



## Süt Tozu, Peyniraltı Suyu İzolatı veya İnülin ile Kurumaddesi Arttırılan ve Kalsiyum Klorür Eklenen Sütlerden Üretilen Probiyotik Yoğurtların Bazı Fizikokimyasal, Mikrobiyolojik ve Duyusal Özellikleri

Firuze Ergin  

Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Antalya

Geliş Tarihi (Received): 25.04.2022, Kabul Tarihi (Accepted): 25.06.2022

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): [fergin@akdeniz.edu.tr](mailto:fergin@akdeniz.edu.tr) (F. Ergin)

☎ 0 242 310 43 44 📠 0 242 310 63 06

### ÖZ

Bu çalışmada, kurumaddesi süt tozu, peyniraltı suyu izolatu veya inülin kullanılarak arttırılan sütler gerek kalsiyum klorür ilave edildikten sonra gerekse ilave edilmeden probiyotik yoğurt üretiminde kullanılmıştır. Üretilen probiyotik yoğurt örnekleri 4°C'de 30 gün süresince depolanmış ve depolamanın 1., 15. ve 30. günlerinde örneklerin fizikokimyasal, duyusal ve mikrobiyolojik özellikleri belirlenmiştir. Kalsiyum klorür ilavesinin sütlerin pH değerlerini düşürdüğü ve inkübasyon süresini arttırdığı tespit edilmiştir. Peyniraltı suyu izolatu ilave edilen sütlerden üretilen probiyotik yoğurt örneklerinin serum ayrılması değerlerinin süt tozu ve inülin ilave edilen süttten üretilen yoğurt örneklerinden düşük; görünür viskozite, kıvam katsayısı ve tiksotropi değerlerinin yüksek olduğu belirlenmiştir. Süte kalsiyum klorür ilavesinin probiyotik yoğurt örneklerinin serum ayrılması değerlerini ve reolojik özelliklerini istatistiksel olarak önemli düzeyde etkilediği saptanmıştır. Peyniraltı suyu izolatu ile kurumadde miktarı arttırılan süttten üretilen probiyotik yoğurt örneklerinde en yüksek granül sayısı, granül çevre uzunluğu ve görsel pürüzlülük değerleri belirlenirken, kalsiyum klorür ilavesinin probiyotik yoğurtların görsel niteliklerini geliştirdiği tespit edilmiştir. Depolama süresince probiyotik yoğurt örneklerinde *Lactobacillus paracasei* sayısının 7.71-8.98 log kob/g arasında değiştiği ve süte kalsiyum klorür ilavesinin probiyotik bakteri canlılığını etkilemediği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İnülin, Kalsiyum klorür, Peyniraltı suyu izolatu, Probiyotik yoğurt, Süt tozu

### Some Physicochemical, Microbiological and Sensory Properties of Probiotic Yoghurts Produced from Milk with Increased Dry Matter Content by Addition of Milk Powder, Whey Isolate or Inulin before and after Calcium Chloride Incorporation

#### ABSTRACT

In this study, probiotic yoghurt was produced after adding calcium chloride to the milk whose dry matter content was increased with milk powder, whey isolate or inulin. Probiotic yoghurt samples were stored at 4°C for 30 days and the physicochemical, sensory and microbiological properties of samples were determined on the 1<sup>st</sup>, 15<sup>th</sup> and 30<sup>th</sup> days of storage. The addition of calcium chloride decreased the pH values of milks and increased incubation time. Syneresis values were determined in probiotic yoghurt samples produced from milk whose dry matter content was increased with whey isolate were lower than probiotic yoghurt samples produced from milk whose dry matter content was increased with milk powder and inulin, while apparent viscosity, consistency coefficient and thixotropy values were high. The addition of calcium chloride influenced the syneresis values and rheological properties of probiotic yoghurt samples significantly (p<0.05). While the highest number and perimeter of grains and visual roughness values were determined in probiotic yoghurt samples produced from milk with increased dry matter content by the addition of whey isolate, the addition of calcium chloride improved the visual properties of probiotic yoghurts. The number of

*Lactobacillus paracasei* in probiotic yogurt samples during storage varied between 7.71 and 8.98 log cfu/g, and the addition of calcium chloride did not adversely influence the number of probiotic bacteria.

**Keywords:** Inulin, Calcium chloride, Whey isolate, Probiotic yoghurt, Milk powder

## GİRİŞ

Günümüzde sağlıklı ve uzun yaşam beklentisi, gıda-sağlık arasındaki ilişki ile ilgili bilincin artması, tüketicileri doğal besin kaynakları ve fonksiyonel gıdalara yönlendirmektedir [1]. Fonksiyonel gıdalar, temel besin öğelerini karşılamalarının yanı sıra, bazı hastalıklara yakalanma riskini azaltan ve bazı hastalıkların iyileşmesinde rol alan, biyoaktif bileşenleri içeren gıda veya gıda bileşeni olarak tanımlanmaktadır [2]. Tüketicilerin fonksiyonel gıdalara ilgisinin artması süt endüstrisinde ekonomik değeri yüksek yeni yoğurt çeşitlerinin üretilmesine neden olmaktadır [3]. Sütün *Streptococcus thermophilus* ve *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* bakterileriyle fermantasyonu sonucu üretilen yoğurt, besleyici ve sağlığa faydalı özellikleri nedeniyle en çok tüketilen süt ürünlerinden biridir [4]. Yoğurdun söz konusu özelliklerinin geliştirilmesi için üretiminde mineral madde ve vitamin zenginleştirilmesi yapılabilmekte ve probiyotik bakteri kullanılabilmektedir [5].

İnsan vücudunda en çok bulunan mineral madde olan kalsiyum, kemiklerin oluşmasında ve güçlenmesinde, kas ve sinir sisteminin çalışmasında, hormonların salgılanmasında ve enzimlerin aktivasyonda görev almaktadır. İnsanların yaş ve fizyolojik durumlarına bağlı olarak diyetle günde 1000-1300 mg kalsiyum alması önerilmektedir. Kalsiyumun vücuttaki emilimi ilerleyen yaşlarda azalmakta ve kalsiyum yetersizliğine bağlı hastalıklar ortaya çıkmaktadır [6]. Kalsiyum kaynakları; kurubaklagiller, sert kabuklu yemişler, yağlı tohumlar, bazı meyve ve sebzeler ile süt ve süt ürünleri olarak sıralanabilmektedir [7]. Gıdalarla vücuda alınan kalsiyumun emilimi kaynağına göre değişmektedir. Vücuda süt ve süt ürünleriyle alınan kalsiyumun emilim oranının, okzalik asit ve fitik asit bakımından zengin olan kurubaklagillerle alınan kalsiyumun emilim oranına göre daha yüksek olduğu bildirilmektedir [7]. Fermente süt ürünlerinde bulunan kalsiyumun emilim oranının ise süte göre daha yüksek olduğu ve bu nedenle yoğurt gibi fermente süt ürünlerinin kalsiyum ile zenginleştirilmesinin önemli olduğu belirtilmektedir [8]. Kalsiyum sağlıkla ilgili olumlu özelliklerinin yanı sıra yoğurdun jel yapısının oluşumunda da rol oynamaktadır [9]. Sütteki kalsiyum çözünür veya koloidal formda (koloidal kalsiyum fosfat) bulunmaktadır. Yoğurt jeli, sütte kalsiyum dağılımının dengesindeki değişiklikler ve süt proteinleri arasında hidrofobik etkileşimler sonucu oluşmaktadır. Sütün pH değerindeki değişiklikler, süte uygulanan ısı işlem veya ilave edilen kalsiyum tuzları ya da şelat ajanları, sütteki kalsiyum dağılımındaki dengenin değişmesine ve sütün işlenmesi sırasında kazein sisteminin stabilitesinin etkilenmesine neden olmaktadır. Sütün yoğurt bakterileri tarafından fermantasyonu sırasında oluşan laktik aside bağlı olarak kazein misellerindeki koloidal kalsiyum fosfat

çözünmekte ve kazein miselleri yoğurdun jel yapısını oluşturmak üzere bir araya gelmektedir [10].

Yoğurdun yapısını, besleyici değerini ve raf ömrünü etkileyen bir diğer işlem basamağı da sütteki kurumadde miktarının süt bazlı tozların ilavesi, evaporasyon ve membran filtrasyon sistemleri gibi yöntemlerle artırılmasıdır [3,11]. Yağsız süt tozu, peyniraltı suyu tozları (peyniraltı suyu konsantrasyonu, peyniraltı suyu protein izolasyonu, polimerize peyniraltı suyu tozu) ve kazein tozları (kalsiyum kazeinat, sodyum kazeinat) ile çeşitli karbonhidrat yapıdaki prebiyotikler (inülin, laktuloz, glukan, maltodekstrin) yoğurda işlenecek sütün kurumaddesinin artırılmasında kullanılabilmektedir [12, 13]. Peyniraltı suyu protein izolasyonunun kullanımı, sıkı bir yoğurt jeli elde etmek ve içerdiği yüksek orandaki peyniraltı suyu proteinleri ile yoğurdun besin değerini arttırmak amacıyla tercih edilebilmektedir [14]. Prebiyotik olarak kabul edilen inülin süt ürünlerinin kimyasal, fonksiyonel ve duyuşsal özelliklerini geliştirmektedir [15]. İnülin, fruktoz ve glukoz birimlerinin  $\beta$ -1,2 glikozidik bağlarla bir araya gelmesiyle oluşan düşük kalori değerine sahip bir oligosakkarittir. Yoğurt üretiminde yağ ve şeker ikame maddesi olarak kullanılabilen inülin, insan bağırsağında probiyotik bakterilerin canlılığını desteklemekte ve böylelikle gastrointestinal hastalıkların önlenmesinde, kalsiyum emiliminin artmasında ve bağışıklık sisteminin güçlendirilmesinde rol almaktadır [15].

Probiyotikler, yeterli miktarda alındığı zaman konakçı üzerinde sağlığa yararlı etkiler sağlayan canlı mikroorganizmalar olarak tanımlanmaktadır. Probiyotik bakterilerden beklenen yararların sağlanabilmesi için ürünlerin raf ömürlerinin sonuna kadar en az  $10^7$ - $10^9$  kob/g düzeyinde probiyotik bakteri bulundurulması gerektiği belirtilmektedir [16]. Probiyotik bakterilerin canlılıklarını fermente süt ürünlerinin pH değeri, hidrojen peroksit ve çözünmüş oksijen içeriği, laktik asit ve asetik asit gibi metabolitlerin konsantrasyonu, üretiminde kullanılan doğal bileşikler, ortamın tampon kapasitesi ve depolama sıcaklığı gibi faktörler etkileyebilmektedir [17]. Son yıllarda yapılan klinik çalışmalarla probiyotik bakterilerden biri olan *Lactobacillus paracasei*'nin hipokolesterolemi, antihipertansif, antiosteoporoz, antimutajenik, antioksidan, antikanser ve antiinflamatuar gibi insan sağlığına faydalı etkileri olduğu belirlenmiştir [18]. Ayrıca, *L. paracasei*'nin fermente süt ürünlerinin üretiminde, depolanmasında ve tüketimindeki olumsuz koşullara karşı canlılığını koruyabildiği bildirilmiştir [19]. Bu çalışmada söz konusu bilgiler ışığında probiyotik yoğurt üretiminde *L. paracasei* kullanılmıştır.

Farklı kalsiyum tuzları ilave edilen sütlerden yoğurt, meyveli yoğurt, probiyotik yoğurt ve probiyotik fermente içeceklerin üretildiği çalışmalarda [8, 10, 20] kalsiyumun ilavesinin söz konusu ürünlerin yapısal, duyuşsal ve mikrobiyolojik özellikleri üzerine etkisi ortaya

konulmuştur. Bununla birlikte yapılan çalışmalarda, sütteki kalsiyum miktarı değişikliğinin [10] ve kurumadde artırımında kullanılan bileşenlerin [14, 15] yoğurdun özelliklerini etkilediği ortaya konulmakla birlikte her iki varyasyonun birlikte etkisini incelememiştir. Yapılan bu çalışma, probiyotik yoğurdun bazı özellikleri üzerine kalsiyum miktarının ve kurumadde artırımında kullanılan bileşenlerin etkisinin bir arada incelenmesi açısından özgündür. Bu bağlamda çalışmada, kurumadde miktarı yağsız süt tozu, peyniraltı suyu izolatu ve inülin ile arttırılan sütlerden kalsiyum klorür ilave edilerek ya da ilave edilmeksizin *Lactobacillus paracasei* kullanılarak probiyotik yoğurt üretilmiştir. Çalışmada, kurumadde artırımında kullanılan bileşenlerin ve kalsiyum klorürün probiyotik yoğurt örneklerinin bazı fizikokimyasal, mikrobiyolojik ve duyuşsal özellikleri üzerine etkisi depolama süresince belirlenmiştir.

## MATERYAL ve METOT

### Materyal

Probiyotik yoğurt üretimlerinde kullanılan inek sütü Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Döner Sermayesi'ne bağlı Sığır Çiftliği'nden, yoğurt starter kültürü (YOFLEX® M790) ve probiyotik bakteri *Lactobacillus paracasei* (L. CASEI 431®) Chr. Hansen Gıda San. Tic. A.Ş.'den (İstanbul, Türkiye), yağsız süt tozu (%95 kurumadde, %40 laktöz) Ekso Süt ve Gıda Mam. San. ve Tic. A.Ş.'den (Antalya, Türkiye), peyniraltı suyu izolatu (Hardline Nutrition, %96 protein) Kavi Gıda San. Tic. Ltd. Sti.'den (İstanbul, Türkiye), inülin (Frutafit HD, %90 inülin) Sensus'dan (Roosendaal, Hollanda), kalsiyum klorür (Calcium chloride anhydrous powder, 110.98 g/mol) ile fizikokimyasal ve mikrobiyolojik analizlerde kullanılan kimyasallar Merck İlaç Ecza ve Kimya Tic. A.Ş.'den (İstanbul, Türkiye) temin edilmiştir.

### Probiyotik Yoğurt Üretimi

Probiyotik yoğurt üretimlerinde kullanılan inek sütü (kurumadde %12.0, yağ %3.4, protein %3.3, kül %0.7) 55°C'ye ısıtılarak yağ oranı separatör (G140 model, SMS Ltd. Şti., Kayseri, Türkiye) yardımıyla %0.1'e ayarlanmıştır. Yağsız sütün kurumadde miktarı yağsız süt tozu, peyniraltı suyu izolatu ve inülin kullanılarak yaklaşık %12 olacak şekilde ayarlanmıştır. Kurumadde standardize edilen sütler iki kısma ayrılmış ve ilk kısma kalsiyum miktarı 50 mg/100 mL süt olacak şekilde kalsiyum klorür ilave edilmiştir [19]. Sütlerin kalan kısmına ise kalsiyum klorür ilavesi yapılmamıştır. Yapılan ön denemelerde kurumadde miktarı peyniraltı suyu izolatu kullanılarak arttırılan ve kalsiyum klorür ilave edilen sütlerde 90°C'de 5 ve 10 dakika uygulanan ısı işlemler sonucunda koagülasyon yapı tespit edilmiştir. Söz konusu nedenle peyniraltı suyu proteinlerinde %5'den az denatürasyona neden olan 80°C'de 10 dakika ısı işlem sıcaklığı ve süresi seçilmiştir [21]. Sütler 80°C'de 10 dakika süresince ısı işlem uygulandıktan sonra 42°C'ye soğutulmuştur. Soğutulan sütler liyofilize olarak satın alınan 0.04 g/L oranında yoğurt starter kültürü ile 0.05 g/L oranında *L. paracasei* aşılanmış ve

sütler 42°C'de pH'sı 4.6'ya ulaşınca kadar inkübe edilmiştir. Çalışmada probiyotik yoğurtlar pıhtısı parçalanmış (stirred) tipte üretilmiştir. Bu doğrultuda, inkübasyon sonunda elde edilen probiyotik yoğurtlar 4°C'ye soğutulmuş ve analizler sırasında homojen yapının sağlanması için mikser (Bosch Mixxo Quattro, Jesenice, Slovenia) ile 30 saniye karıştırılmıştır. Daha sonra probiyotik yoğurt örnekleri 200 ml'lik kapaklı plastik ambalajlar içerisine doldurulmuş ve 30 gün süresince 4°C'de depolanmıştır. Probiyotik yoğurt üretimine ait akış şeması Şekil 1'de verilmiştir.

## Analizler

### Sütte Yapılan Analizler

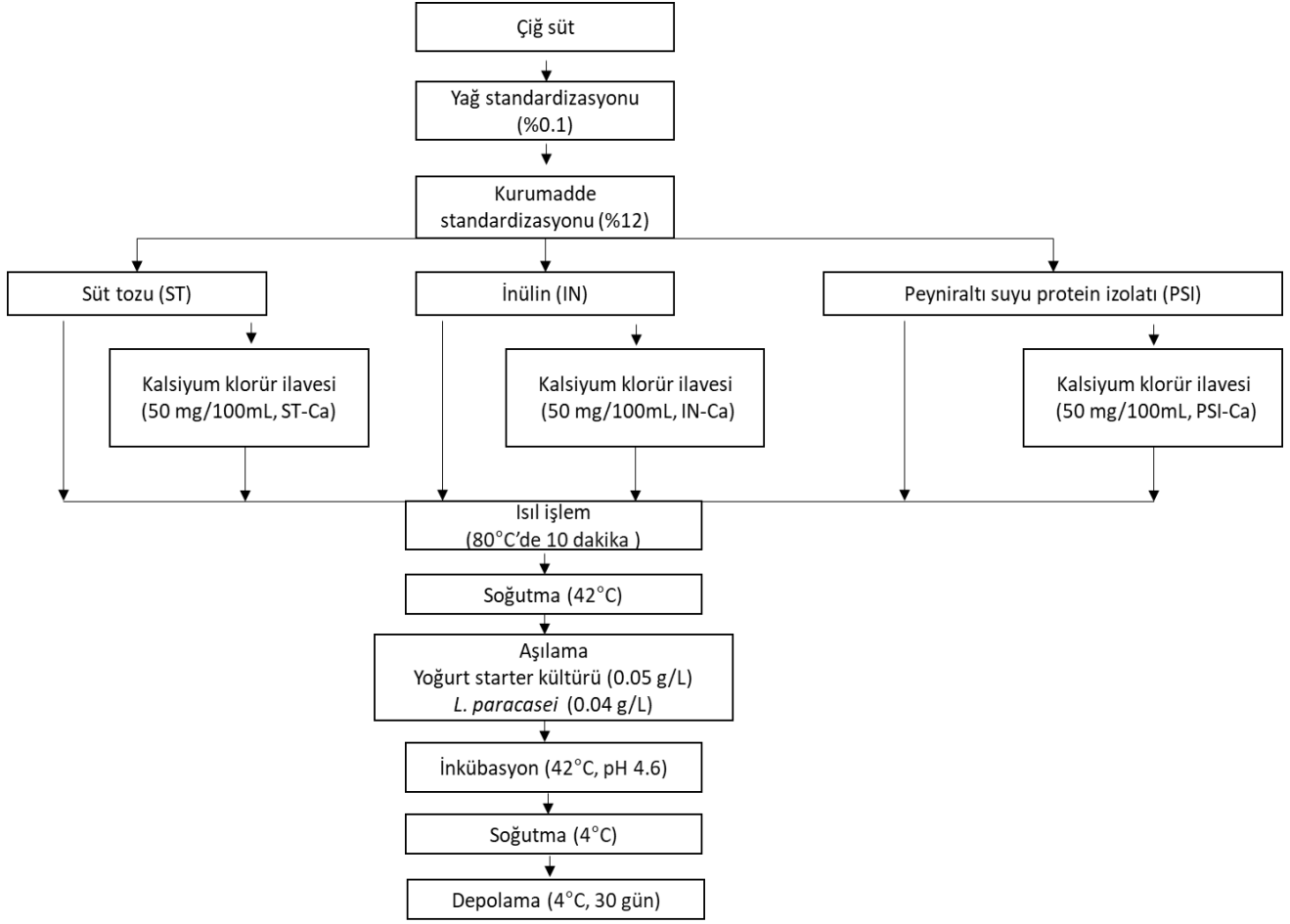
Probiyotik yoğurt üretiminde kullanılan sütün kurumadde [22], protein [23], yağ [24] ve kül [25] miktarları sırasıyla gravimetrik yöntem, Gerber yöntemi, Kjeldahl yöntemi ve gravimetrik yöntem kullanılarak tespit edilmiştir. Çalışmada kullanılan sütlerin ve probiyotik yoğurt örneklerinin pH değerleri pH metre (Orion 2 Star, Thermo Scientific, Ayer Rajah Crescent, Singapore) ile ölçülürken, titrasyon asitliği değerleri % laktik asit cinsinden titrimetrik yöntem kullanılarak belirlenmiştir [26].

### Probiyotik Yoğurtlarda Fizikokimyasal Analizler

Probiyotik yoğurt örneklerinin toplam kurumadde ve kül miktarları Uluslararası Sütçülük Federasyonu (IDF)'nin verdiği referans metoda göre gravimetrik yöntem kullanılarak tespit edilmiştir [27]. Protein miktarı Kjeldahl metodu ile belirlenmiş olup [28], serum ayrılması değeri ise Arango ve ark.'nın [29] bildirdikleri yöntemle göre saptanmıştır.

### Probiyotik Yoğurtlarda Görüntüleme Analizleri

Probiyotik yoğurt örneklerindeki granüllü yapının belirlenmesinde, granül sayısı ve granül çevre uzunluğu olmak üzere iki parametre kullanılmıştır. Söz konusu parametreler, görüntüleme analizi ile Küçükçetin ve ark. [30] belirttikleri yöntem kullanılarak belirlenmiştir. Görüntüleme analizinde BAB Bs200 (BAB Image Analysing Systems Inc., Ankara, Türkiye) yazılımı kullanılmış, granül sayısı belirlenmesinde 3 mL probiyotik yoğurt örneğinde çevre uzunluğu 1.0 mm'den büyük olan granüller dikkate alınmıştır. Görüntüleme analizinde kullanılan fotoğraflar, dijital görüntüleme kabini (B430, Sanoto, Guangdong, Çin) içinde sabit ışık altında dijital fotoğraf makinası (EOS 450D, Canon, Tokyo, Japonya) ile çekilmiştir (Şekil 2). Probiyotik yoğurt örneklerinde görsel pürüzlülüğünün belirlenmesinde yoğurttaki granüllü yapı analizinde elde edilen dijital görüntüler kullanılmıştır. Söz konusu probiyotik yoğurt görüntülerinin renk yoğunluk dağılımının belirlenmesi prensibine dayanan görsel pürüzlülük analizinde Küçükçetin [31] geliştirdiği eşitlik kullanılmıştır.



Şekil 1. Kurumadde miktarı yağsız süt tozu, peyniraltı suyu izolatı veya inülin ile artırılan sütlerden kalsiyum klorür ilave edilerek ya da ilave edilmeksizin probiyotik yoğurt üretimi

Figure 1. Production of probiotic yoghurt which was produced after adding calcium chloride to milk with increased dry matter content by the addition of milk powder, whey isolate or inulin



a



b

Şekil 2. Görüntüleme analizinde kullanılan cihazlar (a) ve probiyotik yoğurt örneğine ait görüntü (b)

Figure 2. Devices used in imaging analysis and image of probiotic yogurt sample

### Probiyotik Yoğurtlarda Reolojik Analizler

Probiyotik yoğurt örneklerine ait reolojik parametreler Koksoy ve Kılıc [32]'un belirttikleri yöntemle belirlenmiştir. Örneklerin reolojik ölçümleri Brookfield R/S plus reometre kullanılarak (Brookfield, Middleboro, MA, ABD) yapılmıştır. Ölçümlerde çift boşluklu eş merkezli silindirik geometrisine (double gap concentric cylinder geometry) sahip DG3 numaralı prob kullanılmıştır. Ölçüm sırasında su banyosu (Brookfield TC-502) kullanılarak örneklerin sıcaklığı 10°C'de sabit tutulmuştur. Isıl dengenin sağlanabilmesi için örnekler ölçüm kabında yaklaşık 2 dakika bekletildikten sonra ölçümlere başlanılmıştır. Kontrollü artan ve azalan kayma hızında örneklerin kayma gerilimleri ölçülmüştür. Kayma hızı 0.1'den 300'e 1/saniye arttırılarak 5 dakika çıkış ve 300'den 0.1'e 1/saniye azaltılarak 5 dakika iniş eğrileri belirlenmiştir. Örneklerin reolojik özellikleri, çıkış ve iniş eğrilerine ait veriler kullanılarak, üslü yasa modeline göre Rheo3000 (Rheotec Messtechnik GmbH, Berlin, Germany) yazılımı ile belirlenmiştir. Örneklerdeki tiksotropi iniş ve çıkış eğrilerinin arasında kalan alanın Rheo3000 yazılımı kullanılarak hesaplanması ile tespit edilmiştir.

### Probiyotik Yoğurtlarda Mikrobiyolojik Analizler

Probiyotik yoğurt örneklerinde mikrobiyolojik analizler Tharmaraj ve Shah [33]'in kullandıkları yöntemle gerçekleştirilmiştir. *Streptococcus thermophilus* sayımında %1 laktöz ilave edilmiş M-17 agar besiyeri kullanılmıştır. Uygun dilüsyonların her birinden besiyerine dökme plak yöntemi ile ekim yapılmış ve petri kutuları 37°C'de 48 saat inkübasyona bırakılmıştır. *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* sayımı için pH değeri 5.2'ye ayarlanmış MRS agar besiyeri kullanılmıştır. Uygun dilüsyonlardan dökme plak yöntemi ile ekim yapılarak petri kutuları anaerobik jara yerleştirilmiş ve Anaerocult® A (Merck, Darmstadt, Almanya) anaerobik kit varlığında 43°C'de 72 saat inkübe edilmiştir. *Lactobacillus paracasei* sayımında MRS agar besiyerine 1 mg/L olacak şekilde vankomisin eklenmiştir. Analiz dökme plak sayım yöntemi ile yapılmış olup, inkübasyon anaerobik ortamda 37°C'de 72 saat süresince gerçekleştirilmiştir.

### Probiyotik Yoğurtlarda Duyusal Analizler

Probiyotik yoğurt örneklerinde duyusal analiz, Mkaadem ve ark. [34]'nin çalışmalarında fermente süt ürünleri için kullandıkları yöntemle yapılmıştır. Probiyotik yoğurt örnekleri, görünüş, tat, yapı ile genel beğeni bakımından 5 puanlık hedonik skalaya (1-çok kötü, 2-kötü, 3-orta, 4-iyi ve 5-çok iyi) göre değerlendirilmiştir. Duyusal analizin gerçekleştirilmesi için Akdeniz Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü lisansüstü öğrencilerinden düzenli fermente süt ürünleri tüketen 30 kişilik panelist grup oluşturulmuştur. Probiyotik yoğurt örnekleri panelistlere tesadüfi üç haneli kodlu olarak sunulmuştur. Çalışmada, probiyotik yoğurt örneklerinin kurumadde, protein ve kül içerikleri ile görsel özellikleri depolamanın 1. gününde; pH, titrasyon asitliği, serum ayrılması değerleri ile

reolojik, mikrobiyolojik ve duyuşal özellikleri depolamanın 1, 15 ve 30. günlerinde belirlenmiştir.

### İstatistiksel Analizler

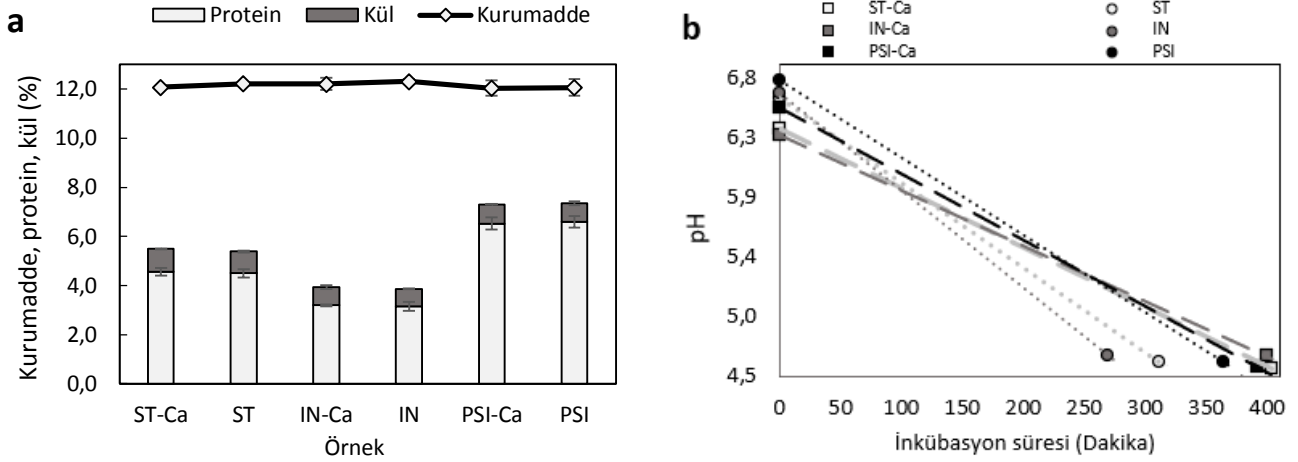
Araştırma 2 tekerrürlü yapılmış olup, analizler paralelli olarak gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonuçları varyans analizine tabi tutulmuş ve farklı bulunan sonuçlar Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi ile karşılaştırılmıştır. Veriler %95 güven aralığında,  $p < 0.05$  anlamlılık düzeyinde değerlendirilmiştir [35].

### BULGULAR ve TARTIŞMA

#### Probiyotik Yoğurt Örneklerinin Fizikokimyasal Özellikleri

Probiyotik yoğurt örneklerinin kurumadde değerlerinin ortalama %12.04 ile 12.31 arasında değiştiği belirlenmiştir. Peyniraltı suyu izolatu ilave edilerek üretilen probiyotik yoğurtların protein içeriklerinin istatistiksel olarak süt tozu ve inülin ilave edilerek üretilen probiyotik yoğurt örneklerinden yüksek olduğu saptanırken ( $p < 0.05$ ), süt tozu ilave edilerek üretilen probiyotik yoğurt örneklerinin kül içeriklerinin peyniraltı suyu izolatu ve inülin ilave edilerek üretilen probiyotik yoğurt örneklerinden yüksek olduğu tespit edilmiştir ( $p < 0.05$ ) (Şekil 3a). Probiyotik yoğurtların üretiminde kullanılan kalsiyum klorürün örneklerin kurumadde, protein ve kül içerikleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olmadığı belirlenmiştir. Probiyotik yoğurt örneklerinin bileşimleri arasındaki farklılığın kurumaddeyi arttırmak için kullanılan tozların bileşimlerinin farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Türk Gıda Kodeksi Fermente Süt Ürünleri Tebliği'ne göre yoğurdun protein miktarının en az %3 olması gerekmektedir [36]. Elde edilen sonuçlara göre çalışmada üretilen probiyotik yoğurtların, standart ve tebliğ ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Probiyotik yoğurt örneklerinin pH değerlerinin yaklaşık 4.6'ya gelmesi için gereken inkübasyon süreleri Şekil 3b'de verilmiştir. Kalsiyum klorür ile zenginleştirilen sütlerin pH değerlerinin 6.32 ile 6.53 arasında değiştiği ve kalsiyum klorür ilavesinin sütün pH değerini düşürdüğü belirlenmiştir. Kalsiyum klorürün sütte çözünmesiyle serbest hale gelen kalsiyum iyonları sütteki hidrojen fosfat ile birleşmekte ve serbest hidrojen iyonları oluşmaktadır. Söz konusu durum sütün pH değerinin düşmesi ile sonuçlanmaktadır [9]. Bununla birlikte, kalsiyum klorür ile zenginleştirilen sütlerin pH değerlerinin fermantasyon ile yaklaşık 4.6'ya gelmesi için geçen sürenin kalsiyum klorür ilave edilmeyen sütlere göre fazla olduğu tespit edilmiştir. Çalışmamızdaki sonuçlara benzer olarak Kaushik ve Arora'nın [37] yaptıkları çalışmada, kalsiyum tuzları (fosfat dibasik ve kalsiyum sitrat tetrahidrat) ilave ettikleri ve ilave etmedikleri sütlerin fermantasyonu sırasında pH değerlerinin 4.4-4.8'e gelmesi için gereken sürelerin sırasıyla yaklaşık 8 ve 4 saat olduklarını saptamışlar ve kalsiyum tuzları ilavesinin sütün tamponlama kapasitesini değiştirebileceğini bildirmişlerdir.



Şekil 3. Probiyotik yoğurt örneklerine ait kurumadde, protein, kül miktarları (a), Probiyotik yoğurt örneklerine ait inkübasyon süreleri (b). ST-Ca, süt tozu kullanılarak kurumaddesi artırılan ve kalsiyum klorür eklenen süttten üretilen probiyotik yoğurt. ST, süt tozu kullanılarak kurumaddesi artırılan süt ile üretilen probiyotik yoğurt. IN-Ca, inülin kullanılarak kurumaddesi artırılan ve kalsiyum klorür eklenen süttten üretilen probiyotik yoğurt. IN, inülin kullanılarak kurumaddesi artırılan süt ile üretilen probiyotik yoğurt. PSI-Ca, peyniraltı suyu izolatu kullanılarak kurumaddesi artırılan ve kalsiyum klorür eklenen süttten üretilen probiyotik yoğurt. PSI, peyniraltı suyu izolatu kullanılarak kurumaddesi artırılan süt ile üretilen probiyotik yoğurt. Hata çubukları standart sapma değerlerini göstermektedir.

*Figure 3. Dry matter, protein, and ash contents of probiotic yoghurt samples (a), incubation time of probiotic yoghurt samples (b). St-Ca, probiotic yoghurt produced from milk whose dry matter was increased with milk powder and calcium chloride-added. St, probiotic yoghurt produced from milk whose dry matter was increased with milk powder. IN-Ca, probiotic yoghurt produced from milk whose dry matter was increased with inulin and calcium chloride-added. IN, probiotic yoghurt produced from milk whose dry matter was increased with inulin. PSI-Ca, probiotic yoghurt produced from milk whose dry matter was increased with whey isolate and calcium chloride-added. PSI, probiotic yoghurt produced from milk whose dry matter was increased with whey isolate. The error bars represent standard deviation of the mean.*

Probiyotik yoğurt örneklerine ait pH ve titrasyon asitliği değerleri Şekil 4'te verilmiştir. Depolamanın sonunda süt tozu ile kurumaddesi artırılan süttlerden üretilen probiyotik yoğurt örneklerinin pH değerlerinin inülin ve peyniraltı suyu izolatu kullanılarak kurumaddesi artırılan süttlerden üretilen probiyotik yoğurt örneklerine göre düşük olduğu tespit edilmiştir ( $p < 0.05$ ). Bununla birlikte peyniraltı suyu izolatu ilave edilen süttlerden üretilen probiyotik yoğurt örneklerinin titrasyon asitliği değerlerinin inülin ilave edilen süttlerden üretilen probiyotik yoğurt örneklerinden yüksek olduğu belirlenmiştir. Süttteki laktozun laktik asit bakterileri tarafından laktik aside dönüştürülmesiyle asitlik gelişmekte ve yoğurt üretilmektedir [38]. Probiyotik yoğurt üretiminde kullanılan süt tozunun laktoz içeriğinin inülin ve peyniraltı suyu izolatına göre yüksek olmasının süt tozu ile kurumaddesi artırılan süttlerden üretilen probiyotik yoğurt örneklerinin titrasyon asitliği değerlerinin inülin ve peyniraltı suyu izolatu ilave edilerek üretilen probiyotik yoğurt örneklerine göre yüksek olmasına neden olabileceği değerlendirilmiştir. Rashid ve ark. [39] süte %5, 10, 15, 20, 25 ve 30 oranlarında konsantr peyniraltı suyu ilave ederek yoğurt üretmişlerdir. Konsantr peyniraltı suyu oranının artışına bağlı olarak yoğurtların pH değerlerinin düştüğünü, titrasyon asitliği değerlerinin ise arttığını belirlemişler ve bunun konsantr peyniraltı suyu ile birlikte laktoz oranının artmasından kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir. Yapılan başka bir çalışmada ise %2 ve 4 oranlarında laktuloz, fruktooligosakkarit ve galaktooligosakkarit ilave edilen süttler ile sadece süt

tozu ilave edilen süttlerden yoğurt üretilmiştir. Süttlerin inkübasyonu ve depolama süresince en düşük pH ile en yüksek laktik asit değerlerinin probiyotik içermeyen ve sadece süt tozu ilave edilen süttlerden üretilen yoğurt örneklerine ait olduğunu tespit edilmiştir [40]. Kalsiyum klorürün probiyotik yoğurt örneklerinin pH ve titrasyon asitliği değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeye etki etmediği belirlenmiştir ( $p > 0.05$ ). Singh ve Muthukumarappan [20] ile Kausik ve Arora [37] yaptıkları çalışmalarda kalsiyumla zenginleştirdikleri süttten ürettikleri yoğurtların pH ve titrasyon asitliği değerleri ile süte kalsiyum ilave etmeden ürettikleri kontrol yoğurtlarının pH ve titrasyon asitliği değerleri arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olmadığını tespit etmişlerdir. Depolama süresince laktik asit bakterilerinin aktivitesine [38] bağlı olarak probiyotik yoğurt örneklerinin pH değerleri azalırken titrasyon asitliği değerlerinin arttığı saptanmıştır (Tablo 1).

Probiyotik yoğurt örneklerinin serum ayrılması değerleri incelendiğinde, en yüksek serum ayrılması değerleri inülin ilave edilen süttten üretilen probiyotik yoğurt örneklerinde saptanırken, en düşük serum ayrılması değerlerinin peyniraltı suyu izolatu ilave edilen süttlerden üretilen probiyotik yoğurt örneklerine ait olduğu belirlenmiştir (Şekil 4c). Güven ve ark. [41] yaptıkları çalışmada, %1.0 inülin+%4.3 yağsız süt tozu, %2.0 inülin+%3.3 yağsız süt tozu ve %3.0 inülin+%2.3 yağsız süt tozu ilave ettikleri yağsız süttlerden kurumadde değeri yaklaşık %13.5 olan yoğurtlar üretmişler ve yoğurt örneklerindeki serum ayrılması değerlerini

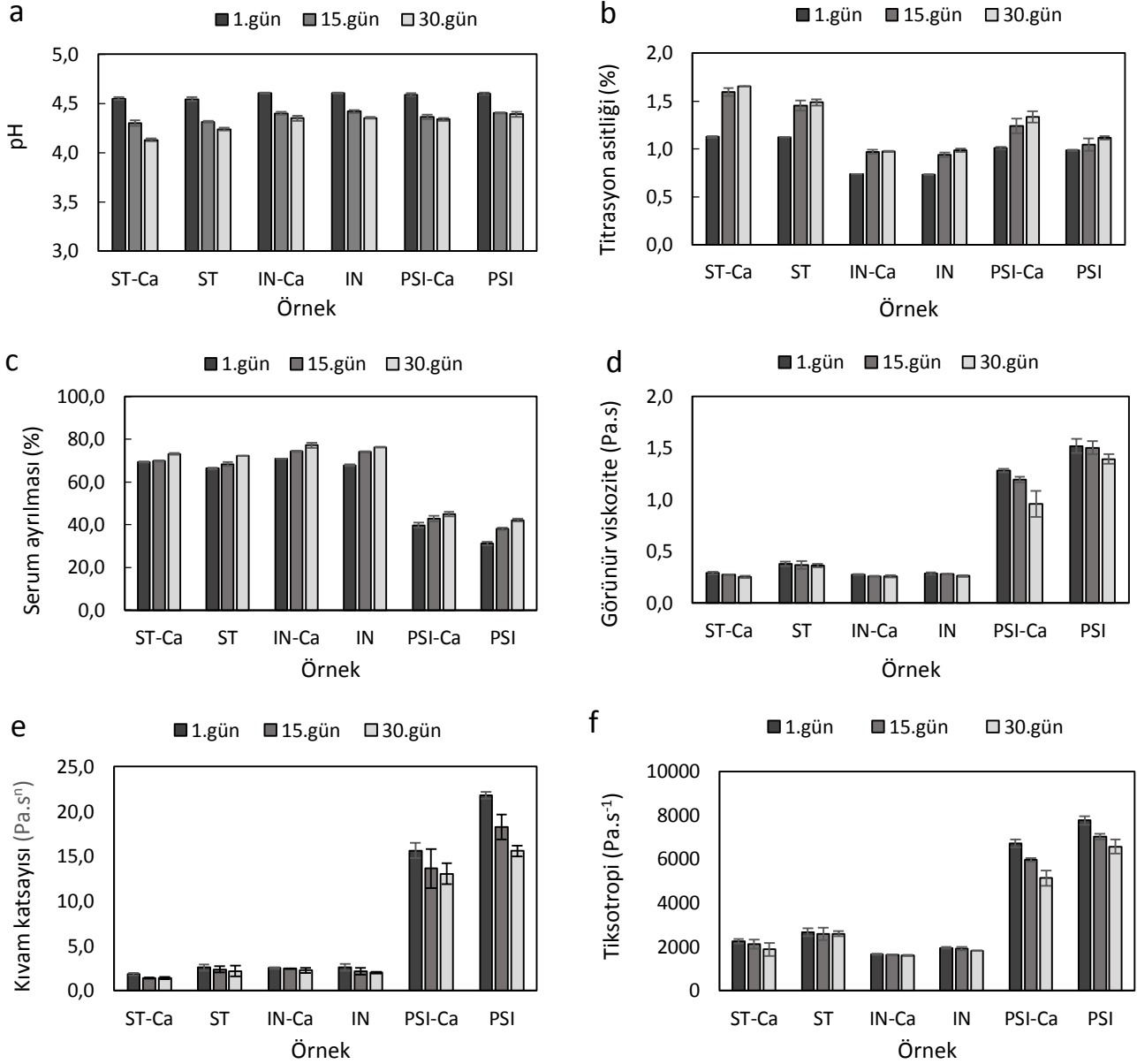
depolamanın 1. gününde sırasıyla 23.8 g/100 g yoğurt, 29.64 g/100 g ve 33.32 g/100 g olarak belirlemişlerdir. Sütün kurumaddesinin artırılmasında prebiyotik ve stabilizatörler gibi polisakkarit yapıdaki maddelerin kullanımının yoğurdun jel yapısı içinde yeniden düzenlemelere neden olduğu ve bunun da jel dengesini bozabildiği bildirilmiştir [42, 43]. Yapılan başka bir çalışmada tam yağlı süte %2 oranlarında yağsız süt tozu, sodyum kalsiyum kazeinat ve peyniraltı suyu protein konsantrati ilave edildikten sonra prebiyotik yoğurt üretilmiştir. Depolama süresince en düşük serum ayrılması değerlerinin peyniraltı suyu konsantresi ilave edilmiş süttten üretilen prebiyotik yoğurt örneklerine ait olduğu saptanmıştır [44]. Puvanenthiran ve ark. [45] süte eklenen peyniraltı suyu konsantrati miktarının artmasıyla birlikte yoğurt jelinin yoğunluğunun arttığını, jeli oluşturan pıhtı parçacıklarının boyutlarının ve gözeneklerin küçüldüğünü ve buna bağlı olarak da yoğurttan ayrılan serum miktarının azaldığını belirtmişlerdir. Ayrıca, yoğurt üretiminde kullanılan sütlerin protein oranının artmasına bağlı olarak yoğurtlarda serum ayrılmasının azaldığı bildirmişlerdir. Mevcut çalışmada tespit edilen prebiyotik yoğurt örneklerinin serum ayrılması değerleri arasındaki farklılığın üretimde kullanılan sütlerin bileşimlerinin özellikle de protein içeriklerinin farklı olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Kalsiyum ilavesinin prebiyotik yoğurt örneklerindeki serum ayrılması değerleri üzerine etkisi Tablo 1'de verilmiştir. Szajnar ve ark. [46] kalsiyum klorür ile zenginleştirilen sütlerden üretilen yoğurt örneklerinin ortalama serum ayrılması değerlerinin yaklaşık %45; kalsiyum klorür içermeyen sütlerden üretilen yoğurt örneklerinin ise ortalama serum ayrılması değerinin yaklaşık %37 olduğunu saptamışlardır. Başka bir çalışmada ise kalsiyum klorür ile zenginleştirilen ve zenginleştirilmeyen sütlerden üretilen prebiyotik fermente ürünlerin ortalama serum ayrılması değerlerinin sırasıyla %69.5 ve %63.1 olduğu belirlenmiştir [8]. Mevcut çalışmada belirlenen serum ayrılması değerleri yukarıda paylaşılan çalışmaların sonuçları ile benzerlik göstermiş ve diğer işlem koşullarıyla birlikte kalsiyum ilavesinin de serum ayrılması değerlerini etkileyebileceği değerlendirilmiştir. Ayrıca yapılan bu çalışmada prebiyotik yoğurt örneklerinin serum ayrılması değerlerinin depolama süresince arttığı tespit edilmiştir. Depolama süresince serum ayrılması değerlerinin düşmesinin yoğurtların titrasyon asitliği değerlerinin artması ve buna bağlı olarak proteinlerin yapısal olarak yeniden düzenlenmesiyle ilgili olabileceği bildirilmiştir [47].

Şekil 4'te görüldüğü üzere prebiyotik yoğurt örneklerine ait görünür viskozite, kıvam katsayısı ve tiksotropi değerlerinin sırasıyla 0.25 ile 1.52 Pa.s, 1.38 ile 21.82

Pa.s<sup>n</sup> ve 1879.04 ile 7760.80 Pa.s<sup>-1</sup> arasında değiştiği belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada, akışkanların Newtoniyen akış davranışa yönelik eğilimini gösteren akış davranış indeksi (n) değerlerinin 0.18 ile 0.46 arasında değiştiği belirlenmiştir. Üretilen prebiyotik yoğurt örneklerinin Newtoniyen olmayan (n<1) psödoplastik akış davranışı gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Probiyotik yoğurt örneklerinin reolojik ölçümlerine ait çıkış ve iniş eğrilerindeki kayma gerilimi ve kayma hızı değerlerine üslü yasa modeli uygulanmış ve model için elde edilen regresyon katsayılarının 0.89 ile 0.96 arasında değiştiği saptanmıştır. Süte kalsiyum ilavesinin yoğurdun reolojik üzerine etkisinin incelendiği çalışmalarda; akış davranış indeksi değerlerinin prebiyotik yoğurt örneklerinde, 0.11-0.27 [17], yoğurt örneklerinde ise 0.31-0.39 [48] arasında değiştiği ve yoğurt örneklerinin üslü yasa modeline uyduğu belirtilmiştir. Mevcut çalışmanın sonuçlarının literatürdeki benzer çalışmaların sonuçlarıyla uyumlu olduğu görülmüştür.

Süt tozu ve inülin ile kurumaddesi artırılan sütlerden üretilen prebiyotik yoğurt örneklerinin görünür viskozite ve kıvam katsayısı değerleri arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olmadığı (p>0.05), peyniraltı suyu izolatu ile kurumadde değeri artırılan süttten üretilen prebiyotik yoğurt örneklerinin ise görünür viskozite, kıvam katsayısı ve tiksotropi değerlerinin diğer örnekler göre istatistiksel olarak yüksek olduğu saptanmıştır (p<0.05). Yoğurt üretiminde ısı işlem sırasında denatürasyona uğrayan  $\beta$ -laktoglobulinin yapısında bulunan kovalent disülfid bağları açılmaktadır. Fermantasyon süresince ortam asitliğinin yükselmesi sonucunda hidrofobik ve disülfid bağları yoluyla  $\beta$ -laktoglobulin/k-kazein kompleksleri oluşmaktadır. Söz konusu kompleksler sonucunda küçük gözenekli, daha sıkı ve homojen yapıda yoğurt jelleri elde edilebilmektedir [49, 50]. Yapılan bu çalışmada peyniraltı suyu protein izolatu ilave edilen sütlerden üretilen prebiyotik yoğurt örneklerinin yüksek görünür viskozite, kıvam katsayısı ve tiksotropi değerlerine sahip olması ısı işlem ve fermantasyon işlemleri sonucunda süt proteinlerinde meydana gelen değişikliklerle açıklanabileceği değerlendirilmiştir. Ayrıca, süt tozu ilave edilen sütlerden üretilen prebiyotik yoğurt örneklerinin tiksotropi değerlerinin kurumaddesi inülin ile artırılan sütlerden üretilen örnekler göre istatistiksel olarak yüksek olduğu belirlenmiştir (p<0.05). Süt tozu ilave edilen sütlerin protein oranının inülin ilave edilen sütlerden yüksek olmasının [51] ve ayrıca protein ile polisakkarit arasındaki etkileşimlerle oluşan komplekslerin çözünürlüğünün ve hidrasyon kapasitesinin düşük olmasının [52] söz konusu duruma neden olabileceği değerlendirilmiştir.



Şekil 4. Probiyotik yoğurt örneklerine ait pH (a), titrasyon asitliği (b), serum ayrılması (c), görünür viskozite (d), kıvam katsayısı (e), tiksotropi (f) değerleri. ST-Ca, süt tozu kullanılarak kurumaddesi artırılan ve kalsiyum klorür eklenen süttten üretilen probiyotik yoğurt. ST, süt tozu kullanılarak kurumaddesi artırılan süt ile üretilen probiyotik yoğurt. IN-Ca, inülin kullanılarak kurumaddesi artırılan ve kalsiyum klorür eklenen süttten üretilen probiyotik yoğurt. IN, inülin kullanılarak kurumaddesi artırılan süt ile üretilen probiyotik yoğurt. PSI-Ca, peyniraltı suyu izolatu kullanılarak kurumaddesi artırılan ve kalsiyum klorür eklenen süttten üretilen probiyotik yoğurt. PSI, peyniraltı suyu izolatu kullanılarak kurumaddesi artırılan süt ile üretilen probiyotik yoğurt. Hata çubukları standart sapma değerlerini göstermektedir.

Figure 4. pH (a), titratable acidity (b), syneresis (c), apparent viscosity (d), consistency coefficient (e), thixotropy (f) values of probiotic yoghurt samples. St-Ca, probiotic yoghurt produced from milk whose dry matter was increased with milk powder and calcium chloride-added. St, probiotic yoghurt produced from milk whose dry matter was increased with milk powder. IN-Ca, probiotic yoghurt produced from milk whose dry matter was increased with inulin and calcium chloride-added. IN, probiotic yoghurt produced from milk whose dry matter was increased with inulin. PSI-Ca, probiotic yoghurt produced from milk whose dry matter was increased with whey isolate and calcium chloride-added. PSI, probiotic yoghurt produced from milk whose dry matter was increased with whey isolate. Error bars represent the standard deviation of means.

Kalsiyum klorür eklenerek kalsiyum açısından zenginleştirilen süttlerden üretilen probiyotik yoğurt örneklerinin görünür viskozite, kıvam katsayısı ve tiksotropi değerlerinin kalsiyum klorür ilave edilmeyen süttlerden üretilen probiyotik yoğurt örneklerine göre

düşük, akış davranış indeksi değerlerinin ise yüksek olduğu belirlenmiştir. Süte kalsiyum klorür eklenmesinin yoğurtların görünür viskozitesini artırması ve reolojik özelliklerini geliştirmesi beklenmekte ve bu durumun mekanizması kalsiyumun kazein miselinde ve serum



fazda bulunmasıyla ilişkilendirilerek şu şekilde açıklanmaktadır: Isıl işlem sırasında sütteki kalsiyumun çözünürlüğü azalmakta ve kalsiyum, kazein misellerinin yapısına koloidal kalsiyum fosfat olarak katılmaktadır. Sütün fermantasyonu sırasında asitliğin artmasına bağlı olarak koloidal kalsiyum fosfatın çözünürlüğü artmakta ve sütün serum fazında serbest halde daha fazla kalsiyum iyonu bulunmaktadır. Serum fazda bulunan serbest haldeki kalsiyum, kazein misellerinde bulunan glutamat ve aspartat aminoasitlerinin karboksil gruplarına bağlanmakta ve negatif yüklü kazein miselleri arasında bağ oluşması sağlanmaktadır. Ayrıca ısı işlem peyniraltı suyu proteinlerinin denatüre olmasına neden olmaktadır.  $\beta$ -laktoglobulin ile  $\kappa$ -kazein,  $\alpha$ -laktalbumin ve diğer  $\beta$ -laktoglobulinler arasında yeni sülfidril bağları oluşmakta ve sonuç olarak sert yoğurt jelleri elde edilebilmektedir [53]. Bununla birlikte, kalsiyumun miktarı, farklı kalsiyum tuzlarının kullanılması, kalsiyumun ısı işleminden önce veya sonra eklenmesi, sütün bileşimi ve süte uygulanan ısı işlem sütteki kalsiyum-fosfat-kazein-peyniraltı suyu protein dengesi ile sütün yapısını etkilemekte ve söz konusu durum bu sütlerden üretilen yoğurtların fizikokimyasal özelliklerini değiştirebilmektedir [54, 55]. Koutina ve ark. [53] 30 mM kalsiyum klorür ilave ettikleri sütlerde 90°C'de 10 dakika ısı işlem öncesi ve sonrasında kazein miselindeki ve serum fazdaki kalsiyum miktarını ölçmüşler ve pH 6.0'a ayarladıkları sütlerde ısı işlem öncesinde kazein miselindeki ve serum fazdaki kalsiyum miktarını sırasıyla 24.0 ve 32.7 mM olarak belirlerken; yukarıdaki genel bilginin aksine ısı işlem sonrasında kazein miselindeki kalsiyum miktarının azalarak 20.5 mM'a, serum fazdaki kalsiyum miktarının ise artarak 36.1 mM ulaştığını tespit etmişlerdir. Mevcut çalışmaya benzer olarak yapılan bir çalışmada, jelatin, inülin ve beyaz şeker eklenen sültere ısı işleminden (92°C'de 7 dakika) önce farklı oranlarda (1.00, 1.70, ve 2.37 mM) kalsiyum klorür ilave edilerek probiyotik yoğurt üretilmiş ve kalsiyum klorür eklenmeyen sülterden üretilen probiyotik yoğurtlar ile 1.00, 1.70 ve 2.37 mM kalsiyum klorür eklenerek üretilen probiyotik yoğurt örneklerinin görünür viskozite değerlerinin sırasıyla 22.20 ile 20.52, 20.44 ve 19.14 cP olduğu belirlenmiştir. Süte kalsiyum klorür ilavesinin probiyotik yoğurtların viskozite değerlerinin düşmesine neden olduğu bildirilmiştir [10]. Başka bir çalışmada, sültere 80 mg/100 g farklı kalsiyum tuzları (kalsiyum karbonat, kalsiyum laktat, kalsiyum sitrat, kalsiyum bisglisinat, kalsiyum glukonat, kalsiyum klorür) ilave edilerek veya edilmeksizin ısı işlem (72°C'de 15 s) uygulanmış ve 37°C'ye soğutulan sültere *Bifidobacterium animalis* ssp. *lactis* Bb-12 veya *Lactobacillus rhamnosus* aşılanaarak fermente ürünler üretilmiştir. Her iki bakteri için de depolama süresince kalsiyum klorür ilave edilmeksizin üretilen ürünlerde jelin sertlik değerlerinin kalsiyum klorür ilave edilen sülterden üretilen örnekler göre yüksek olduğu belirlenmiştir [8]. Başka bir çalışmada, kalsiyum laktat eklenen sülterden üretilen meyveli yoğurt örneklerinin görünür viskozite ve kıvam katsayısı değerlerinin sırasıyla ortalama 1.75

Pa.s ve 23.2 Pa.s<sup>n</sup>; kalsiyum ilave edilmeyen sülterden üretilen kontrol örneklerinde ise bu değerlerin sırasıyla ortalama 1.67 Pa.s ve 40.6 Pa.s<sup>n</sup> olduğu belirlenmiştir. Meyveli yoğurt örneklerinin dinamik reolojik davranışları incelendiğinde ise, kalsiyum laktat ilavesinin meyveli yoğurt örneklerinin viskoelastik özelliklerini etkilemediği ve yoğurt jelinin oluşumunda benzer kimyasal bağların görev aldığı belirtilmiştir [17].

Probiyotik yoğurt örneklerine ait granül sayısı, granül çevre uzunluğu ve görsel pürüzlülük değerleri Şekil 5'te verilmiştir. En yüksek granül sayısı, granül çevre uzunluğu ve görsel pürüzlülük değerleri kurumadde miktarı peyniraltı suyu izolatu ile artırılan sülterden üretilen probiyotik yoğurt örneklerinde belirlenmiştir. Süt tozu ile kurumaddeyi artırılan sülterden üretilen probiyotik yoğurt örneklerindeki granül sayısının kurumaddeyi inülin ilave edilerek artırılan sülterden üretilen probiyotik yoğurt örneklerine göre yüksek olduğu saptanırken ( $p < 0.05$ ), granül çevre uzunluğu ve görsel pürüzlülük değerleri açısından örnekler arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olmadığı tespit edilmiştir ( $p > 0.05$ ) (Tablo 2). Jørgensen ve ark. [51] yoğurtta protein miktarı artışına bağlı olarak granül sayısının ve pürüzlülüğün arttığını bildirmişlerdir. Yapılan başka bir çalışmada ise peyniraltı suyu proteini kazein oranının artmasına bağlı olarak yoğurtta granül sayısı, granül çevre uzunluğu ve görsel pürüzlülük değerlerinin arttığı belirlenmiştir [30]. Bu bağlamda, mevcut çalışmanın sonuçlarının literatürdeki diğer çalışmalarla uyumlu olduğu değerlendirilmiştir.

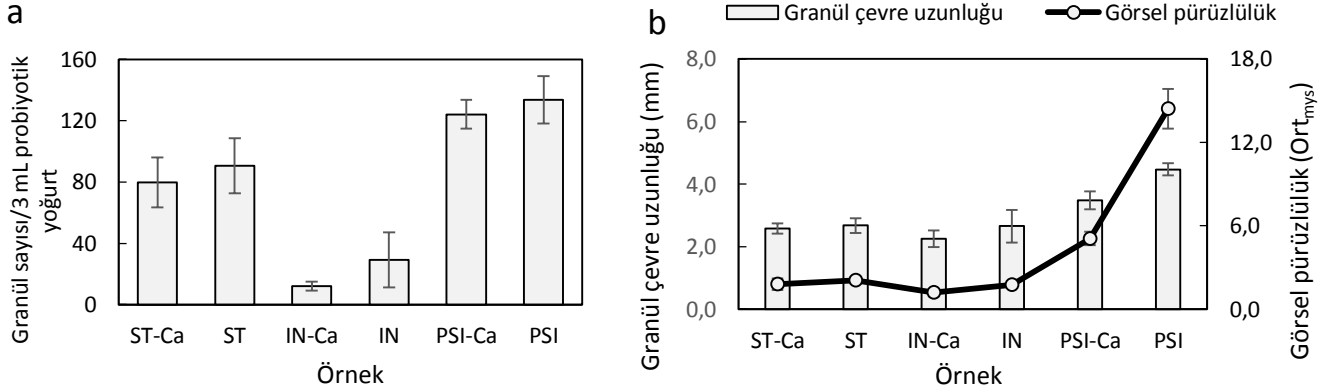
Kalsiyum klorür eklenerek kalsiyum açısından zenginleştirilen sülterden üretilen probiyotik yoğurt örneklerinin granül sayısı, granül çevre uzunluğu ve görsel pürüzlülük değerlerinin kalsiyum klorür ilave edilmeyen sülterden üretilen probiyotik yoğurt örneklerine göre düşük olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2). Kalsiyum klorür eklenen ve farklı yöntemlerle kalsiyum miktarı azaltılan sülterden yoğurt üretilen bir çalışmada, kalsiyum klorür miktarındaki artış veya azalma ile birlikte yoğurttaki granül sayısının arttığı saptanmıştır [10]. Süte kalsiyum miktarındaki artışın peyniraltı suyu proteinlerinin denatürasyonunu artırarak kazein ile ilişkisinin desteklenmesine, kalsiyum miktarındaki azalışın ise koloidal kalsiyum fosfat çözünürlüğünün artmasına bağlı olarak kazein parçacıklarının sütün serum fazında serbest hale geçmesine neden olduğu ve söz konusu iki durumun da yoğurtta granül sayısının artmasında etkili olabileceği bildirilmiştir [10]. Bununla birlikte, Nguyen ve ark. [54] kazein ve peyniraltı suyu proteinlerin kalsiyuma yarışmalı olarak bağlandığını, ortamdaki peyniraltı suyu izolatu, sodyum kazeinat ve kalsiyum klorür miktarına bağlı olarak bağlanma şeklinin ve jel yapısının değiştiğini belirtmişlerdir. Mevcut çalışmadaki sonuçların diğer çalışmadan farklılık göstermesinin yoğurt üretimlerinde kullanılan sülterin bileşimlerinin farklı olmasından kaynaklanabileceği değerlendirilmiştir.

Tablo 1. Probiyotik yoğurt örneklerinde depolama sürecinde belirlenen pH, titrasyon asitliği, serum ayrılması, görünür viskozite, kıvam katsayısı ve tiksotropi değerlerine ait ortalamaların varyans analiz ve Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Table 1. Variance analysis and Duncan Multiple Comparison Test results of the averages of pH, titratable acidity, syneresis, apparent viscosity, consistency coefficient and thixotropy values in probiotic yoghurt samples

| Ana varyasyon kaynakları                | pH         | Titrasyon asitliği (%) | Serum ayrılması (%) | Görünür viskozite (Pa.s) | Kıvam katsayısı (Pa.s <sup>n</sup> ) | Tiksotropi (Pa.s <sup>-1</sup> ) |
|---|------------|------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| Kurumadde artırımında kullanılan tozlar | ***        | ***                    | ***                 | ***                      | ***                                  | ***                              |
| Süt tozu                                | 4.35±0.16b | 1.40±0.22a             | 69.86±2.40b         | 0.32±0.05b               | 2.33±0.28b                           | 2349.08±336.05b                  |
| İnülin                                  | 4.46±0.11a | 0.89±0.12c             | 73.47±3.37a         | 0.27±0.01b               | 1.97±0.53b                           | 1762.66±145.43c                  |
| Peyniraltı suyu izolatu                 | 4.45±0.11a | 1.13±0.13b             | 39.82±4.53c         | 1.31±0.20a               | 16.32±3.10a                          | 6528.01±840.05a                  |
| Kalsiyum ilavesi                        | -          | -                      | ***                 | ***                      | ***                                  | ***                              |
| Var                                     | 4.40±0.15a | 1.13±0.30a             | 62.48±14.77a        | 0.56±0.43b               | 6.02±5.96b                           | 3218.64±2031.73b                 |
| Yok                                     | 4.43±0.12a | 1.12±0.23a             | 59.62±16.40b        | 0.71±0.55a               | 7.73±7.81a                           | 3874.53±2332.86a                 |
| Depolama                                | ***        | ***                    | ***                 | -                        | ***                                  | ***                              |
| 1. gün                                  | 4.58±0.03a | 0.95±0.17c             | 57.54±16.61c        | 0.66±0.55a               | 7.83±8.26a                           | 3833.15±2556.97a                 |
| 15. gün                                 | 4.37±0.05b | 1.19±0.25b             | 61.28±14.94b        | 0.64±0.51a               | 6.72±6.70b                           | 3541.79±2134.49b                 |
| 30. gün                                 | 4.30±0.09c | 1.25±0.27a             | 64.32±15.47a        | 0.60±0.46a               | 6.08±6.15b                           | 3264.82±1988.05c                 |

-İstatistiksel olarak önemsiz, \* p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001 düzeyinde önemlidir. Aynı sütündeki farklı harfler istatistiksel olarak p<0.05 düzeyinde önemliliği belirtmektedir.



Şekil 5. Probiyotik yoğurt örneklerine ait granül sayısı (a), granül çevre uzunluğu ve görsel pürüzlülük değerleri (b). ST-Ca, süt tozu kullanılarak kurumaddesi artırılan ve kalsiyum klorür eklenen süttten üretilen probiyotik yoğurt. ST, süt tozu kullanılarak kurumaddesi artırılan süt ile üretilen probiyotik yoğurt. IN-Ca, inülin kullanılarak kurumaddesi artırılan ve kalsiyum klorür eklenen süttten üretilen probiyotik yoğurt. IN, inülin kullanılarak kurumaddesi artırılan süt ile üretilen probiyotik yoğurt. PSI-Ca, peyniraltı suyu izolatu kullanılarak kurumaddesi artırılan ve kalsiyum klorür eklenen süttten üretilen probiyotik yoğurt. PSI, peyniraltı suyu izolatu kullanılarak kurumaddesi artırılan süt ile üretilen probiyotik yoğurt. Hata çubukları standart sapma değerlerini göstermektedir.

Figure 5. Number of grain (a), perimeter of grain and visual roughness (b) values of probiotic yoghurt samples. St-Ca, probiotic yoghurt produced from milk whose dry matter was increased with milk powder and calcium chloride-added. St, probiotic yoghurt produced from milk whose dry matter was increased with milk powder. IN-Ca, probiotic yoghurt produced from milk whose dry matter was increased with inulin and calcium chloride-added. IN, probiotic yoghurt produced from milk whose dry matter was increased with inulin. PSI-Ca, probiotic yoghurt produced from milk whose dry matter was increased with whey isolate and calcium chloride-added. PSI, probiotic yoghurt produced from milk whose dry matter was increased with whey isolate. Error bars represent the standard deviations of means.

### Probiyotik Yoğurt Örneklerinin Duyusal Özellikleri

Probiyotik yoğurt örneklerine ait görünüş, tat, yapı ve genel beğeni puanları Şekil 6'de verilmiştir. En yüksek görünüş ve tat puanları depolamanın 1. gününde süt tozu ile kurumaddesi artırılan ve kalsiyum açısından zenginleştirilen süttten üretilen probiyotik yoğurt örneklerinde belirlenmiştir. Peyniraltı suyu izolatu ilave edilen süttten üretilen probiyotik yoğurt örneğinin yapı ve genel beğeni puanlarının depolamanın tüm günleri için diğer örneklerden düşük olduğu tespit edilmiştir. Söz

konusu örneğin granül sayısı, granül çevre uzunluğu ve görsel pürüzlülük değerlerinin yüksek olmasının yapı puanlarını olumsuz etkilemiş olabileceği değerlendirilmiştir.

Probiyotik yoğurt örneklerinin görünüş, tat, yapı ve genel beğeni puanlarının süte kalsiyum klorür ilavesinden istatistiksel olarak önemli düzeyde etkilenmediği belirlenmiştir (p>0.05) (Tablo 3). Bununla birlikte, kalsiyum klorür ilavesi yapılan süttlerden üretilen probiyotik yoğurt örneklerinde görünüş, yapı ve genel

beğeni puanlarının kalsiyum klorür ilave edilmeyen sütlerden üretilen yoğurt örneklerinden yüksek olduğu, söz konusu durumun kalsiyum ilavesinin probiyotik yoğurt örneklerindeki granül sayısı, granül çevre uzunluğu ve görsel pürüzlülük değerlerini azaltmasından kaynaklanabileceği değerlendirilmiştir. Santillán-Urquiza ve ark. [48] yaptıkları çalışmada kalsiyum açısından zenginleştirilen sütlerden üretilen yoğurtlar ile kalsiyum ilave edilmeyen süttten üretilen kontrol yoğurtlarının

tüketici tarafından genel kabul edilebilirlik puanlarının benzer olduğunu; Singh ve Muthukumarappan [20] ise süte kalsiyum ilavesinin meyveli yoğurtların tat, yapı, görünüş ve kabul edilebilirlik puanları üzerine istatistiksel açıdan önemli düzeyde etki etmediğini bildirmişlerdir. Yapılan bu çalışmada probiyotik yoğurt örneklerinin depolama süresince görünüş, tat, yapı ve genel beğeni puanlarının azaldığı tespit edilmiştir.

Tablo 2. Probiyotik yoğurt örneklerindeki granül sayısı, granül çevre uzunluğu ve görsel pürüzlülük değerlerine ait ortalamaların varyans analiz ve Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

**Table 2. Variance analysis and Duncan Multiple Comparison Test results of the averages of grains number, grain perimeter and visual roughness values in probiotic yoghurt samples**

| Ana varyasyon kaynakları                | Granül sayısı/3 mL yoğurt | Granül çevre uzunluğu (mm) | Görsel pürüzlülük (Ort <sub>mys</sub> ) |
|---|---------------------------|----------------------------|---|
| Kurumadde artırımında kullanılan tozlar | ***                       | ***                        | ***                                     |
| Süt tozu                                | 85.08±17.98b              | 2.63±0.21b                 | 1.94±0.36b                              |
| İnülin                                  | 20.67±11.99c              | 2.46±0.46b                 | 1.46±0.34b                              |
| Peyniraltı suyu izolatu                 | 128.83±13.61a             | 3.98±0.55a                 | 9.76±4.79a                              |
| Kalsiyum ilavesi                        | *                         | ***                        | ***                                     |
| Var                                     | 71.94±47.42b              | 2.78±0.57b                 | 2.69±1.76b                              |
| Yok                                     | 84.44±45.34a              | 3.27±0.92a                 | 6.08±5.97a                              |

-İstatistiksel olarak önemsiz, \* p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001 düzeyinde önemlidir. Aynı sütündeki farklı harfler istatistiksel olarak p<0.05 düzeyinde önemliliği belirtmektedir.

Tablo 3. Probiyotik yoğurt örneklerinde depolama sürecinde belirlenen görünüş, tat, yapı ve genel beğeni puanlarına ait ortalamaların varyans analiz ve Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

**Table 3. Variance analysis and Duncan Multiple Comparison Test results of the averages of appearance, taste, texture and overall appreciation scores in probiotic yoghurt samples**

| Ana varyasyon kaynakları                | Görünüş puanı (Tam puan=5) | Tat puanı (Tam puan=5) | Yapı puanı (Tam puan=5) | Genel beğeni puanı (Tam puan=5) |
|---|----------------------------|------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| Kurumadde artırımında kullanılan tozlar | *                          | -                      | ***                     | -                               |
| Süt tozu                                | 3.62±0.64a                 | 2.85±0.63a             | 3.07±0.64a              | 2.67±1.13a                      |
| İnülin                                  | 3.41±0.53ba                | 2.80±0.54a             | 3.10±0.51a              | 2.71±0.88a                      |
| Peyniraltı suyu izolatu                 | 3.12±0.88b                 | 2.65±0.54a             | 2.36±0.70b              | 2.26±1.22a                      |
| Kalsiyum ilavesi                        | -                          | -                      | -                       | -                               |
| Var                                     | 3.54±0.60a                 | 2.77±0.53a             | 2.95±0.54a              | 2.65±1.09a                      |
| Yok                                     | 3.23±0.81a                 | 2.76±0.61a             | 2.73±0.84a              | 2.44±1.11a                      |
| Depolama                                | ***                        | ***                    | ***                     | ***                             |
| 1. gün                                  | 3.89±0.75a                 | 3.36±0.35a             | 3.26±0.84a              | 3.00±1.03a                      |
| 15. gün                                 | 3.33±0.48b                 | 2.62±0.30b             | 2.69±0.49b              | 2.52±0.97b                      |
| 30. gün                                 | 2.93±0.57c                 | 2.32±0.44c             | 2.58±0.55b              | 2.12±1.11b                      |

-İstatistiksel olarak önemsiz, \* p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001 düzeyinde önemlidir. Aynı sütündeki farklı harfler istatistiksel olarak p<0.05 düzeyinde önemliliği belirtmektedir.

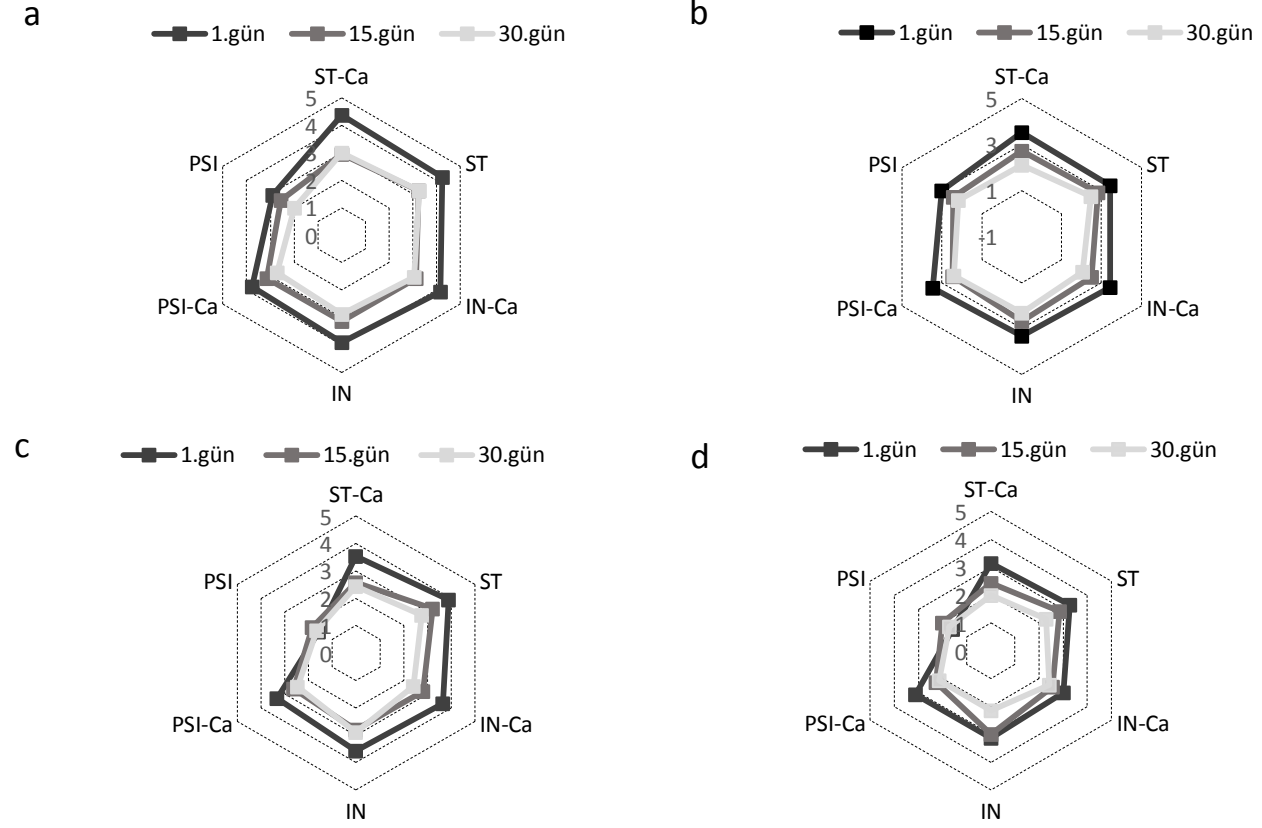
### Probiyotik Yoğurt Örneklerinin Mikrobiyolojik Özellikleri

Probiyotik yoğurt örneklerindeki *S. thermophilus*, *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *L. paracasei* sayılarının depolama süresince sırasıyla 7.67-9.23-, 6.14-8.26-ve 7.71-8.98 log kob/g arasında değiştiği belirlenmiştir (Şekil 7). Kurumadde artırımında kullanılan süt tozu, inülin ve peyniraltı suyu protein izolatu probiyotik yoğurt örneklerindeki *S. thermophilus* ve *L. paracasei* sayılarını istatistiksel olarak önemli düzeyde etkilemediği (p>0.05); *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* sayısının ise süt tozu eklenen süttten üretilen probiyotik yoğurt örneklerinde diğer örneklere göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir (p<0.05). Glusac ve ark. [56] ile Annutes ve ark. [57] yaptıkları çalışmalarda süte peyniraltı suyu

konsantratu ekledikleri süttten yoğurt üretmişler ve peyniraltı suyu konsantratu ilavesinin yoğurt örneklerindeki *S. thermophilus* ve *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* sayılarını değiştirmediğini bildirmişlerdir. Canbulat ve Ozcan [58] yaptıkları çalışmada inülin ekledikleri sütlerden ürettikleri yoğurtlarda *Lactobacillus rhamnosus* sayısı üzerine inülinin istatistiksel olarak önemli düzeyde etkisinin olmadığını belirlemişlerdir. Helal ve ark. [52] %1, 2 ve 3 oranında inülin ekledikleri sütlerden ürettikleri yoğurtlarda inülinin *S. thermophilus* canlılığı üzerine istatistiksel olarak etki etmediğini, *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* canlılığının %1 ve 2 oranlarında inülin ilavesinden olumlu, %3 inülin ilavesinden ise olumsuz etkilendiğini tespit etmişlerdir. Yapılan çalışmada kalsiyum klorür ilavesi ile kalsiyum açısından zenginleştirilen sütlerden üretilen probiyotik

yoğurt örneklerindeki *S. thermophilus* sayısının kalsiyum klorür ilave edilmeyen sütlerden üretilen probiyotik yoğurt örneklerine göre düşük olduğu saptanırken, *L.*

*delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *L. paracasei* canlılığının kalsiyum klorür ilavesinden etkilenmediği tespit edilmiştir.

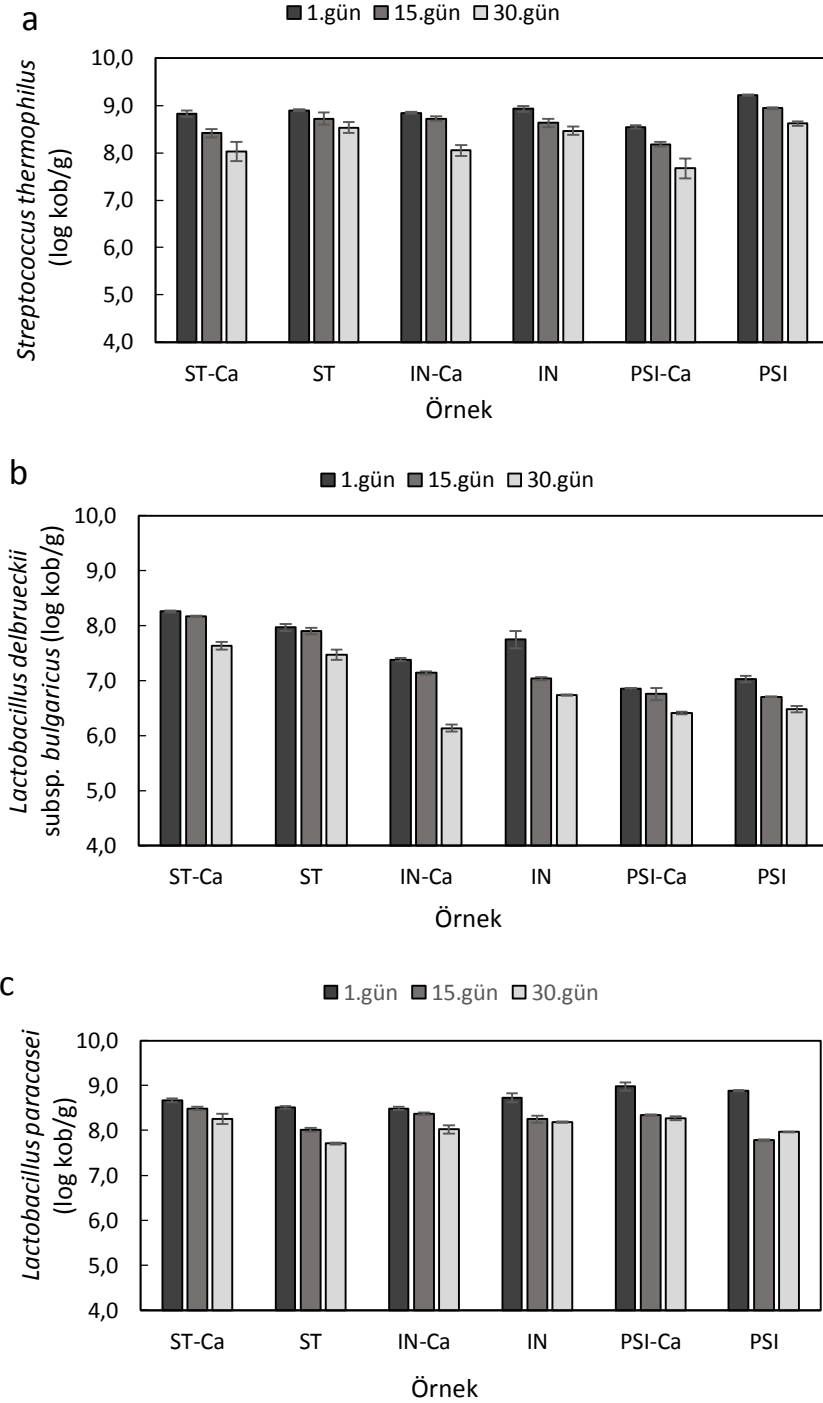


Şekil 6. Probiyotik yoğurt örneklerine ait görünüş (a), tat (b), yapı (c) ve genel beğeni puanları (d). ST-Ca; süt tozu kullanılarak kurumaddesi artırılan ve kalsiyum klorür eklenen sütten üretilen probiyotik yoğurt, ST, süt tozu kullanılarak kurumaddesi artırılan süt ile üretilen probiyotik yoğurt. IN-Ca, inülin kullanılarak kurumaddesi artırılan ve kalsiyum klorür eklenen sütten üretilen probiyotik yoğurt. IN, inülin kullanılarak kurumaddesi artırılan süt ile üretilen probiyotik yoğurt. PSI-Ca, peyniraltı suyu izolatu kullanılarak kurumaddesi artırılan ve kalsiyum klorür eklenen sütten üretilen probiyotik yoğurt. PSI, peyniraltı suyu izolatu kullanılarak kurumaddesi artırılan süt ile üretilen probiyotik yoğurt. Hata çubukları standart sapma değerlerini göstermektedir.

**Figure 6. The appearance (a), taste (b), texture (c) and overall appreciation (d) scores of probiotic yoghurt samples. St-Ca; probiotic yoghurt produced from milk whose dry matter was increased with milk powder and calcium chloride-added. St; probiotic yoghurt produced from milk whose dry matter was increased with milk powder. IN-Ca; probiotic yoghurt produced from milk whose dry matter was increased with inulin and calcium chloride-added. IN; probiotic yoghurt produced from milk whose dry matter was increased with inulin. PSI-Ca; probiotic yoghurt produced from milk whose dry matter was increased with whey isolate and calcium chloride-added. PSI; probiotic yoghurt produced from milk whose dry matter was increased with whey isolate. Error bars represent the standard deviations of means.**

Farklı bir çalışmada, kalsiyum klorür ilave edilen ve edilmeyen sütlerden *Bifidobacterium animalis* ssp. *lactis* Bb-12 ve *Lactobacillus rhamnosus* ile fermente içecekler üretilmiştir. Kalsiyum klorür ilavesinin 21 günlük depolama süresinin sonunda probiyotik bakterilerinin gelişimini etkilemediği saptanmıştır [8]. Başka bir çalışmada, 400, 600 veya 800 mg/100 g düzeylerinde kalsiyum laktik ilave edilen ve sukroz ile mısır nişastası içeren sütlerden yoğurt üretilmiş ve üretilen yoğurtlardaki laktik asit bakteri sayısının kalsiyum laktik içermeyen kontrol örnekleri ile benzer olduğu tespit edilmiştir [59]. Bununla birlikte Kaushik ve Aroara [37] yaptıkları çalışmada, süte kalsiyum fosfat ilavesinin *S. thermophilus* canlılığını olumsuz etkilediğini belirlemişler ve söz konusu durumun kalsiyum ilave edilen sütlerden

üretilen yoğurtlarda jel oluşumunun daha geç olmasından kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir. Mevcut çalışmada probiyotik yoğurt örneklerindeki *S. thermophilus*, *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *L. paracasei* sayılarının depolama süresince düştüğü tespit edilmiştir. Depolama süresince artan asitlikle birlikte laktik asit bakterilerinin sayısında azalma olabileceği değerlendirilmiştir [60].



Şekil 7 Probiyotik yoğurt örneklerindeki *Streptococcus thermophilus* sayısı (a), *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* sayısı (b) ve *Lactobacillus paracasei* sayısı (c). ST, süt tozu kullanılarak kurumaddesi artırılan süt ile üretilen probiyotik yoğurt. IN-Ca, inülin kullanılarak kurumaddesi artırılan ve kalsiyum klorür eklenen süten üretilen probiyotik yoğurt. IN, inülin kullanılarak kurumaddesi artırılan süt ile üretilen probiyotik yoğurt. PSI-Ca, peyniraltı suyu izolatu kullanılarak kurumaddesi artırılan ve kalsiyum klorür eklenen süten üretilen probiyotik yoğurt. PSI, peyniraltı suyu izolatu kullanılarak kurumaddesi artırılan süt ile üretilen probiyotik yoğurt. Hata çubukları standart sapma değerlerini göstermektedir.

Figure 7. Enumeration of *Streptococcus thermophilus* (a), *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* (b) and *Lactobacillus paracasei* (c) in probiotic yoghurt samples. St-Ca; probiotic yoghurt produced from milk whose dry matter was increased with milk powder, and calcium chloride-added, St; probiotic yoghurt produced from milk whose dry matter was increased with milk powder. IN-Ca; probiotic yoghurt produced from milk whose dry matter was increased with inulin and calcium chloride-added. IN; probiotic yoghurt produced from milk whose dry matter was increased with inulin. PSI-Ca; probiotic yoghurt produced from milk whose dry matter was increased with whey isolate and calcium chloride-added. PSI; probiotic yoghurt produced from milk whose dry matter was increased with whey isolate. Error bars represent the standard deviations of means.

## SONUÇ

Yapılan bu çalışmada, süt tozu, inülin veya peyniraltı suyu izolatu kullanılarak üretilen probiyotik yoğurt örneklerinin birbirlerinden farklı fizikokimyasal özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir. Peyniraltı suyu izolatının probiyotik yoğurt örneklerinin reolojik özelliklerini geliştirdiği saptanırken, görsel nitelikleri ile duyuşal özellik olarak yapı puanlarını olumsuz yönde etkilediği tespit edilmiştir. Sütün kurumadde artırımında süt tozu, inülin veya peyniraltı suyu izolatu kullanımının probiyotik yoğurt örneklerinin mikrobiyolojik özellikleri üzerine istatistiksel olarak etki etmediği belirlenmiştir ( $p>0.05$ ). Süte kalsiyum klorür ilavesinin probiyotik yoğurtların görsel nitelikleri ile duyuşal ve mikrobiyolojik özellikleri açısından herhangi bir etkisinin olmadığı saptanmıştır. Kalsiyum klorür ilavesinin probiyotik yoğurt örneklerinin serum ayrılması, görünür viskozite, kıvam katsayısı ve tiksotropi değerleri üzerine etkisinin olabileceği değerlendirilmekle birlikte konu ile ilgili yapılacak çalışmalarda miktar da dikkate alınarak farklı kalsiyum tuzları ilave edilmiş sütlerden üretilen probiyotik yoğurtların özelliklerinin belirlenmesine ve süte kalsiyum ilavesinin etkisinin net olarak ortaya konmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Sonuç olarak, konu ile ilgili olarak bundan sonra yapılacak çalışmalarda süte peyniraltı suyu izolatu ile kalsiyum klorür ilavesinin optimizasyonunun gerçekleştirilerek reolojik ve görsel özellikleri geliştirilmiş probiyotik yoğurt üretilbilmesinin mümkün olacağı değerlendirilmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] Özkaya, Ö.Ş. (2021). Yaşam kalitesi ve fonksiyonel besinler. *Fenerbahçe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 1(1), 62-68.
- [2] Türkmen, N., Gürsoy, A. (2017). Fonksiyonel Dondurma. *Akademik Gıda*, 15(4), 386-395.
- [3] Jørgensen, C.E., Abrahamsen, R.K., Rukke, E.O., Johansen, A.G., Schüller, R.B., Skeie, S.B. (2015). Improving the structure and rheology of high protein, low fat yoghurt with undenatured whey proteins. *International Dairy Journal*, 47, 6-18.
- [4] Le Roy, C.I., Kurilshikov, A., Leeming, E.R., Visconti, A., Bowyer, R.C., Menni, C., Falchi, M., Koutnikova, H., Veiga, P., Zhernakova, A., Derrien, M., Spector, T.D. (2022). Yoghurt consumption is associated with changes in the composition of the human gut microbiome and metabolome. *BMC Microbiology*, 22(1), 1-12.
- [5] Sarkar, S. (2019). Potentiality of probiotic yoghurt as a functional food—a review. *Nutrition & Food Science*, 49(2), 182-202.
- [6] Aspray, T.J. (2017). Calcium: Basic nutritional aspects. In *Molecular, Genetic, and Nutritional Aspects of Major and Trace Minerals*, Edited by Collins, J. Academic Press, Florida, ABD, 45p.
- [7] Özunal, A., Alim, N.E. (2022). Menopozal dönemde görülen osteoporozda kalsiyum ve D vitamininin rolü. *Türkiye Sağlık Araştırmaları Dergisi*, 3(1), 46-55.
- [8] Szajnar, K., Znamirowska, A., Kuźniar, P. (2020). Sensory and textural properties of fermented milk with viability of *Lactobacillus rhamnosus* and *Bifidobacterium animalis* ssp. *lactis* Bb-12 and increased calcium concentration. *International Journal of Food Properties*, 23(1), 582-598.
- [9] Deeth, H.C., Lewis, M.J. (2015). Practical consequences of calcium addition to and removal from milk and milk products. *International Journal of Dairy Technology*, 68(1), 1-10.
- [10] Ramasubramanian, L., Restuccia, C., Deeth, H.C. (2008). Effect of calcium on the physical properties of stirred probiotic yogurt. *Journal of Dairy Science*, 91(11), 4164-4175.
- [11] de Souza, W.F.C., do Amaral, C.R.S., da Silva Bernardino, P.D.L. (2021). The addition of skim milk powder and dairy cream influences the physicochemical properties and the sensory acceptance of concentrated Greek-style yogurt. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 24, 100349.
- [12] Atallah, A.A., Osman, A., Sitohy, M., Gemiel, D.G., El-Garhy, O.H., Azab, I.H.E., Fahim, N.H., Abdelmoniem, A.M., Mehana, A.E., Imbabi, T.A. (2021). Physiological performance of rabbits administered buffalo milk yogurts enriched with whey protein concentrate, calcium caseinate or spirulina platensis. *Foods*, 10(10), 2493.
- [13] Heydari, S., Mortazavian, A.M., Ehsani, M.R., Mohammadifar, M.A., Ezzatpanah, H. (2011). Biochemical, microbiological and sensory characteristics of probiotic yogurt containing various prebiotic compounds. *Italian Journal of Food Science*, 2(23), 153-163.
- [14] Yıldız-Akgül, F. (2018). Enhancement of torba yoghurt with whey protein isolates. *International Journal of Dairy Technology*, 71(4), 898-905.
- [15] Kamel, D.G., Hammam, A.R., Alsaleem, K.A., Osman, D.M. (2021). Addition of inulin to probiotic yogurt: Viability of probiotic bacteria (*Bifidobacterium bifidum*) and sensory characteristics. *Food Science & Nutrition*, 9(3), 1743-1749.
- [16] Gurram, S., Jha, D.K., Shah, D.S., Kshirsagar, M.M., Amin, P.D. (2021). Insights on the critical parameters affecting the probiotic viability during stabilization process and formulation development. *AAPS Pharmacology Science and Technology*, 22(5), 1-22.
- [17] Shori, A.B. (2016). Influence of food matrix on the viability of probiotic bacteria: A review based on dairy and non-dairy beverages. *Food Bioscience*, 13, 1-8.
- [18] Araújo, N.G., Barbosa, I.M., Lima, T.L.S., Moreira, R.T., Cardarelli, H.R. (2022). Development and characterization of lactose-free probiotic goat milk beverage with bioactive rich jambo pulp. *Journal of Food Science and Technology*, 1-13.
- [19] Alizadeh Khaledabad, M., Ghasempour, Z., Moghaddas Kia, E., Rezazad Bari, M., Zarrin, R. (2020). Probiotic yoghurt functionalised with microalgae and Zedo gum: chemical, microbiological, rheological and sensory characteristics. *International Journal of Dairy Technology*, 73(1), 67-75.
- [20] Singh, G., Muthukumarappan, K. (2008). Influence of calcium fortification on sensory, physical and

- rheological characteristics of fruit yogurt. *LWT-Food Science and Technology*, 41(7), 1145-1152.
- [21] Kessler, H.G. (2002). Food and Bioprocess Engineering: Dairy Technology. Freising: Verlag A. Kessler, Munchen, Germany.
- [22] AOAC. (2000). *Solids (total) in milk. method no. 925.23*. In W. Horowitz (Ed.). Official methods of analysis of AOAC International (17th ed.). (p. 10). Gaithersburg, MD, USA: AOAC International.
- [23] AOAC. (2000). *Protein nitrogen content of milk. method no. 991.22*. In W. Horowitz (Ed.). Official methods of analysis of AOAC International (17th ed.). (pp. 13-14). Gaithersburg, MD, USA: AOAC International.
- [24] AOAC. (2000). *Fat content of raw and pasteurized whole milk. method no. 2000.18*. In W. Horowitz (Ed.). Official methods of analysis of AOAC International (17th ed.). (pp. 21-23). Gaithersburg, MD, USA: AOAC International.
- [25] AOAC. (2000). *Ash of milk. method no. 945.46*. In W. Horowitz (Ed.). Official methods of analysis of AOAC International (17th ed.). (p. 10). Gaithersburg, MD, USA: AOAC International.
- [26] Anonymous. 1991. Yoghurt-Determination of titratable acidity. International IDF Standard. 150. Belgium.
- [27] Anonymous. 1987. Milk, cream and evaporated milk. Determination of total solids content. Reference Method. International IDF Standard. 21B. Belgium.
- [28] Anonymous. 1986. Milk determination of nitrogen content (Kjeldahl Method) and calculation of crude protein content. International IDF Standard. 20A. Belgium.
- [29] Arango, O., Trujillo, A.J., Castillo, M. (2020). Influence of fat substitution by inulin on fermentation process and physical properties of set yoghurt evaluated by an optical sensor. *Food and Bioprocess Processing*, 124, 24-32.
- [30] Küçükçetin, A., Weidendorfer, K., & Hinrichs, J. (2009). Graininess and roughness of stirred yoghurt as influenced by processing. *International Dairy Journal*, 19(1), 50-55.
- [31] Küçükçetin, A. (2008). Effect of heat treatment and casein to whey protein ratio of skim milk on graininess and roughness of stirred yoghurt. *Food Research International*, 41(2), 165-171.
- [32] Koksoy, A., Kilic, M. (2004). Use of hydrocolloids in textural stabilization of a yoghurt drink, ayran. *Food Hydrocolloids*, 18(4), 593-600.
- [33] Tharmaraj, N., Shah, N.P. (2003). Selective enumeration of *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus*, *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus acidophilus*, Bifidobacteria, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus rhamnosus*, and Propionibacteria. *Journal of Dairy Science*, 86(7), 2288-2296.
- [34] Mkaadem, W., Belguith, K., Semmar, N., Zid, M. B., ElHatmi, H., Boudhrioua, N. (2022). Effect of process parameters on quality attributes of Lben: Correlation between physicochemical and sensory properties. *LWT-Food Science and Technology*, 155, 112987.
- [35] Düzgüneş, O., Kesici, T., Kavuncu, O., Gürbüz., F. (1987). Araştırma ve Deneme Metotları (İstatistik II). Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları. No: 1021. 381 ss. Ankara.
- [36] Anonim. 2009. Türk Gıda Kodeksi-Fermente Süt Ürünleri Tebliği. Tebliğ No: 2009/25.T.C. Resmi Gazete 16.02.2009 tarih ve 27143 sayılı. Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü. Ankara.
- [37] Kaushik, R., Arora, S. (2017). Effect of calcium and vitamin D<sub>2</sub> fortification on physical, microbial, rheological and sensory characteristics of yoghurt. *International Food Research Journal*, 24(4), 1744-1752.
- [38] Tiwari, S., Kavitate, D., Devi, P. B., Shetty, P.H. (2021). Bacterial exopolysaccharides for improvement of technological, functional and rheological properties of yoghurt. *International Journal of Biological Macromolecules*, 183, 1585-1595.
- [39] Rashid, A.A., Huma, N., Saeed, S., Shahzad, K., Ahmad, I., Ahmad, I., Nawaz, S., Imran, M. (2019). Characterization and development of yogurt from concentrated whey. *International Journal of Food Engineering*, 3, 1-7.
- [40] Delgado-Fernández, P., Corzo, N., Olano, A., Hernández-Hernández, O., Moreno, F.J. (2019). Effect of selected prebiotics on the growth of lactic acid bacteria and physicochemical properties of yoghurts. *International Dairy Journal*, 89, 77-85.
- [41] Guven, M., Yasar, K., Karaca, O.B., Hayaloglu, A.A. (2005). The effect of inulin as a fat replacer on the quality of set-type low-fat yogurt manufacture. *International Journal of Dairy Technology*, 58(3), 180-184.
- [42] Aghajani, A.R., Pourahmad, R., Mahdavi Adeli, H.R. (2014). The effect of oligofructose, lactulose and inulin mixture as prebiotic on physicochemical properties of synbiotic yogurt. *Journal of Food Biosciences and Technology*, 4(2), 33-40.
- [43] Grinberg, V.Y., Tolstoguzov, V.B. (1997). Thermodynamic incompatibility of proteins and polysaccharides in solutions. *Food Hydrocolloids*, 11(2), 145-158.
- [44] Akalın, A.S., Unal, G., Dinkci, N. Hayaloglu, A.A. (2012). Microstructural, textural, and sensory characteristics of probiotic yogurts fortified with sodium calcium caseinate or whey protein concentrate. *Journal of Dairy Science*, 95(7), 3617-3628.
- [45] Puvanenthiran, A., Williams, R.P.W., Augustin, M.A. (2002). Structure and visco-elastic properties of set yoghurt with altered casein to whey protein ratios. *International Dairy Journal*, 12(4), 383-391.
- [46] Szajnar, K., Znamirowska, A., Kalicka, D., Zagula, G. (2017). Fortification of yoghurts with calcium compounds. *Journal of Elementology*, 22(3), 869-879.
- [47] Mumtaz, S., Rehman, S.U., Huma, N., Jamil, A., Nawaz, H. (2008). Xylooligosaccharide enriched yoghurt: physicochemical and sensory evaluation. *Pakistan Journal of Nutrition*, 7(4), 566-569.
- [48] Santillán-Urquiza, E., Méndez-Rojas, M.Á., Vélez-Ruiz, J.F. (2017). Fortification of yogurt with nano

- and micro sized calcium, iron and zinc, effect on the physicochemical and rheological properties. *LWT-Food Science and Technology*, 80, 462-469.
- [49] Krzeminski, A., Großhable, K., Hinrichs, J. (2011). Structural properties of stirred yoghurt as influenced by whey proteins. *LWT-Food Science and Technology*, 44(10), 2134-2140.
- [50] Donato, L., Guyomarc'h, F. (2009). Formation and properties of the whey protein kappa-casein complexes in heated skim milk—A review. *Dairy Science and Technology*, 89(1), 3-29.
- [51] Jørgensen, C.E., Abrahamsen, R.K., Rukke, E.O., Hoffmann, T.K., Johansen, A.G., Skeie, S.B. (2019). Processing of high-protein yoghurt—A review. *International Dairy Journal*, 88, 42-59.
- [52] Helal, A., Rashid, N., Dyab, M., Otaibi, M., & Alnemr, T. (2018). Enhanced functional, sensory, microbial and texture properties of low-fat set yogurt supplemented with high-density inulin. *Journal of Food Processing & Beverages*, 6(1), 1-11.
- [53] Koutina, G., Christensen, M., Bakman, M., Andersen, U., Skibsted, L.H. (2016). Calcium induced skim-milk gelation during heating as affected by pH. *Dairy Science & Technology*, 96(1), 79-93.
- [54] Nguyen, B.T., Balakrishnan, G., Jacqueline, B., Nicolai, T., Chassenieux, C., Schmitt, C., Bovetto, L. (2016). Inhibition and promotion of heat-induced gelation of whey proteins in the presence of calcium by addition of sodium caseinate. *Biomacromolecules*, 17(11), 3800-3807.
- [55] Lin, L., Wong, M., Deeth, H.C., Oh, H.E. (2018). Calcium-induced skim milk gels using different calcium salts. *Food Chemistry*, 245, 97-103.
- [56] Glušac, J., Stijepić, M., Đurđević-Milošević, D., Milanović, S., Kanurić, K., Vukić, V. (2015). Growth and viability of *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus* in traditional yoghurt enriched by honey and whey protein concentrate. *Iranian Journal of Veterinary Research*, 16(3), 249-255.
- [57] Antunes, A.E., Cazetto, T.F., Bolini, H.M. (2005). Viability of probiotic micro-organisms during storage, postacidification and sensory analysis of fat-free yogurts with added whey protein concentrate. *International Journal of Dairy Technology*, 58(3), 169-173.
- [58] Canbulat, Z., Ozcan, T. (2015). Effects of short-chain and long-chain inulin on the quality of probiotic yogurt containing *Lactobacillus rhamnosus*. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 1251-1260.
- [59] Pachekrepapol, U., Waranich, J., Kamlangeak, P. (2018). Impact of calcium fortification on physicochemical, rheological and microbiological properties of stirred yogurts blended with banana purée. *Burapha Science Journal*, 23(1), 79-91.
- [60] Çomak Göçer, E.M., Ergin, F., Arslan Aşçı, A., Küçükçetin, A. (2016). Farklı inkübasyon sıcaklığı ile inkübasyon sonlandırma pH'sının probiyotik yoğurdun fizikokimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri üzerine etkisi. *Akademik Gıda*, 14(4), 341-350.