



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



FARKLI HOMOJENİZASYON BASINCI
UYGULANARAK HAZIRLANAN SODYUM
KAZEİNAT ÖRNEKLERİNİN MİKROYAPI,
TERMAL, FONKSİYONEL VE AKIŞ
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Aymelek KESTEK

DOKTORA TEZİ

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz - 2025
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Aymelek KESTEK tarafından hazırlanan “Farklı Homojenizasyon Basıncı Uygulanarak Hazırlanan Sodyum Kazeinat Örneklerinin Mikroyapı, Termal, Fonksiyonel ve Akış Özelliklerinin Belirlenmesi” adlı tez çalışması 23/07/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Nihat AKIN

.....

Danışman

Doç. Dr. Durmuş Sert

.....

Üye

Prof. M. Kürşat Demir

.....

Üye

Doç. Dr. Süleyman Gökmen

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Kılınç

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/.../20.. gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Şerife Yurdağül KUMCU
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Aymelek KESTEK

Tarih:

ÖZET

DOKTORA TEZİ

FARKLI HOMOJENİZASYON BASINCI UYGULANARAK HAZIRLANAN SODYUM KAZEİNAT ÖRNEKLERİNİN MİKROYAPI, TERMAL, FONKSİYONEL VE AKIŞ ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Aymelek KESTEK

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Durmuş SERT

2025 , 103 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Durmuş SERT

Prof. Dr. Nihat AKIN

Prof. Dr. M. Kürşat DEMİR

Doç. Dr. Süleyman GÖKMEN

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet KILINÇ

Bu çalışmada; süttten çöktürme yöntemiyle elde edilen kazein, nötralizasyon ile kazeinata dönüştürülmüştür. Elde edilen çözeltilerin kuru madde oranları %35-%40 ayarlanarak, 10-20-30 MPa'da YBH uygulanmış, ardından püskürtülerek kurutulularak toz formda sodyum kazeinat üretilmiştir. Sodyum kazeinat tozu örnekleri 180 gün boyunca depolanmıştır. Depolama süresince sodyum kazeinat tozu örneklerinin fizikokimyasal, fonksiyonel, tekstürel ve akış özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca sodyum kazeinat tozlarının termal stabilite ve mikro yapıları da incelenmiştir.

YBH uygulaması, sodyum kazeinat tozlarının köpük oluşturma kapasitesi ve stabilitesini artırmıştır. Homojenizasyon basıncı arttıkça %35 püskürtme kuru madde oranına sahip numunelerde dağılıbilirlik azalırken, %40 püskürtme kuru madde oranına sahip numunelerin dağılıbilirliği artmıştır. Sodyum kazeinat tozlarının ıslanabilirlik süreleri artarken, benzer çözünürlük oranları gözlemlenmiştir.

Yüksek basınç uygulanmış sodyum kazeinat örneklerinin kek kuvveti değerleri 0, 61 – 0,91 mN.m arasında değişirken, ortalama kek kuvvetleri ise 0,44-0,64 N aralığında bulunmuştur. Artan basınç değerleri ile sodyum kazeinat tozlarının hem kekleşme özelliğini hem de kohezyon indeksini düşürmüş ve akabilirliğini artırmıştır.

Sodyum kazeinat tozlarının D[3,2] değerleri 0,36-0,43 µm arasında, D[4,3] değeri 0,71 -0,86 µm arasında bulunmuştur. Püskürtme kuru madde oranı ve uygulanan basınç oranları karşılaştırıldığında, püskürtme kuru madde oranı ve basınç oranının artmasıyla örneklerin daha küçük partiküller içerdiği ve yüksek yüzey alanına sahip olduğu, aynı zamanda daha iyi çözünürlük ve stabilize gösterdiği belirlenmiştir. Sodyum kazeinat tozlarının zeta potansiyeli değerinin -41,95 ile -50,29 mV arasında değiştiği, temas açısı değerlerinin ise 77,86-97,58 değerleri arasında değiştiği belirlenmiştir. Yüksek basınç değeri ve püskürtme kuru madde oranının artması, temas açısı değerlerini düşürmüş böylece sodyum kazeinat tozlarının su ile daha iyi temas etmesini, dispersiyonda daha hızlı çözünmesini artırmıştır. Tozların depolamanın başındaki camsı geçiş sıcaklıkları 102,78-109,78°C arasında değiştiği belirlenmiştir.

Sodyum kazeinat tozlarını mikroyapıları değerlendirildiğinde, YBH uygulamasının daha üniform partikül dağılımı sağladığı görülmüştür. Püskürtme kuru madde oranının ve basınç değerinin artmasına bağlı olarak örneklerin partikül yapısının daha homojen bir hal aldığı ve partikül boyutunda küçülme meydana geldiği görülmektedir. Sonuç olarak; sodyum kazeinat tozu üretiminde YBH uygulamasının, elde edilen sodyum kazeinat tozlarının akış ve fonksiyonel özellikleri üzerine olumlu etkiler sağladığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fizikokimyasal özellikler, Fonksiyonel özellikler, Mikroyapı, Sodyum kazeinat, Yüksek basınç homojenizasyon

ABSTRACT

Ph.D THESIS

DETERMINATION OF MICROSTRUCTURE, THERMAL, FUNCTIONAL AND FLOW PROPERTIES OF SODIUM CASEINATE SAMPLES PREPARED BY APPLYING DIFFERENT HOMOGENIZATION PRESSURE

Aymelek KESTEK

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE
OF NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY
IN FOOD ENGINEERING**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Durmuş SERT

2025, 103 Pages

Jury

Assoc. Prof. Dr. Durmuş SERT

Prof. Dr. Nihat AKIN

Prof. Dr. M. Kürşat DEMİR

Assoc. Prof. Dr. Süleyman GÖKMEN

Asst.Prof.Dr. Mehmet KILINÇ

In this study, casein obtained from milk by precipitation was converted to caseinate by neutralization. The dry matter ratios of the resulting solutions were adjusted to 35-40%, and HPH was applied at 10-20-30 MPa, followed by spray drying to produce sodium caseinate in powder form. Sodium caseinate powder samples were stored for 180 days. During storage, the physicochemical, functional, textural, particle size distribution, zeta potential, contact angle, and flow properties of the sodium caseinate powder samples were determined. The thermal stability and microstructure of the sodium caseinate powders were also investigated.

HPH application increased the foaming capacity and stability of sodium caseinate powders. As homogenization pressure increased, dispersibility decreased in samples with a 35% spray dry matter content, while dispersibility increased in samples with a 40% spray dry matter content. While the wettability times of the sodium caseinate powders increased, similar solubility ratios were observed.

Cake strength values of sodium caseinate samples treated with high pressure ranged from 0,61 to 0,91 mN.m, with average cake strengths ranging from 0,44 to 0,64 N. Increasing pressure values decreased both the caking properties and cohesion index of sodium caseinate powders and increased their flowability.

D[3,2] values of sodium caseinate powders were found to range from 0,36 to 0,43 μm , and D[4,3] values ranged from 0,71 to 0,86 μm . When the spray dry matter ratio and applied pressure rates were compared, it was determined that as the spray dry matter ratio and pressure rates increased, the samples contained smaller particles and had higher surface area, as well as better solubility and stability. The zeta potential of sodium caseinate powders was determined to vary between -41,95 and -50,29 mV, and the contact angle values ranged from 77,86 to 97,58. Higher pressure and increased spray dry matter ratios decreased the contact angle values, thus improving the sodium caseinate powders' contact with water and faster dissolution in the dispersion. The glass transition temperatures of the powders at the beginning of storage ranged from 102,78 to 109,78°C.

When the microstructures of the sodium caseinate powders were evaluated, it was observed that the HPH application provided more uniform particle distribution. The particle structure of the samples became more homogeneous due to the increased spray dry matter ratio. When the images were evaluated in terms of the applied pressure, it was determined that the particle size of the samples decreased and the particle distribution uniformity increased. In conclusion, it was determined that the HPH application in

sodium caseinate powder production had positive effects on the flow and functional properties of the resulting sodium caseinate powders.

Keywords: Physicochemical properties, Functional properties, Microstructure, Sodium caseinate, High pressure homogenization

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın planlanması ve yürütülmesinde bana yol gösteren ve her daim desteğini hissettiğim değerli danışman hocam Doç. Dr. Durmuş SERT'e;

Bu süreçte gösterdikleri destek ve yardımlardan dolayı Tez İzleme Komitesi üyeleri değerli hocalarım Prof. Dr. Nihat AKIN ve Prof. Dr. M. Kürşat DEMİR'e;

Çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Kübra AKTAŞ'a;

Çalışmama destek olan Lactalis Türkiye Ar-ge Merkezi değerli yöneticilerine;

Hayatımın her anında olduğu gibi bu dönemde de desteğini daima hissettiren çalışmalarım sırasında büyük sabır ve fedakârlık gösteren sevgili aileme;

Son olarak, bu dönemde belki de en büyük fedakarlığı gösterip bana destek olan, sabırla yanımda duran ve her zaman motivasyon kaynağım olan canım oğlum Miraç Yekta'ya

Sonsuz teşekkür ederim.

Aymelek KESTEK
KONYA-2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	iv
ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	v
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	20
3.1. Materyal	20
3.1.1. Sodyum kazeinat tozu üretiminde kullanılan sütler.....	20
3.1.2. Ambalaj materyali.....	20
3.2. Yöntem.....	20
3.2.1. Sodyum kazeinat tozu örneklerinin üretimi.....	20
3.2.2. Çiğ süte uygulanan analizler	23
3.2.3. Sodyum kazeinat tozlarına uygulanan analizler	23
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	33
4.1. Hammadde Çiğ Süte Ait Fizikokimyasal Özellikler	33
4.2. Sodyum Kazeinat Tozlarının Fizikokimyasal Özelliklerine Ait Sonuçlar ve Tartışma	34
4.2.1. Sodyum kazeinat tozlarının nem oranlarına (%) ait sonuçlar ve tartışma	34
4.2.2. Sodyum kazeinat tozlarının pH değerlerine ait sonuçlar ve tartışma	38
4.2.3. Sodyum kazeinat tozlarının asitlik değerlerine ait sonuçlar ve tartışma.....	39
4.2.4. Sodyum kazeinat tozlarının yağ değerlerine ait sonuçlar ve tartışma	39
4.2.5. Sodyum kazeinat tozlarının protein oranlarına (%) ait sonuçlar ve tartışma	40
4.2.6. Sodyum kazeinat tozlarının kül oranlarına (%) ait sonuçlar ve tartışma	41
4.2.7. Sodyum kazeinat tozlarının su aktivitesi değerlerine ait sonuçlar ve tartışma	41
4.2.8. Sodyum kazeinat tozlarının L^* renk değerlerine ait sonuçlar ve tartışma	42
4.2.9. Sodyum kazeinat tozlarının a^* renk değerlerine ait sonuçlar ve tartışma	44
4.2.10. Sodyum kazeinat tozlarının b^* renk değerlerine ait sonuçlar ve tartışma ..	46
4.2.11. Sodyum kazeinat tozlarının sıkıştırılmış yığın yoğunluğu değerlerine ait sonuçlar ve tartışma	47
4.2.12. Sodyum kazeinat tozlarının yabancı yanık madde miktarlarına ait sonuçlar ve tartışma.....	47
4.3. Sodyum Kazeinat Tozlarının Fonksiyonel Özelliklerine Ait Sonuçlar ve Tartışma	48
4.3.1. Sodyum kazeinat tozlarının çözünebilirlik miktarlarına ait sonuçlar ve tartışma.....	48

4.3.2. Sodyum kazeinat tozlarının dağılılırlik oranlarına ait sonuçlar ve tartışma	52
4.3.3. Sodyum kazeinat tozlarının ıslanabilirlik sürelerine ait sonuçlar ve tartışma	53
4.3.4. Sodyum kazeinat tozlarının köpük oluşturma kapasitesi değerlerine ait sonuçlar ve tartışma	54
4.3.5. Sodyum kazeinat tozlarının köpük stabilitesi değerlerine ait sonuçlar ve tartışma.....	55
4.4. Sodyum Kazeinat Toz Akış Özelliklerine Ait Sonuçlar ve Tartışma	57
4.5. Sodyum Kazeinat Tozlarının Partikül büyüklüğü, Zeta potansiyeli ve Temas açısı Ölçümüne Ait Sonuçlar ve Tartışma	60
4.6. Sodyum Kazeinat Tozlarının Rekonstitüe Sütlerinin Tekstürel Özelliklerine Ait Sonuçlar ve Tartışma	64
4.7. Sodyum Kazeinat Tozlarının DSC Analizlerine Ait Sonuçlar ve Tartışma	69
4.8. Sodyum Kazeinat Tozlarının Duyusal Özelliklerine Ait Sonuçlar ve Tartışma..	71
4.9. Sodyum Kazeinat Tozlarının SEM Görüntülerine Ait Sonuçlar ve Tartışma	73
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	76
5.1 Sonuçlar	76
5.2 Öneriler	79
6. KAYNAKLAR	81

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

°	Derece
°C	Derece santigrat
µm	Mikrometre
µM	Mikromolar
aw	Su aktivitesi
a	(+a) Kırmızı, (-a) yeşil renk değeri
b	(+b) Sarı, (-b) mavi renk değeri
cm ²	Santimetrekare
cm ³	Santimetreküp
D[3,2]	Yüzey ağırlıklı ortalama (µm)
D[4,3]	Hacim ağırlıklı ortalama (µm)
H ₂ SO ₄	Sülfürik asit
HCl	Hidroklorik asit
dk	Dakika
g	Gram
kg	Kilogram
kV	Kilovolt
l	Litre
L	Renk değeri (parlaklık-koyuluk)
ml	Mililitre
mM	Milimolar
mN	Milnewton
mN.m	Milnewton.metre
MPa	Megapaskal
N	Newton
N	Normalite
N.m	Newton.metre
NaOH	Sodyum hidroksit
M	Molar
nm	Nanometre
rpm	Dakikadaki devir sayısı
s	Saniye
\bar{x}	Aritmetik ortalama

Kısaltmalar

ADPI	Amerikan Süt Ürünleri Enstitüsü
FAO	Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
HPH	Yüksek basınçlı homojenizasyon
HPMP	Yüksek proteinli süttozu
KO	Kareler ortalaması
LA	Laktik asit
MPC	Süt protein konsantresi
MPC80	%80 protein oranına sahip süt protein konsantresi
MPC85	%85 protein oranına sahip süt protein konsantresi
NaCN	Sodyum kazeinat
NaCas	Sodyum kazeinat

NMC	Doğal misel kazein
SEM	Taramalı elektron mikroskopu
SMP	Yağsız süttezu
SY	Sıkıştırılmış yığın yoğunluğu
TGK	Türk Gıda Kodeksi
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UHPH	Ultra yüksek basınç homojenizasyon
WPC	Peyniraltı suyu proteini
VK	Varyasyon kaynakları
YBH	Yüksek basınç homojenizasyon

1. GİRİŞ

Süt; protein, yağ, laktoz, vitamin, mineral, enzim, hormon ve immüoglobülin gibi besin öğeleri açısından oldukça zengin bir kaynaktır. Aynı zamanda, protein ve kalsiyum fosfat kompleksinden oluşan kolloidal parçacıklar içerir. Bu heterojen birleşme kolloidlerine kazein miselleri adı verilir (de Kruif ve ark. (2012). Kazein, hem kantitatif hem de besinsel olarak sütteki en önemli protein bileşenidir ve sütün toplam azotunun yaklaşık %80'ini oluşturur (Yıldırım Özbek ve Güzeler, 2021). Ürün teknolojisi ve süt endüstrisi açısından bakıldığında kazeinler sütün açık ara en önemli ve değerli bileşenidir. Süt, peynir ve yoğurt gibi başlıca süt ürünleri dokusal, duyusal ve besleyici özelliklerini kazeinden alır (de Kruif ve ark., 2012).

Kazein; yağsız sütün pıhtılaştırılması, yıkanması ve kurutulması sonucu elde edilir. Sütün pıhtılaştırılmasında kullanılan maddeye göre iki tip endüstriyel kazein vardır. Sütün pıhtılaştırılmasında sentetik mineral asit (HCl, H₂SO₄) varsa asit kazein, laktik starter kültür kullanılmışsa laktik kazein denir. Yağsız sütün proteolitik enzimle pıhtılaştırılması sonucunda nötr pH'da elde edilen kazeine rennet kazein denir.

Sodyum kazeinat (NaCN), fonksiyonel ve besleyici özellikleri, özellikle de emülsifikasyon kapasitesi nedeniyle yaygın olarak kullanılan bir süt ürünüdür. Bir kazein pıhtısı elde etmek için sütün asitleştirilmesi (pH 4.6) ile pıhtılaştırılması, serumun atılması, pıhtıyı suyla karıştırarak yeniden çözündürülmesi ve sodyum hidroksit kullanılarak pH'nı nötr hale getirilmesi ve daha sonra kurutulması ile elde edilir (Hemar ve ark., 2021).

Kazeinler hem yapıları hem de yapı oluşturma potansiyelleri açısından benzersiz proteinlerdir. Bu özellikleri nedeniyle kazeinler hem gıda endüstrisinde hem de gıda dışı endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Kazeinler, kazein miselleri gibi büyük makromoleküler düzenekler oluşturabilirler, ancak aynı zamanda emülgatör, köpük ve emülsiyon stabilizatörü olarak ve yapıştırıcılarda, boyalarda, plastiklerde ve fotorezistlerde temel bir fonksiyonel bileşen olarak da kullanılabilirler (de Kruif, 2003).

Yüksek basınçlı homojenizasyon (YBH), fermente süt üretiminde çığ sütün ön işleme tabi tutulmasının önemli bir prosedürüdür. Bir yandan, YBH işlemleri genellikle mikrobiyal güvenliği sağlamak amacıyla sütteki bakterileri etkisiz hale getirmek için kullanılır. Öte yandan YBH, peynir altı suyu proteininin yapısını ve dokusunu değiştirebilir ve yağ globüllerinin boyutunu azaltabilir, böylece fermente sütün kalitesini artırabilir. Buna ek olarak, YBH işlemi fermentasyon veya depolama sırasında yoğurdun

peynir altı suyunun ayrılmasını azaltır, böylece kıvamını arttırır. Geleneksel prosesle karşılaştırıldığında, YBH fermente süt, YBH ile işlenmemiş fermente süte göre daha yüksek su tutma kapasitesine, dokuya ve daha iyi tada sahiptir (Wei ve ark., 2024).

Süt endüstrisinde yüksek basınç homojenizasyon farklı amaçlarla kullanılmasına rağmen şimdiye kadar sodyum kazeinat üretiminde YBH işleminin kullanımı değerlendirilmemiştir. Bu çalışmada, fonksiyonel ve besleyici özellikleri, özellikle de emülsifikasyon kapasitesi nedeniyle yaygın olarak kullanılan sodyum kazeinat üretiminde YBH işleminin kullanılabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

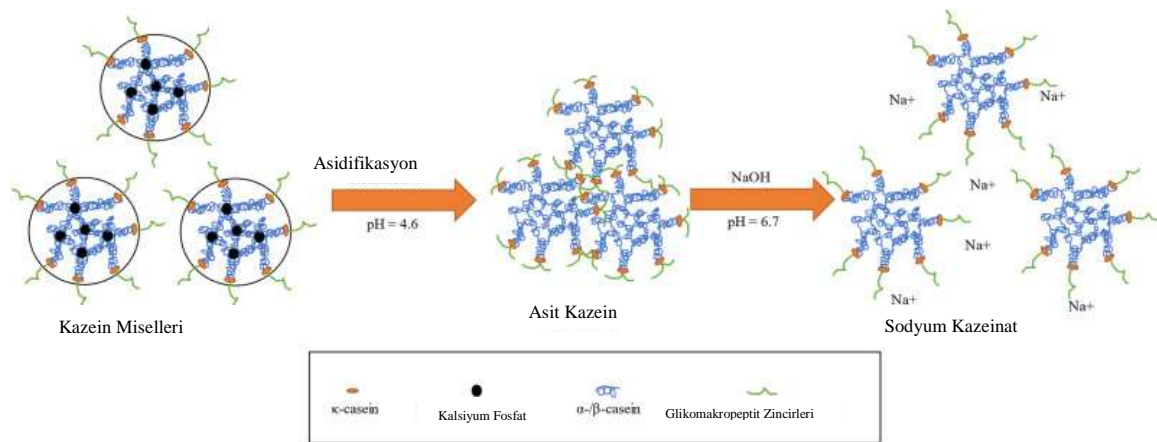
İnek sütü ve türevi ürünler insan diyetinin önemli bileşenleridir. Yağ, protein, laktoz ve toplam kuru maddeler (yağ, protein, laktoz, mineraller vb. dahil) sütün besinsel ve ticari değerlerinin değerlendirilmesinde önemli göstergelerdir. Bu nedenle sütün ana bileşenlerinin izlenmesi süt endüstrisinde vazgeçilmez bir prosedür haline gelmiştir (Yang ve ark., 2020). Sütün bileşimi genetik, hayvan yaşı, laktasyon aşaması, üreme sayısı, sağlık durumu, yem ve çevre koşulları gibi çeşitli faktörler tarafından belirlenir.

Süt, kazeinler (α_1 , α_2 , β ve κ -kazein) ve peynir altı suyu proteinleri (α -laktalbumin, β -laktoglobulin, sığır serum albümini, laktoferrin, immünoglobulin) ile protein olmayan nitrojen bileşenleri olarak kategorize edilen sayısız farklı protein içerir. (Warakulle ve ark., 2024).

Kazein, sütün önemli bir proteindir ve bir emülsiyondaki protein içeriğinin yaklaşık %80'ini oluşturur. İki baskın kazein formu olan β -kazein ve κ -kazein, insan sağlığı için gerekli olan esansiyel amino asitler ve biyoaktif peptitler açısından zengindir (Li ve ark., 2024). Kazein yaklaşık 4.6 pH'da presipite olan bir protein olarak bilinir. İzoelektrik pH'sında çözünmez haldedir. Kazein globuler bir protein değildir ve sütte kalsiyum fosfat da içeren ve kazein miselleri adı verilen büyük kümeler halinde bulunur. Misel içindeki kazeinin presipitasyonu, rennet kazein ve asit kazein olmak üzere 2 farklı şekilde gerçekleşir. Süte rennet ilave edilmesiyle elde edilir. Rennet ile pıhtılaştırılmış kazein, kalsiyumdan zengin ve kalsiyum varlığında düşük çözünürlüğe sahiptir. Asit kazein; laktik asit, hidroklorik asit (çoğunlukla) veya sülfürik asit ilavesiyle yağsız sütün karıştırılması ile elde edilir. Süte asit ilave edildiğinde veya asit üreten bakteriler sütte ürettiğinde pH düşecektir. Bu durum kazein misellerinin etrafındaki çevresel koşulların değişmesine neden olur ki bu iki şekilde gerçekleşir. İlk olarak kazein miselinde bulunan koloidal kalsiyum hidroksifosfat çözünür hale gelir ve iyonize kalsiyum oluşturur. Bu yapı misel yapısına penetre olarak güçlü kalsiyum bağları oluşturur. İkinci olarak solüsyonun pH'sı kazeinin izoelektrik noktasına yaklaşır. Her iki olayda miselde önemli değişikliklerin başlamasına neden olur. Misel agregasyon yolu ile büyür ve sonuç olarak daha yoğun veya az yoğun koagulum şekillenir.

Sodyum kazeinat (NaCN), özellikle emülsifikasyon kabiliyeti olmak üzere işlevsel ve besinsel özellikleri nedeniyle yaygın olarak kullanılan bir süt bileşenidir. Sütün asitleştirme (pH 4.6) ile pıhtılaştırılmasıyla kazein pıhtısı elde edilerek yapılır, serum atılır, pıhtı suyla karıştırılarak yeniden çözünür hale getirilir ve pH sodyum

hidroksit kullanılarak nötre getirilir ve ardından kurutulur (Hemar ve ark., 2021). Sodyum kazeinat, emülsiyon sistemlerinin kararlılığını artırmak için eklenebilen amfifilik bir moleküldür. Sodyum kazeinatın emülsifiye edici özellikleri, proteindeki hidrofilik ve hidrofobik grupların durumuyla ilgilidir ve ayrıca çevresel faktörlerden de etkilenirler (Hu ve ark., 2024).



Şekil 2.1. Sodyum Kazeinat Üretim Şeması (Ma ve Chatterton, 2021)

Süt proteinleri, yüksek besin değeri ve çeşitli işlevsel özellikleri (örn. jelleştirme, emülsifiye etme) bir araya getirdikleri için değerli bir protein kaynağıdır. Tam yağlı süt tozları esas olarak laktoz (%38), peynir altı suyu proteinleri (yaklaşık %4), kazeinler (yaklaşık %20) ve süt yağından (%26) oluşur. Kazeinler süt proteinlerinin en önemli sınıfıdır ve yoğurt ve peynir gibi süt ürünlerinde ağ oluşturunuculardır. Sütte kazeinler, 4 tipten oluşan misel halinde bulunur: α S1, α S2, β ve κ -kazein (Swaisgood, 2007). Peynir altı suyu proteinleri, kazeinin pH 4,6 ve 20 °C'de çökmesinden sonra süt serumu veya peynir altı suyunda çözünür kalan süt proteinleri grubu olarak tanımlanır. Bu grup esas olarak β -laktoglobulin ve α -laktalbumin içerir, ancak ayrıca küçük protein fraksiyonlarını da içerir (Farrell ve ark., 2004). Yenilikçi, süt bazlı bileşenler geliştirmeye yönelik devam eden bir ihtiyaç vardır; doğal misel kazein (NMC) ve doğal peynir altı suyu izolat proteinleri (NWI) bu tür bileşenlerden 2'sidir ve yağsız sütün membran mikrofiltrasyon işlemindeki gelişmeler sayesinde mümkün hale gelmiştir. Süt proteinleri kolayca sprey kurutma ile kurutulabilir ve elde edilen protein tozları yüksek toplam protein içeriğine sahiptir (%90 toplam katı madde). SMP, MPC ve WPI gibi yüksek proteinli süt tozları (HPMP), yaklaşık %35 ila %95 w/w aralığında protein içeriğine sahiptir. HPMP'ler, suda yeniden dağıldığında emülsifikasyon, jelleşme ve köpürme özellikleri gibi bir dizi işlevsel özelliğe sahiptir ve gıda ve besin ürünlerinin üretiminde kullanılır (Mishra ve

ark., 2022). NMC tozu, yüksek protein içeriği ve süt miselleri için ilgili bir model olarak kullanılabilme özelliği nedeniyle gıda endüstrisi için yararlı bir bileşendir (Hussain ve ark., 2011).

Günümüzde gıda endüstrisi, sentetik emülgatörlerin polisakkaritler ve proteinler gibi doğal olanlarla değiştirilmesine giderek daha fazla ilgi duymaktadır. Kazein, emülsifikasyon sırasında düşük bir arayüz gerilimini hızla sağlama yeteneği ve başlıca bireysel kazeinlerin güçlü amfifilik özellikleri nedeniyle bir emülgatör olarak özellikle önemlidir. Süt içindeki kazein, "kazein miselleri" adı verilen polidispers protein parçacıklarına güçlü bir şekilde kümelenir. Sodyum kazeinat, serbest kazein molekülleriyle dengede bir arada bulunan küçük protein parçacıklarına bağlanma eğilimi güçlü olan düzensiz hidrofobik proteinlerin çözünür bir karışımından oluşur (Huck-Iriart ve ark., 2011).

Süt proteinleri, hemen hemen tüm süt ürünlerinin yapısal ağını oluşturdukları ve doku, su bağlama, viskozite, jelleşme, emülsifiye etme ve köpürme gibi kritik işlevsel özellikler sağladıkları için çeşitli gıdalarda kullanılır. Süt proteinlerinin işlevsel özelliklerini etkileyen faktörleri anlamak için birçok teknolojik, mühendislik, araştırma ve geliştirme çabası, belirli uygulamalara göre uyarlanmış süt proteini ürünlerinin üretilmesine yol açmıştır. Süt proteinlerinin heterojenliği nedeniyle süt proteinlerini ayırmak mümkündür ve bu ürünlerin üretimi için temelde yatan temel ilkeler ayırma veya fraksiyonlama, konsantrasyon ve kurutmayı içerir. Günümüzde, membran ayırma işlemleri genellikle büyük ölçekli fraksiyonlama veya bireysel bileşenlerin ayrılması için kullanılır ve ekonomik, verimli ve çevre dostu olarak kabul edilir. Bu, işlevsel özellikleri ve sağlık yararları gibi faydaları çeşitli uygulamalarda en iyi şekilde kullanmamıza veya çıkarmamıza yardımcı olan iyi tanımlanmış fraksiyonların geliştirilmesine yol açmıştır. Son 20 yılda membran işlemleri endüstriyel ölçekte süt proteini konsantresi (MPC) üretmek için kullanılmıştır (Salunke ve Metzger, 2023).

Dünya çapında gıda endüstrisinde MPC (süt protein konsantresi)'nin uygun şekilde tanımlanması için kesin standartlar hala mevcut değildir. MPC'ler, kuru madde bazında %40 ila %89 arasında protein içeren ikinci nesil süt bileşenleri olarak sınıflandırılmıştır. MPC'lerin mevcut sınıflandırması, yani MPC-56, MPC-70 ve MPC-85, peynir altı suyu protein tozlarının mevcut sınıflandırmasına benzerdir; ilişkili sayı, söz konusu MPC'nin KM bazında protein içeriğini temsil eder (G. S. Meena ve ark., 2017). MPC'nin protein içeriğinde hala geniş farklılıklar mevcuttur, bu tozlar genel olarak 3 ana türe ayrılmıştır: (a) düşük proteinli toz (%40 protein içeriği), (b) orta proteinli toz

(%60-70 protein içeriği) ve (c) yüksek proteinli toz (%80 protein içeriği). Bu nedenle, herhangi bir MPC'nin protein içeriği %40 ile %89 arasında değişebilir. En yaygın MPC'ler MPC-42, MPC-70, MPC-80 ve MPC-85 türlerindedir (Patel ve ark., 2014).

Yüksek protein ve düşük laktoz içerikleri, istenen işlevsel ve besinsel özelliklerle bir araya geldiğinde süt protein konsantresi (MPC) tozlarını çeşitli süt ve gıda ürünü formülasyonlarında ideal bir bileşen haline getirir. Ancak, depolama sırasında bozulmuş hidrasyon oranları ve genel rehidrasyon özelliklerinin kaybı, son kullanıcıların MPC tozlarını bir formülasyona dahil etmesinde temel zorluklardır. MPC tozlarının yeniden oluşturulması genellikle 4 aşamadan oluşur: toz parçacıklarının ıslatılması, batma, dağılma ve sulu fazda tamamen çözünme. Protein içeriği, depolama süresi ve sıcaklığı ve çözünme sıcaklığı, MPC tozlarının yeniden oluşturulmasını etkileyen kritik faktörlerden bazılarıdır (Babu ve Amamcharla, 2021).

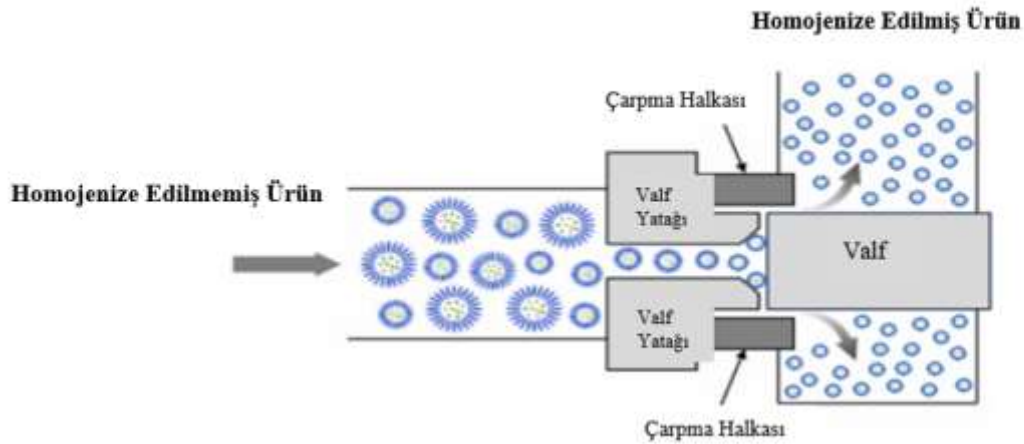
Süt protein konsantresinin yüksek besin kalitesi ve sindirilebilirliği onu bebekler, sporcular ve yaşlılar için yiyecek ve içeceklere dahil edilmek üzere uygun bir bileşen haline getirir. Bununla birlikte, MPC'nin yaygın kullanımı için bir zorluk, belirli koşullar altında çözünürlük dahil olmak üzere değişken işlevsel özellikler gösterebilmesidir. Bu nedenle, MPC'nin çözünürlüğünü değiştirmek için çeşitli yaklaşımlar kullanılmıştır. Bunlara üretim süreci sırasında fiziksel işlemler (örneğin, yüksek basınçlı işleme ve mikro akışkanlaştırmanın uygulanması), enzimatik modifikasyon (örneğin, proteazların ve alkalik fosfatların kullanımı), kimyasal modifikasyon (örneğin, süksinilasyon ve asitleştirme), kompozisyonel modifikasyon (örneğin, kalsiyum şelatlayıcı ajanların eklenmesi) ve süreç modifikasyonları (örneğin, püskürtmeli kurutma koşullarının modifikasyonu) dahildir. Bu proses değişiklikleri MPC'lerin sulu fazla etkileşimini etkileyebilir ve dolayısıyla MPC'lerin işlevsel özelliklerini (özellikle çözünürlüğünü) değiştirebilir (Khalesi ve FitzGerald, 2022).

Homojenizasyon, depolama sırasında kremalaşmayı önlemek ve ayrıca bazı süt ürünlerinin teknolojik özelliklerini iyileştirmek için süt endüstrisinde yaygın olarak kullanılır. Orta düzeyde basınçlar (18–20 MPa) kullanılır ve süt yağı küreciğinin boyutunu küçültmeyi amaçlar. Geleneksel homojenizasyonun aynı prensiplerine dayanarak, yüksek nominal basınçlar kullanan homojenizasyon, pompalanabilir gıdaların sürekli işlenmesine olanak tanıyan yeni bir teknolojidir. Basınç seviyesine bağlı olarak, teknoloji genellikle yüksek basınçlı homojenizasyon (HPH, 150-200 MPa'ya kadar) veya ultra yüksek basınçlı homojenizasyon (UHPH, 350-400 MPa'ya kadar) olarak adlandırılır (Graikini ve ark., 2024). Günümüzde süt, yoğurt, dondurma ve krema likörü gibi birçok

süt ürününün üretiminde kullanılmaktadır. Homojenizasyon, gelişmiş tekstür, tat, koku ve raf ömrüne sahip süt ürünlerinin üretimine olanak sağlamaktadır (Banks, 1993).

Yüksek basınç işleme (HPP), yüksek hidrostatik basınç (HHP) veya ultra yüksek basınç işleme (UHP) olarak da adlandırılır, su molekülleri içeren gıda maddelerinin, ambalajlı veya ambalajsız, kapalı bir sistemde, 100–800 MPa aralığında basınçlara tabi tutularak, işlenmiş gıdaların fiziksel-kimyasal, duyu ve işlevsel özelliklerinde özel değişiklikler elde edildiği alternatif bir gıda koruma yöntemidir (G. Meena ve ark., 2017).

Yüksek basınçlı homojenizasyon (HPH), fermente süt üretiminde çiğ süt ön işleminin önemli bir prosedürüdür. Bir yandan, HPH işlemleri genellikle mikrobiyal güvenliği sağlamak için sütteki bakterileri etkisiz hale getirmek için kullanılır. İşlemin birincil prensibi, bir sıvıyı yüksek basınç altında dar bir nozuldan geçmeye zorlamaktır. İşlem sırasında, yüksek türbülans, kayma gerilimi, kaviteasyon kuvveti ve nozulun ucunda ani bir basınç düşüşü meydana gelir. Bu fiziksel etkilerin bir sonucu olarak, HPH protein kümelerini bozabilir ve moleküller arası/molekül içi etkileşimleri ve yüzey aktivitesini değiştiren ikincil, üçüncül ve dördüncül yapıları değiştirebilir (Parlak ve ark., 2024).



Şekil 2.2. Yüksek basınç homojenizasyon işleminin şematik gösterimi

Yüksek basınç homojenizasyon teknolojisinin süt proteinlerine etkisi üzerine birçok araştırma bulunmaktadır. Yağsız süt tozu (SM), %50 protein içeren süt proteini konsantresi tozu (MPC50) ve %85 protein içeren süt proteini konsantresi tozu (MPC85) ve miselar kazein tozunun (MC) rehidrasyonu ve reolojik özellikleri üzerinde sıcaklığın (4, 20 ve 50 °C) ve yüksek basınçlı homojenizasyonun (HPH) (500 bar) etkisini araştırıldığı çalışmada, her toz tipinin (bileşime bağlı olarak) taze yağsız süt gibi aynı parçacık boyutu dağılımını ve eşdeğer taze konsantrelerin aynı akış davranışını elde etmek için farklı bir kesme işlemi gerektirdiğini göstermektedir. Yağsız süt tozu (SM)

veya %50 protein içeren süt proteini konsantresi MPC50 gibi düşük protein tozları, 4 °C'de bir gecede veya 50 °C'de 45 dakika içinde düşük kesme altında tamamen çözünür. %85 protein içeren süt proteini konsantresi tozu (MPC85) ve miselar kazein tozunun (MC), kalan tüm toz parçacıklarını parçalamak için ek bir HPH adımına ihtiyaç duyduğu tespit edilmiştir (Warncke ve Kulozik, 2020).

10–60 °C sıcaklıkta ve 100–400 MPa uygulanan basınç aralığında yüksek basınç işleminin uygunluğu, MPC-85'in çözünürlüğünü artırmak için incelendiği çalışmada, yağsız süt pastörize edilmiş ve ardından ya yüksek basınca tabi tutularak UF-DF retentatı üretilmiştir ardından püskürtmeli kurutmadan önce yüksek basınca tabi tutulmuştur. Püskürtmeli kurutmadan önce 40 C'de 200 MPa ile işlenen konsantreden üretilen MPC örneğinde %77'ye kadar çözünürlük elde edildiği, 20 C'de %66 çözünürlüğe sahip kontrole kıyasla bildirilmiştir. Çözünürlükteki artış, kurutmadan önce yüksek basınç işlemiyle indüklenen sütteki miselar olmayan kazeinin değişen yüzey bileşimine atfedilmiştir. Ayrıca, sütte bulunan daha yüksek mineral tuz içeriği nedeniyle, MPC'nin su ile karşılaştırıldığında sütte yeniden oluşturulması sırasında daha iyi bir çözünürlüğe sahip olduğu gözlemlenmiştir. MPC'nin rekonstitüe edilmesinin daha yüksek sıcaklıklarda çözünürlüğünü iyileştirdiği bulunmuştur. Dahası, protein açısından zengin konsantrenin sprey kurutmadan önce yüksek basınçta işlenmesi, hem MPC'lerin hem de MPI'lerin çözünürlüğünü ve depolama stabilitesini iyileştirmek için katkı maddesi içermeyen potansiyel seçeneklerden biri olabileceği ifade edilmiştir (Udabage ve ark., 2011).

Sikand ve ark. (2012), toz kaynağının (MPC-75 ve MPC-80), çözücü tipinin (su ve UF permeatı), yeniden oluşturma sıcaklığının (4 ve 37 C) ve homojenizasyon basıncının (0 ve 13.800 kPa) MPC örneklerinin çözünürlüğü üzerindeki etkisini incelemiştir. MPC-80'in çözünürlüğünün, homojenizasyon yapılmadan 37 C'de rekonstitüe edilen örneğe kıyasla daha küçük parçacıklar üreten 13.800 kPa'da homojenizasyonunun ardından 37 C 'de rekonstitüe sıcaklığında daha iyi olduğu bildirilmiştir (Sikand ve ark., 2012).

Rekonstitüe edilmiş, düşük ısıdaki yağsız süt tozu (RSMP) ve süt protein konsantresi tozundan (RMPC) hazırlanan yüksek proteinli süt dispersiyonlarının UHT (5 saniye boyunca 145 °C) kararlılığı ve kirlenme davranışı karşılaştırıldığı çalışmada %10 ve %14 protein içeriğindeki süt protein konsantresi tozunun, daha düşük protein içerikli yağsız süt tozuna (3,25, 6,5, 7, 7,5, 8%) kıyasla daha fazla UHT kararlılığı olduğu

bulunmuştur. MPC, süt proteini bazlı içeceklerin önemli bir bileşenidir, ancak UHT stabilite hakkında çok az şey bilinmektedir (Singh ve ark., 2019).

Escobar ve ark. (2011) queso fresco peyniri üretiminde alternatif bir işleme operasyonu olarak sütün yüksek basınçlı homojenizasyonunu (YBH) inceledikleri çalışmada, çiğ ve pastörize (30 dakika boyunca 65°C) sütler 0, 100, 200 ve 300 MPa'da YPH'ye tabi tutulmuş ve ardından queso fresco üretmek için kullanılmıştır. Peynirler, enstrümantal veya eğitilmiş panel analizleri ile verim, nem içeriği, titrasyon asitliği, azot içeriği, peynir altı suyu proteini içeriği, verim kuvveti, verim gerinim ve dokusal doku açısından değerlendirilmiştir. Sütün termal pastörizasyon ve 100 ila 300 MPa arasında HPH kullanılarak birleştirilmiş işlenmesi, sütün bileşenlerinde değişikliklere yol açarak verimde, nem içeriğinde ve queso fresco'nun duyu özelliklerinde güçlü değişikliklere neden olduğu belirlenmiştir (Escobar ve ark., 2011).

Özel olarak üretilen mono-dispersiyonlu, püskürtmeli kurutma koşullarının süt protein konsantrininin (MPC) ortaya çıkan işlevselliği üzerindeki etkisinin incelendiği çalışmada, tek dağılımlı parçacıkların kullanımı, çözünme davranışının daha doğru bir şekilde ölçülmesi için parçacık boyutundaki çeşitliliği ortadan kaldırmaya yardımcı olmuştur. Çalışma ayrıca, ürün işlevselliği üzerinde herhangi bir olumsuz etki olmaksızın, geleneksel püskürtmeli kurutma koşulundan önemli ölçüde daha düşük sıcaklık kullanılarak damlacıkların püskürtülerek kurutulmasının mümkün olduğunu göstermiştir (Fang ve ark., 2012).

Tunick ve ark. (2016) 35 °C'de ve %70-90 bağıl nemde 18 ay boyunca depolanan peynir altı suyu protein konsantrisi tozlarının (WPC34, %34 protein; WPC80, %80 protein) fiziksel özelliklerini incelemiştir. Yazarlar, depolanan WPC tozlarında su aktivitesinin, uçucu bileşik oluşumunun, sarılığın ve topaklanmanın arttığını, lizin içeriğinin ise azaldığını bildirmiştir (Tunick ve ark., 2016). Laktozun (%0,1-16, ağırlık/ağırlık) 40 °C ve 60 °C'de 3 ay boyunca depolama sırasında peynir altı suyu protein tozlarının yapısı üzerindeki etkisini araştırıldığı bir diğer çalışmada, düşük laktoz içeriğine sahip peynir altı suyu proteini izolat tozları (WPI), depolama sırasında bu tozların yapısını ve işlevini etkilememiştir. Daha yüksek laktoz içeriğine sahip WPI (%2,6 w/w), daha düşük laktoz içeriğine sahip WPI'den (%0,1 w/w) daha yüksek oranda laktosile edilmiş ve bu, depolanan WPI tozlarında Maillard reaksiyonunun altında yatan nedeni vurgulamıştır. Bu tür bulgular, WPI'deki laktoz içeriğinin azaltılmasının depolama sırasında süt protein tozlarının stabilitesini iyileştirdiğini göstermektedir (Norwood ve ark., 2017).

Yüksek basınçlı homojenizasyonun (HPH) tek başına veya termal işleme (TT) birlikte kullanımının, yağsız süttten asit jelleri üretimi üzerindeki etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, HPH ve TT'nin birleşik etkisi, hem kazein misel ayrışmasını hem de peynir altı suyu protein denatürasyonunu teşvik ederek yağsız süttten elde edilen asit jellerinin fiziksel özelliklerini etkilemiştir. Asit jellerinin viskoelastik özellikleri (G'), HPH ve TT kombinasyonu ile artırılmıştır. Süt, diğer tüm işleme koşullarına kıyasla 350 MPa'da HPH'ye tabi tutulduğunda asit jellerinin WHC'si iyileştiği sonuçları elde edilmiştir (Hernández ve Harte, 2008).

Soyulmuş ceviz içlerinden yapılan yoğurdun kalitesi üzerine kavurma ve yüksek basınçlı homojenizasyonun etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, ceviz sütü 120 MPa'nın üzerinde HPH ile işlendiğinde, parçacık boyutundaki azalma ve protein ile yağ arasındaki artan etkileşim nedeniyle, fermente yoğurt daha iyi bir jel yapısına sahip olduğu belirlenmiştir (Jiao ve ark., 2023).

Yüksek basınçlı homojenizasyonun (YBH) (20, 60, 90, 120 ve 150 MPa) soya fasulyesi (SOB) fermente sütlerinin fizikokimyasal, reolojik ve duyuşal özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deneysel sonuçlar, YBH basıncının artmasıyla, YBH fermente sütün asitliliğinin ve su tutma kapasitesinin önemli ölçüde arttığını, pH, peroksit değeri ve tiyobarbitürik asit reaktif maddelerinin (TBARS) ise önemli ölçüde azaldığını göstermiştir. YBH fermente sütün psödoplastik sıvılar olduğu ve 150 MPa'daki YPH fermente sütün en yüksek görünür viskoziteye sahip olduğu bulunmuştur. Bu arada, 150 MPa'daki YBH fermente sütü en yüksek duyuşal puana sahiptir. Son olarak, temel bileşen analizi (PCA) ve ısı haritası, YBH fermente sütün 150 MPa'daki YPH uygulamasından sonra en iyi özelliklere sahip olduğunu göstermiştir (Wei ve ark., 2024).

Evaporasyonun ve yüksek basınçlı homojenizasyonun (YPH) keçi sütü yoğurdu kalitesi üzerindeki etkisini anlamak için yapılan çalışmada; konsantre yüksek basınçlı homojenizasyonun (YPH), saf yüksek basınçlı homojenizasyon (YPH) ile karşılaştırıldığında daha uzun fermentasyon süreleri, daha küçük parçacık boyutu, artan viskozite, sertlik ve kohesiflik sergilerken, yüksek basınçlı homojenizasyon (YPH) işlemleri daha kısa asitleştirme süreçlerini indüklemiştir. Bu arada, yüksek basınçlı homojenizasyon (YPH) işlemleriyle 150 MPa'da üretilen konsantre fermente keçi sütü; ortalama parçacık boyutunu azaltarak gelişmiş stabilite göstermiş ve değerlendirilen tüm fermente keçi sütü ve konsantre keçi sütü örnekleri arasında en yüksek genel kabul edilebilirliği sergilemiştir. Ayrıca, daha yüksek HPH basıncıyla işlenen konsantre fermente keçi sütü, 20 MPa HPH basıncıyla işlenen konsantre fermente keçi sütü ile

karşılaştırıldığında sindirim sırasında gelişmiş bir hidroliz derecesi, protein sindirilebilirliği ve antioksidan aktivite göstermiştir (Ma ve ark., 2023).

Mercan ve ark. (2023) yaptıkları çalışmada, yüksek basınçlı homojenizasyonun (HPH) koyun sütü yoğurdunun asitleşme kinetiği ve fizikokimyasal özellikleri üzerindeki etkisi araştırmıştır. Sonuçlar, koyun sütüne uygulanan yüksek basınçlı homojenizasyonun (HPH) yoğurdun fizikokimyasal ve fermantasyon özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olabileceğini göstermiştir (Sert ve ark., 2023).

Ceylan (2022), iki termal olmayan teknolojinin (yüksek basınçlı işleme (HPH) ve yüksek yoğunluklu ultrasonun (HIU) peynir altı suyu proteini/kanola yağı nano emülsiyonlarının bir hafta boyunca (WPN) damlacık boyutu, bulanıklığı ve lipid oksidasyonu üzerindeki etkisini araştırmak için yaptığı çalışmada, HIU10, ultrasonikasyondan hemen sonra daha küçük damlacık ve daha az lipit oksidasyonu oluşturma yeteneğiyle peynir altı suyu proteinlerinin işlevsel özelliklerini güçlendirmek için umut vadeden bir uygulama olduğunu tespit etmiştir (Ceylan, 2022).

Yüksek basınçlı homojenizasyonun süt kalitesini ve yoğurt duyuşal özelliklerini iyileştirme üzerindeki etkisinin araştırıldığı çalışmada, yüksek basınçlı homojenizasyonun zararlı bakteriyofajları ve bozulma mikroorganizmalarını etkisiz hale getirme, yağ küreciklerini parçalama ve ısı yerine basınç kullanarak proteinlerin denatürasyonunu sağlama gibi bazı önemli değişiklikleri sağladığı aynı zamanda süt ürünlerinde, özellikle yoğurta, sütteki etkili değişiklikler nedeniyle, buzdolabında saklama sırasında probiyotik bakterilerin yaşayabilirliğini de iyileştirdiği belirlenmiştir (Massoud ve ark., 2016).

Mercan ve ark. (2018), yüksek basınç işleminin yağsız sütünün toz akış özellikleri üzerindeki etkilerini belirlemek üzere yaptıkları çalışmada, HPH işlemi, yağsız süt tozlarının (SMP)'lerinin toz akış özelliklerini önemli ölçüde etkilemiştir. HPH işlemi, kontrol numunesi (SMP-0) ile karşılaştırıldığında SMP (yağsız süt tozu) numunelerinin kohezyon ve kekleşme özelliklerini azalttığı süt konsantrelerine HPH uygulamasının yağsız süt tozlarının akış özelliklerini iyileştirebileceğini ortaya koymuştur (Mercan ve ark., 2018).

Farklı sıcaklıklarda (4–60 °C) yüksek basınçlı homojenizasyonun (HPH, 100 MPa) ve geleneksel homojenizasyonun (20 MPa, 60 °C) standartlaştırılmış süt, buttermilk ve süt- buttermilk karışımındaki süt yağı globüllerinin boyutu ve globül membranının; protein ve fosfolipit içeriği üzerindeki etkileri karşılaştırıldığı çalışmada; yüksek basınç homojenizasyonun süt yağı globüllerinin boyutunu azalttığı ve ≥ 4 °C'de

kazeinin, sırasıyla ≥ 40 °C ve ≥ 20 °C'de süt ve buttermilkteki β -laktoglobulinin ve 60 °C'de α -laktalbüminin süt yağı globüllerinin yüzeyindeki adsorpsiyonunu desteklemiştir. Yüksek basınç homojenizasyonun, sütteki yağ globül membranının protein ve fosfolipit sfingomiyelin (arttı) ve fosfatidilkolin (azaldı) içeriğini etkilemiştir. Geleneksel homojenizasyon, buttermilkteki yağ globül membranının protein ve fosfolipitdeki fosfatidiletanolamin içeriğini artırdığı belirlenmiştir (Kielczewska ve ark., 2021).

Calligaris ve ark.(2013), Omega-3 yağ asitleriyle zenginleştirilmiş “queso fresco” üretiminde yüksek basınçlı homojenizasyonla süte ön işleme uygulama üzerine yaptıkları çalışmada, daha önce yüksek basınç homojenizasyon işlemine tabi tutulan süttten elde edilen queso fresco'nun, işlenmemiş süttten elde edilenlere kıyasla farklı özellikler gösterdiğini vurgulamışlardır. YBH ile muamele edilen peynirler esas olarak nem, yağ içeriği ve dokusal özellikler açısından farklılık göstermiştir. 50 MPa basınçtaki homojenizasyonun, en yüksek yağ tutulmasını sağlayan işlem olduğu ve bu sonuçların omega-3 yağ asitlerinin kaynağı tarafından etkilenmediğini bildirmişlerdir (Calligaris ve ark., 2013).

Sert ve Mercan (2021) koyun sütü dondurma karışımının yüksek basınç homojenizasyonunun fizikokimyasal ve mikrobiyolojik karakterizasyon üzerine etkisini değerlendirmiştir. YBH, erime süresini ve ilk damlama süresini artırırken, erime hızını azaltmıştır. YBH, azalan taşma değerine bağlı olarak dondurma örneklerinde sertliğin artmasıyla sonuçlanmıştır. YBH ile karışıma uygulanan işlem, dondurma örneklerinin mikrobiyal yüklerini toplam mezofilik bakteri, toplam psikrofilik bakteri, maya ve küf açısından önemli ölçüde azaltmıştır (Sert ve Mercan, 2021).

Yüksek basınçlı homojenizasyon işleminin yağsız sütteki *Bacillus Stearothermophilus* ve *Clostridium Sporogenes* sporları üzerindeki etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, YBH işleminin, test edilen basınç aralığında (100 ila 300 MPa), 300 MPa'lık yüksek basınçta, homojenizasyon sırasında yüksek sıcaklık (yüksek giriş sıcaklığı) ve homojenizasyondan önce bir ısı şoku uygulandığında bile, yağsız sütteki *Bacillus stearothermophilus* ATCC 7953 ve *Clostridium sporogenes* PA 3679 sporlarını azaltmadığı veya hassaslaştıramadığı sonucuna varılmıştır (Pinho ve ark., 2011).

Guerzoni ve ark. (1999), yüksek basınçlı homojenizasyonun keçi peynirlerinin mikrobiyal ve kimyasal-fiziksel özellikleri üzerindeki etkisini inceledikleri çalışmada; yüksek basınç homojenizasyonun peynir özellikleri ve olgunlaşma süreçleri üzerinde hem doğrudan hem de dolaylı etkileri olduğunu tespit etmişlerdir. Doğrudan etkiler proteinlerin su bağlama kapasitesindeki değişiklikleriyle bağlantılıydı, bu da peynir altı

suyu ayrımının azalmasıyla ortaya çıkmıştır. Dolaylı etkiler ise mikrobiyal gelişim veya aktiviteyi, özellikle doğal olarak meydana gelen laktik asit bakteri popülasyonunun modifikasyonlarını, bunun evrimini ve pH'ta hızlı bir artışla birlikte daha erken maya ve küf gelişmesini içeriyordu. Kontrol veya ısıyla işlenmiş numunelerle ilgili bazı farklılıklar açıklanmış olsa da, yüksek basınç homojenizasyon işleminin peynir verimini, lor bileşimini ve olgunlaşma sürecini önemli ölçüde etkilediği kanıtlanmıştır (Guerzoni ve ark., 1999).

Yüksek basınç homojenizasyon uygulanan modellenmiş süt emülsiyonlarının reolojik özelliklerinin incelendiği çalışmada; %2 + %1 ve %2 + %2 (w/v) oranındaki sodyum kazeinat ve peynir altı suyu proteini konsantresi çözeltileri, %5, %8 ve %15 (w/v) nihai içeriklerde süt yağı ile emülsifiye edilmiştir. %8 ve %15 süt yağı içeriğiyle emülsiyon haline getirilen %2 + %1 ve %2 + %2 oranındaki sodyum kazeinat / peyniraltı suyu protein konsantresi çözeltileri, yüksek basınçlarda (100 MPa'nın üzerinde) pastörize ve homojenize edildiğinde zayıf jeller oluşturmuştur. Yüksek basınçlı homojenizasyonun jelleştirme etkisi, düşük yağlı emülsiyon üretimi için ve formülasyonlara eklenen bileşen miktarını azaltmak için kullanılabilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Biasutti ve ark., 2010).

Han ve ark. (2020), yüksek basınçlı homojenizasyon ve ultrasonik işlemin kazeinin yapısı ve özellikleri üzerindeki etkilerini inceledikleri çalışmada; hem yüksek basınçlı homojenizasyon hem de ultrason işleminin protein yapısı üzerinde belirli bir etkiye sahip olduğunu belirlemişlerdir. Kazeinin sarmal yapı içeriği, 100 MPa'da homojenleştirildiğinde, yüksek basınçlı homojen sıvı darbe kuvvetinin, yüksek kayma geriliminin ve lokal ısıtmanın kapsamlı etkilerinden kaynaklanabilecek şekilde en aza indirilmiştir. Homojenizasyon basıncının artmasıyla, kazeinin multimerik yapıları daha küçük parçacıklara ayrılmış, bu da dahili hidrofobik amino asit kalıntılarını daha maskeli hale getirmiştir. Hidrofilik alanlar daha fazla açığa çıkmış, bunun üzerine yüzey hidrofobitesisi azalmış ve çözünürlük önemli ölçüde iyileşmiştir aynı zamanda santrifüjlemeden sonra tortunun da azaldığını bildirmişlerdir (Han ve ark., 2020).

Warncke ve Kulozik (2020), farklı bileşimdeki rekonstitüe edilmiş yağsız süt tozu (SM), %50 protein içeren süt proteini konsantresi tozu (MPC50) ve %85 protein içeren süt proteini konsantresi tozu (MPC85) ve miselar kazein tozunun (MC) rehidrasyonu ve reolojik özellikleri üzerinde sıcaklığın (4, 20 ve 50 °C) ve yüksek basınçlı homojenizasyonun (HPH) (500 bar) etkisini araştırdıkları çalışmanın sonuçları, her toz tipinin (bileşime bağlı olarak) taze yağsız süt gibi aynı parçacık boyutu dağılımını ve

eşdeğer taze konsantrelerin aynı akış davranışını elde etmek için farklı bir kesme işlemi gerektirdiğini göstermiştir. SM veya MPC50 gibi düşük protein tozları, 4 °C'de bir gecede veya 50 °C'de 45 dakika içinde düşük kesme altında tamamen çözülmüştür. MPC85 ve MC, kalan tüm toz parçacıklarını parçalamak için ek bir yüksek basınç homojenizasyon adımına ihtiyaç duymuştur. Rekonstitüe oluşumu zayıf olan süt tozu süspansiyonlarına (özellikle de hızlı çözünen bileşenlerin içeriği düşük olanlar) 500 bara kadar yüksek basınç uygulanması, yüksek oranda konsantre protein tozlarını tamamen çözmek için vazgeçilmez görünmektedir. Geriye kalan toz agregalarının, aynı bileşime sahip taze üretilenlere kıyasla yeniden oluşturulmuş yağsız süt konsantrelerinin viskozitesini artırdığı hipotezlerini doğruladığı sonucuna varmışlardır (Warncke ve Kulozik, 2020).

Alkalileştirme ve ultra yüksek basınçlı homojenizasyonun çiğ ve pastörize yağsız sütteki kazein miselleri üzerindeki etkisinin incelendiği çalışmada, alkalileştirmenin misel şişmesi ve farklı artan boyut formlarına yeniden düzenlenmesi; daha yüksek kazein misel parçacık boyutuna neden olduğunu, buna karşın UHPH işleminin bu kırılğan gevşek kazein miseli yapılarının ayrışmasına yardımcı olduğu görülmüştür. Kazein misellerinin tam yeniden dağılımı, UHPH işlemi kullanılarak daha düşük alkali pH'ta elde edilebilmiştir. Genel olarak bu çalışma, alkalileştirme ve UHPH 'nin kazein misel yapısını sinerjik olarak değiştirmek ve süt ürünlerine dahil edildiğinde tekno-fonksiyonel özelliklerini ve davranışlarını değiştirmek için güçlü bir potansiyele sahip olduğu sonucuna varılmıştır (Touhami ve ark., 2022).

Jiao ve ark. (2023), kavurma ve yüksek basınçlı homojenizasyonun ceviz yoğurdunun dokusu, reolojisi ve mikro yapısı üzerindeki etkisini araştırdıkları çalışmada; ceviz sütünün 120 MPa'nın üzerinde HPH ile işlendiğinde, parçacık boyutundaki azalma ve protein ile yağ arasındaki etkileşimin artması nedeniyle fermente yoğurdun daha iyi bir jel yapısına sahip olduğunu görmüşlerdir. Elde edilen ceviz yoğurdu, görünür viskozite, sertlik, parlaklık ve su tutma kapasitesi açısından daha iyi özellikler göstermiştir. Homojenize yoğurt örneklerinin konfokal lazer tarama mikroskobu görüntüleri, hem yağ hem de protein jel parçacıklarının boyutunda önemli bir azalma göstermiş ve aralarında daha belirgin bir temas olduğunu belirlemişlerdir (Jiao ve ark., 2023).

Yüksek basınç işleminin yulaf sütü reolojik, dağıtıcı ve duyu kalite nitelikleri üzerindeki etkisinin incelendiği araştırmada ; yulaf sütü üretiminin duyu özelliklerini, termosensitif bileşenlerden ödün vermeden korumak için, HPP yararlı bir alternatif olduğu sonucuna varılmıştır. 600 MPa'da işlenen yulaf sütünün toplam katıları,

viskozitesi, sıvı kıvamı ve rengi, 300 MPa, 400 MPa ve 500 MPa'da işlenenlerden daha iyi olduğu, ek olarak, 600 MPa'daki HPP seviyesi, reolojik özellikleri olumsuz etkilemeden vejetatif hücreleri etkili bir şekilde kontrol ettiği belirlenmiştir. Duyusal değerlendirmelerde, 600 MPa'da HPP ile işlenen yulaf sütünün, panelistlere taze benzeri bir tada sahip olması nedeniyle ısıyla işlenmiş süte tercih edildiği sonucuna varılabilir. Genel olarak, 600 MPa'daki HPP'nin yulaf sütü içeceklerinin üretimi için yararlı bir termal olmayan işleme yöntemi olduğu sonucuna varılabileceği belirtilmiştir (Ahmad ve ark., 2024).

Siddiqui ve ark. (2024) yüksek basınçlı işlemenin sütün biyoaktif bileşikleri üzerindeki etkisini inceledikleri araştırmada ; yüksek basınçlı işlemenin farklı süt bazlı ürünlerin ve farklı kaynaklardan elde edilen sütün raf ömrünün, yeniliğinin, dokusal özelliklerinin, besin profilinin ve duyusal özelliklerinin artırılmasına katkıda bulunduğunu belirlemişlerdir. HPP'nin (400-600 MPa ve 1-5 dakikalık maruz kalma süreleri) E. coli, Salmonella ve L. monocytogenes'i 5 log'a kadar azaltmadaki etkinliğini ve Enterobacteriaceae, laktik asit bakterileri, Pseudomonas spp.'yi azaltarak çiğ sütün raf ömrünü artırdığını ve HPP ile işlenen çiğ sütün partikül boyutu, rengi ve ağız hissi, pastörize süte kıyasla korunduğunu bildirmişlerdir. HPP'nin sütün pH'ını hafifçe etkilediği, en az 7 dakika boyunca 600 MPa'da işlendiğinde $\Delta\text{pH} = 0,1$ oranında artırdığı belirtilmiştir. HPP kazein yapılarının ortalama boyutunu düşürmüştür. Süt proteinlerinin biyolojik aktivitelerinin, kendilerine uygulanan farklı işleme metodolojileri nedeniyle etkilendiği bildirilmiştir. 500 MPa'da 1 dakika boyunca lipopolisakkaride maruz bırakılan solunum epitel hücrelerinde anti-inflamatuar ve antioksidan potansiyel artmıştır. HPP, sütteki kazeinin emülsifikasyonunu ve emülsiyon stabilitesini iyileştirir. Süt yağının krema olarak yapışma oranını etkileyerek, 100-250 MPa'da zamana bağlı olarak artan sonuçlar verirken, 400-600 MPa'da %70'e kadar azaldığı sonuçları elde edilmiştir (Siddiqui ve ark., 2024).

Ultra yüksek basınçlı homojenizasyonla işlenen keçi sütünden yapılan peynirlerin lipolizi üzerinde yapılan bir çalışmada ; ultra yüksek basınçlı homojenizatör ile işlem görmüş ve pastörize edilmiş sütlerden üretilen peynirlerin serbest yağ asidi içerikleri olgunlaşma sırasında benzer, buna karşın pH süttten yapılan peynirlerde lipoliz daha yüksek olarak görülmüştür. Sütün geleneksel homojenizasyonu, yağ küreciği boyutunun azalması nedeniyle kapsamlı bir lipoliz üretmiş ve lipaz aktivitesi için alanı artırmıştır. ultra yüksek basınçlı homojenizatör ile işlem görmüş ve pastörize edilmiş sütlerden üretilen peynirler arasındaki farklar, homojenizasyon yoğunluğu ve bu teknolojilerin süt

yağ küreciği zarında ürettiği farklı değişikliklerle ilgili olabileceği ve enzimin yağa erişilebilirliğini değiştirebileceği sonucuna varılmıştır (Juan ve ark., 2015).

He ve ark. (2023), adzuki fasulyesi, adlay ve yulaftan yapılan bitki bazlı sütün fiziko-kimyasal ve organoleptik özelliklerini karşılaştırmak ve ev tipi ve yüksek basınçlı homojenizatör kullanımının bitki bazlı sütün fiziko-kimyasal ve duyuşsal özellikleri üzerindeki etkilerini inceledikleri çalışmada ; yüksek basınçlı homojenizasyonun, toplam çözünür protein içeriğinin artması veya nişasta parçacıklarının salınması nedeniyle, ev yapımı bitki bazlı sütün hafifliği ve brix'i üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Proteinin açılması ve yağın daha küçük damlacıklara parçalanması sonucunda, yüksek basınçlı homojenizasyon, numunelerin parçacık boyutunu önemli ölçüde azaltmış, tekdüzeliklerini iyileştirmiş ve viskozitelerini artırmıştır. Bu etkiler, sistemin emülsifiye etme yeteneğini iyileştirmiştir (He ve Xu, 2024).

Yüksek basınçlı homojenizasyonun düşük yağlı yoğurdun fizikokimyasal, reolojik, dokusal, mikro yapısal ve duyuşsal özellikleri ile asitleşme kinetiği üzerindeki etkisinin incelendiği çalışmada ; 50 MPa 'dan sonra homojenizasyon işleminin starter kültürün fermantasyon kinetiğini değiştirdiği ve fermantasyon süresini 100 ve 150 MPa'da süt homojenizasyonu ile 210 dakikaya düşürdüğü görülmüştür. Yüksek basınçlı homojenizasyon beyazlık indeksinin artmasına neden olmuş ve numuneler arasındaki renk farkı görsel olarak belirgin bir şekilde fark edilebilir olmuştur. Sütün yüksek basınçlı homojenizasyonla işlenmesi, düşük yağlı yoğurtların su tutma kapasitesini ve dokusal özelliklerinin yanı sıra viskozitesini artırmaya açıkça katkıda bulunmuştur; bu da yüksek basınçlı homojenizasyonun düşük yağlı yoğurdun fiziksel ve yapısal sorunlarının önemli ölçüde üstesinden gelebileceği belirlenmiştir. 100 MPa'da yüksek basınçlı homojenizasyon işlemi hem yoğurt yapısını iyileştirmek hem de düşük yağlı yoğurt için endüstriyel seviyelerde fermantasyon süresini ve dolayısıyla maliyetleri azaltmak için önemli bir potansiyel göstermiştir (Akgun, 2024).

Serna-Hernandez ve ark. (2022), yüksek basınçlı işleminin süt kazein miselleri üzerindeki etkilerinin mikroskopik olarak değerlendirdikleri çalışmada; mikroskopik analiz, kazein misellerinin yüksek basınç işlemlerinden etkilendiğini göstermiştir. Yüksek basınçla işlenmiş kazein miselleri parçalanma, kümeleşme ve şekillerinde değişiklik olarak üç farklı olguyu göstermiştir. Genel olarak, bu etkilerin kapsamı basınç ve zaman işlemleri arttıkça artmıştır. Parçacık boyutu dağılımı analizi, basınç yoğunluğu ve işlem süresi arttıkça üç olgunun daha belirgin hale geldiğini ortaya koymuştur. Ek olarak, homojenizasyon ve kaymağı alma gibi süt ön işlemlerinin kazein misel boyutu

üzerinde önemli bir etkisi olmamıştır; ancak, yağın varlığı tam yağlı süt örneklerindeki kazein miselleri üzerinde baroprotektif bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir (Serna-Hernandez ve ark., 2022).

Yüksek basınçlı homojenizasyonun domates suyunun fiziksel stabilitesi üzerine etkisinin araştırıldığı çalışmada ; yüksek basınçlı homojenizasyonun domates suyunun fiziksel özellikleri üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Yüksek basınçlı homojenizasyon, asılı posa parçacıklarını bozarak domates suyu parçacık boyutu dağılımını (PSD), posa sedimentasyon davranışını, serum bulanıklığını (bulanıklık), rengi ve mikro yapıyı değiştirmiştir. Bu nedenle, çökelmeye karşı meyve suyunun kararlılığını artırmış ve bozulan hücrelerden likopen sızması nedeniyle rengini değiştirmiştir. Sonuçlar, yüksek basınçlı homojenizasyonun kıvamı artırmak ve parçacık sedimentasyonunu ve serum ayırımını azaltmak gibi gıda ürünlerinde istenen fiziksel özellik değişikliklerini teşvik etmek için değerli bir araç olarak kullanılabileceğini ve dolayısıyla duyuusal kabulü iyileştirebileceğini göstermiştir (Kubo ve ark., 2013).

Pereda ve ark. (2007) ultra yüksek basınçlı homojenizasyonun (UHPH) 4°C'de depolama sırasında sütün mikrobiyal ve fizikokimyasal raf ömrü üzerindeki etkisini inceledikleri ve endüstride kullanılan geleneksel bir ısı koruma teknolojisi ile karşılaştırdıkları çalışmada ; ultra yüksek basınçlı homojenizasyon işleminden hemen sonra , psikrotrofik, laktokok ve toplam bakterilerinde azaltmada pastörizasyon işlemi kadar etkiliydi (%99,99) ve 3,5 log cfu/mL'lik azalmalara ulaştı. Koliformlar, laktobasiller ve enterokoklar ortadan kaldırıldı. 4°C'de depolama sırasında işlenmiş sütlerin mikrobiyal sonuçları, ultra yüksek basınçlı homojenizasyon işleminin pastörize süt için elde edilene benzer şekilde 14 ila 18 gün arasında mikrobiyal raf ömrüne sahip süt ürettiğini gösterdi. Ultra yüksek basınçlı homojenizasyon ile işlenen hiçbir sütte kremalaşma gözlemlenmedi. Bu nedenle, ultra yüksek basınçlı homojenizasyon gibi alternatif yöntemler, mikrobiyal ve fizikokimyasal özellikler açısından pastörize edilmiş süte eşdeğer raf ömrüne sahip sıvı süt geliştirmek için yeni fırsatlar sunabileceği sonucuna varılmıştır (Pereda ve ark., 2007).

Mohan ve ark. (2016) tarafından yapılan yüksek basınç homojenizasyonunun bir türü olan su jeti teknolojisi kullanılarak, 0 ila 500 MPa basınçlarda işlenen pastörize yağsız sütün fizikokimyasal özelliklerini karakterize etmek ve bu teknolojinin süt için yeni kullanımlarını keşfetmek üzerine yapılan çalışmada; kazein misellerinin görünen parçacık boyutu, 0 ila 200 MPa'da işlenen sütte yaklaşık 180-220 nm'den, 500 MPa'da işlenen sütte yaklaşık 280 nm'ye çıkmıştır. Tüm süt örnekleri 4 °C'de 14 güne kadar raf

ömründe tutulmuştur. 400 ve 500 MPa'da işlenen yağı alınmış sütün viskozitesi, kontrol işlenmemiş sütle (2,2 mPa s) karşılaştırıldığında neredeyse iki katına çıkmıştır (4,2 mPa s). HPJ işleme basıncının artırılması, kazein misellerinin yapı-işlev özelliklerinin değişmesini sağlamış ve 500 MPa işlem uygulanan sütte rennet kaynaklı pıhtılaşma gözlenmemiştir (Mohan ve ark., 2016).

Wolti-Chanes ve ark. (2009) pektinmetilesterazı inaktive etmek için portakal suyunun yüksek basınçlı homojenizasyonu üzerine yaptıkları çalışmada; seçilen basınç ve sıcaklıklarda homojenize edilen portakal suyunda pektinmetilesteraz inaktivasyonunda doğrusal bir davranış gözlemlenmiştir. İşlenmeden önce 22 veya 35 °C'de ısıtılan portakal suyunda pektinmetilesteraz aktivitesinde önemli bir fark gözlemlenmemiş olup, portakal suyunun homojenizatörde 250 MPa'da tek bir geçişinden sonra maksimum %50 pektinmetilesteraz inaktivasyonu elde edilmiştir. Portakal suyunda PME inaktivasyonunun %31 ve %80 'i 250 MPa'da beş geçişten sonra gözlemlenmiş; 100 ve 250 MPa'da beş kez homojenize edilen portakal suyundaki mikrobiyal sayımlar, mezofiller ve mayalar ile küfler için sırasıyla 3,0 ve 3,3 Log döngüsünde az olduğu sonucuna varılmıştır (Wolti-Chanes ve ark., 2009).

Yüksek basınçlı homojenizasyon işlemi uygulanan morina proteinlerinin fizikokimyasal özellikleri ve yağ/su arayüz adsorpsiyon davranışı üzerine yapılan bir araştırmada, morina proteini kaplı yağ-su emülsiyonlarının depolama kararlılığının, proteinlerin fizikokimyasal özelliklerinin yüksek basınç işlemiyle modüle edilmesiyle artırılacağı ortaya koyulmuştur. Yüksek basınç işlemi, morina proteinlerinin ikincil yapısı üzerinde önemsiz etkilere neden olmuştur, ancak protein moleküllerinin üçüncül yapılarını değiştirmiştir ve bu da daha fazla gömülü hidrofobik ve sülfidril grubu açığa çıkararak yağ-su arayüzünde emilimi ve bağlantıyı artırmıştır. Emülsifikasyonlarda uygulandığında, bu tür negatif yüklü proteinler arasındaki artan elektrostatik itme, bitişik yağ damlacıklarının birleşmesini engellediği ve emülsiyon kararlılığını artırdığı belirlenmiştir (Zhou ve ark., 2022).

Ultra yüksek basınçlı homojenizasyonun sütün peynir yapım özellikleri üzerindeki etkilerini incelemek üzerine yapılan bir araştırmada; sütün UHPH ile işlenmesinin yağ küreciklerinin boyutunu azalttığını, lor peynirinin ıslak verimini ve nem içeriğini artırdığını ve peynir altı suyunun protein içeriğini azalttığını göstermektedir. Peynir mayası pıhtılaşma özellikleri, 200 ve 300 MPa'da tek aşamalı UHPH ile

artırılmıştır. Ancak, lor peynirinin sertliği hesaba katıldığında, ikincil bir aşamanın uygulanması, geleneksel homojenizasyon-pastörizasyonla elde edilenlere kıyasla daha zayıf jeller üretmiştir. UHPH ile sütün peynir yapma özelliklerinin iyileştirilmesi; homojenizasyonun (yani, parçacık boyutunun azaltılması) ve ısının (yani, peynir altı suyu proteinlerinin denatürasyonu) sütün protein-yağ yapıları üzerindeki birleşik etkisine bağlı olduğu sonucuna varılmıştır (Zamora ve ark., 2007).

Innocente ve ark. (2009) yüksek basınçlı homojenizasyonun dondurma karışımlarının damlacık boyutu dağılımı ve reolojik özellikleri üzerindeki etkisini inceledikleri çalışmada, dondurma karışımlarının homojenizasyonu, basınç konvansiyonelden yüksek değerlere çıktıkça ortalama parçacık çapında kademeli bir azalma ile bimodalden monomodal parçacık boyutu dağılımlarına bir değişime neden olmuştur. Karışım formülasyonunda bileşen olarak kullanılan süt ve süt kreması konvansiyonel olarak homojenize edildiğinden, karışımların konvansiyonel basınç işlemini takiben parçacık boyutlarında ve dağılımlarında meydana gelen daha fazla değişiklik, dondurma karışımlarının artan viskozitesinin etkilerine atfedilmiştir. Yağ küreciği ortalama çapları daha yüksek basınçta azalmış olup, daha düşük homojenizasyon basıncı (15/3 MPa) esas olarak dağılmış fazı etkilemiş ve daha yüksek yağ içerikli karışımlarda daha belirgin bir viskozite azalmasına neden olmuştur. Yüksek basınçlı homojenizasyon (97/3 MPa) viskoelastik özellikleri ve görünür viskoziteyi büyük ölçüde artırdığı belirlenmiştir (Innocente ve ark., 2009)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Sodyum kazeinat tozu üretiminde kullanılan sütler

Sodyum kazeinat tozlarının üretiminde kullanılan sütler, yerel bir süt firmasından (Konya) temin edilmiştir.

3.1.2. Ambalaj materyali

Oksijen ve nem geçirgenliği düşük olduğu için ambalaj materyali olarak üç kat kraft kâğıt kaplı polietilen torba kullanılmıştır. Böylece depolama süresince sodyum kazeinat tozlarının nem değerlerinde meydana gelebilecek artış ve okside olması en aza indirilmiş olmaktadır. Son ürünün, raf ömrü boyunca niteliğini koruyabilmesi için bu ambalaj materyalinin kullanılması önem arz etmektedir. Üretilen sodyum kazeinat tozlarının paketlenmesi için 1000 g ürün alabilecek boyutta olan ambalaj malzemesi kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Sodyum kazeinat tozu örneklerinin üretimi

Sodyum kazeinat tozu üretimindeki ön denemeler Necmettin Erbakan Üniversitesi Gıda Mühendisliği laboratuvarında bulunan laboratuvar tipi püskürterek kurutucu (Buchi B-290 (Buchi, Flawil, İsviçre)) ve laboratuvar tipi yüksek basınç homojenizatör (Panda Plus 2000, GEA Niro Soavi, Parma, İtalya) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ön denemelerde belirlenen yüksek basınç homojenizasyon ve sprey kurutma şartları standart numunelerin üretiminde uygulanmıştır. Standart sodyum kazeinat üretimi, yüksek basınç homojenizasyon işlemi ve kurutma Necmettin Erbakan Üniversitesi Gıda Mühendisliği laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

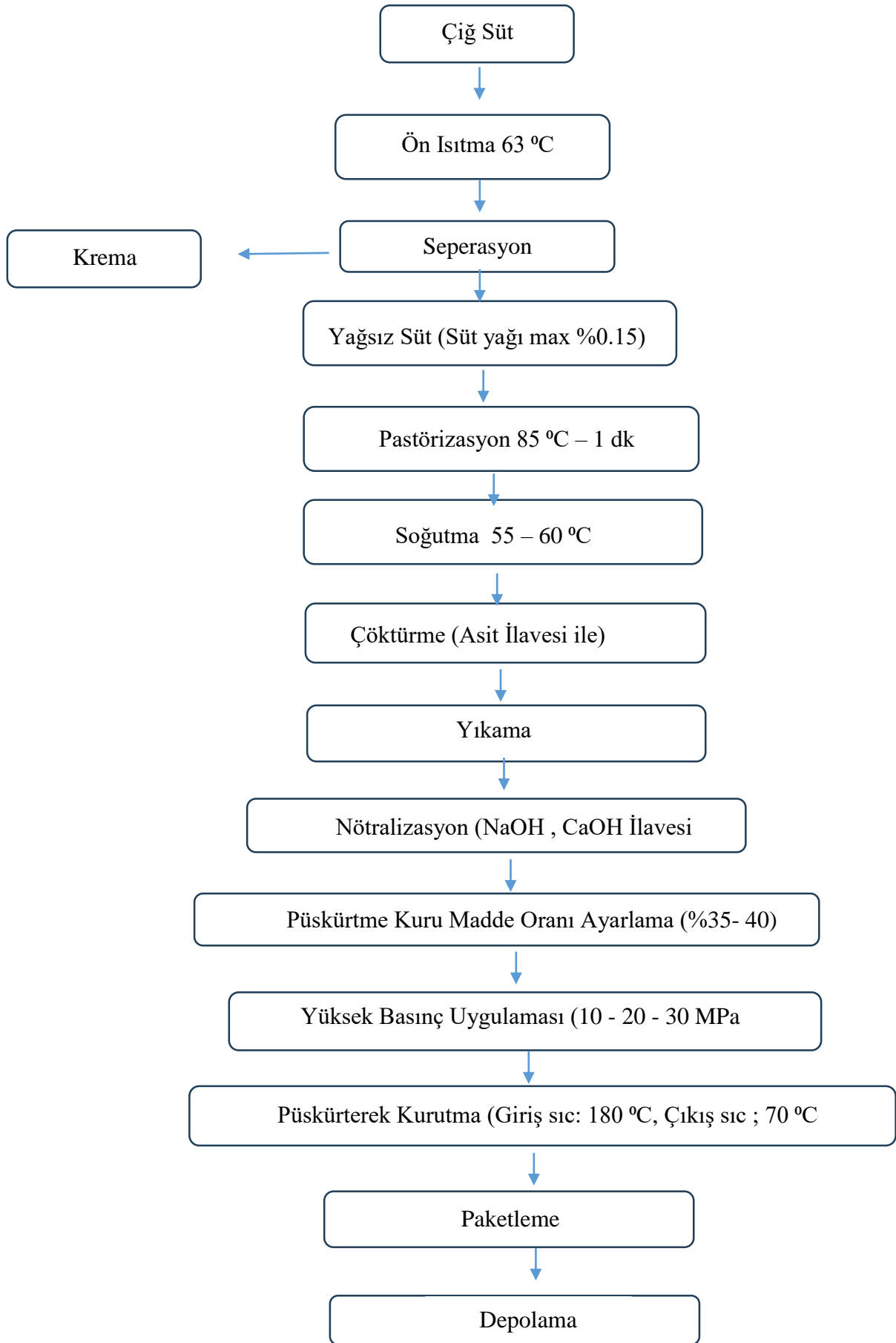
Sodyum kazeinat tozu üretiminde kullanılacak olan sütlerin üretimi yerel firmadan alınan gerekli kimyasal kontrolleri yapılarak uygun bulunan sütlere 63°C’de ön ısıtma işlemi uygulanmıştır. Ardından seperatör yardımı ile yağsız yani %0,15 yağ oranına standardize edilmiştir. Standardizasyon işlemi sonrası ilgili sütler 85 C de 60 sn pastörize edilmiştir. Daha sonra sütler laboratuvara getirilerek asitliği yükseltılarak süt proteinlerinin çöktürülmesi sağlanmış olup, nötralizasyon işlemi için NaOH ilave

edilmiştir. Nötralizasyon işlemi tamamlanan sütler, %35 ve %40 kuru madde içeriğine sahip olarak şekilde hazırlanmıştır. Daha sonra Panda Plus 2000 laboratuvar tipi yüksek basınç homojenizatör (GEA Niro Soavi, Parma, İtalya) kullanılarak yüksek basınç homojenizasyon işlemi uygulanmıştır. Nötralizasyon işlemi sonrasında sütlere 10 -20 -30 MPa'da yüksek basınç homojenizasyon işlemi uygulanmıştır. Nötralize edilmiş sütlere 30 MPa üzerindeki basınç işlemlerinde viskozite artışı kaynaklı yüksek basınç uygulaması sırasında makinede tıkanmalara sebep olduğu için, maksimum uygulanacak yüksek basınç homojenizasyon değeri 30 MPa olarak belirlenmiştir. Sodyum kazeinat tozlarının üretiminde uygulanan basınç parametreleri Çizelge 3.1 'de verilmiştir.

Yüksek basınç işlemi uygulanmasının ardından kurutma aşamasına geçilmiştir. Kurutma aşamasında pilot ölçekli püskürterek kurutucu (GEA Niro Atomizer, GEA Process Engineering A/S, Soeborg, Danimarka) kullanılmıştır. Sütlerin püskürtülerek kurutulması aşamasında, giriş sıcaklığı 180°C ve çıkış sıcaklığı 70°C olarak ayarlanmıştır. Sodyum kazeinat tozları üretildikten sonra yaklaşık 1000'er g miktarlarda olacak şekilde 3 kat kraft kâğıt kaplı polietilen torba ile ambalajlama yapılmıştır. Ambalajlamadan sonra sodyum kazeinat tozları 25 C sıcaklıkta 6 ay depolanmıştır. Sodyum kazeinat tozlarının depolamanın 0.,30., 90. ve 180. günlerinde analizler uygulanmıştır. Sodyum kazeinat tozlarının üretimine ait akış şeması Şekil 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Sodyum kazeinat tozlarının üretimine ait gruplar

Püskürtme KM % Oranı	Yüksek Basınç Homojenizasyon (MPa)
%35	10
	20
	30
%40	10
	20
	30



Şekil 3.1. Sodyum kazeinat tozu üretimi akış şeması

3.2.2. Çiğ süte uygulanan analizler

Çiğ sütün kuru madde, yağ, protein ve titrasyon asitliği analizleri AOAC metotlarına göre belirlenmiştir (AOAC, 2005). pH, Sentix 42 elektrotlu el tipi pH-metre (WTW pH 3110, Almanya) kullanılarak ölçülmüştür.

3.2.3. Sodyum kazeinat tozlarına uygulanan analizler

3.2.3.1. Fizikokimyasal analizler

3.2.3.1.1. Nem

Sodyum kazeinat tozu örneklerinin nem içeriğini etüv kullanılarak gravimetrik yöntemle ölçülmüştür. Bu yöntemle göre, 3 ila 4 g sodyum kazeinat tozu örneği $102 \pm 2^\circ\text{C}$ 'de 2 saat boyunca sabit bir ağırlığa kadar kurutulmuştur. Ağırlığın sabit olduğunu doğrulamak için, birinci ve ikinci kurutmadan sonra kütledeki azalma 0,0005 g'ı geçmeyene kadar örnekler bir saat daha kurutulmuştur. Etüvden alınan örnekler oda sıcaklığına soğutulmuş ve tartılmıştır. Örneklerin % nem içeriği aşağıda belirtilmiş olan formüle göre hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Nem} = \frac{b - c}{b - a} \times 100$$

a: Kurutma kabının darası (g)

b: Kurutma kabı + toz örnek (g)

c: Kurutma kabı + kurutulmuş toz örnek (g)

3.2.3.1.2. Protein

Sodyum kazeinat tozu örneklerinin azot içeriği, Kjeldahl yöntemi AOAC tarafından açıklandığı gibi kullanılmıştır (AOAC, 2005). Sodyum kazeinat tozu numunelerinin % protein miktarı, elde edilen % azot miktarının 6.38 faktörü ile çarpılması ile hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Azot} = \frac{(v_{\text{örnek}} - v_{\text{şahit}}) \times 0.1 \times 14.007}{m_{\text{örnek}} \times 1000}$$

$v_{\text{örnek}}$ ve $v_{\text{şahit}}$: Örnek ve şahit için harcanan HCl hacmi

$m_{\text{örnek}}$: Örnek ağırlığı

$$\% \text{ Protein} = \text{Azot} (\%) \times 6.38$$

3.2.3.1.3. Kül

Sodyum kazeinat tozu örneklerinin nem içeriği, AOAC tarafından belirlenen metoda göre belirlenmiştir. Örneklerin kül yüzdesi aşağıda belirtilen formüle göre hesaplanmıştır (AOAC, 2005).

$$\% \text{ Kül} = \frac{a-b}{c-b} \times 100$$

a: Krozenin darası + yanmış örnek (g)

b: Krozenin darası (g)

c: Krozenin darası + örnek (g)

3.2.3.1.4. pH

Sodyum kazeinat tozları %10 yağsız kuru madde olacak şekilde rekonstitüe edildikten sonra pH değerleri Sentix 41 elektrotlu 3310 (WTW, Almanya) portatif pH metre ile analiz edilmiştir. Cihaz kalibrasyonunu sağlamak için ölçüm yapmadan önce buffer solüsyonlar (pH 4.01 ve 7.01;WTW) kullanılmıştır.

3.2.3.1.5. Titrasyon asitliği

Titrasyon asitliğinin ölçümü, süt ve süt ürünleri analizi için standart yöntemlerde açıklanan yönteme göre yapılmıştır. Sodyum kazeinat tozları rekonstitüe (%10 yağsız kuru madde) edildikten sonra ve 1 ml %2 w/v fenolftalein çözeltisi eklendi. İçerik, 2 dakikadan uzun süre kaybolmayacak soluk pembe rengi elde etmek için 0,1 M NaOH çözeltisi ile titre edilmiştir (Tomovska ve ark., 2016). Laktik asit dönüşümü için aşağıdaki formül kullanılarak laktik asit (%) olarak ifade edilmiştir

$$\% \text{ Laktik asit} = \frac{\text{ml} \times N \times 90 \times 100}{V \times 1000}$$

ml: Harcanan 0.1 N NaOH (ml)

N: NaOH'ın normalitesi

V: Titrasyonda kullanılan süt (ml)

3.2.3.1.6. Yağ

Numuneleri yağ analizi için, sırasıyla 10 ml 1.816 g/ml yoğunluklu sülfirik asit, 8 ml saf su, 2.5 g sodyum kazeinat tozu ve 1 ml (0.811 g/ml) amil alkol bütirometreye eklenmiş ve tıpası kapatılarak 15 dk süreyle Gerber santrifüj cihazında işlem uygulanmıştır. Yağ miktarı, bütirometre üzerindeki skala yardımıyla % cinsinden doğrudan okunmuştur.

3.2.3.1.7. Su aktivitesi

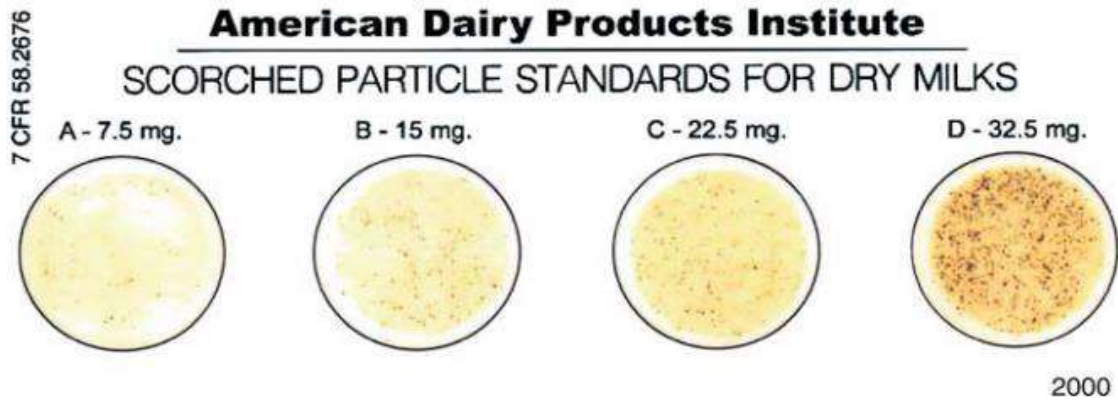
Sodyum kazeinat tozlarının su aktivitesi (aw) Aqualab 4TE aw cihazı (Meter Group, Inc. USA) kullanılarak belirlenmiştir.

3.2.3.1.8. Renk analizi

Sodyum kazeinat tozları arasındaki renk değerlerindeki farklılıkları bir kolorimetre (Chroma Meter CR-400, Keshenghang Inc.) kullanılarak ölçülmüştür. Farklı sodyum kazeinat tozları arasındaki renk değişimlerini karşılaştırmak için renk parametreleri L ve b değerleri analiz edilmiştir. L değeri parlaklığı temsil eder, L = 0 siyahı ve L = 100 beyazı temsil eder. b değeri sarılıktan maviye doğru değişimi temsil eder ve pozitif değerler sarılığı temsil eder (Li ve ark., 2019).

3.2.3.1.11. Yanmış parçacık analizi

Sodyum kazeinat tozlarının, yanmış parçacık içeriği Amerikan Süt Ürünleri Enstitüsü tarafından belirtilen metoda göre belirlenmiştir (ADPI, 2002). Sulandırılarak rekonstitüe hale getirilen sodyum kazeinat tozu örnekleri özel filtrelerden süzölmüş, sonrasında kurutulmuştur. Şekil 3.2 de verilen standart analiz uygulama prosedürü ile karşılaştırılarak yanmış parçacık içeriği belirlenmiştir.



Şekil 3.2. Sodyum kazeinat tozlarının görünümüne göre yanık yabancı madde karşılaştırma tablosu

3.2.3.1.12. Sıkıştırılmış yığın yoğunluğu

Tam 100 cm³ hacmindeki özel bir silindire koyulan sodyum kazeinat tozlarına belli sayıda (100 defa) vurularak örneğin ağırlığı kaydedilmiş ve sodyum kazeinat tozunun kütle yoğunluğu aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanmış ve sonuçlar gr/cm³ olarak belirtilmiştir (IDF, 1995).

3.2.3.2. Fonksiyonel özelliklerin belirlenmesine yönelik analizler

3.2.3.2.1. Dağılılabirlik

Sodyum kazeinat tozlarının dağılılabirlik analizi için, 100 ml'lik behere oda sıcaklığındaki 10 ml su konulmuştur. Behere alınan suya 1 g sodyum kazeinat tozu ilave edilmiş ve 20 sn boyunca ileri geri hareketler ile karıştırılmıştır. Daha sonra, 150 mikron gözenek çapına sahip metal bir elek kullanılarak süzülen numunenin süzütünün kuru madde içeriğini belirlemek amacıyla 105 °C'de 4 saat süreyle etüvde kurutulmuştur. Sodyum kazeinat örneklerinin dağılılabirliği aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır (Naik ve ark., 2012).

$$\text{Dağılılabirlik (\%)} = \frac{(100 + a) \times \text{KM}}{a \times \left(\frac{100 - b}{100} \right)}$$

KM: Hazırlanan karışımın elekten geçtikten sonraki kuru madde içeriği (%)

a: Kullanılan sodyum kazeinat tozu miktarı (g)

b: Sodyum kazeinat tozunun nem oranı (%)

3.2.3.2.2. Islanabilirlik

Sodyum kazeinat tozlarının ıslanabilirlik özelliğini belirlemek amacıyla, oda sıcaklığındaki 100 ml damıtılmış su bulunan behere 0,1 g sodyum kazeinat tozu suyun yüzeyine eşit dağılmasını sağlayacak şekilde dökülmüş ve kronometre çalıştırılmıştır. Sodyum kazeinat tozlarının tamamen ıslanması için gereken süre (s) ıslanabilirlik olarak verilmiştir (Coutinho ve ark., 2025).

3.2.3.2.3. Çözünabilirlik

Sodyum kazeinat tozlarının çözünabilirliklerini belirlemek amacıyla, Amerikan Süt Ürünleri Enstitüsü (ADPI) tarafından belirtilen metod kullanılmıştır (ADPI, 2002). %10 yağsız kuru madde olacak şekilde rekonstitüe edilen sodyum kazeinat tozları, daha sonra sonra 50 ml hacimli derecelendirilmiş özel çözünürlük testi tüplerine (Art. No3634, Funke Gerber, Almanya) koyulmuştur. 10 dk boyunca 1100 rpm'de santrifüjledikten sonra tüpün dibindeki sediment mililitre tortu olarak belirlenmiş. Örneklerin çözünürlüğü aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Çözünabilirlik (\%)} = 100 - [2 \times \text{sediment (ml)}]$$

3.2.3.2.4. Köpük oluşturma kapasitesi ve stabilitesi

Köpüklenme özellikleri, Liu ve ark (2012) tarafından kullanılan yöntemde küçük değişikliklerle belirlendi. 10 g sodyum kazeinat tozu 100 ml suda çözündürülerek rekonstitüe edilmiştir. Daha sonra 2 dakika boyunca 15.800 rpm'de bir Ultra-Turrax T25 (IKA-Labortechnik, Staufen, Almanya) ile homojenize edilmiştir. Köpük oluşturma kapasitesi, karıştırma sonrasında protein dispersiyonunun hacim artışı yüzdesi olarak hesaplanırken, köpük stabilitesi, 30 dakika sonra kalan köpüğün yüzdesi olarak tahmin edilmiş ve % olarak hesaplanmıştır (Liu ve ark., 2012).

3.2.3.3. Toz akış analizleri

Sodyum kazeinat tozlarının, toz akış özelliklerinin belirlenmesinde Toz Akış Analiz sistemiyle donatılmış TA.XTPlus tekstür analiz cihazı (Stable Micro Systems, Godalming, Surrey, Birleşik Krallık) kullanılmıştır. Analizler için toz analiz cihazına 49.0 N kapasiteli yük hücresi takılmıştır. Toz Akış Analiz sisteminde çapı 48 mm ve yüksekliği 10 mm olan özel bir döner bıçak (Rotor no. R48/50/10/2/A) ve 220 ml toplam

hacme sahip standart cam silindir (yüksekliği 120 mm ve iç çapı 50 mm) kullanılmıştır. Cihazın kuvvet (19.6 N kuvvet kullanarak) ve yükseklik kalibrasyonu (yükseklik ve hedef kalibrasyon diski kullanılarak) analiz öncesinde yapılmıştır.

Her bir toz akış analizi için, sodyum kazeinat numunesi yaklaşık 140 mL hacim kaplayacak şekilde cam silindire konularak örnek miktarı tartılmıştır. Toz akış özelliklerini belirlemek için, her bir sodyum kazeinat tozu örneğine kekleşme analizi, kohezyon analizi, dört hızda kohezyon analizi ve hıza bağlı toz akış özellikleri (PFSD) analizi uygulanmıştır. Bu analizlerin sonuçlarını değerlendirmek için, Exponent yazılımındaki (Ver. 6.1.13.0, Stable Micro Systems) ilgili makrolar kullanılmıştır.

3.2.3.3.1. Koşullandırma döngüsü

Sodyum kazeinat tozlarının toz akışı analizlerinden önce herhangi bir kullanıcı yüklem farkını ortadan kaldırmak ve kaldırma hareketinden sonra süt tozu kolonunu düzenlemek için iki koşullandırma döngüsü gerçekleştirilmiştir. Her bir koşullandırma döngüsü 50 mm/s'lik çevresel hız ve 175° açıyla (dilimleme hareketi) aşağı doğru dönme hareketi ve 50 mm/s'lik çevresel hız ve 178° açıyla (kaldırma hareketi) yukarı doğru dönme hareketinden oluşmaktadır.

3.2.3.3.2. Kekkleşme analizi

Kekkleşme analizine iki koşullandırma döngüsüyle başlanmıştır. Daha sonra bıçak toz kolonunun tepe noktasını bulmak ve kolon yüksekliğini ölçmek için 20 mm/s hız ve 2° açıyla 49 mN kuvvete kadar toz kolonunu sıkıştırılmıştır. Kolon yüksekliği ölçümden sonra kaydedilmiştir. Ardından bıçak 20 mm/s hız ve 20° açıyla toz kolonundan aşağıya doğru hareket ederek ve kek oluşturmak için önceden belirlenen 7.35 N kuvvete ulaşmaya kadar sodyum kazeinat tozunu sıkıştırılmıştır. Bıçak ; hedef kuvvete (7.35 N) ulaştığında oluşan kek yüksekliği ölçülerek, 10 mm/s hız ve 45° açıyla tozu yukarı doğru dilimlemiştir. Bu sıkıştırma işlemine ait döngü 5 defa tekrarlanmıştır. Her bir döngü için kek yükseklik oranı, mevcut döngünün toz kek yüksekliğinin başlangıçtaki ölçülen kolon yüksekliğine bölünmesiyle elde edilmiştir. Kekkleşme analizinin sonuçları; kuvvet-konum grafiklerinden Exponent yazılımındaki ilgili makrodan faydalanılarak belirlenmiştir.

$$\text{Her döngü için kek yükseklik oranı} = \frac{\text{mevcut döngünün kek yüksekliği}}{\text{başlangıçtaki toz kolonu yüksekliği}}$$

3.2.3.3.3. Kohezyon

Sodyum kazeinat tozlarının kohezyon analizi iki koşullandırma döngüsüyle yapılmıştır. Koşullandırma döngüleri belirlendikten sonra tozların kohezyon özellikleri bıçağın 50 mm/s hız ve 170° açıyla toz kolonundan aşağı yönlü ve sonrasında 50 mm/s hız ve 178° açıyla toz kolonundan yukarı doğru hareketiyle belirlenmiştir. Toz numunenin sıkıştırmasını en aza indirmek amacıyla 50 mm/s hız ile kesme hareketi yapılmıştır. Döner bıçak yukarı 50 mm/s hız ile çıkarken kohezyon verileri kaydedilerek uzaklık/mesafe grafiğindeki negatif alan kullanılarak kohezyon katsayısı (g.mm) hesaplanmıştır. Tozu kaldırmak için gereken kuvvet, kohezyon katsayısıdır. Kohezyon katsayısının örnek ağırlığına bölünmesiyle de kohezyon indeksi elde edilmektedir.

$$\text{Kohezyon indeksi} = \frac{\text{kohezyon katsayısı}}{\text{örnek ağırlığı}}$$

Çizelge 3.2. Kohezyon indeksine göre tozların akış davranışlarının sınıflandırılması

Kohezyon İndeksi (Kİ)	Akış Davranışı
>19	Aşırı derecede kohezif
19 – 16	Çok kohezif
16 – 14	Kohezif
14 – 11	Kolay akabilir
<11	Serbest akabilir

3.2.3.3.5. Hıza bağlı toz akış özellikleri

Bu analizde, sodyum kazeinat tozlarının akış hızına bağlı olarak akış özelliklerini ölçmektedir. Analizin başlangıcında 2 koşullandırma döngüsü yapılmıştır. Koşullandırma döngülerinden belirlendikten sonra artan hızlarda (10, 20, 50 ve 100 mm/s) 2'şer döngüden oluşan 5 set ve ardından 10 mm/s hızda 2 döngü ile analiz tamamlanmıştır. Akış stabilitesi aşağıdaki formülle belirlenmiştir.

$$\text{Akış stabilitesi} = \frac{\text{son 10 mm/s hızdaki ortalama sıkıştırma katsayısı}}{\text{ilk 10 mm/s hızdaki ortalama sıkıştırma katsayısı}}$$

3.2.3.4. Partikül büyüklüğü, Zeta potansiyeli ve Temas açısı ölçümü

Sodyum kazeinat tozlarının partikül büyüklüğü ölçümleri, Mastersizer 3000 kullanım talimatlarına göre, kırılma indisi parametresi karıştırıcı hızı 2.000 rpm iken

1.560 olarak ayarlanmıştır. Bir behere toplam 400 mL su eklendi. Arka plan ölçüldükten sonra, behere 5 gr sodyum kazeinat tozu eklendi. Sistem MFG parametrelerini otomatik olarak 3 kez ölçtü ve ortalama bir değer hesapladı. Her numune için elde edilen değerler, hacimle ilgili eşdeğer çap ($D[4,3]$), yüzey alanıyla ilgili eşdeğer çap ($D[3,2]$), bir parçacık boyut dağılım diyagramı ve boyut dağılımının yüzdesini gösteren bir tablo veren Mastersizer yazılımı kullanılarak analiz edildi (Xing ve ark., 2020).

$D_{4,3}$ = Hacimsel ortalama çapı

$D_{3,2}$ = Sauter ortalama çapı olarak da ifade edilen, hacim/yüzey alanı ortalama çapı

Sodyum kazeinat numunelerinin zeta potansiyelini ölçmek için bir Zetasizer Nano ZS (Malvern Instruments Ltd, Malvern, Worcestershire, Birleşik Krallık) kullanılmıştır. Ölçümü optimize etmek için çözeltiler 100 kat seyreltilip ve ölçümler üç kez tekrarlanmıştır. Parçacığın elektrik alanındaki hızı, Elektroforez ve Lazer Doppler Hız Ölçümü teknikleriyle ölçülmüştür.

Sodyum kazeinat tozlarının temas açısı, toz numune tutucusuyla (ST03, Krüss GmbH, Almanya) donatılmış bir gonyometre (Damla Şekli Analizörü, DSA30S, Krüss GmbH, Almanya) ile belirlenmiştir. Cihaz tarafından çekilen resimler, temas açılarını elde etmek için cihaz yazılımı (ADVANCE, Krüss GmbH, Almanya) ile analiz edilmiştir. Toz numune tutucusundaki 3 iç bükey kuyu toz numuneleriyle doldurulup, ardından her numune kuyusunun yüzeyi düz bir spatula kullanılarak düz ve pürüzsüz bir toz yüzeyi elde edilecek şekilde düzeltilmiştir. Sıvı damlacıkları oluşturmak için paslanmaz çelikten düz bir iğne (uç çapı 2,0 mm) kullanılmıştır. Toz numune tutucusu, yukarı doğru hareket etmesi ve sıvı damlacığı ile düz toz yatağı arasında temas sağlaması için manuel olarak kontrol edilmiştir. Damlacık toz yatağının yüzeyine yerleştirildikten sonra, temas açısı 60 saniye boyunca her saniye ölçülüp kaydedilmiştir. 15 saniyede ölçülen temas açısı, toz yüzey serbest enerjisini hesaplamak için kullanılmıştır. Ölçümler oda sıcaklığında üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.

3.2.3.5. Tekstürel analiz

Sodyum kazeinat tozlarının tekstürel özelliklerini belirlemek için, 10 g sodyum kazeinat tozu 100 ml suda rekonstitüe edilmiştir. Daha sonra TAXTPlus Texture Analyzer (Stable Microsystems, UK) cihazı kullanılarak analizler yapılmıştır. Bu

analizde rekonstitüe edilen sodyum kazeinat tozlarının sertlik (g), kıvam (g.s), yapışkanlık (g) ve viskozite indeksi (g.s) değerleri belirlenmiştir.

3.2.3.6. DSC analizi (Diferansiyel Taramalı Kalorimetre)

Sodyum kazeinat tozu numeleri hassas terazide alüminyum tartım kaplarına alınıp, kapakları kapatıldıktan sonra DSC 25 cihazı (TA Instruments, New Castle, DE, ABD) ile analize alınmıştır. Sodyum kazeinat tozu örnekleri, -20°C ila 250 °C sıcaklık aralığında 50 ml/dk hızındaki azot gazı akışında, 10 °C/dk sıcaklık artışıyla analiz edilmiştir.

3.2.3.7. Duyusal değerlendirme

Sodyum kazeinat tozları ve bu tozlardan üretilen rekonstitüe sütler, Rankin (2009) tarafından bildirilen duyusal değerlendirme çizelgesine (Çizelge 3.3) göre 6 kişilik bir panelist grubu tarafından değerlendirilmiştir. Sodyum kazeinat tozları görünüm ve ambalaj açısından değerlendirilirken, rekonstitüe sütlerin aroma ve görünümü ile ilgili değerlendirme yapılmıştır.

3.2.3.8. SEM analizi

Sodyum kazeinat tozlarının mikro yapısı bir Quanta 200 tarama mikroskobu (FEI Şirketi, Eindhoven, Hollanda) kullanılarak analiz edildi. Toz örnekleri bir karbon bantla standlara yapıştırıldı, bir mikroskop odasına yerleştirildi ve hemen -18 °C sıcaklıkta bir Peltier modülü kullanılarak donduruldu. Gözlemler 30 kV'luk bir hızlandırılmış voltajda gerçekleştirildi. Tüm süt tozu örnekleri için numunelerin rastgele seçilen yerlerinde 400, 800 ve 1600× büyütme oranlarında görüntüler çekilmiştir (Smoczyński, 2020).

3.2.3.9. İstatistiksel analizler

Analiz sonuçlarını değerlendirmek için JMP (Ver. 18) paket programındaki Fit Model komutu kullanılmıştır. Varyasyon analizine ait karşılaştırmalarda Tukey metodu kullanılmıştır.

Çizelge 3.3. Kurutulmuş süt ürünlerinde kullanılan duyuusal değerlendirme çizelgesi

Örnek No:	Tarih:	
Aroma (10 puan)	Değerlendirme kriteri	Puan:
Eleştiri yok 10	Asit Buruk Acı Tebeşir Pişmiş	
Satılamaz 0	Yem Fermente Yavan Yabancı Zamk Metalik	
Normal aralık 1-10	Nötürleyici madde Okside Ransit Tuzlumsu Yanık Bayat Depo Kirli Yabancı ot tadı	
Fiziksel görünüm (5 puan)		Puan:
Eleştiri yok 5	<u>Toz üründe:</u> Kekleşme Koyu partiküller	
Satılamaz 0	Topaklaşma Doğal olmayan renk	
Normal aralık 1-5	<u>Rekonstitüe üründe:</u> Ayrılmış partiküller Koyu partiküller Taneli görünüm Çözünmeyen topakçıklar	
Ambalaj (5 puan)		Puan:
Eleştiri yok 5	Delik ambalaj	
Satılamaz 0	Lekli-kirli ambalaj	
Normal aralık 1-5	Kapatılmamış ambalaj	

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Hammadde Çiğ Süte Ait Fizikokimyasal Özellikler

Sodyum kazeinat tozu üretiminde kullanılan çiğ süte ait fizikokimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir. Kullanılan çiğ sütün kuru madde, pH, titrasyon asitliği, yağ, protein, laktoz ve kül içeriği sırasıyla ortalama %12.27, 6.53, 0.15, 3.41, 3.27, 4.56 ve 0.70 olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada çiğ sütlerin fizikokimyasal analiz sonuçları değerlendirildiğinde sodyum kazeinat tozu üretimi için kullanılabilir oldukları görülmektedir.

Çizelge 4.1. Çiğ sütün fizikokimyasal özellikleri*

Özellik	Çiğ süt
Kuru madde (%)	12,27±0.02
Yağ (%)	3,41±0.02
Protein (%)	3,27±0.02
Titrasyon asitliği (%LA) *	0,15±0.00
pH	6,53±0.03
Laktoz (%)	4,56±0.04
Kül (%)	0,70±0.03

* \bar{x} ±std sapma, n=2, * % laktik asit

4.2. Sodyum Kazeinat Tozlarının Fizikokimyasal Özelliklerine Ait Sonuçlar ve Tartışma

4.2.1. Sodyum kazeinat tozlarının nem oranlarına (%) ait sonuçlar ve tartışma

Yüksek basınç homojenizasyon (YBH) işlemi uygulanmış farklı farklı püskürtme kuru madde oranına sahip sodyum kazeinat tozlarının nem oranları depolama süresince % 5,16 – 7,15 arasında değişmiş olup, ilgili sonuçlar Çizelge 4.2’de verilmiştir. Sodyum kazeinat tozlarından %35 kuru madde oranında nem içeriği depolama süresince %5,16-7,15 aralığında değişirken, %40 kuru madde oranında depolama esnasında %5,18-6,97 aralığında değişmiştir. En düşük nem oranı (5,16) 30 MPa YHB uygulanmış %35 kuru madde oranına sahip örneğin 0. gününde bulunurken, en yüksek oran (7,15) ile aynı örneğin 180. depolama gününde tespit edilmiştir. Depolama periyodu boyunca (180 gün) sodyum kazeinat tozlarının nem oranlarında artış meydana gelmiştir. Depolama süresi boyunca nem oranında meydana gelen en yüksek artış 1,99 birim olarak %35 püskürtme kuru madde oranına sahip örnekte belirlenmiştir.

Sodyum kazeinat tozu örneklerinde püskürtme kuru madde yüzdesi, yüksek homojenizasyon % basıncı ve depolama süresinin nem oranı üzerinde meydana getirdiği değişimi belirlemek için yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.3’de, Tukey testi sonuçları Çizelge 4.4’de verilmiştir. Püskürtme kuru madde yüzdesi, basınç ve depolama süresi ve bunların interaksiyonları sodyum kazeinat tozlarının nem oranını önemli düzeyde etkilemiştir. ($p<0.01$). Tukey HSD testi sonuçlarına göre %40 kuru madde oranında oluşturulan örneklerin nem içeriği (%5,93), %35 kuru madde oranında oluşturulan örneklerin nem içeriğinden (%5,86) daha yüksek bulunmuştur ($p<0.01$). Uygulanan basıncında nem oranı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir ($p<0.01$). Basınç faktörüne göre en yüksek nem içeriği %5,96 ile 30 MPa’da YBH işleminde olurken, diğer basınç oranlarında da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Depolama süresi de sodyum kazeinat tozlarının % nem değeri için önemli bir etkiye sahiptir ($p<0.01$). Tukey testi sonuçlarına göre depolama süresinin artması örneklerin nem içeriğinde artışa sebep olduğu görülmektedir. Depolama süresi boyunca sodyum kazeinat tozlarına ait en düşük % nem değeri (%5,23) 0. depolama gününde bulunurken, en yüksek %nem oranı değeri (%6,77) 180. depolama gününde belirlenmiştir.

Depolama boyunca sodyum kazeinat tozları Türk Gıda Kodeksi Yenilebilir Kazein ve Kazeinat Tebliği’nde belirtilen maksimum %8 neme sahip olma kriterine

uygun olduğu belirlenmiştir (TGK, 2022). Khatkar ve ark. (2023), sđt protein konsantresinin tekno-fonksiyonel özelliklerini yükseltmeye yönelik etkili stratejileri belirlemek üzerine yaptığı çalışmada; %87-88 oranında protein içeren numunelerin nem değerlerinin %5,18 ve 5,32 arasında olduğunu belirlemişlerdir (Khatkar ve ark., 2023).

Sđt protein konsantrelerinin işlenmesi sırasında karşılaşılan en büyük zorluklardan biri, ultrafiltrasyon ve buharlaştırmadan sonraki yüksek viskozitedir. Bu yüksek viskozite, proteinlerin konsantrasyonu ve ısıl işlem sırasında proteinin denatürasyonu/kümelenmesi nedeniyle bağlı nemdeki artıştan kaynaklanabilir (Power ve ark., 2020).

Sđt tozunun depolama sırasında azalan çözünürlüğü, yağ içeren tozlarda ve yağsız sđtten yapılanlarda yaygın bir bozulma türüdür. Bu ürünlerin bozulmasıyla ilgili çalışmaların sonuçları, bu bozulmanın doğrudan aşırı nemden kaynaklandığını ve sorunların büyük çoğunluğunda, üretim sırasında üründeki aşırı nemden ziyade, kabın atmosferik nemi dışarıda tutma yetersizliğinden kaynaklandığını açıkça göstermektedir. Bu tür sđt tozu bozulmasının önemi göz önüne alındığında, değişen nem yüzdelerinin sđt tozunun kazeininin çözünürlüğünde kademeli değişikliklere neden olduğunu gösteren deneysel veriler elde edilmiştir (Supplee ve Bellis, 1925).

Çizelge 4.2. Sodyum kazeinat tozlarının fizikokimyasal özelliklerine ait sonuçlar*

Püskürtme kuru maddesi (%)	Basınç (MPa)	Depolama süresi (gün)	Nem (%)	pH	Asitlik (%LA) ^Δ	Yağ (%)	Protein (%)	Kül (%)	Su aktivitesi
% 35	10	0	5,28±0,11	7,15±0,01	1,22±0,01	0,1±0,0	86,89±0,03	6,91±0,00	0,26±0,00
		30	5,53±0,02	7,14±0,00	1,11±0,01	0,1±0,0	87,05±0,04	6,87±0,01	0,27±0,00
		90	5,94±0,03	7,17±0,02	1,14±0,02	0,1±0,0	86,04±0,05	6,84±0,03	0,29±0,00
		180	6,95±0,04	7,15±0,01	1,11±0,01	0,1±0,0	86,86±0,11	6,90±0,00	0,31±0,00
	20	0	5,37±0,01	7,14±0,02	1,22±0,01	0,1±0,0	87,42±0,13	6,93±0,00	0,30±0,00
		30	5,55±0,03	7,16±0,01	1,10±0,00	0,1±0,0	86,65±0,01	6,97±0,00	0,31±0,00
		90	5,67±0,04	7,16±0,02	1,13±0,01	0,1±0,0	86,11±0,03	6,93±0,03	0,31±0,00
		180	6,13±0,07	7,12±0,01	1,13±0,01	0,1±0,0	86,40±0,05	6,98±0,00	0,34±0,00
	30	0	5,16±0,04	7,14±0,01	1,21±0,01	0,1±0,0	86,95±0,04	6,86±0,01	0,27±0,00
		30	5,66±0,05	7,12±0,01	1,13±0,04	0,1±0,0	86,21±0,02	6,82±0,01	0,29±0,00
		90	6,06±0,02	7,12±0,03	1,12±0,01	0,1±0,0	85,70±0,02	6,77±0,04	0,31±0,00
		180	7,15±0,04	7,12±0,01	1,13±0,04	0,1±0,0	86,60±0,04	6,79±0,00	0,32±0,00
%40	10	0	5,18±0,01	7,14±0,01	1,21±0,01	0,1±0,0	86,96±0,02	6,87±0,00	0,27±0,00
		30	5,50±0,04	7,13±0,02	1,09±0,01	0,1±0,0	86,62±0,03	6,84±0,00	0,29±0,00
		90	6,23±0,02	7,14±0,01	1,12±0,02	0,1±0,0	85,85±0,18	6,88±0,02	0,32±0,00
		180	6,70±0,01	7,13±0,01	1,10±0,03	0,1±0,0	86,82±0,10	6,98±0,02	0,34±0,00
	20	0	5,26±0,04	7,14±0,01	1,22±0,00	0,1±0,0	86,99±0,02	6,92±0,00	0,27±0,00
		30	5,64±0,04	7,12±0,01	1,11±0,01	0,1±0,0	86,84±0,04	6,92±0,01	0,28±0,00
		90	6,23±0,04	7,09±0,01	1,11±0,01	0,1±0,0	85,84±0,01	6,96±0,01	0,32±0,00
		180	6,75±0,03	7,12±0,01	1,15±0,07	0,1±0,0	86,88±0,06	6,99±0,00	0,33±0,00
	30	0	5,20±0,03	7,14±0,01	1,22±0,01	0,1±0,0	87,17±0,04	6,91±0,00	0,26±0,00
		30	5,62±0,04	7,14±0,01	1,11±0,01	0,1±0,0	86,99±0,03	6,88±0,01	0,29±0,01
		90	5,92±0,03	7,12±0,01	1,11±0,02	0,1±0,0	86,98±0,01	6,83±0,01	0,32±0,00
		180	6,97±0,03	7,13±0,01	1,11±0,01	0,1±0,0	86,99±0,04	6,98±0,02	0,32±0,00

* (\bar{x} ±std sapma, n=2), ^Δ Titrasyon asitliği (% laktik asit)

Çizelge 4.3. Sodyum kazeinat tozlarının fizikokimyasal özelliklerine ait varyans analizi sonuçları

VK	SD	Nem		pH		Asitlik		Yağ		Protein		Kül		Su aktivitesi	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Püskürtme KM (%) (A)	1	0,04	30,24**	0,00	9,00**	0,00	0,84ns	0,00	0,00ns	0,35	92,52**	0,01	69,15**	0,00	1,33ns
Basınç (B)	2	0,16	52,05**	0,00	4,21*	0,00	0,65ns	0,00	0,00ns	0,03	4,95*	0,07	207,90**	0,00	3,01ns
Depolama süresi (C)	3	15,80	3309,36**	0,00	1,32ns	0,00	60,89**	0,00	0,00ns	6,05	533,85**	0,02	53,73**	0,01	7,47**
A x B	2	0,31	98,73**	0,00	4,89*	0,00	0,65ns	0,00	0,00ns	1,52	201,67**	0,02	56,57**	0,00	2,96ns
A x C	3	0,14	29,44**	0,00	2,28ns	0,00	0,52ns	0,00	0,00ns	0,21	18,83**	0,02	36,22**	0,00	2,63ns
B x C	6	0,72	76,03**	0,00	1,41ns	0,00	0,97ns	0,00	0,00ns	0,70	31,26**	0,01	11,88**	0,00	1,30ns
A x B x C	6	0,42	46,29**	0,00	1,53ns	0,00	0,29ns	0,00	0,00ns	1,13	49,87**	0,00	6,12**	0,00	0,56ns
Hata	24	0,03		0,00		0,01		0,00		1,52		0,00		0,01	

¹ * p<0.05, ** p<0.01, ns: istatistiki açıdan önemsiz

Çizelge 4.4. Sodyum kazeinat tozlarının fizikokimyasal özelliklerine ait Tukey testi sonuçları

Faktör	N	Nem	pH	Asitlik	Yağ	Protein	Kül	Su aktivitesi
Püskürtme								
KM(%)								
35	24	5,86b	7,13a	1,14a	0,10a	86,57b	6,88b	0,29a
40	24	5,93a	7,12b	1,13a	0,10a	86,74a	6,91a	0,29a
Basınç								
10	12	5,91b	7,14a	1,13a	0,10a	86,63b	6,88b	0,29a
20	12	5,82c	7,12ab	1,14a	0,10a	86,63b	6,95a	0,30a
30	12	5,96a	7,12b	1,13a	0,10a	86,69a	6,85c	0,28a
Depolama Süresi								
0	12	5,23d	7,13a	1,21a	0,10a	87,06a	6,89b	0,26c
30	12	5,58c	7,13a	1,10b	0,10a	86,72b	6,88b	0,28bc
90	12	6,00b	7,13a	1,11b	0,10a	86,08c	6,86c	0,31a
180	12	6,77a	7,12a	1,12b	0,10a	86,75b	6,93a	0,30ab

*Aynı sütunda farklı harfle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır.

4.2.2. Sodyum kazeinat tozlarının pH değerlerine ait sonuçlar ve tartışma

Sodyum kazeinat tozlarının depolama süresince pH değerindeki değişimi Çizelge 4.2’de verilmiştir. Sodyum kazeinat tozu numunelerinin pH değeri depolamanın ilk gününde 7,14-71,5 arasında değişirken, depolamanın son gününde 0,02 birimlik düşüş ile 7,12-7,13 arasında değişmiştir. En yüksek pH değeri %35 püskürtme kuru maddeli örneğin 90. depolama gününde belirlenirken (7,17), en düşük pH değeri %40 püskürtme kuru maddeli örneğin 90. depolama gününde ölçülmüştür. Depolama süresi boyunca sodyum kazeinat tozu örneklerinin pH değerinde düşüş meydana gelmiştir.

Çizelge 4.3 de verilen varyans analizi sonuçlarına göre, depolama süresinin pH değeri üzerinde etkisi olmadığı ($p>0.05$), püskürtme kuru maddesi ve yüksek basınç değerinin önemli düzeyde etkili olduğu tespit edilmiştir ($p<0.01$). Tukey HSD testi sonuçlarına göre (Çizelge 4.4) en düşük pH değerleri (7,12) %40 püskürtme kuru maddeli sodyum kazeinat tozunda bulunurken, en yüksek pH değeri (7,14) 10 MPa yüksek basınç uygulanan örneklerde tespit edilmiştir. Depolama süresince örneklerin pH değerlerinin birbirine yakın düzeyde olduğu belirlenmiş olup, 0.01 oranında kısıtlı bir değişim göstermiştir.

Depolama süresi boyunca sodyum kazeinat tozlarının pH değerlerinin Türk Gıda Kodeksi yenilebilir kazein ve kazeinat standardında belirtilen pH’ın 6-8 arasında olacağı standardını aşmadığı belirlenmiştir (TGK, 2022).

Tunick ve ark. (2016) yüksek sıcaklık ve nemde depolanan peynir altı suyu protein konsantresindeki fiziksel ve kimyasal değişimleri inceledikleri çalışmada, peyniraltı suyu

protein konsantresinin (WPC80) pH'ı 0. ayda 6,23 ila 6,33 iken, depolama süresinin sonu olan 18.ayda önemli ölçüde azalarak 5,80 ila 6,00'a düştüğünü belirlemişlerdir (Tunick ve ark., 2016). Bu sonuçlarda bizim sonuçlarımıza paralel veriler içermektedir.

4.2.3. Sodyum kazeinat tozlarının asitlik değerlerine ait sonuçlar ve tartışma

Sodyum kazeinat tozlarının depolama periyodu boyunca asitlik değerindeki değişim %1,09 – 1,22 LA arasındadır. Depolama süresi boyunca örneklerin asitlik değerinde az miktarda da olsa artış meydana gelmiştir. Depolama sonunda en yüksek laktik asit değeri %40 kuru madde oranına sahip 20 MPa basınç uygulanmış örneğe ait olup (1,15), en düşük titrasyon asitliği değeri ise %40 kuru madde oranına sahip 10 MPa basınç uygulanmış örneğe aittir (1,10).

Çizelge 4.3'de verilen varyans analizine göre; püskürtme kuru maddesinin ve basınç değerinin istatistiki açıdan etkisinin olmadığı belirlenmiştir ($p>0.05$). Bununla birlikte depolama süresinin ($p<0.05$) asitlik oranına önemli derece de etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

Tukey HSD testi sonuçlarına göre (Çizelge 4.4) ise farklı püskürtme kuru madde oranları ve basınç değerlerinin sodyum kazeinat tozlarının asitlik değerlerinde benzer sonuçlar gösterdiği belirlenmiştir. Artan depolama periyoduna göre, asitlik değerinde az da olsa bir düşüş görülmüştür.

4.2.4. Sodyum kazeinat tozlarının yağ değerlerine ait sonuçlar ve tartışma

YBH uygulanmış farklı kuru püskürtme kuru madde oranlarına sahip örneklerin depolama süresi boyunca yağ değerlerinde meydana gelen değişim Çizelge 4.2'de verilmiştir. 180 günlük depolama boyunca sodyum kazeinat tozlarının yağ oranının 0,10 olduğu ve değişmediği belirlenmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına (Çizelge 4.3) göre; püskürtme kuru maddesi, yüksek homojenizasyon basıncı ve depolama süresinin sodyum kazeinat tozlarının % yağ değerlerinde üzerinde önemli bir etkisi olmadığı belirlenmiştir ($p>0.05$). Tukey testi sonuçlarında da yağ değerlerinde bir fark görülmemiştir (Çizelge 4.4).

Lin ve ark. (2016) süt protein içeriğinin farklı süt protein tozlarıyla güçlendirilmesi, bileşimini, rennet jelleşmesini, ısı stabilitesini ve etanol stabilite özelliklerini inceledikleri çalışmada sodyum kazeinat (NaCas) ve kalsiyum kazeinat

(CaCas) örneklerinin yağ içeriğini sırasıyla 0,67 ve 0,63 olarak belirlemişlerdir (Lin ve ark., 2016).

Babu ve ark. (2018) depolama sırasında süt protein konsantresi tozlarındaki değişiklikleri izlemek için bir araç olarak ön yüz floresan spektroskopisinin uygulanması üzerine yaptıkları çalışmada, depolama süresince MPC (süt protein konsantresi) tozlarının yağ düzeylerinde (%1.1) herhangi bir farklılık görülmediğini ifade etmişlerdir (Babu ve Amamcharla, 2018).

4.2.5. Sodyum kazeinat tozlarının protein oranlarına (%) ait sonuçlar ve tartışma

Yüksek basınç uygulanmış farklı püskürtme kuru madde oranına sahip sodyum kazeinat tozlarının raf ömrü boyunca protein değerleri %85,70 – 87,42 arasında ölçülmüştür. Depolama süresindeki artış ile birlikte ürünlerin protein değerinde bir azalma meydana gelmiştir. Bu azalmanın örneklerin nem miktarındaki artış ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Depolama periyodunda en yüksek protein değeri (%87,42) %35 püskürtme kuru madde oranına sahip 100 MPa yüksek basınç uygulanan örneklerin depolamasının 0. gününde, en düşük protein değeri (%85,70) ise %35 püskürtme kuru madde oranına sahip 30 MPa yüksek basınç uygulanan örneklerin depolamasının 90. gününde belirlenmiştir. Peynir altı suyu protein tozu depolamasının protein durumu ve toz stabilitesi üzerindeki etkisinin araştırılması üzerine yapılan çalışmada, protein tozlarının depolaması sırasında, bir dizi kimyasal reaksiyon, özellikle yüksek sıcaklıklara ve nemlere maruz kaldıklarında protein modifikasyonuna yol açabileceği belirlenmiştir. En önemli reaksiyonlardan biri, besin değerinin kaybindan sorumlu olan ve tozun işlevsel özelliklerini güçlü bir şekilde etkileyebilen maillard reaksiyonu olduğu ifade edilmiştir (Paul ve ark., 2022).

Varyans analizi sonuçlarına (Çizelge 4.3) göre ; püskürtme kuru maddesi, yüksek homojenizasyon basıncı ve depolama süresinin sodyum kazeinat tozu örneklerinin protein oranı üzerine etkisinin önemli olduğu belirlenmiştir ($p<0.01$). Tukey testi sonuçlarına göre en yüksek protein 30 MPa yüksek basınç uygulanan numunelerde görülürken (%86,69), diğer depolama basınçlarında benzer protein sonuçları elde edilmiştir (%86,63). Depolama periyodunda en yüksek protein değeri, depolamanın 0. gününde ölçülürken (%87,06), en düşük protein sonucu depolama periyodunun 90. gününde ölçülmüştür (%86,08).

Crowley ve ark. (2014) protein konsantrasyonunun süt protein konsantresi tozlarının fiziksel özellikleri ve akış özellikleri üzerindeki etkisini inceledikleri çalışmada %84 – 84,5 protein oranlarını bildirmişlerdir (Crowley ve ark., 2014). Süt protein içeriğinin farklı süt protein tozlarıyla güçlendirilmesi, bileşimini, maya jelleşmesini, ısı stabilitesini ve etanol stabilitesi özelliklerinin incelendiği bir başka çalışmada ise %87,9 oranı ile bu çalışmadaki sonuçlara benzer veriler elde edilmiştir (Lin ve ark., 2016). Daha yüksek protein oranı değerlerini (%92,24 – 93,65) ise, depolama sırasında süt protein konsantresi tozlarındaki değişiklikleri izlemek için bir araç olarak ön yüz floresans spektroskopisinin uygulanması çalışmasında belirlenmiştir (Babu ve Amamcharla, 2018).

4.2.6. Sodyum kazeinat tozlarının kül oranlarına (%) ait sonuçlar ve tartışma

Yüksek basınç uygulanmış sodyum kazeinat tozlarının kül oranlarında depolama süresi boyunca meydana gelen değişim Çizelge 4.2’de verilmiştir. Sodyum kazeinat tozlarında depolamanın başında kül oranındaki değişim % 6,86 – 6,93, depolamanın sonunda % 6,79 – 6,99 aralığında bulunmuştur.

Varyans analizine göre tüm faktörlerin kül oranı üzerine etkisi istatistiki olarak değerlendirildiğinde önemli bulunmuştur ($p < 0.01$). Tukey testine göre %40 püskürtme kuru madde oranına sahip örneklerin kül değeri (%6,91), %35 püskürtme kuru madde oranına sahip örneklerin kül değerinden (%6,88) daha düşük bulunmuştur. Depolama süresine göre değerlendirildiğinde en yüksek kül değeri 180. günde (%6,93) iken, en düşük kül değeri 90. günde (%6,86) belirlenmiştir.

Kesme kırılma test cihazı kullanılarak süt protein tozlarının akışkanlığının değerlendirilmesine yönelik metodolojinin geliştirilmesi için yapılan çalışmada , MPC80 (%80 protein oranına sahip süt protein konsantresi) ve MPC85’in (%85 protein oranına sahip süt protein konsantresi) kül değerini sırasıyla %6,63 – 7,00 aralığında ölçmüşlerdir (Palmer ve ark., 2023), bu sonuçlar bizim sonuçlarımıza benzerdir.

4.2.7. Sodyum kazeinat tozlarının su aktivitesi değerlerine ait sonuçlar ve tartışma

Farklı püskürtme kuru maddesi ve farklı oranlarda yüksek basınç homojenizasyon basıncı uygulanarak üretilen sodyum kazeinat tozlarının su aktivitesi değerlerindeki değişim Çizelge 4.2’de verilmiştir. Depolama süresi boyunca a_w değeri 0,26-0,34 aralığında bulunmuştur. Tüm örneklerde depolama süresi boyunca a_w değerinde artış olduğu belirlenmiştir.

Sodyum kazeinat tozu örneklerinde püskürtme kuru madde oranı, yüksek homojenizasyon basıncı ve depolama periyodunun su aktivitesi değeri üzerine etkisini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.3'de, Tukey HSD testi sonuçları ise Çizelge 4.4'de verilmiştir. Püskürtme kuru madde oranı, yüksek homojenizasyon basıncı ve depolama süresinin interaksiyonlarından sadece depolama süresinin a_w değerini önemli düzeyde etkilediği tespit edilmiştir ($p<0.01$).

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, Cheng ve ark. (2019)'nın çok değişkenli analiz kullanılarak yüksek lipidli ve yüksek proteinli bebek maması süt tozunun depolanması için su aktivitesinin optimize edilmesi üzerine yaptıkları çalışmada, örneklerin başlangıç su aktivitesi değerinin 0.20 olmasına rağmen depolama süresi sonunda (14 hafta) 0,32 ve 0,53 değerine ulaşacak şekilde arttığını belirlemişlerdir (Cheng ve ark., 2019). Bu sonuçlar bizim çalışmamızdaki sonuçlara benzerdir.

4.2.8. Sodyum kazeinat tozlarının L^* renk değerlerine ait sonuçlar ve tartışma

L^* renk değeri genel olarak parlaklığın bir ölçüsüdür. Yüksek basınç homojenizasyon uygulaması ve farklı püskürtme kuru madde oranına sahip sodyum kazeinat tozlarının depolama boyunca L^* renk değerlerinde meydana gelen değişim Çizelge 4.5'de gösterilmektedir. %35 püskürtme kuru madde ve farklı basınç uygulama oranına sahip sodyum kazeinat tozu örneklerinin depolama boyunca L^* değerindeki değişim 95,06-97,38 arasında iken, %40 püskürtme kuru madde oranına sahip örneklerin L^* değerinin 95,28-97,27 aralığında değiştiği belirlenmiştir. Genel olarak örneklerin L^* değeri yani parlaklığı artmıştır.

Süt ürünlerinin rengi fiziko-kimyasal değişimlerin göstergesi olabilir. Ayrıca, gıdaların rengi en yüksek doğrulukla analiz edilmelidir. Rengin öznel algılanması ve gözlemciden gözlemciye çeşitliliği nedeniyle, güvenilir ve nesnel bir renk belirlemesi elde etmek için çoğunlukla renk ölçüm cihazları kullanılır (Milovanovic ve ark., 2020)

Çizelge 4.5. Sodyum kazeinat tozlarının renk değerleri ve yabancı yanık madde miktarı analiz sonuçları

Püskürtme KM (%)	Basınç (MPa)	Depolama süresi (gün)	L	a	b	SY (g/cm ³)	Yabancı yanık madde (mg)
% 35	10	0	95,06±0,02	-2,11±0,01	11,56±0,06	0,39±0,01	6,50±0,14
		30	95,53±0,03	-0,97±0,02	10,85±0,05	0,38±0,00	6,20±0,14
		90	96,09±0,06	-1,28±0,01	10,95±0,03	0,38±0,01	4,70±0,14
		180	97,38±0,06	-1,52±0,01	10,89±0,01	0,38±0,00	5,70±0,14
	20	0	95,12±0,01	-2,11±0,01	11,52±0,04	0,39±0,01	5,80±0,28
		30	95,54±0,01	-0,98±0,01	10,81±0,04	0,38±0,00	5,95±0,21
		90	96,64±0,07	-1,31±0,01	11,05±0,02	0,39±0,00	4,70±0,14
		180	97,32±0,01	-1,52±0,02	10,88±0,03	0,39±0,00	5,30±0,14
	30	0	95,25±0,01	-2,20±0,01	11,75±0,06	0,37±0,00	6,20±0,14
		30	95,54±0,01	-0,98±0,01	10,81±0,04	0,35±0,00	6,20±0,28
		90	96,83±0,06	-1,39±0,03	11,18±0,10	0,39±0,00	6,50±0,14
		180	97,28±0,08	-1,63±0,07	11,07±0,06	0,39±0,00	6,55±0,07
% 40	10	0	95,28±0,01	-2,19±0,01	11,69±0,01	0,37±0,00	5,25±0,07
		30	95,59±0,01	-1,11±0,01	11,17±0,05	0,36±0,00	5,30±0,14
		90	96,87±0,11	-1,60±0,08	10,82±0,15	0,37±0,00	6,60±0,28
		180	97,27±0,01	-1,49±0,01	11,02±0,04	0,38±0,00	6,50±0,14
	20	0	95,32±0,01	-2,23±0,01	11,70±0,04	0,39±0,01	5,65±0,07
		30	95,50±0,14	-1,16±0,04	11,13±0,13	0,35±0,00	5,80±0,14
		90	96,87±0,21	-1,56±0,01	11,10±0,26	0,37±0,00	6,40±0,14
		180	97,13±0,09	-1,69±0,16	11,11±0,16	0,38±0,00	6,45±0,07
	30	0	95,34±0,01	-2,26±0,01	11,77±0,02	0,37±0,00	5,55±0,07
		30	95,65±0,03	-1,13±0,04	11,17±0,06	0,36±0,00	5,55±0,21
		90	97,17±0,01	-1,49±0,01	11,25±0,00	0,35±0,00	4,20±0,14
		180	97,19±0,04	-1,59±0,02	11,08±0,03	0,37±0,00	5,65±0,07

* (\bar{x} ±std sapma, n=2), SY: Sıkıştırılmış yığın yoğunluğu

Sodyum kazeinat tozu örneklerinde püskürtme kuru madde oranı, yüksek homojenizasyon basıncı ve depolama süresinin L^* değeri üzerindeki etkisini anlamak için yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.6’de, Tukey HSD testi sonuçları ise Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.6’da belirtildiği gibi püskürtme kuru madde oranı, yüksek homojenizasyon basıncı, depolama süresinin ve bu faktörlere ait interaksiyonların sodyum kazeinat tozlarının L^* değerlerini önemli düzeyde etkilediği tespit edilmiştir ($p<0.01$). Tukey HSD testi sonuçlarına göre %40 püskürtme kuru madde oranına sahip örneklerin L^* değeri (96,26), %35 püskürtme kuru madde oranına sahip örneklerin L^* değerine (96,13) göre daha yüksek bulunmuştur. Homojenizasyon basıncına göre 10-20 MPa basınç uygulanan örneklerde birbirine paralel L^* değeri belirlenirken, L^* değerinin en yüksek olduğu basınç değeri (96,28) 30 MPa’dır. Depolama süresince en düşük L^* değeri 95,22 ile depolamanın başında bulunurken, en yüksek 97,25 değeri ile depolamanın 180. gününde belirlenmiştir.

Süt protein konsantresi tozunun fizikokimyasal, fonksiyonel, reolojik ve rekonstitüe özelliklerinde pH, homojenizasyon ve diafiltrasyon ile değişim üzerine yapılan çalışmada , % 59,1 – 62,54 protein oranına sahip örneklerin L^* değeri 89,42 – 90,19 aralığında belirlenmiştir (Meena ve ark., 2019). Yüksek proteinli tozlar, yağsız süt tozunun sarımsı beyaz renginden dolayı gri-beyaz renktedir. Maillard reaksiyonları gıda renginde değişikliklere yol açar. Örneğin, daha düşük L^* değerleri şeker protein karışımında kahverengi pigmentlerin oluşmasının ve daha koyu numunenin sonucu olabilir. Sıcaklık da renk sonuçlarında farklılığın olası bir nedeni olabilir (Milovanovic ve ark., 2020). Örneklerin protein içeriğinin düşük olmasının L değerinin düşük olarak ölçülmesine sebep olacağı düşünülmektedir.

4.2.9. Sodyum kazeinat tozlarının a^* renk değerlerine ait sonuçlar ve tartışma

a^* renk değeri yeşilliği (a^-) ve kırmızılığı (a^+) belirtmektedir. Örneklerin depolama süresi boyunca a^* değerindeki değişim Çizelge 4.5’da verilmiştir. Sodyum kazeinat örneklerinin a^* değerinde depolamanın 30. gününde bir düşüş görülmesine rağmen, depolamanın diğer sürelerinde bu değerde artış meydana gelmiştir. En düşük a^* değeri %40 püskürtme kuru madde ve 30 MPa basınç uygulaması oranına sahip örneğin 0. gün depolamasında, en yüksek %35 püskürtme kuru madde ve 10 MPa basınç uygulaması oranına sahip örneğin 30. gün depolamasında görülmüştür.

Çizelge 4.6’da verilen varyans analizi sonuçlarına göre, tüm parametreler ve bunların interaksiyonlarının sodyum kazeinat tozlarının a^* değerlerini önemli düzeyde etkilediği tespit edilmiştir ($p < 0.01$). Tukey HSD testi sonuçlarına göre (Çizelge 4.7) , en yüksek a^* değeri %35 püskürtme kuru madde oranına sahip örneklerde (-1.49) belirlenmiştir. Depolama süresinin ilk 30 gününde örneklerde a^* değeri artarken sonraki depolama sürelerinde a^* değerinde azalma görülmüştür.

Meena ve ark. (2021), inek sütü bazlı düşük proteinli süt protein konsantresi (MPC) tozlarının üretimi ve karakterizasyonu üzerine yaptıkları çalışmada a^* değerini bu çalışmada belirlenen sonuçlara benzer şekilde bildirmişlerdir. (Meena ve ark., 2021). Literatürde, genellikle az miktarda laktozun varlığının Maillard reaksiyonunu tetiklemek için yeterli olduğu öne sürülür. Laktoz ve lizin arasında etkileşimler meydana gelebilir ve bu da renk, lezzet ve besin değeri gibi gıda özelliklerinin evrimleşmesine yol açabilir (Nasser ve ark., 2017).

Çizelge 4.6. Sodyum kazeinat tozlarının renk değerleri ve yabancı yanık madde miktarına ait varyans analizi sonuçları

VK	SD	<u>L</u>		<u>a</u>		<u>b</u>		<u>SY</u>		<u>Yabancı yanık madde (mg)</u>	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Püskürtme kuru maddesi (%) (A)	1	0,21	44,82**	0,18	101,81**	0,00	32,73**	0,00	89,31**	0,16	6,32*
Basınç (B)	2	0,18	19,55**	0,02	5,75**	0,00	11,57**	0,00	22,00**	0,06	1,18ns
Depolama süresi (C)	3	33,35	2365,45**	7,92	1435,19**	0,00	172,49**	0,00	31,41**	1,59	20,53**
A x B	2	0,07	7,73**	0,02	7,67**	0,00	1,19ns	0,00	0,26ns	6,60	127,75**
A x C	3	0,54	38,47**	0,06	11,26**	0,00	8,21**	0,00	2,73*	0,36	2,33ns
B x C	6	0,42	15,13**	0,02	2,06ns	0,00	3,16*	0,00	6,20**	3,13	40,40**
A x B x C	6	0,12	4,33**	0,03	2,76*	0,00	1,04ns	0,00	14,86**	7,92	51,15**
Hata	24	0,11		0,04		0,00		0,00		0,62	

¹* p<0.05, ** p<0.01, ns: istatistiki açıdan önemsiz ² SY: Sıkıştırılmış yığın yoğunluğu

Çizelge 4.7. Sodyum kazeinat tozlarının renk değerleri ve yabancı yanık madde miktarına ait Tukey testi sonuçları

Faktör	N	L	a	b	SY	Yabancı yanık madde
Püskürtme kuru maddesi (%)						
35	24	96,13b	-1,49a	11,69b	0,38a	5,85a
40	24	96,26a	-1,62b	11,91a	0,36b	5,74b
Basınç						
10	12	96,13b	-1,53a	11,37c	0,37a	5,84a
20	12	96,17b	-1,56ab	12,20a	0,37a	5,80a
30	12	96,28a	-1,58b	11,55b	0,36b	5,75a
Depolama Süresi						
0	12	95,22d	-2,18d	11,67c	0,37ab	5,82b
30	12	95,55c	-1,05a	11,51d	0,36c	5,83b
90	12	96,74b	-1,43b	11,93b	0,37b	5,51c
180	12	97,25a	-1,56c	12,09a	0,38a	6,02a

*Aynı sütunda farklı harfle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır. SY: sıkıştırılmış yığın yoğunluğu

4.2.10. Sodyum kazeinat tozlarının b^* renk değerlerine ait sonuçlar ve tartışma

b^* renk değeri maviliği (b-) ve sarılığı (b+) belirtmektedir. Örneklerin depolama süresi boyunca b^* değerindeki değişim Çizelge 4.5’de verilmiştir. Depolama süresi boyunca %35 püskürtme kuru madde oranı ve farklı basınç oranında üretilen gruptaki örneklerin b^* değerleri 10,81 – 11,56 arasında değişirken, %40 püskürtme kuru madde oranı ve farklı basınç oranında üretilen gruptaki örneklerin ise 10,82 – 11,77 aralığında değiştiği görülmüştür.

Çizelge 4.6’da verilen varyans analizi sonuçlarına göre, tüm parametrelerin sodyum kazeinat tozlarının b^* değerlerini önemli düzeyde etkilediği tespit edilmiştir ($p < 0.01$). Tukey HSD testi sonuçlarına göre %40 püskürtme kuru madde oranına sahip örneklerin b^* değeri (11,91), %35 püskürtme kuru madde oranına sahip örneklerin b^* değerine (11,69) göre daha yüksek bulunmuştur. Homojenizasyon basıncına göre en yüksek b^* değeri 100 MPa basınç uygulanan örneklerde (12,20) belirlenirken, en düşük b^* değeri 10 MPa basınç uygulanan örneklerde (11,37) tespit edilmiştir. b^* değeri, L^* değerinde olduğu gibi ilk 30 günlük depolama süresinde düşüş gösterirken devam eden depolama sürecinde artış göstermiştir.

Yüksek sıcaklıkta depolama sırasında peynir altı suyu protein izolatu tozu yüzeyindeki lokal modifikasyonların araştırıldığı bir çalışmada, 60 °C’de depolanan WPI (peyniraltı suyu protein izolatu)’larının, bir ay boyunca 4 °C’de depolanan tozlardan daha kahverengi görüldüğünü ve bu gözlemin renk ölçümü ile doğrulandığı bildirmişlerdir.

Numune parlaklığında (L^*) ve sarı-mavi dengesinde (b^*) de değişiklikler gözlemlendiğini, parlaklığın azalırken (L^*), a^* ve b^* değerinde 60 °C'de 1 ay sonra depolama nedeniyle bir artış olduğunu bildirmişlerdir (Burgain ve ark., 2016).

4.2.11. Sodyum kazeinat tozlarının sıkıştırılmış yığın yoğunluğu değerlerine ait sonuçlar ve tartışma

Farklı püskürtme kuru maddesi oranı ve farklı basınç uygulaması oranına sahip sodyum kazeinat tozlarına ait SY Y değerlerinde depolama süresi boyunca meydana gelen değişim Çizelge 4.5'de verilmiştir. Örneklerin sıkıştırılmış yığın yoğunluğu değerleri 0,35 – 0,39 g/cm³ aralığında değişmiştir.

SY Y değerine püskürtme kuru madde yüzdesi, basınç oranı , depolama süresi ve bu faktörlerin interaksiyonlarının önemli düzeyde etki ettiği Çizelge 4.6'daki varyans analizinde belirlenmiştir ($p < 0.01$). Çizelge 4.7'de verilen Tukey HSD testi sonuçlarına göre %35 püskürtme kuru madde oranına sahip olan sodyum kazeinat tozlarının sıkıştırılmış yığın yoğunluğu değeri (0,36 g/cm³), %40 püskürtme kuru madde oranına sahip olan sodyum kazeinat tozlarının sıkıştırılmış yığın yoğunluğu değerinden (0,38 g/cm³) daha düşük bulunmuştur ($p < 0.01$). Homojenizasyon basıncına göre en yüksek sıkıştırılmış yığın yoğunluğu değeri 10 - 20 MPa basınç uygulanan örneklerde (0,37 g/cm³) belirlenirken, en düşük sıkıştırılmış yığın yoğunluğu değeri 30 MPa basınç uygulanan örneklerde (0,36 g/cm³) tespit edilmiştir. SY Y değeri, devam eden depolama sürecinde artış göstermiştir.

Karboksimetil selüloz bağlayıcının süt protein izolatu/guar zamkı karışımı tozunun fiziksel, termal ve reolojik özellikleri üzerindeki etkisinin incelendiği bir çalışmada, sıkıştırılmış yığın yoğunluğu değeri 0,30 – 0,35 g/cm³ aralığında bulunduğu ifade edilmiştir (Oh ve ark., 2025). Bu sonuçlar bizim örneklerimizde elde ettiğimiz sonuçlarla paraleldir.

4.2.12. Sodyum kazeinat tozlarının yabancı yanık madde miktarlarına ait sonuçlar ve tartışma

Sodyum kazeinat tozlarının depolama periyodu boyunca yabancı yanık madde (YYM) miktarında meydana gelen değişim Çizelge 4.5'de verilmiştir. Örneklerin yabancı yanık madde (YYM) disklerinin ağırlığı 4,20 – 6,60 mg arasında değişmiştir. Tüm örneklerin yabancı yanık madde (YYM) içeriği disk A düzeyinde bulunmuştur.

Yenilebilir kazeinatlar, daha önce pastörize edilmiş yağsız süt ve/veya süttten elde edilen diğer ürünlerin pıhtısının ayrılması, yıkanması ve kurutulmasıyla elde edilen ürünleridir; burada bu pıhtı asit çökmesinin sonucudur ve bu pıhtı kurutulmadan önce alkali bir madde eklenerek nötralize edilmiştir. Amerikan Süt Ürünleri Enstitüsü (ADPI) yenilebilir kazeinat tozları standardında yabancı yanık madde miktarı için maksimum 15 g yani B diskine izin vermektedir (ADPI, 2024). Bizim çalışmamızdaki yabancı yanık madde (YYM) içeriği sonuçları, Amerikan Süt Ürünleri Enstitüsü (ADPI) yenilebilir kazeinat standardına uygundur.

4.3. Sodyum Kazeinat Tozlarının Fonksiyonel Özelliklerine Ait Sonuçlar ve Tartışma

4.3.1. Sodyum kazeinat tozlarının çözünebilirlik miktarlarına ait sonuçlar ve tartışma

%80 süt proteini konsantresi (MPC80), yağsız süttten ultrafiltrasyona ilave olarak diafiltrasyon ve püskürtmeli kurutma ile üretilen yüksek proteinli bir tozdur; peynir, yoğurt, içecek ve şekerlemelerin üretiminde kullanılabilir. MPC80 tozunun suda çözünürlüğü (yani, rehidratasyon kapasitesi), emülsifikasyon, jelleşme ve köpürme gibi iyileştirilmiş işlevsel özellikleri için önemli bir ön koşuldur. Ancak, %40 ila %90 (ağırlık/ağırlık) protein içeriğine sahip MPC tozları zayıf çözünürlüğe sahip olabilir ve bu da potansiyel gıda uygulamalarını kısıtlar. Bu nedenle MPC80 tozunun çözünürlüğünün iyileştirilmesi, işlevselliğinin ve kullanımının artırılması açısından önemlidir (Mao ve ark., 2012).

Farklı püskürtme kuru maddesi oranı ve farklı basınç uygulaması oranına sahip sodyum kazeinat tozlarına ait çözünürlük değerlerinde depolama süresince olan değişim Çizelge 4.8’de verilmiştir. Depolama süresince sodyum kazeinat tozlarının çözünürlük değerleri %83 – 86 arasında değişmiştir. Sodyum kazeinat tozu örneklerinde püskürtme kuru madde oranı, yüksek homojenizasyon basıncı, depolama süresinin ve bunların interaksiyonlarının çözünebilirlik oranına etkisini belirlemek için yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.9’da verilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre, tüm parametreler ve onların interaksiyonlarının çözünebilirlik oranına önemli derecede etki ettiği tespit edilmiştir ($p < 0.01$). Tukey HSD testi sonuçlarına göre, %40 püskürtme kuru madde oranına sahip olan sodyum kazeinat tozlarının çözünürlük değeri (%85,16); %35 püskürtme kuru madde oranına sahip olan sodyum kazeinat tozlarının çözünürlük

değerinden (%84,83) yüksek olduğu belirlenmiştir. Yüksek basınç uygulaması açısından değerlendirildiğinde en yüksek çözünürlük oranı (%85,12) 30 MPa oranında tespit edilmiştir. Depolama süresi boyunca en yüksek çözünürlük değeri (%84,83), depolamanın başında belirlenmiştir.

MPC'nin çözünürlüğü kritik bir işlevsel özelliktir, çünkü toz çözünmez kalırsa işlevsel özelliklerini tam olarak ifade etmez. Başka bir deyişle, azaltılmış çözünürlük MPC'nin tam pazar potansiyeline ulaşmasını engelleyebilir. MPC'nin bir ürün formülasyonunda bir bileşen olarak kullanımı, tipik olarak orta düzeyde çalkalama ile oda sıcaklığında suda tamamen çözünmesini gerektirir. Yağsız süt tozu, yağsız kuru süt ve süt protein konsantrasyonunun depolanmasının fonksiyonel özellikler üzerindeki etkisinin incelendiği çalışmada, %70 protein oranına sahip örneklerin 15 aylık depolama süresince çözünürlüklerinin % 60,30 – 76,0 aralığında değiştiği belirtilmiştir (Shah ve ark., 2022). Protein oranı arttıkça çözünürlük değeri azalacağı için, tespit edilen sonuçlar bu çalışmada bulunan sonuçlara paralel veriler içermektedir.

Süt protein konsantrasyonu (MPC), %40-90 protein (kuru ağırlık bazında) içeren, giderek daha fazla kullanılan süt bazlı bir bileşendir. Özellikle protein konsantrasyonu >%70 olan MPC'lerin uygulamasını sınırlayan önemli bir sorun, çözünürlük ve arayüz aktivitesi gibi zayıf işlevsel özellikleridir. MPC ve misel kazein konsantrasyonu gibi misel kazein içeriği artan süt tozlarının depolama kaynaklı çözünürlük kaybı, kazein misellerinin çapraz bağlanmasına ve dolayısıyla toz parçacıklarının dış yüzeyinde yoğun bir kabuk tabakasının oluşmasına atfedilmiştir; bu da çözünme sırasında parçacıkların içinden kazein misellerinin serbest kalmasını engelleyecektir (Mimouni ve ark., 2010).

Çizelge 4.8. Sodyum kazeinat tozlarının fonksiyonel özelliklerine ait analiz sonuçları

Püskürtme kuru maddesi (%)	Basınç (MPa)	Depolama süresi (gün)	Çözünübilirlik (%)	Dağılıbilirlik (%)	Islanabilirlik (s)	Köpük oluşturma kapasitesi (%)	Köpük stabilitesi (s)
% 35	10	0	86,00±0,00	8,13±0,01	2767±79,20	21,28±0,34	870±7,07
		30	83,00±0,00	8,15±0,01	2982,5±44,55	59,08±1,41	970,5±3,54
		90	85,00±0,00	8,18±0,00	4170±551,54	50,68±2,32	1570±9,99
		180	85,00±0,00	8,28±0,01	5460±509,12	50,9±0,71	1494±59,40
	20	0	85,00±0,00	6,51±0,01	3681±97,58	16,08±0,57	652,5±4,95
		30	85,00±0,00	6,52±0,00	3683,5±86,97	25,8±1,02	783,5±89,80
		90	84,00±0,00	6,53±0,01	6810±466,69	54,63±3,30	990±42,43
		180	85,00±0,00	6,52±0,06	5100±169,71	45,55±1,63	771±19,80
	30	0	85,00±0,00	6,38±0,01	3674,5±84,15	20,61±0,17	1021±8,49
		30	85,00±0,00	6,41±0,00	3704,5±122,33	41,13±3,35	1092,5±17,68
		90	85,00±0,00	6,44±0,01	4320±84,85	50,76±2,32	1305±77,78
		180	85,00±0,00	6,52±0,01	5610±127,28	47,40±1,27	1032,5±24,75
% 40	10	0	87,00±0,00	5,80±0,01	3630±28,28	12,16±0,21	972±7,07
		30	84,00±0,00	5,82±0,01	3699±29,70	34,87±4,79	1415±41,01
		90	85,00±0,00	5,86±0,00	4230±381,84	47,24±0,45	1920±84,85
		180	85,00±0,00	5,90±0,01	4830±28,28	45,95±0,35	1825±41,01
	20	0	86,00±0,00	9,29±0,01	7251±32,53	14,63±0,10	1176±15,56
		30	85,00±0,00	9,30±0,04	7272±67,88	24,29±0,78	1382±82,02
		90	84,00±0,00	9,36±0,04	3990±381,84	38,45±1,63	1560±84,85
		180	85,00±0,00	9,44±0,01	4290±466,69	35,45±0,92	1415±26,87
	30	0	86,00±0,00	6,26±0,01	4013,5±94,05	15,26±0,18	666±8,49
		30	85,00±0,00	6,29±0,00	3390,5±43,13	41,32±0,23	649,5±62,93
		90	85,00±0,00	6,32±0,01	3660±84,85	72,78±2,86	810±42,43
		180	85,00±0,00	6,38±0,00	2900±56,57	68,55±1,77	816±25,46

* (\bar{x} ±std sapma, n=2)

Çizelge 4.9. Sodyum kazeinat tozlarının fonksiyonel özelliklerine ait varyans analizi sonuçları

VK	SD	Çözünürlük		Dağılırlık		Islanabilirlik		Köpük oluşturma kapasitesi		Köpük stabilitesi	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Püskürtme KM(%) (A)	1	1,33	2,34**	0,17	6,47**	118604	2,00ns	90,50	27,15**	351576,30	134,56**
Basınç (B)	2	0,50	4,39**	19,63	36521,23**	18604852	157,28**	1366,00	204,92**	1698965,40	325,13**
Depolama süresi (C)	3	12,66	7,41**	0,08	108,22**	2816524	15,87**	9357,10	935,80**	1493274,10	190,51**
A x B	2	0,16	1,46**	53,71	99929,59**	6046003	51,11**	919,50	137,94**	1958984,30	374,89**
A x C	3	10,83	3,17**	0,00	2,06ns	9641668	27,17**	830,16	41,51**	704197,80	44,92**
B x C	6	2,00	1,17**	0,00	1,90ns	22421051	126,36**	225,67	22,57**	44796,20	5,71**
A x B x C	6	0,50	1,46**	0,01	8,35**	15296933	43,10**	798,97	39,95**	70750,20	4,51**
Hata	24	1,36		0,00		1449441		79,99		62705	

¹ * p<0.05, ** p<0.01, ns: istatistiki açıdan önemsiz

Çizelge 4.10. Sodyum kazeinat tozlarının fonksiyonel özelliklerine ait Tukey testi sonuçları

Faktör	N	Çözünübilirlik (%)	Dağılıbilirlik (%)	Islanabilirlik (s)	Köpük oluşturma kapasitesi (%)	Köpük stabilitesi (s)
Püskürtme KM (%)						
35	24	84,83b	7,04b	4330,30a	40,32a	1046,00b
40	24	85,16a	7,16a	4429,70a	37,57b	1217,20a
Basınç						
10	12	85,00b	7,01b	3971,10b	40,26	1379,60a
20	12	84,87c	7,93a	5259,70a	31,85c	1091,30b
30	12	85,12a	6,37c	3909,10b	44,72a	924,10c
Depolama süresi						
0	12	85,83a	7,05d	4169,50b	16,66d	892,90d
30	12	84,50d	7,07c	4122,00b	37,74c	1048,80c
90	12	84,66c	7,11b	4530,00a	52,42a	1359,20a
180	12	85,00b	7,17a	4698,30a	48,46b	1225,60b

*Aynı sütunda farklı harfle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır.

4.3.2. Sodyum kazeinat tozlarının dağılıbilirlik oranlarına ait sonuçlar ve tartışma

Farklı püskürtme kuru maddesi oranı ve farklı basınç uygulaması oranına sahip sodyum kazeinat tozlarına ait dağılıbilirlik değerlerinde oluşan değişim Çizelge 4.8’de verilmiştir. Depolama süresince sodyum kazeinat tozu örneklerinin dağılıbilirliği % 5,80 – 9,44 aralığında değişmiştir.

Sodyum kazeinat tozu örneklerinde püskürtme kuru madde oranı, basınç oranı ve depolama süresinin sodyum kazeinat tozlarının dağılıbilirlik oranına etkisini belirlemek için yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.9’da, Tukey HSD testi sonuçları ise Çizelge 4.10’da verilmiştir. Püskürtme kuru madde oranı, basınç ve depolama süresinin çözünübilirlik oranına etkisinin istatistiki açıdan önemli olduğu belirlenmiştir ($p < 0.01$). Tukey HSD testi sonuçlarına göre, püskürtme kuru maddesinin artması en yüksek dağılıbilirlik oranının (%7,16) belirlenmesini sağlamıştır. 20 MPa basınç uygulanan örneklerin dağılıbilirlik oranı (%7,93), diğer basınç değerlerine göre daha yüksek bulunmuştur. Depolama süresi açısından dağılıbilirlik değerlendirildiğinde, depolama süresinin artması dağılıbilirlik değerini artırdığı görülmektedir.

Fournase ve ark. (2021) peynir altı suyu proteini/kazein oranının spreyle kurutulmuş süt proteini tozlarının rekonstitüe edilmesi ve akış özellikleri üzerindeki etkisini inceledikleri çalışmada, protein bileşimi farklı olan beş konsantre, %100 peynir altı suyu protein izolatu (protein karışımı 1, PM1), %75 peynir altı suyu protein izolatu ve %25 kazein tozu (protein karışımı 2, PM2), %50 peynir altı suyu protein izolatu ve %50 kazein tozu (protein karışımı 3, PM3), %25 peynir altı suyu protein izolatu ve %75 kazein

tozu (protein karışımı 4, PM4) ve %100 kazein tozu (protein karışımı 5, PM5) kullanılmış ve bu örneklerin dağılıbilirlik oranının %3,26 – 8,91 aralığında değiştiği bildirilmiştir (Fournaise ve ark., 2021).

Kümelenme, bir bağlayıcı ekleyerek ve birincil parçacıkları birbirine bağlamak için köprüler oluşturarak granüller oluşturan bir parçacık boyutu büyütme işlemidir. İşlem, parçacıkların boyutunu ve parçacıklar arasındaki boşlukları artırarak ve ayrıca tozların hacim yoğunluğunu azaltarak yapısal ve fiziksel özellikleri değiştirmek için kullanılır. Bu nedenle, değiştirilmiş yapının tozların yeniden sulandırma özelliklerini etkilediğine inanılmaktadır. Örneğin, ıslatma aşaması, suyun parçacıklara daha kolay nüfuz etmesine izin veren büyük gözenekli büyük parçacıklardan etkilenir. Dağılıbilirlik ayrıca tozların parçacık boyutu ve yoğunluğuyla da ilgilidir (Ji ve ark., 2016).

4.3.3. Sodyum kazeinat tozlarının ıslanabilirlik sürelerine ait sonuçlar ve tartışma

Sodyum kazeinat tozlarının depolama boyunca ıslanabilirliklerinde meydana gelen değişim Çizelge 4.8’de gösterilmiştir. Sodyum kazeinat tozlarını ıslanabilirliği saniye (s) cinsinden verilmiş olup, depolama süresi boyunca 2767 - 6810 s arasında değişmiştir.

Sodyum kazeinat tozlarının ıslanabilirliklerine püskürtme kuru madde yüzdesi etkisinin önemsiz olduğu ($p>0.05$).; basınç oranı, depolama süresi ve bu faktörler arasındaki etkileşimin önemli düzeyde olduğu Çizelge 4.9’daki varyans analizinde verilmiştir ($p<0.01$). Çizelge 4.10’da verilen Tukey HSD testi sonuçlarına göre, örneklerin püskürtme kuru maddesi açısından benzer ıslanabilirlik değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Basınç parametresine göre 20 MPa’da en yüksek ıslanabilirlik süresinin (5259s) elde edildiği, 10-30 MPa basınç uygulanmasında benzer ıslanabilirlik değerlerinin elde edildiği tespit edilmiştir. Depolama süresinin başlarında düşük ıslanabilirlik değerleri elde edilmesine rağmen, depolamanın ilerleyen zamanlarında ıslanabilirlik süresi uzamıştır.

Islatma, gıda tozu rehidrasyon sürecinin ilk ve kritik adımı olarak bilinir. Esasen, toz ıslatma ve akıtma katı-sıvı ve katı-hava yapışmasını içerir, bu nedenle, bu toz işlevleri arayüz fenomenleriyle ilgilidir. Islatma ve akıtma süreçleri, sıvı veya havanın (toz) katılarla etkileşime girmesine izin veren 2 veya daha fazla düz yüzey elde etmek için toz katılarının ayrılmasını gerektirir (An ve Zheng, 2025). Dec ve ark. (2023), yüksek proteinli tozların özellikleri ve fraktal analizi üzerine yaptıkları çalışmada protein oranı

% 60 – 91 arasında değişen tüm tozların ıslanabilirliğinin genellikle >180 s olduğunu ifade etmişlerdir. Tozların ıslatıldığında, yüzeyde yapışkan bir kaplama veya topaklar oluştuğunu ve bu da toz parçacıkları tarafından su emilimini engellediğini belirtmişlerdir. Zayıf ıslanabilirlik ayrıca toz parçacıklarının nispeten küçük boyutuna ve parçacıklar arasındaki küçük boşluklara, MCC'nin düşük çözünürlüğünün ise toz parçacıklarının yüzeyindeki kazein misellerinin kovalent olmayan bağlarla (örneğin, hidrofobik etkileşimler ve/veya hidrojen bağları) çapraz bağlanmasına atfedilebilecektir (Dec ve ark., 2023).

Süt protein izolatı (MPI) tozu önemli bir gıda bileşeni tozudur ancak işlevsel kullanımını sınırlayan zayıf ıslanabilirlik ve çözünme kabiliyetine sahiptir. MPI, kazein/peynir altı suyu proteini oranının çiğ sütle hemen hemen aynı tutulduğu yağsız sütün membran filtrasyonu ile üretilir. MPI tozunun bariz bir dezavantajı, zayıf ıslanabilirlik ve proteinlerin yavaş ayrışması nedeniyle yavaş çözünme hızı nedeniyle zayıf rehidrasyon kabiliyetidir. pH'ın süt proteini izolat tozunun ıslanması ve çözünmesi üzerindeki etkisinin incelendiği çalışmada, süt protein izolatının zayıf ıslanabilirlik gösterdiğini ve bu durumun toz yüzeyinde oluşan bir 'protein kabuğu' ile açıklanabileceği ifade edilmiştir (Wu ve ark., 2019).

Genel olarak, süt protein tozlarının rehidrasyon süreci 3 ardışık adımla açıklanabilir: (1) ıslatma, (2) dağıtma ve (3) çözündürme. Islatma, şişirme, batırma, dağıtma ve çözündürme olmak üzere alternatif bir dizi adım da literatürde açıklanmıştır. Süt proteini bileşenleri için toz işlevsellikleri ve toz yüzey özellikleri arasındaki korelasyonların araştırılması üzerine yapılan çalışmada, 6 tip protein tozu kullanılmıştır. Bu tozlar içerisinde en düşük ıslanabilirlik değerine sodyum kazeinat tozunun (1166 – 2821 s) sahip olduğu ifade edilmiştir (An ve Zheng, 2025).

4.3.4. Sodyum kazeinat tozlarının köpük oluşturma kapasitesi değerlerine ait sonuçlar ve tartışma

Farklı püskürtme kuru maddesi oranı ve farklı basınç uygulaması oranına sahip sodyum kazeinat tozlarına ait köpük oluşturma kapasitesi değerlerinde gerçekleşen değişim Çizelge 4.8'de verilmiştir. Depolama süresince örneklere ait köpük oluşturma kapasitesi % 15 - 68 aralığında değişmiştir. Sodyum kazeinat tozu örneklerinde püskürtme kuru madde oranı, yüksek homojenizasyon basıncı, depolama süresinin ve bunların interaksiyonlarının köpük oluşturma kapasitesi oranına etkisini belirlemek için

yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.9’da verilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre, tüm parametreler ve onların interaksyonlarının köpük oluşturma kapasitesi oranına etkisinin istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0.01$). Tukey HSD testi sonuçlarına göre, %35 püskürtme kuru madde oranına sahip olan sodyum kazeinat tozlarının köpük oluşturma kapasitesi oranı (% 40,32); %40 püskürtme kuru madde oranına sahip olan sodyum kazeinat tozlarının köpük oluşturma kapasitesi oranından (% 37,57) daha yüksek olarak ölçülmüştür. Basınç faktörüne göre numuneler arasında en yüksek köpük oluşturma kapasitesi oranı (% 44,72) 30 MPa’da, en düşük köpük oluşturma kapasitesi oranı ise (% 31,85) 20 MPa basınçta tespit edilmiştir. Depolama süresi ilk 90 günü boyunca köpük oluşturma kapasitesi oranı artış gösterirken, depolamanın 180. gününde bu oranda düşüş meydana gelmiştir.

Süt tozları, formüle edilmiş gıdalarda yaygın olarak kullanılır, böylece süt proteinleri ürünün köpürme davranışına hakim olabilir. İstenilen köpükler, görünümünü ve dolayısıyla tüketicinin kalite algısını etkilediği için yüksek bir stabiliteye sahip olmalarını gerektirir. Köpüğün köpürme özellikleri ve stabilitesi, sistemdeki yüzey aktif bileşenin özelliklerine bağlıdır (Marinova ve ark., 2009).

Süt sistemlerinin köpürebilirliği üzerinde protein içeriğinin etkisine ilişkin çalışmalar sonuçlarında çok farklılık gösterir, ancak yüksek protein içeriğinde artan köpük kararlılığı için benzer eğilimler bildirilmiştir. Protein içeriği %0,5'ten %5,0'ye (w/w) arttıkça rekonstitüe edilmiş sodyum kazeinat çözeltisinin köpürebilirliğinde bir azalma ve köpük kararlılığında bir artış olduğunu bulunmuştur. Protein içeriğinin (1-3%, w/w) artırılmasının peynir altı suyu protein izolatu (WPI) köpürme davranışı üzerinde benzer etkileri de bildirilmiştir (Ho ve ark., 2022).

Transglutaminaz ile çapraz bağlamanın sodyum kazeinatın ısı stabilitesi ve bazı fonksiyonel özellikleri üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, farklı pH değerlerinde sodyum kazeinatın köpük oluşturma kapasitesinin %24 - 59 arasında değiştiği bildirilmiştir (Flanagan ve ark., 2003). Bu sonuçlar bizim sonuçlarımıza benzer verilerden oluşmaktadır.

4.3.5. Sodyum kazeinat tozlarının köpük stabilitesi değerlerine ait sonuçlar ve tartışma

Köpürme stabilitesi ifadesi, toplam köpük hacminin %50'sini azaltmak için gerekli olan süre (saniye) olarak tanımlanmaktadır. Sodyum kazeinat tozlarına ait köpük

stabilitesi değerlerinde gözlemlenen değişim Çizelge 4.8’de verilmiştir. Örneklerin depolama süresi boyunca köpük stabilitesi 649 – 1570 s arasında değişmiştir.

Sodyum kazeinat tozu örneklerinde püskürtme kuru madde oranı, yüksek homojenizasyon basıncı, depolama süresinin ve bunların interaksiyonlarının köpük stabilitesi üzerine etkisini belirlemek için yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.9’da verilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre, tüm parametreler ve onların interaksiyonlarının köpük stabilitesine etkisi istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur ($p < 0.01$). Tukey HSD testi sonuçlarına göre, %40 püskürtme kuru madde oranına sahip olan sodyum kazeinat tozlarının köpük stabilitesi değeri (1217s); %35 püskürtme kuru madde oranına sahip olan sodyum kazeinat tozlarının köpük stabilitesi değerinden (1046s) daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Uygulanan yüksek basınç değeri arttıkça örneklerin köpük stabilitesinde bir azalma meydana gelmiş olup, en yüksek köpük stabilite değeri(1376s) 10 MPa basınç değerinde elde edilmiştir. Depolama süresinin ilk 90 gününde köpük stabilite değerinde bir artış meydana gelmesine rağmen, depolamanın 180. gününde köpük stabilitesi düşmüştür.

Kamath, Webb ve ark. (2011), bir misel kazein fraksiyonunun yağsız süttten çok daha iyi köpük stabilitesi gösterdiğini bildirmiştir. Bu daha yüksek köpük stabilitesi için önerilen nedenler, yağ, gliseritler, serbest yağ asitleri ve fosfolipitler gibi köpüğü engelleyen bileşiklerin olmaması ve hava/su arayüzünde daha yüksek protein kapsamıdır. Bu, arayüz özelliklerindeki değişikliklerin daha yüksek köpük stabilitesinin ana nedeni olacağı anlamına gelir (Kamath ve ark., 2011). Parçacık boyutu, kazein misel dispersiyonlarının köpük stabilitesini belirlemesi üzerine yapılan çalışmada 4 °C’deki kazein misel dispersiyonlarının $t_{1/2}$ 'si 25 saatten yüksek iken, 20 °C’de kazein misel dispersiyonlarının $t_{1/2}$ 'si yaklaşık 230 dakikadır, yani 20 °C’de ($t_{1/2} = 120$ dakika) ve 4 °C’de ($t_{1/2} = 85$ dakika) olduğu belirlenmiştir (Chen ve ark., 2016).

Süt proteinlerinin köpürebilirliğini ve köpük kararlılığını kontrol eden fiziko-kimyasal faktörlerden, sodyum kazeinat ve peynir altı suyu protein konsantrasyonunun incelendiği bir çalışmada artan protein konsantrasyonunun sadece artan köpürebilirliğe yol açmadığını, bu nedenle, %0,1 ağırlıkça ve 150 mM NaCl varlığında %0,025 ağırlıkça konsantrasyonlardaki sodyum kazeinat köpüklerinin çok kararlı olduğunu ve köpük oluşumundan sonra 15 dakikadan uzun süre hiçbir yıkımın gözlemlenmediği ifade edilmiştir (Marinova ve ark., 2009).

4.4. Sodyum Kazeinat Toz Akış Özelliklerine Ait Sonuçlar ve Tartışma

Bir gıda ürününün kendisini çevreleyen nemli havaya karşı davranışı, belirli bir sıcaklıkta su içeriği ile su aktivitesi arasındaki ilişkiyi veren su buharı sorpsiyon izotermi ile açıklanır. Bir gıda ürününün yüzeyinde suyun adsorpsiyonu fiziksel veya kimyasal kökenli olabilir ve adsorplanan su bir veya daha fazla katmanı kaplayabilir (Mathlouthi ve Rogé, 2003). Çoğunlukla amorf maddelerden oluşan toz parçacıklarının kekleşmesi, çevredeki havanın bağıl nemine ve sıcaklığa büyük ölçüde bağlıdır. Amorf malzemeleri nemli bir ortama maruz bıraktığında, tek parçacıklar arasındaki köprüleme mekanizması, amorf parçacıklar birlikte sinterlendiğinden kristalin malzemelerdekinden farklıdır. Sinterleme, moleküllerin iki komşu parçacık arasındaki boşluğa hareket ettiği bir işlemdir ve bu, moleküllerin akabilme yeteneği sayesinde cam geçişinin üzerinde mümkün olur. İşlem, yüzey gerilimi ve/veya harici bir kuvvetle sağlanır. Parçacıklar arasındaki boşluk kapatılırken, sistemin serbest özgül yüzey enerjisi azalır. Sinter köprüsü gelişme hızı, malzemenin viskozitesine bağlı olan moleküler hareketliliğe bağlı olacaktır; bu da malzeme sıcaklığı (T) ile camsı geçiş sıcaklığı (T_g) arasındaki pozitif sıcaklık farkıyla [T-T_g]⁺ ilişkilidir (Fitzpatrick ve ark., 2010).

Çizelge 4.11 farklı kuru madde oranına sahip, yüksek basınç uygulanmış sodyum kazeinat tozlarının depolamanın ilk günündeki her döngü için kek kuvveti ve ortalama kek kuvveti değerlerini göstermektedir. Kek kuvveti, keki kesmek için gereken iştir (mN m) ve ortalama kek mukavemeti, keki kesmek için uygulanan ortalama kuvvettir (gram cinsinden) (Sert ve ark., 2021). Yüksek basınç uygulanmış sodyum kazeinat örneklerinin kek kuvveti değerleri 0,61 – 0,91 mN.m arasında değişirken, ortalama kek kuvvetlerinin ise 0,44 -0,64 N aralığında değiştiği tespit edilmiştir (Çizelge 4.11). En yüksek kek kuvveti değeri %35 kuru madde oranına sahip 10 MPa basınç uygulanmış örneklerde bulunurken, en yüksek ortalama kek kuvveti değeri %40 kuru madde oranına sahip 10 MPa basınç uygulanmış örneklerde tespit edilmiştir. Artan basınç değerleri ile sodyum kazeinat tozlarının kekleşme özelliğinde belirgin düzeyde düşüş olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 4.11. Sodyum kazeinat tozlarının akış özelliklerine ait analiz sonuçları

Püskürtme kuru maddesi (%)	Basınç (MPa)	Depolama süresi (gün)	Kek kuvveti (mN.m)	Ortalama kek kuvveti (N)	Kohezyon katsayısı (mN,m)	Kohezyon indeksi	Akış Stabilitesi
%35	10	1	0,91±0,01	0,64±0,01	-7,60±0,08	6,77±0,05	0,80±0,01
	20	1	0,84±0,00	0,51±0,01	-6,81±0,16	6,26±0,08	0,93±0,05
	30	1	0,74±0,03	0,46±0,01	-5,76±0,06	5,83±0,10	1,10±0,03
%40	10	1	0,83±0,04	0,67±0,04	-8,08±0,06	7,00±0,05	0,83±0,01
	20	1	0,78±0,02	0,52±0,02	-7,16±0,06	6,38±0,08	1,05±0,04
	30	1	0,61±0,02	0,44±0,02	-5,62±0,05	5,51±0,02	1,29±0,08

* ($\bar{x} \pm \text{std sapma}$, n=2)

Toz parçacıklarının birbirine yapışma ve daha büyük parçacık kümeleri oluşturma eğilimine kohezyon denir. Tozun, bıçak tarafından toz kolonundan kaldırılması için gereken kuvvet olan kohezyon katsayısı, kuvvet-mesafe eğrisinin altındaki negatif bölgeden hesaplanır. Daha kohezyonlu bir toz, kabın tabanına uygulanan kuvvetin azalması nedeniyle, çizilen verilerde büyük ölçüde negatif bir kuvvete sahiptir. Bu nedenle, kohezyon katsayısının azalması, kohezyonun arttığını gösterir (Mercan ve ark., 2018). Farklı püskürtme kuru madde oranına sahip sodyum kazeinat tozlarının depolamanın ilk gününde ölçülen kohezyon özelliklerine ait veriler Çizelge 4.11'de gösterilmiştir. %35 püskürtme kuru madde oranına sahip sodyum kazeinat tozlarının kohezyon katsayıları -5,76 mN.m ile -7,60 mN.m arasında değişirken, %40 püskürtme kuru madde oranına sahip sodyum kazeinat tozlarının kohezyon katsayıları -5,62 mN.m ve -8,08 mN.m aralığında belirlenmiştir. Kohezyon indeksi değerleri ise 5,51 -7,00 arasında bulunmuştur.

Kohezyon, toz partiküllerinin birbirine yapışması ve aglomere (daha büyük partikül kümeleri oluşumu) olmasıdır. Kohezyon, süt tozlarının toz akışkanlığını doğrudan etkilemektedir (Mercan ve ark., 2018). Toz akışkanlığı, endüstriyel işletmeler için bir diğer büyük zorluğu temsil eder: borularda ve haznelerde tozların elleçlenmesi ve taşınmasının kontrolü için son derece önemlidir. Toz akışkanlığı, tozun fizikokimyasal parametrelerine büyük ölçüde bağlıdır: akış, partikül kohezyonu, partikül yüzeyindeki lipid içeriğinin artması (partikülleri yapışkan hale getirir), yüksek su içeriği (partiküller arası kılcal etkileşimleri artırır), düşük ortalama partikül boyutu, partikül boyutlarının yüksek heterojenliği ve yüksek partikül yüzey pürüzlülüğü tarafından engellenir (Shah ve ark., 2023).

En düşük kohezyon katsayısı yani en yüksek kohezyon %40 püskürtme kuru madde oranına sahip 10 MPa basınç uygulanmış örnekte (-8,08 mN.m) tespit edilirken, en yüksek kohezyon katsayısı yani en düşük kohezyon %40 püskürtme kuru madde oranına sahip 30 MPa basınç uygulanmış örneklerde (-5,62 mN.m) bulunmuştur.

Kohezyon indeksi değeri, kohezyon katsayısının örnek ağırlığına bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Kohezyon indeksinin tozlar için bir kalite kontrol aracı olarak kullanılması, numune ağırlığının etkisini ortadan kaldırır. Kohezyon indeksi değerine göre, toz numune akış özellikleri ; >19, son derece kohezyonlu; 16-19, çok kohezyonlu; 14-16, kohezyonlu; 11-14, kolay akışlı; <11, serbest akışlı şeklinde karakterize edilebilir

(Sert ve ark., 2022). Yüksek basınç uygulanmış sodyum kazeinat tozlarından en yüksek kohezyon indeksi değerine sahip olan %40 püskürtme kuru madde ve 10 MPa basınç uygulanmış örnek iken, en düşük kohezyon indeksi değerine sahip olan ise %40 püskürtme kuru madde ve 30 MPa basınç uygulanmış örnek olarak belirlenmiştir. Kohezyon indeksi değerlerine göre sodyum kazeinat tozlarının akış özellikleri sınıflandırıldığında (Çizelge 4.11), farklı püskürtme kuru madde oranı ve basıncına sahip sodyum kazeinat örneklerinin serbest akabilir, kolay akabilir akış özelliği gösterdiği görülmektedir.

Akış stabilitesi ifadesi, tozun akış direnci ile ilgilidir. Akış stabilitesi değerinin 1'e yakın olması tozun test sırasında önemli ölçüde bir değişikliğe uğramadığını ifade ederken, 1'den uzak olması tozun yüksek akış hızlarında akmaya daha dirençli olduğunu göstermektedir. Akış stabilitesi değerinin 1'in üzerinde ya da altında olması, test sırasında tozun önemli bir değişikliğe uğrayıp uğramadığı hakkında bilgi sahibi olunmasını sağlar. Farklı yüksek basınç ve püskürtme kuru madde oranına sahip örneklerde, püskürtme kuru maddesi ve basınç oranının artması örneklerin akış stabilite değerini 1'e yakın oranda artırmıştır. Akış stabilite değerinin 1'den yüksek olması sistemin çökmeden veya faz ayrışması olmadan uzun süre stabil kalabileceğini ifade etmektedir. En yüksek akış stabilite değerine (1,29) sahip örnek, %40 kuru madde oranı ve 30 MPa basınç uygulanmış sodyum kazeinat tozu örneğidir, bu örneğin daha stabil, çökelme ve aglomerasyon riskinin daha düşük olduğunu göstermektedir.

4.5. Sodyum Kazeinat Tozlarının Partikül büyüklüğü, Zeta potansiyeli ve Temas açısı Ölçümüne Ait Sonuçlar ve Tartışma

Sodyum kazeinat tozu örneklerinin yüksek basınç uygulamasından sonra fiziksel değişimlerini değerlendirmek için partikül boyutu, zeta potansiyeli ve temas açısı ölçümü analizleri yapılmıştır.

Toz parçacık boyutu, süt bileşenlerinin ve toz ürünün, rehidrasyonunu ve akış özelliklerini etkileyen kritik bir kalite kontrol parametresidir. Genel olarak, parçacık çapı >150 µm olan parçacıklar üstün dağılıbilirlik ve çözünürlük özelliklerine sahiptir (Kang ve ark., 2022). Örneklerin partikül boyutu ölçümü sonuçları değeri yüzey ağırlıklı ortalamaı ifade eden D[3,2] değeri ve hacim ağırlıklı ortalamaı ifade eden D[4,3] değeri açıdan değerlendirilmiştir. Farklı püskürtme kuru madde oranı ve basınç uygulanmış

örneklerin depolama süresinin ilk günündeki partikül boyutu değerleri Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Yüksek basınç uygulanmış sodyum kazeinat tozu örneklerinin D[3,2] değerleri 0,36 - 0,43 μm arasında bulunmuştur. Sodyum kazeinat ve ultra yüksek basınçlı homojenizasyon ile stabilize edilen yağ-su emülsiyonlarının fiziksel ve oksidatif kararlılığı üzerinde yağ fazı konsantrasyonunun etkisi üzerine yapılan çalışmada; D[3,2] değerini 0.35–0.19 μm arasında bulmuştur (Hebshy ve ark., 2013). Sodyum klorürün sodyum kazeinat emülsiyonlarının oluşumu ve stabilitesi üzerindeki etkisinin incelendiği çalışmada %1 veya %3 sodyum kazeinatla yapılan emülsiyonların ortalama hacim-yüzey çapı D[3,2] %1 sodyum kazeinatla yapılan emülsiyonlar için yaklaşık 0,58 μm 'de, %3 sodyum kazeinatla yapılan emülsiyonlar için ise yaklaşık 0,55 μm 'de sabit kalmıştır (Srinivasan ve ark., 2000). En düşük D[3,2] değeri (0,36 μm) %40 kuru madde oranı ve 30 MPa basınç uygulanmış örneğe aittir. Bu değer örneğin daha küçük partiküller içerdiğini ve yüzey alanı olarak daha baskın olduğunu, aynı zamanda daha iyi çözünürlük ve daha homojen dispersiyon göstereceğini ifade etmektedir.

Hacim ağırlıklı ortalamayı ifade eden D[4,3] değeri, farklı püskürtme kuru madde oranı ve farklı basınç oranına sahip örneklerde 0,71-0,86 μm arasında bulunmuştur. Sodyum kazeinat ile formüle edilen lipid emülsiyonlarının yapıları ve stabilitesinin incelendiği bir çalışmada, numunenin hacim ağırlıklı ortalama olarak (D4,3) 0,692 μm değerinde bir parçacık boyut dağılımına sahip olduğu belirlenmiştir (Huck-Iriart ve ark., 2011). Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, bizim bulduğumuz sonuçlar ile paralel veriler içermektedir. En düşük D[4,3] değeri (0,71 μm) %40 kuru madde oranı ve 30 MPa basınç uygulanmış örneğe aittir. Bu değer örneğin daha küçük partiküller içerdiğini ve yüksek yüzey alanına sahip olduğunu, aynı zamanda daha iyi çözünürlük ve stabilite göstereceğini ifade etmektedir.

Zeta potansiyeli, yüklü katı-sıvı ara yüzünün yakınında oluşan elektriksel çift katmanın Stern katmanı ile difüz katmanı arasındaki kayma düzleminde bulunan elektriksel çift katman potansiyeli olarak tanımlanır. Zeta potansiyeli, yüklü katı-sıvı ara yüzünün elektriksel çift katmanının kuvvetini ve polaritesini karakterize eden deneysel olarak ölçülebilir bir elektriksel potansiyeldir (Yang, 2008). Özetle, negatif ve pozitif yük ne kadar yüksekse partiküller o kadar birbirini iter ve çökelme riski azalır. Farklı püskürtme kuru madde oranına sahip yüksek basınç uygulanmış sodyum kazeinat tozlarının zeta potansiyeli değeri -41,95 ile -50,29 mV arasında değiştiği belirlenmiştir. Mutlak değeri en yüksek zeta potansiyeli değerine sahip olan %40 kuru madde oranı ve

10 MPa basınç uygulanmış örneğe (-50,29 mV) aittir. Bu değer %40 püskürtme kuru madde oranı ve %10 MPa basınç uygulanmış sodyum kazeinat tozu örneğinin elektrostatik olarak kararlı olduğunu ve çökme eğiliminin düşük olduğunu ortaya koymaktadır.

Temas açısı, bir sıvının katı yüzey üzerine damlatıldığında oluşan açıyı açıklamaktadır. Yüzeyin suyu seven (hidrofilik) veya suyu iten (hidrofobik) olup olmadığını gösterir. Temas açısı $>90^\circ$ 'se yüzeyin hidrofobik olduğu, $<90^\circ$ ise hidrofilik olarak ifade edilir. Farklı püskürtme kuru madde oranına sahip yüksek basınç uygulanmış sodyum kazeinat tozlarının temas açısı değerleri 77,86-97,58 değerleri arasında bulunmuştur. En düşük temas açısı değerine sahip olan (77,86) %40 püskürtme kuru madde oranı ve %30 MPa basınç uygulanmış sodyum kazeinat tozu örneğidir. Bu temas açısı değeri (77,86), %40 püskürtme kuru madde oranı ve %30 MPa basınç uygulanmış sodyum kazeinat tozu örneğinin su ile daha iyi temas ettiğini, dispersiyonda daha hızlı çözüneceğini göstermektedir.

Çizelge 4.12. Sodyum kazeinat tozlarının partikül boyutu, zeta potansiyeli ve temas açısı özelliklerine ait analiz sonuçları

Püskürtme kuru maddesi (%)	Basınç (MPa)	Depolama süresi (gün)	D[3,2]	D[4,3]	Zeta Potansiyeli (mV)	Temas Açısı
%35	10	1	0,43±0,01	0,86±0,00	-49,78±0,76	97,58±1,59
	20	1	0,40±0,00	0,81±0,01	-47,01±2,39	85,29±1,44
	30	1	0,37±0,01	0,75±0,01	-45,28±1,52	81,38±1,45
%40	10	1	0,41±0,01	0,78±0,02	-50,29±1,39	93,79±2,17
	20	1	0,37±0,01	0,76±0,01	-47,78±2,23	83,03±1,65
	30	1	0,36±0,01	0,71±0,01	-41,95±2,26	77,86±2,20

4.6. Sodyum Kazeinat Tozlarının Rekonstitüe Sütlerinin Tekstürel Özelliklerine Ait Sonuçlar ve Tartışma

Sodyum kazeinat tozlarının tekstürel özelliklerini belirlemek amacıyla 10 g sodyum kazeinat tozu alınarak oda sıcaklığındaki 100 ml suda rekonstitüe edildikten sonra analizi gerçekleştirilmiştir. Rekonstitüe edilen sodyum kazeinat tozlarında sertlik, kıvam, yapışkanlık ve viskozite indeksi değerleri belirlenmiştir. Sodyum kazeinat tozlarının rekonstitüe sütlerinin depolama boyunca tekstürel özelliklerinde meydana gelen değişim Çizelge 4.13 'de verilmiştir. Sodyum kazeinat tozlarının rekonstitüe sütlerinin püskürtme kuru madde oranı, yüksek homojenizasyon basıncı, depolama süresinin ve bunların interaksiyonlarının tekstürel özelliklerine etkisini belirlemek için yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.14'de verilmiştir.

Sodyum kazeinat tozlarının rekonstitüe sütlerinin depolama periyodu boyunca sertlik değerlerinin 9,57 – 15,17 g aralığında değiştiği belirlenmiştir. Depolama süresince en yüksek sertlik değerleri (15,17 g) 20 MPa basınç uygulanmış %35 püskürtme kuru madde oranına sahip olan sodyum kazeinat tozu rekonstitüe sütlerinin depolamasının 30. gününde belirlenirken, en düşük sertlik değerleri (9,57 g) 30 MPa basınç uygulanmış %40 püskürtme kuru madde oranına sahip olan sodyum kazeinat tozu rekonstitüe sütlerinin depolamasının 0. gününde tespit edilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre tüm faktörlerin rekonstitüe sodyum kazeinat sütlerinin sertlik değerlerine etkisi istatistiksel anlamda önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$). Tukey HSD testi sonuçlarına göre (Çizelge 4.15), püskürtme kuru maddesi oranı ve basınç değerinin sertlik değerine önemli bir etkisi olmadığı belirlenmiştir. Depolama periyodunda en yüksek sertlik değeri (13,97 g) depolama periyodunun 30. gününde belirlenirken, en düşük sertlik değeri (12,89 g) depolamanın 0. gününde tespit edilmiştir.

Çizelge 4.13. Sodyum kazeinat tozlarının rekonstitüe sütlerinin tekstürel özelliklerine ait analiz sonuçları

Püskürtme KM (%)	Basınç (MPa)	Depolama süresi (gün)	Sertlik (g)	Kıvam (g.s)	Yapışkanlık (g)	Viskozite indeksi (g.s)
% 35	10	0	13,26±0,11	239,79±5,01	-4,41±0,27	-0,69±0,02
		30	13,29±1,68	242,08±8,33	-4,41±0,05	-0,68±0,10
		90	13,49±0,33	121,09±9,39	-4,87±0,16	-0,90±0,15
		180	13,33±0,00	129,8±0,00	-4,60±0,00	-0,72±0,00
	20	0	12,99±0,27	223,22±18,43	-4,41±0,27	-0,69±0,02
		30	15,17±2,49	242,08±8,33	-4,94±0,38	-0,74±0,18
		90	13,83±0,16	127,37±0,73	-4,79±0,05	-0,7±0,04
		180	12,34±0,00	124,24±0,00	-4,75±0,00	-0,71±0,00
	30	0	14,83±2,55	240,22±2,73	-4,60±0,11	-0,79±0,14
		30	13,41±0,65	243,25±15,59	-4,56±0,16	-0,71±0,09
		90	13,45±0,16	122,55±0,69	-4,83±0,22	-0,74±0,08
		180	13,95±0,00	124,97±0,00	-4,67±0,00	-0,76±0,00
% 40	10	0	13,14±0,05	231,51±18,69	-4,48±1,14	-0,64±0,36
		30	14,25±1,19	245,72±6,07	-4,75±0,11	-0,86±0,11
		90	11,95±0,00	114,69±0,00	-4,90±0,00	-0,92±0,00
		180	14,02±0,54	127,97±0,12	-4,64±0,05	-0,69±0,02
	20	0	13,56±1,19	186,1±23,21	-5,36±1,63	-11,44±0,36
		30	13,14±0,60	238,67±7,62	-5,36±0,22	-1,11±0,27
		90	14,56±0,00	116,98±0,00	-6,21±0,00	-1,29±0,00
		180	13,18±0,00	122,11±0,00	-4,67±0,00	-0,92±0,00
	30	0	9,58±0,00	130,29±0,00	-5,59±0,00	-13,37±0,00
		30	14,56±0,54	239,26±2,27	-4,75±0,76	-0,71±0,05
		90	13,75±0,27	126,08±0,70	-5,02±0,05	-0,68±0,08
		180	13,87±0,00	129,54±0,00	-4,83±0,00	-0,75±0,00

* (\bar{x} ±std sapma, n=2)

Çizelge 4.14. Sodyum kazeinat tozlarının rekonstitüe sütlerinin tekstürel özelliklerine ait varyans analizi sonuçları

VK	SD	Sertlik (g)		Kıvam (g.s)		Yapışkanlık (g)		Viskozite indeksi (g.s)	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Püskürtme kuru maddesi (%) (A)	1	1,17	1,40ns	2457,20	32,18**	1,87	9,04**	50,26	2634,72**
Basınç (B)	2	0,53	0,32ns	1257,03	8,23**	1,48	3,57*	23,88	626,03**
Depolama süresi (C)	3	7,02	2,80ns	129787,37	566,71**	1,11	1,78ns	129,57	2264,03**
A x B	2	2,57	1,54ns	1086,11	7,11**	0,61	1,48ns	24,40	639,63**
A x C	3	9,98	1,99ns	4093,43	8,93**	1,15	0,92ns	71,47	624,43**
B x C	6	7,26	2,89ns	5648,65	24,66**	0,70	1,13ns	130,48	2279,84**
A x B x C	6	27,40	5,46**	4568,76	9,97**	1,11	0,89ns	69,02	603,01**
Hata	24	20,04		1832,12		4,98		0,45	

¹ * p<0.05, ** p<0.01, ns: istatistiki açıdan önemsiz

Çizelge 4.15. Sodyum kazeinat tozlarının rekonstitüe sütlerinin tekstürel özelliklerine ait Tukey HSD testi sonuçları

Faktör	N	Sertlik (g)	Kıvam (g.s)	Yapışkanlık (g)	Viskozite indeksi (g.s)
Püskürtme KM (%)					
35	24	13,61a	181,72a	-4,65a	-0,73a
40	24	13,29a	167,41b	-5,04b	-2,78b
Basınç					
10	12	13,34a	181,58a	-4,63a	-0,76a
20	12	13,59a	172,60b	-5,06b	-2,20b
30	12	13,42a	169,52b	-4,85ab	-2,31b
Depolama Süresi					
0	12	12,89b	208,52b	-4,80a	-4,60b
30	12	13,97a	241,84a	-4,79a	-0,80a
90	12	13,50ab	126,44c	-5,10a	-0,87a
180	12	13,44ab	121,46c	-4,69a	-0,75b

*Aynı sütunda farklı harfle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır.

Depolama aşamasında sodyum kazeinat tozu örneklerinin rekonstitüe sütlerinin kıvam değerlerinin 114,69 – 245,67 g aralığında değiştiği belirlenmiştir. Depolama periyodunda en yüksek kıvam değerleri (245,67 g) 50 MPa basınç uygulanmış %40 püskürtme kuru madde oranına sahip olan sodyum kazeinat tozu rekonstitüe sütlerinin depolamasının 90. gününde belirlenirken, en düşük kıvam değerleri (114,69 g) 10 MPa basınç uygulanmış %40 püskürtme kuru madde oranına sahip olan sodyum kazeinat tozu rekonstitüe sütlerinin depolamasının 30. gününde tespit edilmiştir. Sodyum kazeinat rekonstitüe sütlerinin kıvam değerlerine püskürtme kuru madde yüzdesi, basınç oranı, depolama süresi ve bu bileşenlerin karşılıklı etkileşimleri önemli düzeyde etki ettiği Çizelge 4.11'deki varyans analizinde verilmiştir ($p < 0.01$). Tukey HSD testi sonuçlarına göre, %35 püskürtme kuru madde oranına sahip olan sodyum kazeinat tozlarının rekonstitüe sütlerinin kıvam değeri (181,72 g); %40 püskürtme kuru madde oranına sahip olan sodyum kazeinat tozlarının rekonstitüe sütlerinin kıvam değerinden (167,41 g) daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Basınç faktörüne göre, en yüksek kıvam değeri (181,58 g) 50 MPa basınç uygulanmış örneklerde elde edilirken, 20- 30 MPa basınç değerinde benzer kıvam değerleri elde edilmiştir. Depolama süresi boyunca en yüksek kıvam değeri (241,84 g) 30. depolama gününde belirlenirken, en düşük kıvam değeri depolamanın sonlarında tespit edilmiştir.

Sodyum kazeinat tozlarının rekonstitüe sütlerinin depolama periyodu boyunca yapışkanlık değerlerinin – 4,41 ile – 6,21 g aralığında değişmiştir. Depolama boyunca en yüksek yapışkanlık değerleri (-4,41 g) 10 MPa basınç uygulanmış %35 püskürtme kuru madde oranına sahip olan sodyum kazeinat tozu rekonstitüe sütlerinin depolamasının 0. ve 30. gününde aynı zamanda aynı kuru madde oranına sahip 20 MPa basınç uygulanmış

örneklerin 0. depolama gününde belirlenirken, en düşük yapışkanlık değerleri (-6,21 g) 100 MPa basınç uygulanmış %40 püskürtme kuru madde oranına sahip olan sodyum kazeinat tozu rekonstitüe sütlerinin depolamasının 90. gününde belirlenmiştir. Sodyum kazeinat rekonstitüe sütlerinin yapışkanlık değerlerine püskürtme kuru madde yüzdesi ve basınç oranı etkisinin önemli düzeyde olduğu Çizelge 4.11'deki varyans analizinde verilmiştir ($p < 0.01$), depolama süresi istatistiki açısından anlamsız bulunmuştur ($p > 0.05$). Tukey HSD testi sonuçlarına göre, %35 püskürtme kuru madde oranına sahip olan sodyum kazeinat tozlarının rekonstitüe sütlerinin yapışkanlık değeri (-4,65 g); %40 püskürtme kuru madde oranına sahip olan sodyum kazeinat tozlarının rekonstitüe sütlerinin yapışkanlık değerinden (-5,04 g) daha yüksektir. Basınç değişkenine göre, en yüksek yapışkanlık değeri (-4,63 g) 10 MPa basınç uygulanmış örneklerde elde edilirken, 20- 30 MPa basınç değerinde benzer yapışkanlık değerleri elde edilmiştir. Depolama süresince benzer yapışkanlık değerleri elde edilmiştir.

Depolama periyodu boyunca sodyum kazeinat tozlarının rekonstitüe sütlerinin viskozite indeks değerlerinin -0,64 ile -13,37 g.s arasında değiştiği belirlenmiştir. Depolama boyunca en yüksek viskozite indeks değeri (-0,64 g.s) 10 MPa basınç uygulanmış %40 püskürtme kuru madde oranına sahip olan sodyum kazeinat tozu rekonstitüe sütlerinin depolamasının 0. gününde belirlenirken, en düşük viskozite indeks değeri (-13,37 g.s) 30 MPa basınç uygulanmış %40 püskürtme kuru madde oranına sahip olan sodyum kazeinat tozu rekonstitüe sütlerinin depolamasının 0. gününde tespit edilmiştir. Yapılan varyans analizinde sodyum kazeinat tozlarının rekonstitüe sütlerinin viskozite indeks değerlerine püskürtme kuru madde yüzdesi, basınç oranı, depolama süresi ve bunların aralarındaki etkileşimin istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p < 0.01$). Tukey HSD testi sonuçlarına göre, %35 püskürtme kuru madde oranına sahip olan sodyum kazeinat tozlarının rekonstitüe sütlerinin viskozite indeks (-0,73 g.s); %40 püskürtme kuru madde oranına sahip olan sodyum kazeinat tozlarının rekonstitüe sütlerinin viskozite indeks değerinden (-2,78 g.s) daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Basınç değişkenine göre viskozite indeks değeri (-0,76 g.s) en yüksek olarak 10 MPa basınç uygulanmış örneklerde tespit edilirken, diğer basınç değerlerinde benzer sonuçlar elde edilmiştir. Depolama süresince en yüksek viskozite indeks değeri (-0,80 – 0,87 g.s) ile depolamanın 30. ve 90. günlerinde belirlenirken, depolamanın diğer günlerinde benzer viskozite indeks değerleri elde edilmiştir.

Süt protein karışımlarının yüksek protein barların dokusu üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmada, süt protein konsantresi barda sertliği artırmıştır. Açıkçası, bu davranış bu süt protein konsantrelerinin standart bir süt protein konsantresine kıyasla üretim sırasında geçirdiği değişikliklerden kaynaklandığı sonucuna varmışlardır (İmtiaz ve ark., 2012). Loveday ve ark. (2009), MPC'ler kullanarak bir protein barındaki sertleşmeyi çalışmada, çözünür proteinlerin (büyük olasılıkla peynir altı suyu proteinleri) zamanla nemin daha düşük molekül ağırlıklı polihidroksil karbonhidratlara doğru göç etmesi nedeniyle çökeldiğini öne sürmüştür. Zamanla proteinler bir araya gelerek sertliği artırdığı sonucuna varmışlardır (Loveday ve ark., 2009).

Yüksek süt proteini bileşenleri kullanılarak süt proteini standardizasyonunun paneerin tekstürü, bileşimi ve verimi üzerindeki etkisinin incelendiği bir çalışmadaki sonuçlar, protein tozları kullanılarak hazırlanan paneerin, kohezyonluk ve esneklik hariç hemen hemen tüm dokusal özelliklerde kontrol paneerinden farklı olduğunu ortaya koymuştur (Gawande ve ark., 2023).

Süt proteinleri ile güçlendirilmiş yoğurdun dokusal özelliklerinin iyileştirilmesi üzerine yapılan bir çalışmada, Süt proteini bazlı Na-CN, Ca-CN ve MPC ile güçlendirilmiş yoğurtlar arasında dokusal özelliklerde önemli farklılıklar var olduğu tespit edilmiştir. Yağsız yoğurt üretiminde süt proteinlerinin kullanılması, sert kazein parçacıkları ve büyük agregalardan oluşan daha kompakt bir yapıya ve artan sertliğe ve ayrıca artan kohesiflik ve esneklik değerlerine neden olarak iyileştirilmiş dokusal özelliklerle sonuçlanmıştır. Protein oranlarında farklılık gösteren yoğurtlar farklı doku özellikleri göstermiş olup; kazeinat oranının artması daha kalın ve daha granüler bir doku sağlamıştır (Delikanli ve Ozcan, 2017).

4.7. Sodyum Kazeinat Tozlarının DSC Analizlerine Ait Sonuçlar ve Tartışma

Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) yöntemi günümüzde en yaygın kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde, numune ile referans madde arasındaki ısı akısı farkı, programlanmış ısıtma altında sıcaklık veya zamanın bir fonksiyonu olarak ölçülür. DSC incelemesi termal kararlılığı tanımlamada geniş bir temsiliyete sahiptir (Zuo ve Zhang, 2025). DSC'nin süt ürünleri alanındaki başlıca uygulaması, süt bileşenlerinin veya ürünlerinin işleme ve depolama sırasındaki faz geçişlerini belirlemektir. Bu geçişler arasında laktozun cam geçişi ve kristalleşmesi, süt yağının kristalleşmesi ve erimesi, süt emülsiyonlarının ısıtma döngülerine duyarlılığı, cam geçiş sıcaklığı (Tg) ve süt

proteinlerinin denatürasyonu ve süt proteinleriyle etkileşime giren su moleküllerinin fiziksel durumu yer alır (Voronin ve Harte, 2022). Termogram, düşük sıcaklıktan yüksek sıcaklığa doğru cam geçiş sıcaklığı (T_g), kristalleşme sıcaklığı (T_c), erime sıcaklığı (T_m) ve bozunma sıcaklığı (T_d) dört geçişi göstermektedir (Leyva-Porras ve ark., 2020).

Cam geçiş sıcaklığı (T_g), gıda sistemlerinin önemli fizikokimyasal davranışlarını açıklamaya yardımcı olabileceği için gıda biliminde önemli bir fiziksel özelliktir. DSC durumunda, camsı-kauçuksu geçişte ölçülen sıcaklık, normalde ısı kapasitesi değişiminin orta noktası tarafından belirlenir ve camsı geçiş sıcaklığı (T_g) olarak adlandırılır (Sandoval ve ark., 2009). Yüksek basınç uygulanmış sodyum kazainat tozlarını depolamanın ilk günündeki T_g değerleri (Çizelge 4.16.) 102,78- 109,78 °C arasında değişmiştir. En yüksek T_g değerine sahip %35 püskürtme kuru madde oranı ve 10 MPa basınç uygulanmış örneğin termal olarak daha stabil olduğu, 109,78 °C T_g değerine sahip %40 püskürtme kuru madde oranına sahip 30 MPa basınç uygulanmış örneğin daha az termal stabil olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.16. Sodyum kazeinat DSC değerlerine ait analiz sonuçları

Püskürtme kuru maddesi (%)	Basınç (MPa)	Depolama süresi (gün)	T _g °C	T _d °C	ΔH (j/g)
%35	10	1	109,78±0,77	129,77±0,66	0,31±0.00
	20	1	106,85±0,64	132,31±0,15	0,29±0.00
	30	1	104,77±0,81	135,64±0,79	0,28±0.00
%40	10	1	108,68±0,74	133,20±1,32	0,30±0.00
	20	1	106,31±1,27	134,68±0,68	0,29±0.00
	30	1	102,78±0,81	138,71±0,79	0,27±0.00

* (x±std sapma, n=2)

Denatürasyon sıcaklığı (T_d), proteinin ısıl olarak bozulmaya, yapısal değişime veya denatürasyona başladığı sıcaklık olarak ifade edilir. Yüksek denatürasyon sıcaklıkları örneğin ısıya daha dayanıklı olduğunu gösterirken, düşük denatürasyon sıcaklığı numunenin ısıya karşı daha hassas olduğu göstermektedir. Yüksek basınç uygulanmış sodyum kazeinat tozlarının T_d değerleri 129,77- 138,71 °C arasında ölçülmüştür. En yüksek denatürasyon sıcaklığı değerine sahip (138,71 °C) %40 püskürtme kuru madde ve %30 MPa basınç uygulanmış örneğin en yüksek termal stabiliteye sahip olduğu görülmüştür.

Yüksek basınç uygulanmış sodyum kazeinat tozu örneklerinin ΔH değişimleri 0,27-0,31 j/g arasında ölçülmüştür. Daha yüksek entalpi değerine sahip örnekler yapısal değişim için daha fazla enerjiye ihtiyaç duymakta olup, bu durum daha güçlü moleküler

etkileşimlere işaret etmektedir. Daha düşük ΔH değerleri ise proteinin daha kolay denatüre olduğunu ve daha düşük yapısal stabiliteye sahip olduğunu göstermektedir. Diferansiyel tarama kalorimeri (dsc) kullanılarak kazeinin ($\alpha 1$) termal ve hidrolitik denatürasyonunun incelenmesi üzerine yapılan çalışmada, doğal kazeinin $103,757^{\circ}\text{C}$ denatürasyon sıcaklığına karşılık termal geçiş entalpi değeri $0,079 \text{ J/g'da}$ (ΔH_d) olarak ölçülmüştür (Farooq, 2019).

4.8. Sodyum Kazeinat Tozlarının Duyusal Özelliklerine Ait Sonuçlar ve Tartışma

Duyusal analizlerde sodyum kazeinat tozlarına ait örnekler görünüm ve ambalaj kriteri bakımından değerlendirilmiş olup, sodyum kazeinat tozları aroma ve görünüm açısından eğitimli 5 panelist tarafından değerlendirilmiştir. Örnekler ambalaj ve fiziksel görünüm açısından 5 puanlık bir ölçek kullanılarak değerlendirilirken, aroma 10 puanlık bir ölçek kullanılarak değerlendirilmiştir. Sodyum kazeinat tozlarının örnekleri depolama periyodu boyunca ambalajları açısından panelistler tarafından 5 puan almıştır. Örneklerin tamamının ambalajlarının uygun olduğu görülmektedir. Sodyum kazeinat tozuna ait tüm örnekler ambalaj açısından 5 puan aldığı için istatistiki olarak değerlendirilmemiş ve çizelgede yer verilmemiştir. Duyusal analiz sonuçları Çizelge 4.17'de verilmiştir.

Örneklerin depolama süresince görünüm puanları, 3,70- 4,75 arasında değişmiştir. En düşük görünüm puanını (3,70) 20 MPa basınç uygulanmış %35 püskürtme kuru madde oranına sahip olan sodyum kazeinat tozu örnekleri 180. gününde almış olup, en yüksek görünüm puanı (4,75) ise 10 MPa basınç uygulanmış %40 püskürtme kuru madde oranına sahip olan sodyum kazeinat tozu örnekleri 0. gününde almıştır. Sodyum kazeinat tozu örneklerine basınç oranı ve depolama süresinin görünüm üzerine önemli seviyede etki ettiği Çizelge 4.18'deki varyans analizinde verilmiştir ($p < 0.01$), püskürtme kuru maddesinin görünüm üzerine etkisi istatistiki olarak anlamsız bulunmuştur ($p > 0.05$). Tukey HSD testi sonuçlarına göre (Çizelge 4.19), farklı püskürtme kuru maddesi oranlarındaki görünüm puanları benzerdir. Basınç faktörüne göre en yüksek görünüm puanını (4,40) 10 MPa basınç uygulanan örnekler alırken, en düşük görünüm puanını (4,22) 20 MPa basınç uygulanan örnekler almıştır. Depolama süresi arttıkça örneklerin görünüm açısından aldığı puanlarda bir düşüş görülmüş olup, en yüksek görünüm puanı (4,56) depolamanın 0. gününde verilirken en düşük görünüm puanı (3,91) depolamanın 180. gününde verilmiştir.

Çizelge 4.17. Sodyum kazeinat tozlarının duyusal özelliklerine ait sonuçları

Püskürtme KM (%)	Basınç (MPa)	Depolama süresi (gün)	Görünüm	Aroma
% 35	10	0	4,38±0,02	9,13±0,09
		30	4,69±0,11	9,11±0,03
		90	4,30±0,18	9,09±0,09
		180	3,90±0,02	8,99±0,03
	20	0	4,37±0,07	8,56±0,04
		30	4,18±0,08	8,51±0,01
		90	4,13±0,07	7,50±0,10
		180	3,70±0,30	7,31±0,11
	30	0	4,61±0,01	9,06±0,02
		30	4,52±0,10	8,81±0,01
		90	4,38±0,06	8,81±0,03
		180	3,98±0,02	8,46±0,06
% 40	10	0	4,75±0,07	8,26±0,06
		30	4,58±0,02	8,19±0,01
		90	4,61±0,05	8,10±0,02
		180	4,04±0,04	7,89±0,09
	20	0	4,71±0,03	8,72±0,04
		30	4,42±0,02	8,19±0,01
		90	4,28±0,08	8,04±0,04
		180	3,98±0,04	7,95±0,03
	30	0	4,55±0,11	8,69±0,07
		30	4,36±0,04	8,01±0,01
		90	4,10±0,10	7,96±0,04
		180	3,90±0,04	7,48±0,08

* ($\bar{x} \pm \text{std sapma}$, n=2)

Sodyum kazeinat örneklerinin depolama boyunca aroma kriteri puanları, 7,31-9,13 arasında değişmiştir. En düşük aroma puanını (7,31) 20 MPa basınç uygulanmış %35 püskürtme kuru madde oranına sahip olan sodyum kazeinat tozu örnekleri 180. gününde almış olup, en yüksek aroma puanı (9,13) ise 10 MPa basınç uygulanmış %35 püskürtme kuru madde oranına sahip olan sodyum kazeinat tozu örnekleri 0. gününde almıştır. Sodyum kazeinat tozu örneklerine püskürtme kuru madde oranı, basınç ve depolama periyodunun aromaya etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p < 0.01$). Tukey HSD testi sonuçlarına göre, %35 püskürtme kuru madde oranına sahip olan sodyum kazeinat tozu örneklerinin aroma puanı (8,61), %40 püskürtme kuru madde oranına sahip olan sodyum kazeinat tozu örneklerinin aroma puanından (8,12) daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Basınç faktörüne göre en yüksek ve benzer aroma puanını (8,59-8,41) 10-30 MPa basınç uygulanan örnekler alırken, en düşük aroma puanını (8,09) 20 MPa basınç uygulanan örnekler almıştır. Depolama süresi arttıkça örneklerin aroma açısından aldığı puanlarda bir düşüş görülmüş olup, en yüksek aroma puanı (8,73) depolamanın 0. gününde görülürken, en düşük aroma puanı (8,01) depolamanın 180. gününde verilmiştir.

Çizelge 4.18. Sodyum kazeinat tozlarının duyuşsal özelliklerine ait varyans analizi sonuçları

VK	SD	Görünüm		Aroma	
		KO	F	KO	F
Püskürtme kuru maddesi (%) (A)	1	0,54	2,40ns	14,30	34,38**
Basınç (B)	2	1,37	3,05*	10,11	12,15**
Depolama süresi (C)	3	14,40	21,31**	17,16	13,74**
A x B	2	1,78	3,95*	17,06	20,49**
A x C	3	0,68	0,50ns	5,49	2,18*
B x C	6	0,41	0,60ns	0,84	0,67ns
A x B x C	6	0,52	0,39ns	3,19	1,28ns
Hata	24	0,22		0,41	

¹ * p<0.05, ** p<0.01, ns: istatistiki açıdan önemsiz

Çizelge 4.19. Sodyum kazeinat tozlarının duyuşsal özelliklerine ait Tukey testi sonuçları

Faktör	N	Görünüm	Aroma
Püskürtme KM (%)			
35	24	4,26a	8,61a
40	24	4,35a	8,12b
Basınç			
10	12	4,40a	8,59a
20	12	4,22b	8,09ba
30	12	4,30ab	8,41a
Depolama süresi			
0	12	4,56a	8,73a
30	12	4,45ab	8,47ab
90	12	4,30b	8,25bc
180	12	3,91c	8,01c

* Aynı sütunda farklı harfle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır.

4.9. Sodyum Kazeinat Tozlarının SEM Görüntülerine Ait Sonuçlar ve Tartışma

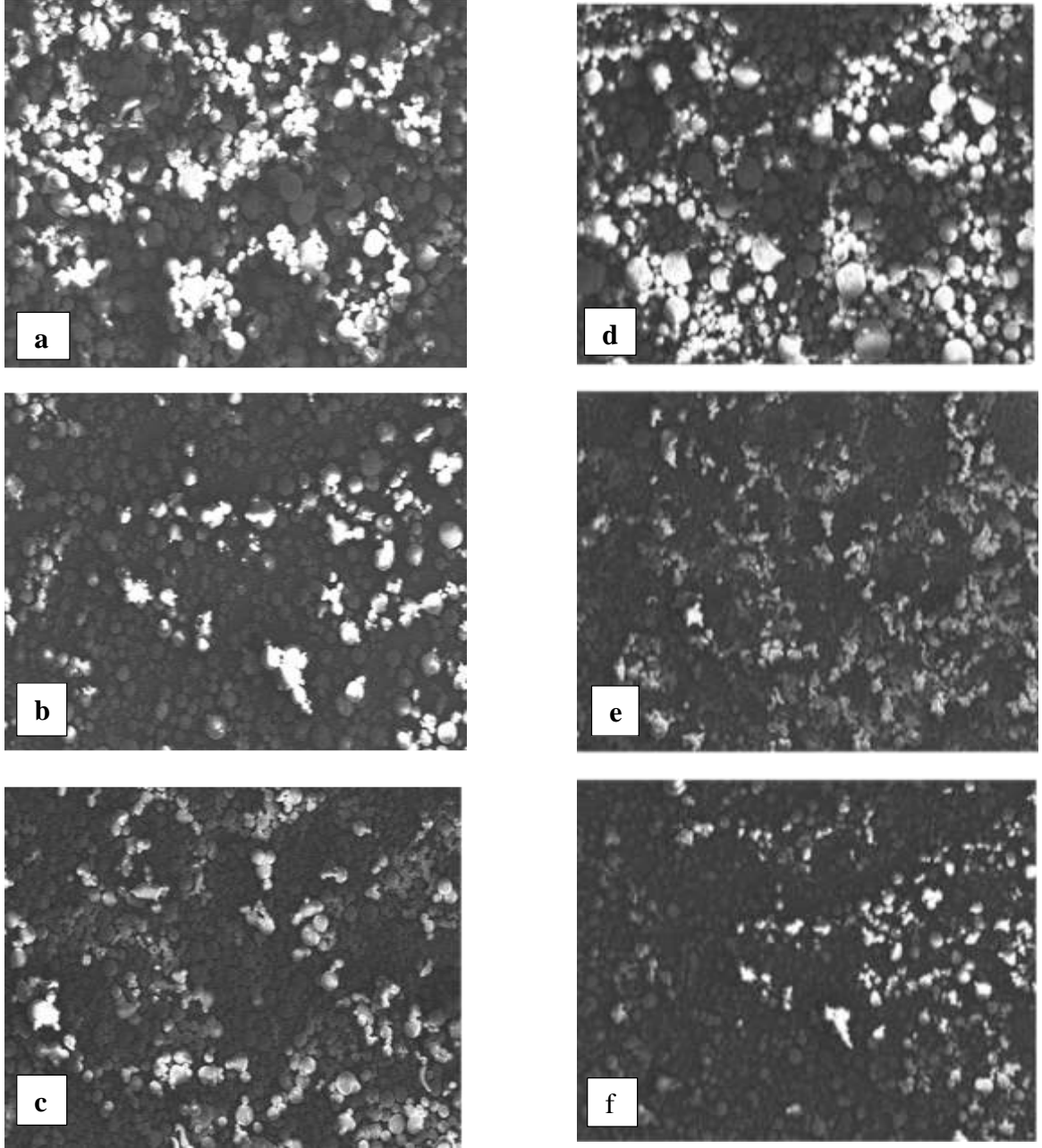
Sodyum kazeinat tozlarının 80-200x büyütme faktörüne göre oluşan taramalı elektron mikroskopu (SEM) görüntüleri Şekil 4.1’de verilmiştir. Sem görüntülerinden tüm sodyum kazeinat tozlarının şekil olarak küresel olduğu görülmektedir.

Püskürtme kuru madde oranının artmasına bağılı olarak örneklerin partikül yapısı daha homojen bir hal aldığı görülmektedir. Görüntüler uygulanan basınç açısından değerlendirildiğinde, örneklerin partikül boyutunda küçülme olduğu ve partikül dağılımı homojenliğinde artma görülmüştür.

Tozun depolanması sırasında, misel arasında ve içinde artan etkileşimler meydana gelerek misellerin sıkışmasına ve birbirine yakın paketlenmiş kazein misellerinden oluşan tek katmanlı bir zarın oluşmasına yol açar; bunların birleşiminin depolanan MPC tozlarının yavaş çözünmesinden sorumlu olduğu ileri sürülmektedir (Mimouni ve ark., 2010). Yüksek basınç uygulayarak örneklerin partikül dağılımını ve boyutunu küçültürük,

sodyum kazeinat tozlarının emülsifiye edici özellikleri, dağılıbilirlikleri gibi fonksiyonel özelliklerinde iyileştirme sağlaması beklenmektedir.

SEM, parçacıkların morfolojisini ve gıda tozlarının yüzey topografisini araştırmak için yaygın olarak kullanılan bir araçtır. Bu tekniğin gücü, numune yüzeyinin topolojik özelliklerine dair benzersiz bir içgörü sağlayan yüksek derinlik alanıyla birleştirilmiş yüksek çözünürlüğüdür. SEM, numune yüzeyini noktasal, dikdörtgen bir ızgarada tarayan veya rasterleştiren çok ince bir elektron ışınının üretilmesine dayanır. Yüzeyler ve arayüzler gıda tozlarının üretiminde ve kullanımında önemli bir rol oynamaktadır. Bir malzemenin fiziksel yüzeyi, kapladığı alan ile çevre arasındaki sınırı oluşturan dış kısmı olarak tanımlanabilir. Malzemelerin pürüzlülüğü, morfolojisi ve şekli, üretim koşulları ile malzeme yüzeyinin ve kütlesinin fizikokimyasal özellikleri arasındaki karmaşık etkileşimin sonucudur. Bu nedenle, gıdanın fizikokimyasal özelliklerini değerlendirebilen ve işleme sırasında ve gıda ürünlerinin raf ömrü boyunca davranışlarını tahmin edebilen yüzey analizi tekniklerine muazzam bir ilgi vardır. Birçok alanda, araştırma ve endüstride malzeme kalitesini kontrol etmek ve iyileştirmek için çeşitli yüzey analiz teknikleri (Atomik Kuvvet Mikroskobu - AFM, Taramalı Elektron Mikroskobu - SEM, konfokal lazer taramalı mikroskopi - CLSM, interferometrik mikroskopi, elipsometri, vb.) halihazırda geliştirilmiştir (Burgain ve ark., 2017). Yüksek proteinli süt tozu parçacıklarının rehidrasyon sırasında mikro yapısını incelemek için taramalı elektron mikroskobunun kullanılmasını üzerine yapılan araştırmada, tozun depolanması sırasında, misel arasında artan etkileşimler meydana gelmiş ve sonunda sıkıca bir arada paketlenmiş kazein misellerinden oluşan tek katmanlı bir zarın oluşmasına yol açmıştır. Bu zarın MPC toz parçacıklarının çözünmesini engellemedeki rolü olduğu düşünülmektedir (Mimouni ve ark., 2010).



Şekil 4.1. Sodyum kazeinat tozlarının taramalı elektron mikroskopu görüntüleri (a: %35 KM 10 MPa, b: %35 KM 20 MPa, c: %35 KM 30 MPa, d: %40 KM 10 MPa, e: %40 KM 20 MPa, f: %40 KM 30 MPa)

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Sodyum kazeinat; fonksiyonel ve besleyici özellikleri, özellikle de emülsifikasyon kapasitesi nedeniyle yaygın olarak kullanılan bir süt ürünüdür. Kazeinler hem yapıları hem de yapı oluşturma potansiyelleri açısından benzersiz proteinlerdir. Bu özellikleri nedeniyle kazeinler hem gıda endüstrisinde hem de gıda dışı endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yüksek basınçlı homojenizasyon (YBH), fermente süt üretiminde çığ sütün ön işleme tabi tutulmasının önemli bir prosedürüdür. YBH işlemleri genellikle mikrobiyal güvenliği sağlamak amacıyla sütteki bakterileri etkisiz hale getirmek için kullanılır. Öte yandan YBH, peynir altı suyu proteininin yapısını ve dokusunu değiştirebilir ve yağ globüllerinin boyutunu azaltabilir, böylece fermente sütün kalitesini artırabilir.

Yüksek basınç homojenizasyon işlemi süt endüstrisinde farklı amaçlarla kullanılmasına rağmen bugüne kadar sodyum kazeinat üretiminde YBH işlemi kullanımına rastlanılmamıştır. Bu çalışmada, fonksiyonel ve besleyici özellikleri, özellikle de emülsifikasyon kapasitesi nedeniyle yaygın olarak kullanılan sodyum kazeinat üretiminde YBH işleminin kullanılabilirliğinin araştırılması planlanmıştır. Bu amaçla farklı püskürtme kuru maddesi (% 35-40) ve farklı homojenizasyon basınçları (10, 20 ve 30 MPa) kullanılarak sodyum kazeinat tozları üretilmiştir. Depolama süresince toz numunelerinin mikroyapı, termal, fonksiyonel ve akış özellikleri incelenmiştir.

Yüksek basınç homojenizasyon (YBH) işlemi uygulanmış farklı farklı püskürtme kuru madde oranına sahip sodyum kazeinat tozlarının nem oranları depolama süresince % 5,16 – 7,15 arasında değişmiştir. Püskürtme kuru madde yüzdesi, basınç ve depolama süresi ve bunların interaksyonları sodyum kazeinat tozlarının nem oranını önemli düzeyde etkilemiştir ($p < 0.01$). Depolama süresindeki artışla birlikte örneklerin nem içeriklerinin nispeten artış meydana gelmiştir.

Sodyum kazeinat tozu numunelerinin pH değeri depolamanın ilk gününde 7,14-7,15 arasında değişirken, depolamanın son gününde 0,02 birimlik düşüş ile 7,12-7,13 arasında değişmiştir. Depolama süresi boyunca sodyum kazeinat tozu örneklerinin pH değerinde düşüş meydana gelmiştir. Püskürtme kuru maddesinin ve basınç değerinin asitlik değerine etkisi istatistiki önemsiz düzeyde bulunmuştur ($p > 0.05$). Yüksek homojenizasyon basıncı ve depolama süresinin sodyum kazeinat tozlarının yağ

oranlarında depolama süresince değişme meydana gelmemiştir. Sodyum kazeinat tozlarında depolamanın başında kül oranındaki değişim % 6,86 – 6,93, depolamanın sonunda % 6,79 – 6,99 aralığında bulunmuştur. %40 püskürtme kuru madde oranına sahip örneklerin kül değeri (%6,91), %35 püskürtme kuru madde oranına sahip örneklerin kül değerinden (%6,88) daha düşük bulunmuştur. Depolama süresi boyunca a_w değeri 0,26-0,34 aralığında bulunmuştur. Tüm örneklerde depolama süresi boyunca a_w değerinde artış olduğu belirlenmiştir. %35 püskürtme kuru madde ve farklı basınç uygulama oranına sahip sodyum kazeinat tozu örneklerinin depolama boyunca L^* değerindeki değişim 95.06-97.38 arasında iken, %40 püskürtme kuru madde oranına sahip örneklerin L^* değerinin 95,28-97,27 aralığında değiştiği belirlenmiştir. Genel olarak örneklerin L^* değeri yani parlaklığı artmıştır. En düşük a^* değeri %40 püskürtme kuru madde ve 30 MPa basınç uygulaması oranına sahip örneğin 0. gün depolamasında, en yüksek %35 püskürtme kuru madde ve 10 MPa basınç uygulaması oranına sahip örneğin 30. gün depolamasında görülmüştür. Depolama süresi boyunca %35 püskürtme kuru madde oranı ve farklı basınç oranında üretilen gruptaki örneklerin b^* değerleri 10,81 – 11,56 arasında değişirken, %40 püskürtme kuru madde oranı ve farklı basınç oranında üretilen gruptaki örneklerin ise 10,82 – 11,77 aralığında değiştiği görülmüştür. Homojenizasyon basıncına göre en yüksek sıkıştırılmış yığın yoğunluğu değeri 10 - 20 MPa basınç uygulanan örneklerde (0.37) belirlenirken, en düşük sıkıştırılmış yığın yoğunluğu değeri 30 MPa basınç uygulanan örneklerde (0.36) tespit edilmiştir. SYY değeri, devam eden depolama sürecinde artış göstermiştir. Örneklerin yabancı yanık madde (YYM) disklerinin ağırlığı 4.20 – 6.60 mg arasında değişmiştir. Tüm örneklerin yabancı yanık madde (YYM) içeriği disk A düzeyinde bulunmuştur.

Depolama süresince sodyum kazeinat tozlarının çözünürlük değerleri %83 – 86 arasında değişmiştir. YBH yağsız süt tozlarında köpük oluşturma kapasitesini ve stabilitesini artırmış, dağılılırlığı ise azaltmıştır.

Yüksek basınç uygulanmış sodyum kazeinat örneklerinin kek kuvveti değerleri 0,61 – 0,91 mN.m arasında değişirken, ortalama kek kuvvetlerinin ise 0.44 -0.64 N aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Artan basınç değerleri ile sodyum kazeinat tozlarının kekleşme özelliğinde belirgin düzeyde düşüş olduğu gözlenmiştir. En düşük kohezyon katsayısı yani en yüksek kohezyon %40 püskürtme kuru madde oranına sahip 10 MPa basınç uygulanmış örnekte (-8,08 mN.m) tespit edilirken, en yüksek kohezyon katsayısı yani en düşük kohezyon %40 püskürtme kuru madde oranına sahip 30 MPa basınç uygulanmış örneklerde (-5,62 mN.m) bulunmuştur. Sodyum kaz en yüksek kohezyon

indeksi değerine sahip olan %40 püskürtme kuru madde ve 10 MPa basınç uygulanmış örnek iken, en düşük kohezyon indeksi değerine sahip olan ise %40 püskürtme kuru madde ve 30 MPa basınç uygulanmış örnek olarak belirlenmiştir. Kohezyon indeksi değerlerine göre sodyum kazeinat tozlarının akış özellikleri sınıflandırıldığında, farklı püskürtme kuru madde oranı ve basıncına sahip sodyum kazeinat örneklerinin serbest akabilir, kolay akabilir akış özelliği gösterdiği görülmektedir. Akış stabilite değerinin 1'den yüksek olması sistemin çökmeden veya faz ayrışması olmadan uzun süre stabil kalabileceğini ifade etmektedir. En yüksek akış stabilite değerine (1,29) sahip örnek, %40 kuru madde oranı ve 30 MPa basınç uygulanmış sodyum kazeinat tozu örneğidir, bu örneğin daha stabil, çökme ve aglomerasyon riskinin daha düşük olduğunu göstermektedir.

Yüksek basınç uygulanmış sodyum kazeinat tozu örneklerinin D[3,2] değerleri 0,36 - 0,43 μm arasında, D[4,3] değeri 0,71-0,86 μm bulunmuştur. En düşük D[4,3] değeri (0,71 μm) %40 kuru madde oranı ve 30 MPa basınç uygulanmış örneğe aittir. Bu değer örneğin daha küçük partiküller içerdiğini ve yüksek yüzey alanına sahip olduğunu, aynı zamanda daha iyi çözünürlük ve stabilite göstereceğini ifade etmektedir. Sodyum kazeinat tozlarının zeta potansiyeli değeri -41,95 ile -50,29 mV arasında değiştiği belirlenmiştir. Mutlak değeri en yüksek zeta potansiyeli değerine sahip olan %40 kuru madde oranı ve 10 MPa basınç uygulanmış örneğe (-50,29 mV) aittir. Bu değer %40 püskürtme kuru madde oranı ve %10 MPa basınç uygulanmış sodyum kazeinat tozu örneğinin elektrostatik olarak kararlı olduğunu ve çökme eğiliminin düşük olduğunu ortaya koymaktadır. Temas açısı değerleri 77,86-97,58 değerleri arasında bulunmuştur. En düşük temas açısı değerine sahip olan (77,86) %40 püskürtme kuru madde oranı ve %30 MPa basınç uygulanmış sodyum kazeinat tozu örneğidir. Bu temas açısı değeri (77,86), %40 püskürtme kuru madde oranı ve %30 MPa basınç uygulanmış sodyum kazeinat tozu örneğinin su ile daha iyi temas ettiğini, dispersiyonda daha hızlı çözüneceğini göstermektedir.

Sodyum kazeinat tozlarının rekonstitüe sütlerinin depolama periyodu boyunca sertlik değerlerinin 9.57 - 15.17 g aralığında, kıvam değerlerinin 114.69 – 245.67 g aralığında, yapışkanlık değerlerinin – 4.41 ile – 6.21 g aralığında değiştiği belirlenmiştir.

Bu çalışmada üretilen sodyum kazeinat tozlarının depolamanın başında faz ve camsı geçiş sıcaklıkları belirlenmiştir. Tg değerleri 102,78- 109,78 °C arasında değişmiştir. En yüksek Tg değerine sahip %35 püskürtme kuru madde oranı ve 10 MPa basınç uygulanmış örneğin termal olarak daha stabil olduğu, 109,78 °C Tg değerine sahip

%40 püskürtme kuru madde oranına sahip 30 MPa basınç uygulanmış örneğin daha az termal stabil olduğu belirlenmiştir. Td değerleri 129,77- 138,71 °C arasında ölçülmüştür. En yüksek denatürasyon sıcaklığı değerine sahip (138,71 °C) %40 püskürtme kuru madde ve %30 MPa basınç uygulanmış örneğin en yüksek termal stabiliteye sahip olduğu görülmüştür.

Püskürtme kuru madde oranının artmasına bağlı olarak örneklerin mikroyapısının daha homojen bir hal aldığı görülmektedir. Görüntüler uygulanan basınç açısından değerlendirildiğinde, örneklerin partikül boyutunda küçülme olduğu ve partikül dağılımı homojenliğinde artma meydana geldiği görülmüştür.

Sodyum kazeinat tozlarının sektörde işlenebilirliği; yapışkan yapısı , yüksek protein içeriğine sahip olması kaynaklı yüksek sıcaklık ve basınçla denatüre olması ve çözündürme işleminde karşılaşılan sorunlar nedeniyle zordur. Yüksek basınç uygulaması ile yüksek kuru madde oranlarındaki işlenebilirlik zorluğu ortadan kaldırılarak daha viskoz bir yapı elde edilmiş aynı zamanda, son ürün olan sodyum kazeinat tozunun fonksiyonel ve akış özellikleri iyileştirilmiştir.

5.2 Öneriler

Sodyum kazeinat tozları fonksiyonel ve besleyici özellikleri, özellikle de emülsifikasyon kapasitesi nedeniyle çok fazla tercih edilen bir üründür. Fakat sodyum kazeinat işlenmesi sırasında; yapışkan yapısı kaynaklı ürün hatlarına yapışması, havadaki nemi çekmesi kaynaklı topaklanma eğilimine sahip olması, yüksek protein içeriği nedeniyle denatürasyon riski olması gibi birtakım zorluklar mevcuttur. Özellikle yüksek kuru madde değerine sahip sodyum kazeinat çözeltilerinin püskürtülerek kurutulması sırasında tıkanıklıklar meydana gelmektedir. %35-40 püskürtme kuru madde oranına sahip örneklere 10-30 MPa oranında yüksek basınç uygulaması ürünlerin spreyleme sırasındaki akışkanlığını artırmıştır. Aynı zamanda yüksek basınç uygulamasının sodyum kazeinat tozlarının kekleşme ve kohezyonu azaltarak toz akış özelliklerini iyileştirdiği görülmüştür. Bu nedenle, endüstriyel ölçekte sodyum kazeinat üretiminde 10-30 MPa oranlarında değişen yüksek basınç uygulaması tavsiye edilebilir görülmüştür. Sodyum kazeinat üretim hatlarının kompakt olması, yüksek basınç homojenizasyon cihazlarının hatlara ilave edilmesini de kolaylaştıracaktır.

Bu çalışmada; çöktürme işleminden sonra elde edilen sodyum kazeinat çözeltileri %35-40 kuru madde oranında olacak şekilde 10-30 MPa oranında yüksek basınç

uygulaması yapılabilmektedir. Gelecek çalışmalarda daha farklı teknolojiler kullanılarak daha yüksek basınç değerleri ve püskürtme kuru madde oranlarının uygulanabilirliği değerlendirilebilir. Böylece fonksiyonelliği daha fazla artırılmış ürünler elde edilebileceği düşünölmektedir.

6. KAYNAKLAR

- ADPI, 2002, Standards for grades of dry milk, Including methods of analysis, Bulletin 916, American Dairy Products Institute, Elmhurst, IL.
- ADPI, 2024, Yenilebilir Kazeinatlar Standardı. Bulletin 916, American Dairy Products Institute,
- Ahmad, I., Lopez-Martinez, J. M., & Sadiq, M. B. (2024). Impact of high-pressure processing on rheological, dispersive, and sensorial quality attributes of oat milk. *Journal of Food Science and Technology*.
- Akgun, A. (2024). Improving the acidification kinetics, structural and sensory properties of low-fat yoghurt using high-pressure homogenization treatment. *Mljekarstvo*, 74 (1), 33-44.
- An, H., & Zheng, H. (2025). Investigation of correlations between powder functionalities and powder surface properties for milk protein ingredients. *Journal of Dairy Science*, 108(1), 190-205.
- Babu, K. S., & Amamcharla, J. K. (2018). Application of front-face fluorescence spectroscopy as a tool for monitoring changes in milk protein concentrate powders during storage. *Journal of Dairy Science*, 101(12), 10844-10859.
- Babu, K. S., & Amamcharla, J. K. (2021). Rehydration characteristics of milk protein concentrate powders monitored by electrical resistance tomography. *JDS Communications*, 2(6), 313-318.
- Banks, W. (1993). Dairy products: technology. *International Journal of Dairy Technology*, 46(3), 83-86.
- Biasutti, M., Venir, E., Marchesini, G., & Innocente, N. (2010). Rheological properties of model dairy emulsions as affected by high pressure homogenization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11(4), 580-586.
- Burgain, J., El Zein, R., Scher, J., Petit, J., Norwood, E.-A., Francius, G., & Gaiani, C. (2016). Local modifications of whey protein isolate powder surface during high temperature storage. *Journal of Food Engineering*, 178, 39-46.
- Burgain, J., Petit, J., Scher, J., Rasch, R., Bhandari, B., & Gaiani, C. (2017). Surface chemistry and microscopy of food powders. *Progress in Surface Science*, 92(4), 409-429.
- Calligaris, S., Gulotta, A., Ignat, A., Bermúdez-Aguirre, D., Barbosa-Cánovas, G. V., & Nicoli, M. C. (2013). Milk pre-treatment by high pressure homogenization in the manufacturing of “queso fresco” fortified with omega-3 fatty acids. *LWT - Food Science and Technology*, 50(2), 629-633.
- Ceylan, M. M. (2022). The influence of high pressure homogenization and high-intensity ultrasound on the functional properties of whey-protein/canola oil nanoemulsions

- during storage [Yüksek basınçlı homojenizasyon ve yüksek yoğunluklu ultrasonun depolama sırasında peynir altı suyu proteini/kanola yağı nanoemülsiyonlarının fonksiyonel özellikleri üzerindeki etkisi]. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 26(2), 237-243.
- Chen, M., Bleeker, R., Sala, G., Meinders, M. B. J., van Valenberg, H. J. F., van Hooijdonk, A. C. M., & van der Linden, E. (2016). Particle size determines foam stability of casein micelle dispersions. *International Dairy Journal*, 56, 151-158.
- Cheng, H., Erichsen, H., Soerensen, J., Petersen, M. A., & Skibsted, L. H. (2019). Optimising water activity for storage of high lipid and high protein infant formula milk powder using multivariate analysis. *International Dairy Journal*, 93, 92-98.
- Coutinho, G. S. M., Prado, P. M. C., da Silva, L. A. V., Gonçalves, M. E. T., Jardim, V. H. P., Ribeiro, A. E. C., Nickerson, M. T., Caliari, M., & Soares Júnior, M. S. (2025). Techno-functional and sensory properties of pigeon pea–rice protein blends for beverage applications. *Journal of Food Science and Technology*.
- Crowley, S. V., Gazi, I., Kelly, A. L., Huppertz, T., & O'Mahony, J. A. (2014). Influence of protein concentration on the physical characteristics and flow properties of milk protein concentrate powders. *Journal of Food Engineering*, 135, 31-38.
- de Kruif, C. G. (2003). Chapter VI Caseins. In W. Y. Aalbersberg, R. J. Hamer, P. Jasperse, H. H. J. de Jongh, C. G. de Kruif, P. Walstra, & F. A. de Wolf (Eds.), *Progress in Biotechnology* (Vol. 23, pp. 219-269). Elsevier.
- de Kruif, C. G., Huppertz, T., Urban, V. S., & Petukhov, A. V. (2012). Casein micelles and their internal structure. *Advances in Colloid and Interface Science*, 171-172, 36-52.
- Dec, B., Kiełczewska, K., Smoczyński, M., Baranowska, M., & Kowalik, J. (2023). Properties and Fractal Analysis of High-Protein Milk Powders. *Applied Sciences*, 13(6).
- Delikanli, B., & Ozcan, T. (2017). Improving the Textural Properties of Yogurt Fortified with Milk Proteins. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(5), e13101.
- Escobar, D., Clark, S., Ganesan, V., Repiso, L., Waller, J., & Harte, F. (2011). High-pressure homogenization of raw and pasteurized milk modifies the yield, composition, and texture of queso fresco cheese. *Journal of Dairy Science*, 94(3), 1201-1210.
- Fang, Y., Rogers, S., Selomulya, C., & Chen, X. D. (2012). Functionality of milk protein concentrate: Effect of spray drying temperature. *Biochemical Engineering Journal*, 62, 101-105.
- Farooq, Z. (2019). Study of thermal and hydrolytic denaturation of casein (α S1) using Differential Scanning Calorimetry (DSC).

- Fitzpatrick, J. J., Descamps, N., O'Meara, K., Jones, C., Walsh, D., & Spitere, M. (2010). Comparing the caking behaviours of skim milk powder, amorphous maltodextrin and crystalline common salt. *Powder Technology*, 204(1), 131-137.
- Flanagan, J., Gunning, Y., & FitzGerald, R. J. (2003). Effect of cross-linking with transglutaminase on the heat stability and some functional characteristics of sodium caseinate. *Food Research International*, 36(3), 267-274.
- Fournaise, T., Burgain, J., Perroud-Thomassin, C., & Petit, J. (2021). Impact of the whey protein/casein ratio on the reconstitution and flow properties of spray-dried dairy protein powders. *Powder Technology*, 391, 275-281.
- Gawande, H., Arora, S., Mittan, R., Lule, V., Sharma, V., & Singh, A. K. (2023). Effect of milk protein standardization using high milk protein ingredients on texture, composition and yield of paneer. *Applied Food Research*, 3(1), 100286.
- Graikini, D., Alvarez-Sabatel, S., Puértolas, E., Pérez, M. D., & Sánchez, L. (2024). Effect of ultra-high pressure homogenization on the antirotaviral activity of bovine milk whey. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 96, 103745.
- Guerzoni, M. E., Vannini, L., Chaves Lopez, C., Lanciotti, R., Suzzi, G., & Gianotti, A. (1999). Effect of High Pressure Homogenization on Microbial and Chemico-Physical Characteristics of Goat Cheeses. *Journal of Dairy Science*, 82(5), 851-862.
- Han, T., Wang, M., Wang, Y., & Tang, L. (2020). Effects of high-pressure homogenization and ultrasonic treatment on the structure and characteristics of casein. *LWT*, 130, 109560.
- He, A., & Xu, B. (2024). High-pressure homogenisation improves food quality of plant-based milk alternatives. *International Journal of Food Science & Technology*, 59(1), 399-407.
- Hebishy, E., Buffa, M., Guamis, B., & Trujillo, A.-J. (2013). Stability of sub-micron oil-in-water emulsions produced by ultra high pressure homogenization and sodium caseinate as emulsifier. *Chem. Eng*, 32, 1813-1818.
- Hemar, Y., Banjar, W., Otter, D., & Yang, Z. (2021). Viscosity, size, structural and interfacial properties of sodium caseinate obtained from A2 milk. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 614, 126163.
- Hernández, A., & Harte, F. M. (2008). Manufacture of Acid Gels from Skim Milk Using High-Pressure Homogenization. *Journal of Dairy Science*, 91(10), 3761-3767.
- Ho, T. M., R., B. B., & Bansal, N. (2022). Functionality of bovine milk proteins and other factors in foaming properties of milk: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(17), 4800-4820.

- Hu, Q., Huang, L., Wang, J., Huangfu, J., Cai, Y., Liu, T., Zhao, M., & Zhao, Q. (2024). Characterization of sodium caseinate derived from various sources: Unraveling the relationship between structure and functional properties. *Food Bioscience*, *61*, 104570.
- Huck-Iriart, C., Álvarez-Cerimedo, M. S., Candal, R. J., & Herrera, M. L. (2011). Structures and stability of lipid emulsions formulated with sodium caseinate. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, *16*(5), 412-420.
- Hussain, R., Gaiani, C., Aberkane, L., & Scher, J. (2011). Characterization of high-milk-protein powders upon rehydration under various salt concentrations. *Journal of Dairy Science*, *94*(1), 14-23.
- Imtiaz, S. R., Kuhn-Sherlock, B., & Campbell, M. (2012). EFFECT OF DAIRY PROTEIN BLENDS ON TEXTURE OF HIGH PROTEIN BARS. *Journal of Texture Studies*, *43*(4), 275-286.
- Innocente, N., Biasutti, M., Venir, E., Spaziani, M., & Marchesini, G. (2009). Effect of high-pressure homogenization on droplet size distribution and rheological properties of ice cream mixes. *Journal of Dairy Science*, *92*(5), 1864-1875.
- Ji, J., Fitzpatrick, J., Cronin, K., Maguire, P., Zhang, H., & Miao, S. (2016). Rehydration behaviours of high protein dairy powders: The influence of agglomeration on wettability, dispersibility and solubility. *Food Hydrocolloids*, *58*, 194-203.
- Jiao, B., Wu, B., Fu, W., Guo, X., Zhang, Y., Yang, J., Luo, X., Dai, L., & Wang, Q. (2023). Effect of roasting and high-pressure homogenization on texture, rheology, and microstructure of walnut yogurt. *Food Chemistry: X*, *20*, 101017.
- Juan, B., Quevedo, J. M., Zamora, A., Guamis, B., & Trujillo, A.-J. (2015). Lipolysis of cheeses made from goat milk treated by ultra-high pressure homogenization. *LWT - Food Science and Technology*, *60*(2, Part 1), 1034-1038.
- Kamath, S., Webb, R. E., & Deeth, H. C. (2011). The composition of interfacial material from skim milk foams. *Journal of Dairy Science*, *94*(6), 2707-2718.
- Kang, R., Wang, X., Zhao, M., Henihan, L. E., & O'Donnell, C. P. (2022). A comparison of benchtop and micro NIR spectrometers for infant milk formula powder storage time discrimination and particle size prediction using chemometrics and denoising methods. *Journal of Food Engineering*, *329*, 111087.
- Khalesi, M., & FitzGerald, R. J. (2022). Impact of total calcium in milk protein concentrate on its interaction with the aqueous phase. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, *635*, 128068.
- Khatkar, S. K., Khatkar, A. B., Mehta, N., Kaur, G., Dhull, S. B., & Prakash, S. (2023). Effective strategies for elevating the techno-functional properties of milk protein concentrate. *Trends in Food Science & Technology*, *140*, 104169.

- Kielczewska, K., Ambroziak, K., Krzykowska, D., & Aljewicz, M. (2021). The effect of high-pressure homogenisation on the size of milk fat globules and MFGM composition in sweet buttermilk and milk. *International Dairy Journal*, *113*, 104898.
- Kubo, M. T. K., Augusto, P. E. D., & Cristianini, M. (2013). Effect of high pressure homogenization (HPH) on the physical stability of tomato juice. *Food Research International*, *51*(1), 170-179.
- Leyva-Porras, C., Cruz-Alcantar, P., Espinosa-Solís, V., Martínez-Guerra, E., Piñón-Balderrama, C. I., Compean Martínez, I., & Saavedra-Leos, M. Z. (2020). Application of Differential Scanning Calorimetry (DSC) and Modulated Differential Scanning Calorimetry (MDSC) in Food and Drug Industries. *Polymers*, *12*(1).
- Li, Y. H., Wang, W. J., Guo, L., Shao, Z. P., & Xu, X. J. (2019). Comparative study on the characteristics and oxidation stability of commercial milk powder during storage. *Journal of Dairy Science*, *102*(10), 8785-8797.
- Li, Z., Bai, R., Zhang, L., Jiang, S., Chen, Y., Yang, C., Ye, X., Wang, S., Madina, A., Bai, J., Yu, J., & Ding, W. (2024). Effect of electron beam irradiation on the structural characteristics and functional properties of goat's milk casein. *International Journal of Biological Macromolecules*, *260*, 129426.
- Lin, Y., Kelly, A. L., O'Mahony, J. A., & Guinee, T. P. (2016). Fortification of milk protein content with different dairy protein powders alters its compositional, rennet gelation, heat stability and ethanol stability characteristics. *International Dairy Journal*, *61*, 220-227.
- Liu, Y., Zhao, G., Zhao, M., Ren, J., & Yang, B. (2012). Improvement of functional properties of peanut protein isolate by conjugation with dextran through Maillard reaction. *Food Chemistry*, *131*(3), 901-906.
- Loveday, S. M., Hindmarsh, J. P., Creamer, L. K., & Singh, H. (2009). Physicochemical changes in a model protein bar during storage. *Food Research International*, *42*(7), 798-806.
- Ma, J., Wang, Q., Dou, N., Li, Y., Ma, Y., Liu, Y., Wu, M., Wei, X., Miao, Y., Chen, L., Xu, D., Hou, J., & Jiang, Z. (2023). Evaporative concentration and high-pressure homogenization for improving the quality attributes and functionality of goat milk yogurt. *LWT*, *184*, 115016.
- Ma, X., & Chatterton, D. E. W. (2021). Strategies to improve the physical stability of sodium caseinate stabilized emulsions: A literature review. *Food Hydrocolloids*, *119*, 106853.
- Mao, X. Y., Tong, P. S., Gualco, S., & Vink, S. (2012). Effect of NaCl addition during diafiltration on the solubility, hydrophobicity, and disulfide bonds of 80% milk protein concentrate powder. *Journal of Dairy Science*, *95*(7), 3481-3488.

- Marinova, K. G., Basheva, E. S., Nenova, B., Temelska, M., Mirarefi, A. Y., Campbell, B., & Ivanov, I. B. (2009). Physico-chemical factors controlling the foamability and foam stability of milk proteins: Sodium caseinate and whey protein concentrates. *Food Hydrocolloids*, 23(7), 1864-1876.
- Massoud, R., Belgheisi, S., & Massoud, A. (2016). Effect of high pressure homogenization on improving the quality of milk and sensory properties of yogurt: a review. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 7(1), 66.
- Mathlouthi, M., & Rogé, B. (2003). Water vapour sorption isotherms and the caking of food powders. *Food Chemistry*, 82(1), 61-71.
- Meena, G., Singh, A., & Arora, S. (2017). Milk protein concentrates: opportunities and challenges. *Journal of Food Science and Technology*, 54, 1-15.
- Meena, G. S., Singh, A. K., & Gupta, V. K. (2021). Production and characterization of cow milk based low-protein milk protein concentrate (MPC) powders. *Journal of Food Science and Technology*, 58(8), 3205-3214.
- Meena, G. S., Singh, A. K., Gupta, V. K., Borad, S. G., Arora, S., & Tomar, S. K. (2019). Alteration in physicochemical, functional, rheological and reconstitution properties of milk protein concentrate powder by pH, homogenization and diafiltration. *Journal of Food Science and Technology*, 56(3), 1622-1630.
- Meena, G. S., Singh, A. K., Panjagari, N. R., & Arora, S. (2017). Milk protein concentrates: opportunities and challenges. *Journal of Food Science and Technology*, 54(10), 3010-3024.
- Mercan, E., Sert, D., & Akin, N. (2018). Determination of powder flow properties of skim milk powder produced from high-pressure homogenization treated milk concentrates during storage. *LWT*, 97, 279-288.
- Milovanovic, B., Djekic, I., Miocinovic, J., Djordjevic, V., Lorenzo, J. M., Barba, F. J., Mörlein, D., & Tomasevic, I. (2020). What Is the Color of Milk and Dairy Products and How Is It Measured? *Foods*, 9(11).
- Mimouni, A., Deeth, H. C., Whittaker, A. K., Gidley, M. J., & Bhandari, B. R. (2010). Investigation of the microstructure of milk protein concentrate powders during rehydration: Alterations during storage. *Journal of Dairy Science*, 93(2), 463-472.
- Mishra, V. S. N., Ochalski, T. J., McCarthy, N. A., Brodkorb, A., Rodriguez, B. J., & Hogan, S. A. (2022). Topographical changes in high-protein, milk powders as a function of moisture sorption using amplitude-modulation atomic force microscopy. *Food Hydrocolloids*, 127, 107504.
- Naik, A., Raghavendra, S. N., & Raghavarao, K. S. M. S. (2012). Production of Coconut Protein Powder from Coconut Wet Processing Waste and its Characterization. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 167(5), 1290-1302.

- Nasser, S., Moreau, A., Jeantet, R., Hédoux, A., & Delaplace, G. (2017). Influence of storage conditions on the functional properties of micellar casein powder. *Food and Bioproducts Processing*, *106*, 181-192.
- Norwood, E.-A., Pezennec, S., Burgain, J., Briard-Bion, V., Schuck, P., Croguennec, T., Jeantet, R., & Le Floch-Fouéré, C. (2017). Crucial role of remaining lactose in whey protein isolate powders during storage. *Journal of Food Engineering*, *195*, 206-216.
- Oh, J.-H., Lee, W., Bak, J., & Yoo, B. (2025). Effect of carboxymethyl cellulose binder on physical, thermal, and rheological properties of milk protein isolate/guar gum mixture powder. *Journal of Food Engineering*, *387*, 112317.
- Palmer, K., Parhi, A., Shetty, A., Sunkesula, V., & Sharma, P. (2023). Development of methodology for assessing flowability of milk protein powders using shear failure testing device. *Journal of Food Engineering*, *348*, 111450.
- Parlak, M. E., Sarıcaoglu, F. T., & Yilmaz, M. T. (2024). Application of high-pressure homogenization-assisted pH-shift to enhance techno-functional and interfacial properties of lentil protein isolate. *Food Hydrocolloids*, *157*, 110425.
- Patel, H., Patel, S., & Agarwal, S. (2014). Milk protein concentrates: Manufacturing and applications. *US Dairy Export Council*, 3-4.
- Paul, A., Gaiani, C., Cvetkovska, L., Paris, C., Alexander, M., Ray, C., Francius, G., El-Kirat-Chatel, S., & Burgain, J. (2022). Deciphering the impact of whey protein powder storage on protein state and powder stability. *Journal of Food Engineering*, *326*, 111050.
- Pereda, J., Ferragut, V., Quevedo, J. M., Guamis, B., & Trujillo, A. J. (2007). Effects of Ultra-High Pressure Homogenization on Microbial and Physicochemical Shelf Life of Milk. *Journal of Dairy Science*, *90*(3), 1081-1093.
- Pinho, C. R. G., Franchi, M. A., Tribst, A. A. L., & Cristianinia, M. (2011). Effect of High Pressure Homogenization Process on *Bacillus Stearothermophilus* and *Clostridium Sporogenes* Spores in Skim Milk. *Procedia Food Science*, *1*, 869-873.
- Power, O. M., Fenelon, M. A., O'Mahony, J. A., & McCarthy, N. A. (2020). Influence of sodium hexametaphosphate addition on the functional properties of milk protein concentrate solutions containing transglutaminase cross-linked proteins. *International Dairy Journal*, *104*, 104641.
- Salunke, P., & Metzger, L. E. (2023). Functional properties of milk protein concentrate and micellar casein concentrate as affected by transglutaminase treatment. *Food Hydrocolloids*, *137*, 108367.
- Sandoval, A. J., Nuñez, M., Müller, A. J., Valle, G. D., & Lourdin, D. (2009). Glass transition temperatures of a ready to eat breakfast cereal formulation and its main

- components determined by DSC and DMTA. *Carbohydrate Polymers*, 76(4), 528-534.
- Serna-Hernandez, S. O., Escobedo-Avellaneda, Z., García-García, R., Rostro-Alanis, M. d. J., & Welte-Chanes, J. (2022). Microscopical Evaluation of the Effects of High-Pressure Processing on Milk Casein Micelles. *Molecules*, 27(21), 7179.
- Sert, D., & Mercan, E. (2021). High-pressure homogenisation of sheep milk ice cream mix: Physicochemical and microbiological characterisation. *LWT*, 151, 112148.
- Sert, D., Mercan, E., Dinkul, M., & Aydemir, S. (2021). Processing of skim milk powder made using sonicated milk concentrates: A study of physicochemical, functional, powder flow and microbiological characteristics. *International Dairy Journal*, 120, 105080.
- Sert, D., Mercan, E., & Kılınç, M. (2022). Powder flow behaviour, functional characteristics and microstructure of whole milk powder produced from cow and buffalo milk mixtures. *International Dairy Journal*, 135, 105474.
- Sert, D., Mercan, E., & Tanrikulu, M. (2023). Impact of high-pressure homogenisation of milk on physicochemical, microbiological, and textural characteristics of sheep milk yoghurt. *International Dairy Journal*, 144, 105704.
- Shah, D. S., Moravkar, K. K., Jha, D. K., Lonkar, V., Amin, P. D., & Chalikwar, S. S. (2023). A concise summary of powder processing methodologies for flow enhancement. *Heliyon*, 9(6).
- Shah, K., Salunke, P., & Metzger, L. (2022). Effect of Storage of Skim Milk Powder, Nonfat Dry Milk and Milk Protein Concentrate on Functional Properties. *Dairy*, 3(3), 565-576.
- Siddiqui, S. A., Khan, S., Bahmid, N. A., Nagdalian, A. A., Jafari, S. M., & Castro-Muñoz, R. (2024). Impact of high-pressure processing on the bioactive compounds of milk - A comprehensive review. *Journal of Food Science and Technology*, 61(9), 1632-1651.
- Sikand, V., Tong, P., Vink, S., & Walker, J. (2012). Effect of powder source and processing conditions on the solubility of milk protein concentrates 80. *Milchwissenschaft*, 67, 300-303.
- Singh, J., Prakash, S., Bhandari, B., & Bansal, N. (2019). Comparison of ultra high temperature (UHT) stability of high protein milk dispersions prepared from milk protein concentrate (MPC) and conventional low heat skimmed milk powder (SMP). *Journal of Food Engineering*, 246, 86-94.
- Smoczyński, M. (2020). Fractal analysis of the microstructure of milk powders produced at various temperatures. *Journal of Food Science and Technology*, 57(6), 2303-2309.

- Srinivasan, M., Singh, H., & Munro, P. A. (2000). The effect of sodium chloride on the formation and stability of sodium caseinate emulsions. *Food Hydrocolloids*, *14*(5), 497-507.
- Supplee, G., & Bellis, B. (1925). The solubility of milk powder as affected by moisture content. *Journal of Dairy Science*, *8*(1), 39-46.
- Swaigood, H. E. (2007). Characteristics of milk. In *Fennema's Food Chemistry* (pp. 897-934). CRC Press.
- Tomovska, J., Gjorgievski, N., & Makarijoski, B. (2016). Examination of pH, titratable acidity and antioxidant activity in fermented Milk, journal of materials science and engineering. *Journal of Materials Science and Engineering A*, *6*(11), 326-333.
- Touhami, S., Marciniak, A., Doyen, A., & Brisson, G. (2022). Effect of alkalization and ultra-high-pressure homogenization on casein micelles in raw and pasteurized skim milk. *Journal of Dairy Science*, *105*(4), 2815-2827.
- Tunick, M. H., Thomas-Gahring, A., Van Hekken, D. L., Iandola, S. K., Singh, M., Qi, P. X., Ukuku, D. O., Mukhopadhyay, S., Onwulata, C. I., & Tomasula, P. M. (2016). Physical and chemical changes in whey protein concentrate stored at elevated temperature and humidity. *Journal of Dairy Science*, *99*(3), 2372-2383.
- Udabage, P., Puvanenthiran, A., Yoo, J., Versteeg, C., & Augustin, M. A. (2011). Modified water solubility of milk protein concentrate powders through the application of static high pressure treatment. *The Journal of dairy research*, *79*, 1-8.
- Voronin, G., & Harte, F. (2022). Differential Scanning Calorimetry☆. In P. L. H. McSweeney & J. P. McNamara (Eds.), *Encyclopedia of Dairy Sciences (Third Edition)* (pp. 348-355). Academic Press.
- Warakulle, S., Mohamed, H., Ranasinghe, M., Shah, I., Yanyang, X., Chen, G., Ayyash, M. M., Vincent, D., & Kamal-Eldin, A. (2024). Advancement of milk protein analysis: From determination of total proteins to their identification and quantification by proteomic approaches. *Journal of Food Composition and Analysis*, *126*, 105854.
- Warncke, M., & Kulozik, U. (2020). Impact of temperature and high pressure homogenization on the solubility and rheological behavior of reconstituted dairy powders of different composition. *Powder Technology*, *376*, 285-295.
- Wei, X., Dou, N., Wang, G., Tan, Z., Tian, Z., Ren, J., Hou, J., & Jiang, Z. (2024). Physicochemical and rheological properties of soybean oil body fermented milk: Impacts of high pressure homogenization. *LWT*, *199*, 116090.
- Welti-Chanes, J., Ochoa-Velasco, C. E., & Guerrero-Beltrán, J. Á. (2009). High-pressure homogenization of orange juice to inactivate pectinmethylesterase. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *10*(4), 457-462.

- Wu, S., Fitzpatrick, J., Cronin, K., & Miao, S. (2019). The effect of pH on the wetting and dissolution of milk protein isolate powder. *Journal of Food Engineering*, 240, 114-119.
- Xing, Z. Y., Zhang, M. L., Wang, Y. Y., Yang, G. Y., Han, L. Q., & Looor, J. J. (2020). Short communication: A decrease in diameter of milk fat globules accompanies milk fat depression induced by conjugated linoleic acid supplementation in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 103(6), 5143-5147.
- Yang, B., Zhu, Z., Gao, M., Yan, X., Zhu, X., & Guo, W. (2020). A portable detector on main compositions of raw and homogenized milk. *Computers and Electronics in Agriculture*, 177, 105668.
- Yang, C. (2008). Measuring Zeta Potential, Methods. In D. Li (Ed.), *Encyclopedia of Microfluidics and Nanofluidics* (pp. 1068-1076). Springer US.
- Yıldırım Özbek, Ç., & Güzeler, N. (2021). *Sodyum Kazeinatın Süt Endüstrisinde Kullanım Olanakları*.
- Zamora, A., Ferragut, V., Jaramillo, P. D., Guamis, B., & Trujillo, A. J. (2007). Effects of Ultra-High Pressure Homogenization on the Cheese-Making Properties of Milk. *Journal of Dairy Science*, 90(1), 13-23.
- Wang, J., Zhang, R., & Zhang, J. (2022). Comparison of oil-in-water emulsions prepared by ultrasound, high-pressure homogenization and high-speed homogenization. *Ultrasonics Sonochemistry*, 82, 105885.
- Zuo, C.-j., & Zhang, C.-y. (2025). Standardizing differential scanning calorimetry (DSC) thermal decomposition temperatures at various heating rates of an energetic material as a threshold one. *Energetic Materials Frontiers*, 6(2), 189-194.