <sup>a</sup>   | 4.8 <sup>ab</sup> | 4.6 <sup>ab</sup>     |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/resistant starch | 4.8 <sup>ab</sup>  | 5 <sup>a</sup>    | 5 <sup>a</sup>   | 4.5 <sup>b</sup>  | 4.8 <sup>ab</sup>     |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/chitosan         | 5 <sup>a</sup>     | 4.9 <sup>a</sup>  | 5 <sup>a</sup>   | 4.7 <sup>ab</sup> | 4.7 <sup>ab</sup>     |
| Inulin 1.5 % | Free probiotic bacteria                                        | 4.4 <sup>b</sup>   | 5 <sup>a</sup>    | 5 <sup>a</sup>   | 4.9 <sup>a</sup>  | 4.7 <sup>ab</sup>     |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/resistant starch | 4.9 <sup>a</sup>   | 5 <sup>a</sup>    | 5 <sup>a</sup>   | 4.6 <sup>ab</sup> | 4.9 <sup>a</sup>      |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/chitosan         | 4.7 <sup>ab</sup>  | 5 <sup>a</sup>    | 5 <sup>a</sup>   | 4.6 <sup>ab</sup> | 4.8 <sup>ab</sup>     |
| Whey 5 %     | Free probiotic bacteria                                        | 4 <sup>b</sup>     | 4.9 <sup>a</sup>  | 4.9 <sup>a</sup> | 4.4 <sup>b</sup>  | 4.3 <sup>b</sup>      |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/resistant starch | 4.6 <sup>ab</sup>  | 4.8 <sup>ab</sup> | 5 <sup>a</sup>   | 4.2 <sup>b</sup>  | 4.6 <sup>ab</sup>     |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/chitosan         | 4.6 <sup>ab</sup>  | 4.8 <sup>ab</sup> | 4.9 <sup>a</sup> | 4.3 <sup>b</sup>  | 4.6 <sup>ab</sup>     |
| Whey 10%     | Free probiotic bacteria                                        | 4.3 <sup>b</sup>   | 4.7 <sup>ab</sup> | 5 <sup>a</sup>   | 4.6 <sup>ab</sup> | 4.5 <sup>b</sup>      |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/resistant starch | 4.5 <sup>b</sup>   | 4.8 <sup>ab</sup> | 4.9 <sup>a</sup> | 4.4 <sup>b</sup>  | 4.7 <sup>ab</sup>     |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/chitosan         | 4.4 <sup>b</sup>   | 4.6 <sup>ab</sup> | 4.9 <sup>a</sup> | 4.7 <sup>ab</sup> | 4.8 <sup>ab</sup>     |
| Whey 15%     | Free probiotic bacteria                                        | 4.4 <sup>b</sup>   | 4.8 <sup>ab</sup> | 5 <sup>a</sup>   | 4.8 <sup>ab</sup> | 4.5 <sup>b</sup>      |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/resistant starch | 4.7 <sup>ab</sup>  | 5 <sup>a</sup>    | 5 <sup>a</sup>   | 4.6 <sup>ab</sup> | 4.7 <sup>ab</sup>     |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/chitosan         | 4.7 <sup>ab</sup>  | 4.9 <sup>a</sup>  | 5 <sup>a</sup>   | 4.6 <sup>ab</sup> | 4.7 <sup>ab</sup>     |

In each column means with same superscripts had no significant difference with each other (P > 0.05)

بزرگتر از 1 میلی متر موجب خشن شدن بافت مواد غذایی می شود [33]. در این مطالعه نیز اندازه کپسول های حاصل از ریزپوشانی 300-500 میکرومتر بود که به میزان اندکی بافت محصول دوغ را تحت تاثیر قرار داد. کپسول های آلژیناتی حاوی نشاسته مقاوم می تواند احساس دهانی شن مانند در محصول ایجاد کنند [35]. Kailasapathy (2006) گزارش کرد استفاده از کپسول های آلژینات سدیم/ نشاسته مقاوم ویژگی های حسی مانند رنگ، بو، طعم و مزه ماست را بطور قابل ملاحظه تحت تاثیر قرار نمی دهد اما ویژگی های بافتی (نرمی و یکنواختی) ماست را بطور معنی داری تغییر می دهد

یکی از فاکتورهای مهم در پذیرش بافت یکنواختی آن می باشد. وجود ریزکپسول ها می تواند یکنواختی بافت را تحت تاثیر قرار دهد. کوچک تر بودن کپسول ها تغییرات کمتری در بافت محصول و همچنین مانع از بروز پدیده شنی شدن در ماده غذایی می شود [33]. در روش های متعارف ریزپوشانی نظیر اکستروژن و خشک کردن پاششی ابعاد کپسول ها بزرگتر هستند، که این امر منجر به بوجود آمدن احساس دهانی و شنی شدن در مصرف کننده می شود [۳۴،۵]. Hansen و همکاران (2002) گزارش کردند که در صورت اضافه شدن کپسول های حاوی باکتری های پروبیوتیک به مواد غذایی، کپسول های

[32]. پذیرش کلی نمونه های حاوی اینولین بیشتر از نمونه های حاوی آب پنیر و نمونه شاهد بود هر چند تفاوت معنی داری بین نمونه های حاوی دو نوع ماده مورد استفاده به عنوان پری بیوتیک مشاهده نشد. پذیرش کلی نمونه شاهد کمتر از سایر نمونه ها بود. کوشکی (1386) نیز افزودن آب پنیر به میزان 8، 12 و 16 درصد به شیر بدون چربی برای تولید دوغ سنتی را مورد مطالعه قرار داد. نتایج آنها نشان داد که استفاده از حدود 16 درصد آب پنیر در فرمولاسیون دوغ، طعم و خواص حسی مطلوب در محصول ایجاد کرد [36].

افزودن پودر آب پنیر در نمونه های ماست، به علت وجود سیترات بیشتر (به عنوان پیش ساز دی استیل) همواره مقادیر دی استیل نمونه های ماست حاوی پودر آب پنیر بیشتر بوده و مقادیر بیشتر سیترات در پودر آب پنیر نسبت به شیر خشک به دلیل محلول بودن سیترات در آب و خروج آن از طریق آب پنیر در هنگام پنیر سازی می باشد. مقادیر دی استیل نمونه های ماست با افزایش درصد پودر آب پنیر افزایش می یابد. نتایج نشان می دهد که به کار بردن پودر آب پنیر موجب افزایش تولید استالندید و ویسکوزیته، کاهش سینرسیس و بهبود ویژگی های حسی می شود [37].

Staffolo و همکاران (2004) با بررسی تأثیر برخی از فیبرهای رژیمی بر خواص حسی ماست بیان کردند نمونه های حاوی اینولین بیشترین امتیاز مربوط به طعم را کسب کرده است. اینولین به عنوان بهبود دهنده بافت نیز عمل می کند زیرا با تشکیل کریستال های ریز ساختار ژلی را تشکیل می دهد که مسئول بوجود آوردن حالت خامه ای در بافت محصول می شود [38]. Guven و همکاران (2015) گزارش کردند که افزودن اینولین تا سطح 1 درصد باعث افزایش خواص حسی نسبت به شاهد و افزودن بیشتر تا سطح 3 درصد باعث کاهش ویژگی های حسی نمونه های ماست بدون چربی گردید [21].

### 3-5- تأثیر فرایند ریزپوشانی بر درصد جدا

#### شدن سرم در نمونه های دوغ

یکی از عمده ترین مشکلات دوغ و دیگر نوشیدنی های لبنی اسیدی، دو فاز شدن آن طی نگهداری است که این مسئله از pH پایین و تأثیر آن بر رسوب کردن پروتئین ها ناشی می شود. نتایج این بررسی نشان داد که میزان جدا شدن سرم دوغ در

طول زمان نگهداری به مدت 28 روز افزایش معنی داری داشت ( $P < 0/05$ ). جدول 4-11 نشان می دهد که نمونه های دوغ حاوی اینولین 1/5 درصد کمترین میزان جدا شدن سرم و نمونه شاهد (بدون اینولین و آب پنیر) بیشترین درصد جدا شدن سرم را در پایان دوره نگهداری داشتند.

بطور کلی نمونه های حاوی باکتری های ریزپوشانی شده درصد جدا شدن سرم کمتر و پایداری بهتری نسبت به نمونه های دارای باکتری های آزاد نشان دادند. گفته شده که یون های سدیم در آلزینات سدیم ممکن است با یون های کلسیم موجود در دوغ جایگزین شده و این پدیده می تواند موجب ثبات بیشتر ژل ماست گردد. همچنین گزارش شده یکی از دلایل پایداری نمونه های حاوی ریزکپسول ها جذب آب توسط مواد ریزپوشانی و تورم آنها می باشد [32]. کیتوزان در pH کمتر از 6 بصورت پلی کاتیونیک می باشد و به سهولت با ترکیبات دارای بار منفی مثل پروتئین ها، پلی ساکارید های آنیونی، اسید های چرب و فسفولیپیدها واکنش می دهد، این مساله می تواند ساختار و بافت محصولاتی که در تولید آنها کیتوزان استفاده می شود را تحت تأثیر قرار دهد و باعث افزایش قوام و استحکام بافت شود. برزگر و مصباحی (1385) گزارش کردند کیتوزان می تواند به عنوان یک ماده قوام دهنده و تثبیت کننده در محصولاتی مانند سس مایونز مورد استفاده قرار گیرد [39]. نشاسته مقاوم که در ساختار کپسول ها استفاده شده است از سطح دانک های آلزیناتی می تواند وارد بافت دوغ شود و متورم گردد و بوسیله جذب آب از دوفاز شدن و جدا شدن سرم جلوگیری نماید [35].

داده های جدول 6 نشان می دهد که افزودن اینولین باعث کاهش جدا شدن سرم نمونه های دوغ در همه دوره های نگهداری شد این پدیده به ظرفیت اینولین در تشکیل میکرو کریستال های کوچک مربوط می باشد؛ این میکرو کریستال ها باهم واکنش داده و شبکه های کوچکی را تشکیل می دهند که در نهایت متراکم شده و با تشکیل شبکه ژلی مقادیر بالایی فاز آبی را در خود محبوس می نمایند [40]. Guven و همکاران (2005) گزارش کردند که افزودن اینولین به نمونه های ماست بدون چربی باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب و قوام محصول می گردد [21].

**Table 6** Serum Separation (%) in Doogh Samples Containing Different Concentrations of Inulin and Whey

| Prebiotic    |                                                                | Storage days   |                    |                    |                    |                    |
|--------------|----------------------------------------------------------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|              |                                                                | 1              | 7                  | 14                 | 21                 | 28                 |
| control      | Free probiotic bacteria                                        | 0 <sup>l</sup> | 41 <sup>a</sup>    | 45.2 <sup>ab</sup> | 46.5 <sup>ab</sup> | 49.4 <sup>a</sup>  |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/resistant starch | 0 <sup>l</sup> | 34 <sup>d</sup>    | 37 <sup>d</sup>    | 38.4 <sup>cd</sup> | 39.2 <sup>cd</sup> |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/chitosan         | 0 <sup>l</sup> | 37.6 <sup>cd</sup> | 39.8 <sup>c</sup>  | 41.5 <sup>c</sup>  | 43.5 <sup>bc</sup> |
| Inulin 0.5 % | Free probiotic bacteria                                        | 0 <sup>l</sup> | 7.5 <sup>l</sup>   | 8.09 <sup>l</sup>  | 8.6 <sup>l</sup>   | 8.8 <sup>l</sup>   |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/resistant starch | 0 <sup>l</sup> | 3.3 <sup>j</sup>   | 3.7 <sup>i</sup>   | 3.9 <sup>j</sup>   | 6.7 <sup>ij</sup>  |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/chitosan         | 0 <sup>l</sup> | 4.6 <sup>j</sup>   | 5.1 <sup>ij</sup>  | 5.3 <sup>ij</sup>  | 7.9 <sup>i</sup>   |
| Inulin 1 %   | Free probiotic bacteria                                        | 0 <sup>l</sup> | 6.6 <sup>ij</sup>  | 7 <sup>ij</sup>    | 7.3 <sup>ij</sup>  | 7.9 <sup>i</sup>   |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/resistant starch | 0 <sup>l</sup> | 3.4 <sup>j</sup>   | 3.3 <sup>j</sup>   | 4.1 <sup>j</sup>   | 4.8 <sup>j</sup>   |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/chitosan         | 0 <sup>l</sup> | 4.6 <sup>j</sup>   | 4.9 <sup>j</sup>   | 5.7 <sup>ij</sup>  | 5.7 <sup>ij</sup>  |
| Inulin 1.5 % | Free probiotic bacteria                                        | 0 <sup>l</sup> | 0 <sup>l</sup>     | 0 <sup>l</sup>     | 0 <sup>l</sup>     | 4.1 <sup>j</sup>   |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/resistant starch | 0 <sup>l</sup> | 0 <sup>l</sup>     | 0 <sup>l</sup>     | 0 <sup>l</sup>     | 2.1 <sup>kl</sup>  |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/chitosan         | 0 <sup>l</sup> | 0 <sup>l</sup>     | 0 <sup>l</sup>     | 0 <sup>l</sup>     | 3.2 <sup>j</sup>   |
| Whey 5 %     | Free probiotic bacteria                                        | 0 <sup>l</sup> | 32.3 <sup>e</sup>  | 36.6 <sup>d</sup>  | 37.6 <sup>d</sup>  | 38.9 <sup>d</sup>  |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/resistant starch | 0 <sup>l</sup> | 25.2 <sup>f</sup>  | 25.5 <sup>f</sup>  | 28.4 <sup>f</sup>  | 28.8 <sup>f</sup>  |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/chitosan         | 0 <sup>l</sup> | 29.4 <sup>f</sup>  | 31.2 <sup>ef</sup> | 32.6 <sup>e</sup>  | 34.6 <sup>e</sup>  |
| Whey 10%     | Free probiotic bacteria                                        | 0 <sup>l</sup> | 27.7 <sup>f</sup>  | 29.5 <sup>f</sup>  | 34.6 <sup>e</sup>  | 35.9 <sup>e</sup>  |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/resistant starch | 0 <sup>l</sup> | 21.4 <sup>g</sup>  | 22.9 <sup>g</sup>  | 23.7 <sup>fg</sup> | 28.2 <sup>fg</sup> |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/chitosan         | 0 <sup>l</sup> | 24.3 <sup>f</sup>  | 25.6 <sup>f</sup>  | 28.2 <sup>f</sup>  | 31.7 <sup>e</sup>  |
| Whey 15%     | Free probiotic bacteria                                        | 0 <sup>l</sup> | 22.8 <sup>g</sup>  | 25.1 <sup>f</sup>  | 25.8 <sup>f</sup>  | 28.4 <sup>f</sup>  |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/resistant starch | 0 <sup>l</sup> | 16.1 <sup>h</sup>  | 20.9 <sup>g</sup>  | 21.6 <sup>g</sup>  | 21.9 <sup>g</sup>  |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/chitosan         | 0 <sup>l</sup> | 20.8 <sup>g</sup>  | 22.1 <sup>g</sup>  | 23.7 <sup>g</sup>  | 25.9 <sup>fg</sup> |

دوره نگهداری نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به دست آمده، بالاترین شمارش میکروبی برای همه تیمارها در روز اول (بلافاصله بعد از تخمیر و آماده‌سازی نمونه های دوغ) بود و تعداد سلول‌های زنده باکتری‌های پروبیوتیک در تمام نمونه‌ها با گذشت زمان به طور معنی‌داری کاهش یافت.

در مورد نمونه‌های دوغ حاوی باکتری‌های پروبیوتیک به صورت ریزپوشانی شده، همان گونه که از جدول 7 می‌توان پی برد، تعداد باکتری‌های به دام افتاده در دانک‌ها در طول دوره انبارمانی 28 روزه در یخچال کاهش کمتری را نسبت به باکتری‌های در حالت آزاد تلقیح شده به دوغ نشان داد که تعداد آنها در دوغ حاوی باکتری‌های پروبیوتیک ریزپوشانی

افزودن آب پنیر نیز درصد جدا شدن سرم نمونه های دوغ را کاهش داد. پروتئین آب پنیر بواسطه ی برهمکنش های هیدروفوبی با میسل های کازئین شیر و تشکیل کمپلکس کازئین-پروتئین آب پنیر مانع جداسازی سرم می گردد. Wang و همکاران (2012) نیز در تحقیقی بر میزان آب اندازی ماست، مشاهده کردند که پروتئین آب پنیر میزان آب اندازی ماست را به طور معنی‌داری کاهش داد [41].

### 3-6- تاثیر فرایند ریزپوشانی بر زنده‌مانی

#### باکتری‌های پروبیوتیک در نمونه های دوغ

جدول 7 روند تغییرات تعداد سلول‌های زنده باکتری بیفیدوباکتریوم انیمالیس را در نمونه‌های مورد بررسی در طی

می‌دهد. پوشش کیتوزان (به عنوان ترکیب چند کاتیونی) حول کپسول های آلژینات که بار منفی دارند، کپسول های پوشش داری ایجاد می‌کند، که باعث پایداری فیزیکی و شیمیایی بیشتر کپسول ها و کاهش اثر تخریبی عوامل ضد ژل و درگیر کننده یون کلسیم در ساختار می‌شود [5].

همایونی و همکاران (2008) نشان دادند که ریزپوشانی باکتری های پروبیوتیک *لاکتوباسیلوس کازئی* و *بیفیدوباکتریوم لاکتیس* توسط آلژینات و نشاسته مقاوم (2 درصد) میزان زنده مانده آنها را حدود 30 درصد در طول نگهداری در دمای 20- درجه سانتی گراد نسبت به نمونه های ریز پوشانی نشده افزایش داد [43].

با افزایش درصد اینولین در نمونه های دوغ زنده مانده باکتری های پروبیوتیک بهبود یافت. نتایج سایر محققین نیز نشان می‌دهد که اینولین در همه دوره های نگهداری باعث افزایش قابل قبول در رشد باکتری های پروبیوتیک شده است [3, 44]. Donkor و همکاران (2006) اثر اینولین بر زنده مانده و فعالیت گونه های پروبیوتیک (*لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* و *لاکتوباسیلوس کازئی*) در ماست مورد مطالعه قرار دادند. آنها به این نتیجه رسیدند که اینولین اگرچه در طول نگهداری ماست تأثیری بر افزایش ماندگاری پروبیوتیک ها نداشت اما اثر مثبت معنی دار آن بر رشد اولیه باکتریها، خود به خود سبب بقای آن در طول 28 روز نگهداری شد [24].

افزودن آب پنیر نیز باعث بهبود زنده مانده باکتری های پروبیوتیک نسبت به نمونه شاهد (بدون آب پنیر) گردید. تحقیقات نشان داده که استفاده از کنسانتره آب پنیر بدون املاح اثرات مثبتی بر بافت و کاهش آب اندازی ماست و همچنین بهبود رشد و زنده مانده آغازگرهای ماست بویژه باکتری های پروبیوتیک در مدت نگهداری دارد. پروتئین های آب پنیر در فرایند حرارتی اثر محافظت کنندگی بر میکروارگانیسم ها دارند. هر چه میزان پروتئین ماده غذایی بیشتر باشد مقاومت حرارتی آنها بالا می‌رود [37].

جمشیدی و همکاران (1397) مشاهده کردند که نمونه های ماست حاوی مقادیر بالاتر پودر آب پنیر، تعداد باکتری های *استرپتوکوکوس ترموفیلوس* و *لاکتوباسیلوس دلبروکی* بیشتری نسبت به سایر نمونه ها نشان دادند [45].

شده با آلژینات سدیم/ نشاسته مقاوم از CFU/ml  $4/5 \pm 0/1 \times 10^7$  به  $1/6 \pm 0/1 \times 10^{11}$  در نمونه شاهد در انتهای انبارداری 28 روزه رسید که حدود 4 سیکل لگاریتمی کاهش در زنده مانده این باکتری ها را نشان داد. این موضوع تأییدی است بر عمل دیواره ها (دانه ها) در محافظت از باکتری های پروبیوتیکی، تحت شرایط و عوامل نامساعد برای رشد آنها که در محصول و یا در طی فرایند و تولید محصول وجود دارد. با توجه جدول 7 همچنین مشاهده گردید که بقاء باکتری های پروبیوتیکی به دام افتاده در ریزکپسول های حاوی کیتوزان هم نسبت به نمونه های دوغ حاوی باکتری های پروبیوتیک آزاد، کاهش کمتری را در طول دوره 28 روزه انبارمانی در یخچال نشان داد. استفاده از مخلوط آلژینات سدیم/ نشاسته مقاوم میزان زنده مانده بیشتری نسبت به آلژینات سدیم/ کیتوزان در طول دوره نگهداری نشان داد. این موضوع می‌تواند احتمالاً به این دلیل باشد که خود کیتوزان توانایی ضد باکتریایی دارد و این خاصیت را با وجود اینکه به عنوان دیواره دوم در فرایند ریزپوشانی استفاده شده، نشان داده است.

در همه نمونه های ریزپوشانی شده در پایان دوره نگهداری میزان باکتری های پروبیوتیک بیش از CFU/ml  $10^7$  بود. ارتباط مستقیمی بین افزایش اسیدیته نمونه های دوغ و از دست رفتن قابلیت زیستی باکتری های پروبیوتیک در این مطالعه مشاهده شد. Sultana و همکاران (2000) گزارش کردند که استفاده از نشاسته مقاوم به عنوان دیواره دوم در مقایسه با استفاده از آلژینات به تنهایی باعث بهبود زنده مانده باکتری های پروبیوتیک می‌شود زیرا نشاسته مقاوم به عنوان پری بیوتیک عمل می‌کند. اما افزایش نشاسته بیش از 4 درصد کارایی فرایند ریزپوشانی باکتری ها را بهبود نمی‌بخشد [34]. بر اساس یافته های Peniche (2003) سرعت همزدن، دما، زمان، درصد کیتوزان مورد استفاده برای ریزپوشانی و غیره می‌تواند خصوصیات ریزکپسول ها را تحت تأثیر دهد اما به هرحال اثرات بازدارندگی کیتوزان بر باکتری های اسید لاکتیک گزارش شده است [42].

مخلوط کردن آلژینات کلسیم با نشاسته مقاوم ذرت از یک سو ساختاری منسجم و یکنواخت پدید می‌آورد و از سوی دیگر بقاء سلول ها را به دلیل خاصیت پری بیوتیکی آن افزایش

**Table 7** Effect of Inulin and Whey on viability of free and encapsulated probiotic bacteria (*B. animalis* subs *lactis*) in doogh samples (cfu/ ml)

| Prebiotic    |                                                                | Storage days                 |                              |                              |                           |                           |
|--------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|
|              |                                                                | 1                            | 7                            | 14                           | 21                        | 28                        |
| control      | Free probiotic bacteria                                        | $7.3 \pm 0.2 \times 10^{10}$ | $1.2 \pm 0.4 \times 10^8$    | $3.1 \pm 0.6 \times 10^6$    | $<10^6$                   | $<10^6$                   |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/resistant starch | $6.2 \pm 0.1 \times 10^{11}$ | $3.4 \pm 0.3 \times 10^{10}$ | $7.2 \pm 0.2 \times 10^9$    | $1.2 \pm 0.5 \times 10^8$ | $5.1 \pm 0.6 \times 10^7$ |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/chitosan         | $6.1 \pm 0.4 \times 10^{11}$ | $5.6 \pm 0.5 \times 10^9$    | $5.4 \pm 0.3 \times 10^8$    | $1.3 \pm 0.4 \times 10^7$ | $3.3 \pm 0.3 \times 10^6$ |
| Inulin 0.5 % | Free probiotic bacteria                                        | $9.3 \pm 0.5 \times 10^{10}$ | $1.5 \pm 0.1 \times 10^9$    | $6.3 \pm 0.6 \times 10^6$    | $<10^6$                   | $<10^6$                   |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/resistant starch | $6.6 \pm 0.4 \times 10^{11}$ | $3.1 \pm 0.3 \times 10^{11}$ | $3.2 \pm 0.1 \times 10^9$    | $3.5 \pm 0.2 \times 10^8$ | $3.1 \pm 0.1 \times 10^8$ |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/chitosan         | $8.1 \pm 0.5 \times 10^{11}$ | $8.4 \pm 0.4 \times 10^{10}$ | $1.1 \pm 0.1 \times 10^9$    | $6.2 \pm 0.1 \times 10^8$ | $3.4 \pm 0.4 \times 10^6$ |
| Inulin 1 %   | Free probiotic bacteria                                        | $2.3 \pm 0.2 \times 10^{10}$ | $2.1 \pm 0.1 \times 10^9$    | $2.4 \pm 0.3 \times 10^7$    | $3.1 \pm 0.1 \times 10^6$ | $<10^6$                   |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/resistant starch | $9.4 \pm 0.3 \times 10^{11}$ | $7.3 \pm 0.4 \times 10^{11}$ | $5.2 \pm 0.2 \times 10^{10}$ | $7.2 \pm 0.4 \times 10^8$ | $7.5 \pm 0.2 \times 10^8$ |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/chitosan         | $6.5 \pm 0.6 \times 10^{11}$ | $2.3 \pm 0.5 \times 10^{11}$ | $6.2 \pm 0.5 \times 10^9$    | $1.4 \pm 0.6 \times 10^8$ | $4.2 \pm 0.4 \times 10^6$ |
| Inulin 1.5 % | Free probiotic bacteria                                        | $4.2 \pm 0.5 \times 10^{10}$ | $7.2 \pm 0.3 \times 10^9$    | $2.5 \pm 0.6 \times 10^7$    | $3.3 \pm 0.3 \times 10^6$ | $1.4 \pm 0.2 \times 10^6$ |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/resistant starch | $6.1 \pm 0.1 \times 10^{11}$ | $3.4 \pm 0.4 \times 10^{11}$ | $5.5 \pm 0.2 \times 10^{10}$ | $7.5 \pm 0.5 \times 10^9$ | $7.1 \pm 0.3 \times 10^8$ |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/chitosan         | $1.4 \pm 0.4 \times 10^{11}$ | $8.5 \pm 0.4 \times 10^{11}$ | $6.4 \pm 0.3 \times 10^9$    | $4.1 \pm 0.4 \times 10^8$ | $6.5 \pm 0.5 \times 10^6$ |
| Whey 5 %     | Free probiotic bacteria                                        | $9.1 \pm 0.2 \times 10^{10}$ | $1.4 \pm 0.5 \times 10^8$    | $1.5 \pm 0.3 \times 10^7$    | $<10^6$                   | $<10^6$                   |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/resistant starch | $7.4 \pm 0.4 \times 10^{11}$ | $9.2 \pm 0.5 \times 10^{10}$ | $1.2 \pm 0.3 \times 10^9$    | $3.4 \pm 0.4 \times 10^8$ | $3.1 \pm 0.4 \times 10^8$ |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/chitosan         | $1.4 \pm 0.5 \times 10^{11}$ | $8.3 \pm 0.3 \times 10^{10}$ | $1.4 \pm 0.1 \times 10^8$    | $6.1 \pm 0.2 \times 10^7$ | $3.3 \pm 0.3 \times 10^6$ |
| Whey 10%     | Free probiotic bacteria                                        | $1.2 \pm 0.3 \times 10^{10}$ | $4.4 \pm 0.2 \times 10^8$    | $3.4 \pm 0.2 \times 10^7$    | $1.1 \pm 0.1 \times 10^6$ | $<10^6$                   |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/resistant starch | $2.2 \pm 0.2 \times 10^{11}$ | $9.1 \pm 0.1 \times 10^{10}$ | $6.5 \pm 0.5 \times 10^9$    | $9.2 \pm 0.3 \times 10^8$ | $7.3 \pm 0.2 \times 10^8$ |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/chitosan         | $1.3 \pm 0.4 \times 10^{11}$ | $5.3 \pm 0.4 \times 10^{10}$ | $6.3 \pm 0.4 \times 10^8$    | $7.4 \pm 0.3 \times 10^7$ | $7.1 \pm 0.4 \times 10^6$ |
| Whey 15%     | Free probiotic bacteria                                        | $6.3 \pm 0.5 \times 10^{10}$ | $9.2 \pm 0.3 \times 10^8$    | $1.2 \pm 0.3 \times 10^7$    | $5.4 \pm 0.3 \times 10^6$ | $<10^6$                   |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/resistant starch | $8.2 \pm 0.3 \times 10^{11}$ | $9.3 \pm 0.1 \times 10^{10}$ | $9.1 \pm 0.3 \times 10^9$    | $7.5 \pm 0.5 \times 10^8$ | $7.3 \pm 0.2 \times 10^8$ |
|              | Encapsulated probiotic bacteria with alginate/chitosan         | $3.1 \pm 0.5 \times 10^{11}$ | $6.3 \pm 0.3 \times 10^{10}$ | $9.4 \pm 0.1 \times 10^8$    | $3.1 \pm 0.3 \times 10^7$ | $8.4 \pm 0.5 \times 10^6$ |

باکتری های پروبیوتیک آزاد، نمونه های حاوی 1/5 درصد اینولین دارای زنده ماننی بیشتری نسبت به بقیه بودند.

## 5- منابع

- [1] Oliveira, R.P.S., Florence, A.C.R., Silva, R.C., Perego, P., Converti, A. and Gioielli, L.A. 2009. Effect of different prebiotics on the fermentation kinetics, probiotic survival and fatty acids profiles in nonfat symbiotic fermented milk. *International Journal of Food Microbiology*, 128, 467–472.
- [2] Prado, F.C., Parada, J. L., Pandey, A. and Soccol, C. R. 2008. Trends in non-dairy probiotic beverages. *Food Research International*, 41(1): 111–123.
- [3] Ostlie, H. M., Treimo, J. and Narvhus, J. A. 2005. Effect of temperature on growth and metabolism of probiotic bacteria in milk. *International Dairy Journal*, 15(3): 989–997.
- [4] Akin, M.B. and kirmaci, Z. 2007. Effects of inulin and sugar levels on the viability of yogurt and probiotic bacteria and the physical and sensory characteristics in probiotic ice cream. *Food Chemistry*, 104 (4): 93 – 99.
- [5] Krasaekoopt, W., Bhandari, B. and Deeth, H.C. 2006. Survival of probiotics encapsulated in chitosan-coated alginate beads in yoghurt from UHT- and conventionally treated milk during storage. *LWT food science and technology*, 39: 177-183.
- [6] Ravinder, N., Varinder, K., Manoj, K. and Francesco, M. 2012. Effect of Aloe vera juice on growth and activities of Lactobacilli in-vitro. *Acta Biomedica*, 83: 183-188.
- [7] Parmjit, S. and Shinde, C. 2012. Effect of Storage on Syneresis, pH, Lactobacillus acidophilus Count, Bifidobacterium bifidum Count of Aloe vera Fortified Probiotic Yoghurt. *Current Research in Dairy Sciences*, 4(1): 17-23.
- [8] Sun-Waterhouse, D., Zhou, S. and Wadhwa, J. 2013. Drinking yoghurts with berry polyphenols added before and after fermentation. *Food Control*, 32: 450-460.
- [9] Azarikia, F. and Abbasi, S. 2010. On the stabilization mechanism of Doogh (Iranian yoghurt drink) by gum tragacanth, *Food Hydrocolloids*, 24: 58-363.
- [10] Barnes, H.A. 2008. *Handbook of elementary rheology*. 1st ed. Translated by Abbasi, s. Tehran: Marz-e Danesh

در پژوهشی دیگر ایزدی و همکاران (1391) اثر افزودن مکمل های مختلف از جمله آب پنیر را بر رشد و زنده ماننی باکتری های پروبیوتیک (لاکتوباسیلوس /اسیدوفیلوس و بیفیدوباکتریوم ها) در پودر ماست پروبیوتیک بررسی نمودند و نشان دادند که افزودن مکمل آب پنیر به شیر می تواند سبب رشد باکتری ها در ماست پروبیوتیک شده و همچنین باعث افزایش درصد زنده ماننی باکتری ها، در طی خشک کردن پاششی ماست پروبیوتیک می گردد [46].

شهادی و همکاران (1393) اثر جایگزینی آب پنیر در غلظت های مختلف (0، 10، 20، 30، 40 و 50 درصد حجمی/حجمی) با شیر بر زنده ماننی باکتری های لاکتوباسیلوس /اسیدوفیلوس و بیفیدوباکتریوم انیمالیس زیرگونه لاکتیس در نوشیدنی ماست بررسی کردند. نتایج نشان داد که افزایش غلظت آب پنیر باعث افزایش زنده ماننی باکتری های پروبیوتیک گردید بطوری که نمونه شاهد کمترین میزان باکتری های پروبیوتیک و نمونه دارای 50 درصد آب پنیر بیشترین میزان زنده ماننی را در پایان دوره نگهداری نشان دادند [47].

در مطالعه دیگری نوشیدنی های فرایند شده با غلظت های مختلف آب پنیر (0، 20، 25، 50، 65 و 80) پتانسیل خوبی به عنوان یک ماتریکس غذایی برای پروبیوتیک ها نشان دادند، هر چند مقدار آب پنیر مفید برای کشت های میکروبی و بویژه باکتری های پروبیوتیک محدود بود [18].

## 4- نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که افزودن باکتری های ریزپوشانی شده، اینولین و آب پنیر باعث افزایش پایداری نمونه های دوغ آلونه ورا شد. در بررسی ویژگی های حسی مشاهده شد که هیچ کدام از تیمارهای فرایند ریزپوشانی، نوع دیواره و نوع اسانس تأثیر معنی داری بر رنگ و بوی نمونه های دوغ نشان ندادند. پذیرش کلی نمونه های حاوی اینولین بیشتر از نمونه های حاوی آب پنیر و نمونه شاهد بود هر چند تفاوت معنی داری بین نمونه های حاوی دو نوع ماده مورد استفاده به عنوان پری بیوتیک مشاهده نشد. در نمونه های دوغ حاوی باکتری های پروبیوتیک به صورت ریزپوشانی شده، تعداد باکتری های به دام افتاده در دانک ها در طول دوره انبار ماننی 28 روزه در یخچال کاهش کمتری را نسبت به باکتری های در حالت آزاد تلقیح شده به دوغ نشان داد. از بین دوغ های حاوی

- on the microbial and physicochemical properties of probiotic low fat yogurt. *Journal of Veterinary Research*, Shiraz University, 35 (2): 105-93.
- [21] Guven, M., yasar, K., Bkaraca, B., and Hayaloglu, A. A. 2005. The effect of inulin as fat replacer on the qualiity of set type low-fat yogurt manufacture. *International journal of dairy Technology*, 58(3): 180 – 184
- [22] Paseephol, T. 2008. Characterisation of prebiotic compounds from plant sources and food industry wastes. Ph.D. thesis, School of Applied Sciences Science, Engineering and Technology Portfolio, RMIT University pp.1-21.
- [23] Li, D., Kim, M., Zhengyu, J., and Zhou, J. 2008. Prebiotic effectiveness of inulin extracted from edible burdock. *Anaerobe*, 14: 29–34.
- [24] Donkor, O.N., Henriksson, A., Vasiljevic, T., and Shah, N. P. 2006. Effect of acidification on the activity of probiotics in yoghurt during cold storage. *International Dairy Journal*. 16: 1181–1189
- [25] Marafon, A.N., Sumi, A., Alcântara, M.A., Tamime, A., and Oliveira, M.N. 2011. Optimization of the rheological properties of probiotic yoghurts supplemented with milk proteins. *LWT - Food Science and Technology*, 44: 511-519
- [26] Taherian, A., Sadeghi Mahounak, A.R., Mirzaei, H., Alami, M. and Sadeghi, A.R. 2015. Effect of whey powder on the growth of *Lactobacillus acidophilus* in reconstituted acidophilus milk. *Journal of Innovative Food Technologies*, 3(2): 43-57.
- [27] Lucey, J.A., Tamehana, M., Singh, H. and Munro, P.A. 1999. Stability of model acid milk beverage: Effect of pectin concentration, storage temperatu re and milk heat treatment. *Journal of Texture Studies*, 30(3): 305-318.
- [28] El-Nagar, G., Clowes, G., Tudorica, C. M., Kuri, V., and Brennan, C. S. 2002. Rheological quality and stability of yog-ice cream with added inulin. *International Journal of Dairy Technology*, 55: 89-93.
- [29] Roberfroid, M. 2005. Inulin-Type Fructans Functional Food Ingredients. CRC press, 367p.
- [30] Kip, P., meyer, D., and jellema, R. H. 2006. Publications. [In persian]
- [11] Bourne, M.C. 2008. Food texture and viscosity: concept and measurement. 2nd ed. Translated by Abbasi, S. Tehran: Marz-e Danesh Publications.
- [12] Mezger, T. G. 2006. The rheology handbook for users of rotational and oscillatory rheometers. 2nd ed. Hannover: Vincentz Network.
- [13] Koksoy, A. and Kilic, M. 2004. Use of hydrocolloids in textural stabilization of a yoghurt drink, ayran. *Food Hydrocolloids*, 18(4): 593-600.
- [14] Shahdadi, F., Mirzaei, H., Kashani Nejad, M. and Khomeiri, M. 2018. Study of various concentrations of resistant starch and chitosan on microstructure, rheological properties and viability of encapsulated probiotic bacteria in drinking yoghurt. *Journal of Food Processing and Preseservation*, 9 (2): 69-84.
- [15] Zomorodi, S., Khosrowshahi, A.A., Razavi Rohani, S.M. and Miraghaei, S. 2011. Survival of *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus plantarum* and *Bifidobacterium bifidum* in free and microencapsulated forms on Iranian white cheese produced by ultrafiltration. *International Journal of Dairy Technology*, 64:84-91.
- [16] Rivera-Espinoza, Y. and Gallardo-Navarro, Y. 2010. Non-dairy probiotic products. *Food Microbiology*, 27(1): 1-11.
- [17] Aragon-Alegro, L.C., Alarcon Alegro, J.H. Roberta Cardarelli, H., Chih Chiu, M. and Isay Saad, S.M. 2007. Potentially probiotic and synbiotic chocolate mousse. *LWT-Food Science and Technology*, 40(4): 669-675.
- [18] Castro, W. F., Cruz, A. G., Bisinotto, M. S., Guerreiro, L. M. R., Faria, J. A. F., Bolini, H. M. A., Cunha, R. L., and Deliza, R. 2013. Development of probiotic dairy beverages: Rheological properties and application of mathematical models in sensory evaluation, *Journal of Dairy Science*. 96:16–25
- [19] Anal, A.K. and Singh, H. 2007. Recent advances in microencapsulation of probiotics for industrial applications and targeted delivery. *Food Science and Technology*, 18: 240-251.
- [20] Mazloumi, M., Shekarforoush, S., Ebrahimnejad, H. and Sajedian Fard, S. 2013. The effect of inulin supplementation

- [40] Tarrega, A., Torres, J. D., and Costell, E. 2011. Influence of the chain – length distribution of inulin on the rheology and microstructure of prebiotic dairy desserts. *Journal of Food Engineering*. 104: 356 – 363.
- [41] Wang, W., Bao, Y., Hendricks, G. M. and Guo, M. 2012. Consistency, microstructure and probiotic survivability of goats' milk yoghurt using polymerized whey protein as a co-thickening agent. *International Dairy Journal*, 24: 113-119.
- [42] Peniche, C., Arguelles-Monal, H. and Acosta, N. 2003. Chitosan: an attractive biocompatible polymer for microencapsulation. *Macromolecular Bioscience*, 3:511-520.
- [43] Homayouni, A., Azizi, M.R., Ehsani, M.S., Yarmand, S.H. and Razavi, M. 2008. Effect of microencapsulation and resistant starch on the probiotic survival and sensory properties of synbiotic ice cream. *Food Chemistry*, 111: 50-55.
- [44] Roller, M., Pietro- Femia, A., Caderni, G., Rechkemmer, G., And Weizel, B. 2004. Intestinal immunity of rats with colon cancer is modulated oligofructose - enriched inuline combined with lactobacillus rhamnosus and bifidobacterium lactis. *Gr J. Nutr*, 92: 931 - 938
- [45] Jamshidi, L., Moshtaghi, H. and Abbasvali, M. 2018. Evaluation of whey powder on starter cultures activity, physico-chemical and sensory properties of yoghurt. *Food Science and Technology*, 78(15): 91-101.
- [46] Izadi, M., Eskandari, M.H., Niakousari, M., Shekarforoush, Sh., Hanifpour, M.A. and Izadi, Z. 2014. Investigating the effect of ingredients supplementation on survival rate of bacteria in probiotic yogurt powder *Food Science and Technology*, 11 (42) :107-116
- 47- Shahdadi, F., Saeedi, N., Shahdadi, S., Shahdadi, H. and Amirfazli, V. 2015. Evaluation of the replacement of different levels of whey with milk on the sensory characteristics and viability of probiotic bacteria in drinking yoghurt. *First National Conference on Agriculture, Environment and Food Security*, Jiroft University.
- inulins improve sensoric and textural properties of low – fat yoghurts. *International dairy journal*, 16(3): 1098 – 1103
- [31] Everett, D.W. and McLeod, R.E. 2005. Interactions of polysaccharide stabilizers with casein aggregates in stirred skim-milk yoghurt. *International Dairy Journal*, 15(11): 1175-1185.
- [32] Kailasapathy, K. 2006. Survival of free and encapsulated probiotic bacteria and their effect on the sensory properties of yoghurt. *LWT Food Science and Technology*, 39: 1221-1227.
- [33] Hansen, L.T., Allan-Wojtas, P.M., Jin, Y.L. and Paulson, A.T. 2002. Survival of Calginate microencapsulated Bifidobacterium spp. in milk and simulated gastrointestinal conditions. *Food Microbiology*, 19(1): 35-45.
- [34] Sultana, K., Godward, G., Reynolds, N., Arumugaswamy, R., Peiris, P. and Kailasapathy, K. 2000. Encapsulation of probiotic bacteria with alginate–starch and evaluation of survival in simulated gastrointestinal conditions and in yoghurt. *International Journal of Food Microbiology*, 62(1-2): 47-55
- [35] Smidsrod, O. and Skjak-Braek, G. 1990. Alginate as immobilisation matrix for cells. *Trends in Biotechnology*, 8(3): 71-78.
- [36] Koushki, M.S. 2005. Optimization of Traditional Industrial Doogh Production Using Maximum Whey. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 2 (4): 19-29.
- [37] Madureira, A.N., Carvalho Soares, J., Estevez Pintado, M., Gomes, A.P., Freitas, A.C. and Malcata, F. 2008. Sweet whey cheese matrices inoculated with the probiotic strain Lactobacillus paracasei. *Dairy Science and Technology*, 88(6): 649-665.
- [38] Staffolo, M.D., Bertola, N., Martino, M., and Bevilacqua, Y.A. 2004. Influence of dietary fiber addition on sensory and rheological properties of yogurt. *International Dairy Journal*. 14: 263-268.
- [39] Barzegar, H. and Mesbahi, Gh. 2006. Comparison of chitosan produced from shrimp shell as a thickener in mayonnaise with commercial chitosan and carboxymethyl cellulose. *16th Iranian Congress of Food Science and Technology*, University of Agriculture and Natural Resources, Gorgan Iran, 23 and 24 Farvardin.

## Effect of Different Concentrations of Inulin and Whey on the Qualitative and Rheological Properties of Aloe vera Doogh Containing Microencapsulated probiotic bacteria

Dezyani, M. <sup>1\*</sup>, Shahdadi, F. <sup>2</sup>, Ezzati, R. <sup>1</sup>

1. Faculty of food sciences department, Sofian branch, Islamic Azad University, Sofian, Iran

2. Faculty of Food science department, University of Jiroft, Jiroft, Iran.

Received: 2020/02/08 Accepted: 2020/05/31)

The aim of this study was to investigate the effect of microencapsulation of probiotic bacteria with sodium alginate/resistant starch and sodium alginate/chitosan by extrusion method on qualitative and rheological properties and viability of *bifidobacterium animalis* subs *lactis* in Aloe vera doogh. 10% of aloe vera gel with different concentrations of whey (5, 10 and 15%) and inulin (0.5, 1 and 1.5%) added to probiotic doogh and their effect on the protection of Probiotic bacteria and qualitative properties were evaluated. The results showed that increasing the level of inulin had no significant effect on pH. Increasing the percentage of whey up to 5% had no significant effect on the pH, but increasing more than 5% significantly decreased the pH of the doogh samples during storage period. In terms of sensory properties samples containing 1% inulin and microencapsulated bacteria with sodium alginate/chitosan had highest scores in flavour while lowest score was observed in control treatment (without inulin and whey) and free bacteria. Doogh samples containing 1.5% inulin had the lowest serum separation and the control sample (without inulin and whey) showed the highest serum separation at the end of storage period. In general, samples containing microcapsules had a lower serum separation than samples containing free bacteria. The highest viscosity and consistency coefficients were observed in the doogh samples containing 1.5% inulin. The microencapsulation process increased the apparent viscosity, consistency index and loss modulus and decreased the flow behavior index of the doogh samples. Microencapsulation of probiotic bacteria by sodium alginate / resistant starch and chitosan and use of whey and inulin in doogh samples increased their viability during storage period.

**Keywords:** Probiotic Doogh, Aloe Vera, Microencapsulation, Inulin, Whey.

---

\* Corresponding Author E-Mail Address: dezyani2002@yahoo.com