



SELÇUK
ÜNİVERSİTESİ

**T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**YÜKSEK BASINÇ UYGULANMIŞ YAĞLI VE
YAĞSIZ SÜTTEN ÜRETİLEN SÜT
TOZLARININ FARKLI SICAKLIKLARDA
DEPOLANMASI SÜRESİNCE BAZI
FİZİKOKİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ**

Emin MERCAN

DOKTORA TEZİ

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

**Şubat-2019
KONYA**

Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Emin MERCAN tarafından hazırlanan “Yüksek Basınç Uygulanmış Yağlı ve Yağsız Sütten Üretilen Süt Tozlarının Farklı Sıcaklıklarda Depolanması Süresince Bazı Fizikokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi” adlı tez çalışması 07/02/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Nihat AKIN (Danışman)

Üye

Prof. Dr. Mehmet AKBULUT

Üye

Prof. Dr. Cemalettin SARIÇOBAN

Üye

Doç. Dr. Mustafa Kürşat DEMİR

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Durmuş SERT

.....
.....
.....
.....
.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mustafa YILMAZ
FBE Müdürü

Bu tez çalışması Selçuk Üniversitesi B.A.P. tarafından 17201099 nolu proje ile desteklenmiştir.

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.



Emin MERCAN

Tarih: 07/02/2019

ÖZET

DOKTORA TEZİ

YÜKSEK BASINÇ UYGULANMIŞ YAĞLI VE YAĞSIZ SÜTTEN ÜRETİLEN SÜT TOZLARININ FARKLI SICAKLIKLARDA DEPOLANMASI SÜRESİNCE BAZI FİZİKOKİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Emin MERCAN

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Nihat AKIN

2019, 162 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Nihat AKIN

Prof. Dr. Mehmet AKBULUT

Prof. Dr. Cemalettin SARIÇOBAN

Doç. Dr. Mustafa Kürşat DEMİR

Dr. Öğr. Üyesi Durmuş SERT

Bu çalışmanın amacı süt tozu üretiminde koyulaştırılmış sültere yüksek basınç homojenizasyon (YBH) uygulamasının ve farklı depolama sıcaklıklarının süt tozu kalitesine etkisini araştırmaktır. Bu amaçla yağsız ve yağlı koyulaştırılmış sültere sırasıyla 0-150 ve 0-30 MPa'da YBH uygulanmıştır. YBH uygulamasından sonra, koyulaştırılmış sülter püskürtülerek kurutulmuştur. Yağsız ve yağlı süt tozu örnekleri, 20 ve 40°C'de 180 gün boyunca depolanmıştır. Depolama süresince süt tozu örneklerinin fizikokimyasal, fonksiyonel, toz akış ve duyuşal özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca süt tozlarının mikroyapıları incelenmiştir.

YBH uygulaması, yağsız süt tozlarında köpük oluşturma kapasitesini artırmıştır. Artan homojenizasyon basınçları yağsız süt tozlarının dağılılırlığını azaltmış ve ıslanabilirlik sürelerini artırmıştır. Yağlı süt tozu örneklerinde benzer çözünürlük oranları gözlenmiştir.

YBH, yağsız süt tozlarının kek kuvvetini azaltmıştır. 0. günde, YBH uygulanmış koyulaştırılmış sülterden üretilen yağsız süt tozlarının kek kuvveti 0.43-2.70 mN.m aralığında değişirken kontrol örneğinin kek kuvveti 8.20 mN.m olarak bulunmuştur. YBH işlemi, yağsız süt tozlarının kohezyon indeksini düşürmüş ve akabilirliğini artırmıştır. YBH, yağsız süt tozlarının akış stabilitesi değerlerini düşürmüştür. Depolama süresi ise örneklerin akış stabilitesi değerlerini artırmıştır.

Yağsız süt tozlarının D[4,3] değerleri 27.88-62.50 µm arasında değişmiş olup depolama süresine bağlı olarak artmıştır. YBH, kontrol örneği ile karşılaştırıldığında yağlı süt tozlarının D[4,3] değerlerini azaltmıştır. Yağlı süt tozlarının D[4,3] değerleri depolama sırasında 26.21-63.55 µm arasında değişmiştir.

YBH, yağsız ve yağlı süt tozlarının görünüm ve aroma puanlarını artırmıştır. Depolama süresindeki artışa bağlı olarak genellikle süt tozlarının duyuşal puanlarında düşüş gözlenmiştir.

Yağsız süt tozlarının mikroyapıları incelendiğinde, YBH'nin daha üniform partikül dağılımına yol açtığı görülmüştür. Ayrıca YBH yağsız süt tozlarının partikül yüzeyindeki kırışıklıkları kontrol örneğine göre azaltmıştır. YBH uygulanmış koyulaştırılmış sültere üretilen yağlı süt tozları, işlem görmemiş örnekle karşılaştırıldığında daha üniform partikül dağılımı göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Fizikokimyasal özellikler, Fonksiyonel özellikler, Mikroyapı, Süt tozu, Toz akış özellikleri

ABSTRACT

Ph.D THESIS

DETERMINATION OF SOME PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF MILK POWDER PRODUCED FROM HIGH PRESSURE TREATED SKIM AND WHOLE MILK DURING STORAGE PERIOD AT DIFFERENT TEMPERATURES

Emin MERCAN

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

Advisor: Prof. Dr. Nihat AKIN

2019, 162 Pages

Jury

Prof. Dr. Nihat AKIN

Prof. Dr. Mehmet AKBULUT

Prof. Dr. Cemalettin SARIÇOBAN

Assoc. Prof. Mustafa Kürşat DEMİR

Asst. Prof. Dr. Durmuş SERT

The aim of this study was to investigate the effects of applications of high-pressure homogenization (HPH) to milk concentrates and different storage temperatures in milk powder production. For this purpose, skim and whole milk concentrates were HPH treated at 0-150 and 0-30 MPa, respectively. After HPH treatment, milk concentrates were spray dried. Skim and whole milk powder samples were stored for 180 days at 20 and 40°C. During storage, physicochemical, functional, powder flow and sensory properties were determined in milk powder samples. Microstructures of milk powders were also investigated.

HPH increased foaming capacity of skim milk powders. Increasing homogenization pressures decreased dispersibility of skim milk powders and increased wettability time. Similar solubility ratios were observed in whole milk powders.

HPH decreased cake strength of skim milk powders. At the 0. day, cake strength of SMPs from HPH treated concentrates varied from 0.43-2.70 mN.m, whereas cake strength of SMP-0 (control) was 8.20 mN.m. HPH treatment decreased cohesion index and increased flowability of skim milk powders. HPH reduced flow stability of skim milk powders. Storage time increased flow stability values of samples. HPH significantly affected cake and mean cake strength of whole milk powders. HPH treatment increased cohesion index of whole milk powders when compared to control sample.

D[4,3] values of skim milk powders ranged from 27.88-62.50 µm and increased as related to storage time. HPH decreased D[4,3] values of whole milk powders when compared to control sample. D[4,3] values of whole milk powders ranged from 26.21-63.55 µm during storage.

HPH increased flavour and appearance scores of skim and whole milk powders. Decrease in scores of sensory evaluation was observed depending on increase of storage time.

When the microstructure of skim milk powders was examined, it was observed that the HPH caused a more uniform particle distribution. Also, HPH decreased wrinkles of particle surface of skim milk powders as compared to control sample. Whole milk powder from HPH treated milk concentrates had more uniform particle distribution when compared to non-treated sample.

Keywords: Physicochemical properties, Functional properties, Microstructure, Milk powder, Powder flow properties

ÖNSÖZ

Dünyada ve ülkemizde süt tozu üretimi önemli bir yere sahiptir. Yüksek basınç homojenizasyon işlemi süt endüstrisinde farklı amaçlarla kullanılmasına rağmen bugüne kadar süt tozu üretiminde yüksek basınç homojenizasyon kullanımına rastlanılmamıştır. Bu çalışmada, süt endüstrisinde önemli bir yeri olan süt tozu üretiminde yüksek basınç homojenizasyon işleminin kullanılabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Araştırmadan elde edilen bulgular yüksek basınç homojenizasyonun süt tozunun bazı kalite kriterlerini önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir.

Bu çalışmanın planlanması, yürütülmesi, değerlendirilmesi aşamalarında bilgi, tecrübe, hoşgörü ve desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Nihat AKIN'a;

Bu çalışmanın yapılmasında ve her aşamasında yardımcı olan değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Durmuş SERT'e;

Doktora tez izleme jürimde yer alarak beni çalışmalarımda yönlendiren ve katkıda bulunan değerli hocam Prof. Dr. Cemalettin SARIÇOBAN'a;

Süt tozlarının üretimindeki katkılarından dolayı Enka Süt. A.Ş.'ye (Konya);

Bu çalışmayı maddi açıdan destekleyen Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne;

Maddi ve manevi her türlü destekleriyle her zaman yanımda olan sevgili aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Emin MERCAN
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	21
3.1. Materyal.....	21
3.1.1. Süt tozu üretiminde kullanılan koyulaştırılmış sütler	21
3.1.2. Ambalaj materyali.....	21
3.2. Yöntem.....	21
3.2.1. Süt tozu örneklerinin üretimi	21
3.2.2. Süt ve koyulaştırılmış sütlere uygulanan analizler	24
3.2.3. Süt tozlarına uygulanan analizler.....	24
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	43
4.1. Hammadde Çiğ Süt ve Bu Sütlerden Üretilen Koyulaştırılmış Sütlerin Fizikokimyasal Özellikleri.....	43
4.2. Süt Tozlarının Fizikokimyasal Özelliklerine Ait Sonuçlar ve Tartışma.....	44
4.2.1. Yağsız süt tozlarının fizikokimyasal özelliklerine ait sonuçlar ve tartışma .	44
4.2.2. Yağlı süt tozlarının fizikokimyasal özelliklerine ait sonuçlar ve tartışma....	56
4.3. Süt Tozlarının Fonksiyonel Özelliklerine Ait Sonuçlar ve Tartışma	71
4.3.1. Yağsız süt tozlarının fonksiyonel özelliklerine ait sonuçlar ve tartışma	71
4.3.2. Yağlı süt tozlarının fonksiyonel özelliklerine ait sonuçlar ve tartışma	77
4.4. Süt Tozlarının Toz Akış Özelliklerine Ait Sonuçlar ve Tartışma	83
4.4.1. Yağsız süt tozlarının toz akış özelliklerine ait sonuçlar ve tartışma.....	83
4.4.2. Yağlı süt tozlarının toz akış özelliklerine ait sonuçlar ve tartışma	100
4.5. Süt Tozlarının Partikül Boyutu Ölçümü Değerlerine Ait Sonuçlar ve Tartışma.....	115
4.5.1. Yağsız süt tozlarının partikül boyutu ölçümü değerlerinde meydana gelen değişim.....	115
4.5.2. Yağlı süt tozlarının partikül boyutu ölçümü değerlerinde meydana gelen değişim.....	125
4.6. Süt Tozlarının Duyusal Özelliklerine Ait Sonuçlar ve Tartışma	135
4.6.1. Yağsız süt tozlarının duyusal özellikleri.....	135
4.6.2. Yağlı süt tozlarının duyusal özellikleri	137
4.7. Süt Tozlarının Mikroyapılarına Ait Sonuçlar ve Tartışma	140
4.7.1. Yağsız süt tozlarının mikroyapıları.....	140
4.7.2. Yağlı süt tozlarının mikroyapıları.....	143

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	146
5.1. Sonuçlar	146
5.2. Öneriler	148
KAYNAKLAR	150
ÖZGEÇMİŞ	162



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

°	Derece
°C	Derece santigrat
µm	Mikrometre
µM	Mikromolar
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)
dk	Dakika
g	Gram
kg	Kilogram
kV	Kilovolt
l	Litre
L	Renk değeri (parlaklık-koyuluk)
M	Molar
ml	Mililitre
mM	Milimolar
mN	Milnewton
mN.m	Milnewton.metre
MPa	Megapaskal
N	Newton
N	Normalite
N.m	Newton.metre
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
HMF	Hidroksimetilfurfural
KO	Kareler ortalaması
LA	Laktik asit
SEM	Taramalı elektron mikroskopu
SYT	Sıkıştırılmış yığın yoğunluğu
TBARS	Tiyobarbitirik asit reaktif bileşeni
TGK	Türk Gıda Kodeksi
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
VK	Varyasyon kaynakları
YBH	Yüksek basınç homojenizasyon

1. GİRİŞ

Son yıllarda süt endüstrisinde yeni işleme teknolojilerinin kullanımına olan ilgi artmaktadır. Bu teknolojiler darbeli elektrik alan, yüksek yoğunluklu ultrason, mikrofiltrasyon, süper kritik karbondioksit, ohmik ve mikrodalga ısıtma, ultraviyole ve darbeli ışık, yüksek hidrostatik basınç uygulamalarını kapsamaktadır. Yeni teknolojilerden biri olan yüksek basınç homojenizasyon (YBH) da hali hazırda bazı süt işleme proseslerinde kullanılmaktadır. YBH, kesikli proses olan yüksek hidrostatik basınca kıyasla sürekli işlemeden dolayı bazı avantajlara sahiptir. Sıvı veya yarı katı gıdaların işlenmesinde yüksek işleme kapasitesi nedeniyle YBH tercih edilebilmektedir.

Süt ve süt ürünleri alanında yapılan önceki çalışmalar YBH uygulamalarının çoğunlukla süt kalitesi ve bileşenleri, mikrobiyal kalite, yoğurt, peynir ve dondurma gibi ürünlere odaklandığını göstermektedir.

Süt ve süt ürünleri, tek bir porsiyonunda bulunan proteinler, peptitler, yağ asitleri gibi biyoaktif bileşiklerin bolluğu ile fonksiyonel gıdalar olarak tüketicilerin dikkatini çekmektedir. Süt oldukça besleyici olmasının yanı sıra çok çabuk bozulabilen bir gıda maddesidir. Dayanıklılığının artırılması için süttten farklı ürünler üretilmektedir. Bu ürünlerden birisi de süt tozudur. Sütün kurutulmasıyla birlikte sütte bulunan suyun neredeyse tamamı uzaklaştırılmakta ve böylelikle ürün katı forma geçmektedir. Süt tozunun su içeriği %2.5 ile %5 arasında değişmekte olup bu kadar düşük bir su içeriğinde hiçbir bakteri gelişmesi olmamaktadır.

Kurutma, sütün raf ömrünü uzatmakta ve ortam sıcaklığında muhafaza edildiğinde bile önemli düzeyde kalite kaybı olmaksızın uzun bir süre (yaklaşık 1 yıl) saklanmasını sağlamaktadır (Akin, 2010). Süt tozu yaygın olarak ticarileşmiştir ve gıda endüstrisinde özel bir ilgi görmektedir (Fäldt ve Bergenstähl, 1996b). Süt bazlı tozlar, sadece rekombinasyon veya rekonstitüsyon için kullanılmayıp aynı zamanda süt ürünleri, şekerleme, unlu mamuller ve et ürünleri gibi çeşitli "katma değerli gıdaların" üretiminde bir gıda ingrediyesi olarak kullanılmaktadır. Süt tozu, süt proteinlerinin fonksiyonel özellikleri ve bileşenlerinin toplam değeri nedeniyle gıda formülasyonlarındaki farklı uygulamalar için değerli bir gıda bileşeni olarak kabul edilmektedir (Yazdanpanah ve Langrish, 2013).

Kurutma, sütün raf ömrünü uzatmasının yanı sıra sütün ağırlık ve hacmini de azaltmaktadır. Böylelikle ürünün depolama ve taşıma maliyetlerini düşürmektedir.

İşlenmiş sütün büyük hacimlerine bağlı olarak sütün muhafazası ve taşınmasında yaşanan bazı zorluklar düşünüldüğünde, kurutma sütün depolama stabilitesini artıran ve işlenmesini kolaylaştıran yaygın bir metottur (Fäldt ve Bergenståhl, 1996a). Taşıma, işleme ve ürün formülasyonları için uygun olması nedeniyle süt tozu gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Süt endüstrisinde kurutma için valsli ve püskürterek kurutma olmak üzere iki ana yöntem kullanılmaktadır. Daha yaygın olarak kullanılan püskürterek kurutmada süt ilk olarak evaporasyon ile koyulaştırılmakta ve sonrasında kurutma kulesinde kurutulmaktadır. Kurutmanın ilk aşamasında kuru madde partikülleri arasında serbest halde bulunan fazla su evapore edilmektedir. Son aşamada ise partiküllerin gözeneklerinde ve kılcallarında bulunan su uzaklaştırılmaktadır (Bylund, 2003).

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) verilerine göre dünya süt üretimi 2017 yılında toplam 811.9 milyon tona ulaşmıştır. Dünya geneline bakıldığında süt tozu yaklaşık 4,741 milyon ton ile en fazla üretilen süt ürünlerinden birisidir (FAO, 2018). Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre Türkiye’de 2017 yılında toplam inek sütü üretimi yaklaşık 9,112 milyon tondur. Ülkemizde süt tozu üretimine bakıldığında 87,732 ton yağsız ve 45,238 ton yağlı olmak üzere toplam 132,970 ton olarak gerçekleşmiştir (TÜİK, 2018).

İstatistiklere bakıldığında dünyada ve ülkemizde süt tozu üretimi önemli bir yer tutmaktadır. Yüksek basınç homojenizasyon işlemi süt endüstrisinde farklı amaçlarla kullanılmasına rağmen bugüne kadar süt tozu üretiminde YBH işlemi kullanımına rastlanılmamıştır. Bu çalışmada, süt endüstrisinde önemli bir yeri olan süt tozu üretiminde YBH işleminin kullanılabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, üretimde kullanılan yağsız ve yağlı koyulaştırılmış sütlere YBH işlemi uygulanmıştır. YBH uygulanmış koyulaştırılmış sütler püskürtülerek kurutulmuş ve ambalajlanarak farklı sıcaklıklarda (20 ve 40°C) 6 ay süreyle depolanmıştır. Üretilen süt tozlarının farklı sıcaklıklarda depolanması süresince bazı fizikokimyasal ve fonksiyonel özelliklerinin yanı sıra toz akış özellikleri belirlenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

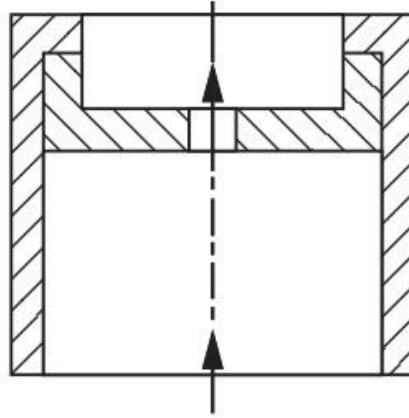
Homojenizasyon, emülsiyon oluşturmada uygun bir emülfiye edici madde varlığında veya mevcut bir emülsiyonun damlacık boyutunu azaltarak yağ ve sulu fazları karıştırmada kullanılan ana teknolojidir. Çiğ süt %3-5 oranında yağ içermekte ve yağ globül çapı 0.2 ile 15 µm arasında değişmektedir. Süt yağ globülü ortalama 4 µm çapta olup sürekli bir yağsız süt fazında dağılmaktadır. Süt yağı globülleri, yağ globüllerini flokülasyona ve birleşmeye karşı koruyan fosfolipitler, proteinler ve nötr lipitlerden oluşan süt yağı globül membranı ile çevrilidir. Süt yağı globül membranına ek olarak süt proteinleri de mükemmel emülsifikasyon özelliklerine sahiptir (Mulvihill ve Ennis, 2003). Tipik olarak 10-30 MPa aralığındaki basınçlarda homojenizasyon, süt yağı globül büyüklüğünü azaltmak ve dolayısıyla depolamada kremalaşmayı önlemek için süt endüstrisinde 100 yıldan fazla bir süredir kullanılmaktadır (Banks, 1993; Walstra, 1999). 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; Paquin, 1999; McClements, 2015).

100 yılı aşkın bir süredir süt endüstrisinde geleneksel homojenizasyon biçimleri uygulanmakta olup gelişen teknolojiyle birlikte süt ürünlerinin homojenizasyonunda yüksek basınç homojenizasyonun (YBH) kullanımı son yıllarda artmaktadır.

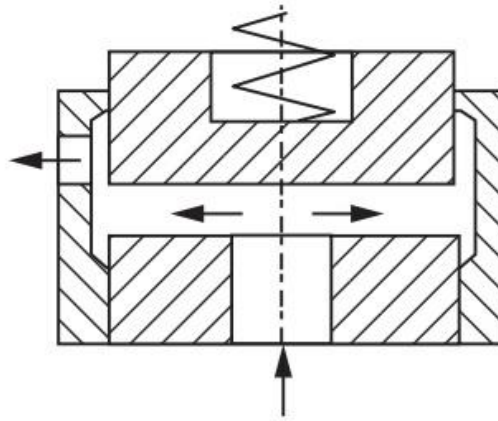
Bir yüksek basınç homojenizatörde, yüksek basınç pompası emülsiyonu homojenizasyon nozulu olarak adlandırılan dar bir boşluktan geçirmektedir. Homojenizasyon sırasında nozulın üst akışındaki sıvı yüksek bir potansiyel enerjiye sahip olup bu nozula girerken kinetik enerjiye dönüştürülmektedir. Yoğun kesme, kavitasyon ve türbülanslı akış koşullarının bir kombinasyonu damlacık dağılmasına yol açmaktadır. Yüksek basınç homojenizasyona (YBH) globüller üzerinde daha kuvvetli patlayıcı güçlere yol açabilen bir basınç düşüşü (kavitasyon) eşlik etmektedir. Yüksek basınç homojenizatörler radyal difüzör tipi, karşı jet dağıtıcı tipi ve aksiyal akış nozul tipi olmak üzere üçe ayrılabilir (Tobin ve ark., 2015).

Yüksek basınç homojenizatörlerde kullanılan bir dizi valflerin şematik gösterimleri Şekil 2.1'de verilmiştir.

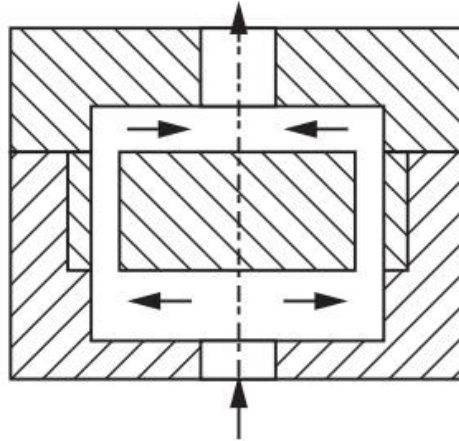
(a) Aksiyal akış nozul tip homojenizatör



(b) Radyal difüzör tip homojenizatör



(c) Karşı jet dağıtıcı tip homojenizatör



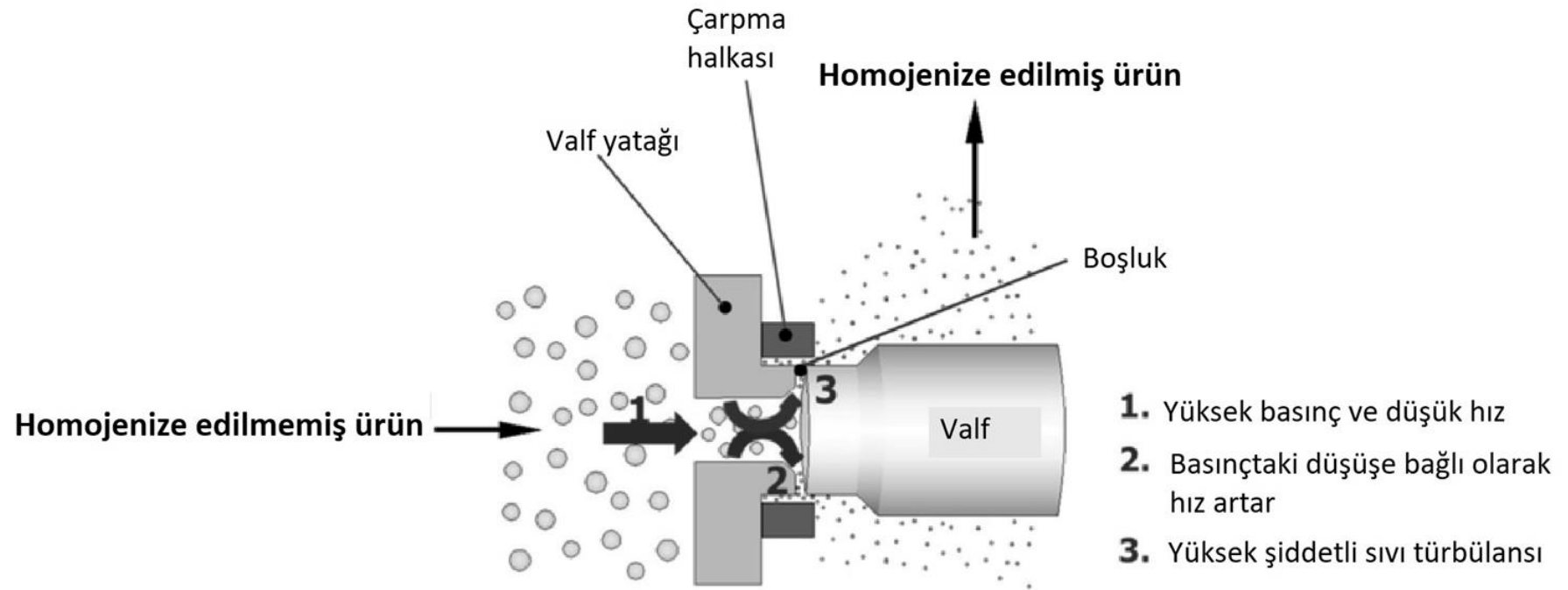
Şekil 2.1. Yüksek basınç homojenizatörlerin şematik gösterimi (Stang ve ark., 2001)

Yüksek basınç homojenizatörlerin valf yuvası ve pistonu genellikle işlem sırasında karşılaşılan yüksek basınçlara ve gerilmelere dayanabilen seramiklerden yapılmaktadır. Basınçlanan sıvılar, homojenizasyon valfinde aksel olarak pistonu geçmekte ve daha sonra piston ve valf yatağı arasında oluşan boşluktan son derece yüksek bir hızla uzaklaşmaktadır. Sonrasında sıvı atmosferik basınçta valf yatağından ayrılmaktadır. Homojenizasyon valfindeki basınç ve hız, ayarlanabilir valf boşluğunun boyutu ile belirlenmektedir (Tobin ve ark., 2015). Yüksek basınç homojenizasyonun şematik gösterimi Şekil 2.2’de verilmiştir.

Süt, yüksek basınç homojenizasyona tabi tutulduğunda sıcaklığında büyük artışlar gözlemlenmektedir. 40°C giriş sıcaklığında 100, 200 ve 300 MPa’da homojenizasyon uygulandığında sırasıyla 65, 84 ve 103°C çıkış sıcaklıkları rapor edilmiştir (Pereda ve ark., 2007). Sütün sıcaklığının YBH basıncı ile yakın-lineer tarzda arttığı ve bu artışın yaklaşık 0.15-0.20°C/MPa oranında olduğu bildirilmiştir (Hayes ve Kelly, 2003; Thiebaud ve ark., 2003; Datta ve ark., 2005; Hayes ve ark., 2005b; Picart ve ark., 2006; Pereda ve ark., 2007). YBH sırasında gözlenen sıcaklık artışları büyük ölçüde sütün homojenizasyon öncesi sıcaklığından bağımsızdır. Bununla birlikte YBH uygulaması sırasındaki sıcaklık artışları sütün yağ içeriğine bağlı olarak değişmektedir. 150 MPa’da sütte sıcaklık artışı yağ oranındaki %1’lik artış ile lineer olarak 0.5°C artmaktadır (Hayes ve Kelly, 2003).

Yüksek basınç homojenizasyonun (YBH) süt yağına etkileriyle ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Genel olarak YBH ile elde edilen süt yağı globül boyutundaki azalmaların geleneksel homojenizasyonla elde edilenlerden daha büyük olduğu bildirilmektedir (Hayes ve Kelly, 2003; Hayes ve ark., 2003; Serra ve ark., 2007). 100 MPa’da YBH uygulanmış sütte partiküllerin boyut dağılımı için tipik parametreler olan D[3,2] yaklaşık 0.2 µm ve D[4,3] 0.5 µm olarak belirlenmiştir. Bu değerler homojenize edilmemiş süt için sırasıyla yaklaşık 1.0 µm ve 4.5 µm ve geleneksel homojenize süt için sırasıyla yaklaşık 0.5 µm ve 1.0 µm olarak bildirilmiştir (Tobin ve ark., 2015).

YBH uygulamasında yağ globül boyutunun iki ana belirleyicisi homojenizasyonun gerçekleştirildiği basınç ve sıcaklıktır. Minimum globül boyutlarına yaklaşık 200-250 MPa’lık homojenizasyon basınçlarında ulaşılmaktadır (Hayes ve Kelly, 2003; Thiebaud ve ark., 2003; Hayes ve ark., 2005a; Picart ve ark., 2006; Serra ve ark., 2007).



Şekil 2.2. Yüksek basınç homojenizasyonun şematik gösterimi

Daha yüksek homojenizasyon basınçlarında (>250 MPa) süt yağı globül boyutu tekrar artabilmektedir. Bunun nedeni muhtemelen yeni oluşturulan yağ globül yüzeyinin yüzey aktif madde ile hızla kaplanması için çok büyük olması ve yağ globüllerinde kümelenme meydana gelmesi olarak bildirilmektedir (Thiebaud ve ark., 2003; Pereda ve ark., 2007; Serra ve ark., 2007). Kielczewska ve ark. (2000) YBH'nin süt yağı globüllerinin ortalama çapını azaltırken 80 MPa'nın üzerindeki basınçlarda homojenizasyonun yağ globüllerinin birleşmeye duyarlılığını artırdığını bildirmiştir. Ek olarak en dar ve en küçük partikül büyüklüğü dağılımlarını elde etmek için sütün YBH'den önce >30°C'ye ısıtılmasının gerekli olduğu gösterilmiştir (Hayes ve Kelly, 2003; Thiebaud ve ark., 2003; Datta ve ark., 2005).

YBH teknolojisinin süt proteinlerine etkisi üzerine birçok araştırma bulunmaktadır. Kazein misel yapılarının ~200 MPa'da YBH tarafından kısmen bozulduğu bildirilmiştir (Hayes ve Kelly, 2003; Sandra ve Dalgleish, 2005; Roach ve Harte, 2008; Lodaite ve ark., 2009). Bununla birlikte kazein misel boyutu, YBH ile yağ globülü boyutu ilişkisine kıyasla çok daha az değişmekte olup 186 MPa'da altı homojenizasyon döngüsü uygulanması bile yağsız sütte partikül boyutunu sadece %10-15 oranında azaltmıştır (Sandra ve Dalgleish, 2005). >250 MPa'lık basınçta sütlere YBH uygulaması kazein misel büyüklüğünde artışa neden olabilmektedir. Kalsiyum varlığında >200 MPa YBH uygulanması sırasında kazein misellerinde ciddi agregasyon gerçekleşebilmektedir (Roach ve Harte, 2008).

Kazein misellerine etkisinin yanı sıra YBH peynir altı suyu proteinlerinin denatürasyonuna da neden olabilmektedir. Denatürasyonun şiddeti artan homojenizasyon basıncı ve ikinci homojenizasyon aşaması ile artmaktadır. 30°C'lik bir giriş sıcaklığında yağsız süte 300 MPa'lık birincil aşama ve 30 MPa'lık ikincil aşama basıncı ile YBH uygulanması β -laktoglobulinin yaklaşık %45 denatürasyonuna ve α -laktalbuminin yaklaşık %30 denatürasyonuna neden olmaktadır (Serra ve ark., 2008a; Pereda ve ark., 2009). YBH işlemi sırasında peynir altı suyu proteini denatürasyonu büyük olasılıkla proses sırasında karşılaşılan termal etkilerden kaynaklanmaktadır. Yağlı sütte YBH kaynaklı peynir altı suyu proteini denatürasyonunun kapsamı yağsız süt için gözlemlenene benzer bulunmuştur (Datta ve ark., 2005; Hayes ve ark., 2005b).

Yağ globül membranındaki değişimler yoluyla trigliserit çekirdeğine lipazların erişimini kolaylaştırdığı, böylece pH'ı azaltabilen ve ransit tat ile sonuçlanabilen lipolizi kolaylaştıracığı için süt lipazları üzerinde homojenizasyonunun etkisi özellikle önemlidir. Süte giriş sıcaklığı <40°C'de 100 veya 200 MPa YBH uygulanması sütte

lipoprotein lipazı tamamen inaktive etmemektedir. Bununla birlikte $>40^{\circ}\text{C}$ 'de sütün 200 MPa'da homojenizasyonu lipazın tamamen inaktivasyonu ile sonuçlanmaktadır (Datta ve ark., 2005; Pereda ve ark., 2008).

YBH'nin yağsız sütte endojen süt proteinaz plazmin aktivitesini azaltmadığı gösterilmiştir. Ancak yağlı sütte artan basınç, giriş sıcaklığı ve yağ içeriğiyle YBH uygulamasının ardından plazmin aktivitesinin azaldığı belirlenmiştir (Hayes ve Kelly, 2003; Datta ve ark., 2005; Hayes ve ark., 2005b). Plazmin aktivitesindeki bu gibi azalmalar enzimin geri dönüşümsüz inaktivasyonuna bağlıdır. Sadece yüksek homojenizasyon basıncı (200 MPa) ve yüksek giriş sıcaklığı (50°C) koşullarında plazminin önemli düzeyde inaktivasyonu ($<20\%$) sağlanmıştır (Iucci ve ark., 2007).

Süt 4°C 'lik giriş sıcaklığında homojenizasyona tabi tutulduğunda alkali fosfataz enzimi <250 MPa'lık basınçlarda inaktive olmamasına rağmen $>20^{\circ}\text{C}$ giriş sıcaklıklarında 200 MPa'da homojenizasyon alkali fosfatazın önemli ölçüde inaktivasyonunu indüklediği bildirilmektedir (Hayes ve Kelly, 2003; Datta ve ark., 2005; Hayes ve ark., 2005b; Picart ve ark., 2006). Sütte laktoperoksidazın inaktivasyonu $>10^{\circ}\text{C}$ giriş sıcaklıklarında 200 MPa'lık YBH ile sağlanmaktadır (Datta ve ark., 2005).

Amador-Espejo ve ark. (2017) giriş sıcaklığı 65 , 75 ve 85°C 'de 300 MPa yüksek basınç homojenizasyonun (YBH) sütün uçucu profiline etkisini incelemişlerdir. UHT sütte ketonlar ve dimetil trisülfür konsantrasyonu diğer örneklerden daha yüksek bulunmuştur. Aksine YBH ile işlenmiş süt örneklerinde aldehytlerin konsantrasyonu ısıtma işlem görmüş örneklerde saptanan konsantrasyondan daha yüksek çıkmıştır. YBH'nin ısıtma işlem görmüş sütün içindeki pişirmeyle ilgili bileşikleri azaltmak için uygun bir alternatif olabileceği gösterilmiştir.

Lu ve ark. (2013) farklı homojenizasyon basınçlarının (10, 20 ve 30 MPa) 6 ay boyunca 25°C 'de depolanan UHT tam yağlı sütün üst, orta ve alt tabakalarındaki fizikokimyasal değişikliklere olan etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla yağ ayrılması, yağ globül büyüklüğü, yağ ve protein içeriği, viskozite, serbest amino asit içeriği ve pH 15 gün arayla analiz edilmiştir. Sonuçlar daha yüksek homojenizasyon basıncının süt yağı globülü büyüklükleri, yağ ve protein içerikleri ve farklı süt tabakalarındaki viskoziteyi farklılaştırdığını ancak son yağ ayrılmasını, proteolizi ve pH'yi etkilemediğini göstermiştir.

Pedras ve ark. (2013) yağsız süte (0.5% yağ) 100, 200 ve 300 MPa'da yüksek basınç homojenizasyon (YBH) işlemi sonrası sütün fizikokimyasal özellikleri ve proteinlerindeki değişiklikleri araştırmışlardır. YBH öncesi ve sonrası arasında sütün

pH'sı ve protein olmayan azot içeriğinde anlamlı bir farklılık bulunmamıştır. Basınç 100 MPa'dan 300 MPa'ya arttırıldığında etanol stabilitesi, parlaklık ve hidrofobiklik artmıştır. Kazein olmayan azot ile değerlendirilen peynir altı suyu proteini denatürasyonu sadece 200 ila 300 MPa arasında meydana gelmiş ve viskozite sadece 300 MPa'da artmıştır. Bu nedenle YBH temel olarak protein içeriğine bağlı bazı süt fizikokimyasal özelliklerini değiştirmiştir.

Sandra ve Dalgleish (2007) yüksek basınç homojenizasyonun sütün rennetle pıhtılaşması üzerine 179 MPa'lık basıncın etkisini incelemişlerdir. Homojenizasyon, yüzey kappa-kazeinin bazılarının kaybı nedeniyle kazein misellerinin çapları üzerinde küçük bir etkiye sahiptir. Yapının bu modifikasyonu nispeten kısalmış rennetle pıhtılaşma süresine yol açmıştır. Homojenizasyon ısıtılmış sütün pıhtılaşma özelliklerini biraz iyileştirmiştir.

Venir ve ark. (2010) farklı homojenizasyon basınçlarının süt proteini model sistemlerinin reolojik özellikleri üzerindeki etkilerini değerlendirmişlerdir. Bu amaçla sodyum kazeinat ve peynir altı suyu protein konsantresi farklı konsantrasyonlarda (%1.2 ve 4) disperse edilerek pastörize edilmiş ve daha sonra 0, 18, 100 ve 150 MPa'da homojenize edilmiştir. Bu sistemlerde tek başına pastörizasyon ağ oluşumunu belirlemezken tek başına homojenizasyon soğuk jelleşmeyi teşvik etmiştir. Pastörize ve pastörize edilmemiş örneklerde homojenizasyon indüklü jelleşme için en az %4'lük bir toplam konsantrasyona ihtiyaç duyulmuştur. YBH işlemi klasik homojenizasyona kıyasla daha güçlü jeller üretmiştir.

Serra ve ark. (2008b) YBH ile muamele edilen süttten yapılan yoğurtlarda lipoliz derecesi ve lipit oksidasyonunun ürünün nihai lezzeti üzerindeki potansiyel etkilerini araştırmışlardır. Yoğurtlar, 30°C ve 40°C'de 200 ve 300 MPa'da YBH ile muamele edilmiş sütlerden hazırlanmış ve geleneksel üretilen yoğurtla kıyaslanmıştır. Sonuçlar 30°C'de 200 MPa'da YBH ile işleme tabi tutulmuş süttten yapılanlar hariç lipoliz derecesinin tüm örnekler arasında benzer olduğunu göstermiştir. Depolama koşulları nedeniyle herhangi bir örnekte lipit oksidasyonu gerçekleşmemiştir. Bununla birlikte ısı ile muamele edilen süttten yapılan yoğurtlarda daha yüksek miktarda malondialdehit tespit edilmiştir.

Pereda ve ark. (2008) YBH'nin sütün uçucu profili üzerindeki etkisini araştırmış ve termal işlemlerle karşılaştırmıştır. Uçucu profiller, 200 MPa'da YBH ile muamele edilen sütün pastörize ve 300 MPa süt numunelerinden daha az karbonil bileşiği ürettiğini, ancak ransit tatlarıyla ilgili olarak yüksek bir hekzanoik asit seviyesinin

oluşturduğunu göstermiştir. 300 MPa'da işlenen süt pastörize süt ile karşılaştırıldığında daha yüksek aldehit içeriği göstermiştir. Ancak bu durum ticari süt numuneleri ile kıyaslandığında daha düşük bulunmuştur. YBH teknolojisi tek başına aldehitlerde artışa neden olmuştur.

Serra ve ark. (2009a) yaptıkları bir çalışmada 40°C'de 200 ve 300 MPa YBH uygulanmış sütlerden yoğurt üreterek bunları geleneksel yoğurtla kıyaslamıştır. Sonuçlar YBH uygulanan süttten yapılan yoğurtların geleneksel yoğurtlara kıyasla daha yüksek su tutma kapasitesi ve sıklık değerlerine sahip olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte YBH ile işleme tabi tutulmuş süt ağının jellere parçalanması daha yüksek kıvamlı, daha az sinerezise sahip fakat geleneksel yapılardan daha kaba yapıya sahip yoğurtlar ile sonuçlanmıştır.

Lanciotti ve ark. (2007) peynir yapımından önce 100 MPa'da homojenizasyon işlemine tabi tutulan süttten üretilen inek ve koyun peynirlerinin olgunlaşması sırasında biyojen amin içeriğini değerlendirmişlerdir. Sonuçlar süttün YBH işlemine tabi tutulmasının olgunlaşma sonunda mayaların, *Micrococcaceae* ve laktobasillerin varlığını önemli ölçüde azalttığını göstermiştir. Öte yandan süte YBH işlemi uygulanması koyun peyniri içindeki mayaların çoğalmasını desteklemiştir. Süte YBH uygulaması ile olgunlaşma sonunda her iki peynir çeşidinde de biyojen amin konsantrasyonu büyük ölçüde azalmıştır.

Vannini ve ark. (2008) 100 MPa'da YBH uygulanmış koyun süttünden Pecorino peyniri yapmış ve bu peyniri çiğ ve ısıt işlem görmüş sütlerden üretilenlerle kıyaslamışlardır. YBH işleminin peynir veriminde önemli bir artışa neden olmuş ve telededeki enterokok, laktokok ve mayalarda azalmaya yol açtığı belirlenmiştir.

Rodríguez-Alcalá ve ark. (2009) YBH teknolojisinin süttün lipit fraksiyonu ve özellikle konjuge linoleik asit (KLA) izomerleri üzerinde önemli bir etkisi olup olmadığını anlamak için YBH (0-350 MPa) uygulanmış çiğ inek, keçi ve koyun sütlerinin toplam yağ asidi içeriği ve profilini incelemiştir. Elde edilen sonuçlar, homojenizasyon basıncı arttıkça süt örneklerinden elde edilen toplam yağ miktarının azaldığını, 350 MPa'ya kadar YBH uygulanmış örneklerin yağ asidi bileşimlerinde özellikle de KLA izomeri profilinde önemli bir farklılık bulunmadığını göstermiştir.

Serra ve ark. (2009b) 30 veya 40°C giriş sıcaklığında 200 veya 300 MPa'da yüksek basınç ile homojenize edilmiş sütlerden yapılan yoğurtlarda proteolizi araştırmışlardır. Protein fraksiyonundaki değişiklikleri değerlendirmek için numunelerin rezidüel kazeinleri, peptitleri ve toplam serbest amino asitleri depolamanın 7, 14, 21 ve

28. gününde analiz edilmiştir. Sonuçlar, ısıt işlem görmüş süt ve 300 MPa'da işleme tabi tutulmuş süttten yapılan yoğurtların benzer seviyelerde rezidüel kazeinlerinin yanı sıra çözünür peptitlerin ve toplam serbest amino asitlerin de benzer profile sahip olduğunu göstermiştir. Tam tersine özellikle depolamanın sonunda 30 ve 40°C'de 200 MPa'da işlenmiş süttten yapılan yoğurtlarda daha fazla miktarda hidrofobik peptit tespit edilmiştir.

Pinho ve ark. (2011) YBH işleminin çiğ sütte bulunan doğal enzimlere karşı etkisini incelemiştir. Bu amaçla YBH ile muamele edilen yağsız sütte süt enzimlerinin (alkali fosfataz ve laktoperoksidaz) kalıntı aktivitesi ölçülmüştür. Sonuçlar, 250 MPa'ya kadar olan basınçların aktiviteyi %10-20 civarında azalttığını ve 270 MPa'nın üzerindeki basınçların muhtemelen moleküldeki geri dönüşümsüz denatürasyonundan (homojenizasyon ve sıcaklık) dolayı enzimin tamamen inaktivasyonu ile sonuçlandığını göstermiştir. Laktoperoksidaz için elde edilen sonuçlar, bu enzimin ısıt işlem gibi YBH'ye de dirençli olduğunu belirtmiştir. Sonuçlar, her iki enzimin kalıntı aktivitesinin yeterli miktarda mikrobiyal inaktivasyona ulaşmak için 250 MPa'ya kadar olan basınçlara ihtiyaç duyulduğunda, YBH işlemi sırasında süte uygulanan basınç seviyesinin bir göstergesi olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Pereda ve ark. (2009) YBH ile muamele edilen sütlerde ısı hasarının değerlendirilmesi için 340 nm'de absorbe edilen bileşikler, hidroksimetilfurfural, serbest sülfidril içeriği, furosin, laktuloz ve peynir altı suyu protein denatürasyonu gibi farklı termal göstergeleri analiz ederek incelemiştir. YBH uygulanmış örneklerde temel olarak 340 nm'de absorbans ve β -laktoglobulin denatürasyonu belirlenmiş ve pastörize süte kıyasla farklı bulunmuştur. Her iki parametre de YBH uygulanmış örneklerde azaltılmış bir termal etki göstermiştir. YBH işlemleri sırasındaki sıcaklık artışına rağmen ısı hasarı pastörize süt ile karşılaştırıldığında genel olarak daha düşük bulunmuş ve bu teknolojinin pastörizasyona bir alternatif olarak potansiyel olduğunu düşündürmüştür.

Leite Júnior ve ark. (2014) yüksek basınç homojenizasyonun (YBH) ticari buzağı renneti performansı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Enzim çözeltisi 50, 100, 150 ve 190 MPa'da işlendikten sonra 4°C'de beş güne kadar depolanmıştır. Etkiler, enzimin proteolitik ve süt pıhtılaştırma aktiviteleri ile işlenmiş enzim kullanılarak elde edilen süt jellerinin reolojik davranışları üzerinde değerlendirilmiştir. Artan basınçta YBH proteolitik aktivitede bir azalmaya (190 MPa'da %52'ye kadar varan azalma) neden olmuştur. Depolamadan sonraki ilk 48 saatte işlenmiş enzim aktivitesini korurken işlenmemiş numune aktivitede sürekli bir azalma göstermiştir. Sonuçlar YBH işleminin süt pıhtılaşma aktivitesini değiştirmediğini ve reolojik testlerin 190 MPa'da işlenen enzim

ile pıhtılaşan süt için yüksek G değerleri gösterdiğini işaret etmiştir. Bu nedenle YBH buzağı mayası ile sütün pıhtılaşmasını artırmakta ve özellikle de bir depolama süresinden sonra enzimin proteolitik aktivitesini azaltarak taze peynir kalitesini iyileştirebilmektedir.

Calligaris ve ark. (2013) yaptıkları bir araştırmada omega-3 yağ asitleri ile takviye edilmiş peynir üretimi sürecinde süte yüksek basınç homojenizasyon (YBH) uygulamasının fizibilitesini değerlendirmişlerdir. İşlenmiş süt yumuşak ve taze İspanyol peyniri olan “queso fresco” üretmek için kullanılmıştır. Peynir verimi, nem, yağ içeriği ve tekstür değerlendirilmiştir. Peynirde omega-3 yağ asitlerini etkin bir şekilde birleştirmek ve aynı zamanda peynir altı suyunda kaybolan yağ miktarını azaltmak için 50 MPa'dan daha yüksek basıncın gerekli olduğu belirlenmiştir. Homojenizasyon işlemleri, sütün doğal yapıları üzerindeki YBH işleminin neden olduğu modifikasyonlara bağlı olarak peynir kalitesinde değişikliklere neden olmuştur. Homojenizasyonla elde edilen peynirler işlenmemiş peynirlere göre daha yüksek nem ve verim ile düşük yağ içeriği göstermiştir. Homojenizasyon uygulanmış numuneler için tekstür parametrelerinde bir azalma gözlenmiştir.

Marco-Molés ve ark. (2012) yaptıkları bir çalışmada yüksek fizikokimyasal stabiliteyi elde etmek için farklı YBH işlemlerinin bir sos (yumurta/süt emülsiyonu) yapısı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Suda yağ emülsiyonu, birkaç doğal emülgatör katmanı ile çevrili yağ damlacıkları ile 100 MPa'ya kadar stabil olmuştur. 150 ile 250 MPa arasındaki kritik basınçlar emülsiyonun bozulmasına yol açmış ve böylece fazların ayrılmasına neden olmuştur. Basınç arttıkça birleşme durumu kademeli olarak meydana gelmiştir. Bu durum doğal emülsifiye edici bariyerin kaybindan kaynaklanmıştır. Elektroforetik model üzerindeki değişiklikler yüksek basınç seviyelerinde de gözlemlenmiştir. Bu durum proteinlerin çözünmemesini göstermektedir. YBH uygulamasından sonra lipit fraksiyonunun kimyasal olarak kararlı olduğu gözlenmiştir.

Yapılan bir araştırmada, *Bacillus cereus*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus sporothermodurans*, *Bacillus coagulans*, *Geobacillus stearothermophilus* ve *Bacillus subtilis* ile inoküle edilmiş ticari UHT süte 55, 65, 75 ve 85°C'lik giriş sıcaklıklarında 300 MPa'da YBH işlemleri uygulanarak sporların inaktivasyon düzeyi değerlendirilmiştir. Giriş sıcaklıkları 75 ve 85°C olan 300 MPa'da YBH koşulları 5 log kob/ml düzeyinde spor inaktivasyonu sağlamıştır. Ayrıca bu işleme koşulları altında, sütte ticari sterilite (inoküle edilmiş sporların tamamen inaktivasyonu) 300 MPa ve giriş sıcaklığı 75°C'de muamele edilmiş *G. stearothermophilus* ve *B. subtilis* haricinde elde edilmiştir. Bu çalışma sporların yüksek sayılarda inaktivasyonu için YBH teknolojisinin uygunluğunun

önemli bir kanıtı olup ticari olarak steril süt elde etme olasılığını ortaya çıkarmaktadır (Amador Espejo ve ark., 2014).

Martínez-Monteagudo ve ark. (2017) yaptıkları bir araştırmada süt bazlı içeceklerin fiziksel özellikleri ve emülsiyon stabilitesi üzerine YBH işleminin etkisini incelemişlerdir. Artan homojenizasyon basıncına bağlı olarak ürün stabilitesinin arttığı ve daha fazla kayma incelmeye yol açtığı belirlenmiştir. YBH teknolojisinin sütlü içeceklerde stabilizatör konsantrasyonunu azaltma potansiyeline sahip olduğu ve sütlü içeceklerin stabilitesini ve raf ömrünü iyileştirmeye yardımcı olabileceği görülmüştür.

Juan ve ark. (2015) keçi sütünün yüksek basınçla homojenizasyonunun (30°C'de 200 MPa) peynirin lipolitik profili üzerindeki etkisini araştırmış ve homojenize-pastörize (18+2 MPa, 72°C'de 15 s) ve pastörize edilmiş (72°C'de 15 s) sütlerin peynirleriyle karşılaştırmıştır. Yüksek basınçla homojenize edilmiş süttten üretilen peynirler pastörize sütlerden yapılanlara benzer seviyelerde lipoliz göstermiş; bununla birlikte YBH olgunlaşmanın erken aşamalarında daha fazla kısa zincirli yağ asitleri içeriğine sebep olmuştur. Homojenize-pastörize süttten yapılan peynirlerin toplam serbest yağ asitleri seviyesi depolamanın 30. ve 60. günlerinde iki katına çıkararak en yüksek lipoliz seviyelerini göstermiştir. İki homojenizasyon teknolojisi arasındaki lipoliz seviyesindeki farklılıkların peynirdeki lipolitik enzimler için yağın erişilebilirliğinin daha kolay veya daha zor hale gelmesiyle süt yağı globüllerinde meydana gelen farklı değişikliklerden kaynaklanabileceği düşünülmüştür.

Rodarte ve ark. (2018) YBH işleminin kremanın mikrobiyal ve fizikokimyasal raf ömrüne etkisini araştırarak klasik homojenizasyon-pastörizasyon işlemiyle kıyaslamışlardır. Çalışmanın sonucunda, YBH işleminin çiğ örneklerle kıyasla toplam bakteri sayısında 6 log kob/g azalma sağladığı ve *Enterobacteriaceae*'yı tamamen inaktive ettiği belirlenmiştir. YBH uygulanmış kremaların mikrobiyal raf ömrünün 16-29 gün arasında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca YBH kremalaşmayı önemli ölçüde azaltmıştır.

de Oliveira ve ark. (2018) süte 100 ve 150 MPa'da yüksek basınç homojenizasyon (YBH) işleminin depolama sırasında proteoliz üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. 150 MPa'ya kadar YBH *Pseudomonas* proteazını inaktive edememiş ve yağsız sütte proteolizin oluşumunu değiştirmemiştir. Diğer taraftan 100 ve 150 MPa'da YBH uygulaması standart süt (%3 yağ) örneklerinde proteolizi sırasıyla %29 ve %51 azaltmıştır.

Oliveira ve ark. (2014) yaptıkları bir çalışmada süte farklı basınçlarda YBH uygulamış ve o sütleri *Streptococcus thermophilus* ve *Lactobacillus acidophilus* kültürü ile fermente etmişlerdir. Sonuç olarak, YBH işleminin fermentasyon kinetiğini etkilemediği bulunmuştur. Bununla birlikte yüksek basınç ile işlenen ürünlerde daha yüksek konsistens ve daha düşük sinerezis belirlenmiştir. Ayrıca YBH fermentasyon ve depolama sırasında proteinin daha fazla agregasyonunu teşvik etmiştir.

Yapılan bir çalışmada, bir çeşit yüksek basınç homojenizasyon türü olan su jeti teknolojisi kullanılarak 0-500 MPa basınç uygulamasının pastörize yağsız sütün fizikokimyasal ve rennetle pıhtılaşma özelliklerine etkisi incelenmiştir. Kazein misellerinin partikül boyutu 0-200 MPa uygulanan sütte 180-220 nm'ye ve 500 MPa uygulanan sütte 280 nm'ye yükselmiştir. Yağlı süt örnekleri 4°C'de 14 güne kadar stabil kalmıştır. 400 ve 500 MPa basınç uygulanan yağsız sütün viskozitesinin işlenmemiş kontrol sütünün viskozitesine kıyasla neredeyse iki katına çıktığı tespit edilmiştir. Artan basınç kazein misellerinin yapı-fonksiyon özelliklerini değiştirmiş ve 500 MPa'da işlenen sütün rennet ile pıhtılaşmadığı tespit edilmiştir (Mohan ve ark., 2016).

Yapılan bir çalışmada, yüksek basınç homojenizasyonun dondurma mikslерinin damlacık büyüklüğü dağılımı ve reolojik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Mikslere 15/3 MPa ve 97/3 MPa basınç uygulanmıştır. YBH ortalama yağ globülü çapını düşürmüş, viskoelastik özellikler ve viskoziteyi artırmıştır. 97/3 MPa uygulamasının güçlü jel yapısına yol açtığı belirlenmiştir (Innocente ve ark., 2009).

Pereda ve ark. (2007)'nin YBH işleminin sütün mikrobiyal ve fizikokimyasal raf ömrüne etkisini belirlemek için yaptıkları bir çalışmada, YBH'nin psikrotrofik, laktokok ve toplam bakteri sayılarının azaltılmasında pastörizasyon kadar etkili olduğu bulunmuştur. Ayrıca koliformlar, laktobasiller ve enterokoklar elimine edilmiştir. 200 MPa'da YBH işleminin sütün viskozitesinde ve L^* değerinde düşüşe yol açtığı bildirilmiştir. Araştırmacılar sonuç olarak YBH işleminin mikrobiyal ve fizikokimyasal özellikler açısından pastörize sütle eş değer raf ömrüne sahip içme sütü üretiminde yeni olanaklar oluşturabileceğini bildirmişlerdir.

Sütün peynir yapım özelliklerine tek veya iki aşamalı YBH'nin etkilerinin incelendiği bir çalışmada, yüksek basıncın etkileri çiğ, pastörize (72°C'de 15 s) ve geleneksel homojenizasyon+pastörizasyon (15+3 MPa, 72°C'de 15 s) uygulamalarının kiyle karşılaştırılmıştır. 200 ve 300 MPa'da tek aşamalı YBH işleminin sütün rennetle pıhtılaşma özelliğini geliştirdiği tespit edilmiştir. Ancak bu özellik ikinci aşamada YBH kullanımından olumsuz etkilenmiştir. Artan basınç düzeyi pıhtının

veriminde ve nem içeriğinde yükselmeye yol açmıştır. Araştırmacılar sütün peynir yapım özelliklerindeki iyileşmenin YBH ile sağlanan protein-yağ yapısındaki değişikliklerle açıklanabileceğini bildirmiştir (Zamora ve ark., 2007).

YBH'nin sütün mikrobiyal raf ömrüne etkisini inceleyen Smiddy ve ark. (2007), çiğ süte 55 ve 70°C'de 200 ve 250 MPa YBH uygulamış ve 4°C'de 14 gün depolama süresince toplam bakteri, psikrotrof, psedomonas, koliform, laktobasil, *Bacillus cereus* ve *Staphylococcus aureus* sayılarını incelenmişlerdir. YBH uygulamasından hemen sonra bütün bakterilerin tespit sınırının altında olduğu bulunmuş, ancak 14 gün depolama sonrasında YBH uygulanmış bütün örneklerde psikrotrof ve *Pseudomonas* sayıları yaklaşık 10^8 kob/ml düzeyine ulaşmıştır. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, elde edilen sınırlı raf ömrü bu proses koşullarında YBH'nin sütün raf ömrünün uzatılmasında pastörizasyona uygun bir alternatif olmadığını göstermiştir.

Araştırmacılar yağsız süt tozunu rekonstitüe ederek farklı basınçlarda (41-186 MPa) ve altı döngüye kadar yüksek basınç ile homojenize etmişlerdir. Yüksek basınç ve döngü uygulandığında kazein misellerinin ortalama çapının küçüldüğü belirlenmiştir. Ayrıca farklı sıcaklık ve basınç kombinasyonları uygulanmıştır: Kontrol (C), 186 MPa'da homojenizasyon (H), 85°C'de 10 dk ısıtma işlemi (T), homojenizasyon sonrasında ısıtma işlemi (HT) ve ısıtma işlemi sonrasında homojenizasyon (TH). Homojenizasyonun misel boyutundaki azalmaya etkisi şu şekilde bulunmuştur: H>TH>HT>T=C. YBH'nin serumdaki çökelti oluşturmamayan kazein miktarını artırdığı tespit edilmiştir. Elektron mikroskopu görüntüleri H, TH ve HT uygulamalarından sonra kontrole kıyasla küçük partikül oluşumunu göstermiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, YBH uygulamasıyla kazein misellerinin yapısal özelliklerinin değiştirilebileceği ve uygulama sırasının modifikasyonların yapısını belirlemede önemli bir faktör olduğu tespit edilmiştir (Sandra ve Dalgleish, 2005).

Süt işlemede YBH'nin potansiyel uygulamalarının araştırıldığı bir çalışmada, 45°C'de ön ısıtılmış süte 150, 200 ve 250 MPa'da YBH uygulanmıştır. YBH işlemi kontrol örneklerine kıyasla yağ globül boyutunu düşürmüş, psikrotrofik ve mezofilik bakteri sayısını azaltmıştır. YBH uygulanmış sütlerde *S. aureus* ve koliform grubu bakterilere rastlanmamıştır. 150 MPa'da β -laktoglobulin denatüre olurken α -laktalbuminde az bir denatürasyon gözlenmiştir. Ayrıca sütlerdeki plazmin, alkali fosfotaz ve laktoperoksidaz aktiviteleri YBH ile önemli ölçüde inaktive edilmiştir (Hayes ve ark., 2005b).

Thiebaud ve ark. (2003) çiğ süte YBH uygulamasının yağ globülü boyutu dağılımı ve mikrobiyal inaktivasyona etkisini araştırmıştır. Bu amaçla süte 4, 14 ve 24°C besleme sıcaklıklarında 100-300 MPa basınç uygulanmıştır. Basınç ve/veya besleme sıcaklığındaki artışın yağ globülü boyutunu küçülttüğü bildirilmiştir. 200 MPa'da yağ globülü çapının $3.8 \pm 0.2 \mu\text{m}$ 'den (kontrol sütü) 4, 14 ve 24°C için sırasıyla $0.80 \pm 0.08 \mu\text{m}$, 0.65 ± 0.10 ve $0.37 \pm 0.07 \mu\text{m}$ 'ye düştüğü tespit edilmiştir. Ayrıca endojen floranın bakteriyel inaktivasyonunda önemli etkiler belirlenmiştir.

Guerzoni ve ark. (1999) yaptıkları bir çalışmada 100 MPa'da YBH uygulanmış keçi sütünden peynir üretmiştir. YBH uygulanmış süttten üretilen peynirlerde, proteinlerin su bağlama kapasitesindeki değişmeye bağlı olarak daha az serum ayrılması olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca sütte doğal olarak bulunan florayı etkilemesinden dolayı daha hızlı pH yükselmesi görülmüştür. Taramalı elektron mikroskopu analizleri yüksek basınç altında homojenize olmuş sütlerden yapılan peynirlerin işlem görmemişlere kıyasla daha homojen yapıda olduğunu göstermiştir.

Bu bölüme kadar olan kaynak araştırmasında yüksek basınç homojenizasyonun süt ve süt ürünlerinde kullanımıyla ilgili çalışmalara yer verilmiştir. Bu çalışmalar süt ürünlerinde YBH'nin süt ve süt bileşenleri, yoğurt, peynir ve dondurma gibi ürünlerde kullanımını göstermektedir. Bu bölümden sonra ise YBH'nin diğer gıdalarda kullanımıyla ilgili çalışmalara örnekler verilmiştir.

Yang ve ark. (2018) yaptıkları bir çalışmada faba fasulyesi proteinlerine YBH işlemi uygulamıştır. Sonuç olarak, YBH çözünmeyen faba fasulyesi protein agregatlarını ayırtmış ve faba fasulyesi proteinlerinde tersiyer ve kuartern yapı değişikliklerine yol açmıştır. Faba fasulyesi proteini YBH işlemi sonrasında supramoleküler agregatlar oluşturmuştur. YBH, protein molekülleri arasındaki hidrofobik etkileşimleri modüle edebilmektedir. Faba fasulyesi proteininin çözünürlüğü ve köpürme kapasitesi YBH ile iyileştirilmiştir.

Yu ve ark. (2018a) midye miyofibriler proteini süspansiyonlarına 0 (kontrol), 3, 20, 40, 60, 80 ve 100 MPa'da 3 döngü olarak YBH uygulamıştır. Sonuçlar, midye miyofibriler proteinlerinin fonksiyonel özelliklerinin YBH işleminden sonra önemli ölçüde iyileştiğini göstermiştir. Bununla birlikte YBH işlemi önemli ölçüde partikül büyüklüğünü ve su tutma kapasitesini azaltmıştır. YBH işlemi sekonder, tersiyer ve kuartern yapıyı değiştirmiştir. Fonksiyonelliğin artması temel olarak yapıdaki değişikliklerden ve partikül boyutunun azalmasından kaynaklanmıştır.

Saricaoglu ve ark. (2018b) mekanik olarak kemikten ayrılmış tavuk eti proteinlerinden yenebilir filmler üretmek için YBH işlemini kullanmıştır. Homojenizasyon basıncı arttıkça kullanılan süspansiyonların partikül büyüklüğü azalmıştır. Bu azalma filmlerin su buharı geçirgenliğini azaltırken gerilip uzayabilirliğini artırmıştır. Sonuç olarak, 100 MPa'ya kadar olan YBH uygulamalarının filmlerin mekanik ve bariyer özelliklerini artırdığı belirlenmiştir.

Yu ve ark. (2018b) yüksek basınç homojenizasyonun (0-60 MPa) taro (tropik bir bitki) pulpunun reolojik özellikleri üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. YBH taro pulpunun partikül büyüklüğünü azaltırken pulp partiküllerinin dispersiyonunu ve kıvamını arttırmıştır. YBH'nin taro pulpunun akma gerilmesi ile konsistens indeksini artırdığı ve akış davranış indeksini azalttığı belirlenmiştir.

Saricaoglu ve ark. (2018a) yüksek basınç homojenizasyonun (YBH) fındık unu proteinlerinin fonksiyonel ve reolojik özelliklerine etkisini araştırmıştır. YBH işlemi partikül büyüklüğünü düşürmüş ve zeta potansiyelini artırmıştır. Ayrıca emülsifiye edici ve köpürme özelliklerine yol açan suda çözünürlük artmıştır.

Shariffa ve ark. (2017) likopen nanodispersiyonları üretmek için formülasyonların geliştirilmesi ve homojenizasyon basıncının likopen nanodispersiyonunun fizikokimyasal özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla bir araştırma yapmıştır. Homojenizasyon basıncının 500 bar'a yükseltilmesi partikül büyüklüğünü ve likopen konsantrasyonunu önemli ölçüde azaltmıştır. Yüksek homojenizasyon basıncı (700-900 bar) yüksek dağılıbilirliğe sahip büyük partikül boyutlarına yol açmıştır. Likopen nanodispersiyonunun zeta potansiyeli ve türbiditesi homojenizasyon basıncından önemli ölçüde etkilenmiştir.

Liu ve ark. (2019)'un yaptıkları bir çalışmada, yüksek basınç homojenizasyonun (YBH) havuç suyunun stabilitesi, suda çözünür pektini ve toplam karotenoid biyoerişebilirliği üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Sonuçlar YBH'nin meyve suyu stabilitesini ve toplam karotenoid biyoerişebilirliğini iyileştirdiğini göstermiştir. YBH üronik asit içeriğini arttırmış ve homojenizasyon uygulanmayan örnek ile karşılaştırıldığında suda çözünür pektinin metoksilasyon ve asetilasyon derecesini düşürmüştür.

Yapılan bir çalışmada, mısır nişastası granülleri 14 MPa (iki ve beş döngü) ve 20 MPa (iki döngü) bir basınçta YBH ile fiziksel olarak modifiye edilmiştir. Daha sonra modifiye edilmiş nişastalar kappa-karragenan ile karıştırılmış ve kappa-

karragenan/nişasta filmlerinin fonksiyonel özellikleri araştırılmıştır. Homojenizasyondan sonra doğal nişastanın X-ışını kırınım modeli değişmiş ve nispi kristallliği azalmıştır. Diferansiyel taramalı kalorimetre homojenizasyon işleminden sonra doğal nişastanın erime noktası piklerinin daha düşük sıcaklığa kaydırıldığını göstermiştir. Basınç uygulanmış nişasta içeren kappa-karragenan filmler en yüksek yüzey hidrofobikliği ve gerilme mukavemetini göstermiştir (Shahbazi ve ark., 2018).

Zhou ve ark. (2017) yaptıkları bir çalışmada mango suyuna YBH uygulamasının etkisini araştırmıştır. YBH partikül çapını önemli ölçüde azaltmıştır. Ayrıca YBH suda çözünabilir pektin içeriğini değiştirirken zeta potansiyelini etkilememiştir. Görünür viskozite YBH ile önemli oranda artmıştır.

Kubo ve ark. (2013) YBH'nin (100 MPa'ya kadar) domates suyunun fiziksel stabilitesi üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. YBH domates suyunun partikül büyüklüğü dağılımını, pulpun sedimantasyon davranışını, serum bulanıklığını, renk ve mikroyapıyı değiştirmiştir. Sonuçlar YBH'nin gıda ürünlerinde arzu edilen fiziksel özellik değişikliklerini teşvik etmek, kıvamı artırmak ve partikül sedimantasyonunu ve serum ayrılmasını azaltmak, böylece duyuşal kabulü arttırmak için bir araç olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Yapılan bir araştırmada, yağı alınmış mısır nişastası ve palmitik asidin sulu karışımları ısıtılmış ve amiloz inklüzyon kompleksleri oluşturmak için yüksek basınç homojenizasyona tabi tutulmuştur. Homojenizasyon basıncının (0-120 MPa) ve palmitik asit konsantrasyonunun (nişasta içeriğine göre %0.5-8) nişasta-palmitik asit kompleksi oluşumu ve ayrıca kompleks indeksi, X-ışını kırınımı, termal özellikleri, viskozite ve partikül boyutu üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kompleks indeksi palmitik asit ve homojenizasyon basıncındaki artışla artmış ve yağ asidi muhtevası %4 ve homojenizasyon basıncı 100 MPa olduğunda maksimum değere (yaklaşık %60) ulaşmıştır (Meng ve ark., 2014).

Van Buggenhout ve ark. (2015) yaptıkları bir çalışmada portakal pulpuna YBH uygulamışlardır. Portakal pulpunun partikül büyüklüğü artan basınçta (200 ve 800 bar) YBH uygulanarak kademeli olarak azaltılmış, böylece 800 bar'daki mekanik etki akma gerilmesinde iki kat artışla daha homojen ve daha yumuşak bir süspansiyonun ortaya çıkmasına neden olmuştur. YBH ayrıca portakal pulpu hücre duvarlarındaki pektin özelliklerini de etkilemiştir. 800 bar'da YBH uygulaması su ile ekstrakte edilebilen pektinin nispi mevcudiyetini artırmıştır.

Chen ve ark. (2016) tavuk göğüs eti miyofibriler proteinlerini (MP) suda çözündürmek için yüksek basınç homojenizasyon (YBH) kullanım potansiyelini araştırmışlardır. 103 MPa'da YBH, küçük parçacık boyutlu türler (sub-filaman, oligomerler veya monomer yapısı) ve yüksek mutlak zeta potansiyeline sahip MP'lerin süspansiyonunu indükleyebilmiş, böylelikle tek başına protein degradasyonu olmaksızın çözünürlüğü, akış kabiliyetini ve stabiliteyi artırmıştır. Partikül büyüklüğünün azaltılması ve moleküller arası elektrostatik itme kuvvetinin güçlendirilmesi YBH ile muamele edilen sulara MP'lerin çözündürülmesinin ana nedenleri olarak ortaya çıkmıştır.

Leite ve ark. (2014) yaptıkları bir çalışmada portakal suyu konsantresinin konsistensini düşürmek için YBH kullanmışlardır. YBH ürün kıvamını görünür viskoziteyi %50'ye kadar azaltarak düşürmüştür. YBH ortalama partikül çapını orijinal değerinin %12'sine kadar azaltmıştır. Ürün rengi YBH tarafından etkilenmemiştir. Sonuçlar, YBH'nin portakal suyu konsantresinin konsistensini ve sürtünme kaybını azaltarak işleme ve dağıtım sırasında akış için gereken enerji miktarını en aza indirmede kullanılabileceğini göstermektedir.

Qiu ve ark. (2014)'ün yaptıkları bir araştırmada, yüksek basınç homojenizasyonun buğday nişastası granülleri üzerindeki etkilerini araştırmak için yumuşak buğday nişastası süspansiyonlarına (%5.0) 0 ile 100 MPa arasında değişen basınçlarda YBH uygulanmıştır. Buğday nişastası YBH'den sonra kısmen jelatinleşmiş ve homojenizasyon basıncı 100 MPa olduğunda jelatinizasyon derecesi %25.96'ya yükselmiştir.

Tribst ve Cristianini (2012) ticari glukoz oksidaz aktivitesi üzerine YBH uygulamasının etkilerini araştırmıştır. Sonuçlar düşük basınçların (50 MPa) numunelerin pH 5.0'da homojenleştirildiği zaman değerlendirilen tüm sıcaklıklarda glukoz oksidaz bağlı etkinliğini azalttığını göstermiştir.

Liu ve ark. (2013) soya unu partikül büyüklüğünün azaltılması, soya proteinlerinin termal olarak denatüre edilmesi ve yüksek kaliteli tofunun yapılmasında YBH kullanmışlardır. Elde edilen sonuç YBH ile muamele edilmiş soya unu süspansiyonunun kontroldekinden daha küçük ve daha düzgün bir partikül boyutuna sahip olduğunu göstermiştir. Uygun basınç ve döngülerde YBH ile muamele edilmiş soya unu ile yapılan tofunun sertliği, sakızimsılığı ve çiğneme derecesi kontrol örneğine benzer bulunmuştur. Bütün sonuçlar YBH'nin soya unu partikül büyüklüğünü azalttığını, soya proteinlerini denatüre ettiğini ve lif gibi yüksek seviyedeki fonksiyonel bileşenlere elverişli bir tofu üretebildiğini göstermiştir.

Kuhn ve Cunha (2012) yüksek basınç homojenizasyon (20-100 MPa) ve homojenizasyon döngülerinin (1-7) keten tohumu yağı-peynir altı suyu protein izolatu emülsiyonlarının stabilitesi üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. Homojenizasyon basıncında 20 ile 80 MPa'lık bir artış ve 3'e kadar döngü sayısı daha yüksek polidispersiteye rağmen yağ/su emülsiyonlarının ortalama damlacık boyutunu azaltmıştır. Daha düşük basınçlarda homojenize edilen emülsiyonların (20 MPa) partikülleri monomodal dağılım gösterirken 80 MPa'ya kadar olan basınç artışı damlacıkların birleşmesini gösteren bimodal dağılım göstermiştir. Yüksek basınç homojenizasyon (80 MPa) ve homojenizasyon döngü sayısındaki artış yüksek molekül ağırlıklı agregatların (>200 kDa) oluşumuna yol açarak emülsiyonların viskozitesinde artışa neden olmuştur. Homojenizasyon basıncındaki artış sıcaklık ve damlacıkların yüzey alanındaki artışla açıklanabilen birincil oksidasyon ürünlerinin oluşumunu da artırmıştır.

Calligaris ve ark. (2012) muz suyu üretiminde yüksek basınç homojenizasyonun (YBH) potansiyel uygulanabilirliğini değerlendirmiştir. Artan basınçta homojenize edilmiş numunelerin sıcaklığı, mikrobiyal yükü, pektat liyaz aktivitesi, renk ve viskozitesi değerlendirilmiştir. Toplam mezofilik bakteri ve pektat liyaz inaktivasyonunun 4 log azaltılması için 200 MPa'dan daha yüksek basınçlara ihtiyaç duyulduğu tespit edilmiştir. YBH muz suyunda işlenmemiş olan örneğe kıyasla daha parlak renk ve daha düşük viskoziteye neden olmuştur. Veriler YBH uygulamalarının katma değerli meyve suları üretimi için geleneksel ısı işlemlere güvenilir bir teknolojik alternatif olabileceğini göstermektedir.

Yapılan bir araştırmada, yüksek basınç homojenizasyon (YBH) ve/veya ısı işlemin etanol-su çözeltisi içindeki zeinin fiziksel, yapısal, termal ve morfolojik özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Sonuçlar YBH'nin zein nanopartiküllerinin boyutunu önemli ölçüde azalttığını göstermiştir. Hem YBH hem de ısı işlem ultraviyole emilimi ve floresan yoğunluğunun artmasının yanı sıra zeinin gelişmiş termal stabilitesine yol açmıştır. Tek başına YBH ve ısı işlem ile karşılaştırıldığında ısı ve YBH'nin kombine uygulaması %49.2'den %67.1'e yükselen α -heliks içeriği ile zein ikincil yapısında daha belirgin değişikliklere neden olmuştur (Sun ve ark., 2016).

Wang ve ark. (2011) YBH'nin keten tohumu gam çözeltisinin reolojik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Keten tohumu gamının görünür viskozitesi homojenizasyon basıncının artmasıyla azalırken çözeltinin sıcaklığı aynı zamanda kademeli olarak artmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Süt tozu üretiminde kullanılan koyulaştırılmış sütler

Süt tozlarının üretiminde kullanılan yağsız ve yağlı koyulaştırılmış sütler Enka Süt A.Ş.'den (Konya) temin edilmiştir. Koyulaştırılmış sütler işletmede endüstriyel süt tozu üretim prosesine göre üretilmiştir. Koyulaştırılmış sütlerin üretimini müteakip en kısa sürede laboratuvara getirilerek yüksek basınç homojenizasyon uygulanmış ve süt tozuna işlenmiştir.

3.1.2. Ambalaj materyali

Ambalaj materyali olarak süt tozunun endüstriyel olarak ambalajlanmasında kullanılan üç kat kraft kâğıt kaplı polietilen torba kullanılmıştır. Bu ambalaj materyalinin kullanım amacı oksijen ve nem geçirgenliğinin düşük olmasıdır. Böylelikle depolama süresince süt tozlarının nem çekmesi ve oksijen ile okside olması minimuma inmektedir. Süt tozlarının ambalajlanmasında yaklaşık 1000 g süt tozu alabilecek boyuttaki ambalaj materyali kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Süt tozu örneklerinin üretimi

Süt tozu üretiminde kullanılan yüksek basınç homojenizasyon (YBH) ve püskürterek kurutma şartlarını belirlemek amacıyla ön denemeler Necmettin Erbakan Üniversitesi Gıda Mühendisliği laboratuvarında bulunan Buchi B-290 (Buchi, Flawil, İsviçre) laboratuvar tipi püskürterek kurutucu ve Panda Plus 2000 laboratuvar tipi yüksek basınç homojenizatör (GEA Niro Soavi, Parma, İtalya) kullanılarak yapılmıştır. Ön deneme sonuçlarına göre belirlenen YBH ve kurutma şartları asıl denemelerde kullanılmıştır. Asıl deneme üretiminde koyulaştırılmış süt üretimi ve kurutma işlemi Enka Süt A.Ş.'de, YBH işlemi Necmettin Erbakan Üniversitesi Gıda Mühendisliği laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Süt tozu üretiminde kullanılacak koyulaştırılmış sütlerin üretimi amacı ile alınan her sütün gerekli kimyasal kontrolleri yapılarak uygun bulunan sütler süzölmüş ve 63°C'de ön ısıtma işlemi uygulanmıştır. Ardından seperatör ile sütlerin yağ oranları

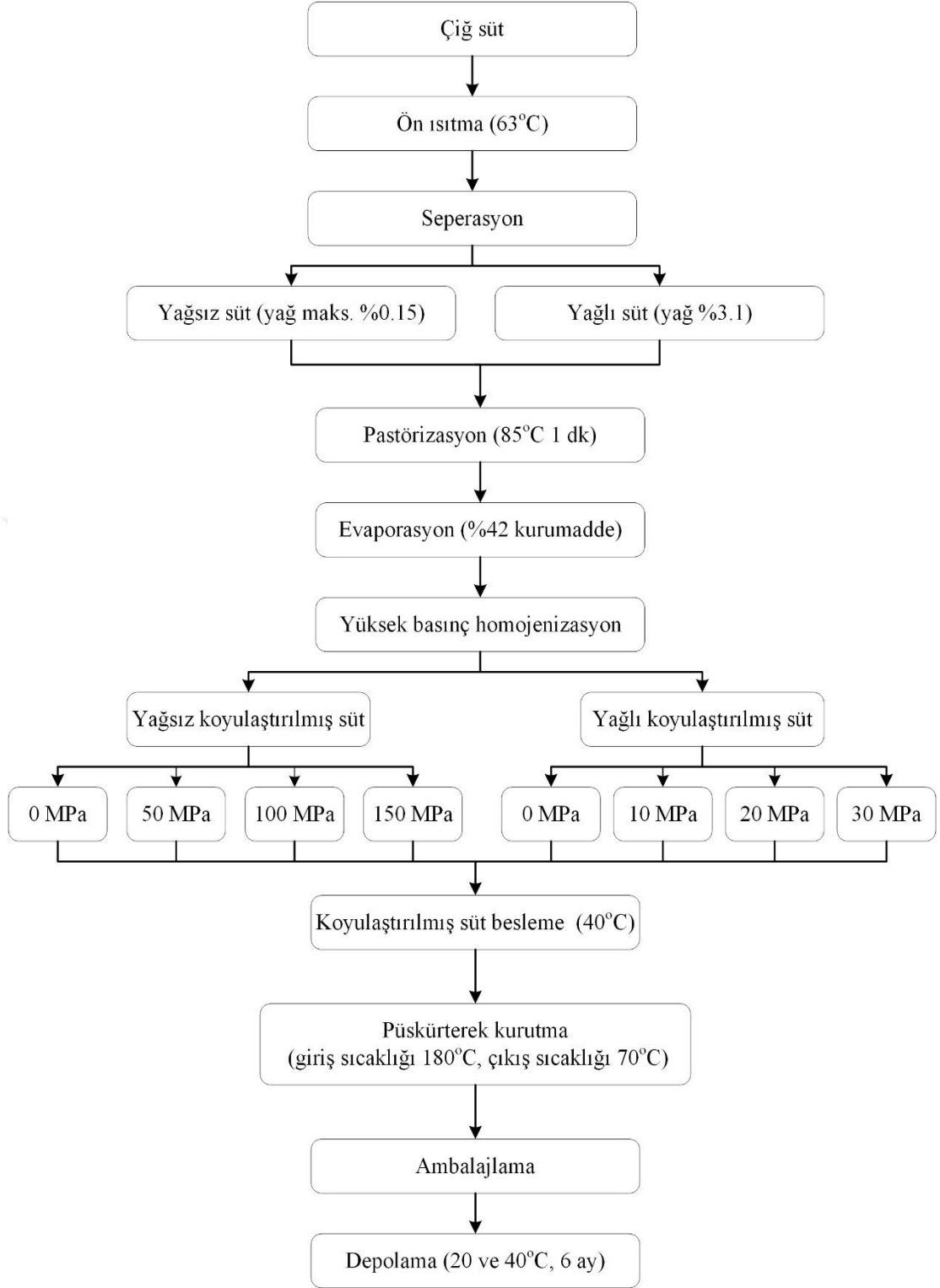
yağsız süt için maks. %0.15 (tozda maks. %1.5) ve yağlı süt için %3.1 (tozda min. %26) olacak şekilde standardize edilmiştir. Standardize edilmiş sütler 85°C’de 1 dk pastörize edilmiştir. Ardından sütler düşen film evaporatör kullanılarak yaklaşık %42±2 kuru madde olacak şekilde koyulaştırılmıştır.

Koyulaştırılmış sütlerin üretimini müteakiben yüksek basınç homojenizasyon (YBH) işlemine geçilmiştir. Her parti için 25 l koyulaştırılmış süte 9 l/saat akış hızında Panda Plus 2000 laboratuvar tipi yüksek basınç homojenizatör (GEA Niro Soavi, Parma, İtalya) kullanılarak YBH uygulanmıştır. Koyulaştırılmış sütlerin homojenizatöre giriş sıcaklığı 40°C olarak uygulanmıştır. Yağsız koyulaştırılmış sütlerle 50, 100 ve 150 MPa’da YBH işlemi uygulanırken yağlı koyulaştırılmış sütlerle 10, 20 ve 30 MPa’da YBH uygulanmıştır. Her iki koyulaştırılmış süt için de homojenize edilmemiş (0 MPa) kontrol grubu üretilmiştir. Yağlı koyulaştırılmış sütlerle 30 MPa üzerinde basınç uygulandığında aşırı viskozite artışına bağlı cihazda tıkanmaya yol açtığından dolayı maksimum homojenizasyon basıncı 30 MPa olarak belirlenmiştir. Süt tozlarının üretiminde uygulanan gruplar Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Koyulaştırılmış sütlerle YBH işlemi uygulamasını takiben kurutma işlemine geçilmiştir. Kurutma işleminde pilot ölçekli püskürterek kurutucu (GEA Niro Atomizer, GEA Process Engineering A/S, Soeborg, Danimarka) kullanılmıştır. Örneklerin püskürterek kurutulmasında giriş sıcaklığı 180°C ve çıkış sıcaklığı 70°C olarak uygulanmıştır. Yağsız ve yağlı süt tozları üretildikten sonra yaklaşık 1000’er g olacak şekilde 3 kat kraft kâğıt kaplı polietilen torba ile ambalajlanmıştır. Ambalajlanan süt tozları 20 ve 40°C sıcaklıklarda 6 ay süreyle depolanmıştır. Süt tozlarına depolamanın 0., 30., 90. ve 180. günlerinde gerekli analizler uygulanmıştır. Süt tozlarının üretiminde kullanılan akım şeması Şekil 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Süt tozlarının üretiminde uygulanan gruplar

Koyulaştırılmış Süt	Yüksek Basınç Homojenizasyon (MPa)	Depolama Sıcaklığı	
		20°C	40°C
Yağsız	0	X	X
	50	X	X
	100	X	X
	150	X	X
Yağlı	0	X	X
	10	X	X
	20	X	X
	30	X	X



Şekil 3.1. Süt tozu üretim akım şeması

3.2.2. Süt ve koyulaştırılmış sütlere uygulanan analizler

Çiğ süt ve koyulaştırılmış sütlere kuru madde, yağ, protein, titrasyon asitliği, laktoz ve kül analizleri AOAC metotlarına göre belirlenmiştir (AOAC, 2005). pH değerleri Sentix 42 elektrotlu 315i/SET (WTW, Almanya) el tipi pH metre ile ölçülmüştür.

3.2.3. Süt tozlarına uygulanan analizler

3.2.3.1. Fizikokimyasal analizler

3.2.3.1.1. Nem

Süt tozlarının nem içeriği gravimetrik olarak belirlenmiştir. Kurutma kapları etüvde kurutulduktan sonra desikatörde soğutularak daraları alınmıştır. Darası alınmış kurutma kaplarına yaklaşık 3 g süt tozu örneği tartılmış ve sıcaklığı $102\pm 2^{\circ}\text{C}$ olan etüvde 3 saat bekletilmiştir. Bu işlem sonrasında örnekler etüvden alınarak desikatörde oda sıcaklığına soğutulmuş ve tartılmıştır. Örneklerin % nem içeriği aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (GEA, 2006a).

$$\% \text{ Nem} = \frac{b-c}{b-a} \times 100 \quad (1)$$

a: Kurutma kabının darası (g)

b: Kurutma kabı + toz örnek (g)

c: Kurutma kabı + kurutulmuş toz örnek (g)

3.2.3.1.2. pH

Süt tozları %10 yağsız kuru madde olacak şekilde rekonstitüe edildikten sonra pH değerleri Sentix 42 elektrotlu 315i/SET (WTW, Almanya) el tipi pH metre ile ölçülmüştür. Ölçüm öncesi standart buffer çözeltiler (pH 4.01 ve 7.01; WTW) kullanılarak cihaz kalibre edilmiştir.

3.2.3.1.3. Titrasyon asitliği

Rekonstitüe edilmiş sütler (%10 yağsız kuru madde) fenolftaleyn indikatörü eşliğinde 0.1 N NaOH ile kalıcı pembe renk elde edilinceye kadar titre edilmiştir.

Titrasyon asitliği değerleri aşağıdaki formüle göre hesaplanarak sonuçlar % laktik asit (%LA) cinsinden verilmiştir (GEA, 2006b).

$$\% \text{ Laktik asit} = \frac{\text{ml} \times N \times 90 \times 100}{V \times 1000} \quad (2)$$

ml: Harcanan 0.1 N NaOH (ml)

N: NaOH'ın normalitesi

V: Titrasyonda kullanılan süt (ml)

3.2.3.1.4. Yağ

Süt tozlarının yağ içeriğinin belirlenmesinde %0-35 skalaya sahip Teichert süt tozu bütirometreleri kullanılmıştır. Bütirometreye sırasıyla 10 ml 1.816 g/ml yoğunluklu H₂SO₄ (sülfürik asit), 8 ml distile su, tam olarak tartılmış 2.5 g süt tozu ve 1 ml amil alkol (0.811 g/ml) eklenmiştir. Sonrasında bütirometrenin tıpası kapatıldıktan sonra 15 dk Gerber santrifüjünde (Funke Gerber, Almanya) santrifüjlenmiştir. Örneklerin yağ oranı % yağ olarak bütirometre skalasından direkt olarak okunmuştur (GEA, 2005).

3.2.3.1.5. Protein

Süt tozlarının protein miktarı Kjeldahl metoduyla Kjeltch (Kjeltec-8200, Foss Electric, Danimarka) cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Analiz için 1 g süt tozu örneği Kjeldahl tüpüne tartılmıştır. Tüpün içerisine 2 adet Kjeldahl tableti atılıp üzerine 10 ml H₂SO₄ ilave edilip gaz çıkışı bitinceye kadar (10-15 dk) beklenmiştir. Daha sonra tüpler 400-420°C sıcaklıkta berraklaşmaya kadar yakılmış ve oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Sonrasında tüplere 50 ml saf su ve 50 ml %40'lık NaOH ilave edildikten sonra distile edilmiştir. Distilat 50 ml %4'lük borik asit üzerine toplanmıştır. Distilat 0.1 N HCl ile titre edilmiştir. Örneklerin % protein içeriği toplama azota bağlı olarak aşağıdaki eşitliklere göre hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Azot} = \frac{(v_{\text{örnek}} - v_{\text{şahit}}) \times 0.1 \times 14.007}{m_{\text{örnek}} \times 1000} \quad (3)$$

$v_{\text{örnek}}$ ve $v_{\text{şahit}}$; örnek ve şahit için harcanan HCl hacmini, $m_{\text{örnek}}$ ise örnek ağırlığını ifade etmektedir.

$$\% \text{ Protein} = \text{Azot (\%)} \times 6.38 \quad (4)$$

3.2.3.1.6. Kül

Analiz öncesi porselen krozeler yakılmış ve ardından oda sıcaklığına soğutularak darası alınmıştır. 1-5 g örnek tartılarak önceden yakılmış porselen krozelere alınmıştır. Örnekler kül fırınında 525°C’de hiç siyahlık kalmayıncaya kadar yaklaşık 16 saat süreyle yakılmıştır. Yakma işlemi bittikten sonra örnekler desikatörde soğutulduktan sonra tartılmıştır. Sonuç % kül olarak aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (GEA, 2004).

$$\% \text{ Kül} = \frac{a-b}{c-b} \times 100 \quad (5)$$

a: Krozenin darası + yanmış örnek (g)

b: Krozenin darası (g)

c: Krozenin darası + örnek (g)

3.2.3.1.7. Su aktivitesi

Süt tozlarının su aktivitesi (a_w) Novasina LabMaster-aw cihazı (Novasina AG, Lachen, İsviçre) kullanılarak belirlenmiştir. Ölçüm öncesi cihazın kalibrasyonu Salt-T bağıl nem standartları (Novasina AG) ile yapılmıştır.

3.2.3.1.8. Renk ölçümü

Renk analizleri Chroma Meter CR400 renk ölçüm cihazı (Minolta, Osaka, Japonya) ile yapılmıştır. Örnekler standart ölçüm amacıyla su aktivitesi kaplarına koyularak referans tablo üzerinde ölçüm yapılmıştır. L, a ve b değerleri CIELAB renk aralığına göre belirlenmiştir. L parlak/koyu (0 siyah, 100 beyaz), a yeşil/kırmızı (-60 yeşil, 60 kırmızı) ve b mavi/sarı (-60 mavi, 60 sarı) aralığını belirtmektedir. Ölçüm öncesi, cihaz referans tabla (L= 97.10, a= -4.88, b= 7.04) kullanılarak kalibre edilmiştir (Francis, 1998).

3.2.3.1.9. Hidroksimetilfurfural (HMF)

Süt tozlarının hidroksimetilfurfural (HMF) içeriği Keeney ve Bassette (1959) tarafından belirtilen metoda göre belirlenmiştir. Öncelikle 10 g yağsız veya 13 g yağlı süt tozu 100 ml suda rekonstitüe edilmiş ve deney tüpü içerisine 10 ml süt koyulmuştur.

İçinde süt bulunan deney tüplerine 5 ml 0.3 N okzalik asit ilave edilerek karıştırılmış ve bir saat süreyle kaynar su banyosunda bekletilmiştir. Süre sonunda tüpler çıkarılıp oda sıcaklığına kadar soğutularak 5 ml %40'lık triklorasetik asit (TCA; Sigma-Aldrich, Almanya) eklenip karıştırılmış ve Whatman 42 filtre kâğıdından süzülmüştür. Süzüntüden başka bir tüp içerisine 4 ml alınarak üzerine 1 ml 0.05 M 2-tiyobarbitürik asit (TBA; Sigma-Aldrich) eklenmiş ve karıştırıldıktan sonra sıcaklığı 40°C olan su banyosunda 30-40 dk bekletilmiştir. Tüpler oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra spektrofotometre kullanılarak 443 nm dalga boyunda absorpsiyon değerleri ölçülmüştür. Ölçüm öncesi spektrofotometrenin sıfırlanması süt yerine damıtık su kullanılarak hazırlanan şahit çözeltiyle yapılmıştır. Bulunan absorpsiyon değerlerinden aşağıdaki eşitlik yardımıyla HMF miktarı hesaplanmıştır.

$$\text{HMF } (\mu\text{M}) = (\text{Absorbans} - 0.055) \times 87.5 \quad (6)$$

3.2.3.1.10. Sıkıştırılmış yığın yoğunluğu

Paslanmaz çelikten yapılmış özel bir silindire koyulan tam 100 cm³ hacmindeki süt tozuna belirli sayıda (100 kez) vurularak örneğin ağırlığı kaydedilmiş ve süt tozunun kütle yoğunluğu eşitlik yardımıyla hesaplanmış ve sonuçlar gr/cm³ olarak belirtilmiştir (IDF, 1995).

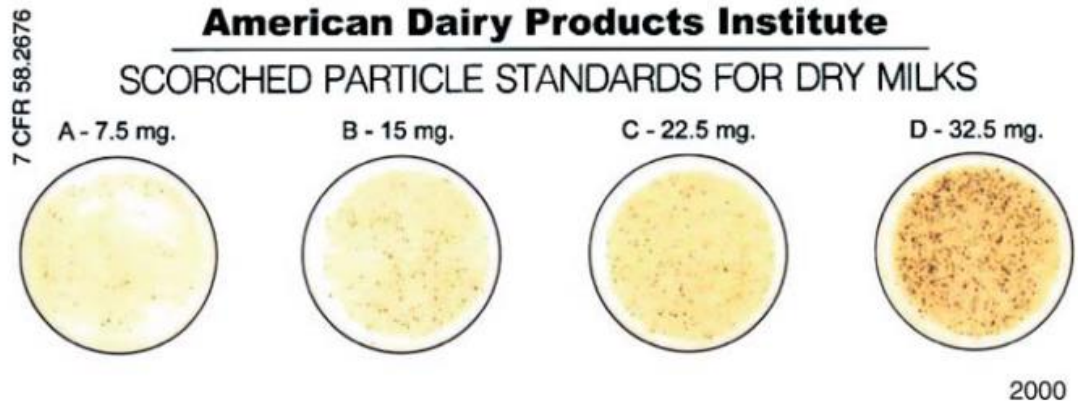
$$\text{Sıkıştırılmış yığın yoğunluğu (g/cm}^3\text{)} = \frac{a}{100} \quad (7)$$

a : Süt tozunun ağırlığı (g)

100: Silindirin hacmi (cm³)

3.2.3.1.11. Yabancı yanık madde

Süt tozları rekonstitüe hale getirildikten sonra özel filtreden süzölmüş ve ardından kurutularak standart test şeması ile karşılaştırılıp yabancı yanık madde içeriği belirlenmiştir (ADPI, 2002). Bu analizde kullanılan karşılaştırma test şeması Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Kurutulmuş süt ürünleri için yanık madde karşılaştırma tablosu

3.2.3.1.12. Tiyobarbitürik asit reaktif bileşeni (TBARS) analizi

Süt tozu örneklerinin tiyobarbitürik asit reaktif bileşeni (TBARS) analizi Nanua ve ark. (2000) tarafından belirtilen metoda göre yapılmıştır. 5 g örnek bir Kjeldahl tüpü içinde 93 ml saf su ile karıştırılmıştır. Sonrasında örnek karışımına 1.4 ml 4 M HCl, 400 µl Tween 80, 200 µl antifoam A, 200 µl bütil hidroksi tolüen ve birkaç tane cam boncuk eklenmiştir. Karıştırıldıktan sonra beher içeriği Kjeldahl distilasyon ünitesi kullanılarak distile edilmiştir. 5 ml distilat deney tüpüne koyulmuş ve üzerine saf asetik asit içinde 5 ml 20 mM tiyobarbitürik asit çözeltisi eklenmiştir. Ardından deney tüpü 35 dk kaynayan su banyosunda bekletilmiş ve sonrasında soğutulmuştur. Ardından spektrofotometre ile 538 nm’de absorbans ölçülmüştür. Kör numune için saf su kullanılmıştır. Distilatta TBARS konsantrasyonu, 1,1,3,3-Tetraethoxypropane ile tiyobarbitürik asidin (TBA) reaksiyon çözeltileri ile oluşturulan kalibrasyon küresini ile belirlenmiştir. Son olarak orijinal ürünlerdeki TBARS konsantrasyonu mg malonaldehit/kg olarak hesaplanmıştır.

3.2.3.2. Fonksiyonel özelliklerin belirlenmesine yönelik analizler

3.2.3.2.1. Çözünürlük

Süt tozlarının çözünürlükleri Amerikan Süt Ürünleri Enstitüsü (ADPI) tarafından belirtilen metoda göre belirlenmiştir (ADPI, 2002). Süt tozları %10 yağsız kuru madde olacak şekilde rekonstitüe edildikten sonra 50 ml hacimli derecelendirilmiş özel çözünürlük testi tüplerine (Art. No3634, Funke Gerber, Almanya) koyulmuştur. 1100 rpm’de 10 dk santrifüjledikten sonra tüpün dibindeki sediment miktarı ml olarak okunmuştur. Örneklerin çözünürlüğü hesaplanırken aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$\text{Çözünabilirlik (\%)} = 100 - [2 \times \text{sediment (ml)}] \quad (8)$$

3.2.3.2.2. Dağılabilirlik

Dağılabilirlik tayini için 250 ml'lik behere yağsız süt tozları için $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ve yağlı süt tozları için $40 \pm 2^\circ\text{C}$ sıcaklıkta 100 g su koyulmuştur. 10 g yağsız süt tozu veya 13 g yağlı süt tozu behere boşaltılır boşaltılmaz kronometreye basılarak spatül ile 15 saniye içerisinde 25 ileri geri hareket yapacak şekilde karıştırılmıştır. Rekonstitüe süt 150 μm 'lik metal bir elekten süzölmüş ve süzöntünün kuru maddesi 105°C 'de 4 saat kurutmayla belirlenmiştir. Dağılabilirlik aşağıdaki formülle hesaplanmıştır (Schuck ve ark 2012).

$$\text{Dağılabilirlik (\%)} = \frac{(100 + a) \times \text{KM}}{a \times \left(\frac{100 - b}{100} \right)} \quad (9)$$

KM: Rekonstitüe sütün elekten geçtikten sonraki kuru madde içeriği (%)

a: Kullanılan süt tozu miktarı (g)

b: Süt tozunun nem oranı (%)

3.2.3.2.3. İslanabilirlik

Süt tozlarının ıslanabilirliği IDF metodunun modifiye edilmesiyle belirlenmiştir (IDF, 2014) Öncelikle 600 ml'lik beherin içine 25°C sıcaklıkta 300 ± 1 ml saf su koyulmuştur. İçinde su bulunan beher manyetik karıştırıcı üzerinde 400 rpm'de karıştırılırken süt tozunu suyun üzerine eşit ve aynı dökecek bir mekanizmayla 10 g süt tozu suya boşaltılmış ve kronometre çalıştırılmıştır. Süt tozlarının tamamen ıslanması için gereken süre (s) ıslanabilirlik olarak verilmiştir.

3.2.3.2.4. Köpük oluşturma kapasitesi

Süt tozlarının köpük oluşturma kapasitesini belirlemek için 10 g yağsız veya 13 g yağlı süt tozu 20°C sıcaklıktaki 100 ml suda rekonstitüe edilmiştir. Rekonstitüe sütler Waring blenderde (Waring 8011S/G, A.B.D) Lo-1 kademesinde 30 s karıştırılmış ve 250 ml'lik ölçü silindire dökülmüştür. Toplam hacim belirlenerek köpük oluşturma kapasitesi yüzde olarak hesaplanmıştır.

3.2.3.3. Toz akış analizleri

Süt tozlarının toz akış özelliklerinin belirlenmesinde Toz Akış Analiz sistemiyle donatılmış TA.XTPlus tekstür analiz cihazı (Stable Micro Systems, Godalming, Surrey, Birleşik Krallık) kullanılmıştır. Toz Akış Analiz Cihazına 49.0 N kapasiteli yük hücresi takılmıştır. Toz Akış Analiz sisteminde 220 ml toplam hacme sahip standart cam silindir (yüksekliği 120 mm ve iç çapı 50 mm) ve çapı 48 mm ve yüksekliği 10 mm olan özel bir döner bıçak (Rotor no. R48/50/10/2/A) kullanılmıştır. Analizlerden önce Toz Akış Analiz Cihazının kuvvet (19.6 N kuvvet kullanarak) ve yükseklik kalibrasyonu (yükseklik ve hedef kalibrasyon diski kullanılarak) gerçekleştirilmiştir.

Her analiz için yaklaşık 140 ml hacimde (yaklaşık 70 mm kolon yüksekliği) süt tozu örneği cam silindire koyulup örnek miktarı tartılmıştır. Her bir süt tozu örneğine kekleşme, kohezyon, dört hızda kohezyon ve hıza bağlı toz akış analizleri uygulanmıştır. Bu analizlerin sonuçları Exponent yazılımındaki (Ver. 6.1.13.0, Stable Micro Systems) ilgili makrolar kullanılarak değerlendirilmiştir.

Bu sistemde akış özellikleri harekete bağlı olarak bıçak ve tozun yer değiştirmesinden dolayı tozun cam silindirin altına uyguladığı kuvvetten belirlenmektedir.

3.2.3.3.1. Koşullandırma döngüsü

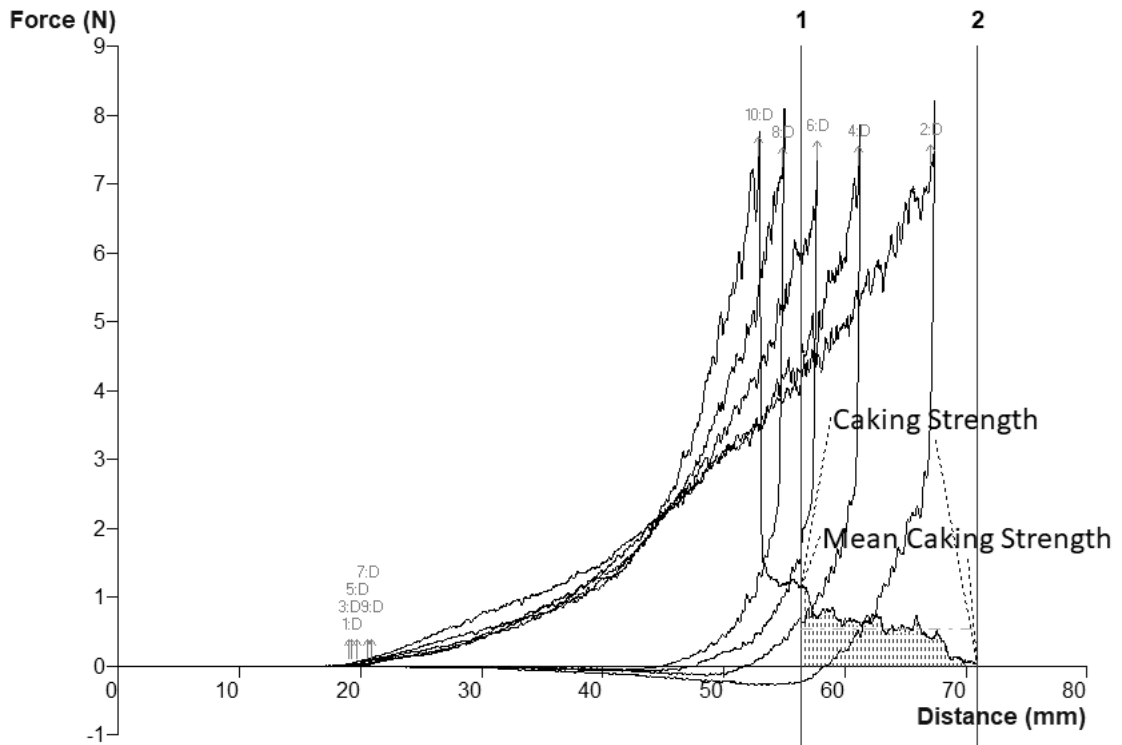
Süt tozlarının toz akışı analizlerinden önce herhangi bir kullanıcı yükleme farkını ortadan kaldırmak ve kaldırma hareketinden sonra süt tozu kolonunu düzenlemek için iki koşullandırma döngüsü gerçekleştirilmiştir. Her bir koşullandırma döngüsü 50 mm/s'lik çevresel hız ve 175° açıyla (dilimleme hareketi) 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. Kekleşme analizi

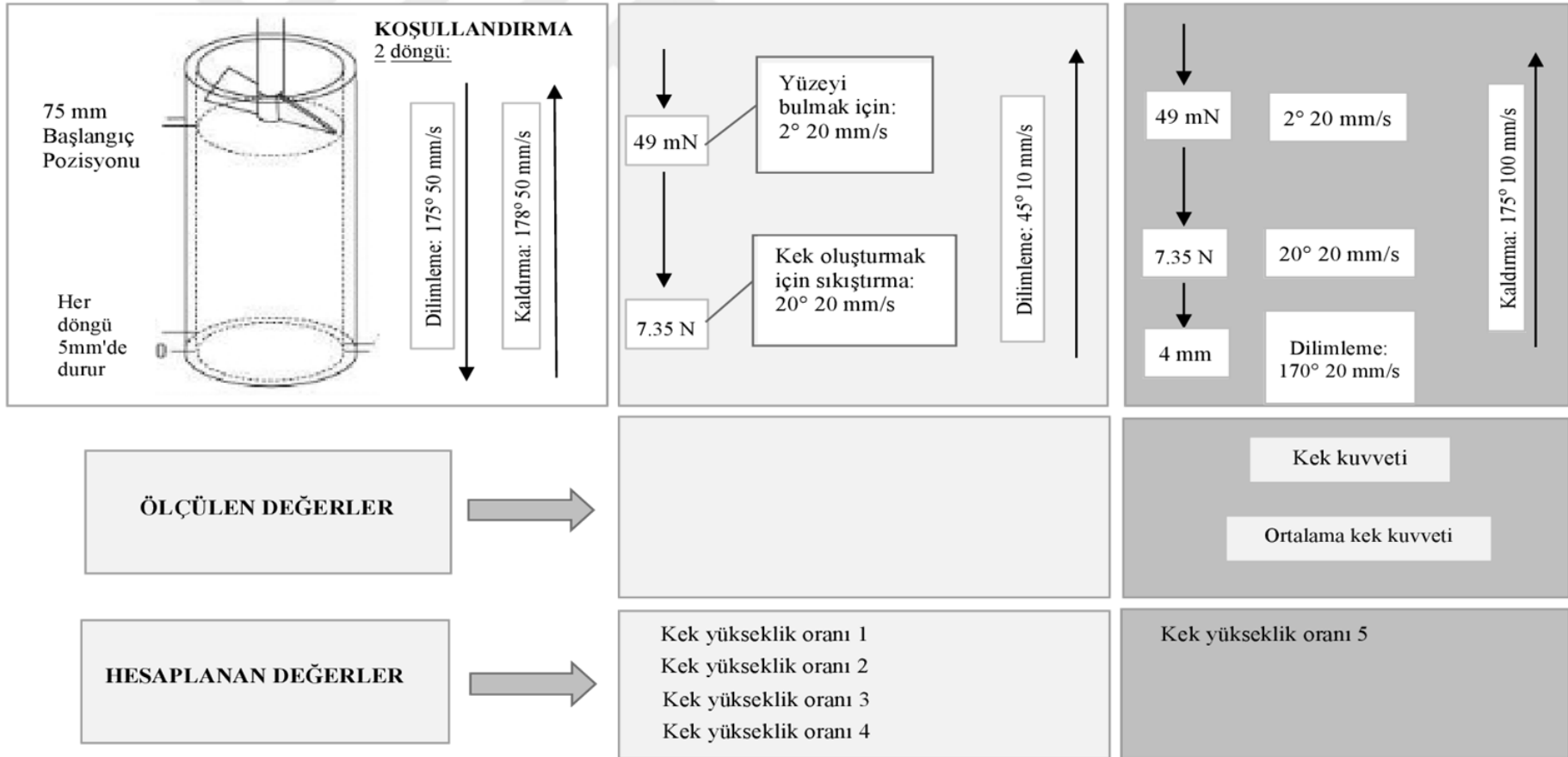
Öncelikle kekleşme analizi iki koşullandırma döngüsüyle başlamıştır. Sonrasında bıçak toz kolonunun tepe noktasını bulmak ve kolon yüksekliğini ölçmek için 20 mm/s hız ve 2° açıyla 49 mN kuvvete kadar toz kolonunu sıkıştırmıştır. Kolon yüksekliği ölçüldükten sonra kaydedilmiştir. Bu işlemi müteakiben bıçak 20 mm/s hız ve 20° açıyla toz kolonundan aşağıya doğru hareket etmiş ve kek oluşturmak için önceden belirlenen

7.35 N kuvvete ulaşınca kadar süt tozunu sıkıştırmıştır. Bıçak, hedef kuvvete (7.35 N) ulaştığında oluşan kek yüksekliğini ölçmüş ve 10 mm/s hız ve 45° açıyla tozu yukarı doğru dilimlemiştir. Bu sıkıştırma döngüsü toplamda beş defa tekrarlanmıştır. Döngüler arasında bıçak sallanmış ve 3 s beklemiştir. Beşinci defa hedef kuvvete (7.35 N) ulaşıldığında silindirin dibinde oluşan sıkıştırılmış süt tozu kekini dilimlemiş (20 mm/s ve 170°) ve bunu yapmak için gereken kuvveti ölçmüştür. Bu kuvvet, kek kuvveti (mN.m) olarak kaydedilmiştir ve keki kesmek için gereken ıştır. Ortalama kek kuvveti (N) ise gramdaki keki kesmek için gereken ortalama kuvvettir. Her döngü için kek yükseklik oranı, mevcut döngünün toz kek yüksekliğinin başlangıçtaki kolon yüksekliğine bölünmesiyle hesaplanmıştır. Kekleşme analizinin sonuçları kuvvet-konum grafiklerinden Exponent yazılımındaki ilgili makro kullanılarak elde edilmiştir. Kekleşme analizi için örnek bir kuvvet-konum grafiği Şekil 3.3’de, kekleşme analizinin şematik gösterimi ise Şekil 3.4’de gösterilmiştir.

$$\text{Her döngü için kek yükseklik oranı} = \frac{\text{mevcut döngünün kek yüksekliği}}{\text{başlangıçtaki toz kolonu yüksekliği}} \quad (10)$$



Şekil 3.3. Süt tozlarının kekleşme analizi için örnek bir kuvvet-konum grafiği

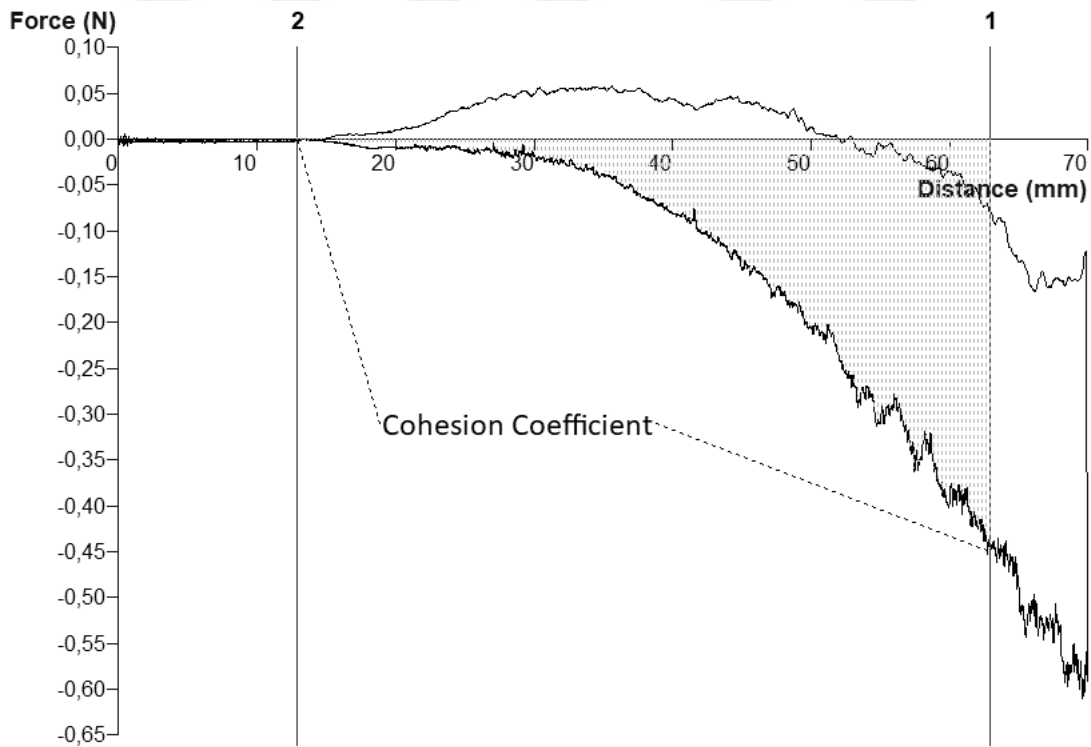


Şekil 3.4. Kekleşme analizinin şematik gösterimi

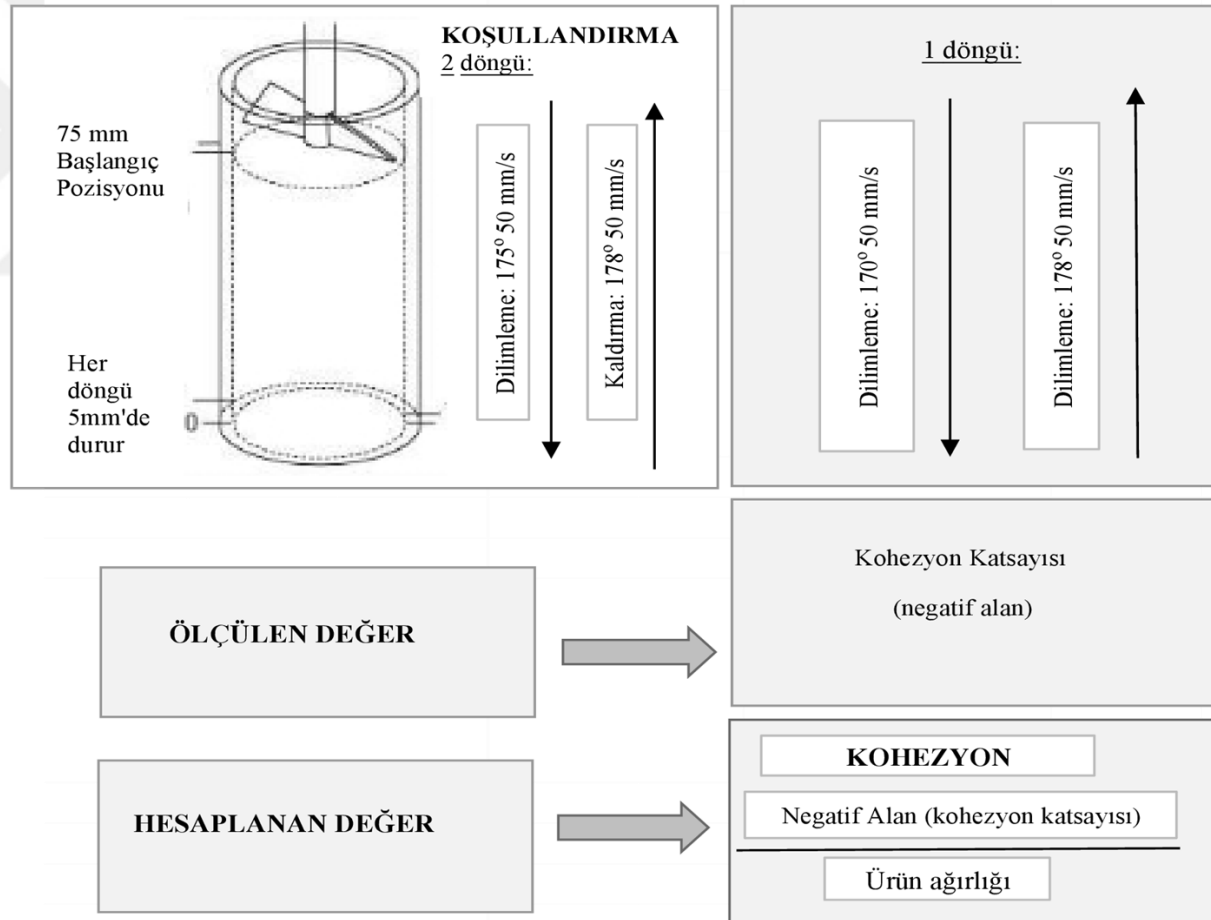
3.2.3.3. Kohezyon

Kohezyon analizi iki koşullandırma döngüsüyle başlamıştır. Koşullandırma döngülerinden sonra süt tozlarının kohezyon özellikleri bıçağın 50 mm/s hız ve 170° açıyla toz kolonundan aşağı yönlü hareketi ve sonrasında 50 mm/s hız ve 178° açıyla toz kolonundan yukarı doğru hareketten oluşan kohezyon analiziyle belirlenmiştir. Sıkıştırma etkisini minimize etmek için aşağı ve yukarı yönlü hareketlerde dilimleme hareketi kullanılmıştır. Döngünün yukarı yönlü kısmı tozu kaldırmış ve silindir tabanındaki tozun kuvveti kaydedilmiştir. Bu kuvvet kohezyon katsayısının belirlenmesinde kullanılmıştır. Kohezyon katsayısı kuvvet-konum grafiğindeki negatif alandan belirlenmiştir. Kohezyon analizi için örnek bir kuvvet-konum grafiği Şekil 3.5’de, şematik gösterim ise Şekil 3.6’da verilmiştir. Kohezyon indeksinin hesaplanmasında kohezyon katsayısı örnek ağırlığına bölünmüştür. Kohezyon indeksine bağlı olarak tozların akış davranışlarının sınıflandırılması Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

$$\text{Kohezyon indeksi} = \frac{\text{kohezyon katsayısı}}{\text{örnek ağırlığı}} \quad (11)$$



Şekil 3.5. Süt tozlarının kohezyon analizi için örnek bir kuvvet-konum grafiği



Şekil 3.6. Kohezyon analizinin şematik gösterimi

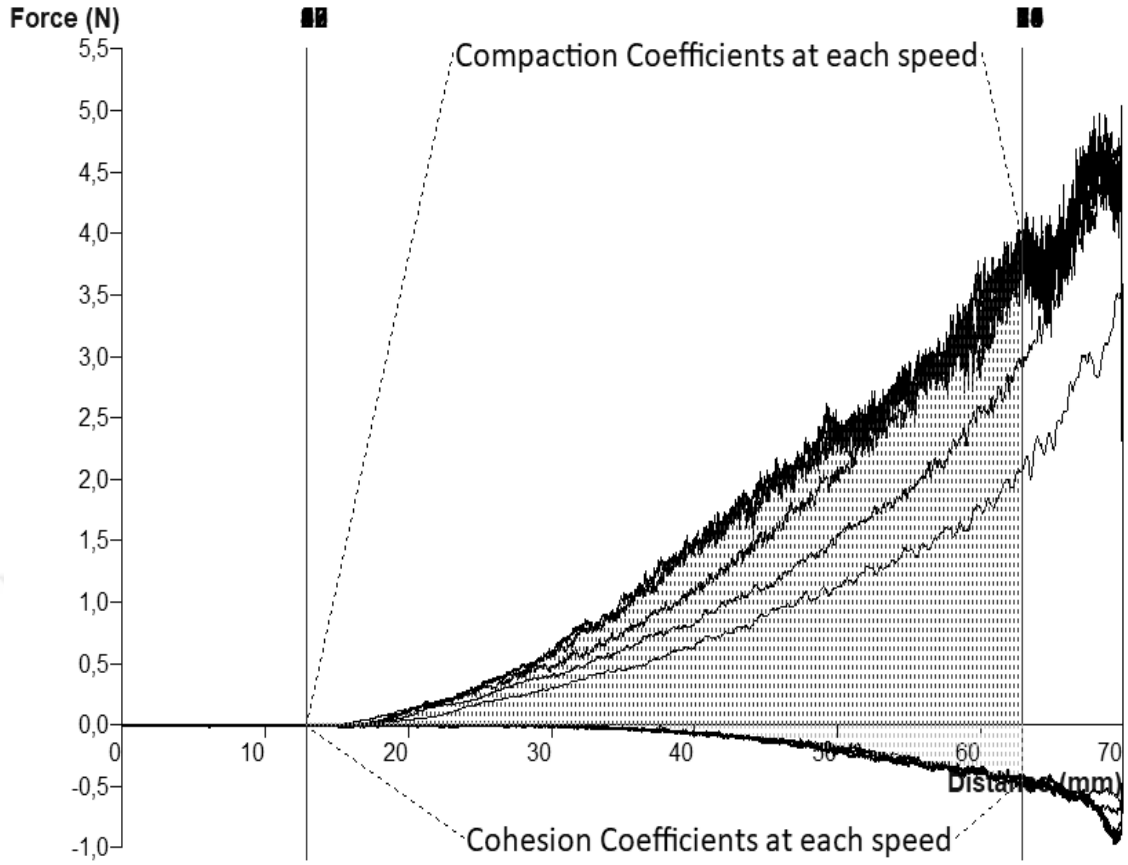
Çizelge 3.2. Kohezyon indeksine göre tozların akış davranışlarının sınıflandırılması

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

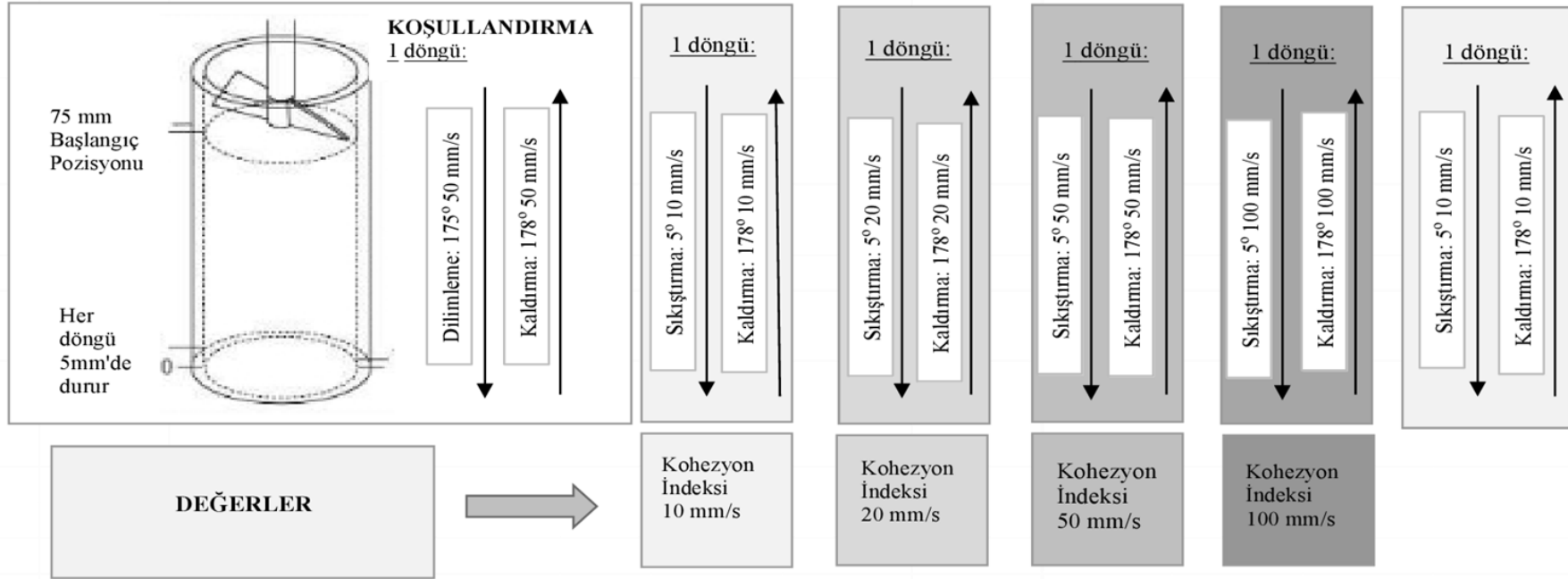
3.2.3.3.4. Dört hızda kohezyon analizi

Bu analiz standart kohezyon ve hıza bağlı toz akış özellikleri analizinden modifiye edilmiştir. Yukarı doğru döngüde dört farklı hızda kontrollü akışta toz örneğinin direncini ölçmektedir. Dört hızda kohezyon analizi; 1 koşullandırma döngüsünü takiben her iki yönde de eşit hızlarda olmak üzere 50 mm/s hızda 1 döngü, 20 mm/s hızda 1 döngü, 50 mm/s hızda 1 döngü, 100 mm/s hızda 1 döngü ve son olarak 10 mm/s hızda 1 döngüden oluşmaktadır. Döngülerin aşağı doğru olan kısımları (5°'lik sıkıştırma hareketi) tozu sıkıştırmış ve döngünün yukarı hareketi (178°'de kaldırma hareketi) bir kaldırma hareketi gerçekleştirmiştir. Böylelikle dört farklı hızda (10, 20, 50 ve 100 mm/s) kohezyon indeksi kohezyon katsayısının (döngünün yukarı doğru olan kısmı) örneğinin ağırlığına bölünmesiyle hesaplanmıştır. Şekil 3.7'de dört hızda kohezyon analizi için tipik bir kuvvet-konum grafiğini, Şekil 3.8'de ise analizin şematik gösterimi verilmiştir.

$$\text{Her hız için kohezyon indeksi} = \frac{\text{her hızdaki kohezyon katsayısı}}{\text{örnek ağırlığı}} \quad (12)$$



Şekil 3.7. Süt tozlarının dört hızda kohezyon analizi için örnek bir kuvvet-konum grafiği

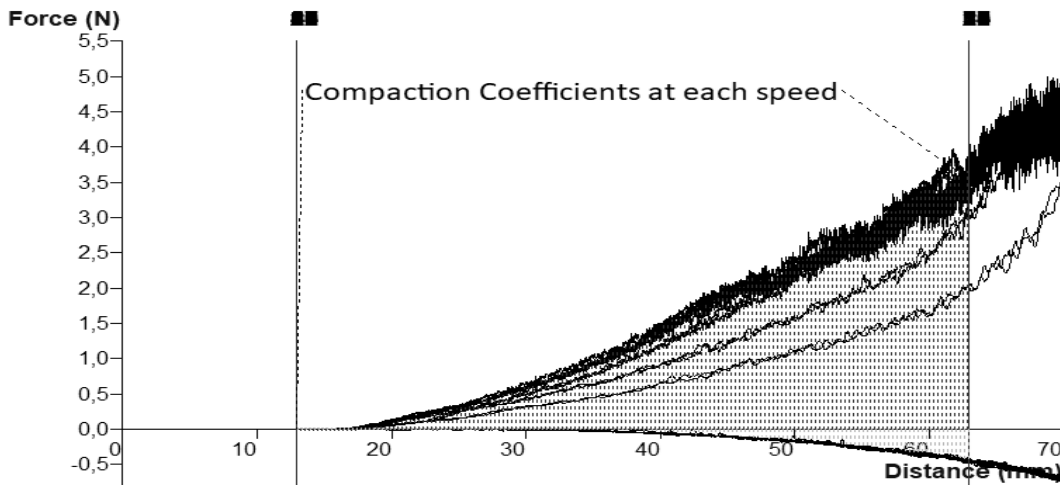


Şekil 3.8. Dört hızda kohezyon analizinin şematik gösterimi

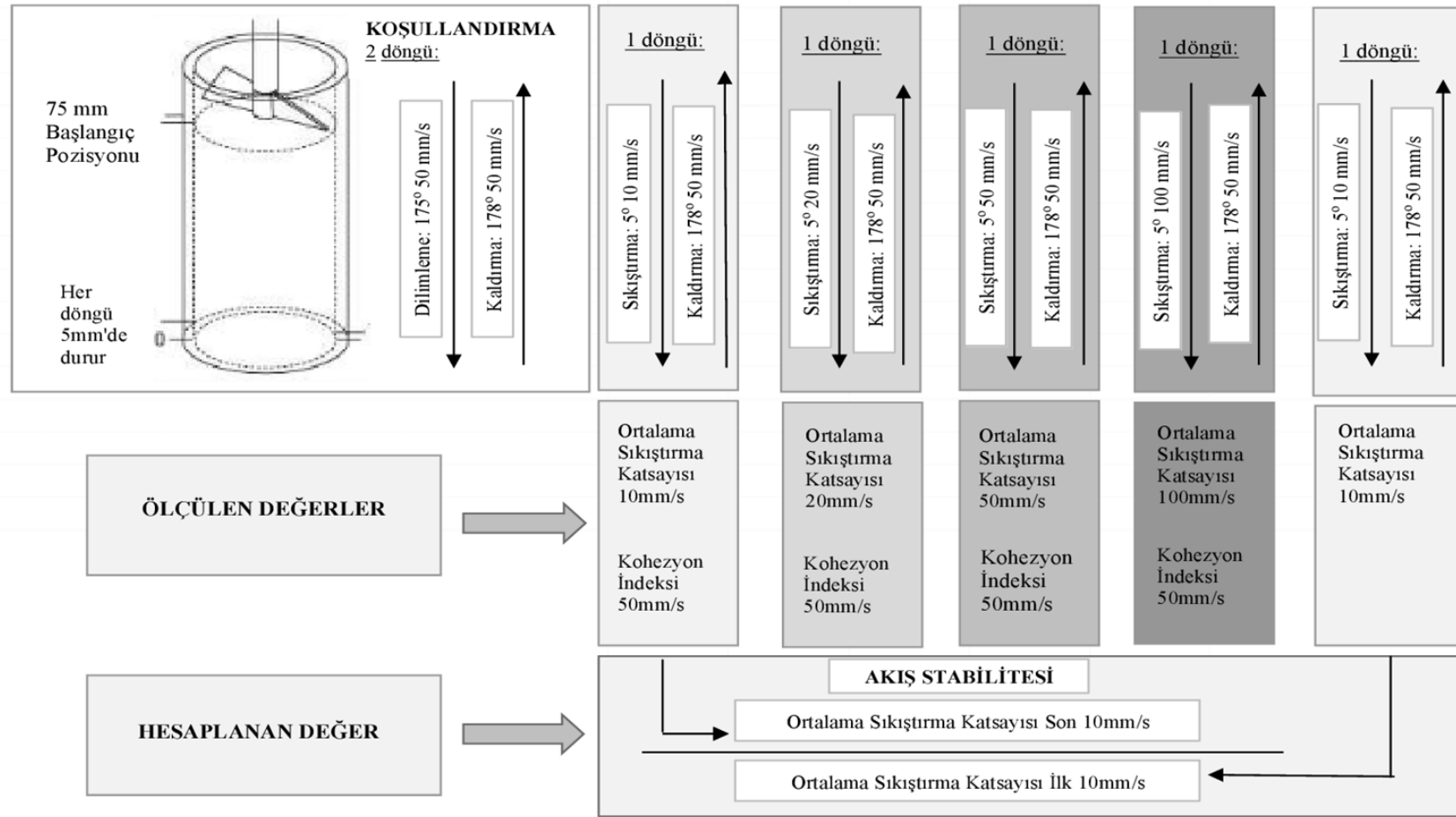
3.2.3.3.5. Hıza bağılı toz akış özellikleri

Hıza bağılı toz akış analizi, süt tozlarının akış hızına bağılı olarak tozların akış özelliklerini ölçmektedir. Hıza bağılı toz akış analizinin başlangıcında 2 koşullandırma döngüsü yapılmıştır. Koşullandırma döngülerinden sonra artan hızlarda (10, 20, 50 ve 100 mm/s) 2'şer döngüden oluşan 5 set ve müteakibinde 10 mm/s hızda 2 döngü ile analiz sonlandırılmıştır. İlk 2 döngünün aşağı yönlü hareketi 10 mm/s hız ve 5° açıyla gerçekleşmiştir. İlk 2 döngünün geri dönüş hareketi ise 50 mm/s hız ve 178° açıyla olmuştur. Sonraki 2 döngü aynı formatla başlamıştır. Ancak aşağı yönlü hareketi 20 mm/s hızda gerçekleşmiştir. Bu iki döngünün sonunda hız 50 mm/s'ye çıkarılmıştır ve sonraki 2 döngüde hız 100 mm/s olmuştur. Son iki döngüde ise hız 10 mm/s olarak belirlenmiştir. Bütün döngülerde yukarı yönlü hareket 50 mm/s hızda gerçekleşmiştir. Döngülerde aşağı yönlü hareket süt tozunu sıkıştırmış ve yukarı yönlü hareket kaldırma etkisi göstermiştir. Hıza bağılı toz akış analizinde kuvvet-konum grafiğinin (Şekil 3.9) pozitif alanı her hızda iki döngü için ortalaması alınmış ve her hız için sıkıştırma katsayısı (mN.m) olarak verilmiştir. İlk 10 mm/s grafiğinin negatif alanı 50 mm/s'de kohezyon katsayısı olarak (mN.m) verilmiştir. Akış stabilitesi aşağıdaki formülle hesaplanmıştır. Analizin şematik gösterimi ise Şekil 3.10'da verilmiştir.

$$\text{Akış stabilitesi} = \frac{\text{son 10 mm/s hızdaki ortalama sıkıştırma katsayısı}}{\text{ilk 10 mm/s hızdaki ortalama sıkıştırma katsayısı}} \quad (13)$$



Şekil 3.9. Süt tozlarının hızla bağılı toz akış özellikleri analizi için örnek bir kuvvet-konum grafiği



Şekil 3.10. Hıza bağlı toz akış özellikleri analizinin şematik gösterimi

3.2.3.4. Partikül boyutu ölçümü

Süt tozlarının partikül boyutu ölçümleri Scirocco 2000 kuru toz besleme ünitesi bağlanmış lazer kırınımı partikül boyutu analiz cihazı (Mastersizer 2000; Malvern Instruments Ltd., Worcestershire, Birleşik Krallık) ile kuru metoda göre belirlenmiştir. Sonuçlar cihazın yazılımı (Malvern Application, Ver. 5.60) kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuçlar şu şekilde verilmiştir:

$D[4,3]$ = Hacim ağırlıklı ortalama,

$$D[4,3] = \frac{\sum_{i=1}^n D_i^4 v_i}{\sum_{i=1}^n D_i^3 v_i} \quad (14)$$

$D[3,2]$ = Yüzey ağırlıklı ortalama

$$D[3,2] = \frac{\sum_{i=1}^n D_i^3 v_i}{\sum_{i=1}^n D_i^2 v_i} \quad (15)$$

$d(0.1)$ = Numunenin % 10'unun bu çapın altında olduğunu göstermektedir.

$d(0.5)$ = Numunenin % 50'sinin bu çapın altında olduğunu göstermektedir.

$d(0.9)$ = Numunenin % 90'ının bu çapın altında olduğunu göstermektedir.

Span = Dağılımın genişliğini medyan değere göre normalleştirmektedir.

$$\text{Span} = \frac{d(0.9) - d(0.1)}{d(0.5)} \quad (16)$$

Üniformite = Partikül boyutu dağılımının büyüklüğünü ve partikül boyutu dağılım eğrisinin gradyanını yansıtmaktadır.

Spesifik yüzey alanı = Partiküllerin toplam alanının, toplam ağırlığa bölünmesiyle hesaplanmaktadır.

3.2.3.5. Duyusal değerlendirme

Araştırmada üretilen yağlı ve yağsız süt tozları ile bunlardan elde edilen rekonstitüe sütlerin duyusal nitelikleri Rankin (2009) tarafından bildirilen duyusal değerlendirme çizelgesine (Çizelge 3.3) göre 5 kişilik bir panelist grubu tarafından

belirlenmiştir. Süt tozları görünüm ve ambalaj açısından değerlendirilirken rekonstitüe sütlerin aroma ve görünümü değerlendirmeye alınmıştır.

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	
Satılamaz 0	Tebeşir	
	Pişmiş	
	Yem	
Normal aralık 1-10	Fermente	
	Yavan	
	Yabancı	
	Zamk	
	Metalik	
	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	
	<u>Rekonstitüe üründe:</u>	
Normal aralık 1-5	Ayrılmış partiküller	
	Koyu partiküller	
	Taneli görünüm	
	Çözünmeyen topakçıklar	
Ambalaj (5 puan)	Puan:	
Eleştiri yok 5	Delik ambalaj	
Satılamaz 0	Lekeli-kirli ambalaj	
Normal aralık 1-5	Kapatılmamış ambalaj	

3.2.3.6. Süt tozlarının mikroyapılarının belirlenmesi

Süt tozlarının mikroyapılarının belirlenmesinde taramalı elektron mikroskopuyla (SEM) görüntüleme metodu kullanılmıştır. SEM görüntülemesi öncesinde süt tozu örnekleri SEM stublarının üzerindeki çift taraflı bant üzerine bırakılmıştır. Fazla partiküller stubın hafifçe sallanmasıyla uzaklaştırılmıştır. Stub üzerindeki örnekler hem çekim esnasında elektron bombardımanından korunmak hem de iletkenliği artırmak amacıyla karbon ile kaplanmıştır. Örneklerden Nova NanoSEM 450 cihazı (FEI, Eindhoven, Hollanda) kullanılarak 2 kV'da 80-2500 magnifikasyonda görüntüler alınmıştır.

3.2.3.7. İstatistiksel analizler

Araştırma sonucu elde edilen verilerin istatistiki değerlendirmeleri Minitab (Ver. 18, Minitab Inc., A.B.D.) paket programındaki General Linear Model komutu kullanılarak yapılmıştır. Varyasyon kaynağına ait ortalamaların karşılaştırılmasında Tukey metodu kullanılmıştır.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Hammadde Çiğ Süt ve Bu Sütlerden Üretilen Koyulaştırılmış Sütlerin Fizikokimyasal Özellikleri

Süt tozu üretiminde kullanılan çiğ süt, yağsız ve yağlı koyulaştırılmış sütlerin fizikokimyasal özelliklerine ait ortalama sonuçlar ve standart sapmaları Çizelge 4.1’de gösterilmiştir. Çiğ sütün pH ve titrasyon asitliği değerleri sırasıyla ortalama 6.53 ve 0.15 (%LA) olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar dikkate alındığında kullanılan çiğ sütlerin taze olduğu ortaya çıkmaktadır. Ayrıca çiğ sütün kuru madde, yağ, protein, laktoz ve kül içeriği sırasıyla ortalama %11.79, 3.54, 2.98, 4.56 ve 0.72 olarak belirlenmiştir. Kullanılan çiğ sütün protein ve asitlik bakımından Türk Gıda Kodeksi Çiğ Süt ve Isıl İşlem Görmüş İçme Sütleri Tebliğinde belirtilen standartlara uyduğu tespit edilmiştir.

Üretilen koyulaştırılmış sütlerin fizikokimyasal özellikleri incelendiğinde, sütün suyunun uzaklaştırılmasına bağlı olarak kuru maddeyi oluşturan bileşenlerde artış olduğu gözlenmiştir. Yağsız ve yağlı koyulaştırılmış sütlerin kuru madde, yağ ve protein içerikleri sırasıyla %42.28-42.03, 0.20-12.50 ve 13.83-11.12 olarak belirlenmiştir. Çiğ sütün konsantrasyonu nedeniyle koyulaştırılmış sütlerin pH değerlerinde çiğ süte kıyasla düşüş ve titrasyon asitliği değerlerinde artış tespit edilmiştir.

Çizelge 4.1. Çiğ süt ve koyulaştırılmış sütlerin fizikokimyasal özellikleri*

Özellik	Çiğ süt	Yağsız Koyulaştırılmış Süt	Yağlı Koyulaştırılmış Süt
Kuru madde (%)	11.79±0.03	42.28±1.83	42.03±2.57
Yağ (%)	3.54±0.02	0.20±0.20	12.50±1.00
Protein (%)	2.98±0.02	13.83±2.61	11.12±1.16
Titrasyon asitliği (%LA) *	0.15±0.00	0.70±0.09	0.52±0.04
pH	6.53±0.03	6.30±0.06	6.33±0.47
Laktoz (%)	4.56±0.04	24.47±2.64	15.76±1.35
Kül (%)	0.72±0.03	3.74±0.16	2.64±0.20

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

4.2. Süt Tozlarının Fizikokimyasal Özelliklerine Ait Sonuçlar ve Tartışma

4.2.1. Yağsız süt tozlarının fizikokimyasal özelliklerine ait sonuçlar ve tartışma

4.2.1.1. Yağsız süt tozlarının nem oranlarında (%) meydana gelen değişim

Yüksek basınç homojenizasyon (YBH) işlemi uygulanmış koyulaştırılmış sütlerden üretilen yağsız süt tozlarının nem oranlarında farklı sıcaklıklarda depolama süresince meydana gelen değişim Çizelge 4.2’de verilmiştir. Yağsız süt tozlarının nem içeriği 20°C’de depolama süresince %2.38-3.42 aralığında değişirken 40°C’de depolama esnasında %2.38-3.26 aralığında değişmiştir. En düşük nem oranı (2.38) Yağsız-150 örneğinin 0. gününde bulunurken en yüksek oran (3.42) Yağsız-0 örneğinin 180. gününde tespit edilmiştir. Farklı sıcaklıklarda depolama periyodu boyunca süt tozlarının nem oranlarında artış belirlenmiştir. Bu artış 0.37-1.02 birim arasında olup en yüksek nem artışı 20°C’de depolanan Yağsız-0 örneğinde görülmüştür.

Yağsız süt tozu örneklerinde depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresinin nem oranı üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.3’de, Tukey testi sonuçları Çizelge 4.4’de verilmiştir. Sıcaklık yağsız süt tozlarının nem oranlarını önemli düzeyde etkilemiş olup 20°C’de depolanan örneklerin nem oranı 40°C’de depolanan örneklerden daha yüksek bulunmuştur ($p<0.05$). Basınç da yağsız süt tozlarının nem oranlarını önemli düzeyde etkilemiştir ($p<0.01$). 50 MPa’da YBH işlemi daha yüksek nem içeriğine neden olurken diğer basınçlarda benzer sonuçlar bulunmuştur. Depolama süresi yağsız süt tozlarının nem oranlarında önemli farklılıklar oluşturmuştur ($p<0.01$). Tukey testi sonuçlarına göre depolama süresi arttıkça örneklerin nem içerikleri artmıştır. En düşük nem oranı (%2.55) 0. günde bulunurken en yüksek nem oranı (%3.20) 180. günde belirlenmiştir.

Laktoz içeriğinden dolayı süt tozları nem çekici özellik göstermektedir. Yağsız süt tozlarının depolama süresince nem oranları %2.38-3.42 aralığında değişmiştir. Bu sonuçlara göre yağsız süt tozları bütün depolama periyodu süresince Türk Gıda Kodeksi Koyulaştırılmış Süt ve Süt Tozu Tebliği tarafından belirlenen maksimum %5 nem içeriği standartlarını karşılamıştır (TGK, 2005). Süt tozlarında nem oranı %5’in üzerine çıktığında Maillard Reaksiyonunun hızı artmakta, protein denatürasyonu olmakta ve enzimatik reaksiyonlar ile laktoz kristalizasyonun hızlanmasına neden olmaktadır (Rosenthal, 1991; Carić, 1994).

Çizelge 4.2. Yağsız süt tozlarının fizikokimyasal özelliklerine ait sonuçlar*

Depolama sıcaklığı	Basınç (MPa)	Depolama süresi (gün)	Nem (%)	pH	Asitlik (%LA) [†]	Yağ (%)	Protein (%)	Kül (%)	Su aktivitesi
20°C	0	0	2.40±0.07	6.73±0.04	0.09±0.00	0.5±0.0	34.71±0.13	8.53±0.07	0.157±0.002
		30	2.79±0.06	6.72±0.04	0.10±0.00	0.5±0.0	34.66±0.18	8.43±0.08	0.154±0.001
		90	2.93±0.04	6.71±0.02	0.11±0.00	0.5±0.0	34.60±0.13	8.39±0.10	0.105±0.002
		180	3.42±0.05	6.65±0.02	0.11±0.01	0.5±0.0	34.59±0.30	8.39±0.09	0.125±0.001
	50	0	2.85±0.09	6.70±0.05	0.11±0.00	0.5±0.0	34.78±0.11	8.74±0.09	0.163±0.003
		30	2.85±0.11	6.68±0.03	0.11±0.01	0.5±0.0	34.61±0.16	8.41±0.09	0.167±0.004
		90	2.86±0.13	6.68±0.04	0.11±0.01	0.5±0.0	34.45±0.07	8.36±0.08	0.111±0.008
		180	3.22±0.06	6.65±0.04	0.11±0.01	0.5±0.0	34.38±0.21	8.36±0.09	0.155±0.001
	100	0	2.61±0.09	6.70±0.05	0.09±0.01	0.5±0.0	35.01±0.31	8.59±0.06	0.143±0.002
		30	2.62±0.08	6.70±0.01	0.10±0.00	0.5±0.0	34.95±0.23	8.57±0.09	0.159±0.007
		90	2.79±0.05	6.69±0.04	0.11±0.00	0.5±0.0	34.89±0.16	8.56±0.08	0.101±0.001
		180	3.33±0.06	6.66±0.05	0.11±0.01	0.5±0.0	34.73±0.10	8.55±0.08	0.169±0.006
	150	0	2.38±0.08	6.73±0.06	0.09±0.00	0.5±0.0	34.82±0.13	8.52±0.09	0.131±0.002
		30	2.76±0.08	6.71±0.04	0.10±0.00	0.5±0.0	34.69±0.19	8.51±0.10	0.130±0.003
		90	2.82±0.09	6.70±0.08	0.10±0.00	0.5±0.0	34.58±0.40	8.49±0.11	0.102±0.004
		180	3.30±0.06	6.69±0.10	0.11±0.01	0.5±0.0	34.55±0.21	8.43±0.09	0.152±0.002
40°C	0	0	2.40±0.07	6.73±0.04	0.09±0.00	0.5±0.0	34.71±0.13	8.53±0.07	0.157±0.002
		30	2.58±0.06	6.69±0.06	0.11±0.01	0.5±0.0	34.69±0.19	8.46±0.10	0.176±0.003
		90	2.84±0.12	6.70±0.03	0.11±0.01	0.5±0.0	34.59±0.30	8.39±0.09	0.097±0.003
		180	2.87±0.10	6.62±0.03	0.11±0.01	0.5±0.0	34.46±0.13	8.33±0.07	0.092±0.002
	50	0	2.85±0.09	6.70±0.05	0.11±0.00	0.5±0.0	34.78±0.11	8.55±0.11	0.163±0.003
		30	2.93±0.11	6.67±0.01	0.11±0.01	0.5±0.0	34.72±0.16	8.43±0.04	0.184±0.001
		90	3.05±0.07	6.66±0.06	0.11±0.01	0.5±0.0	34.60±0.18	8.42±0.11	0.107±0.004
		180	3.26±0.06	6.60±0.03	0.11±0.01	0.5±0.0	34.32±0.10	8.36±0.08	0.101±0.001
	100	0	2.54±0.12	6.70±0.05	0.09±0.01	0.5±0.0	35.01±0.31	8.61±0.08	0.143±0.002
		30	2.62±0.08	6.67±0.02	0.11±0.01	0.5±0.0	34.96±0.27	8.57±0.10	0.172±0.003
		90	2.93±0.11	6.68±0.08	0.11±0.01	0.5±0.0	34.61±0.36	8.55±0.08	0.103±0.002
		180	3.01±0.08	6.59±0.08	0.11±0.01	0.5±0.0	34.39±0.26	8.48±0.07	0.101±0.002
	150	0	2.38±0.08	6.73±0.06	0.09±0.00	0.5±0.0	34.82±0.13	8.52±0.09	0.131±0.002
		30	2.69±0.12	6.69±0.06	0.10±0.01	0.5±0.0	34.68±0.26	8.50±0.08	0.168±0.005
		90	3.00±0.15	6.68±0.11	0.11±0.01	0.5±0.0	34.65±0.35	8.46±0.08	0.098±0.001
		180	3.23±0.04	6.64±0.05	0.12±0.01	0.5±0.0	34.52±0.17	8.44±0.10	0.157±0.002

* ($\bar{x}$ ±std sapma, n=2), [†] Titrasyon asitliği (% laktik asit)

Çizelge 4.3. Yağsız süt tozlarının fizikokimyasal özelliklerine ait varyans analizi sonuçları¹

VK	SD	<u>Nem</u>		<u>pH</u>		<u>Asitlik</u>		<u>Yağ</u>		<u>Protein</u>		<u>Kül</u>		<u>Su aktivitesi</u>	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Depolama sıcaklığı (A)	1	0.04	4.67*	0.01	2.57ns	0.00	1.73ns	0.00	0.00ns	0.02	0.34ns	0.00	0.36ns	0.00	182.14**
Basınç (B)	3	0.14	18.04**	0.00	1.15ns	0.00	2.39ns	0.00	0.00ns	0.51	3.61*	0.05	6.43**	0.00	141.90**
Depolama süresi (C)	3	1.24	162.06**	0.02	5.74**	0.00	15.05**	0.00	0.00ns	1.04	7.29**	0.07	9.10**	0.02	1769.14**
A x B	3	0.06	8.02**	0.00	0.06ns	0.00	0.18ns	0.00	0.00ns	0.09	0.64ns	0.00	0.04ns	0.00	9.14**
A x C	3	0.07	9.58**	0.00	0.63ns	0.00	0.20ns	0.00	0.00ns	0.07	0.49ns	0.00	0.33ns	0.01	634.27**
B x C	9	0.04	5.29**	0.00	0.11ns	0.00	0.85ns	0.00	0.00ns	0.14	0.33ns	0.01	1.24ns	0.00	48.63**
A x B x C	9	0.01	1.79ns	0.00	0.04ns	0.00	0.10ns	0.00	0.00ns	0.08	0.19ns	0.00	0.57ns	0.00	14.91**
Hata	32	0.01		0.00		0.00		0.00		1.52		0.01		0.00	

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

Çizelge 4.4. Yağsız süt tozlarının fizikokimyasal özelliklerine ait Tukey testi sonuçları*

Faktör	N	Nem	pH	Asitlik	Yağ	Protein	Kül	Su aktivitesi
Depolama Sıcaklığı								
20	32	2.87a	6.69a	0.10a	0.5a	34.69a	8.49a	0.14a
40	32	2.82b	6.67a	0.11a	0.5a	34.65a	8.47a	0.13b
Basınç								
0	16	2.78b	6.69a	0.10a	0.5a	34.63ab	8.43b	0.13c
50	16	2.98a	6.67a	0.11a	0.5a	34.58b	8.45b	0.14a
100	16	2.80b	6.67a	0.10a	0.5a	34.82a	8.56a	0.14b
150	16	2.82b	6.69a	0.10a	0.5a	34.66ab	8.48ab	0.13d
Depolama Süresi								
0	16	2.55d	6.71a	0.10c	0.5a	34.83a	8.57a	0.15b
30	16	2.73c	6.69a	0.10b	0.5a	34.74ab	8.48b	0.16a
90	16	2.90b	6.69ab	0.11ab	0.5a	34.62bc	8.45b	0.10d
180	16	3.20a	6.64b	0.11a	0.5a	34.49c	8.42b	0.12c

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

Ayrıca nem oranındaki artışın topaklanmaya neden olduğu, çözünabilirlik ve dağılılabirliği de düşürdüğü bildirilmektedir (Baldwin ve Woodhams, 1974).

4.2.1.2. Yağsız süt tozlarının pH değerlerinde meydana gelen değişim

Yağsız süt tozlarının pH değerlerinin depolama periyodu boyunca değişimi Çizelge 4.2’de verilmiştir. Örneklerin pH değerleri 0. günde 6.70-6.73 aralığında bulunurken depolama periyodunun sonunda 0.04-0.11 birim düşüş göstermiştir. 180. günde pH değerleri 6.59-6.69 aralığında tespit edilmiştir. En yüksek pH değeri 0. günde Yağsız-0 ve Yağsız-150 örneklerinde bulunurken en düşük değer 40°C’de 180 gün depolanan Yağsız-100 örneğinde belirlenmiştir.

Çizelge 4.3’de görüldüğü gibi, sıcaklık ve basınç yağsız süt tozlarının pH değerleri üzerinde etkili olmamıştır ($p>0.05$). Ancak depolama süresinin örneklerin pH değerlerini önemli ölçüde etkilediği belirlenmiştir ($p<0.05$). Tukey testi sonuçlarına göre farklı sıcaklıklarda depolama (6.67-6.69) ve farklı basınçlarda YBH işleminin (6.67-6.69) benzer pH değerlerine sebep olduğu görülmüştür (Çizelge 4.4). Oysa artan depolama periyoduna bağlı olarak pH değerlerinde 6.71’den 6.64’e düşüş tespit edilmiştir. Özetle belirtmek gerekirse örneklerin depolama periyodunda pH değerlerinde düşme görülmekle birlikte bu düşüş (0.07) oldukça dar sınırlar içinde kalmıştır. Benzer şekilde Yetişmeyen (1984) ve Deveci (1999) yaptıkları çalışmalarda yağsız süt tozlarının pH değerlerinde

depolama süresince düşüş tespit etmişlerdir. Sert ve ark. (2016) yağsız süt tozlarının pH değerlerini depolamanın başlangıcında 6.68-6.80 aralığında bulmuşlardır.

4.2.1.3. Yağsız süt tozlarının asitlik değerlerinde meydana gelen değişim

Yağsız süt tozlarının asitlik değerleri depolama periyodu süresince %0.09-0.12 LA aralığında değişmiştir. Genel olarak depolama periyodu ilerledikçe örneklerin asitlik değerlerinde az da olsa bir artış gözlenmiştir. 0. günden 180. güne kadar olan depolama süresince örneklerin asitlik değerleri genel olarak 0.02-0.03 birim artış göstermesine rağmen 20 ve 40°C’de depolanan Yağsız-50 örneğinin asitlik değeri sabit kalmıştır.

Varyans analizi sonuçları dikkate alındığında (Çizelge 4.3), sıcaklık ve basıncın yağsız süt tozlarının asitlik değerlerine istatistiki açıdan etkisi olmadığı ($p>0.05$) görülmesine rağmen depolama süresi asitlik değerlerini önemli düzeyde etkilemiştir ($p<0.01$). Ancak sıcaklık, basınç ve depolamanın ikili ve üçlü interaksiyonlarının asitlik değerleri üzerine etkisinin önemsiz düzeyde olduğu tespit edilmiştir ($p>0.05$). Tukey testi sonuçlarına göre, farklı depolama sıcaklığı ve basınç değerlerinin yağsız süt tozlarının asitlik değerlerinde benzer sonuçlara yol açtığı görülmektedir (Çizelge 4.4). Bununla birlikte artan depolama periyoduna bağlı olarak örneklerin asitlik değerlerinde az da olsa bir artış bulunmuştur. Bu çalışmadaki asitlik değerleri, Sert ve ark. (2016) yağsız süt tozlarında bulduğu %0.132-0.145 değerlerine kıyasla daha düşüktür. Depolama süresince tespit edilen asitlik değerlerinin Amerikan Süt Ürünleri Enstitüsü (ADPI) yağsız süt tozu standardında belirtilen maksimum %0.18 asitlik değerlerini karşıladığı belirlenmiştir (ADPI, 2018a).

4.2.1.4. Yağsız süt tozlarının yağ oranlarında (%) meydana gelen değişim

YBH uygulanmış koyulaştırılmış sütlerden üretilen yağsız süt tozlarının farklı depolama sıcaklıklarında depolanması süresince yağ oranlarında meydana gelen değişim Çizelge 4.2’de verilmiştir. Tüm depolama periyodları boyunca süt tozu örneklerinin yağ oranları %0.5 olarak tespit edilmiş ve herhangi bir değişiklik göstermemiştir.

Yapılan varyans analizine (Çizelge 4.3) bakıldığında, sıcaklık, basınç ve depolamanın yağsız süt tozlarının yağ oranlarında etkisi olmadığı görülmüştür ($p>0.05$). Tukey testi sonuçlarında da tüm faktörlerde yağ değeri aynı bulunmuştur (Çizelge 4.4).

Benzer şekilde Sert ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada yağsız süt tozlarında yağ oranını %0.5 olarak tespit etmişlerdir. Kim ve ark. (2002) ve Fitzpatrick ve ark. (2004)

ise sırasıyla %0.9 ve %1 olarak belirlemişlerdir. Yetişmeyen (1984) inek ve keçi sütünden ürettiği yağsız süt tozlarının 6 aylık depolama süresince yağ oranlarında herhangi bir değişim saptamamıştır. TGK ve ADPI standartlarına göre yağsız süt tozunda maksimum bulunabilecek yağ miktarı %1.5'dir (TGK, 2005; ADPI, 2018a). Bu çalışmada tespit edilen yağ oranları ilgili standartlara uymaktadır.

4.2.1.5. Yağsız süt tozlarının protein oranlarında (%) meydana gelen değişim

YBH uygulanmış koyulaştırılmış sütlerden üretilen yağsız süt tozlarının farklı depolama sıcaklıklarında depolanması süresince protein oranları %34.32-35.01 aralığında bulunmuştur. Depolama süresi arttıkça bütün örneklerin protein oranlarında bir düşüş görülmüştür. Bu düşüşün artan nem miktarıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 4.3'de gösterilen varyans analizi depolama sıcaklığının yağsız süt tozlarının protein oranlarında etkisiz olduğunu işaret etmektedir ($p>0.05$). Bununla birlikte basınç ($p<0.05$) ve depolama sıcaklığının ($p<0.01$) protein oranına etkisi önemli bulunmuştur. Tukey testine göre en yüksek protein oranı 100 MPa YBH uygulanmış koyulaştırılmış süttten üretilen yağsız süt tozunda bulunurken en düşük oran 50 MPa YBH uygulanmış örnekte bulunmuştur (Çizelge 4.4). Depolama süresi arttıkça örneklerin protein oranındaki düşüş Tukey testi sonuçlarından da görülebilmektedir.

ADPI standartlarına göre yağsız süt tozlarında minimum protein oranının %34 olması gerekmektedir. Bu çalışmadaki yağsız süt tozları depolama boyunca protein oranı bakımından belirtilen standartları karşılamıştır. Depolama süresince protein oranlarındaki benzer azalma önceki çalışmalarda da bildirilmiştir (Deveci, 1999). Benzer protein oranları ise %35.35 ile Schuck ve ark. (2012) tarafından bildirilmiştir. Ayrıca daha yüksek protein oranlarını King (1965) %37, Hall ve Hedrick (1971) ise %38 olarak açıklamışlardır.

4.2.1.6. Yağsız süt tozlarının kül oranlarında (%) meydana gelen değişim

Çizelge 4.2'de görüldüğü gibi, yağsız süt tozlarının kül oranları 20 ve 40°C'de 180 gün depolama süresince %8.33-8.61 olarak belirlenmiştir. Depolama süresi arttıkça kül oranlarında az da olsa bir düşüş görülmüştür.

Yapılan varyans analizine göre depolama sıcaklığının kül oranı üzerine etkisi istatistiki açıdan önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$). Basınç ve depolama süresi ise önemli düzeyde yağsız süt tozlarının kül oranını etkilemiştir ($p<0.01$). Tukey testi sonuçlarına

göre Yağsız-100 ve Yağsız-150 örneklerinin kül oranı Yağsız-0 ve Yağsız-50'ye kıyasla daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 4.4). Depolama süresine bağlı olarak değerlendirildiğinde 0. gün kül oranı değerleri yüksek bulunurken 30, 90 ve 180. gün sonuçları birbirine benzer çıkmıştır.

%8.5 ile benzer kül oranı Kim ve ark. (2002) tarafından bildirilmiştir. Ayrıca bazı çalışmalarda yağsız süt tozlarında daha düşük kül oranı (%7.40-7.82) tespit edilmiştir (Schuck ve ark., 2012; Sert ve ark., 2016).

4.2.1.7. Yağsız süt tozlarının su aktivitesi değerlerinde meydana gelen değişim

Su aktivitesi, süt tozlarının raf ömrünü etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. YBH uygulanmış koyulaştırılmış sütlerden üretilen yağsız süt tozlarının farklı depolama sıcaklıklarında depolanması süresince su aktivitesi değerlerinde meydana gelen değişim Çizelge 4.2'de verilmiştir. 20°C'de depolanan yağsız süt tozlarının su aktivitesi değerleri 90 günlük depolama süresince genel olarak düşüş göstermiş olup 90. günden 180. güne kadar geçen süreçte ise değerlerde yükselme olmuştur. 40°C'de depolanan örneklerde ise 0. günden 30. güne kadar yükselme meydana gelmiş olup sonrasında Yağsız-150 örneği haricinde su aktivitesi değerlerinde düşüş gözlenmiştir.

Çizelge 4.3'de belirtildiği gibi, depolama sıcaklığı, basınç, depolama süresi ve bunların interaksiyonlarının su aktivitesi değerlerini önemli düzeyde etkilediği tespit edilmiştir ($p<0.01$). Tukey testi sonuçlarına göre 20°C'de depolanan süt tozlarının su aktivitesi değerleri 40°C'ye kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Depolama periyodu boyunca en yüksek su aktivitesi değerleri 30. günde, en düşük değerler ise 90. günde tespit edilmiştir.

Su aktivitesi 0.6'dan düşük olduğunda mikrobiyal gelişim çok sınırlı olmaktadır. Optimum stabilitenin genellikle 0.2-0.3 su aktivitesi aralığında elde edildiği kabul edilmektedir (Efsthathiou ve ark., 2002).

4.2.1.8. Yağsız süt tozlarının L-değerinde meydana gelen değişim

Süt tozlarında L-değeri parlaklığın bir ölçüsüdür. YBH uygulanmış koyulaştırılmış sütlerden üretilen yağsız süt tozlarının farklı depolama sıcaklıklarında depolanması süresince L-değerinde meydana gelen değişim Çizelge 4.5'de verilmiştir. Depolama periyodu ilerledikçe yağsız süt tozlarının L-değerleri yani parlaklığı genel olarak artmıştır.

Çizelge 4.5. Yağsız süt tozlarının bazı fizikokimyasal özellikleri*

Depolama sıcaklığı	Basınç (MPa)	Depolama süresi (gün)	L	a	b	HMF (μM)	SYT (g/cm ³)	Yabancı yanık madde
20°C	0	0	95.63±0.09	-2.78±0.06	12.60±0.14	2.72±0.11	0.795±0.007	B
		30	95.74±0.05	-2.49±0.03	12.22±0.10	4.95±0.12	0.784±0.007	B
		90	96.13±0.15	-3.12±0.10	12.45±0.06	6.37±0.19	0.788±0.005	B
		180	96.52±0.04	-3.50±0.04	12.50±0.14	6.88±0.18	0.803±0.004	B
	50	0	95.26±0.19	-2.51±0.03	12.30±0.06	2.49±0.16	0.784±0.007	A
		30	95.74±0.05	-2.47±0.03	12.17±0.02	3.69±0.12	0.746±0.002	A
		90	96.20±0.10	-2.97±0.07	12.27±0.08	5.62±0.12	0.754±0.004	A
		180	96.73±0.11	-3.60±0.07	12.46±0.20	5.84±0.20	0.814±0.010	A
	100	0	94.92±0.06	-3.08±0.12	13.70±0.18	1.32±0.11	0.805±0.007	A
		30	95.39±0.18	-2.86±0.09	13.34±0.10	5.62±0.12	0.782±0.004	A
		90	96.26±0.08	-3.29±0.06	13.34±0.06	6.03±0.10	0.786±0.006	A
		180	96.40±0.12	-3.99±0.04	13.57±0.08	6.64±0.08	0.806±0.008	A
	150	0	96.27±0.04	-2.99±0.03	12.00±0.06	2.05±0.08	0.763±0.007	B
		30	95.35±0.48	-2.67±0.08	12.01±0.37	5.66±0.18	0.724±0.003	B
		90	96.12±0.13	-3.02±0.07	12.25±0.08	6.13±0.11	0.734±0.006	B
		180	96.70±0.12	-3.77±0.06	12.33±0.21	6.61±0.17	0.804±0.006	B
40°C	0	0	95.63±0.09	-2.78±0.06	12.60±0.14	2.72±0.11	0.795±0.007	B
		30	95.15±0.33	-2.46±0.03	12.31±0.20	7.97±0.11	0.788±0.004	B
		90	96.06±0.14	-3.19±0.09	12.74±0.14	12.94±0.08	0.793±0.007	B
		180	96.46±0.21	-3.61±0.01	13.44±0.15	19.85±0.21	0.786±0.001	B
	50	0	95.26±0.19	-2.51±0.03	12.30±0.06	2.49±0.16	0.784±0.007	A
		30	94.13±2.77	-2.54±0.04	12.31±0.59	10.06±0.09	0.744±0.005	A
		90	95.82±0.13	-3.09±0.09	13.01±0.12	12.94±0.08	0.775±0.007	A
		180	96.29±0.33	-3.61±0.10	13.76±0.33	20.79±0.30	0.771±0.001	A
	100	0	94.92±0.06	-3.08±0.12	13.70±0.18	1.32±0.11	0.805±0.007	A
		30	94.20±2.83	-2.72±0.16	12.63±0.85	9.40±0.15	0.798±0.005	A
		90	95.61±0.12	-3.29±0.07	13.37±0.08	16.35±0.21	0.796±0.005	A
		180	96.03±0.03	-3.92±0.05	14.06±0.14	18.17±0.23	0.772±0.004	A
	150	0	96.27±0.04	-2.99±0.03	12.00±0.06	2.05±0.08	0.763±0.007	B
		30	95.33±1.08	-2.89±0.11	12.50±0.38	10.00±0.14	0.732±0.003	B
		90	95.33±0.11	-2.96±0.08	12.68±0.09	12.12±0.17	0.763±0.007	B
		180	95.49±1.93	-3.63±0.04	12.83±0.13	16.91±0.13	0.775±0.007	B

* ($\bar{x} \pm \text{std sapma}$, n=2), [†] SYT: Sıkıştırılmış yağın yoğunluğu

Yağsız süt tozu örneklerinde depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresinin L-değeri üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.6'da, Tukey testi sonuçları Çizelge 4.7'de verilmiştir. Depolama sıcaklığı ve süresinin L-değeri üzerindeki etkisi önemli düzeyde ($p<0.01$) olmasına rağmen basıncın parlaklığa etkisi önemsiz düzeyde ($p<0.05$) bulunmuştur. 20°C'de depolanan süt tozlarının parlaklık değerleri (95.96) 40°C'de depolananlara (95.50) kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Farklı yüksek basınç homojenizasyon işlemi uygulanmış yağsız süt tozlarının parlaklık değerleri birbirine yakın bulunmuştur. Depolama periyodunun ilerleyen süreçlerinde parlaklık değerlerinde yükselme görülmüştür.

Bu çalışmadaki yağsız süt tozlarının L-değerleri Sert ve ark. (2016) ve Kneifel ve ark. (1992) tarafından yağsız süt tozlarında bildirilen sonuçlara benzer bulunmuştur. Eshpari (2011) ise yaptığı çalışmada yağsız süt tozlarında daha düşük L-değerleri (ortalama 90) bulmuş ve depolamaya bağlı olarak parlaklık değerinde düşme tespit etmiştir.

4.2.1.9. Yağsız süt tozlarının a-değerinde meydana gelen değişim

Süt tozlarında a-değeri kırmızılığı (-60% yeşil - +60% kırmızı) belirtmektedir. Yağsız süt tozlarının depolama periyodu boyunca a-değerinde meydana gelen değişim Çizelge 4.5'de gösterilmiştir. Örneklerin a-değerleri depolama periyodunda -2.47 ile -3.63 arasında değişim göstermiştir.

Yapılan varyans analizine (Çizelge 4.6) göre basınç ve depolama süresi örneklerin a-değerini istatistiki açıdan önemli düzeyde etkilemiştir ($p<0.01$). Farklı sıcaklıklarda depolama sonucu yağsız süt tozu örneklerinin kırmızılık değeri benzer bulunmuştur ($p>0.05$). İlk 30 günlük depolama periyodunca a-değeri kırmızılık yönünde artarken 180. güne kadar yeşile doğru artış olmuştur. Depolama sonunda yağsız süt tozu örneklerinin depolama başlangıcına göre daha yeşil renk değerlerinde olduğu tespit edilmiştir.

a-değerinde depolamaya bağlı olarak negatif (yeşil yönünde) artış benzer şekilde daha önce yapılan bir çalışmada da bildirilmiştir (Eshpari, 2011). Schuck ve ark. (2012) ise yağsız süt tozlarının renk değerlerini belirledikleri bir çalışmada a-değerini ortalama -5.8 olarak belirlemişlerdir. Bu değer, bu çalışmadaki a-değerlerine kıyasla daha düşüktür.

Çizelge 4.6. Yağsız süt tozlarının bazı fizikokimyasal özelliklerine ait varyans analizi sonuçları¹

VK	SD	<u>L</u>		<u>a</u>		<u>b</u>		<u>HMF</u>		<u>Sıkıştırılmış yığın yoğunluğu</u>	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Depolama sıcaklığı (A)	1	5.13	7.69**	0.00	0.30ns	2.09	36.17**	593.84	26266.85**	0.00	1.75ns
Basınç (B)	3	0.98	1.47ns	0.62	118.52**	5.94	102.66**	0.55	24.29**	0.00	136.01**
Depolama süresi (C)	3	6.49	9.72**	5.17	992.37**	1.95	33.79**	322.37	14259.25**	0.00	78.49**
A x B	3	0.22	0.33ns	0.01	2.44ns	0.37	6.47**	3.09	136.61**	0.00	1.13ns
A x C	3	0.74	1.11ns	0.00	0.88ns	0.88	15.3**	109.90	4861.21**	0.00	45.94**
B x C	9	0.67	1.01ns	0.08	16.00**	0.24	4.22**	2.82	124.76**	0.00	18.78**
A x B x C	9	0.34	0.51ns	0.02	3.11**	0.12	2.14*	2.22	98.41**	0.00	2.40*
Hata	32	0.67		0.01		0.06		0.02		0.00	

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

Çizelge 4.7. Yağsız süt tozlarının bazı fizikokimyasal özelliklerine ait Tukey testi sonuçları*

Faktör	N	L	a	b	HMF	SYT
Depolama sıcaklığı						
20	32	95.96a	-3.07a	12.59b	4.91b	0.78a
40	32	95.50b	-3.08a	12.89a	11.00a	0.78a
Basınç						
0	16	95.91a	-2.99b	12.61b	8.05a	0.79a
50	16	95.68a	-2.91a	12.57b	7.99a	0.77b
100	16	95.47a	-3.28d	13.46a	8.10a	0.79a
150	16	95.86a	-3.12c	12.33c	7.69b	0.76c
Depolama süresi						
0	16	95.52bc	-2.84b	12.65b	2.14d	0.79a
30	16	95.13c	-2.64a	12.44c	7.16c	0.76c
90	16	95.94ab	-3.12c	12.76b	9.81b	0.77b
180	16	96.33a	-3.70d	13.12a	12.71a	0.79a

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

SYT: sıkıştırılmış yığın yoğunluğu

4.2.1.10. Yağsız süt tozlarının b-değerinde meydana gelen değişim

Süt tozlarında b-değeri sarılığı (-60 mavi - +60 sarı) belirtmektedir. YBH uygulanmış koyulaştırılmış sütlerden üretilen yağsız süt tozlarının farklı depolama sıcaklıklarında depolanması süresince b-değerinde meydana gelen değişim Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Yağsız süt tozu örneklerinde depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresinin b-değeri üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.6’da, Tukey testi sonuçları Çizelge 4.7’de verilmiştir. Depolama sıcaklığı ve süresi ile basıncın b-değeri üzerindeki etkisi önemli düzeyde bulunmuştur ($p < 0.01$). 20°C’de depolanan yağsız süt tozlarının sarılık (b) değerlerinin (12.89) 40°C’de depolananlardan (12.59) daha yüksek olduğu belirlenmiştir. 0, 50 ve 100 MPa’da YBH işleminin 150 MPa’ya kıyasla yağsız süt tozlarında daha sarı renge neden olduğu tespit edilmiştir. Örnekler 180 gün depolandıktan sonra başlangıçtaki b-değerlerinden daha yüksek değerlere sahip oldukları belirlenmiştir. Bu durumun örneklerin HMF içeriklerindeki artışla ilgili olabileceği düşünülmektedir. Kneifel ve ark. (1992) b-değerinin peynir altı suyu tozlarında enzimatik olmayan esmerleşmenin derecesiyle bağlantılı olduğunu bildirmişlerdir.

Bu çalışmada elde edilen b-değerlerine benzer sonuçlar Sert ve ark. (2016) tarafından da bildirilmesine rağmen Schuck ve ark. (2012) yağsız süt tozlarında daha yüksek b-değerleri tespit etmişlerdir.

4.2.1.11. Yağsız süt tozlarının hidroksimetilfurfural (HMF) içeriğinde meydana gelen değişim

Yağsız süt tozu örneklerinin farklı sıcaklıklarda depolanması süresince hidroksimetilfurfural (HMF) içeriğinde meydana gelen değişim Çizelge 4.5’de gösterilmiştir. Örneklerin HMF içeriğinin depolama periyodu boyunca 1.32-19.85 μM aralığında değiştiği belirlenmiştir.

HMF değerine depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresinin önemli düzeyde etki ettiği Çizelge 4.6’daki varyans analizinden görülmektedir. Artan depolama sıcaklığı ve depolama süresinin yağsız süt tozlarındaki HMF miktarını çok önemli düzeyde artırdığı tespit edilmiştir ($p<0.01$). Depolamanın başlangıcında 2.14 μM olan HMF içeriği 180 gün sonunda 12.71 μM düzeyine çıkmıştır. Yağsız-150 örneğinin HMF içeriğinin diğer örneklerle kıyasla daha düşük olduğu bulunmuştur.

Renner (1988) süt tozlarında artan depolama sıcaklığı ve süreye bağlı olarak HMF içeriğinin arttığını bildirmiştir. Depolamanın başlangıcında elde edilen HMF değerleri Sert ve ark. (2016) tarafından bildirilen sonuçlara kıyasla daha yüksek bulunmuştur.

4.2.1.12. Yağsız süt tozlarının sıkıştırılmış yığın yoğunluğu değerlerinde meydana gelen değişim

Süt tozunun yığın yoğunluğu ekonomik, ticari ve fonksiyonel olarak önemli bir özelliktir. Yığın yoğunluğu, partikül yoğunluğuna, partikül iç gözenekliliğine ve kap içinde parçacıkların yerleşimine bağlı olarak değişmektedir. (Sharma ve ark., 2012).

YBH uygulanmış koyulaştırılmış sütlerden üretilen yağsız süt tozlarının farklı depolama sıcaklıklarında depolanması süresince sıkıştırılmış yığın yoğunluğu (SY Y) değerinde meydana gelen değişim Çizelge 4.5’de verilmiştir. 20°C’de depolanan yağsız süt tozlarının SY Y değerlerinde depolama süresince genel olarak artış bulunurken 40°C’de depolanan örneklerde düşüş belirlenmiştir.

Yapılan varyans analizine (Çizelge 4.6) göre depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresi örneklerin SY Y değerini istatistiki açıdan önemli düzeyde etkilemiştir ($p<0.01$). Tukey testi sonuçları (Çizelge 4.7) incelendiğinde, en yüksek SY Y değerleri 0 ve 150 MPa YBH uygulanmış örneklerde belirlenmiştir. Yağsız süt tozlarının SY Y değerleri 30. güne kadar azalmasına rağmen kalan depolama periyodunda artış göstermiştir.

Yağsız süt tozlarında benzer sıkıştırılmış yığın yoğunluğu değerleri Tuohy (1989) tarafından da bildirilmiştir. Fitzpatrick ve ark. (2004) ise yağsız süt tozlarında daha düşük SYY değerleri bulmuştur.

4.2.1.13. Yağsız süt tozlarının yabancı yanık madde içeriğinde meydana gelen değişim

YBH uygulanmış koyulaştırılmış sütlerden üretilen yağsız süt tozlarının farklı depolama sıcaklıklarında depolanması süresince yabancı yanık madde (YYM) içeriğinde meydana gelen değişim Çizelge 4.5’de verilmiştir. Yağsız süt tozlarının YYM diskleri A (7.5 mg) ve B (15 mg) olarak belirlenmiştir. Yağsız-50 ve Yağsız-100 örneklerinin YYM içerikleri Yağsız-0 ve Yağsız-150’ye kıyasla daha düşük bulunmuştur.

Amerikan Süt Ürünleri Enstitüsü (ADPI) yağsız süt tozlarında YYM içeriği için maksimum B diskinde izin vermektedir (ADPI, 2018a). Bu çalışmadaki sonuçlar ADPI standartlarını karşılamaktadır.

4.2.2. Yağlı süt tozlarının fizikokimyasal özelliklerine ait sonuçlar ve tartışma

4.2.2.1. Yağlı süt tozlarının nem oranlarında (%) meydana gelen değişim

Farklı homojenizasyon basıncı uygulanmış koyulaştırılmış sütlerden üretilen yağlı süt tozlarının farklı sıcaklıklarda depolanması süresince nem oranlarında meydana gelen değişim Çizelge 4.8’de verilmiştir. Depolama boyunca örneklerin nem içerikleri %2.19-2.94 aralığında bulunmuştur. Farklı sıcaklıklarda depolama periyodu boyunca yağlı süt tozlarının nem oranlarında artış belirlenmiştir.

Yağlı süt tozu örneklerinde depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresinin nem oranı üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.9’da, Tukey testi sonuçları Çizelge 4.10’da verilmiştir. Depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresinin yağlı süt tozlarının nem oranları üzerine etkisi önemli düzeyde olmuştur ($p < 0.01$). Tukey testi sonuçları değerlendirildiğinde, 20°C’de depolanan yağlı süt tozu örneklerinin nem oranı 40°C’de depolanan örneklerden daha yüksek bulunmuştur. 0 ve 10 MPa’da homojenizasyon uygulanmış örneklerin nem oranlarının 20 ve 30 MPa’dakilere kıyasla daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Başka bir ifadeyle artan homojenizasyon basıncı yağlı süt tozlarının nem içeriğini artırmıştır.

Çizelge 4.8. Yağlı süt tozlarının fizikokimyasal özellikleri*

Depolama Sıcaklığı	Basınç (MPa)	Depolama süresi (gün)	Nem (%)	pH	Asitlik (%LA) [†]	Yağ (%)	Protein (%)	Kül (%)	Su aktivitesi
20°C	0	0	2.26±0.05	6.72±0.02	0.10±0.00	27.0±0.0	26.25±0.14	6.30±0.07	0.164±0.008
		30	2.38±0.04	6.69±0.01	0.10±0.00	27.0±0.0	26.17±0.10	6.26±0.06	0.153±0.001
		90	2.45±0.04	6.68±0.02	0.11±0.00	27.0±0.0	26.10±0.14	6.22±0.06	0.114±0.003
		180	2.92±0.05	6.64±0.04	0.12±0.00	27.0±0.0	25.97±0.09	6.16±0.06	0.173±0.006
	10	0	2.20±0.05	6.70±0.02	0.12±0.00	27.0±0.0	26.19±0.08	6.26±0.06	0.159±0.007
		30	2.42±0.06	6.66±0.01	0.13±0.00	27.0±0.0	26.09±0.09	6.23±0.05	0.103±0.005
		90	2.63±0.04	6.61±0.01	0.13±0.00	27.0±0.0	25.98±0.11	6.17±0.05	0.087±0.001
		180	2.83±0.08	6.57±0.01	0.14±0.00	27.0±0.0	25.92±0.06	6.13±0.04	0.163±0.013
	20	0	2.19±0.04	6.70±0.02	0.11±0.00	27.0±0.0	26.12±0.12	6.30±0.04	0.152±0.005
		30	2.63±0.08	6.66±0.01	0.11±0.00	27.0±0.0	26.00±0.15	6.27±0.05	0.136±0.001
		90	2.81±0.10	6.62±0.01	0.12±0.00	27.0±0.0	25.91±0.06	6.20±0.03	0.089±0.002
		180	2.98±0.02	6.59±0.01	0.13±0.01	27.0±0.0	25.85±0.04	6.16±0.04	0.184±0.009
	30	0	2.57±0.04	6.65±0.02	0.10±0.00	27.0±0.0	26.15±0.21	6.28±0.04	0.123±0.007
		30	2.73±0.03	6.62±0.02	0.11±0.00	27.0±0.0	26.06±0.08	6.24±0.04	0.146±0.001
		90	2.77±0.04	6.58±0.01	0.12±0.01	27.0±0.0	25.94±0.08	6.24±0.04	0.087±0.002
		180	2.95±0.04	6.54±0.02	0.13±0.01	27.0±0.0	25.84±0.09	6.17±0.04	0.145±0.000
40°C	0	0	2.26±0.05	6.72±0.02	0.10±0.00	27.0±0.0	26.25±0.14	6.30±0.07	0.164±0.008
		30	2.42±0.06	6.68±0.01	0.10±0.01	27.0±0.0	26.15±0.13	6.23±0.05	0.159±0.005
		90	2.56±0.06	6.68±0.02	0.11±0.00	27.0±0.0	26.07±0.11	6.21±0.04	0.096±0.001
		180	2.59±0.08	6.63±0.04	0.12±0.01	27.0±0.0	25.91±0.16	6.14±0.04	0.097±0.000
	10	0	2.20±0.05	6.70±0.02	0.12±0.00	27.0±0.0	26.19±0.08	6.26±0.06	0.159±0.007
		30	2.21±0.05	6.64±0.02	0.13±0.00	27.0±0.0	26.06±0.08	6.21±0.04	0.146±0.004
		90	2.36±0.05	6.63±0.01	0.14±0.01	27.0±0.0	25.96±0.13	6.15±0.07	0.068±0.001
		180	2.65±0.06	6.59±0.02	0.15±0.00	27.0±0.0	25.86±0.06	6.12±0.06	0.079±0.002
	20	0	2.19±0.04	6.70±0.02	0.11±0.00	27.0±0.0	26.12±0.12	6.30±0.04	0.152±0.005
		30	2.33±0.08	6.67±0.01	0.11±0.01	27.0±0.0	26.02±0.18	6.24±0.04	0.157±0.001
		90	2.48±0.04	6.62±0.02	0.12±0.01	27.0±0.0	25.85±0.06	6.16±0.06	0.069±0.001
		180	2.67±0.04	6.57±0.03	0.13±0.01	27.0±0.0	25.85±0.07	6.14±0.04	0.072±0.004
	30	0	2.57±0.04	6.65±0.02	0.10±0.00	27.0±0.0	26.18±0.25	6.28±0.04	0.123±0.007
		30	2.66±0.03	6.63±0.02	0.11±0.00	27.0±0.0	26.09±0.13	6.23±0.05	0.157±0.005
		90	2.80±0.04	6.61±0.01	0.12±0.01	27.0±0.0	25.90±0.14	6.23±0.05	0.058±0.002
		180	2.94±0.05	6.57±0.02	0.13±0.01	27.0±0.0	25.79±0.09	6.14±0.04	0.074±0.003

* ($\bar{x}$ ±std sapma, n=2), [†] Titrasyon asitliği (% laktik asit)

Çizelge 4.9. Yağlı süt tozlarının fizikokimyasal özelliklerine ait varyans analizi sonuçları¹

VK	SD	<u>Nem</u>		<u>pH</u>		<u>Asitlik</u>		<u>Yağ</u>		<u>Protein</u>		<u>Kül</u>		<u>Su aktivitesi</u>	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Depolama sıcaklığı (A)	1	0.20	73.97**	0.00	0.56ns	0.00	0.51ns	0.00	0.00ns	0.00	0.31ns	0.00	1.45ns	0.01	457.49**
Basınç (B)	3	0.30	111.16**	0.02	37.28**	0.00	95.47**	0.00	0.00ns	0.06	4.32*	0.01	2.20ns	0.00	115.94**
Depolama (C)	3	0.74	271.95**	0.03	75.59**	0.00	64.12**	0.00	0.00ns	0.29	19.71**	0.06	23.14**	0.02	864.32**
A x B	3	0.04	15.40**	0.00	0.92ns	0.00	1.40ns	0.00	0.00ns	0.00	0.03ns	0.00	0.01ns	0.00	6.23**
A x C	3	0.03	10.33**	0.00	0.20ns	0.00	0.83ns	0.00	0.00ns	0.00	0.14ns	0.00	0.16ns	0.01	504.00**
B x C	9	0.01	4.87**	0.00	0.76ns	0.00	0.68ns	0.00	0.00ns	0.00	0.19ns	0.00	0.49ns	0.00	30.24**
A x B x C	9	0.02	5.84**	0.00	0.45bs	0.00	0.24ns	0.00	0.00ns	0.00	0.04ns	0.00	0.04ns	0.00	10.22**
Hata	32	0.00		0.00		0.00		0.00		0.01		0.00		0.00	

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

Çizelge 4.10. Yağlı süt tozlarının fizikokimyasal özelliklerine ait Tukey testi sonuçları*

Faktör	N	Nem	pH	Asitlik	Yağ	Protein	Kül	Su aktivitesi
Depolama Sıcaklığı								
20	32	2.61a	6.64a	0.12a	27.0a	26.03a	6.22a	0.14a
40	32	2.49b	6.64a	0.12a	27.0a	26.02a	6.21a	0.11b
Basınç								
0	16	2.48c	6.68a	0.11c	27.0a	26.11a	6.23a	0.14a
10	16	2.44c	6.64b	0.13a	27.0a	26.03ab	6.19a	0.12c
20	16	2.53b	6.64b	0.12b	27.0a	25.97b	6.22a	0.13b
30	16	2.75a	6.61c	0.11b	27.0a	25.99b	6.23a	0.11d
Depolama süresi								
0	16	2.30d	6.69a	0.11d	27.0a	26.18a	6.28a	0.15a
30	16	2.47c	6.65b	0.11c	27.0a	26.08a	6.24ab	0.14b
90	16	2.61b	6.63c	0.12b	27.0a	25.96b	6.20b	0.08d
180	16	2.81a	6.59d	0.13a	27.0a	25.87b	6.15c	0.12c

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

Yağsız süt tozlarında olduğu gibi depolama süresine bağlı olarak yağlı süt tozlarının da nem içeriğinde artış tespit edilmiştir. Depolamanın başlangıcında örneklerin nem oranı %2.30 düzeyindeyken 180. günde bu oran %2.81'e yükselmiştir. Depolama süresince yağlı süt tozlarının nem oranları Türk Gıda Kodeksi Koyulaştırılmış Süt ve Süt Tozu Tebliği tarafından belirlenen maksimum %5 ve Amerikan Süt Ürünleri Enstitüsü (ADPI) tarafından belirlenen maksimum %4.5 nem içeriği standartlarını karşılamıştır (TGK, 2005; ADPI, 2018b). Bu çalışmada belirlenen nem oranlarının Celestino ve ark. (1997) tarafından bildirilen değerlere benzer bulunmasına rağmen Pugliese ve ark. (2017) ve Fitzpatrick ve ark. (2004) tarafından belirlenen değerlere kıyasla daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

4.2.2.2. Yağlı süt tozlarının pH değerlerinde meydana gelen değişim

Yağlı süt tozlarının depolama periyodu boyunca pH değerlerinde meydana gelen değişim Çizelge 4.8'de verilmiştir. Örneklerin pH değerleri 6.57-6.72 arasında değişim göstermiştir. Depolama süresine bağlı olarak pH değerlerinde az da olsa bir düşüş tespit edilmiş olup bu düşüş 0.08-0.13 birim arasında değişmiştir.

Çizelge 4.9'dan görüldüğü gibi, basınç ve depolama süresi yağlı süt tozlarının pH değerleri üzerinde etkili olmuştur ($p < 0.01$). Ancak pH değerleri depolama sıcaklığından önemli düzeyde etkilenmemiştir ($p > 0.05$). Çizelge 4.10'daki Tukey testi sonuçlarına göre, artan homojenizasyon basıncı yağlı süt tozlarının pH değerlerinde düşüşe sebep olmuştur. En yüksek pH değerleri 0 MPa'da homojenizasyon uygulanmış örneklerde bulunmasına rağmen en düşük değerler 30 MPa'da homojenize edilmiş örneklerde tespit edilmiştir.

Celestino ve ark. (1997) 8 aylık depolama süresince yağlı süt tozlarının pH değerlerinin ortalama 6.60-6.63 arasında değiştiğini ve depolama süresine bağlı olarak düşüş gösterdiğini bildirmiştir. Bu çalışmada depolamanın başlangıcında elde edilen pH değerlerine benzer sonuçlar Sert ve ark. (2016) tarafından taze üretilmiş yağlı süt tozlarında belirlenmiştir. Oysa Kosasih ve ark. (2016b) taze üretilmiş yağlı süt tozlarında daha yüksek pH değerleri tespit etmiştir.

4.2.2.3. Yağlı süt tozlarının asitlik değerlerinde meydana gelen değişim

Yağlı süt tozlarının asitlik değerleri depolama periyodu süresince %0.10-0.14 LA arasında değişmiştir (Çizelge 4.8). Depolama süresine bağlı olarak örneklerin asitlik değerlerinde 0.02-0.03 birim artış meydana geldiği belirlenmiştir.

Varyans analizi sonuçları dikkate alındığında (Çizelge 4.3), depolama sıcaklığının yağlı süt tozlarının asitlik değerlerine istatistiki açıdan etkisi olmadığı ($p>0.05$) görülmesine rağmen basınç ve depolama süresi asitlik değerlerini önemli düzeyde etkilemiştir ($p<0.01$). Ancak sıcaklık, basınç ve depolamanın ikili ve üçlü interaksiyonlarının asitlik değerleri üzerine etkisinin önemsiz düzeyde olduğu tespit edilmiştir ($p>0.05$). Tukey testi sonuçlarına göre en yüksek ve en düşük asitlik değerleri sırasıyla Yağlı-10 ve Yağlı-0 örneklerinde belirlenmiştir (Çizelge 4.10). Depolama süresince asitlikteki artış Tukey testi sonuçlarından da görülebilmektedir.

20 ve 40°C sıcaklıklarda depolanan yağlı süt tozlarının asitlik değerlerinin depolama süresince Amerikan Süt Ürünleri Enstitüsü (ADPI) yağsız süt tozu standardında belirtilen maksimum %0.18 asitlik standardını aşmadığı belirlenmiştir (ADPI, 2018b). Auldist ve ark. (1996) ve McKenna (2000) yağlı süt tozlarında bu çalışmadaki asitlik değerlerine benzer sonuçlar bildirmiştir.

4.2.2.4. Yağlı süt tozlarının yağ oranlarında (%) meydana gelen değişim

Farklı basınçlarda homojenize edilmiş koyulaştırılmış sütlerden üretilen yağlı süt tozlarının depolanması süresince yağ oranlarında meydana gelen değişim Çizelge 4.8’de verilmiştir. Örneklerin yağ oranı %27 olarak bulunmuş ve depolama periyodu süresince değişmediği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.9’dan görüldüğü gibi, depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresi yağlı süt tozlarının yağ oranlarında önemli bir değişikliğe yol açmamıştır ($p>0.05$). Tukey testi sonuçlarına göre (Çizelge 4.10) tüm depolama sıcaklığı, basınç ve depolama sürelerinde yağlı süt tozlarının yağ oranı %27 olarak bulunmuştur.

ADPI ve TKG’ye göre yağlı süt tozlarında izin verilen yağ oranı %26-42’dir (TKG, 2005; ADPI, 2018b). Bu çalışmada tespit edilen yağ oranları ilgili standartlara uymaktadır. Benzer yağ oranları daha önce yapılan çalışmalarda da bildirilmiştir (Sert ve ark., 2016; Pugliese ve ark., 2017). McKenna (2000) ise yaptığı bir çalışmada yağlı süt tozlarının yağ oranlarının %26-29 aralığında değiştiğini tespit etmiştir.

4.2.2.5. Yağlı süt tozlarının protein oranlarında (%) meydana gelen değişim

Yağlı süt tozlarının farklı sıcaklıklarda depolanması süresince protein oranlarında meydana gelen değişim Çizelge 4.8’de verilmiştir. Örneklerin protein içerikleri depolama süresince %25.79-26.25 aralığında bulunmuştur. Depolama süresi arttıkça örneklerin protein oranlarında az da olsa bir düşüş tespit edilmiştir. Bu düşüş 0.27-0.39 birim arasında değişmiştir.

Yağlı süt tozu örneklerinde depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresinin nem oranı üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.9’da, Tukey testi sonuçları Çizelge 4.10’da verilmiştir. Depolama sıcaklığının örneklerin protein içeriğine etkisi önemsiz düzeyde bulunmuştur ($p>0.05$). Basınç ($p<0.05$) ve depolama süresi ($p<0.01$) ise protein içeriğini önemli düzeyde etkilemiştir. En yüksek protein oranı Yağlı-0 örneklerinde bulunurken en düşük oran Yağlı-20 ve Yağlı-30 örneklerinde belirlenmiştir. Bir diğer ifadeyle artan homojenizasyon basıncı ile örneklerin protein içeriğinde azalma meydana geldiği tespit edilmiştir. Tukey testi sonuçlarına göre depolama süresindeki artışa bağlı olarak örneklerin protein oranlarında düşüş görülmüştür.

TGK Koyulaştırılmış Süt ve Süttozu Tebliğinde yağlı süt tozlarının protein içeriğine dair bir düzenleme bulunmamaktadır (TGK, 2005). ADPI yağlı süt tozu standardında ise yağlı süt tozlarında protein oranının yağsız kuru madde üzerinden minimum %34 olması istenmektedir (ADPI, 2018b). Bu çalışmada elde edilen protein oranlarına bakıldığında standartlara uyduğu görülmektedir. Benzer protein oranları daha önce yapılan çalışmalarda da bildirilmiştir (Celestino ve ark., 1997; McKenna, 2000; Schuck ve ark., 2012; Sert ve ark., 2016; Pugliese ve ark., 2017).

4.2.2.6. Yağlı süt tozlarının kül oranlarında (%) meydana gelen değişim

Çizelge 4.8’den görüldüğü gibi, yağlı süt tozlarının kül oranları 20 ve 40°C’de 180 gün depolama süresince %6.12-6.30 olarak belirlenmiştir. Depolama süresi arttıkça kül oranlarında az da olsa bir düşüş görülmüştür. Bu düşüş 0.11-0.16 birim olarak gerçekleşmiştir.

Yapılan varyans analizine göre depolama sıcaklığı ve basıncın kül oranı üzerine etkisi istatistiki açıdan önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$). Depolama süresi ise yağlı süt tozlarının kül oranını önemli düzeyde etkilemiştir ($p<0.01$). İkili ve üçlü interaksiyonlar

ise önemsiz düzeyde bulunmuştur ($p>0.05$). Tukey testi sonuçlarına göre (Çizelge 4.10) en yüksek kül oranı (%6.28) depolamanın başlangıcında bulunurken en düşük kül oranı (%6.15) 180. günde tespit edilmiştir.

Bu çalışmada elde edilen kül oranlarına benzer sonuçlar Sert ve ark. (2016) ve Pugliese ve ark. (2017) tarafından da bildirilmesine rağmen, McKenna (2000) ve Schuck ve ark. (2012) yağlı süt tozlarında daha düşük kül oranları tespit etmiştir.

4.2.2.7. Yağlı süt tozlarının su aktivitesi değerlerinde meydana gelen değişim

Farklı basınçlarda homojenize edilmiş koyulaştırılmış sütlerden üretilen yağlı süt tozlarının depolanması süresince su aktivitesi değerlerinde meydana gelen değişim Çizelge 4.8’de verilmiştir. 20°C’de depolanan yağlı süt tozlarının su aktivitesi değerleri 90 günlük depolama süresince genel olarak düşüş göstermiş ve en düşük su aktivitesi değerleri 90. günde tespit edilmiştir. 90. günden 180. güne kadar ise değerlerde yükselme olmuştur. 40°C’de depolanan örneklerin su aktivitesi değerlerinde ise genel olarak düşüş gözlenmiştir.

Çizelge 4.9’da belirtildiği gibi, depolama sıcaklığı, basınç, depolama süresi ve bunların interaksiyonlarının su aktivitesi değerlerini önemli düzeyde etkilediği tespit edilmiştir ($p<0.01$). Tukey testi sonuçlarına göre 20°C’de depolana süt tozlarının su aktivitesi değerleri 40°C’ye kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Depolama periyodu boyunca en yüksek su aktivitesi değerleri 0. günde, en düşük değerler ise 90. günde tespit edilmiştir. Homojenize edilmemiş yağlı süt tozlarının su aktivitesi değerlerinin homojenize edilmişlere kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada elde edilen su aktivitesi değerleri daha önce yapılan çalışmalara kıyasla daha düşük bulunmuştur (Schuck ve ark., 2012; Sert ve ark., 2016; Pugliese ve ark., 2017).

4.2.2.8. Yağlı süt tozlarının L-değerinde meydana gelen değişim

Farklı basınçlarda homojenize edilmiş koyulaştırılmış sütlerden üretilen yağlı süt tozlarının depolanması süresince L-değerinde meydana gelen değişim Çizelge 4.11’de gösterilmiştir. Yağlı süt tozlarının L-değeri (parlaklık) 20 ve 40°C’de depolama esnasında 94.51-96.39 arasında değişmiştir.

Çizelge 4.11. Yağlı süt tozlarının bazı fizikokimyasal özellikleri*

Depolama sıcaklığı	Basınç (MPa)	Depolama süresi (gün)	L	a	b	HMF (μM)	SYT † (g/cm³)	Yabancı yanık madde	TBARS†
20°C	0	0	96.04±0.09	-2.46±0.05	11.90±0.14	5.13±0.18	0.754±0.012	B	0.07±0.02
		30	94.51±0.04	-2.23±0.02	11.72±0.12	5.86±0.15	0.730±0.009	B	0.12±0.02
		90	95.89±0.11	-2.79±0.09	11.85±0.06	7.38±0.11	0.716±0.008	B	0.22±0.03
		180	96.75±0.15	-3.44±0.14	12.27±0.45	10.03±0.18	0.713±0.008	B	0.32±0.02
	10	0	96.35±0.04	-1.96±0.08	11.08±0.22	5.79±0.13	0.691±0.007	A	0.11±0.01
		30	94.93±0.04	-1.70±0.06	10.69±0.20	6.15±0.14	0.643±0.006	A	0.15±0.01
		90	95.86±0.07	-2.27±0.07	12.27±0.08	7.08±0.10	0.644±0.008	A	0.26±0.01
		180	96.32±1.17	-2.77±0.14	11.20±0.54	7.54±0.13	0.725±0.010	A	0.39±0.02
	20	0	96.15±0.03	-2.58±0.04	12.17±0.05	4.14±0.15	0.692±0.006	B	0.12±0.02
		30	95.66±0.27	-2.24±0.06	11.58±0.27	5.70±0.13	0.656±0.006	B	0.14±0.02
		90	95.91±0.10	-2.95±0.06	12.20±0.09	8.24±0.13	0.653±0.007	B	0.27±0.01
		180	96.35±0.52	-3.69±0.12	13.05±0.44	9.27±0.11	0.721±0.010	B	0.37±0.03
40°C	0	0	96.23±0.22	-2.46±0.06	11.55±0.10	1.93±0.11	0.700±0.010	A	0.12±0.03
		30	94.55±0.31	-1.76±0.21	10.74±0.30	5.57±0.18	0.681±0.007	A	0.17±0.01
		90	96.29±0.06	-2.63±0.07	11.27±0.07	6.73±0.10	0.665±0.005	A	0.28±0.01
		180	96.96±0.12	-3.25±0.05	11.57±0.10	6.89±0.20	0.726±0.008	A	0.38±0.03
	10	0	96.04±0.09	-2.46±0.05	11.90±0.14	5.13±0.18	0.754±0.012	B	0.07±0.02
		30	96.17±0.08	-2.42±0.03	12.22±0.09	10.07±0.25	0.718±0.009	B	0.25±0.01
		90	96.08±0.07	-2.84±0.06	12.33±0.05	13.06±0.13	0.732±0.012	B	0.46±0.05
		180	95.94±0.14	-3.13±0.08	12.47±0.24	20.98±0.18	0.683±0.007	B	0.64±0.05
	20	0	96.35±0.04	-1.96±0.08	11.08±0.22	5.79±0.13	0.691±0.007	A	0.11±0.01
		30	96.17±0.15	-1.78±0.02	11.09±0.11	9.30±0.11	0.645±0.008	A	0.32±0.02
		90	96.15±0.06	-2.27±0.06	11.45±0.06	15.25±0.11	0.646±0.008	A	0.53±0.03
		180	96.13±0.11	-2.86±0.02	12.10±0.06	16.50±0.18	0.696±0.008	A	0.77±0.04
	30	0	96.15±0.03	-2.58±0.04	12.17±0.05	4.14±0.15	0.692±0.006	B	0.12±0.02
		30	96.39±0.12	-2.35±0.06	12.02±0.21	8.30±0.09	0.653±0.008	B	0.29±0.03
		90	96.22±0.05	-2.89±0.05	12.18±0.07	13.43±0.21	0.656±0.006	B	0.55±0.04
		180	96.16±0.12	-3.03±0.02	12.25±0.03	18.72±0.16	0.693±0.004	B	0.75±0.04
40°C	0	0	96.23±0.22	-2.46±0.06	11.55±0.10	1.93±0.11	0.700±0.010	A	0.12±0.03
		30	95.18±0.57	-2.27±0.10	12.00±0.37	10.18±0.23	0.657±0.008	A	0.33±0.02
		90	95.35±0.06	-2.58±0.06	11.90±0.10	17.73±0.18	0.669±0.004	A	0.56±0.04
		180	95.96±0.02	-2.91±0.01	11.81±0.02	17.97±0.10	0.687±0.007	A	0.76±0.06

* ($\bar{x} \pm \text{std sapma}$, n=2), † SYT: Sıkıştırılmış yağın yoğunluğu, † TBARS: tiyobarbitürik asit reaktif bileşeni (mg malonaldehit/kg)

Yağlı süt tozu örneklerinde depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresinin L-değeri üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.12’de, Tukey testi sonuçları Çizelge 4.13’de verilmiştir. 40°C’de depolanan yağlı süt tozlarının L-değeri (96.04) 20°C’de depolanan örneklerle (95.92) kıyasla daha yüksek bulunmuştur ($p<0.01$). Homojenizasyon basıncı örneklerin L-değerini önemli düzeyde etkilemiştir ($p<0.01$). Yağlı-0 ve Yağlı-10 örneklerinde benzer L-değeri bulunurken en yüksek L-değeri Yağlı-20 ve en düşük L-değeri Yağlı-30 örneğinde tespit edilmiştir. Depolama süresine bağlı olarak örneklerin L-değerindeki değişim istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ($p<0.01$). 30. güne kadar örneklerin L-değerinde düşüş görülmesine rağmen ardından 180. güne kadar artış belirlenmiştir. Eshpari (2011) ise yağlı süt tozlarının depolanması süresince L-değerinde düşüş bildirmiştir. Bu çalışmada elde edilen L-değeri sonuçlarının Nanua ve ark. (2000) ve Pugliese ve ark. (2017) tarafından bildirilen ortalama değerlere yakın bulunmasına rağmen Schuck ve ark. (2012)’nin bulduğu L-değerinden düşük olduğu tespit edilmiştir. Lloyd ve ark. (2009a) ise yağlı süt tozlarında parlaklık değerini (L) daha düşük olarak belirlemiştir.

4.2.2.9. Yağlı süt tozlarının a-değerinde meydana gelen değişim

Yağlı süt tozlarında kırmızılığı belirten a-değerinin (-60% yeşil - +60% kırmızı) depolama süresince değişimi Çizelge 4.11’de verilmiştir. Örneklerin a-değerinde genel olarak 30. güne kadar yükseliş görülürken ilerleyen periyotlarda düşüş gözlenmiştir.

Depolama sıcaklığının yağlı süt tozlarının a-değeri üzerine etkisi önemsiz düzeyde ($p>0.05$) bulunurken basınç ve depolama süresinin etkisi önemli düzeyde olmuştur ($p<0.01$). Çizelge 4.13’de verilen Tukey testi sonuçlarına göre, en büyük a-değeri homojenize edilmemiş (Yağlı-0) örneklerde belirlenirken en düşük değer Yağlı-20 örneğinde bulunmuştur. İlk 30 günde örneklerde kırmızılık artarken sonraki depolama süresince kırmızılıkta azalma görülmüştür. Eshpari (2011) depolama süresine bağlı olarak yağlı süt tozlarının a-değerinde az da olsa bir artış bildirmiştir. Bu çalışmadaki a-değerlerine benzer sonuçlar Lloyd ve ark. (2009a) tarafından ABD piyasasından toplanılan yağlı süt tozlarının incelendiği bir çalışmada belirlenmiştir. Nanua ve ark. (2000) bu çalışmada elde edilen a-değerinden oldukça yüksek sonuçlar bildirmiştir. Schuck ve ark. (2012) ise yağlı süt tozlarında daha düşük ortalama a-değeri belirlemiştir.

Çizelge 4.12. Yağlı süt tozlarının bazı fizikokimyasal özelliklerine ait varyans analizi sonuçları¹

VK	SD	<u>L</u>		<u>a</u>		<u>b</u>		<u>HMF</u>		Sıkıştırılmış yığın <u>yoğunluğu</u>		<u>TBARS</u> [‡]	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Depolama sıcaklığı (A)	1	0.35	4.65**	0.01	2.36ns	1.10	25.63**	452.36	19507.46**	0.00	17.36**	0.63	790.03**
Basınç (B)	3	0.36	4.74**	1.67	286.63**	3.93	91.48**	3.27	141.18**	0.01	137.75**	0.02	20.44**
Depolama süresi (C)	3	3.6	47.82**	4.76	816.45**	1.63	37.88**	261.16	11262.08**	0.01	97.65**	0.60	751.03**
A x B	3	0.55	7.29**	0.05	8.21**	0.43	9.90**	3.90	168.10**	0.00	1.00ns	0.00	1.27ns
A x C	3	2.75	36.52**	0.28	48.65**	0.53	12.26**	78.44	3382.58**	0.00	16.52**	0.10	124.19**
B x C	9	0.42	5.59**	0.02	3.93**	0.24	5.65**	7.28	314.11**	0.00	23.50**	0.00	1.14ns
A x B x C	9	0.2	2.67**	0.05	8.81**	0.40	9.28**	1.74	74.86**	0.00	0.66ns	0.00	0.24ns
Hata	32	0.08		0.01		0.04		0.02		0.00		0.00	

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

[‡] TBARS: tiyobarbitürik asit reaktif bileşeni

Çizelge 4.13. Yağlı süt tozlarının bazı fizikokimyasal özelliklerine ait Tukey testi sonuçları*

Faktör	N	L	a	b	HMF	SYT [§]	TBARS [†]
Depolama Sıcaklığı							
20	32	95.92b	-2.57a	11.69b	6.46b	0.69a	0.22b
40	32	96.04a	-2.55a	11.91a	11.78a	0.69b	0.41a
Basınç							
0	16	95.93ab	-2.72c	12.08a	9.70a	0.72a	0.27b
10	16	96.03ab	-2.20a	11.37c	9.18b	0.67c	0.33a
20	16	96.12a	-2.79d	12.20a	8.99c	0.68c	0.32a
30	16	95.84b	-2.54b	11.55b	8.61d	0.69b	0.34a
Depolama süresi							
0	16	96.19a	-2.37b	11.67c	4.25d	0.71a	0.11d
30	16	95.44c	-2.09a	11.51d	7.64c	0.67b	0.22c
90	16	95.97b	-2.65c	11.93b	11.11b	0.67b	0.39b
180	16	96.32a	-3.14d	12.09a	13.49a	0.71a	0.55a

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

[§] SYT: sıkıştırılmış yağın yoğunluğu, [†] TBARS: tiyobarbitürik asit reaktif bileşeni

4.2.2.10. Yağlı süt tozlarının b-değerinde meydana gelen değişim

Farklı basınçlarda homojenize edilmiş koyulaştırılmış sütlerden üretilen yağlı süt tozlarının depolanması süresince b-değerinde meydana gelen değişim Çizelge 4.11’de gösterilmiştir.

Yağlı süt tozu örneklerinde depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresinin b-değeri üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.12’de, Tukey testi sonuçları Çizelge 4.13’de verilmiştir. Depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresinin örneklerin b-değerine etkisi istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ($p<0.01$). 40°C’de depolanan yağlı süt tozlarının b-değeri (11.91) 20°C’de depolananlarınkine (11.69) kıyasla daha yüksek bulunmuştur. En yüksek b-değeri Yağlı-0 ve Yağlı-20 örneklerinde bulunurken en düşük değer Yağlı-10 örneğinde belirlenmiştir. b-değeri, L-değerinde olduğu gibi ilk 30 günlük depolama periyodunda düşerken ilerleyen depolama sürecinde artış göstermiştir. Lloyd ve ark. (2009a) yağlı süt tozlarında daha yüksek ortalama b-değeri bulmuş olup bu değerinde düşüş olduğunu bildirmiştir. Koc ve ark. (2003) da bu çalışmadaki b-değerlerine kıyasla daha yüksek sarılık değerleri bulmuştur.

4.2.2.11. Yağlı süt tozlarının hidroksimetilfurfural (HMF) içeriğinde meydana gelen değişim

Çizelge 4.11’de yağlı süt tozlarının farklı sıcaklıklarda depolanması süresince hidroksimetilfurfural (HMF) içeriğinde meydana gelen değişim verilmiştir. Örneklerin HMF içeriği 1.93-20.98 μM aralığında değişmiştir. Depolama süresince örneklerin HMF içeriklerinde artış görülürken bu artışın 40°C’de depolanan örneklerde daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Yapılan varyans analizi (Çizelge 4.12) dikkate alındığında, örneklerin HMF içeriği üzerine depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresinin önemli düzeyde olduğu tespit edilmiştir ($p<0.01$). Tukey testi sonuçlarına (Çizelge 4.13) göre, 40°C’de depolanan yağlı süt tozlarının HMF içeriği (11.78 μM) 20°C’de depolanan örneklerinkine (6.46 μM) kıyasla ciddi oranda yüksek bulunmuştur. En yüksek HMF içeriği homojenize edilmemiş kontrol örneğinde (Yağlı-0) bulunurken homojenizasyon basıncı arttıkça örneklerin HMF içeriğinde düşüş olduğu belirlenmiştir. Depolama periyodundaki artışa bağlı olarak yağlı süt tozlarının HMF içeriğinde ciddi oranda artış olduğu gözlemlenmiştir. Depolama

periyodu ve depolama sıcaklığındaki artışa bağlı olarak HMF içeriğindeki yükselme Thomsen ve ark. (2005) tarafından da bildirilmiştir.

Craig ve ark. (1961) bu çalışmadaki sonuçlara benzer olarak depolamanın başlangıcında yağlı süt tozlarının HMF içeriğinin 1-5 μM aralığında değiştiğini tespit etmiştir. Pijanowski ve ark. (1975) ise taze üretilmiş yağlı süt tozlarında HMF içeriğinin 2.78-7.57 μM olarak değiştiğini bildirmiştir.

4.2.2.12. Yağlı süt tozlarının sıkıştırılmış yığın yoğunluğu değerinde meydana gelen değişim

Farklı basınçlarda homojenize edilmiş koyulaştırılmış sütlerden üretilen yağlı süt tozlarının depolanması süresince sıkıştırılmış yığın yoğunluğu (SYY) değerinde meydana gelen değişim Çizelge 4.11’de gösterilmiştir. Örneklerin SYY değerleri depolama periyodunda 0.643-0.754 g/cm^3 aralığında değişmiştir.

Yağlı süt tozu örneklerinde depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresinin SYY değeri üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.12’de, Tukey testi sonuçları Çizelge 4.13’de verilmiştir. Depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresinin örneklerin SYY değerine etkisi istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ($p<0.01$). Yakın değerler olmasına rağmen Tukey testi sonuçlarına göre 20°C’de depolanan yağlı süt tozlarının SYY değerlerinin 40°C’de depolananlara kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. En yüksek SYY değeri Yağlı-0 örneğinde belirlenmesine rağmen en düşük değerler Yağlı-10 ve Yağlı-20 örneklerinde bulunmuştur. Depolama süresince 0. ve 180. günlerde benzer SYY değerleri tespit edilmiştir.

Tuohy (1989) yağlı süt tozlarında SYY’yi 0.58-0.67 g/cm^3 olarak belirlemiştir. Bu çalışmada elde edilen SYY değerlerine benzer sonuçlar yağlı süt tozlarında yapılan önceki çalışmalarda da bildirilmiştir (Tuohy, 1989; Schuck ve ark., 2012; Sert ve ark., 2016).

4.2.2.13. Yağlı süt tozlarının yabancı yanık madde içeriğinde meydana gelen değişim

Yağlı süt tozlarının yabancı yanık madde (YYM) içeriği Çizelge 4.11’de verilmiştir. Yağlı süt tozlarının YYM diskleri A (7.5 mg) ve B (15 mg) olarak belirlenmiştir. Yağlı-10 ve Yağlı-30 örneklerinin YYM içeriği 7.5 mg (disk A) düzeyinde

bulunurken Yağlı-0 (kontrol) ve Yağlı-20 örneklerinin YYM içeriği 15 mg (disk B) düzeyinde olduğu tespit edilmiştir.

Amerikan Süt Ürünleri Enstitüsü (ADPI) yağlı süt tozlarında YYM içeriği için maksimum 15 mg'a (disk B) izin vermektedir (ADPI, 2018b). Bu çalışmadaki YYM düzeyleri ADPI standartlarına uymaktadır. Schuck ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada yağlı süt tozlarında YYM düzeyini disk B olarak bildirmiştir.

4.2.2.14. Yağlı süt tozlarının tiyobarbitürik asit reaktif bileşeni (TBARS) içeriğinde meydana gelen değişim

Tiyobarbitürik asit reaktif bileşenleri, tiyobarbitürik asit (TBA) ile reaksiyona girerek renkli ürünler oluşturan bir grup lipid oksidasyon ürünüdür. Bu bileşenin analizinde malonaldehit standart olarak kullanılmış ve sonuçlar mg malonaldehit/kg olarak hesaplanmıştır. Farklı basınçlarda homojenize edilmiş koyulaştırılmış sütlerden üretilen yağlı süt tozlarının depolama süresince TBARS içeriğinde meydana gelen değişim Çizelge 4.11'de gösterilmiştir. Örneklerin TBARS değerleri depolama periyodunda 0.07-0.77 mg malonaldehit/kg aralığında değişmiştir. Depolamayla genel olarak TBARS değerlerinin arttığı görülmüştür.

Yağlı süt tozu örneklerinde depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresinin TBARS değeri üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.12'de, Tukey testi sonuçları Çizelge 4.13'de verilmiştir. Depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresinin örneklerin TBARS değerine etkisi istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ($p < 0.01$). Tukey testi sonuçlarına göre 20°C'de depolanan yağlı süt tozlarının TBARS değerlerinin 40°C'de depolananlara kıyasla oldukça düşük olduğu tespit edilmiştir. Yağlı-0 örneğinin TBARS değeri diğer örneklere kıyasla daha düşük bulunmuştur. En düşük TBARS değeri 0. günde, en yüksek değer ise 180. günde belirlenmiştir. Bir diğer ifadeyle depolama süresindeki artışa bağlı olarak yağlı süt tozlarında TBARS değeri artmıştır.

Bu çalışmadakine benzer şekilde Cluskey ve ark. (1997) yağlı süt tozlarında depolama süresince TBARS değerinin arttığını ve bu artışın yüksek depolama sıcaklıklarında daha fazla olduğunu bildirmiştir. Nanua ve ark. (2000) ise yağlı süt tozlarında depolama süresince TBARS değerlerinde önce artış sonrasında azalma olduğunu bildirmiştir.

4.3. Süt Tozlarının Fonksiyonel Özelliklerine Ait Sonuçlar ve Tartışma

4.3.1. Yağsız süt tozlarının fonksiyonel özelliklerine ait sonuçlar ve tartışma

4.3.1.1. Yağsız süt tozlarının çözünübilirlik oranlarında meydana gelen değişim

Çözünübilirlik süt tozları için önemli bir özelliktir. Çözünübilirlik oranı düşük olan süt tozları işlemede güçlüğe ve sonuç olarak ekonomik kayıplara yol açmaktadır. YBH uygulanmış koyulaştırılmış sütlerden üretilen yağsız süt tozlarının farklı depolama sıcaklıklarında depolanması süresince çözünübilirlik oranlarında (%) meydana gelen değişim Çizelge 4.14’de verilmiştir. 20 ve 40°C sıcaklıklarda 180 günlük depolama süresince yağsız süt tozlarının çözünübilirlik oranları %99.60-99.80 olarak belirlenmiştir. Sadece depolamanın 180. gününde Yağsız-0 (kontrol) örneğinde çözünübilirlik oranı %99.60 olarak tespit edilmiş olup diğer tüm örneklerde bu oran %99.80’dir.

Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 4.15), depolama sıcaklığının çözünübilirlik oranı üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$). Basınç ve depolama süresi ise $p<0.05$ düzeyinde etkilemiştir. Tukey testi sonuçları incelendiğinde (Çizelge 4.16), farklı sıcaklık ve basınçlarda benzer çözünübilirlik oranlarının belirlendiği görülmektedir. En düşük çözünübilirlik oranı 180. günde belirlenmiş olup diğer depolama periyodlarında benzer sonuçlara ulaşılmıştır.

Çizelge 4.14. Yağsız süt tozlarının fonksiyonel özellikleri*

Depolama Sıcaklığı	Basınç (MPa)	Depolama süresi (gün)	Çözünübilirlik (%)	Dağılıbilirlik (%)	Islanabilirlik (s)	Köpük oluşturma kapasitesi (%)
20°C	0	0	99.80±0.00	82.51±0.42	64.5±14.8	29.47±0.23
		30	99.80±0.00	76.54±0.14	150.5±17.7	37.45±0.42
		90	99.80±0.00	77.47±0.24	720.0±28.3	27.13±0.19
		180	99.80±0.00	69.39±0.30	186.5±19.1	24.23±0.23
	50	0	99.80±0.00	81.16±0.23	115.0±11.3	37.23±0.28
		30	99.80±0.00	72.31±0.35	356.0±15.6	45.42±0.20
		90	99.80±0.00	75.07±0.18	665.5±20.5	52.86±0.18
		180	99.80±0.00	79.36±0.22	218.5±14.8	41.37±0.88
	100	0	99.80±0.00	73.62±0.17	52.5±17.7	46.55±0.35
		30	99.80±0.00	72.82±0.17	592.5±10.6	60.58±0.28
		90	99.80±0.00	70.44±0.26	181.5±16.3	49.22±0.18
		180	99.80±0.00	68.80±0.25	122.0±9.9	44.62±0.25
	150	0	99.80±0.00	77.16±0.22	46.5±12.0	44.58±0.19
		30	99.80±0.00	76.92±0.17	622.5±10.6	51.07±0.18
		90	99.80±0.00	65.70±0.42	876.0±19.8	54.77±0.32
		180	99.80±0.00	70.27±0.19	190.5±13.4	47.41±0.27
40°C	0	0	99.80±0.00	82.51±0.42	64.5±14.8	29.47±0.23
		30	99.80±0.00	73.62±0.26	151.0±25.5	34.08±0.17
		90	99.80±0.00	72.75±0.21	67.0±17.0	34.72±0.25
		180	99.60±0.00	66.00±0.28	129.5±9.2	26.09±0.23
	50	0	99.80±0.00	81.16±0.23	115.0±11.3	37.23±0.28
		30	99.80±0.00	71.66±0.23	789.0±22.6	51.12±0.25
		90	99.80±0.00	62.79±0.27	526.5±17.7	46.51±0.21
		180	99.80±0.00	75.50±0.15	213.0±11.3	40.92±0.25
	100	0	99.80±0.00	73.28±0.26	52.5±17.7	46.55±0.35
		30	99.80±0.00	71.42±0.13	347.5±12.0	39.81±0.27
		90	99.80±0.00	58.30±0.29	157.5±17.7	49.20±0.15
		180	99.80±0.00	59.78±0.26	269.0±26.9	66.34±0.47
	150	0	99.80±0.00	77.16±0.22	46.5±12.0	44.58±0.19
		30	99.80±0.00	76.80±0.25	543.5±16.3	49.18±0.17
		90	99.80±0.00	72.23±0.33	799.0±22.6	54.72±0.23
		180	99.80±0.00	57.31±0.29	203.5±16.3	70.69±0.45

* ($\bar{x}$ ±std sapma, n=2)

Çizelge 4.15. Yağsız süt tozlarının fonksiyonel özelliklerine ait varyans analizi sonuçları¹

VK	SD	<u>Çözünübilirlik</u>		<u>Dağılabilirlik</u>		<u>Islanabilirlik</u>		<u>Köpük oluşturma kapasitesi</u>	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Depolama sıcaklığı (A)	1	0.00	4.00ns	204.85	2991.02**	29412.25	100.94**	46.34	493.46**
Basınç (B)	3	0.00	4.00*	152.42	2225.48**	196710.60	675.11**	1563.09	16644.09**
Depolama süresi (C)	3	0.00	4.00*	355.70	5193.64**	667900.35	2292.24**	164.54	1752.09**
A x B	3	0.00	4.00*	12.58	183.61**	42025.54	144.23**	25.70	273.66**
A x C	3	0.00	4.00*	47.58	694.76**	58441.38	200.57**	198.50	2113.70**
B x C	9	0.00	4.00**	58.43	853.14**	99259.23	340.66**	87.21	928.61**
A x B x C	9	0.00	4.00**	29.36	428.76**	44470.50	152.62**	97.19	1034.85**
Hata	32	0.00		0.07		291.37		0.09	

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

Çizelge 4.16. Yağsız süt tozlarının fonksiyonel özelliklerine ait Tukey testi sonuçları*

Faktör	N	Çözünübilirlik	Dağılabilirlik	Islanabilirlik	Köpük oluşturma kapasitesi
Depolama sıcaklığı					
20	32	99.80a	74.35a	322.53a	43.37b
40	32	99.79a	70.77b	279.66b	45.07a
Basınç					
0	16	99.78b	75.10a	191.69d	30.33d
50	16	99.80a	74.88a	374.81b	44.08c
100	16	99.80a	68.56c	221.87c	50.36b
150	16	99.80a	71.69b	416.00a	52.12a
Depolama süresi					
0	16	99.80a	78.57a	69.62d	39.46c
30	16	99.80a	74.01b	444.06b	46.09a
90	16	99.80a	69.34c	499.13a	46.14a
180	16	99.78b	68.30d	191.56c	45.21b

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

ADPI'ye göre yağsız süt tozlarında çözünübilirlik oranının >%99 olması gerekmektedir (ADPI, 2018a). Bu çalışmada üretilen yağsız süt tozlarının farklı sıcaklıklardaki tüm depolama periyodlarında ilgili standarda uyduğu gözlenmiştir. Elde edilen çözünübilirlik oranı değerleri Eshpari (2011)'in bildirdiği sonuçlara benzerken Tuohy (1989)'un bildirdiği değerlerden daha yüksektir.

4.3.1.2. Yağsız süt tozlarının dağılabilirlik oranlarında meydana gelen değişim

Yağsız süt tozlarının farklı sıcaklıklarda depolanması süresince dağılabilirlik oranlarında meydana gelen değişim Çizelge 4.14'de verilmiştir. Depolama süresi boyunca 20°C'de depolanan örneklerin dağılabilirliği %65.70-82.51 aralığında bulunurken 40°C'de depolananların ise %57.31-82.51 aralığında bulunmuştur.

Yağsız süt tozu örneklerinde depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresinin dağılabilirlik oranı üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.15'de, Tukey testi sonuçları Çizelge 4.16'da gösterilmiştir. Depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresinin örneklerin dağılabilirlik oranlarına etkisi istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ($p<0.01$). Depolama sıcaklığındaki artışa bağlı olarak yağsız süt tozlarında dağılabilirlik oranı azalmıştır. Kontrol (Yağsız-0) ve Yağsız-50 örneklerine kıyasla Yağsız-100 ve Yağsız-150 örneklerinin dağılabilirliklerinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Depolama periyodundaki artışla örneklerin dağılabilirlik

oranlarında azalma meydana geldiği görülmüştür. Bu azalma yaklaşık %10 civarında gerçekleşmiştir.

Yağsız süt tozlarının dağılıbilirlik oranı sonuçları Mounir ve ark. (2010) tarafından bildirilen değerlere benzer olmasına rağmen Tuohy (1989) ve Schuck ve ark. (2012) tarafından bildirilen ortalama değerlere kıyasla daha düşük olduğu belirlenmiştir. Yetişmeyen (2007) bu çalışmadakine benzer şekilde süt tozlarında kurutma yöntemiyle belirlenen dağılıbilirliğin %55-75 arasında değiştiğini bildirmiştir. Kazeinin denatürasyonunda etkili olan bütün faktörler ve partikül büyüklüğü dağılıbilirliği etkilemektedir (Yetişmeyen, 2007).

4.3.1.3. Yağsız süt tozlarının ıslanabilirliklerinde meydana gelen değişim

Islanabilirlik, bir tozun yüzeyde su emmesi, ıslanması ve durgun suyun yüzeyine nüfuz etme yeteneğinin bir ölçüsüdür. Islanmada toz içindeki boşluklar su ile yer değiştirmektedir. Genel olarak toz partikül büyüklüğüne, yoğunluğuna, gözenekliliğine, yüzey yüküne, yüzey alanına, amfipatik maddelerin varlığına ve partiküllerin yüzey etkinliğine bağlıdır (Sharma ve ark., 2012).

YBH uygulanmış koyulaştırılmış sütlerden üretilen yağsız süt tozlarının depolanması süresince ıslanabilirliklerinde meydana gelen değişim Çizelge 4.14’de gösterilmiştir. Süt tozlarının ıslanabilirlikleri, örneklerin belirli koşullar altında ıslanması için gereken sürenin s cinsinden verilmesiyle gösterilmiştir. Islanabilirlik için sürenin az olması örneğin daha kolay ıslanabildiğini ifade etmektedir. Örneklerin ıslanabilirlikleri depolama periyodunda 46.5-876.0 s aralığında değişmiştir.

Yağsız süt tozu örneklerinde depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresinin ıslanabilirlik üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.15’de, Tukey testi sonuçları Çizelge 4.16’da verilmiştir. Depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresinin örneklerin ıslanabilirlik değerine etkisi istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ($p<0.01$). 20°C’de depolanan örneklerin ıslanabilirlik sürelerinin 40°C’de depolananlara kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. En yüksek ıslanabilirlik süresi Yağsız-150 örneğinde belirlenmesine rağmen en düşük değer Yağsız-0 (kontrol) örneğinde bulunmuştur. YBH işlemi yağsız süt tozlarında ıslanabilirlik süresini uzatmıştır. Bir diğer ifadeyle YBH uygulanmış koyulaştırılmış sütlerden üretilen yağsız süt tozlarının ıslanabilmesi için gereken süre artmıştır. En düşük ıslanabilirlik

süresi depolamanın başlangıcında belirlenmiştir. Depolamanın ilerleyen periyodlarında ıslanabilirlik süresi uzamıştır.

Kolayca ve hızlıca ıslanabilen süt tozları genellikle “instant” süt tozları olarak adlandırılmaktadır. 15 saniyeden kısa sürede ıslanan yağsız süt tozlarına “instant” denilmektedir (Sharma ve ark., 2012). Bu çalışmada üretilen yağsız süt tozları instant özellik taşımadıkları için ıslanabilirlik süreleri 15 saniyenin çok daha üzerinde bulunmuştur. Schuck ve ark. (2012) yağsız süt tozlarında ıslanabilirlik süresinin ortalama 24 s olduğunu bildirmişlerdir.

4.3.1.4. Yağsız süt tozlarının köpük oluşturma kapasitesinde meydana gelen değişim

Köpük oluşumu, fiziksel çalkalama ve havalandırma yoluyla sulu bir ortama hava katılmasıyla meydana gelmektedir. Protein köpükleri kremalar, çırpılmış soslar ve mayalı fırın ürünleri dahil olmak üzere çeşitli gıda kategorileri için önemlidir (Wong ve Kitts, 2003).

YBH uygulanmış koyulaştırılmış sütlerden üretilen yağsız süt tozlarının farklı depolama sıcaklıklarında depolanması süresince köpük oluşturma kapasitelerinde (%) meydana gelen değişim Çizelge 4.14’de verilmiştir. Depolama periyodu boyunca örneklerin köpük oluşturma kapasiteleri %24.23-70.69 arasında bulunmuştur.

Yapılan varyans analizi (Çizelge 4.15) depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresinin örneklerin köpük oluşturma kapasitelerini oldukça önemli düzeyde etkilediğini göstermektedir ($p<0.01$). Tukey testi sonuçları (Çizelge 4.16) ele alındığında, 40°C’de depolanan yağsız süt tozlarının köpük oluşturma kapasitelerinin 20°C’de depolananlara kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Artan YBH basıncına bağlı olarak örneklerin köpük oluşturma kapasitelerinin arttığı gözlemlenmiştir. En düşük köpük oluşturma kapasitesi depolama periyodunun başlangıcında, en yüksek ise 30. ve 90. günlerde belirlenmiştir.

Protein çözünürlüğü, yüzey yükleri, protein denatürasyonu, yüzey hidrofobikliği, protein boyutu ve protein molekülünün esnekliği gibi bazı fizikokimyasal faktörler köpük oluşturma kapasitesini ve stabilitesini etkilemektedir (Kinsella ve Melachouris, 1976).

4.3.2. Yağlı süt tozlarının fonksiyonel özelliklerine ait sonuçlar ve tartışma

4.3.2.1. Yağlı süt tozlarının çözünübilirlik oranlarında meydana gelen değişim

Farklı homojenizasyon basıncı uygulanmış koyulaştırılmış sütlerden üretilen yağlı süt tozlarının farklı depolama sıcaklıklarında depolanması süresince çözünübilirlik oranlarında (%) meydana gelen değişim Çizelge 4.17’de gösterilmiştir. 20 ve 40°C sıcaklıklarda 180 günlük depolama süresince yağlı süt tozlarının çözünübilirlik oranları %99.60-99.80 aralığında belirlenmiştir.

Yapılan varyans analizi sonuçları (Çizelge 4.18) depolama sıcaklığı ve basıncın yağlı süt tozlarının çözünübilirlikleri üzerine etki etmediğini göstermiştir ($p>0.05$). Bununla birlikte depolama süresi ve interaksiyonların çözünübilirliği önemli düzeyde etkilediği tespit edilmiştir ($p<0.01$). Tukey testi sonuçlarına göre (Çizelge 4.19), ilk 30 günlük depolama süresince çözünübilirlik değişmezken ilerleyen periyotlarda çözünübilirliğin düştüğü görülmüştür.

Çözünübilirlik değerlerinin depolama periyodu boyunca ADPI standartlarını karşıladığı belirlenmiştir (ADPI, 2018b). Elde edilen sonuçların Pugliese ve ark. (2017) tarafından bildirilen çözünübilirlik değerlerine benzer olduğu bulunmuştur.

Çizelge 4.17. Yağlı süt tozlarının fonksiyonel özellikleri*

Depolama sıcaklığı	Basınç (MPa)	Depolama süresi (gün)	Çözünübilirlik (%)	Dağılıbilirlik (%)	Islanabilirlik (s)	Köpük oluşturma kapasitesi (%)
20°C	0	0	99.80±0.00	81.15±0.42	664.5±20.5	1.91±0.13
		30	99.80±0.00	80.20±0.21	1802.5±46.0	3.85±0.21
		90	99.60±0.00	75.72±0.40	1988.0±32.5	2.82±0.16
		180	99.60±0.00	80.69±0.51	1503.5±21.9	1.90±0.11
	10	0	99.80±0.00	79.55±0.30	770.0±25.5	5.35±0.14
		30	99.80±0.00	78.19±0.16	1192.5±24.7	1.97±0.16
		90	99.80±0.00	80.20±0.28	3194.5±64.3	1.90±0.14
		180	99.60±0.00	77.28±0.39	1321.5±21.9	0.25±0.35
	20	0	99.80±0.00	82.72±0.39	600.5±16.3	1.96±0.20
		30	99.80±0.00	74.67±0.47	2895.0±21.2	2.00±0.21
		90	99.80±0.00	80.20±0.28	3190.0±70.7	1.10±0.28
		180	99.60±0.00	73.82±0.24	1341.0±19.8	1.03±0.17
40°C	0	0	99.80±0.00	75.04±0.27	444.0±22.6	5.58±0.18
		30	99.80±0.00	70.06±0.23	1519.0±26.9	5.72±0.23
		90	99.80±0.00	79.67±0.40	1840.0±56.6	1.10±0.28
		180	99.60±0.00	72.64±0.27	2412.0±31.1	0.25±0.35
	10	0	99.80±0.00	81.15±0.42	664.5±20.5	1.91±0.13
		30	99.80±0.00	77.47±0.47	3003.0±29.7	1.93±0.11
		90	99.80±0.00	83.43±0.61	172.5±24.7	1.05±0.21
		180	99.60±0.00	74.45±0.49	2328.0±39.6	2.86±0.20
	20	0	99.80±0.00	79.55±0.30	770.0±25.5	5.35±0.14
		30	99.80±0.00	70.78±0.30	3233.5±48.8	2.00±0.21
		90	99.60±0.00	72.16±3.06	329.5±6.4	0.25±0.35
		180	99.80±0.00	71.20±0.24	3637.5±67.2	0.25±0.35
40°C	0	0	99.80±0.00	82.72±0.39	600.5±16.3	1.96±0.20
		30	99.80±0.00	80.88±0.16	4084.0±70.7	3.85±0.21
		90	99.60±0.00	79.27±0.25	420.5±27.6	0.51±0.55
		180	99.80±0.00	82.61±0.25	4825.0±35.4	1.02±0.18
	10	0	99.80±0.00	75.04±0.27	444.0±22.6	5.58±0.18
		30	99.80±0.00	80.05±0.31	1447.5±16.3	3.80±0.14
		90	99.60±0.00	78.56±0.16	284.5±6.4	2.79±0.12
		180	99.80±0.00	73.22±0.23	2098.0±32.5	1.91±0.13

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

Çizelge 4.18. Yağlı süt tozlarının fonksiyonel özelliklerine ait varyans analizi sonuçları¹

VK	SD	<u>Cözünebilirlik</u>		<u>Dağılabilirlik</u>		<u>Islanabilirlik</u>		<u>Köpük oluşturma kapasitesi</u>	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Depolama sıcaklığı (A)	1	0.00	2.00ns	0.04	0.09ns	173056.00	132.88**	0.17	3.24ns
Basınç (B)	3	0.01	1.33ns	71.20	174.70**	2621083.85	2012.54**	7.83	147.41**
Depolama süresi (C)	3	0.17	44.00**	52.09	127.81**	12071757.1	9269.03**	24.70	465.18**
A x B	3	0.01	3.33*	62.63	153.67**	747376.96	573.86**	1.08	20.33**
A x C	3	0.13	35.33**	4.25	10.43**	11602508.13	8908.73**	1.28	24.17**
B x C	9	0.04	3.56**	9.23	22.64**	615500.67	472.6**	6.24	117.51**
A x B x C	9	0.15	13.56**	31.07	76.25**	1075276.36	825.63**	1.81	34.04**
Hata	32	0.04		0.41		1302.37		0.05	

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

Çizelge 4.19. Yağlı süt tozlarının fonksiyonel özelliklerine ait Tukey testi sonuçları*

Faktör	N	Çözünabilirlik	Dağılabilirlik	Islanabilirlik	Köpük oluşturma kapasitesi
Depolama sıcaklığı					
20	32	99.73a	77.61a	1667.41b	2.42a
40	32	99.74a	77.66a	1771.41a	2.31a
Basınç					
0	16	99.73a	79.28a	1515.81c	2.28b
10	16	99.74a	76.11b	1806.13b	2.16b
20	16	99.74a	79.61a	2444.56a	1.68c
30	16	99.75a	75.53b	1311.12d	3.34a
Depolama süresi					
0	16	99.79a	79.62a	619.75d	3.70a
30	16	99.79a	76.54c	2397.13b	3.14b
90	16	99.70b	78.65b	1427.44c	1.44c
180	16	99.68b	75.74d	2433.31a	1.18d

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

4.3.2.2. Yağlı süt tozlarının dağılabilirlik oranlarında meydana gelen değişim

Yağlı süt tozlarının farklı sıcaklıklarda depolanması süresince dağılabilirlik oranlarında meydana gelen değişim Çizelge 4.17’de verilmiştir. Depolama süresi boyunca 20°C’de depolanan örneklerin dağılabilirliği %70.06-82.72 aralığında 40°C’de depolananların ise %70.78-83.43 aralığında bulunmuştur.

Yağlı süt tozu örneklerinde depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresinin dağılabilirlik oranı üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.18’de, Tukey testi sonuçları Çizelge 4.19’da gösterilmiştir. Basınç ve depolama süresinin örneklerin dağılabilirlik oranlarına etkisi istatistiki açıdan önemli bulunurken ($p < 0.01$) depolama sıcaklığının etkisi önemsiz düzeyde bulunmuştur ($p > 0.05$). Yağlı-0 ve Yağlı-20 örneklerinin dağılabilirliklerinin Yağlı-10 ve Yağlı-30 örneklerinkine kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Depolama süresine bağlı olarak dağılabilirlik değerlendirildiğinde en yüksek oran 0. günde, en düşük oran ise 180. günde belirlenmiştir.

Yağlı süt tozlarında elde edilen dağılabilirlik oranları Kosasih ve ark. (2016b) tarafından bildirilen değerlerden yüksek olmasına rağmen Tuohy (1989) tarafından bildirilen instant yağlı süt tozlarındaki dağılabilirlik oranlarına kıyasla düşük bulunmuştur.

4.3.2.3. Yağlı süt tozlarının ıslanabilirliklerinde meydana gelen değişim

Farklı homojenizasyon basıncı uygulanmış koyulaştırılmış sütlerden üretilen yağlı süt tozlarının depolanması süresince ıslanabilirliklerinde meydana gelen değişim Çizelge 4.17’de gösterilmiştir. Süt tozlarının ıslanabilirlikleri, örneklerin belirli koşullar altında ıslanması için gereken sürenin s cinsinden verilmesiyle gösterilmiştir. Islanabilirlik için sürenin az olması örneğin daha kolay ıslanabildiğini ifade etmektedir. Örneklerin ıslanabilirlikleri depolama periyodunda 284.5-4825.0 s aralığında değişmiştir.

Yağlı süt tozu örneklerinde depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresinin ıslanabilirlik üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.18’de, Tukey testi sonuçları Çizelge 4.19’da verilmiştir. Depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresinin yağlı süt tozlarının ıslanabilirlik değerine etkisi istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ($p<0.01$). 20°C’de depolanan örneklerin ıslanabilirlik sürelerinin 40°C’de depolananlara kıyasla daha düşük olduğu tespit edilmiştir. En yüksek ıslanabilirlik süresi Yağlı-20 örneğinde belirlenmesine rağmen en düşük değer Yağlı-30 örneğinde bulunmuştur. En düşük ıslanabilirlik süresi depolamanın başlangıcında belirlenmiştir. Depolamanın ilerleyen periyodlarında ıslanabilirlik süresi uzamıştır. Bu çalışmadakine benzer şekilde Schuck ve ark. (2012) yağlı süt tozlarının ıslanabilirliğinin 120 s’den büyük olduğunu bildirmişlerdir.

Bir tozun suda hidrasyon kabiliyeti, sıvı fazdaki kuru bileşenlerin endüstriyel kullanıcıları için önemli bir özelliktir. Rehidrasyon işleminde genellikle üç farklı aşama olduğu kabul edilmektedir ki bunlar: ıslanma, dispersiyon ve çözündürmedir (Schubert, 1993; Freudig ve ark., 1999). Rehidrasyon kinetikleri, tozun bileşiminin (özellikle ıslanma için yüzey bileşimi) yanı sıra bileşenler ve su arasındaki afiniteye ve diğer taraftan toz bileşenlerinin suya erişimine (gözeneklilik, kılcallık, karıştırma, sıcaklık ve katı/sıvı konsantrasyonu) bağlıdır (Jeantet ve ark., 2010).

4.3.2.4. Yağlı süt tozlarının köpük oluşturma kapasitesinde meydana gelen değişim

Farklı homojenizasyon basıncı uygulanmış koyulaştırılmış sütlerden üretilen yağlı süt tozlarının iki farklı depolama sıcaklığında depolanması süresince köpük oluşturma kapasitelerinde (%) meydana gelen değişim Çizelge 4.17’de verilmiştir. Depolama periyodu boyunca örneklerin köpük oluşturma kapasitelerinin %0.25-5.72 aralığında değiştiği görülmüştür.

Yapılan varyans analizi (Çizelge 4.18), basınç ve depolama süresinin yağlı süt tozu örneklerini köpük oluşturma kapasitelerini önemli düzeyde etkilediğini göstermektedir ($p<0.01$). Bununla birlikte depolama sıcaklığının etkisi ise önemsiz düzeyde bulunmuştur ($p>0.05$). Tukey testi sonuçları (Çizelge 4.16) ele alındığında, en yüksek köpük oluşturma kapasitesi (%) 30 MPa’da homojenize edilmiş koyulaştırılmış süttten üretilen yağlı süt tozlarında, en düşük kapasite 20 MPa’da homojenize edilmiş olanlardan üretilen örneklerde belirlenmiştir. Artan depolama süresine bağlı olarak yağlı süt tozu örneklerinin köpük oluşturma kapasitelerinde düşüş meydana geldiği tespit edilmiştir. Yağlı süt tozlarının köpük oluşturma kapasitelerinin yağsızlara kıyasla ciddi oranda düşük olduğu görülmüştür. Benzer sonuçlar Sert ve ark. (2016) tarafından da bildirilmiştir.



4.4. Süt Tozlarının Toz Akış Özelliklerine Ait Sonuçlar ve Tartışma

4.4.1. Yağsız süt tozlarının toz akış özelliklerine ait sonuçlar ve tartışma

4.4.1.1. Yağsız süt tozlarının kekleşme özelliklerinde meydana gelen değişim

Düşük nemli amorf toz gıdaların kekleşmesi, tozların önce topak haline geldiği, daha sonra aglomere ve istenmeyen yapışkan bir malzemeye dönüştüğü, tozun kalitesini ve fonksiyonelliğini azaltan istenmeyen bir olaydır (Aguilera ve ark., 1995). Kekleşme sırasında meydana gelen küçük ve yumuşak agregalardan sert topaklara kadar değişen materyaller akışkanlığın kaybolmasına neden olmaktadır. Süt tozlarının kekleşmeye yatkınlığı tozun akış özellikleri ile ilgili önemli bilgi verebilmektedir (Mercan ve ark., 2018).

Çizelge 4.20 YBH uygulanmış koyulaştırılmış sütlerden üretilen yağsız süt tozlarının her döngü için kek yükseklik oranlarını, kek kuvveti ve ortalama kek kuvveti değerlerinde farklı sıcaklıklarda depolama süresince meydana gelen değişimi göstermektedir. Kek yükseklik oranları oluşan kekin kapsamı hakkında bilgi vermektedir. Farklı depolama sıcaklıklarında depolama süresince kek yükseklik oranı 1: 0.008-0.214, kek yükseklik oranı 2: 0.007-0.294, kek yükseklik oranı 3: 0.007-0.384, kek yükseklik oranı 4: 0.007-0.384 ve kek yükseklik oranı 5: 0.008-0.989 aralığında değişmiştir.

Yağsız süt tozu örneklerinde depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresinin kekleşme özellikleri üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.21’de, Tukey testi sonuçları Çizelge 4.22’de gösterilmiştir. Basınç ve depolama süresi kek yükseklik oranı 1 oranı üzerine önemli düzeyde etkide bulunmuştur ($p<0.01$). Bununla birlikte depolama sıcaklığının kek yükseklik oranı 1’e etkisi önemsiz olarak belirlenmiştir ($p<0.05$). Depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresinin kek yükseklik oranı 2, kek yükseklik oranı 3, kek yükseklik oranı 4 ve kek yükseklik oranı 5 üzerine etkileri istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ($p<0.01$). Tukey testi sonuçlarına göre 20°C’de depolanan yağsız süt tozu örneklerinin bütün kek yükseklik oranları 40°C’de depolananlara kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Depolama periyodundaki artışa bağlı olarak kek yükseklik oranlarında genel olarak düşüş gözlenmiştir. Kek yükseklik oranı 5 dikkate alındığında artan basınca bağlı olarak kek yükseklik oranında düşüş tespit edilmiştir.

Çizelge 4.20. Yağsız süt tozlarının kekleşme özellikleri*

Depolama sıcaklığı	Basınç (MPa)	Depolama süresi (gün)	Kek yükseklik oranı 1	Kek yükseklik oranı 2	Kek yükseklik oranı 3	Kek yükseklik oranı 4	Kek yükseklik oranı 5	Kek kuvveti (mN.m)	Ortalama kek kuvveti (N)
20°C	0	0	0.142±0.003	0.250±0.004	0.313±0.006	0.363±0.004	0.399±0.006	8.20±0.08	0.57±0.01
		30	0.020±0.001	0.117±0.004	0.158±0.005	0.203±0.003	0.960±0.008	1.92±0.02	0.29±0.01
		90	0.014±0.000	0.012±0.001	0.097±0.005	0.170±0.003	0.203±0.003	1.95±0.02	0.40±0.02
		180	0.008±0.001	0.009±0.000	0.010±0.001	0.007±0.000	0.008±0.001	0.00±0.00	0.00±0.00
	50	0	0.174±0.003	0.283±0.006	0.301±0.003	0.344±0.004	0.355±0.006	2.70±0.02	0.29±0.01
		30	0.175±0.002	0.245±0.005	0.281±0.005	0.336±0.006	0.989±0.011	1.87±0.04	0.16±0.02
		90	0.109±0.129	0.097±0.003	0.113±0.003	0.173±0.004	0.174±0.001	0.06±0.01	0.06±0.01
		180	0.011±0.001	0.011±0.001	0.011±0.001	0.011±0.001	0.012±0.001	0.00±0.00	0.00±0.00
	100	0	0.198±0.006	0.294±0.004	0.344±0.004	0.375±0.002	0.406±0.005	2.43±0.02	0.22±0.01
		30	0.178±0.002	0.282±0.004	0.353±0.004	0.384±0.006	0.386±0.004	0.68±0.03	0.10±0.01
		90	0.020±0.002	0.102±0.002	0.112±0.003	0.159±0.005	0.203±0.001	0.02±0.01	0.05±0.00
		180	0.011±0.001	0.011±0.000	0.012±0.001	0.013±0.001	0.013±0.001	0.00±0.00	0.00±0.00
	150	0	0.151±0.004	0.213±0.004	0.232±0.002	0.241±0.004	0.242±0.003	0.43±0.01	0.09±0.01
		30	0.214±0.006	0.278±0.012	0.329±0.006	0.354±0.006	0.361±0.006	0.38±0.01	0.13±0.00
		90	0.025±0.002	0.019±0.001	0.031±0.004	0.105±0.002	0.144±0.006	0.00±0.00	0.00±0.00
		180	0.012±0.001	0.012±0.001	0.013±0.001	0.015±0.001	0.015±0.001	0.00±0.00	0.00±0.00
40°C	0	0	0.142±0.003	0.250±0.004	0.313±0.006	0.363±0.004	0.399±0.006	8.20±0.08	0.57±0.01
		30	0.021±0.001	0.104±0.003	0.178±0.002	0.205±0.003	0.589±0.527	4.12±0.04	0.36±0.02
		90	0.010±0.001	0.006±0.000	0.007±0.001	0.007±0.001	0.006±0.001	0.00±0.00	0.00±0.00
		180	0.007±0.002	0.007±0.001	0.011±0.001	0.012±0.001	0.010±0.001	0.00±0.00	0.00±0.00
	50	0	0.174±0.003	0.283±0.006	0.301±0.003	0.344±0.004	0.355±0.006	2.70±0.02	0.29±0.01
		30	0.168±0.006	0.224±0.006	0.281±0.005	0.302±0.004	0.323±0.006	0.76±0.01	0.10±0.01
		90	0.009±0.001	0.009±0.001	0.011±0.001	0.012±0.001	0.009±0.000	0.00±0.00	0.00±0.00
		180	0.011±0.001	0.015±0.002	0.013±0.001	0.016±0.000	0.016±0.001	0.00±0.00	0.00±0.00
	100	0	0.198±0.006	0.294±0.004	0.344±0.004	0.375±0.002	0.406±0.005	2.43±0.02	0.22±0.01
		30	0.167±0.005	0.238±0.008	0.267±0.002	0.301±0.004	0.325±0.004	0.50±0.02	0.08±0.01
		90	0.010±0.001	0.009±0.001	0.009±0.001	0.012±0.002	0.013±0.002	0.00±0.00	0.00±0.00
		180	0.012±0.001	0.012±0.001	0.012±0.001	0.014±0.001	0.013±0.000	0.00±0.00	0.00±0.00
	150	0	0.151±0.004	0.213±0.004	0.232±0.002	0.241±0.004	0.242±0.003	0.43±0.01	0.09±0.01
		30	0.176±0.002	0.215±0.004	0.246±0.007	0.287±0.003	0.306±0.005	0.11±0.01	0.05±0.00
		90	0.009±0.003	0.011±0.000	0.012±0.000	0.013±0.001	0.014±0.001	0.00±0.00	0.00±0.00
		180	0.016±0.001	0.017±0.001	0.015±0.001	0.016±0.001	0.015±0.001	0.00±0.00	0.00±0.00

* ($\bar{x}$ ±std sapma, n=2)

Çizelge 4.21. Yağsız süt tozlarının kekleşme özelliklerine ait varyans analizi sonuçları¹

VK	SD	Kek yükseklik oranı 1		Kek yükseklik oranı 2		Kek yükseklik oranı 3		Kek yükseklik oranı 4		Kek yükseklik oranı 5		Kek kuvveti		Ortalama kek kuvveti	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Depolama sıcaklığı (A)	1	0.00	3.77ns	0.01	433.80**	0.01	1108.91**	0.03	3207.70**	0.21	24.06**	0.12	178.06**	0.02	322.79**
Basınç (B)	3	0.01	21.98**	0.01	761.60**	0.01	647.37**	0.01	689.11**	0.07	8.37**	25.11	36999.92**	0.16	2247.51**
Depolama süresi (C)	3	0.10	187.07**	0.25	16264.96**	0.34	28659.19**	0.39	37669.99**	0.90	103.47**	39.20	57772.34**	0.26	3648.90**
A x B	3	0.00	0.95ns	0.00	40.35**	0.00	57.54**	0.00	28.31**	0.02	2.55ns	0.09	131.61**	0.00	52.60**
A x C	3	0.00	1.81ns	0.00	166.76**	0.01	481.64**	0.02	1718.72**	0.08	9.21**	0.34	494.44**	0.01	210.94**
B x C	9	0.01	11.65**	0.00	322.70**	0.01	539.29**	0.01	772.33**	0.05	5.51**	8.78	12946.55**	0.03	402.51**
A x B x C	9	0.00	1.15ns	0.00	48.60**	0.00	112.92**	0.00	71.65**	0.02	2.45*	0.95	1407.33**	0.01	166.76**
Hata	32	0.00		0.00		0.00		0.00		0.01		0.00		0.00	

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

Çizelge 4.22. Yağsız süt tozlarının kekleşme özelliklerine ait Tukey testi sonuçları*

Faktör	N	Kek yükseklik oranı 1	Kek yükseklik oranı 2	Kek yükseklik oranı 3	Kek yükseklik oranı 4	Kek yükseklik oranı 5	Kek kuvveti	Ortalama kek kuvveti
Depolama Sıcaklığı								
20	32	0.09a	0.14a	0.17a	0.20a	0.30a	1.29a	0.15a
40	32	0.08a	0.12b	0.14b	0.16b	0.19b	1.20b	0.11b
Basınç								
0	16	0.05b	0.09d	0.14c	0.17c	0.32a	3.05a	0.27a
50	16	0.10a	0.15b	0.16b	0.19b	0.28ab	1.01b	0.11b
100	16	0.10a	0.15a	0.18a	0.20a	0.22bc	0.76c	0.08c
150	16	0.09a	0.12c	0.14c	0.16d	0.17c	0.17d	0.05d
Depolama süresi								
0	16	0.17a	0.26a	0.30a	0.33a	0.35b	3.44a	0.29a
30	16	0.14b	0.21b	0.26b	0.30b	0.53a	1.29b	0.16b
90	16	0.03c	0.03c	0.05c	0.08c	0.10c	0.25c	0.06c
180	16	0.01c	0.01d	0.01d	0.01d	0.01c	0.00d	0.00d

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

İlk 30 günlük depolama periyodunda bütün örneklerin kek yükseklik oranlarında artan döngü sayısına bağlı olarak artış tespit edilmiştir. Kek yükseklik oranlarındaki keskin yükselişler toz numunesinin kek oluşumuna karşı yüksek duyarlılığa sahip olduğunu göstermektedir (Benković ve ark., 2017). Bu durumda ilk 30 günlük depolama süresince yağsız süt tozlarının kekleşmeye yatkın olduğu kanısına varılabilmektedir. Bu durum daha önceki çalışmalarda bildirilen yağsız süt tozlarda artan döngüye bağlı olarak kek yükseklik oranlarındaki artış ile benzerlik göstermektedir (Benković ve ark., 2013; Bansal ve ark., 2017). 30 günlük depolama sonrasında kek yükseklik oranları ilk 30 gün ile kıyaslandığında daha sabit bir eğilim gösterdiği gözlenmiştir. Bu durum yağsız süt tozlarında kekleşme eğiliminde azalmayı göstermektedir.

Yağsız süt tozlarının kek kuvveti değerleri 0.00-8.20 mN.m arasında değişirken ortalama kek kuvvetlerinin ise 0.00-0.57 N aralığında değiştiği tespit edilmiştir (Çizelge 4.20). Kek kuvvetinin artması silindirde oluşan keki kesmek için rotor bıçağı tarafından daha fazla kuvvet kullanıldığını ifade etmektedir. En yüksek kek kuvveti (8.20 mN.m) 0. günde Yağsız-0'da belirlenirken YBH ile muamele edilmiş koyulaştırılmış sütlerden üretilen yağsız süt tozu örneklerinin kek kuvveti değerleri 0. günde 0.43-2.70 mN.m arasında değişmiştir. YBH işleminin yağsız süt tozlarında kek kuvveti ve ortalama kek kuvveti değerlerini önemli ölçüde düşürdüğü görülmektedir.

Yapılan varyans analizi dikkate alındığında (Çizelge 4.21), depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresinin yağsız süt tozu örneklerinin kek kuvveti ve ortalama kek kuvveti değerlerini istatistiki açıdan önemli düzeyde etkilediği görülmektedir ($p < 0.01$). Tukey testi sonuçlarına göre (Çizelge 4.22), 20°C'de depolanan yağsız süt tozu örneklerinde kek kuvveti ve ortalama kek kuvveti değerlerinin 40°C'de depolananlara kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durumun laktozun 40°C'den yüksek sıcaklıklarda kristalleşmesi ve böylece yapışkan olmaması ile ilgili olabileceği düşünülmektedir (Fitzpatrick ve ark., 2008). En yüksek kek kuvveti ve ortalama kek kuvveti değerleri Yağsız-0 örneğinde bulunurken en düşük değerler Yağsız-150 örneğinde tespit edilmiştir. Artan basınç değerleri ile yağsız süt tozlarının kekleşme özelliğinde belirgin düzeyde düşüş olduğu gözlenmiştir. Depolama süresindeki artışa bağlı olarak kek kuvveti ve ortalama kek kuvveti değerlerinde düşüş olduğu ve 180. günde kekleşme görülmediği tespit edilmiştir. Yağsız süt tozlarında toz akış analiz cihazıyla kekleşme özelliğinin belirlendiği çok az çalışma mevcuttur. Daha önce yapılan çalışmalarda kek kuvveti ve ortalama kek kuvveti sırasıyla 18.51 mN.m ve 2.89 N olarak

bulunmuş olup bu değerler bu çalışmanın sonuçlarına kıyasla daha yüksektir (Bansal ve ark., 2017).

Yağsız süt tozları genellikle serbest akış özelliği göstermektedir. Bununla birlikte depolama, işleme veya taşıma sırasında serbest akış özelliğini kaybedebilmektedirler. Bu durum genellikle kek oluşumundan kaynaklanmaktadır. Bundan dolayı süt tozlarında kek oluşumu süt endüstrisinde önemli bir problem oluşturmaktadır (Mercan ve ark., 2018). Bu çalışmanın sonuçları, püskürterek kurutma öncesi koyulaştırılmış sütlere YBH uygulamasının kek oluşumunu azaltabileceğini göstermektedir.

4.4.1.2. Yağsız süt tozlarının kohezyon özelliklerinde meydana gelen değişim

Kohezyon, toz partiküllerinin birbirine yapışması ve aglomere (daha büyük partikül kümeleri oluşumu) olmasıdır. Kohezyon, süt tozlarının toz akışkanlığını doğrudan etkilemektedir. Toz akış davranışı süt tozlarının en önemli özelliklerinden biridir. Bir süt tozu kohezifleştiğinde süt endüstrisinde taşıma ve nakliye sırasında bazı problemler ortaya çıkabilmektedir (Mercan ve ark., 2018).

YBH uygulanmış koyulaştırılmış sütlardan üretilen yağsız süt tozlarının farklı sıcaklıklarda depolanması süresince kohezyon özelliklerinde meydana gelen değişim Çizelge 4.23’de gösterilmiştir. Kohezyon katsayısı kuvvet-konum grafiğinin altındaki negatif alandan hesaplanmaktadır. Negatif yönde kohezyon katsayısındaki artış süt tozlarında kohezifliğin arttığını göstermektedir. 20°C’de depolanan yağsız süt tozlarının kohezyon katsayıları -5.07 mN.m ile -12.45 mN.m arasında değişirken 40°C’de depolananlarınki -5.74 ile -13.61 mN.m aralığında belirlenmiştir. Kohezyon indeksi değerleri ise 6.80-15.29 arasında bulunmuştur.

Yağsız süt tozu örneklerinde depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresinin kohezyon özellikleri üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.24’de, Tukey testi sonuçları Çizelge 4.25’de gösterilmiştir. Depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresi yağsız süt tozlarının kohezyon katsayılarını istatistiki açıdan önemli düzeyde etkilemiştir ($p < 0.01$). Depolama sıcaklığının kohezyon indeksine etkisi önemsiz düzeyde bulunurken ($p > 0.05$) basınç ve depolama süresi örneklerin kohezyon indeksini önemli düzeyde etkilediği belirlenmiştir ($p < 0.01$). Tukey testi sonuçlarına göre 40°C’de depolanan yağsız süt tozu örneklerinin kohezyon katsayıları 20°C’de depolananlara kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Diğer bir ifadeyle 20°C’de depolanan örneklerde negatif alanın yani kohezyonun daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.23. Yağsız süt tozlarının kohezyon özellikleri*

Depolama sıcaklığı	Basınç (MPa)	Depolama süresi (gün)	Kohezyon katsayısı (mN,m)	Kohezyon indeksi	Kohezyon indeksi 10 mm/s	Kohezyon indeksi 20 mm/s	Kohezyon indeksi 50 mm/s	Kohezyon indeksi 100 mm/s
20°C	0	0	-6.13±0.08	8.71±0.40	8.95±0.22	9.14±0.25	8.20±0.09	8.62±0.10
		30	-10.47±0.09	13.06±0.21	15.07±0.33	15.14±0.22	13.83±0.23	13.91±0.11
		90	-11.37±0.08	15.29±0.08	22.65±0.21	21.24±0.09	16.52±0.11	15.33±0.81
		180	-8.41±0.18	12.65±0.21	15.43±0.11	14.74±0.12	11.83±0.10	10.83±0.09
	50	0	-4.98±0.07	6.80±0.07	6.39±0.07	6.51±0.09	6.38±0.04	6.68±0.07
		30	-10.41±0.05	11.88±0.17	12.04±0.23	12.69±0.08	12.88±0.16	12.94±0.23
		90	-7.97±0.04	10.61±0.27	11.34±0.09	11.71±0.27	10.94±0.08	10.60±0.14
		180	-5.07±0.04	7.41±0.13	8.32±0.05	8.64±0.15	7.78±0.17	7.54±0.09
	100	0	-9.89±0.03	11.06±0.20	10.57±0.47	10.63±0.52	10.71±0.12	10.81±0.13
		30	-10.08±0.04	11.75±0.21	11.89±0.15	12.18±0.17	11.99±0.16	11.94±0.22
		90	-9.58±0.04	11.38±0.11	12.43±0.24	12.48±0.16	11.77±0.19	11.62±0.25
		180	-5.74±0.06	7.83±0.11	8.95±0.08	8.96±0.06	8.08±0.17	7.75±0.03
	150	0	-6.51±0.04	8.18±0.08	7.73±0.06	7.84±0.09	7.97±0.25	8.55±0.10
		30	-12.45±0.04	13.72±0.09	13.12±0.25	13.73±0.24	13.84±0.23	14.7±0.28
		90	-8.84±0.04	10.74±0.34	11.82±0.12	12.24±0.09	11.31±0.13	11.59±0.08
		180	-6.19±0.09	8.34±0.19	9.11±0.16	9.31±0.29	8.55±0.07	8.84±0.19
40°C	0	0	-6.13±0.08	8.71±0.40	8.95±0.22	9.14±0.25	8.20±0.09	8.62±0.10
		30	-13.61±0.03	16.71±0.03	21.90±0.15	21.42±0.54	18.75±0.21	17.67±0.32
		90	-9.81±0.04	13.68±0.10	15.71±0.13	15.70±0.28	13.75±0.21	12.70±0.29
		180	-10.31±0.05	15.74±0.22	19.74±0.37	17.95±0.21	14.69±0.44	11.87±0.18
	50	0	-4.98±0.07	6.80±0.07	6.39±0.07	6.51±0.09	6.38±0.04	6.68±0.07
		30	-8.72±0.04	10.64±0.18	10.19±0.16	10.39±0.15	10.68±0.16	10.89±0.16
		90	-6.59±0.04	9.03±0.10	10.12±0.11	10.33±0.17	9.49±0.37	8.85±0.08
		180	-5.74±0.06	8.13±0.11	9.35±0.08	9.49±0.16	8.21±0.24	8.21±0.09
	100	0	-9.89±0.03	11.06±0.20	10.57±0.47	10.63±0.52	10.71±0.12	10.81±0.13
		30	-9.52±0.09	10.79±0.09	10.61±0.13	10.82±0.12	10.56±0.05	10.92±0.11
		90	-8.80±0.10	10.54±0.09	11.81±0.13	11.90±0.14	10.80±0.15	10.40±0.15
		180	-6.71±0.06	8.81±0.13	9.98±0.03	10.05±0.04	8.98±0.03	8.84±0.23
	150	0	-6.51±0.04	8.18±0.08	7.73±0.06	7.84±0.09	7.97±0.25	8.55±0.10
		30	-11.01±0.08	12.49±0.16	11.77±0.19	12.18±0.10	12.20±0.14	13.09±0.16
		90	-6.96±0.13	9.27±0.09	10.25±0.13	10.29±0.27	9.40±0.14	9.52±0.17
		180	-6.38±0.05	8.52±0.09	9.61±0.15	9.82±0.17	8.83±0.08	9.14±0.20

* ($\bar{x}$ ±std sapma, n=2)

Çizelge 4.24. Yağsız süt tozlarının kohezyon özelliklerine ait varyans analizi sonuçları¹

VK	SD	Kohezyon katsayısı		Kohezyon indeksi		Kohezyon indeksi 10 mm/s		Kohezyon indeksi 20 mm/s		Kohezyon indeksi 50 mm/s		Kohezyon indeksi 100 mm/s	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Depolama sıcaklığı (A)	1	0.36	75.31**	0.01	0.19ns	0.08	1.95ns	0.47	8.72**	0.56	16.90**	1.88	39.79**
Basınç (B)	3	21.34	4432.07**	50.32	1525.45**	148.87	3645.53**	116.15	2174.83**	50.59	1533.77**	31.29	661.55**
Depolama süresi (C)	3	56.43	11720.73**	48.69	1475.94**	85.34	2089.78**	86.49	1619.49**	72.89	2209.74**	72.04	1522.99**
A x B	3	2.20	456.53**	3.15	95.42**	2.34	57.27**	2.62	49.01**	3.85	116.80**	1.64	34.65**
A x C	3	3.68	764.20**	4.58	138.89**	13.29	325.52**	10.03	187.72**	5.70	172.80**	5.16	109.17**
B x C	9	7.93	1646.13**	9.92	300.81**	15.47	378.87**	12.04	225.50**	9.28	281.34**	6.55	138.53**
A x B x C	9	1.18	245.85**	1.46	44.29**	8.90	217.85**	6.63	124.14**	3.13	94.91**	2.03	43.02**
Hata	32	0.00		0.03		0.04		0.05		0.03		0.05	

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

Çizelge 4.25. Yağsız süt tozlarının kohezyon özelliklerine ait Tukey testi sonuçları*

Faktör	N	Kohezyon katsayısı	Kohezyon indeksi	Kohezyon indeksi 10 mm/s	Kohezyon indeksi 20 mm/s	Kohezyon indeksi 50 mm/s	Kohezyon indeksi 100 mm/s
Depolama sıcaklığı							
20	32	-8.38b	10.59a	11.61a	11.70a	10.79a	10.77a
40	32	-8.23a	10.57a	11.54a	11.53b	10.60b	10.42b
Basınç							
0	16	-9.53d	13.07a	16.05a	15.56a	13.22a	12.44a
50	16	-6.81a	8.91d	9.26d	9.53d	9.09d	9.05c
100	16	-8.78c	10.40b	10.85b	10.96b	10.45b	10.39b
150	16	-8.11b	9.93c	10.14c	10.40c	10.01c	10.50b
Depolama süresi							
0	16	-6.88a	8.69d	8.41c	8.53d	8.32d	8.66d
30	16	-10.78c	12.63a	13.32a	13.57a	13.09a	13.26a
90	16	-8.74b	11.32b	13.26a	13.24b	11.75b	11.33b
180	16	-6.82a	9.68c	11.31b	11.12c	9.62c	9.13c

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

En düşük kohezyon katsayısı yani en yüksek kohezyon kontrol (Yağsız-0) örneklerinde tespit edilirken en yüksek kohezyon katsayısı Yağsız-50 örneklerinde bulunmuştur. İlk 30 günlük depolama süresince örneklerin kohezyon katsayıları düşerken sonraki periyotlarda artış göstermiştir.

Kohezyon indeksi kohezyon katsayısının örnek ağırlığına bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Bu yüzden numune ağırlığının etkisinin ortadan kaldırılmasından dolayı tozların kalite kontrolünde kohezyon indeksi faydalı bir analizdir. Tukey testi sonuçlarına göre yağsız süt tozlarında her iki depolama sıcaklığında da benzer sonuçlar bulunmuştur. En yüksek kohezyon indeksi değeri Yağsız-0 örneğinde, en düşük değer ise Yağsız-50 örneğinde belirlenmiştir. Kohezyon katsayısındaki değişime paralel olarak kohezyon indeksi değerleri ilk 30 gün boyunca artış göstermiş olup sonrasında düşüş eğilimi göstermiştir. Kohezyon indeksi değerlerine göre süt tozlarının akış özellikleri sınıflandırıldığında (Çizelge 3.2), depolama periyodu boyunca yağsız süt tozları serbest akabilir, kolay akabilir ve kohezif akış özelliği göstermiştir. Kohezif özellik sadece kontrol örneğinde belirlenmiştir.

Toz akış analiz cihazı ile yapılan önceki çalışmalarda yağsız süt tozlarının kohezyon indeksi değerleri 10.11-13.56 arasında bulunmuştur (Benković ve ark., 2013; Bansal ve ark., 2017). Thomas ve ark. (2004) elektrostatik aktivite, partikül boyutu ve şekli, porozite ve higroskopite gibi birçok fiziksel parametrenin süt tozlarında kohezyonu etkilediğini bildirmiştir.

Dört hızda kohezyon analizi, tozların akış hızına bağlı olarak akış özelliklerini belirlemek için kullanılmaktadır. Bu analiz dört farklı hızdan oluşan kontrollü akışa karşı süt tozlarının direncini belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Yağsız süt tozlarının 10, 20, 50 ve 100 mm/s hızlarda belirlenen dört hızda kohezyon analizi sonuçları Çizelge 4.23’de verilmiştir. Farklı sıcaklıklarda depolama süresince örneklerin kohezyon indeksi değerleri 10 mm/s hızda 6.39-22.65, 20 mm/s hızda 6.51-21.42, 50 mm/s hızda 6.38-18.75 ve 100 mm/s hızda 6.68-15.33 aralıklarında değişmiştir.

Çizelge 4.25’de verilen varyans analizi sonuçlarına göre basınç ve depolama süresinin 10 mm/s hızda kohezyon indeksine etkisi önemli düzeyde ($p<0.01$) bulunurken depolama sıcaklığının etkisi istatistiki açıdan önemsiz düzeyde belirlenmiştir. Bununla birlikte depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresi ile bunların interaksiyonlarının 20, 50 ve 100 mm/s hızlardaki kohezyon indeksi değerlerine etkisi önemli düzeyde gerçekleşmiştir. Tukey testi sonuçlarına göre (Çizelge 4.25), farklı sıcaklıklarda depolamanın 20 mm/s hızdaki kohezyon indeksi değerinde benzer sonuçlara yol açtığı

görülmektedir. Oysa 20°C’de depolanan yağsız süt örneklerinin 20, 50 ve 100 mm/s hızlardaki kohezyon indeksi değerleri 40°C’de depolananlara kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Diğer bir ifadeyle artan depolama sıcaklığı örneklerin bu hızlardaki kohezyon indeksi değerlerini düşürmüştür. 10, 20, 50 ve 100 mm/s hızlarda belirlenen kohezyon indeksi değerleri en yüksek Yağsız-0 kontrol örneğinde belirlenirken en düşük değerler Yağsız-50 örneğinde tespit edilmiştir. Yağsız-0 örneğinde artan akış hızına bağlı olarak kohezyon indeksinde düşüş gözlenmiştir. Diğer örneklerde ise akış hızına bağlı olarak daha stabil kohezyon indeksi değerleri görülmüştür. Dört hızda kohezyon indeksi değerlerine uygulanan Tukey testi dikkate alındığında, YBH uygulanmış koyulaştırılmış sütlerden üretilen yağsız süt tozlarının tüm hızlarda serbest akabilir akış özelliği gösterdiği tespit edilmiştir. Ancak kontrol örneğinde çok kohezif ve kohezif akış özelliği görülmüştür. Sonuç olarak, YBH uygulamasının yağsız süt tozlarında kohezyonu düşürerek ürüne daha kolay akabilirlik kazandırdığı saptanmıştır. Yağsız süt tozu örneklerinde tüm hızlarda yapılan kohezyon analizinde en düşük kohezyon indeksi değerleri depolamanın başlangıcında bulunurken bu değerler genel olarak 30. güne kadar artış göstermiş olup ilerleyen periyotlarda ise azaldığı tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, YBH uygulanmış koyulaştırılmış sütlerden üretilen yağsız süt tozlarının kontrol örneğine kıyasla düşük hızlarda bile daha kolay akma eğilimi gösterdiği belirlenmiştir. Böylece YBH işlemi yağsız süt tozlarının daha kolay taşınabilmesine olanak vermektedir. Bu durum süt endüstrisi için avantajlı bir durum oluşturmaktadır.

4.4.1.3. Yağsız süt tozlarının hıza bağlı toz akış özelliklerinde meydana gelen değişim

Toz akış özellikleri, artan veya azalan akış hızlarıyla değişebilmektedir. Örneğin, bir toz daha hızlı akmaya zorlandığı için akışa daha dirençli olabilir ya da akış hızı arttıkça daha serbestçe akabilir. Tozun akışa dirençli olması artan çıktı talebini karşılamak için süreç değişikliklerinin bir sonucu olarak az doldurmaya yol açabilir. Toz akış analizi, artan hızlarda bıçağı toza karşı hareket ettirmek için gerekli olan işi değerlendirerek bu özelliği ölçmektedir.

Hıza bağlı toz akış özellikleri analizi, uygulanan farklı hızlardaki kontrollü akışta bir toz numunesinin direncini ölçmektedir. Bu analizde, artan hızlarda toz akış özelliklerini belirlemek için 10, 20, 50 ve 100 mm/s kontrollü akış hızı uygulanmıştır. Bu hızlar, tozların taşınması ve işlenmesi sırasında oluşabilecek çeşitli durumların simülasyonunun sonucudur. Hıza bağlı toz özellikleri analizinde kuvvet-konum grafiklerinin üstündeki pozitif alan sıkıştırma eğrilerini göstermektedir ve her devirdeki iki döngü boyunca ortalaması alınıp test edilen hızların her birinde sıkıştırma katsayısını vermektedir.

YBH uygulanmış koyulaştırılmış sütlerden üretilen yağsız süt tozlarının farklı sıcaklıklarda depolanması süresince hıza bağlı toz akış özelliklerinde meydana gelen değişim Çizelge 4.26'da gösterilmiştir. Farklı sıcaklıklarda depolama süresince yağsız süt tozu örneklerinin sıkıştırma katsayısı değerleri 10 mm/s hızda 38.74-90.28mN.m, 20 mm/s hızda 36.73-88.31 mN.m, 50 mm/s hızda 30.34-76.05 mN.m ve 100 mm/s hızda 22.82-62.23 mN.m aralıklarında bulunmuştur.

Yağsız süt tozu örneklerinde depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresinin hıza bağlı toz akış özellikleri üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.27'de, Tukey testi sonuçları Çizelge 4.28'de gösterilmiştir. Depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresinin örneklerin 10, 20, 50 ve 100 mm/s hızlardaki sıkıştırma katsayısı değerleri üzerindeki etkisi istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ($p < 0.01$). 20°C'de depolanan yağsız süt tozu örneklerinin 10, 20, 50 ve 100 mm/s hızlardaki sıkıştırma katsayısı değerlerinin 40°C'de depolananlara kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Daha yüksek sıkıştırma katsayısı değerleri silindirin içindeki tozun içinden bıçağı hareket ettirmek için gereken daha fazla kuvveti temsil etmektedir (Bansal ve ark., 2017).

Çizelge 4.26. Yağsız süt tozlarının hıza bağlı toz akış özellikleri*

Depolama sıcaklığı	Basınç (MPa)	Depolama süresi (gün)	Sıkıştırma katsayısı 10 mm/s (mN.m)	Sıkıştırma katsayısı 20 mm/s (mN.m)	Sıkıştırma katsayısı 50 mm/s (mN.m)	Sıkıştırma katsayısı 100 mm/s (mN.m)	Akış stabilitesi	Kohezyon katsayısı 50 mm/s (mN.m)
20°C	0	0	69.83±0.70	65.75±0.34	49.48±0.43	34.12±0.41	0.95±0.01	-5.41±0.10
		30	74.86±0.46	79.65±0.31	61.25±0.29	41.75±0.26	1.12±0.01	-10.63±0.20
		90	71.29±0.42	72.16±0.58	54.59±0.46	37.15±0.16	1.07±0.01	-12.35±0.56
		180	38.74±0.69	36.73±0.29	30.97±0.46	24.12±0.34	1.15±0.07	-7.08±0.09
	50	0	57.24±0.52	55.21±0.41	44.95±0.26	33.73±0.35	0.97±0.01	-4.35±0.05
		30	86.30±0.28	84.64±0.43	68.87±0.32	49.96±0.48	1.00±0.01	-10.3±0.61
		90	62.07±0.41	59.12±0.40	46.05±0.22	32.67±0.44	1.01±0.01	-8.10±0.18
		180	39.47±0.35	37.66±0.55	30.34±0.19	22.82±0.37	1.05±0.00	-5.21±0.12
	100	0	86.22±0.37	85.88±0.45	76.05±0.44	60.25±0.35	0.97±0.01	-9.05±0.11
		30	88.33±0.35	87.66±0.56	74.16±0.51	55.62±0.44	0.99±0.01	-9.94±0.19
		90	63.14±0.53	59.78±0.22	48.56±0.86	36.85±0.37	0.98±0.01	-9.50±0.10
		180	45.54±0.41	44.63±0.43	38.36±0.16	30.75±0.36	1.02±0.00	-5.68±0.12
	150	0	58.97±0.18	56.86±0.09	51.43±0.28	41.40±0.29	0.97±0.01	-5.86±0.08
		30	90.28±0.63	88.31±0.35	77.41±1.29	62.23±0.63	0.95±0.01	-11.32±0.75
		90	56.88±0.69	53.73±0.42	47.33±0.36	37.96±0.13	0.98±0.01	-8.71±0.12
		180	40.36±1.60	38.74±0.42	34.45±0.18	27.61±0.21	0.99±0.01	-6.09±0.15
40°C	0	0	69.83±0.70	65.75±0.34	49.48±0.43	34.12±0.41	0.95±0.01	-5.41±0.10
		30	80.93±4.02	83.15±5.06	64.83±3.01	45.20±1.50	1.07±0.01	-12.31±2.35
		90	55.21±0.41	52.67±0.40	39.98±0.49	28.05±0.47	1.06±0.01	-9.05±0.16
		180	52.32±0.48	51.01±0.16	39.58±0.50	28.83±0.55	1.07±0.01	-7.97±0.18
	50	0	57.24±0.52	55.21±0.41	44.95±0.26	33.73±0.35	0.97±0.01	-4.35±0.05
		30	82.91±0.64	80.97±0.46	64.79±0.09	46.88±0.29	0.98±0.01	-8.45±0.12
		90	51.46±0.66	48.38±0.46	37.50±0.33	27.49±0.19	1.02±0.01	-6.68±0.12
		180	46.49±0.57	44.12±0.13	34.19±0.19	24.99±0.34	1.04±0.01	-5.86±0.07
	100	0	86.22±0.37	85.88±0.45	76.05±0.44	60.25±0.35	0.97±0.01	-9.05±0.11
		30	76.87±0.72	73.83±0.39	59.74±0.44	44.39±0.37	0.98±0.01	-8.55±0.31
		90	63.67±0.10	60.81±0.27	49.78±0.32	39.57±0.76	1.00±0.00	-8.95±0.13
		180	50.27±0.36	49.33±0.42	41.49±0.30	33.51±0.24	1.03±0.01	-6.72±0.21
	150	0	58.97±0.18	56.86±0.09	51.43±0.28	41.40±0.29	0.97±0.01	-5.86±0.08
		30	85.12±1.11	81.97±0.81	70.15±0.73	55.17±0.35	0.96±0.01	-9.94±0.28
		90	52.25±0.39	48.07±0.30	39.58±0.50	30.74±0.47	0.99±0.01	-7.00±0.19
		180	44.52±0.34	40.70±0.38	32.36±0.22	24.08±0.41	1.01±0.01	-6.61±0.11

* ($\bar{x}$ ±std sapma, n=2)

Çizelge 4.27. Yağsız süt tozlarının hıza bağlı toz akış özelliklerine ait varyans analizi sonuçları¹

VK	SD	Sıkıştırma katsayısı 10 mm/s		Sıkıştırma katsayısı 20 mm/s		Sıkıştırma katsayısı 50 mm/s		Sıkıştırma katsayısı 100 mm/s		Akış stabilitesi		Kohezyon katsayısı 50 mm/s	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Depolama sıcaklığı (A)	1	14.47	17.11**	48.27	50.26**	92.01	189.47**	58.51	267.31**	0.00	2.44ns	2.90	12.48**
Basınç (B)	3	313.52	370.84**	390.85	407.00**	400.88	825.50**	454.94	2078.24**	0.02	75.82**	14.04	60.51**
Depolama süresi (C)	3	4146.10	4904.19**	4423.14	4605.86**	3079.59	6341.54**	1615.30	7379.02**	0.02	65.41**	59.90	258.16**
A x B	3	6.13	7.25**	3.29	3.42*	9.05	18.64**	12.85	58.69**	0.00	6.49**	0.26	1.13ns
A x C	3	162.70	192.45**	182.34	189.88**	99.04	203.95**	39.78	181.74**	0.00	3.27*	4.61	19.88**
B x C	9	190.34	225.14**	192.56	200.51**	184.20	379.30**	140.08	639.93**	0.00	15.08**	6.16	26.54**
A x B x C	9	39.02	46.15**	50.26	52.34**	36.12	74.39**	21.90	100.03**	0.00	1.79ns	1.25	5.39**
Hata	32	0.85		0.96		0.49		0.22		0.00		0.23	

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

Çizelge 4.28. Yağsız süt tozlarının hıza bağlı toz akış özelliklerine ait Tukey testi sonuçları*

Faktör	N	Sıkıştırma katsayısı 10 mm/s	Sıkıştırma katsayısı 20 mm/s	Sıkıştırma katsayısı 50 mm/s	Sıkıştırma katsayısı 100 mm/s	Akış stabilitesi	Kohezyon katsayısı 50 mm/s
Depolama sıcaklığı							
20	32	64.34a	62.91a	52.14a	39.31a	1.01a	-8.10a
40	32	63.39b	61.17b	49.74b	37.40b	1.00a	-7.67b
Basınç							
0	16	64.12b	63.36b	48.77c	34.17c	1.05a	-8.78c
50	16	60.40c	58.16c	46.46d	34.04c	1.00b	-6.66a
100	16	70.03a	68.48a	58.02a	45.15a	0.99b	-8.43c
150	16	60.92c	58.15c	50.52b	40.07b	0.97c	-7.67b
Depolama süresi							
0	16	68.06b	65.92b	55.48b	42.37b	0.96c	-6.17a
30	16	83.20a	82.52a	67.65a	50.15a	1.00b	-10.18c
90	16	59.50c	56.84c	45.42c	33.81c	1.01b	-8.79b
180	16	44.71d	42.86d	35.22d	27.09d	1.04a	-6.40a

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

Uygulanan basınca bağılı olarak değerlendirildiğinde ise, 10, 20, 50 ve 100 mm/s hızlardaki en yüksek sıkıştırma katsayısı değerleri Yağsız-100 örneğinde belirlenmiştir. En düşük değerler ise 10 ve 20 mm/s hızlarda Yağsız-50 ve Yağsız-150 örneklerinde, 50 mm/s hızda Yağsız-50 örneğinde ve 100 mm/s hızda Yağsız-0 ve Yağsız-50 örneklerinde bulunmuştur. Depolama süresindeki değişime bağılı olarak örneklerin sıkıştırma katsayılarındaki değişime bakıldığında, 10, 20, 50 ve 100 mm/s hızlardaki sıkıştırma katsayısı değerleri ilk 30 günlük depolama periyodunda artış gösterirken ilerleyen sürelerde düşüş göstermiştir.

Test hızı arttıkça sıkıştırma katsayısındaki artış, akmaya karşı direncin arttığını göstermektedir. Akış hızıyla sıkıştırma katsayısının önemsiz düzeyde değişmesi veya hiç değişmemesi, tozun akış hızından bağımsız olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte bu çalışmadaki yağsız süt tozu örneklerinin sıkıştırma katsayılarında analiz hızındaki artış ile genel olarak düşüş olduğu görülmektedir. Akış hızının artmasıyla sıkıştırma katsayısında azalma, tozun artan akış hızlarıyla daha serbest akma eğilimi gösterdiğini belirtmektedir. Yağsız süt tozlarında hızdaki artışa bağılı sıkıştırma katsayısındaki azalma Bansal ve ark. (2017) tarafından da bildirilmiştir.

Akış stabilitesi, tozun akış direnci hakkında önemli bilgi vermektedir. Akış stabilitesi değerinin 1.00'e yakın olması test sırasında tozun önemli ölçüde değişmediğini ifade etmektedir. 1.00'e yakın bir akış stabilitesi ve artan bir sıkıştırma katsayısı, tozun yüksek akış hızlarında akmaya daha dirençli olduğunu göstermektedir. Akış stabilitesinin 1.00'den küçük veya daha büyük olması test sırasında tozun değişikliğe uğradığını göstermektedir.

Yağsız süt tozlarının farklı sıcaklıklarda depolanması süresince akış stabilitesi değerleri 0.95-1.15 arasında değişmiştir (Çizelge 4.26). Varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 4.27), basınç ve depolama süresi yağsız süt tozlarının akış stabilitesi değerlerini önemli düzeyde etkilemiştir ($p < 0.01$) Oysa depolama sıcaklığının akış stabilitesi değeri üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur ($p > 0.05$). Tukey testine göre 20 ve 40°C'de depolanan örneklerin akış stabilitesi değerleri birbirine yakın bulunmuştur. En yüksek akış stabilitesi değeri kontrol (Yağsız-0) örneğinde bulunurken en düşük değer Yağsız-150 örneğinde belirlenmiştir. Artan basınca bağılı olarak yağsız süt tozlarında akış stabilitesi değerinde düşüş tespit edilmiştir. Depolama süresindeki artışa bağılı olarak örneklerin akış stabilitesi değerlerinde yükselme görülmüştür. Depolama süresince örneklerin akış stabilitesi değerleri 1.00'e yakın bulunmuştur. Bu durum analiz süresince

yağsız süt tozu örneklerinde fazla bir değişme olmadığını göstermektedir (Benković ve ark., 2013).

Analizin ilk döngüsündeki (10 mm/s sıkıştırma ve 50 mm/s kaldırma hızında) 50 mm/s hızda negatif alan kohezyon katsayısı olarak belirlenmiştir. Örneklerin kohezyon katsayısı değerleri depolama süresince -4.35 ile -12.35 mN.m aralığında değişmiştir. Depolama sıcaklığı, basınç ve süre 50 mm/s hızdaki kohezyon katsayısı değerlerini istatistiki açıdan önemli düzeyde etkilemiştir ($p<0.01$). 40°C’de depolanan örneklerin kohezyon katsayısı değerleri 20°C’de depolananlara kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Kohezyon katsayısının büyük olması örneğin daha az koheziflik göstermesi anlamına gelmektedir. Depolama süresine bağlı olarak kohezyon ilk 30 gün boyunca artmış olup ilerleyen periyotlarda düşüş göstermiştir. Bu sonuçlar örneklerin kohezyon indeksi değerlerindeki değişime benzerlik göstermektedir.

Hıza bağlı toz akış analizi, bir tozun hız akışı özellikleri hakkında önemli bilgiler vermektedir ve bu süt tozu işleme ortamında önemli bir bilgi olabilmektedir. Üretim hacim gereksinimlerini karşılamak için belirli bir hızda tesis içinden bir toz iletmede gerekli olabilmektedir. Hıza bağlı toz akış analizi, farklı taşıma hızları için bir tozun uygunluğunu değerlendirebilmekte veya partiden partiye hız akış özelliklerinde varyasyonlar için bir tozu test edebilmektedir (Anonymous, 2018).

4.4.2. Yağlı süt tozlarının toz akış özelliklerine ait sonuçlar ve tartışma

4.4.2.1. Yağlı süt tozlarının kekleşme özelliklerinde meydana gelen değişim

Süt tozlarının kekleşmeye yatkınlığı, tozun akış özellikleri ile ilgili önemli bilgiler verebilmektedir (Mercan ve ark., 2018). Farklı homojenizasyon basıncı uygulanmış koyulaştırılmış sütlerden üretilen yağlı süt tozlarının farklı depolama sıcaklıklarında depolanması süresince her döngü için kek yükseklik oranları, kek kuvveti ve ortalama kek kuvveti değerlerinde meydana gelen değişim Çizelge 4.29’da gösterilmiştir. Kek yükseklik oranları oluşan kekin kapsamı hakkında bilgi vermektedir. Farklı sıcaklıklarda depolama süresince kek yükseklik oranı 1: 0.008-0.152, kek yükseklik oranı 2: 0.012-0.301, kek yükseklik oranı 3: 0.102-0.368, kek yükseklik oranı 4: 0.021-0.395 ve kek yükseklik oranı 5: 0.127-0.432 aralığında değişmiştir.

Yağlı süt tozlarında depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresinin kekleşme özellikleri üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.30’da, Tukey testi sonuçları Çizelge 4.31’de gösterilmiştir. Depolama sıcaklığının kek yükseklik oranı 1 ve kek yükseklik oranı 2’ye etkisi önemsiz düzeyde ($p>0.05$) bulunmasına rağmen basınç ve depolama süresinin bu iki orana etkisi önemli düzeyde olmuştur ($p<0.01$). Bununla birlikte depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresinin, kek yükseklik oranı 3, kek yükseklik oranı 4 ve kek yükseklik oranı 5 üzerine etkileri istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ($p<0.01$). Tukey testi sonuçlarına göre, farklı sıcaklıklarda depolanmış örneklerin kek yükseklik oranı 1 ve kek yükseklik oranı 2 değerleri birbirine benzer bulunmuştur. Oysa diğer kek yükseklik oranlarına bakıldığında, 20°C’de depolanan örneklerdeki değerlerin 40°C’dekilere kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür. Bütün örneklerin kek yükseklik oranlarına bakıldığında, artan döngü sayısına bağlı olarak genellikle bir artış tespit edilmiştir. Kek yükseklik oranlarındaki keskin yükselişler, toz numunesinin kek oluşumuna karşı yüksek duyarlılığa sahip olduğunu göstermektedir (Benković ve ark., 2017). Bu durum farklı sıcaklıklarda depolama süresince yağlı süt tozu örneklerinin kekleşme eğiliminde olduğunu göstermektedir. Süt tozlarında artan döngü sayısına bağlı olarak kek yükseklik oranlarında artış önceki çalışmalarda da bildirilmiştir (Benković ve ark., 2013; Bansal ve ark., 2017).

Çizelge 4.29. Yağlı süt tozlarının kekleşme özellikleri*

Depolama sıcaklığı	Basınç (MPa)	Depolama süresi (gün)	Kek yükseklik oranı 1	Kek yükseklik oranı 2	Kek yükseklik oranı 3	Kek yükseklik oranı 4	Kek yükseklik oranı 5	Kek kuvveti (mN.m)	Ortalama kek kuvveti (N)
20°C	0	0	0.018±0.004	0.152±0.003	0.229±0.009	0.250±0.006	0.278±0.010	16.79±0.17	1.53±0.06
		30	0.021±0.003	0.226±0.008	0.277±0.005	0.361±0.013	0.385±0.016	36.67±0.84	2.04±0.04
		90	0.008±0.004	0.013±0.004	0.128±0.004	0.205±0.008	0.224±0.008	14.82±0.26	1.85±0.12
		180	0.010±0.002	0.014±0.006	0.102±0.011	0.175±0.006	0.253±0.010	19.48±0.19	2.10±0.08
	10	0	0.087±0.006	0.182±0.010	0.287±0.010	0.305±0.008	0.339±0.015	39.60±0.67	2.22±0.05
		30	0.099±0.003	0.245±0.007	0.349±0.008	0.345±0.011	0.373±0.011	40.85±0.48	2.12±0.05
		90	0.017±0.006	0.129±0.006	0.250±0.005	0.321±0.013	0.391±0.013	37.83±0.42	1.89±0.09
		180	0.044±0.008	0.222±0.012	0.321±0.013	0.344±0.009	0.340±0.015	31.44±0.20	2.03±0.04
	20	0	0.152±0.004	0.206±0.008	0.271±0.015	0.291±0.018	0.315±0.021	20.04±0.61	1.28±0.10
		30	0.016±0.006	0.117±0.146	0.032±0.004	0.128±0.004	0.138±0.006	1.73±0.04	1.00±0.07
		90	0.009±0.002	0.157±0.005	0.229±0.008	0.285±0.013	0.291±0.013	13.57±0.22	1.05±0.04
		180	0.009±0.002	0.173±0.009	0.231±0.013	0.273±0.011	0.294±0.008	16.50±0.24	1.33±0.08
	30	0	0.128±0.008	0.218±0.035	0.277±0.006	0.315±0.008	0.343±0.004	32.51±1.79	1.89±0.14
		30	0.026±0.003	0.180±0.006	0.245±0.008	0.275±0.008	0.323±0.011	24.23±0.40	1.56±0.05
		90	0.124±0.009	0.230±0.006	0.358±0.011	0.395±0.008	0.432±0.011	45.90±0.27	1.94±0.04
		180	0.020±0.004	0.141±0.013	0.193±0.010	0.246±0.006	0.287±0.018	18.05±0.82	1.68±0.13
40°C	0	0	0.018±0.004	0.152±0.003	0.229±0.009	0.250±0.006	0.278±0.010	16.79±0.17	1.53±0.06
		30	0.026±0.005	0.195±0.008	0.298±0.004	0.285±0.007	0.340±0.008	34.08±0.35	2.05±0.08
		90	0.008±0.001	0.014±0.003	0.139±0.006	0.226±0.006	0.290±0.013	34.50±0.36	2.68±0.10
		180	0.009±0.002	0.097±0.004	0.204±0.008	0.264±0.008	0.276±0.006	21.64±0.18	1.82±0.06
	10	0	0.087±0.006	0.182±0.010	0.287±0.010	0.305±0.008	0.339±0.015	39.60±0.67	2.22±0.05
		30	0.138±0.004	0.301±0.012	0.368±0.011	0.423±0.009	0.403±0.024	40.29±0.16	1.95±0.06
		90	0.008±0.003	0.094±0.008	0.140±0.014	0.143±0.011	0.154±0.009	6.63±0.34	2.12±0.06
		180	0.010±0.004	0.168±0.005	0.262±0.011	0.307±0.011	0.353±0.009	29.18±0.34	1.69±0.10
	20	0	0.152±0.004	0.206±0.008	0.271±0.015	0.291±0.018	0.315±0.021	20.04±0.61	1.28±0.10
		30	0.027±0.004	0.198±0.008	0.294±0.008	0.354±0.008	0.345±0.007	30.47±0.15	1.75±0.06
		90	0.007±0.004	0.014±0.011	0.017±0.011	0.021±0.013	0.127±0.012	1.44±0.04	2.20±0.07
		180	0.009±0.002	0.012±0.004	0.016±0.006	0.090±0.013	0.193±0.010	4.41±0.29	0.95±0.05
	30	0	0.128±0.008	0.218±0.035	0.277±0.006	0.315±0.008	0.343±0.004	32.51±1.79	1.89±0.14
		30	0.110±0.006	0.261±0.011	0.291±0.013	0.349±0.004	0.356±0.006	35.56±0.33	1.98±0.08
		90	0.023±0.010	0.173±0.017	0.243±0.009	0.303±0.012	0.407±0.017	46.27±0.25	2.18±0.05
		180	0.018±0.004	0.194±0.009	0.302±0.011	0.309±0.013	0.356±0.005	39.25±0.15	2.13±0.03

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

Çizelge 4.30. Yağlı süt tozlarının kekleşme özelliklerine ait varyans analizi sonuçları¹

VK	SD	Kek yükseklik oranı 1		Kek yükseklik oranı 2		Kek yükseklik oranı 3		Kek yükseklik oranı 4		Kek yükseklik oranı 5		Kek kuvveti		Ortalama kek kuvveti	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Depolama sıcaklığı (A)	1	0.00	0.33ns	0.00	1.21ns	0.00	12.98**	0.00	46.08**	0.00	6.63**	32.01	91.37**	0.54	87.46**
Basınç (B)	3	0.01	390.06**	0.03	39.43**	0.05	517.33**	0.04	350.61**	0.03	221.63**	1482.82	4233.02**	1.52	246.18**
Depolama süresi (C)	3	0.02	832.45**	0.04	53.92**	0.03	301.68**	0.02	199.61**	0.01	42.88**	182.84	521.97**	0.25	39.93**
A x B	3	0.00	1.47ns	0.00	5.62**	0.01	57.73**	0.00	41.75**	0.00	23.51**	208.51	595.23**	0.15	24.66**
A x C	3	0.00	109.74**	0.01	9.39**	0.03	268.13**	0.03	276.68**	0.01	93.84**	154.78	441.86**	0.44	70.85**
B x C	9	0.01	217.96**	0.01	8.72**	0.01	113.03**	0.01	78.72**	0.01	58.48**	252.61	721.14**	0.15	23.69**
A x B x C	9	0.00	50.79**	0.00	5.87**	0.01	143.62**	0.01	133.60**	0.01	67.29**	216.99	619.43**	0.13	20.84**
Hata	32	0.00		0.00		0.00		0.00		0.00		0.35		0.01	

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

Çizelge 4.31. Yağlı süt tozlarının kekleşme değerlerine ait Tukey testi sonuçları*

Faktör	N	Kek yükseklik oranı 1	Kek yükseklik oranı 2	Kek yükseklik oranı 3	Kek yükseklik oranı 4	Kek yükseklik oranı 5	Kek kuvveti	Ortalama kek kuvveti
Depolama sıcaklığı								
20	32	0.05a	0.16a	0.24a	0.28a	0.31a	25.63b	1.72b
40	32	0.05a	0.15a	0.23b	0.26b	0.30b	27.04a	1.90a
Basınç								
0	16	0.01d	0.11c	0.20c	0.25b	0.29c	24.35c	1.95b
10	16	0.06b	0.19a	0.28a	0.31a	0.34b	33.18b	2.03a
20	16	0.05c	0.14b	0.17d	0.22c	0.25d	13.53d	1.36c
30	16	0.07a	0.20a	0.27b	0.31a	0.36a	34.29a	1.91b
Depolama süresi								
0	16	0.10a	0.19a	0.27a	0.29b	0.32b	27.24b	1.73c
30	16	0.06b	0.22a	0.27a	0.31a	0.33a	30.49a	1.81b
90	16	0.03c	0.10b	0.19c	0.24d	0.29c	25.12c	1.99a
180	16	0.02d	0.13b	0.20b	0.25c	0.29c	22.49d	1.72c

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

Depolama periyodu boyunca yağlı süt tozlarının kek kuvveti değerleri 1.44-46.27 mN.m arasında değişirken ortalama kek kuvvetlerinin ise 0.95-2.68 N aralığında değiştiği tespit edilmiştir (Çizelge 4.29). Bu değerlerin yağsız süt tozlarındaki değerlere kıyasla oldukça yüksek olduğu görülmektedir.

Yapılan varyans analizi dikkate alındığında (Çizelge 4.30), depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresi yağlı süt tozlarının kek kuvveti ve ortalama kek kuvveti değerlerini istatistiki açıdan önemli düzeyde etkilediği görülmektedir ($p < 0.01$). Tukey testi sonuçlarına göre (Çizelge 4.31), 40°C’de depolanan yağlı süt tozu örneklerinin kek kuvveti ve ortalama kek kuvveti değerlerinin 20°C’de depolananlara kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durum yağsız süt tozlarıyla kıyaslandığında tam tersidir. En yüksek kek kuvveti değeri Yağlı-30’da bulunurken en yüksek ortalama kek kuvveti değeri Yağlı-10 örneğinde belirlenmiştir. En düşük kek kuvveti ve ortalama kek kuvveti değeri ise Yağlı-20 örneğinde belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre, yağlı süt tozlarında kekleşme oluşumunu azaltmak için en uygun homojenizasyon basıncının 20 MPa olduğu düşünülmektedir. Örneklerin kek kuvveti değerleri 30. güne kadar artış göstermiş ilerleyen periyotlarda ise düşmüştür. Ortalama kek kuvveti değeri ise 90. güne kadar artmış olup sonrasında düşüş göstermiştir.

4.4.2.2. Yağlı süt tozlarının kohezyon özelliklerinde meydana gelen değişim

Farklı homojenizasyon basıncı uygulanmış koyulaştırılmış sütlerden üretilen yağlı süt tozlarının farklı sıcaklıklarda depolanması süresince kohezyon özelliklerinde meydana gelen değişim Çizelge 4.32’de gösterilmiştir. Kohezyon katsayısı kuvvet-konum grafiğinin altındaki negatif alandan hesaplanmaktadır. Negatif yönde kohezyon katsayısındaki artış yani kohezyon katsayısındaki düşüş süt tozlarında kohezifliğin arttığını göstermektedir. 20°C’de depolanan yağlı süt tozlarının kohezyon katsayıları -19.09 mN.m ile -31.06 mN.m arasında değişirken 40°C’de depolananları -16.19 ile -30.06 mN.m aralığında belirlenmiştir. Kohezyon indeksi ise kohezyon katsayısının örnek ağırlığına bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Bu yüzden numune ağırlığının etkisinin ortadan kaldırılmasından dolayı tozların kalite kontrolünde kohezyon indeksi faydalı bir analizdir. Kohezyon indeksi değerleri 20°C’de depolanan yağlı süt tozlarında 33.06-55.28 ve 40°C’de depolanan örneklerde 32.26-55.61 arasında bulunmuştur. Daha önce Çizelge 3.2’de gösterildiği gibi, örneğin kohezyon indeksi değerinin >19 olması o örneğin aşırı derecede kohezif olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.32. Yağlı süt tozlarının kohezyon özellikleri*

Depolama sıcaklığı	Basınç (MPa)	Depolama süresi (gün)	Kohezyon katsayısı (mN.m)	Kohezyon indeksi	Kohezyon indeksi 10 mm/s	Kohezyon indeksi 20 mm/s	Kohezyon indeksi 50 mm/s	Kohezyon indeksi 100 mm/s
20°C	0	0	-21.68±0.29	36.20±1.70	51.67±2.37	59.18±1.67	61.23±1.73	61.48±2.10
		30	-19.31±0.69	38.86±1.21	52.73±2.44	53.44±2.04	52.20±1.27	42.74±1.75
		90	-22.66±0.26	39.63±0.53	57.86±0.20	53.30±1.00	49.22±1.11	51.80±1.70
		180	-20.31±0.41	38.27±1.04	54.09±1.29	52.19±1.15	50.82±1.67	52.48±0.74
	10	0	-22.98±0.73	48.20±1.99	62.30±2.40	65.19±2.53	66.63±2.31	57.86±1.61
		30	-27.31±1.17	55.21±1.85	69.40±1.41	69.19±1.82	70.94±1.34	68.20±1.70
		90	-28.76±0.94	49.36±0.91	84.38±0.88	52.20±1.14	39.00±1.41	35.06±1.33
		180	-21.18±0.55	46.36±0.90	63.41±0.84	63.56±1.04	61.04±1.36	65.35±0.92
	20	0	-30.06±0.91	53.11±1.57	65.90±2.68	70.25±1.77	71.18±1.67	68.48±2.10
		30	-19.09±0.74	33.06±2.75	40.38±2.30	40.98±2.86	38.20±2.55	37.73±3.21
		90	-25.50±0.41	46.13±1.23	68.08±1.31	66.67±1.87	66.55±2.06	66.78±1.73
		180	-20.49±0.15	42.06±1.33	59.48±0.74	55.09±1.29	56.20±1.13	53.41±0.83
	30	0	-22.67±1.47	47.24±1.57	61.08±1.52	58.69±2.39	56.05±1.48	54.72±1.01
		30	-31.06±0.46	55.28±0.88	78.03±1.45	39.48±0.74	40.45±0.78	37.34±0.93
		90	-30.07±0.47	52.48±0.87	76.31±0.98	49.56±0.91	29.35±0.92	46.34±0.93
		180	-19.18±0.61	39.09±1.29	51.62±0.54	48.42±0.81	47.80±1.00	45.33±1.36
40°C	0	0	-21.68±0.29	36.20±1.70	51.67±2.37	59.18±1.67	61.23±1.73	61.48±2.10
		30	-18.41±0.59	37.03±1.36	53.61±3.68	51.61±0.56	50.83±0.67	44.89±4.79
		90	-18.01±0.89	34.55±1.48	55.04±1.22	58.33±0.95	52.41±0.83	55.25±1.07
		180	-20.06±0.62	37.42±0.81	53.85±0.21	52.35±0.92	51.56±0.76	53.22±0.95
	10	0	-22.98±0.73	48.20±1.99	62.30±2.40	65.19±2.53	66.63±2.31	57.86±1.61
		30	-27.71±0.50	55.61±0.86	70.79±1.12	73.56±1.77	75.97±1.36	74.23±1.04
		90	-17.62±0.60	34.23±1.09	49.09±1.28	49.15±1.20	52.70±0.42	48.35±0.92
		180	-19.39±0.32	41.11±2.39	63.11±1.25	66.11±1.55	64.07±1.32	63.11±1.26
	20	0	-30.06±0.91	53.11±1.57	65.90±2.68	70.25±1.77	71.18±1.67	68.48±2.10
		30	-25.13±0.52	50.40±0.85	63.14±1.21	64.08±1.31	64.09±1.28	62.54±1.07
		90	-21.91±0.15	42.22±1.10	72.60±0.56	75.54±0.65	70.41±0.83	71.91±0.54
		180	-16.19±0.66	32.26±1.05	46.46±0.76	44.31±0.98	41.08±1.30	42.45±0.78
	30	0	-22.67±1.47	47.24±1.57	61.08±1.52	58.69±2.39	56.05±1.48	54.72±1.01
		30	-26.37±1.54	53.14±1.22	60.28±1.01	60.24±1.64	61.01±1.40	60.16±1.18
		90	-22.05±0.03	44.00±1.42	71.31±0.98	68.31±0.83	68.28±1.01	69.32±0.96
		180	-20.38±0.31	43.22±1.10	64.17±1.17	68.32±0.96	72.30±0.42	72.84±0.36

* ($\bar{x}$ ±std sapma, n=2)

Yağlı süt tozlarında depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresinin kohezyon özellikleri üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.33’de, Tukey testi sonuçları Çizelge 4.34’de gösterilmiştir. Depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresi yağlı süt tozu örneklerinin kohezyon katsayılarını ve kohezyon indeksi değerlerini istatistiki açıdan önemli düzeyde etkilemiştir ($p<0.01$). Tukey testi sonuçlarına göre 40°C’de depolanan yağsız süt tozu örneklerinin kohezyon katsayıları 20°C’de depolananlara kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Diğer bir ifadeyle 20°C’de depolanan örneklerde negatif alanın yani kohezyonun daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Kohezyon katsayısı değeri ile ilişkili olarak, 20°C’de depolanan yağlı süt tozu örneklerinin kohezyon indeksi değerleri 40°C’de depolananlara kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yağlı süt tozlarında artan depolama sıcaklığındaki artışa (30 ve 40°C) bağlı olarak kohezyon değerlerinde düşüş Fitzpatrick ve ark. (2004) tarafından da bildirilmiştir. Depolama süresince kohezyon katsayısı ve kohezyon indeksi değerleri incelendiğinde, ilk 30 günlük depolama süresince kohezyon değerlerinin benzer olduğu görülmüştür. Ancak ilerleyen periyotlarda koheziflikte azalma tespit edilmiştir. En yüksek kohezyon katsayısı ve en düşük kohezyon indeksi homojenize edilmemiş kontrol örneğinde (Yağsız-0) belirlenmiştir.

Bu çalışmada incelenen yağlı süt tozlarının kohezyon değerleri yağsız süt tozlarının kohezyon değerlerine kıyasla oldukça yüksek bulunmuştur. Diğer bir ifadeyle yağsız süt tozlarının akabilirliğinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebi yağsız süt tozlarının yüzeyinin büyük çoğunlukla laktoz ve protein ile az miktarda yağdan oluşmasıdır. Oysa yağlı süt tozlarının yüksek yüzey yağı akmayı inhibe etmektedir ve ayrıca tozların yüzeyindeki yağ, parçacıkların birbirine yapışmasına veya aglomere olmasına neden olarak tozların akışkanlığını bozmaktadır (Kim ve ark., 2005).

Dört hızda kohezyon analizi, tozların akış hızına bağlı olarak akış özelliklerini belirlemek için kullanılmaktadır. Bu analiz, dört farklı hızdan oluşan kontrollü akışa karşı süt tozlarının direncini belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Yağlı süt tozlarının 10, 20, 50 ve 100 mm/s hızlarda belirlenen dört hızda kohezyon analizi sonuçları Çizelge 4.32’de verilmiştir. Farklı sıcaklıklarda depolama süresince örneklerin kohezyon indeksi değerleri 10 mm/s hızda 40.38-84.38, 20 mm/s hızda 39.48-75.54, 50 mm/s hızda 38.20-75.97 ve 100 mm/s hızda 35.06-74.23 aralıklarında değişmiştir.

Çizelge 4.33’de verilen varyans analizi sonuçlarına göre depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresi ile bunların interaksiyonlarının 10, 20, 50 ve 100 mm/s hızlardaki kohezyon indeksi değerlerine etkisi önemli düzeyde gerçekleşmiştir ($p<0.01$).

Çizelge 4.33. Yağlı süt tozlarının kohezyon özelliklerine ait varyans analizi sonuçları¹

VK	SD	Kohezyon katsayısı		Kohezyon indeksi		Kohezyon indeksi 10 mm/s		Kohezyon indeksi 20 mm/s		Kohezyon indeksi 50 mm/s		Kohezyon indeksi 100 mm/s	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Depolama sıcaklığı (A)	1	62,82	115,36**	58.43	28.49**	65.06	23.40**	482.02	192.67**	945.02	465.38**	836.87	305.95**
Basınç (B)	3	51,68	94,91**	372.43	181.61**	496.54	178.56**	226.61	90.58**	289.91	142.77**	138.55	50.65**
Depolama süresi (C)	3	79,03	145,13**	178.18	86.89**	267.20	96.09**	169.93	67.92**	317.66	156.43**	145.27	53.11**
A x B	3	6,29	11,54**	23.39	11.41**	101.70	36.57**	173.10	69.19**	330.88	162.94**	226.60	82.84**
A x C	3	43,91	80,63**	96.45	47.03**	106.77	38.40**	103.38	41.32**	205.63	101.26**	167.14	61.11**
B x C	9	39,47	72,49**	88.29	43.05**	119.11	42.83**	257.81	103.05**	326.21	160.64**	438.39	160.27**
A x B x C	9	10,24	18,81**	41.59	20.28**	196.74	70.75**	73.25	29.28**	125.94	62.02**	87.20	31.88**
Hata	32	0,54		2.05		2.78		2.50		2.03		2.74	

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

Çizelge 4.34. Yağlı süt tozlarının kohezyon değerlerine ait Tukey testi sonuçları*

Faktör	N	Kohezyon katsayısı	Kohezyon indeksi	Kohezyon indeksi 10 mm/s	Kohezyon indeksi 20 mm/s	Kohezyon indeksi 50 mm/s	Kohezyon indeksi 100 mm/s
Depolama sıcaklığı							
20	32	-23.89b	45.03a	62.29a	56.09b	53.55b	52.82b
40	32	-21.89a	43.12b	60.28b	61.57a	61.24a	60.05a
Basınç							
0	16	-20.27a	37.27c	53.82c	54.95d	53.69c	52.92c
10	16	-23.49b	47.29a	65.60a	63.02a	53.91c	58.75a
20	16	-23.55b	44.04b	60.24b	60.90b	59.86b	58.97a
30	16	-24.31b	47.71a	65.48a	56.46c	53.91c	55.10b
Depolama süresi							
0	16	-24.35c	46.19a	60.24b	63.33a	63.77a	60.64a
30	16	24.30c	47.32a	61.04b	56.57c	56.71b	53.48c
90	16	-23.32b	42.82b	66.83a	59.13b	53.49c	55.60b
180	16	-19.65a	39.97c	57.02c	56.29c	55.61b	56.03b

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

Tukey testi sonuçlarına göre (Çizelge 4.34), 20°C’de depolanan örneklerin 10 mm/s hızdaki kohezyon indeksi değerleri 40°C’de depolananlara kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Bu sonucun aksine örneklerin 20, 50 ve 100 mm/s hızlardaki kohezyon indeksi değerleri 40°C’de depolananlarla kıyaslandığında 20°C’de depolanan örneklerde daha düşük olduğu belirlenmiştir. Tüm hızlardaki kohezyon indeksi değerleri incelendiğinde, en düşük değerlerin genel olarak Yağsız-0 örneğinde olduğu tespit edilmiştir. Depolama süresince farklı hızlardaki kohezyon indeksi değerlerinde düzenli olmayan artma ve azalmalar görülmüştür. 50 ve 100 mm/s gibi yüksek hızlara çıkıldığında yağlı süt tozlarının kohezyon indeksi değerlerinde bir miktar düşüş olduğu tespit edilmiştir.

Süt tozlarının akabilirliği üzerinde etkiye sahip birkaç etmen bulunmaktadır. Partikül boyutu önemli etkilerden birine sahiptir ve partikül boyutu azaldığında tozun akabilirliği azalmaktadır. Daha fazla temas alanı olduğunda da akış kısıtlanmaktadır. Partikül şekli, partiküller arasında yüzey temasını etkilediğinden dolayı akabilirliği etkilemektedir. Ayrıca tozun nemi arttıkça akabilirlik azalmaktadır (Kim ve ark., 2005). Bunların dışında süt tozundaki amorf laktoz miktarı da tozun akabilirliğine etki etmektedir (Fitzpatrick ve ark., 2007).

4.4.2.3. Yağlı süt tozlarının hıza bağlı toz akış özelliklerinde meydana gelen değişim

Hıza bağlı toz akış özellikleri analizi, farklı hızlarda uygulanan kontrollü akışta bir toz numunesinin direncini ölçmek amacıyla yapılmaktadır. Bu analizde, yağlı süt tozlarının artan hızlarda toz akış özelliklerini belirlemek için 10, 20, 50 ve 100 mm/s kontrollü akış hızı uygulanmıştır. Bu hızlar, tozların taşınması ve işlenmesi sırasında oluşabilecek çeşitli durumları simüle etmesi amacıyla belirlenmiştir. Hıza bağlı toz özellikleri analizinde, kuvvet-konum grafiklerinin üstündeki pozitif alan sıkıştırma eğrilerini göstermektedir ve her devirdeki iki döngü boyunca ortalaması alınıp test edilen hızların her birinde sıkıştırma katsayısını vermektedir.

Farklı homojenizasyon basıncı uygulanmış koyulaştırılmış sütlerden üretilen yağlı süt tozlarının farklı sıcaklıklarda depolanması süresince hıza bağlı toz akış özelliklerinde meydana gelen değişim Çizelge 4.35’de verilmiştir. Farklı sıcaklıklarda depolama süresince yağlı süt tozu örneklerinin sıkıştırma katsayısı değerleri 10 mm/s hızda 62.51-96.98 mN.m, 20 mm/s hızda 59.41-99.27 mN.m, 50 mm/s hızda 55.30-97.90 mN.m ve 100 mm/s hızda 49.06-91.25 mN.m aralıklarında bulunmuştur.

Yağlı süt tozu örneklerinde depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresinin hıza bağlı toz akış özellikleri üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.36’da, Tukey testi sonuçları Çizelge 4.37’de gösterilmiştir. Depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresinin örneklerin 10, 20, 50 ve 100 mm/s hızlardaki sıkıştırma katsayısı değerleri üzerindeki etkisi istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ($p < 0.01$). 20°C’de depolanan yağlı süt tozu örneklerinin 10, 20, 50 ve 100 mm/s hızlardaki sıkıştırma katsayısı değerlerinin 40°C’de depolananlara kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durum yağsız süt tozu örneklerindeki benzer bulunmuştur. Bansal ve ark. (2017) daha yüksek sıkıştırma katsayısı değerlerinin, silindirin içindeki tozun içinden bıçağı hareket ettirmek için gereken daha fazla kuvveti ifade ettiğini bildirmiştir. Uygulanan basınca bağlı olarak değerlendirildiğinde ise 10, 20, 50 ve 100 mm/s hızlardaki en yüksek sıkıştırma katsayısı değerleri genel olarak Yağlı-10 ve Yağlı-30 örneklerinde belirlenmiştir. Homojenize edilmemiş kontrol örneğinin (Yağlı-0) sıkıştırma katsayısı değerleri ise diğer örneklerle kıyaslandığında genel olarak daha düşük bulunmuştur.

Çizelge 4.35. Yağlı süt tozlarının hıza bağlı toz akış özellikleri*

Depolama sıcaklığı	Basınç (MPa)	Depolama süresi (gün)	Sıkıştırma katsayısı 10 mm/s (mN.m)	Sıkıştırma katsayısı 20 mm/s (mN.m)	Sıkıştırma katsayısı 50 mm/s (mN.m)	Sıkıştırma katsayısı 100 mm/s (mN.m)	Akış stabilitesi	Kohezyon katsayısı 50 mm/s (mN.m)
20°C	0	0	79.11±0.93	82.22±1.17	73.96±0.58	70.93±0.46	1.15±0.02	-38.29±0.33
		30	70.71±1.18	67.39±0.72	63.20±0.65	56.29±0.55	1.02±0.02	-24.35±0.24
		90	62.99±0.82	59.41±0.80	55.30±0.67	49.06±0.25	1.00±0.01	-28.92±0.57
		180	71.58±1.38	70.80±0.96	66.15±0.81	58.97±0.40	1.03±0.01	-24.95±0.61
	10	0	74.09±0.76	69.01±0.51	65.91±0.51	56.30±0.57	1.04±0.01	-29.75±0.47
		30	88.69±0.95	85.26±1.30	77.73±0.57	64.51±6.72	1.04±0.01	-32.29±4.06
		90	92.44±0.92	96.29±3.04	97.90±2.54	91.13±0.60	1.11±0.03	-47.95±0.55
		180	77.29±1.42	72.27±0.96	59.16±0.73	53.22±0.38	0.85±0.06	-27.10±0.09
	20	0	81.94±0.77	69.88±0.59	59.15±0.43	56.29±0.55	0.91±0.01	-37.70±0.62
		30	71.27±0.94	72.49±0.58	65.98±0.39	59.03±0.27	1.08±0.02	-20.98±0.55
		90	81.31±0.58	81.46±0.85	77.00±0.72	72.65±0.62	1.11±0.02	-35.40±0.18
		180	66.27±0.94	65.14±0.77	63.26±0.71	59.34±0.70	1.06±0.02	-27.51±0.30
	30	0	66.84±0.78	66.61±0.59	63.68±0.26	52.08±0.29	1.07±0.01	-27.88±0.60
		30	82.11±1.01	86.63±0.94	79.53±0.29	71.91±0.46	1.12±0.02	-39.62±0.56
		90	96.98±4.02	99.27±5.86	97.05±3.56	91.25±1.46	1.06±0.01	-43.75±0.68
		180	70.14±0.80	64.79±0.28	61.48±0.81	53.96±0.31	1.01±0.01	-22.33±0.37
40°C	0	0	79.11±0.93	82.22±1.17	73.96±0.58	70.93±0.46	1.15±0.02	-38.29±0.33
		30	62.51±0.44	64.67±0.32	60.03±0.30	55.78±0.34	1.02±0.02	-22.05±0.67
		90	78.84±0.78	78.63±0.75	69.58±0.96	63.02±0.34	1.04±0.02	-25.38±0.34
		180	74.06±0.90	72.40±0.50	63.11±0.62	58.19±0.63	1.05±0.01	-25.04±0.73
	10	0	74.09±0.76	69.01±0.51	65.91±0.51	56.30±0.57	1.04±0.01	-29.75±0.47
		30	85.48±1.03	81.66±0.37	75.12±0.83	69.38±0.37	1.00±0.01	-36.64±0.50
		90	66.19±1.00	64.40±0.59	63.96±0.31	59.38±0.76	1.06±0.02	-30.54±0.66
		180	82.13±1.03	75.80±0.63	74.13±0.82	67.03±0.49	1.02±0.01	-29.77±0.50
	20	0	81.94±0.77	69.88±0.59	59.15±0.43	56.29±0.55	0.91±0.01	-37.70±0.62
		30	68.10±0.89	67.52±0.44	65.60±0.36	61.97±0.42	1.09±0.01	-31.27±0.32
		90	84.29±0.63	81.97±0.81	75.20±0.75	68.20±0.76	1.04±0.02	-35.33±0.87
		180	62.60±1.16	59.56±1.01	58.08±0.67	53.73±0.32	1.03±0.03	-18.86±0.33
	30	0	66.84±0.78	66.61±0.59	63.68±0.26	52.08±0.29	1.07±0.01	-27.88±0.60
		30	71.74±1.19	70.52±0.57	69.27±0.88	64.04±0.46	1.00±0.01	-29.35±0.32
		90	83.31±1.04	81.61±0.35	78.58±0.51	70.77±0.79	1.07±0.03	-33.75±0.59
		180	78.96±0.71	77.07±0.82	72.16±0.64	69.28±0.89	1.00±0.01	-35.45±0.21

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

Çizelge 4.36. Yağlı süt tozlarının hıza bağlı akış özelliklerine ait varyans analizi sonuçları¹

VK	SD	Sıkıştırma katsayısı 10 mm/s		Sıkıştırma katsayısı 20 mm/s		Sıkıştırma katsayısı 50 mm/s		Sıkıştırma katsayısı 100 mm/s		Akış stabilitesi		Kohezyon katsayısı 50 mm/s	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Depolama sıcaklığı (A)	1	70.46	52.19**	128.73	68.20**	94.80	99.33**	26.41	15.24**	0.00	0.18ns	29.49	38.41**
Basınç (B)	3	173.35	128.40**	141.33	74.88**	284.51	298.08**	111.45	64.33**	0.00	11.22**	69.29	90.25**
Depolama süresi (C)	3	180.41	133.64**	338.31	179.24**	485.07	508.21**	480.84	277.57**	0.01	19.52**	246.37	320.89**
A x B	3	56.12	41.57**	116.42	61.68**	44.37	46.48**	37.23	21.49**	0.00	5.18**	6.38	8.31**
A x C	3	78.41	58.08**	105.44	55.86**	149.07	156.18**	186.40	107.60**	0.00	8.17**	75.03	97.73**
B x C	9	249.65	184.92**	239.89	127.10**	186.41	195.31**	254.50	146.91**	0.02	40.72**	111.61	145.37**
A x B x C	9	108.63	80.47**	156.24	82.78**	169.11	177.17**	166.37	96.04**	0.00	8.30**	70.17	91.39**
Hata	32	1.35		1.89		0.95		1.73		0.00		0.77	

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

Çizelge 4.37. Yağlı süt tozlarının hıza bağlı akış toz özellikleri ait Tukey testi sonuçları*

Faktör	N	Sıkıştırma katsayısı 10 mm/s	Sıkıştırma katsayısı 20 mm/s	Sıkıştırma katsayısı 50 mm/s	Sıkıştırma katsayısı 100 mm/s	Akış stabilitesi	Kohezyon katsayısı 50 mm/s
Depolama sıcaklığı							
20	32	77.11a	75.56a	70.40a	63.56a	1.04a	-31.80b
40	32	75.01b	72.72b	67.97b	62.27b	1.04a	-30.44a
Basınç							
0	16	72.36d	72.22b	65.66b	60.40b	1.06a	-28.41a
10	16	80.05a	76.71a	72.48a	64.66a	1.02a	-32.98c
20	16	74.72c	70.99b	65.43b	60.94b	1.03b	-30.60b
30	16	77.12b	76.64a	73.18a	65.67a	1.05a	-35.50c
Depolama süresi							
0	16	75.50b	71.93c	65.68c	58.90c	1.04b	-33.41c
30	16	75.08b	74.52b	69.56b	62.86b	1.05ab	-29.57b
90	16	80.80a	80.38a	76.82a	70.68a	1.06a	-35.13d
180	16	72.88c	69.73d	64.69d	59.21c	1.01c	-26.38a

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

Örneklerin sıkıştırma katsayısı değerleri genel olarak ilk 90 gün depolama periyodu boyunca artış gösterirken 180. güne kadar olan sürede düşüş göstermiştir. Yağlı süt tozu örneklerinin sıkıştırma katsayılarında analiz hızındaki artış ile genel olarak düşüş olduğu görülmüştür. Akış hızının artmasıyla sıkıştırma katsayısında azalma, tozun artan akış hızlarıyla daha serbest akma eğilimi gösterdiğini belirtmektedir. Benzer durum yağsız süt tozlarında da tespit edilmiştir.

Yağlı süt tozlarının farklı sıcaklıklarda depolanması süresince akış stabilitesi değerleri 0.91-1.15 arasında değişmiştir (Çizelge 4.35). Varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 4.36), basınç ve depolama süresi yağlı süt tozu örneklerinin akış stabilitesi değerlerini önemli düzeyde etkilemiştir ($p<0.01$) Oysa depolama sıcaklığının akış stabilitesi değeri üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$). Tukey testine göre 20 ve 40°C’de depolanan yağlı süt tozlarının akış stabilitesi değerleri birbirine yakın bulunmuştur. Yağlı-20 örneğinin akış stabilitesi değerinin diğer örneklere kıyasla daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Akış stabilitesi değeri ilk 90 gün depolama periyodu boyunca artış gösterirken 180. güne kadar olan sürede düşüş göstermiştir.

Analizin ilk döngüsünde (10 mm/s sıkıştırma ve 50 mm/s kaldırma hızında) 50 mm/s hızdaki negatif alan kohezyon katsayısı olarak belirlenmiştir. Yağlı süt tozu örneklerinin kohezyon katsayısı değerleri depolama süresince -4.35 ile -12.35 mN.m aralığında değişmiştir. Depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresi 50 mm/s hızdaki kohezyon katsayısı değerlerini istatistiki açıdan önemli düzeyde etkilemiştir ($p<0.01$).

4.5. Süt Tozlarının Partikül Boyutu Ölçümü Değerlerine Ait Sonuçlar ve Tartışma

4.5.1. Yağsız süt tozlarının partikül boyutu ölçümü değerlerinde meydana gelen değişim

Yağsız süt tozlarının partikül boyutu ölçümü sonuçları span, üniformite, spesifik yüzey alanı (SYA), $D[3,2]$, $D[4,3]$, $d(0.1)$, $d(0.5)$ ve $d(0.9)$ değerleri olmak üzere 8 farklı şekilde değerlendirilmiştir. YBH uygulanmış koyulaştırılmış sütlerden üretilen yağsız süt tozlarının farklı sıcaklıklarda depolanması süresince partikül boyutu değerlerinde meydana gelen değişim Çizelge 4.38’de verilmiştir.

Span değeri, partikül dağılımının boyutsuz genişliğini ifade etmektedir. Kurutma işlemi sırasında ortaya çıkan boyut dağılımı ve partiküller arası ilişkiler toz akışkanlığını etkilemektedir. Örneklerin span değerleri depolama süresince 1.29-1.83 aralığında değişmiştir. Yapılan varyans analizine göre (Çizelge 4.39) span değerini depolama sıcaklığı $p<0.05$ düzeyinde, basınç ve depolama süresi ise $p<0.01$ düzeyinde etkilemiştir. Çizelge 4.40’da verilen Tukey testi sonuçlarına göre, 20°C ’de depolanan örneklerin span değerleri 40°C ’de depolananlara kıyasla daha yüksek bulunmuştur. YBH uygulanmış örneklerin span değerlerinin kontrol örneğine kıyasla daha düşük olduğu belirlenmiştir. Span değerinin düşük olması toz örneğin daha dar bir partikül dağılımı gösterdiğini ifade etmektedir. Genel olarak dar bir dağılım gösteren tozların daha iyi akış gösterdiği bildirilmektedir (Sharma ve ark., 2012). Depolama süresi sonunda yağsız süt tozlarının span değerlerinde artış meydana geldiği tespit edilmiştir. Ilari ve Mekkaoui (2005) yaptıkları bir çalışmada yağsız süt tozunun span değerini 1.93 olarak bulmuşlardır. Nikolova ve ark. (2014) ise yağsız süt tozu örneklerinde span değerinin 1.09-1.39 arasında değiştiğini belirlemişlerdir.

Üniformite, medyandan ($d(0.5)$) mutlak sapmanın bir ölçüsüdür. Yağsız süt tozlarının üniformite değerleri depolama boyunca 0.46-0.99 arasında belirlenmiştir. Depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresinin örneklerin üniformite değerlerine etkisi istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ($p<0.01$). Tukey testi sonuçlarına göre, 20°C ’de depolanan örneklerin üniformite değerleri 40°C ’de depolananlara kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Yağsız-50 ve Yağsız-100 örneklerinin üniformite değerlerinin kontrol (Yağsız-0) ve Yağsız-150 örneklerine kıyasla daha düşük olduğu belirlenmiştir. Depolama süresi sonunda örneklerin üniformite değerinde bariz artış tespit edilmiştir. Üniformite değerindeki artış, tozlarda medyan değerden uzaklaşmayı ifade etmektedir.

Çizelge 4.38. Yağsız süt tozlarının partikül boyutu değerleri*

Depolama sıcaklığı	Basınç (MPa)	Depolama süresi (gün)	Span	Üniformite	Spesifik Yüzey Alanı (m ² /g)	D[3,2] (µm)	D[4,3] (µm)	d(0.1) (µm)	d(0.5) (µm)	d(0.9) (µm)
20°C	0	0	1.48±0.04	0.50±0.02	0.27±0.00	22.31±0.14	30.25±0.69	12.99±0.03	25.41±0.09	50.71±1.28
		180	1.81±0.01	0.97±0.03	0.32±0.00	19.05±0.07	52.65±1.20	13.85±0.07	33.05±0.07	73.70±0.57
	50	0	1.29±0.00	0.40±0.00	0.27±0.00	22.31±0.01	27.88±0.01	13.55±0.00	25.27±0.01	46.10±0.08
		180	1.67±0.01	0.99±0.02	0.32±0.00	18.50±0.00	56.15±0.64	15.90±0.00	34.20±0.00	72.90±0.28
	100	0	1.39±0.01	0.46±0.00	0.19±0.00	31.69±0.02	42.26±0.17	18.56±0.00	36.67±0.01	69.57±0.36
		180	1.58±0.02	0.93±0.04	0.19±0.00	31.65±0.07	62.50±1.56	19.30±0.00	39.05±0.07	81.15±0.64
	150	0	1.56±0.02	0.53±0.01	0.23±0.00	25.58±0.02	36.79±0.23	14.24±0.01	30.99±0.04	62.46±0.54
		180	1.63±0.05	0.98±0.03	0.30±0.09	20.00±1.41	58.10±9.19	14.95±0.64	32.95±0.92	68.65±3.89
	0	0	1.48±0.04	0.50±0.02	0.27±0.00	22.31±0.14	30.25±0.69	12.99±0.03	25.41±0.09	50.71±1.28
		180	1.83±0.02	0.97±0.00	0.32±0.00	19.05±0.21	53.05±0.21	13.85±0.07	33.15±0.21	74.60±0.99
40°C	50	0	1.29±0.00	0.40±0.00	0.27±0.00	22.31±0.01	27.88±0.01	13.55±0.00	25.27±0.01	46.10±0.08
		180	1.60±0.02	0.78±0.04	0.31±0.00	19.50±0.00	50.45±2.05	16.45±0.07	35.05±0.35	72.50±1.27
	100	0	1.39±0.01	0.46±0.00	0.19±0.00	31.69±0.02	42.26±0.17	18.56±0.00	36.67±0.01	69.57±0.36
		180	1.55±0.01	0.63±0.01	0.30±0.01	19.60±0.42	46.45±1.20	17.10±0.42	36.10±0.57	72.90±0.85
	150	0	1.56±0.02	0.53±0.01	0.23±0.00	25.58±0.02	36.79±0.23	14.24±0.01	30.99±0.04	62.46±0.54
		180	1.57±0.02	0.82±0.10	0.35±0.00	17.35±0.07	47.10±3.39	14.60±0.00	32.15±0.07	65.05±0.78

* ($\bar{x}$ ±std sapma, n=2)

Çizelge 4.39. Yağsız süt tozlarının partikül boyutu değerlerine ait varyans analizi sonuçları¹

VK	SD	<u>Span</u>		<u>Üniformite</u>		<u>Spesifik Yüzey Alanı</u>		<u>D[3,2]</u>		<u>D[4,3]</u>		<u>d(0.1)</u>		<u>d(0.5)</u>		<u>d(0.9)</u>	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Depolama sıcaklığı (A)	1	0.00	4.58*	0.05	47.93**	0.00	4.90*	23.46	164.65**	130.82	19.54**	0.50	13.27**	0.98	11.44**	16.10	10.74**
Basınç (B)	3	0.07	117.81**	0.02	21.86**	0.01	18.46**	116.34	816.49**	98.76	14.75**	36.91	979.89**	101.35	1182.99**	284.97	190.00**
Depolama süresi (C)	3	0.41	737.93**	1.33	1184.33**	0.03	52.96**	190.88	1339.57**	2891.69	432.03**	6.68	177.36**	190.21	2220.32**	1914.54	1276.47**
A x B	3	0.00	1.23ns	0.01	7.39**	0.00	3.21ns	17.72	124.34**	24.94	3.73*	0.71	18.87**	1.35	15.79**	8.30	5.53**
A x C	3	0.00	4.58*	0.05	47.93**	0.00	4.90*	23.46	164.65**	130.82	19.54**	0.50	13.27**	0.98	11.44**	16.10	10.74**
B x C	9	0.04	75.25**	0.01	11.73**	0.00	1.38ns	7.05	49.49**	73.59	10.99**	3.14	83.24**	36.46	425.64**	249.57	166.39**
A x B x C	9	0.00	1.23ns	0.01	7.39**	0.00	3.21ns	17.72	124.34**	24.94	3.73*	0.71	18.87**	1.35	15.79**	8.30	5.53**
Hata	32	0.00		0.00		0.00		0.14		6.69		0.04		0.09		1.50	

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

Çizelge 4.40. Yağsız süt tozlarının partikül boyutu değerlerine ait ait Tukey testi sonuçları*

Faktör	N	Span	Üniformite	Spesifik Yüzey Alanı	D[3,2]	D[4,3]	d(0.1)	d(0.5)	d(0.9)
Depolama Sıcaklığı									
20	32	1.55a	0.72a	0.26b	23.89a	45.82a	15.42a	32.20a	65.66a
40	32	1.53b	0.64b	0.28a	22.17b	41.78b	15.17b	31.85b	64.24b
Basınç									
0	16	1.65a	0.74a	0.29a	20.68c	41.55bc	13.42d	29.26d	62.43c
50	16	1.46c	0.64b	0.29a	20.66c	40.59c	14.86b	29.95c	59.40d
100	16	1.48c	0.62b	0.22b	28.66a	48.37a	18.38a	37.12a	73.30a
150	16	1.58b	0.71a	0.28a	22.13b	44.69ab	14.51c	31.77b	64.66b
Depolama süresi									
0	16	1.43b	0.47b	0.24b	25.47a	34.29b	14.84b	29.59b	57.21b
180	16	1.66a	0.88a	0.30a	20.59b	53.31a	15.75a	34.46a	72.68a

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

Depolama periyodu süresince yağsız örneklerin spesifik yüzey alanları (SYA) 0.19-0.35 m²/g arasında değişmiştir. Yapılan varyans analizine göre (Çizelge 4.39) örneklerin SYA değerini depolama sıcaklığı $p < 0.05$ düzeyinde, basınç ve depolama süresi ise $p < 0.01$ düzeyinde etkilemiştir. Çizelge 4.40'da verilen Tukey testi sonuçlarına göre, 20°C'de depolanan örneklerin SYA değerleri 40°C'de depolananlara kıyasla daha düşük bulunmuştur. Yağsız-150 örneğinin SYA değeri diğer örneklerle kıyasla düşük bulunmasına rağmen diğer örneklerin SYA değerleri birbirine yakın bulunmuştur. Depolamanın başlangıcındaki SYA değerleri depolama sonundakiler kıyasla daha düşük bulunmuştur. Bir diğer ifadeyle artan depolama süresine bağlı olarak örneklerin SYA değerlerinin arttığı tespit edilmiştir.

D[3,2] değeri yüzey ağırlıklı ortalama olarak da ifade edilmektedir. Aynı zamanda Sauter ortalama çapı olarak da bilinen D[3,2] aktif yüzeylere sahip veya yüzey alanının önemli olduğu durumlarda kullanılmaktadır. D[3,2] değeri partikül hacminin küpünün yüzey alanının karesine bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Yağsız süt tozu örneklerinin D[3,2] değerleri 17.35-31.69 µm arasında bulunmuştur. Depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresi yağsız süt tozlarının D[3,2] yani YAO değerlerini önemli düzeyde etkilemiştir ($p < 0.01$). Tukey testi sonuçlarına göre, 20°C'de depolanan örneklerin D[3,2] değerleri 40°C'de depolananlara kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Yağsız-100 ve Yağsız-150 örneklerinin Sauter ortalama çapı değerlerinin Yağsız-0 ve Yağsız-50 örneklerinininkinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Depolama süresine bağlı olarak ise örneklerin D[3,2] değerlerinde düşüş gözlenmiştir. Sert ve ark. (2016) yağsız süt tozlarında Sauter ortalama çapını 14.07-24.91 µm arasında bulmasına rağmen Pugliese ve ark. (2017) bu değeri 25.86-60.79 µm olarak bulmuştur.

D[4,3] değeri aynı zamanda hacim ağırlıklı ortalama (HAO) olarak adlandırılmaktadır ve genellikle partikül sayısının önemsiz olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Örneklerin depolama periyodu boyunca HAO (D[4,3]) değerlerinin 27.88-62.50 µm arasında olduğu tespit edilmiştir. Depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresi yağsız süt tozlarının D[4,3] yani HAO değerlerini istatistiki açıdan önemli düzeyde etkilemiştir ($p < 0.01$). Tukey testi sonuçlarına göre (Çizelge 4.40), artan depolama sıcaklığına bağlı olarak örneklerin HAO değerlerinin düştüğü belirlenmiştir. En yüksek HAO değeri Yağsız-100 örneğindeyken en düşük değer Yağsız-50 örneğinde bulunmuştur. Depolama süresi arttıkça örneklerin D[4,3] değerlerinde yükselme görülmüştür. Sert ve ark. (2016) yağsız süt tozlarında D[4,3] değerini 25.59-33.54 µm arasında bulmasına rağmen Pugliese ve ark. (2017) bu değeri 72.60-135.66 µm olarak

bulmuştur. Murphy ve ark. (2015) ise süt bazlı toz bebek mamasında bu değeri 155.4 μm olarak bulmuştur.

d(0.1) değeri örneğin %10'unun bu çapın altında olduğunu göstermektedir. Örneklerin d(0.1) değeri 12.99-19.30 μm aralığında değişmiştir. Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre, yağsız süt tozlarının d(0.1) değeri depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresinden önemli düzeyde etkilenmiştir ($p<0.01$). Tukey testi sonuçlarına göre (Çizelge 4.40), 20°C'de depolanan örneklerin d(0.1) değerleri 40°C'de depolanana kıyasla daha yüksek bulunmuştur. En düşük d(0.1) değeri kontrol örneğinde bulunurken en yüksek değer Yağsız-100 örneğinde bulunmuştur. Depolama süresi arttıkça örneklerin d(0.1) değerlerinde artış görülmüştür. Schuck ve ark. (2012) yağsız süt tozlarında d(0.1) değerini 130 μm olarak bulmuştur. Bu değerlerin mevcut çalışmadakilere kıyasla oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Sert ve ark. (2016) ise bu değeri 5.52-14.92 μm olarak bulmuştur.

d(0.5) değeri numunenin %50'sinin bu çapın altında olduğunu ifade etmektedir. Yağsız süt tozlarının d(0.5) değerleri depolama periyodunda 25.27-39.05 μm aralığında değişmiştir. Depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresi yağsız süt tozlarının d(0.5) değerlerini istatistiki açıdan önemli düzeyde etkilemiştir ($p<0.01$). Tukey testi sonuçlarına göre (Çizelge 4.40), 20°C'de depolanan örneklerin d(0.5) değerleri 40°C'de depolanana kıyasla daha yüksek bulunmuştur. En düşük d(0.5) değeri Yağsız-0 örneğinde bulunurken en yüksek değer Yağsız-100 örneğinde bulunmuştur. Depolama süresi arttıkça örneklerin d(0.5) değerlerinde artış görülmüştür. Ilari ve Mekkaoui (2005) yağsız süt tozlarında d(0.5) değerinin 66 μm olduğunu bildirmiştir. Nikolova ve ark. (2014) ise bu değeri 51.1-123.7 μm aralığında bulmuştur. Daha yüksek d(0.5) değerleri Schuck ve ark. (2012) tarafından bildirilmiştir.

d(0.9) değeri örneğin %90'ının bu çapın altında olduğunu göstermektedir. Örneklerin d(0.9) değerleri farklı sıcaklıklarda depolanması süresince 46.10-81.15 μm aralığında bulunmuştur. Depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresi yağsız süt tozlarının d(0.9) değerlerini önemli düzeyde etkilemiştir ($p<0.01$). Tukey testi sonuçlarına göre, 20°C'de depolanan örneklerin d(0.9) değerleri 40°C'de depolanana kıyasla daha yüksek bulunmuştur. En düşük d(0.9) değeri Yağsız-50 örneğinde bulunurken en yüksek değer Yağsız-100 örneğinde bulunmuştur. Depolama süresi arttıkça örneklerin d(0.9) değerlerinde artış görülmüştür. Benzer sonuçlar Sert ve ark. (2016) tarafından bildirilmesine rağmen Pugliese ve ark. (2017) ve Schuck ve ark. (2012) daha yüksek değerler bildirmişlerdir.

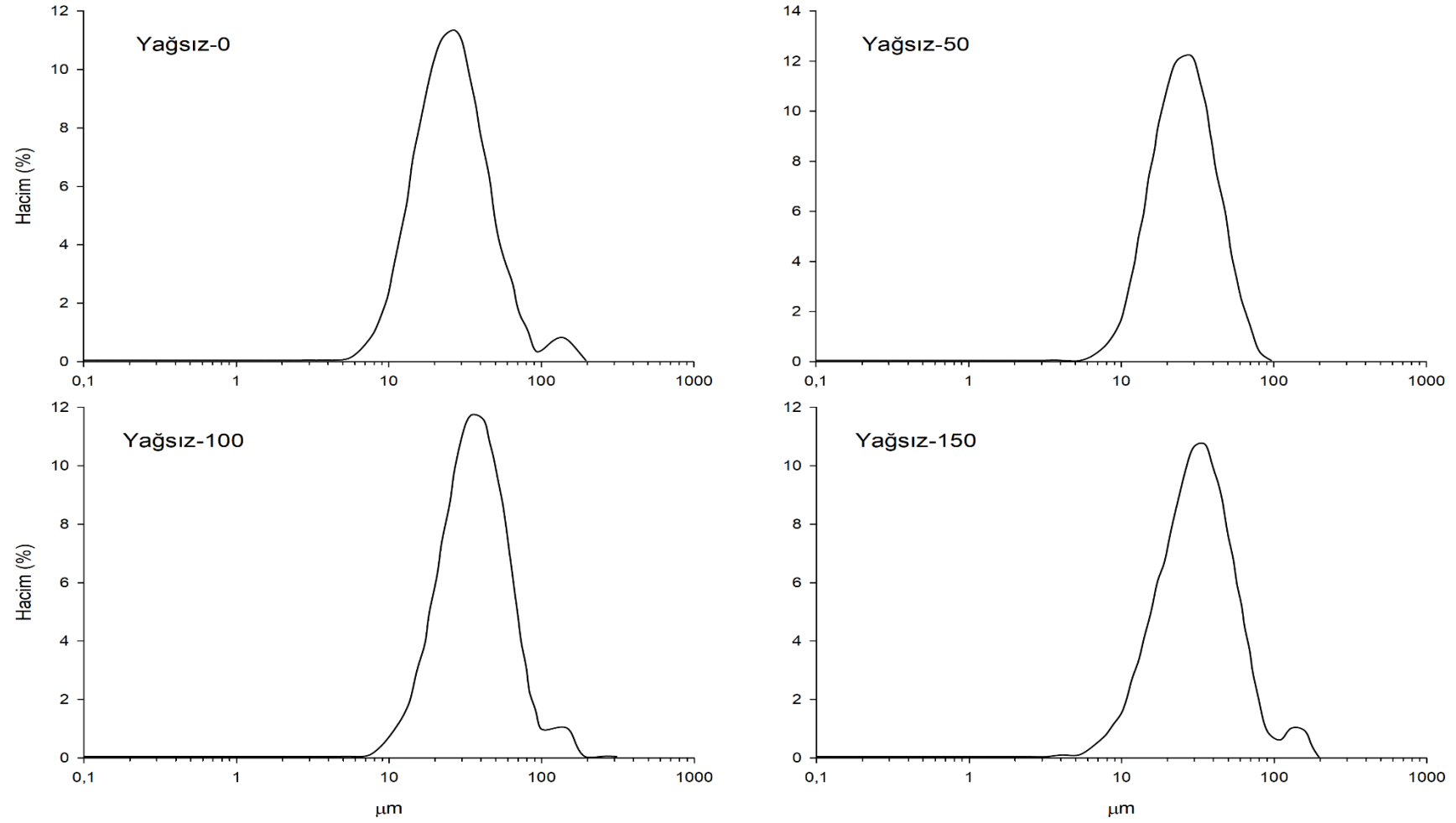
Yağsız süt tozlarının depolamanın 0. günündeki partikül boyutu dağılım grafikleri Şekil 4.1’de verilmiştir. Depolamanın 0. gününde yağsız örneklerin partikül dağılımları genel olarak 5-200 μm aralığında değişmiştir. Yağsız-50 örneği monomodal partikül dağılımı göstermiş olup diğer örnekler bimodal dağılım göstermiştir. Diğer bir ifadeyle Yağsız-50 haricindeki örnekler 100-200 μm aralığında 2. bir pik göstermiştir. 0. günde tüm örneklerin partikül dağılımı ana pikleri ise 30 μm civarında görülmüştür. Genel olarak yağsız süt tozlarının partikül dağılımları birbirine benzemesine rağmen hacim (%) ve dağılım genişliğinde farklılıklar belirlenmiştir.

20°C’de 180 gün depolanmış yağsız süt tozlarının partikül dağılım grafikleri Şekil 4.2’de, 40°C’de 180 gün depolanmış yağsız süt tozlarının partikül dağılım grafikleri ise Şekil 4.3’de verilmiştir. 0. günde partikül boyutu dağılım grafiklerinden farklı olarak 180. günde tüm örneklerde 100 μm ’den sonra ikinci pik gözlenmiştir. Bu ikinci piklerin boyutu 100-1000 μm aralığında bulunmuştur. Bunun nedeni olarak depolama süresince bazı partiküllerin birleşerek büyük boyutlu partiküller meydana getirmesi gösterilebilir. Hacim olarak bu partiküller %1’in altında bulunmuştur. Yağsız-0 ve Yağsız-50 örneklerinde 1 μm altında hacimce çok az olan değişimler belirlenmiştir. Bu durum önemsiz düzeydedir. 20 ve 40°C’de 180 gün depolanmış örnekler bimodal dağılım göstermiştir.

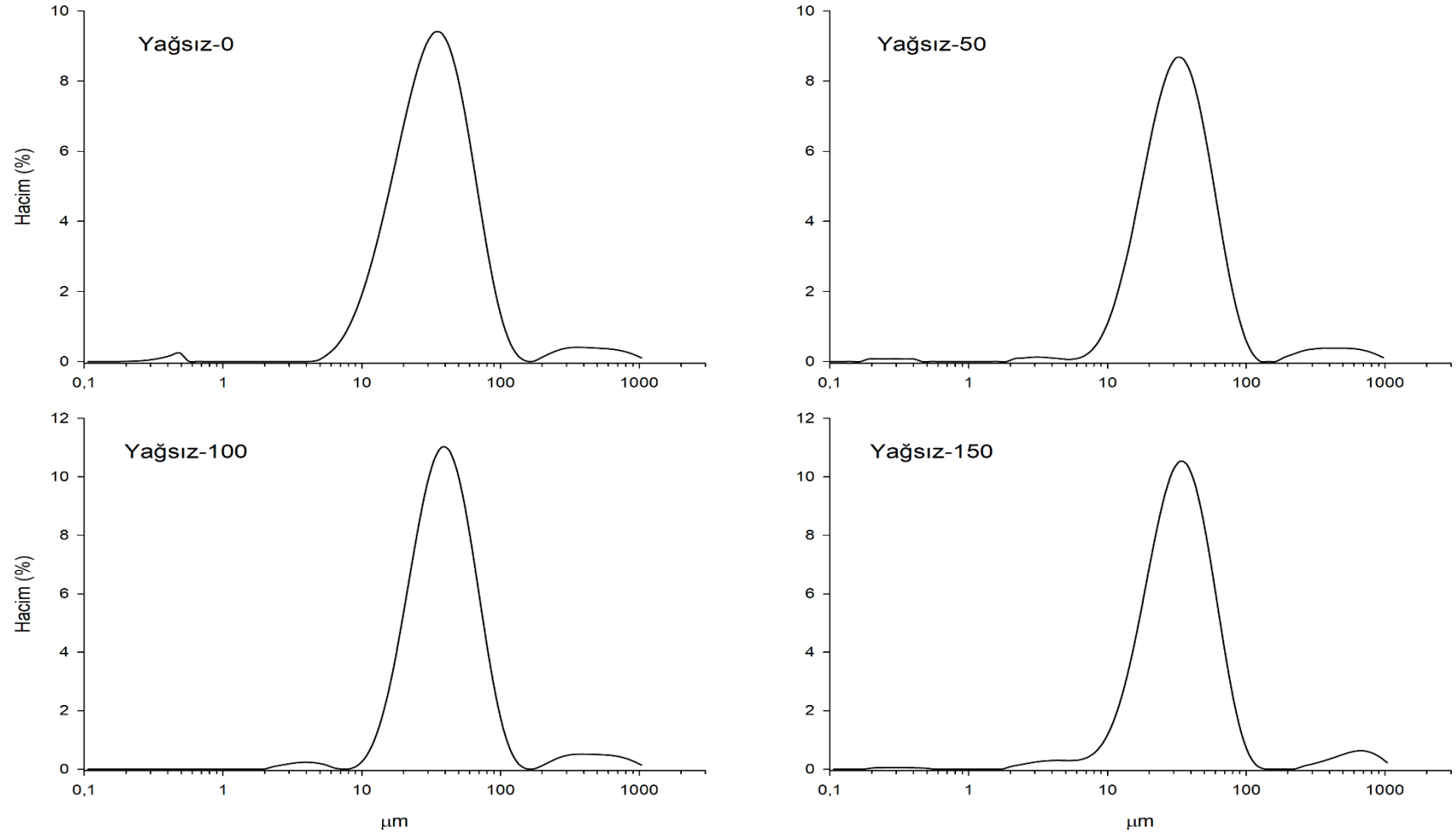
Bu çalışmadakine benzer partikül boyutu dağılım grafikleri Sert ve ark. (2016) tarafından da bildirilmiştir. Bu çalışmadan farklı olarak yağsız süt tozlarında partikül boyutunun 1-100 μm aralığında değiştiği belirlenmiştir.

Yine bu çalışmadaki partikül dağılım eğrisine benzer partikül dağılım grafiği instant soya sütü tozlarında da bildirilmiştir (Jinapong ve ark., 2008).

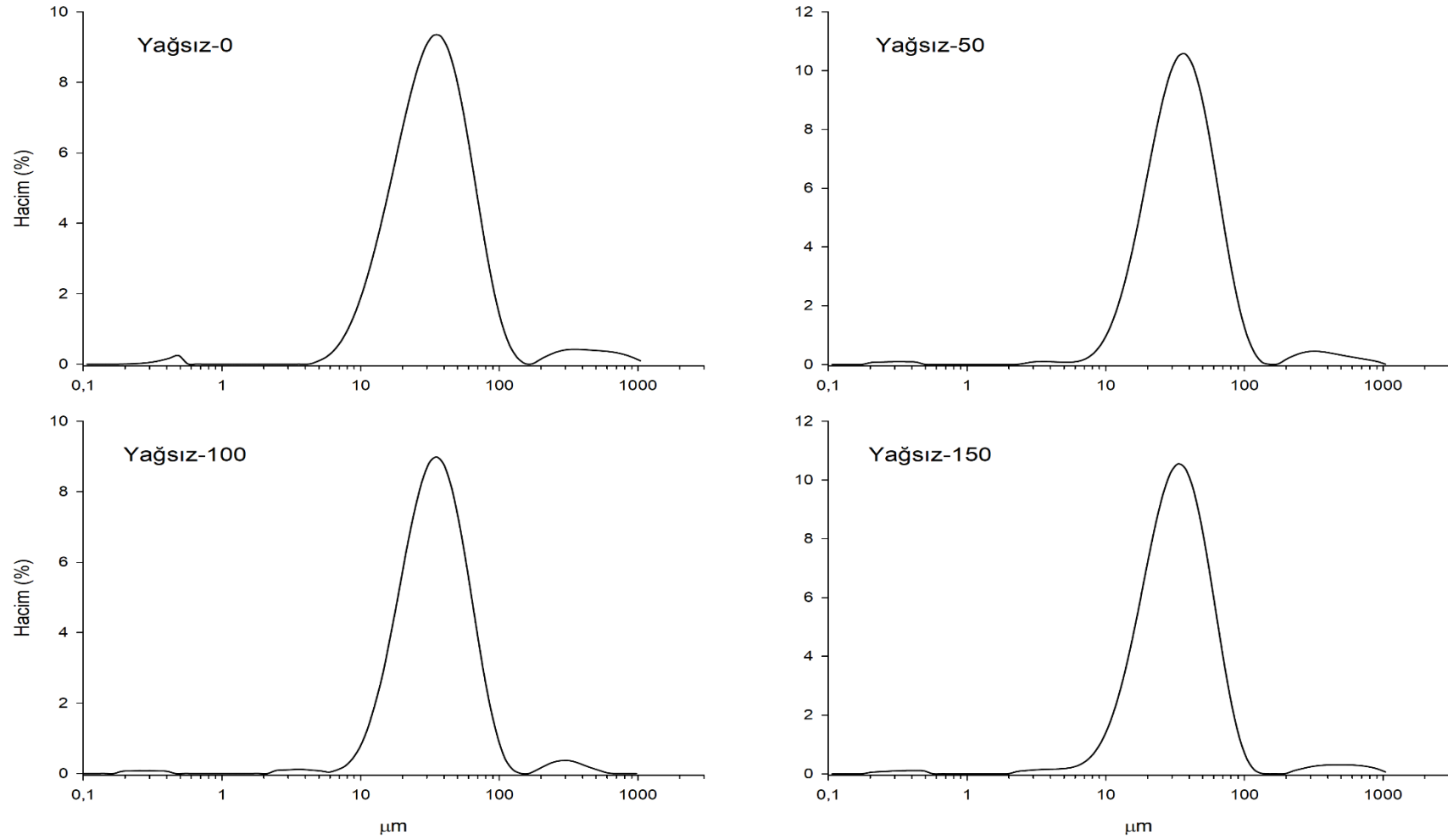
Turchiuli ve ark. (2013) aglomere edilmemiş yağsız süt tozlarında monomodal dağılım ve dağılımın pik noktasının 100 μm ’den yüksek olduğunu bildirmiş olup bu çalışmadakine kıyasla daha yüksektir. Ayrıca aglomerasyon süresine bağlı olarak partikül dağılımın değiştiği ve bazı durumlarda partikül dağılım eğrisinde omuz verme görüldüğü belirtilmiştir.



Şekil 4.1. Depolamanın 0. gününde yağsız süt tozlarına ait partikül boyutu dağılım grafikleri



Şekil 4.2. 20°C’de 180 gün depolanmış yağsız süt tozlarına ait partikül boyutu dağılım grafikleri



Şekil 4.3. 40°C’de 180 gün depolanmış yağsız süt tozlarına ait partikül boyutu dağılım grafikleri

4.5.2. Yağlı süt tozlarının partikül boyutu ölçümü değerlerinde meydana gelen değişim

Yağlı süt tozlarının partikül boyutu özelliklerini incelemek amacıyla yapılan partikül boyutu analizinin sonuçları span, üniformite, spesifik yüzey alanı (SYA), $D[3,2]$, $D[4,3]$, $d(0.1)$, $d(0.5)$ ve $d(0.9)$ değerleri olarak Çizelge 4.41’de verilmiştir. Farklı homojenizasyon basıncı uygulanmış koyulaştırılmış sütlerden üretilen yağlı süt tozlarının depolanması süresince span değerleri 20°C’de depolananlar için 1.52-2.37 ve 40°C’de depolananlar için 1.54-1.98 aralıklarında değişmiştir.

Yağlı süt tozu örneklerinde depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresinin partikül boyutu ölçümü değerleri üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.42’de, Tukey testi sonuçları Çizelge 4.43’de gösterilmiştir. Depolama sıcaklığının span değeri üzerine etkisi önemsiz ($p>0.05$) olmasına rağmen basınç ve depolama süresinin etkisi istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ($p<0.01$). Tukey testi sonuçlarına göre, farklı sıcaklıklarda depolanan örneklerin span değerleri birbirine benzer bulunmuştur. En yüksek span değeri homojenize edilmemiş Yağsız-0 örneğinde bulunmuş iken en düşük değer Yağlı-20 ve Yağlı-30 örneklerinde bulunmuştur. Span değerinin düşük olması toz örneğin daha dar bir partikül dağılımı gösterdiğini ifade etmektedir. Homojenizasyon işlemi yağlı süt tozlarında span değerini düşürerek daha dar bir partikül dağılımına yol açmıştır. Depolama süresinin span değerine etkisi incelendiğinde ise artan depolama süresinin span değerini artırdığı belirlenmiştir. Bunun sebebi olarak partiküllerin birleşerek daha büyük parçacıklar oluşturmasıdır. Pugliese ve ark. (2017) farklı metotlarla üretilen yağlı süt tozlarının span değerlerinin 1.65-2.17 aralığında değiştiğini ve ortalama 1.82 olduğunu bildirmişlerdir. Sert ve ark. (2016) ise span değeri için daha geniş bir aralık (1.43-2.58) bildirmiştir.

Yağlı süt tozlarının üniformite değerleri farklı sıcaklıklarda depolama boyunca 0.53-1.15 arasında belirlenmiştir. Yapılan varyans analizi depolama sıcaklığının span değeri üzerine etkisinin önemsiz ($p>0.05$), basınç ve depolama süresinin ise önemli ($p<0.01$) olduğunu göstermiştir. Tukey testi sonuçları farklı sıcaklıklarda depolanan örneklerin span değerlerinin birbirine benzer olduğunu belirtmektedir. Homojenizasyon işleminin yağlı süt tozlarında üniformite değerini kontrol grubu örneklerle karşılaştırarak tespit edilmiştir. Depolama süresinin ise örneklerin üniformite değerini artırdığı belirlenmiştir.

Çizelge 4.41. Yağlı süt tozlarının partikül boyutu değerleri*

Depolama sıcaklığı	Basınç (MPa)	Depolama süresi (gün)	Span	Üniformite	Spesifik Yüzey Alanı (m ² /g)	D [3, 2] (μm)	D [4, 3] (μm)	d (0.1) (μm)	d (0.5) (μm)	d (0.9) (μm)
20°C	0	0	1.98±0.02	0.64±0.01	0.22±0.00	27.31±0.11	41.15±0.38	15.09±0.02	31.84±0.08	78.05±0.91
		180	2.37±0.09	1.15±0.08	0.30±0.00	19.95±0.07	65.35±3.61	15.40±0.00	37.00±0.14	103.00±4.24
	10	0	1.54±0.00	0.53±0.00	0.27±0.00	22.54±0.02	30.80±0.00	13.76±0.01	25.07±0.02	52.31±0.04
		180	1.77±0.04	0.93±0.04	0.33±0.01	14.09±0.12	49.11±0.16	14.07±0.10	29.06±0.08	63.25±0.35
	20	0	1.95±0.06	0.63±0.01	0.21±0.00	29.10±0.23	42.62±0.69	16.56±0.06	32.94±0.23	80.75±2.27
		180	2.06±0.04	1.04±0.05	0.31±0.01	19.55±0.78	61.15±1.77	16.65±0.07	36.15±0.07	91.20±1.56
	30	0	1.52±0.01	0.54±0.01	0.31±0.00	19.38±0.02	26.21±0.06	12.51±0.00	20.48±0.01	43.52±0.06
		180	1.88±0.04	0.96±0.06	0.41±0.01	12.10±0.14	44.05±0.06	12.92±0.06	24.94±0.06	54.06±0.09
	40	0	1.98±0.02	0.64±0.01	0.22±0.00	27.31±0.11	41.15±0.38	15.09±0.02	31.84±0.08	78.05±0.91
		180	2.34±0.08	1.14±0.05	0.28±0.00	21.70±0.14	64.70±0.14	15.88±0.04	37.77±0.10	101.55±0.64
40°C	0	0	1.54±0.00	0.53±0.00	0.27±0.00	22.54±0.02	30.80±0.00	13.76±0.01	25.07±0.02	52.31±0.04
		180	1.73±0.01	1.03±0.03	0.36±0.00	16.55±0.07	50.70±0.99	14.30±0.00	30.00±0.00	66.50±0.28
	10	0	1.95±0.06	0.63±0.01	0.21±0.00	29.10±0.23	42.62±0.69	16.56±0.06	32.94±0.23	80.75±2.27
		180	1.98±0.04	0.90±0.01	0.29±0.01	20.15±0.64	55.75±0.07	16.70±0.14	36.00±0.00	87.80±0.85
	20	0	1.52±0.01	0.54±0.01	0.31±0.00	19.38±0.02	26.21±0.06	12.51±0.00	20.48±0.01	43.52±0.06
		180	1.80±0.07	0.95±0.04	0.40±0.01	13.13±0.18	39.11±0.16	13.05±0.07	24.84±0.06	50.10±0.14

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

Çizelge 4.42. Yağlı süt tozlarının partikül boyutu değerlerine ait varyans analizi sonuçları¹

VK	SD	<u>Span</u>		<u>Üniformite</u>		<u>Spesifik Yüzey Alanı</u>		<u>D[3,2]</u>		<u>D[4,3]</u>		<u>d(0.1)</u>		<u>d(0.5)</u>		<u>d(0.9)</u>	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Depolama sıcaklığı (A)	1	0.01	2.80ns	0.00	0.58ns	0.00	0.82ns	4.26	55.21**	11.05	9.59**	0.10	30.15**	0.27	25.02**	3.87	1.83ns
Basınç (B)	3	0.50	242.12**	0.04	29.11**	0.02	540.70**	135.40	1753.49**	639.51	555.23**	22.56	6948.13**	272.54	25590.93**	3353.12	1589.29**
Depolama süresi (C)	3	0.48	233.66**	1.47	1218.77**	0.05	1560.09**	441.49	5717.40**	2751.71	2389.08**	1.21	373.56**	153.83	14443.74**	1463.54	693.68**
A x B	3	0.00	0.24ns	0.01	4.51*	0.00	9.79**	0.34	4.37*	5.73	4.97*	0.02	5.24*	0.16	15.44**	5.37	2.54ns
A x C	3	0.01	2.80ns	0.00	0.58ns	0.00	0.82ns	4.26	55.21**	11.04	9.59**	0.10	30.15**	0.27	25.02**	3.87	1.83ns
B x C	9	0.04	18.33**	0.01	8.06**	0.00	8.82**	3.13	40.54**	30.78	26.72**	0.07	22.04**	1.93	180.85**	108.69	51.52**
A x B x C	9	0.00	0.24ns	0.01	4.51*	0.00	9.79**	0.34	4.37*	5.73	4.97*	0.02	5.24*	0.16	15.44**	5.37	2.54ns
Hata	32	0.00		0.00		0.00		0.08		1.15		0.00		0.01		2.11	

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

Çizelge 4.43. Yağlı süt tozlarının partikül boyutu değerlerine ait Tukey testi sonuçları*

Faktör	N	Span	Üniformite	Spesifik Yüzey Alanı	D[3,2]	D[4,3]	d(0.1)	d(0.5)	d(0.9)
Depolama Sıcaklığı									
20	32	1.88a	0.80a	0.29a	20.50b	45.05a	14.62b	29.69b	70.77a
40	32	1.85a	0.79a	0.29a	21.23a	43.88b	14.73a	29.87a	70.07a
Basınç									
0	16	2.17a	0.89a	0.26c	24.07b	53.09a	15.37b	34.62a	90.16a
10	16	1.98b	0.75bc	0.31b	18.93c	40.35c	13.97c	27.30b	58.59c
20	16	1.68c	0.80b	0.26c	24.48a	50.53b	16.62a	34.51a	85.13b
30	16	1.65c	0.74c	0.36a	15.99d	33.89d	12.75d	22.68c	47.80d
Depolama süresi									
0	16	1.74b	0.58b	0.25b	24.58a	35.19b	14.48b	27.58b	63.66b
180	16	1.99a	1.01a	0.33a	17.15b	53.74a	14.87a	31.97a	77.18a

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

Üniformite değeri, medyandan mutlak sapmanın ölçüsü olarak ifade edilmektedir. Yağlı süt tozlarının üniformite değerini bildiren çok az çalışma bulunmaktadır. Sert ve ark. (2016) bildirdiği üniformite değeri olan 0.47-0.58 aralığı bu çalışmada elde edilen değerlerden daha yüksektir. Bu duruma depolama süresinin üniformite değerini artırması yol açmıştır.

Farklı sıcaklıklarda depolama periyodu süresince yağlı örneklerin spesifik yüzey alanları (SYA) 0.21-0.41 m²/g arasında değiştiği belirlenmiştir. Varyans analiz sonuçlarına (Çizelge 4.42) göre, depolama sıcaklığının SYA değeri üzerine etkisi önemsiz (p>0.05) olmasına rağmen basınç ve depolama süresinin etkisi istatistiki açıdan önemli bulunmuştur (p<0.01). Çizelge 4.43’de verilen Tukey testi sonuçlarına göre, 20°C’de depolanan örneklerin SYA değerleri 40°C’de depolananlar ile benzer bulunmuştur. En yüksek SYA değeri yağlı süt tozları için bu çalışmada kullanılan en yüksek homojenizasyon basıncı olan Yağlı-30 örneğinde belirlenmiştir. Depolamanın başlangıcındaki SYA değerleri depolama sonundakilere kıyasla daha düşük bulunmuştur. Bir diğer ifadeyle artan depolama süresine bağlı olarak yağlı süt tozu örneklerinin SYA değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Berlin ve ark. (1964) yağlı ve yağsız olmak üzere tüm süt tozlarının SYA değerlerinin 0.1-0.6 m²/g aralığında değiştiğini bildirmişlerdir. Williams (2007) ise yağlı süt tozlarında SYA değerinin 0.41-0.57 m²/g arasında değiştiğini ifade etmiştir.

D[3,2] değeri yüzey ağırlıklı ortalama (YAO) veya Sauter ortalama çapı olarak da ifade edilmektedir ve aktif yüzeylere sahip veya yüzey alanının önemli olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Yağlı süt tozlarının D[3,2] değerleri 13.13-29.10 µm arasında bulunmuştur. Depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresi yağsız süt tozlarının D[3,2] yani YAO değerlerini önemli düzeyde etkilemiştir (p<0.01). Tukey testi sonuçlarına göre, 20°C’de depolanan örneklerin D[3,2] değerleri 40°C’de depolananlara kıyasla daha düşük bulunmuştur. En düşük YAO değeri 10 MPa basınçta homojenize edilen örnekte tespit edilmiştir. Depolama süresine bağlı olarak ise örneklerin D[3,2] değerlerinde düşüş gözlenmiştir. Benzer sonuçlar Sert ve ark. (2016) tarafından yapılan çalışmada bildirilmiştir ki bu çalışmada yağlı süt tozlarının Sauter ortalama çap değerinin 16.61-23.46 µm arasında değiştiği bulunmuştur. Oysa Pugliese ve ark. (2017) daha yüksek Sauter ortalama çap değeri bildirmiştir. Cruz ve ark. (2005) ise bu değerin 30-202 µm olduğunu belirtmiştir.

D[4,3] değeri aynı zamanda hacim ağırlıklı ortalama (HAO) olarak adlandırılmaktadır ve genellikle partikül sayısının önemsiz olduğu durumlarda

kullanılmaktadır. Depolama periyodu boyunca yağlı süt tozlarının HAO (D[4,3]) değerlerinin 26.21-65.35 μm arasında olduğu tespit edilmiştir. Depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresi yağlı süt tozlarının D[4,3] yani HAO değerlerini istatistiki açıdan önemli düzeyde etkilemiştir ($p<0.01$). Tukey testi sonuçlarına göre (Çizelge 4.40), artan depolama sıcaklığına bağlı olarak örneklerin HAO değerlerinin düştüğü belirlenmiştir. En yüksek HAO değeri Yağlı-0 (kontrol) örneğindeyken en düşük değer Yağlı-30 örneğinde bulunmuştur. Depolama süresi arttıkça örneklerin D[4,3] değerlerinde yükselme görülmüştür. Williams (2007) farklı şartlarda üretilen yağlı süt tozlarının D[4,3] değerlerinin 30-202 μm arasında değiştiğini bildirmiştir. Fitzpatrick ve ark. (2004) farklı serbest yağ içeriğine sahip yağlı süt tozlarının ortalama çap değerlerinin 47-83 μm olduğunu belirtmiştir.

Yağlı süt tozlarının d(0.1) değeri depolama süresince 12.99-19.30 μm aralığında değişmiştir. d(0.1) değeri örneğin % 10'unun bu çapın altında olduğunu göstermektedir. Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre, yağlı süt tozlarının d(0.1) değeri depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresinden önemli düzeyde etkilenmiştir ($p<0.01$). Tukey testi sonuçlarına göre (Çizelge 4.43), 20°C'de depolanan örneklerin d(0.1) değerleri 40°C'de depolananlara kıyasla daha düşük bulunmuştur. En düşük d(0.1) değeri kontrol örneğinde bulunurken en yüksek değer Yağlı-30 örneğinde bulunmuştur. Depolama süresi arttıkça örneklerin d(0.1) değerlerinde artış görülmüştür. Schuck ve ark. (2012) yağlı süt tozlarında d(0.1) değerini 80 μm olarak bulmuştur. Sert ve ark. (2016) ise bu değeri 6.67-15.00 μm olarak bulmuştur.

Yağlı süt tozlarının d(0.5) değerleri depolama periyodunda 20.48-37.77 μm aralığında değişmiştir. d(0.5) değeri numunenin %50'sinin bu çapın altında olduğunu ifade etmektedir. Depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresi yağlı süt tozlarının d(0.5) değerlerini istatistiki açıdan önemli düzeyde etkilemiştir ($p<0.01$). Tukey testi sonuçlarına göre (Çizelge 4.43), 20°C'de depolanan örneklerin d(0.5) değerleri 40°C'de depolananlara kıyasla daha düşük bulunmuştur. En düşük d(0.5) değeri Yağlı-30 örneğinde bulunurken en yüksek değer Yağlı-0 ve Yağlı-20 örneklerinde bulunmuştur. Williams (2007) yağlı süt tozlarında d(0.5) değerini 27-106 μm arasında, Schuck ve ark. (2012) ise ortalama 162 μm olarak bildirmiştir.

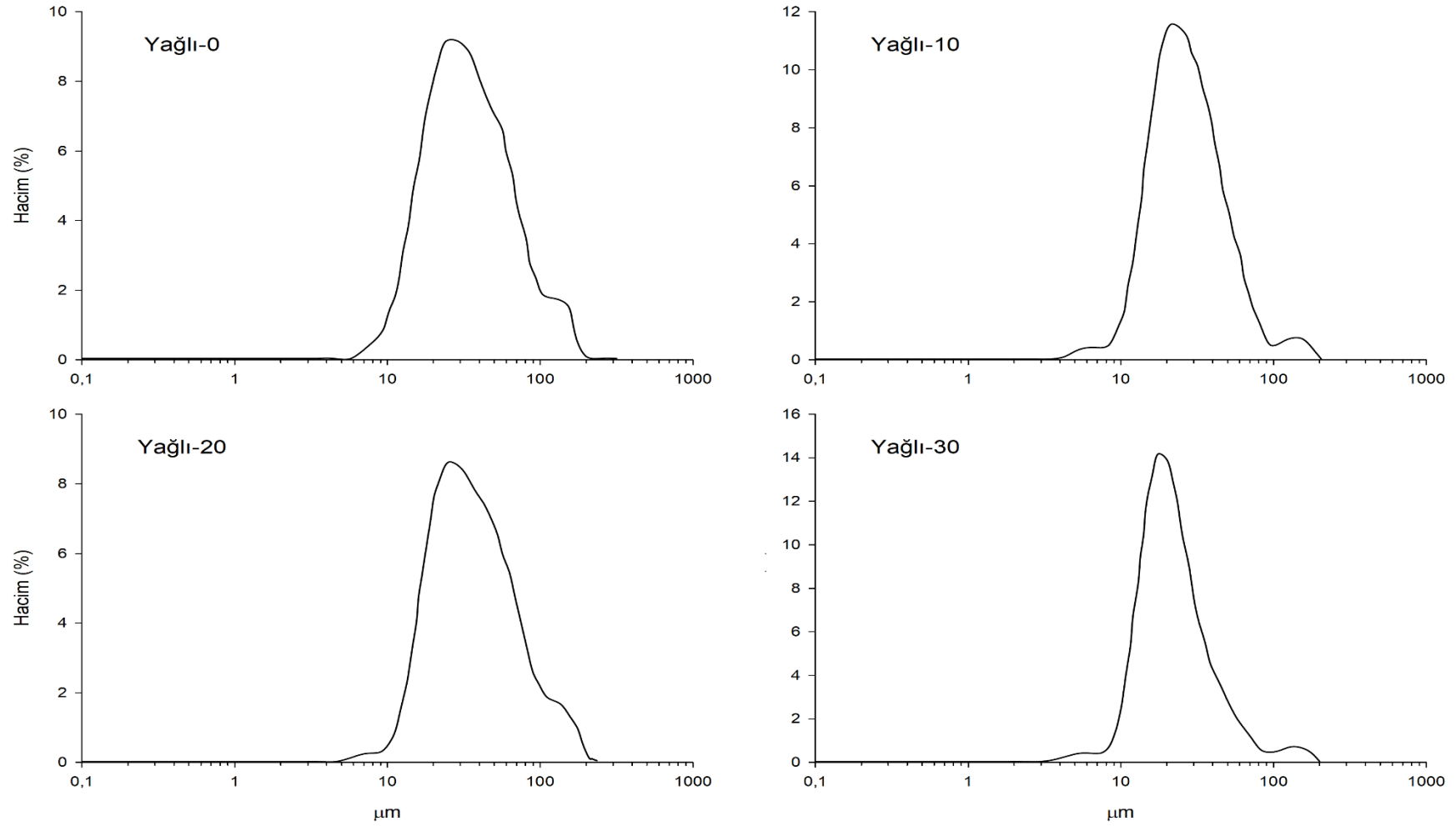
Yağlı süt tozu örneklerinin d(0.9) değerleri farklı sıcaklıklarda depolama süresince 43.52-103.00 μm aralığında bulunmuştur. d(0.9) değeri örneğin % 90'ının bu çapın altında olduğunu göstermektedir. Depolama sıcaklığı örneklerin d(0.9) değerlerini önemsiz düzeyde etkilerken ($p>0.05$) basınç ve depolama süresi d(0.9) değerlerini önemli

düzeyde etkilemiştir ($p < 0.01$). Tukey testi sonuçlarına göre (Çizelge 4.43), 20°C’de depolanan örneklerin $d(0.9)$ değerleri 40°C’de depolananlara benzer bulunmuştur. Yağlı süt tozlarında en yüksek $d(0.9)$ değeri Yağlı-0 (kontrol) örneğinde, en düşük değer ise Yağlı-30 örneğinde belirlenmiştir. Depolama süresi arttıkça örneklerin $d(0.9)$ değerlerinde artış görülmüştür. Yağlı süt tozlarında $d(0.9)$ değerini Sert ve ark. (2016) 59.13-73.03 μm , Schuck ve ark. (2012) 299 μm ve Pugliese ve ark. (2017) 287.40 μm olarak bildirmişlerdir.

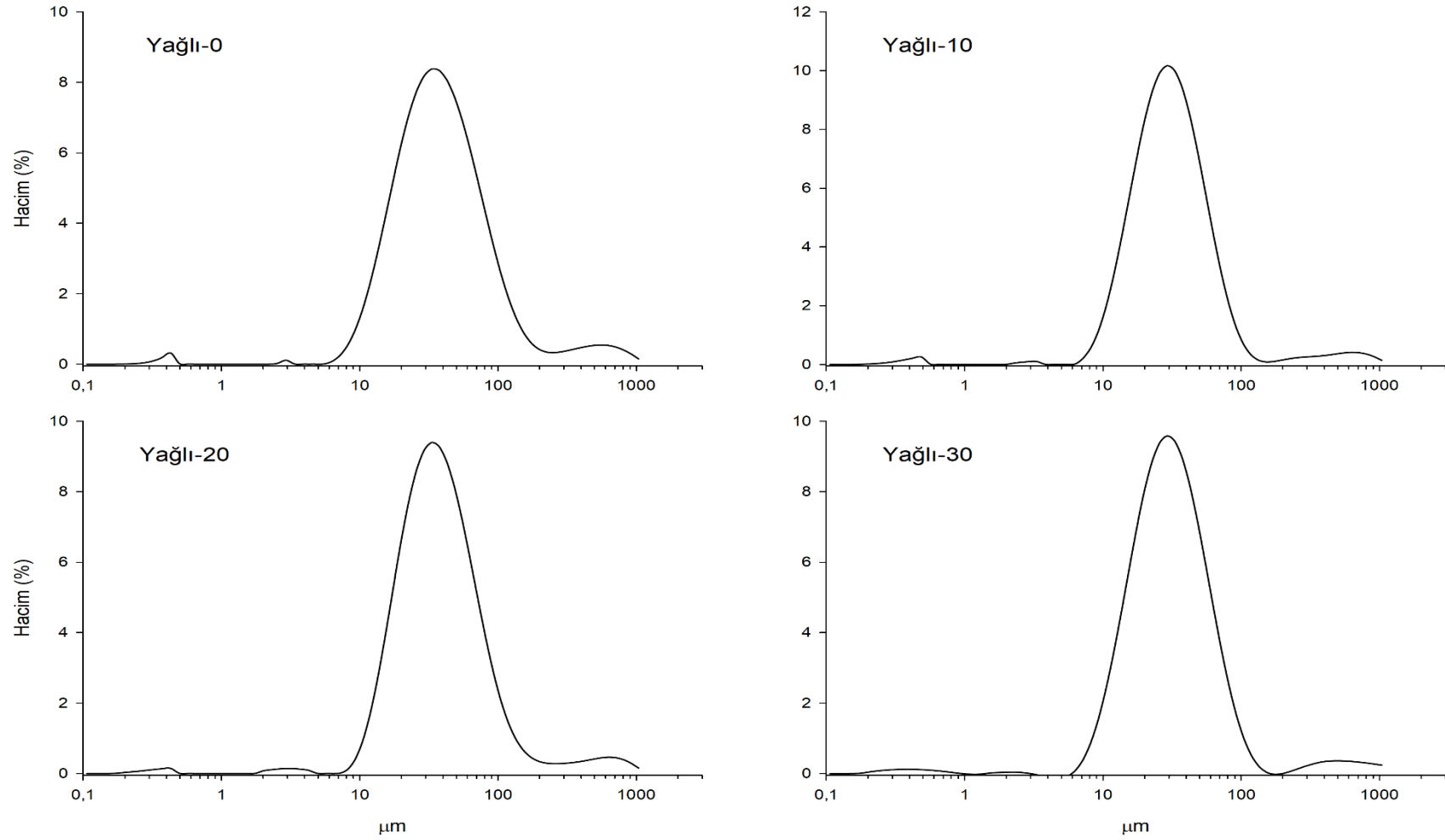
Depolamanın 0. gününde yağlı süt tozlarının partikül boyutu dağılım grafikleri Şekil 4.4’de verilmiştir. Yağlı örneklerin partikül dağılımları genel olarak 5-200 μm aralığında değişmiştir. Yağlı-0 ve Yağlı-20 örnekleri monomodal partikül dağılımı göstermesine rağmen 100 μm ’den sonra omuz vermişlerdir. Yağlı-10 ve Yağlı-30 örnekleri ise bimodal dağılım göstermiştir. Diğer bir ifadeyle bu iki örnek 100-200 μm aralığında 2. bir pik göstermiştir. 0. günde tüm örneklerin partikül dağılımı ana pikleri 30 μm civarında görülmüştür. Partikül dağılım grafiklerine bakıldığında Yağlı-30 örneğinin diğer örneklerle kıyasla daha dar bir dağılım gösterdiği görülmektedir.

20°C’de 180 gün depolanmış yağlı süt tozlarının partikül dağılım grafikleri Şekil 4.5’de, 40°C’de 180 gün depolanmış yağlı süt tozlarının partikül dağılım grafikleri ise Şekil 4.6’da verilmiştir. 0. gündeki partikül boyutu dağılım grafiklerinden farklı olarak 180. günde tüm örneklerde 100 μm ’den sonra ikinci pik gözlenmiştir. Bu ikinci piklerin boyutu 100-1000 μm aralığında bulunmuştur. Bunun nedeni olarak depolama süresince bazı partiküllerin birleşerek büyük boyutlu partiküller meydana getirmesi gösterilebilir. Hacim olarak bu partiküller %1’in altında bulunmuştur. Tüm örneklerde 5 μm altında hacimce çok az olan değişimler belirlenmiştir. Bu durum önemsiz düzeyde olduğu için dikkate alınmamıştır.

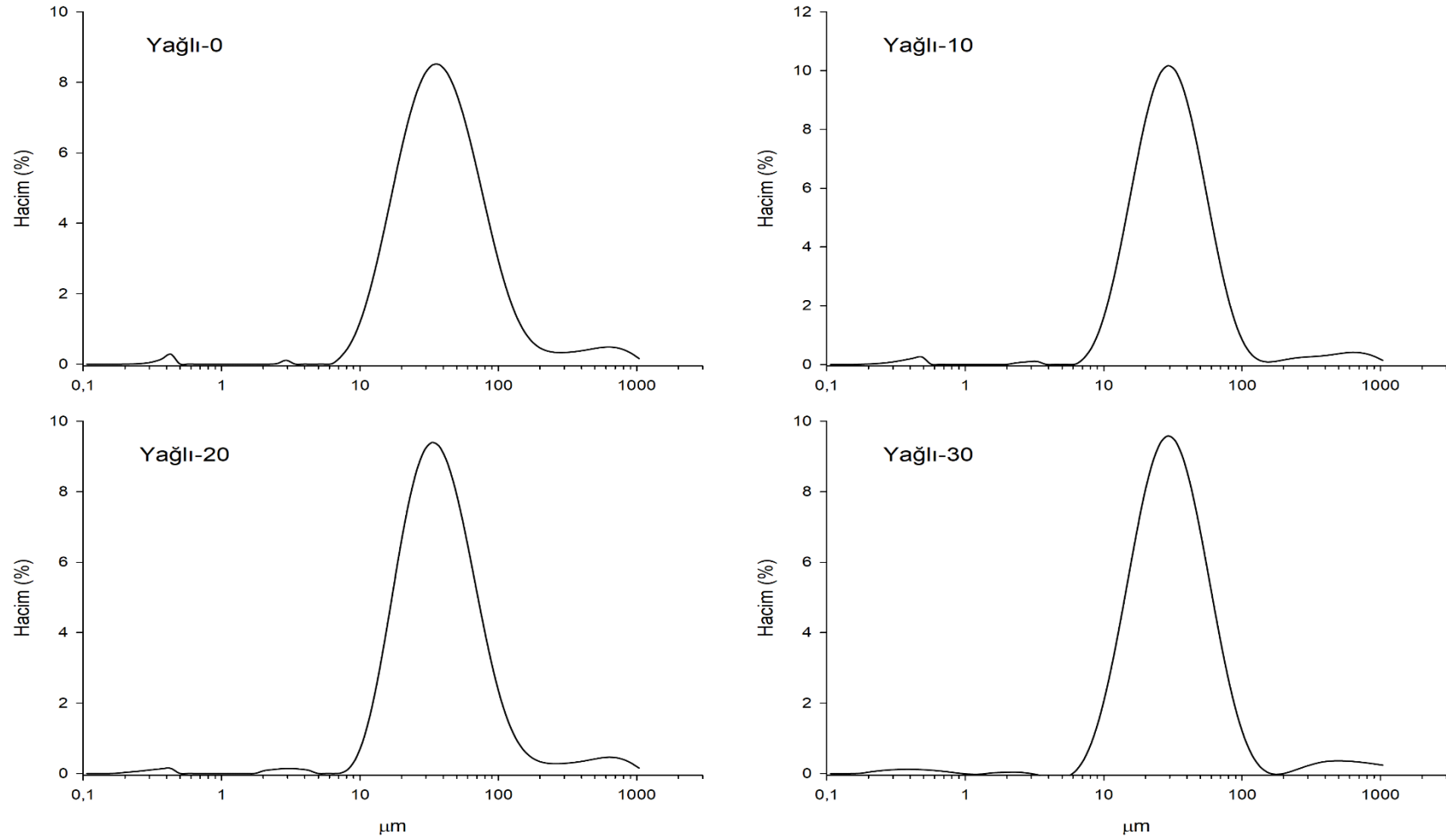
Süt tozunun partikül boyutu görünüş, rekonstitüsyon ve akış özelliğiyle ilişkilidir. Süt tozlarının partikül boyutu sütün özellikleri, işleme koşulları ve kurutma işleminde kullanılan ekipman çeşidinden etkilenmektedir (Sharma ve ark., 2012). Püskürterek kurutulan tozlarının şekli genellikle küreseldir ve çapları 10-250 μm aralığında değişmektedir. Tozun hızlı dispersiyonu için 150-200 μm partikül boyutu gerekmektedir. Aglomere süt tozlarının partikül boyutları daha geniş ve düzensiz şekildedir (Carić, 1994). Büyük partikül büyüklüğüne sahip toz daha üstün dağılılabirliğe sahip olmaktadır. İnce partiküllerin ($< 90 \mu\text{m}$) yüzdesi arttıkça tozun dağılılabirliği azalmaktadır (Singh ve Newstead, 1992). Ortalama partikül boyutu tam yağlı süt tozları için 230-250 μm arasında değişmektedir (Tuohy, 1989).



Şekil 4.4. Depolamanın 0. gününde yağlı süt tozlarına ait partikül boyutu dağılım grafikleri



Şekil 4.5. 20°C'de 180 gün depolanmış yağlı süt tozlarına ait partikül boyutu dağılım grafikleri



Şekil 4.6. 40°C’de 180 gün depolanmış yağlı süt tozlarına ait partikül boyutu dağılım grafikleri

4.6. Süt Tozlarının Duyusal Özelliklerine Ait Sonuçlar ve Tartışma

4.6.1. Yağsız süt tozlarının duyusal özellikleri

Duyusal analizler 5 panelist tarafından yapılmıştır. Yağsız süt tozları görünüm ve ambalaj açısından değerlendirilirken rekonstitüe sütlerin aroma ve görünümü değerlendirmeye alınmıştır. Ambalaj ve fiziksel görünüm 5 puan üzerinden değerlendirilirken aroma 10 puan üzerinden değerlendirilmiştir. Tüm yağsız süt tozu örnekleri bütün depolama periyodlarında 5 panelist tarafından da ambalajlama açısından 5 puan almıştır. Bu durum örneklerin ambalajlarının hepsinin uygun ve tam puan aldığını göstermektedir. Bütün örnekler ambalaj açısından değerlendirilirken aynı puanı aldığı için istatistik uygulanmamış ve çizelgede verilmemiştir. Çizelge 4.44 yağsız süt tozlarının fiziksel görünüm ve aromalarının duyusal değerlendirilmesini göstermektedir.

Çizelge 4.44. Yağsız süt tozlarının duyusal özellikleri*

Depolama sıcaklığı	Basınç (MPa)	Depolama süresi (gün)	Görünüm	Aroma
20°C	0	0	4.71±0.06	9.10±0.14
		30	4.71±0.02	9.18±0.11
		90	4.64±0.06	9.05±0.07
		180	4.54±0.08	8.82±0.11
	50	0	4.78±0.04	9.14±0.20
		30	4.75±0.03	9.20±0.08
		90	4.70±0.03	9.13±0.18
		180	4.68±0.04	8.88±0.18
	100	0	4.91±0.04	9.18±0.25
		30	4.89±0.05	9.26±0.17
		90	4.87±0.04	9.20±0.09
		180	4.84±0.03	8.94±0.27
	150	0	4.95±0.04	9.25±0.17
		30	4.94±0.04	9.21±0.10
		90	4.93±0.02	9.21±0.12
		180	4.88±0.03	9.04±0.13
40°C	0	0	4.71±0.06	9.10±0.14
		30	4.68±0.03	9.15±0.07
		90	4.63±0.04	9.02±0.12
		180	4.54±0.09	8.73±0.11
	50	0	4.78±0.04	9.14±0.20
		30	4.77±0.05	9.18±0.10
		90	4.71±0.05	9.11±0.16
		180	4.66±0.04	8.91±0.13
	100	0	4.92±0.06	9.18±0.25
		30	4.91±0.07	9.21±0.10
		90	4.88±0.03	9.14±0.16
		180	4.85±0.04	9.01±0.18
	150	0	4.95±0.04	9.25±0.17
		30	4.95±0.03	9.16±0.03
		90	4.93±0.03	9.06±0.05
		180	4.89±0.04	8.99±0.06

* ($\bar{x}$ ±std sapma, n=2)

Yağsız süt tozu örneklerinde depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresinin duyu özellikler üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.45’de, Tukey testi sonuçları Çizelge 4.46’da gösterilmiştir. Basınç ve depolama süresi örneklerin görünümünü önemli düzeyde etkilerken ($p<0.01$) depolama sıcaklığının etkisi önemsiz düzeyde bulunmuştur ($p>0.05$). Yağsız süt tozlarının aromasına depolama sıcaklığı ve sıcaklığın etkisi istatistiki açıdan önemsiz ($p>0.05$) iken depolama süresinin etkisi önemli olarak belirlenmiştir ($p>0.01$). Tukey testi sonuçları incelendiğinde, farklı sıcaklıklarda depolanmış yağsız süt tozlarının görünüm puanları benzer bulunmuştur. YBH uygulanmış koyulaştırılmış sütlerden üretilen süt tozlarının görünüm puanları kontrol örneğine kıyasla yüksek bulunmuştur. En düşük görünüm puanı Yağsız-0’da bulunurken en yüksek değer Yağsız-100 ve Yağsız-150 örneklerinde belirlenmiştir. Depolama süresindeki artışa bağlı olarak ise örneklerin görünüm puanlarında azalma tespit edilmiştir. Tukey testi sonuçları farklı sıcaklıklarda depolanan örneklerin aroma özelliklerinin benzer olduğunu göstermiştir. YBH işleminin de benzer aroma puanlarına yol açtığı belirlenmiştir. Depolamanın 180. gününde belirlenen aroma puanlarının ilk 3 depolama periyodundaki puanlara kıyasla daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır.

Süt tozlarında görünüm puanlarının azalmasında HMF miktarındaki artışa bağlı olarak renk değişikliği meydana gelmesi ve ayrıca depolamaya bağlı olarak meydana gelen iri partikül oluşumu, topaklanma ve kekleşme gibi durumların etkili olabileceği düşünülmektedir. İlk 90 günlük depolama süresince aroma puanlarında duyu olarak fark edilebilir değişiklik olmadığı için önemli bir değişim gözlenmemiştir. Depolama sonundaki azalmaya ise hidrolitik değişimlerin yola açmış olabileceği düşünülmektedir.

Çizelge 4.45. Yağsız süt tozlarının duyu özelliklerine ait varyans analizi sonuçları¹

VK	SD	<u>Görünüm</u>		<u>Aroma</u>	
		KO	F	KO	F
Depolama sıcaklığı (A)	1	0.00	0.04ns	0.01	0.56ns
Basınç (B)	3	0.28	134.97**	0.06	2.60ns
Depolama süresi (C)	3	0.03	15.87**	0.26	11.63**
A x B	3	0.00	0.20ns	0.00	0.15ns
A x C	3	0.00	0.01*	0.00	0.14ns
B x C	9	0.00	0.97ns	0.01	0.32ns
A x B x C	9	0.00	0.05ns	0.00	0.09ns
Hata	32	0.00		0.02	

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

Çizelge 4.46. Yağsız süt tozlarının duyuşsal özelliklerine ait Tukey testi sonuçları*

Faktör	N	Görünüm	Aroma
Depolama sıcaklığı			
20	32	4.79a	9.11a
40	32	4.80a	9.08a
Basınç			
0	16	4.64c	9.02a
50	16	4.73b	9.08a
100	16	4.88a	9.14a
150	16	4.93a	9.15a
Depolama süresi			
0	16	4.84a	9.17a
30	16	4.82ab	9.19a
90	16	4.79b	9.12a
180	16	4.73c	8.91b

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

4.6.2. Yağlı süt tozlarının duyuşsal özellikleri

Duyuşsal analiz yapılırken yağlı süt tozları görünüm ve ambalaj açısından değerlendirilmiş olup rekonstitüe sütlerin aroma ve görünümü 5 panelist tarafından değerlendirmeye alınmıştır. Ambalaj ve fiziksel görünüm 5 puan üzerinden değerlendirilirken aroma 10 puan üzerinden değerlendirilmiştir. Tüm yağlı süt tozu örnekleri bütün depolama periyodlarında 5 panelist tarafından ambalajlama açısından 5 puan almıştır. Bu durum örneklerin ambalajlarının hepsinin uygun ve tam puan aldığını göstermektedir. Bütün örnekler ambalaj açısından değerlendirilirken aynı puanı aldığı için istatistik uygulanmamış ve çizelgede verilmemiştir. Çizelge 4.47 yağlı süt tozlarının fiziksel görünüm ve aromalarının duyuşsal değerlendirilmesini göstermektedir. Yağlı süt tozlarının farklı sıcaklıklarda depolama periyodu süresince 3.85-4.69 aralığında değişmiştir. Depolama süresindeki artışa bağlı olarak örneklerin görünüm puanları genel olarak azalmıştır. Örneklerin farklı sıcaklıklarda depolanması boyunca aroma puanları 8.90-9.28 aralığında belirlenmiştir. Görünüm puanlarındakine benzer bir düşüş eğilimi aroma puanlarında da belirlenmiştir.

Yağlı süt tozu örneklerinde depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresinin duyuşsal özellikler üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.48’de, Tukey testi sonuçları Çizelge 4.49’da verilmiştir. Depolama sıcaklığı, basınç ve depolama süresi örneklerin görünümünü istatistiki açıdan önemli düzeyde etkilemiştir. ($p < 0.01$).

Çizelge 4.47. Yağlı süt tozlarının duyuşal özellikleri*

Depolama sıcaklığı	Basınç (MPa)	Depolama süresi (gün)	Görünüm	Aroma
20°C	0	0	4.26±0.06	9.20±0.14
		30	4.22±0.04	9.22±0.04
		90	4.05±0.07	9.13±0.04
		180	3.95±0.07	8.96±0.06
	10	0	4.65±0.07	9.25±0.07
		30	4.65±0.03	9.15±0.07
		90	4.60±0.03	9.13±0.04
		180	4.58±0.11	8.97±0.04
	20	0	4.68±0.04	9.28±0.04
		30	4.67±0.05	9.18±0.04
		90	4.63±0.06	9.11±0.01
		180	4.59±0.05	8.95±0.07
40°C	0	0	4.69±0.01	9.25±0.07
		30	4.68±0.03	9.20±0.07
		90	4.64±0.04	9.18±0.01
		180	4.58±0.03	8.98±0.11
	10	0	4.26±0.06	9.20±0.14
		30	4.20±0.07	9.18±0.11
		90	3.99±0.16	9.07±0.04
		180	3.85±0.07	8.94±0.08
	20	0	4.65±0.07	9.25±0.07
		30	4.60±0.04	9.08±0.03
		90	4.55±0.04	9.05±0.07
		180	4.53±0.04	8.90±0.14
40°C	20	0	4.68±0.04	9.28±0.04
		30	4.60±0.04	9.05±0.07
		90	4.56±0.02	8.96±0.05
		180	4.51±0.06	8.90±0.14
	30	0	4.69±0.01	9.25±0.07
		30	4.66±0.06	9.05±0.07
		90	4.59±0.03	8.98±0.02
		180	4.53±0.04	8.91±0.12

* ($\bar{x}$ ±std sapma, n=2)Çizelge 4.48. Yağlı süt tozlarının duyuşal özelliklerine ait varyans analizi sonuçları¹

VK	SD	Görünüm		Aroma	
		KO	F	KO	F
Depolama sıcaklığı (A)	1	0.03	8.21**	0.07	11.76**
Basınç (B)	3	1.07	318.69**	0.00	0.30ns
Depolama süresi (C)	3	0.10	31.06**	0.26	42.73**
A x B	3	0.00	0.09ns	0.00	0.64ns
A x C	3	0.00	1.08ns	0.01	1.77ns
B x C	9	0.01	4.12**	0.00	0.71ns
A x B x C	9	0.00	0.07ns	0.00	0.17ns
Hata	32	0.00		0.01	

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

Çizelge 4.49. Yağlı süt tozlarının duyuşal özelliklerine ait Tukey testi sonuçları*

Faktör	N	Görünüm	Aroma
Depolama sıcaklığı			
20	32	4.51a	9.13a
40	32	4.47b	9.07b
Basınç			
0	16	4.10b	9.11a
10	16	4.60a	9.10a
20	16	4.61a	9.10a
30	16	4.63a	9.10a
Depolama süresi			
0	16	4.57a	9.24a
30	16	4.53a	9.14b
90	16	4.45b	9.08b
180	16	4.39c	8.94c

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

Yağlı süt tozlarının aroma puanları depolama sıcaklığı ve depolama süresinden önemli düzeyde etkilenmiştir ($p < 0.01$). Oysa basıncın etkisi önemsiz düzeyde bulunmuştur ($p > 0.05$). Tukey testi sonuçlarına göre, 20°C’de depolanan örneklerin görünüm puanlarının 40°C’de depolananlara kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Kontrol örneğinin (Yağlı-0) görünüm puanları diğer örneklerle (homojenizasyon uygulanmış) kıyasla daha düşük bulunmuştur. İlk 30 günlük depolama periyodunda yağlı süt tozlarının görünüm puanları benzer bulunurken depolama süresindeki artışa bağlı puanlarda azalma tespit edilmiştir. Depolama süresindeki artışla görünüm puanlarının azalmasında zamana bağlı olarak kekleşme ve topaklanma gibi durumların olmasının etkili olduğu düşünülmektedir.

Aroma sonuçlarına ait Tukey testi sonuçları incelendiğinde, 20°C’de depolanan örneklerin aroma puanlarının 40°C’de depolananlara kıyasla daha yüksek olduğu bulunmuştur. Homojenizasyon uygulanmış ve uygulanmamış tüm örneklerin aroma puanlarının benzer olduğu belirlenmiştir. En yüksek aroma puanı depolamanın başlangıcında, en düşük değer ise depolamanın sonunda belirlenmiştir. Bir diğer ifadeyle depolama süresindeki artışa bağlı olarak yağlı süt tozlarının aroma puanlarında genellikle düşüş saptanmıştır. Bunun sebebi olarak depolama süresince örneklerde meydana gelen oksidasyon reaksiyonları sonucu oluşan ürünlerin aromayı etkilemiş olması gösterilmektedir. Benzer sonuçlar Romeu-Nadal ve ark. (2007) Lloyd ve ark. (2009b) tarafından da bildirilmiştir.

4.7. Süt Tozlarının Mikroyapılarına Ait Sonuçlar ve Tartışma

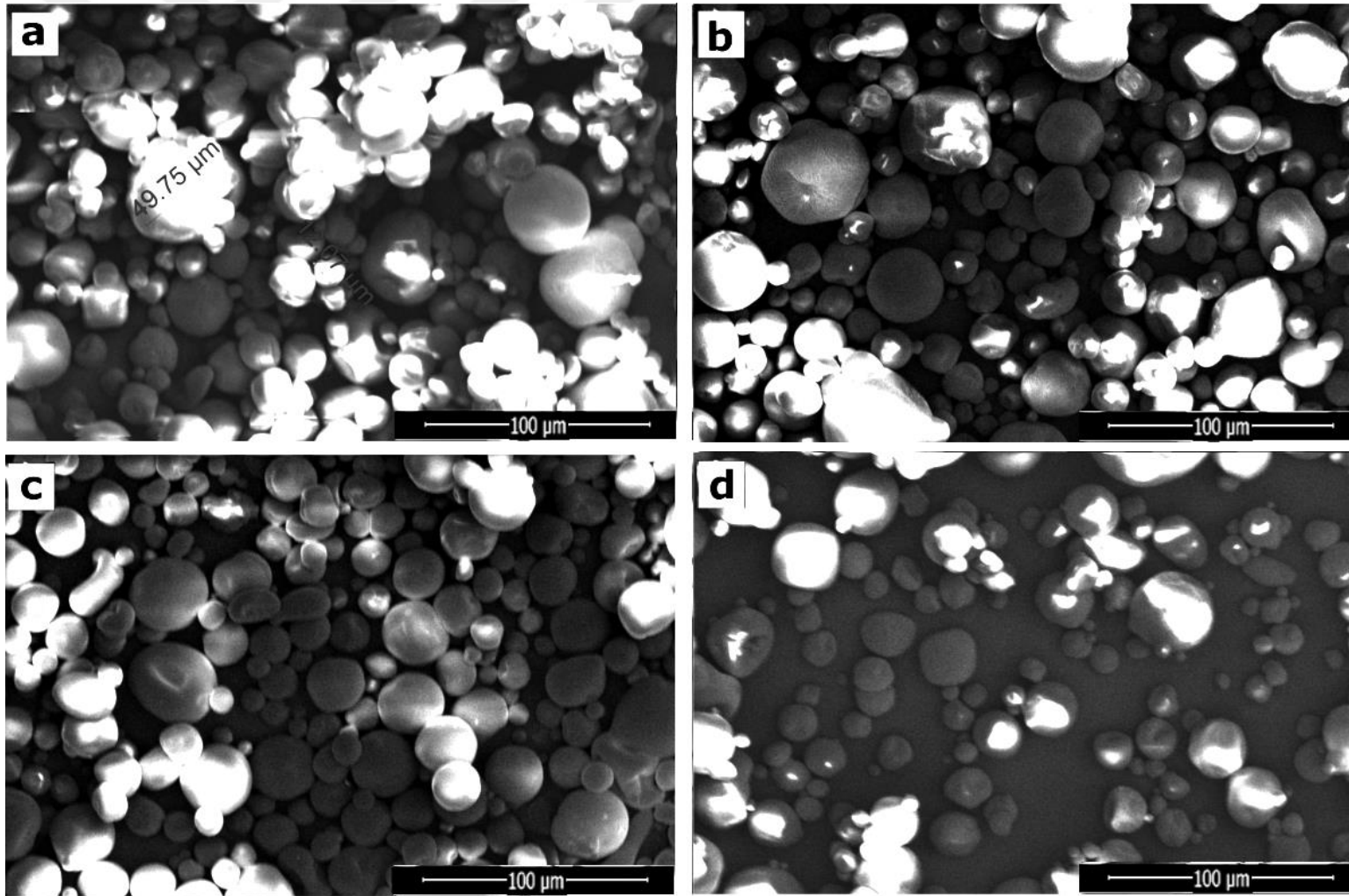
4.7.1. Yağsız süt tozlarının mikroyapıları

Süt tozlarının mikroyapılarının belirlenmesinde taramalı elektron mikroskopuyla (SEM) alınan görüntüler kullanılmıştır. SEM görüntüleri süt tozlarında partiküllerin şekli ve yüzey morfolojisini göstermektedir. Partiküllerin yüzey morfolojisi süt tozlarının fiziksel ve fonksiyonel özelliklerini etkilemektedir (Eshpari, 2011).

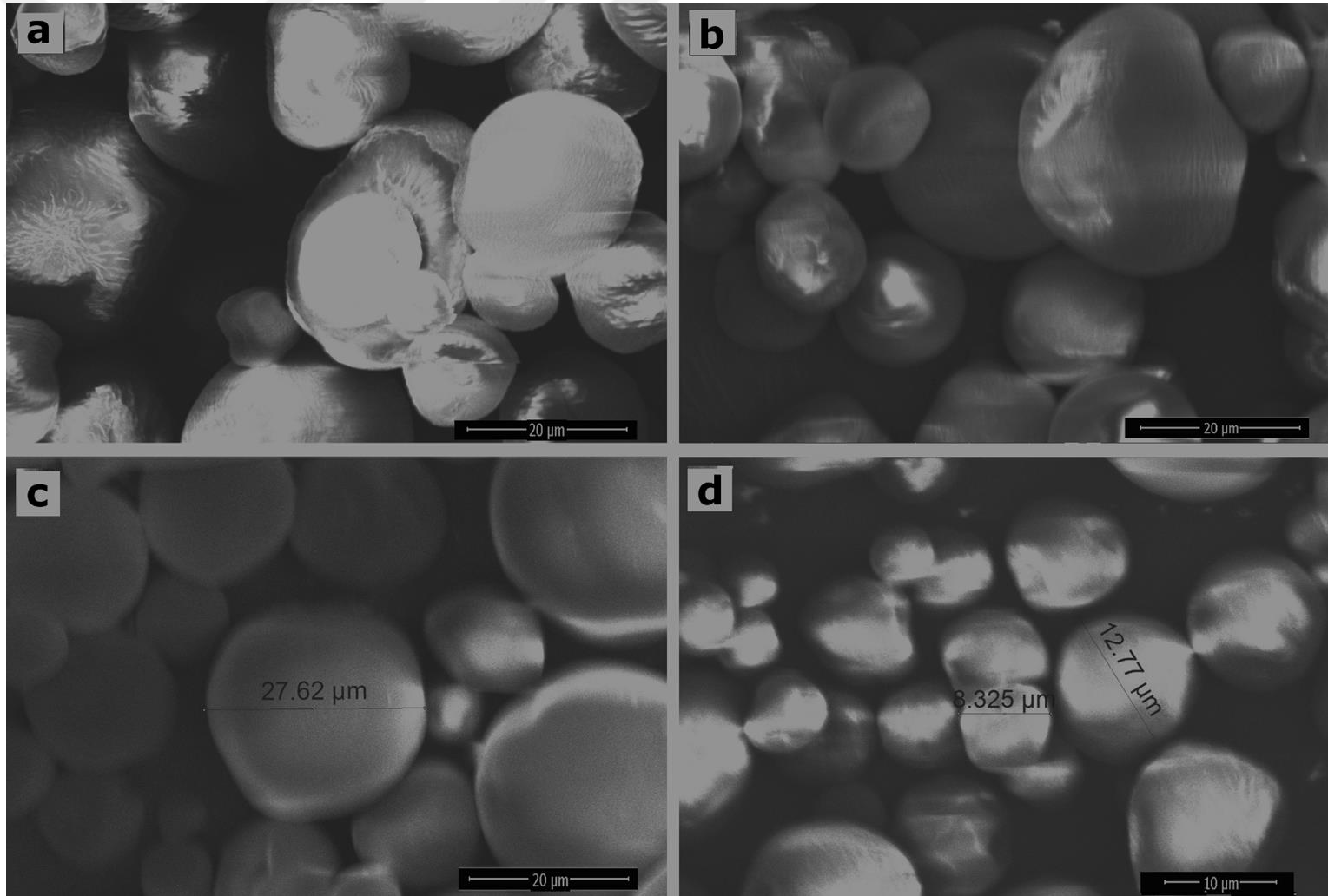
Yağsız süt tozlarının 650x büyütme faktörüyle elde edilen görüntüleri Şekil 4.7’de verilmiştir. Yağsız süt tozlarının bu büyütme faktörüyle alınan görüntülerinde herhangi bir parçalanmış partiküle rastlanmamıştır. Bu nedenle partiküllerin içyapıları görüntülenmemiş olup sadece yüzey yapıları incelenmiştir. Görüntüler incelendiğinde artan YBH ile partikül boyutunda nispeten küçülme ve partikül yapısı homojenitesinde artma görülmüştür. Partiküllerin şeklinin genellikle küresel olduğu belirlenmiştir.

Yağsız süt tozlarının yüzey yapısını daha detaylı inceleyebilmek için daha yüksek büyütme faktörleriyle alınan görüntüler Şekil 4.8’de verilmiştir. Püskürterek kurutulmuş partiküllerin yüzeyi genellikle düz olmasına rağmen kırışıklıklar da belirlenmiştir. Bu görüntülere göre, kontrol örneği olan Yağsız-0 örneğinin diğer örneklerle kıyasla yüzeyinde daha fazla kırışıklıklar bulunduğu tespit edilmiştir. YBH uygulanmış koyulaştırılmış sütlerden üretilen yağsız sütlerde toz akış özelliklerinin kontrol örneğine göre daha iyi olmasının sebebinin partikül yüzey yapısı olduğu düşünülmektedir. Yağsız süt tozlarının partikül yüzeylerinde yumurta kabuğu benzeri yapı tespit edilmemiştir. Bu durum laktoz kristallerinin olmadığını amorf laktoz bulunduğunu göstermektedir.

Süt tozlarının depolanmasına bağlı olarak toz partiküllerinin yüzeyinde büyük laktoz kristalleri görülebilmektedir. Bu partiküller büyük ölçüde aglomere olmakta ve büyük laktoz kristalleri ile partiküller arasında köprüler oluşmaktadır (Yazdanpanah ve Langrish, 2013).



Şekil 4.7. Yağsız süt tozlarının taramalı elektron mikroskobu görüntüleri (a: Yağsız-0, b: Yağsız-50, c: Yağsız-100, d: Yağsız-150)



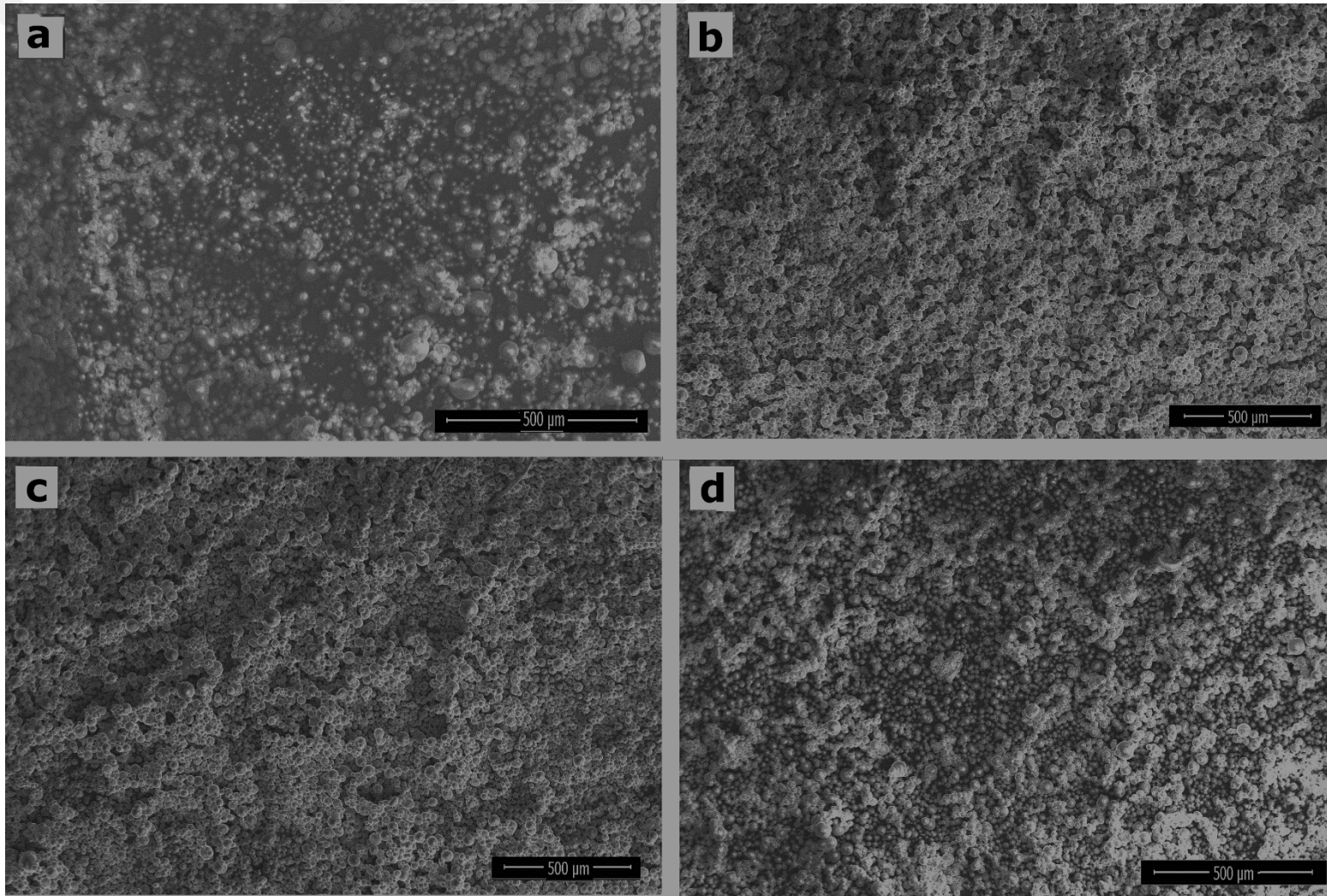
Şekil 4.8. Yağsız süt tozlarına ait taramalı elektron mikroskopi görüntüleri (a: Yağsız-0, b: Yağsız-50, c: Yağsız-100, d: Yağsız-150)

4.7.2. Yağlı süt tozlarının mikroyapıları

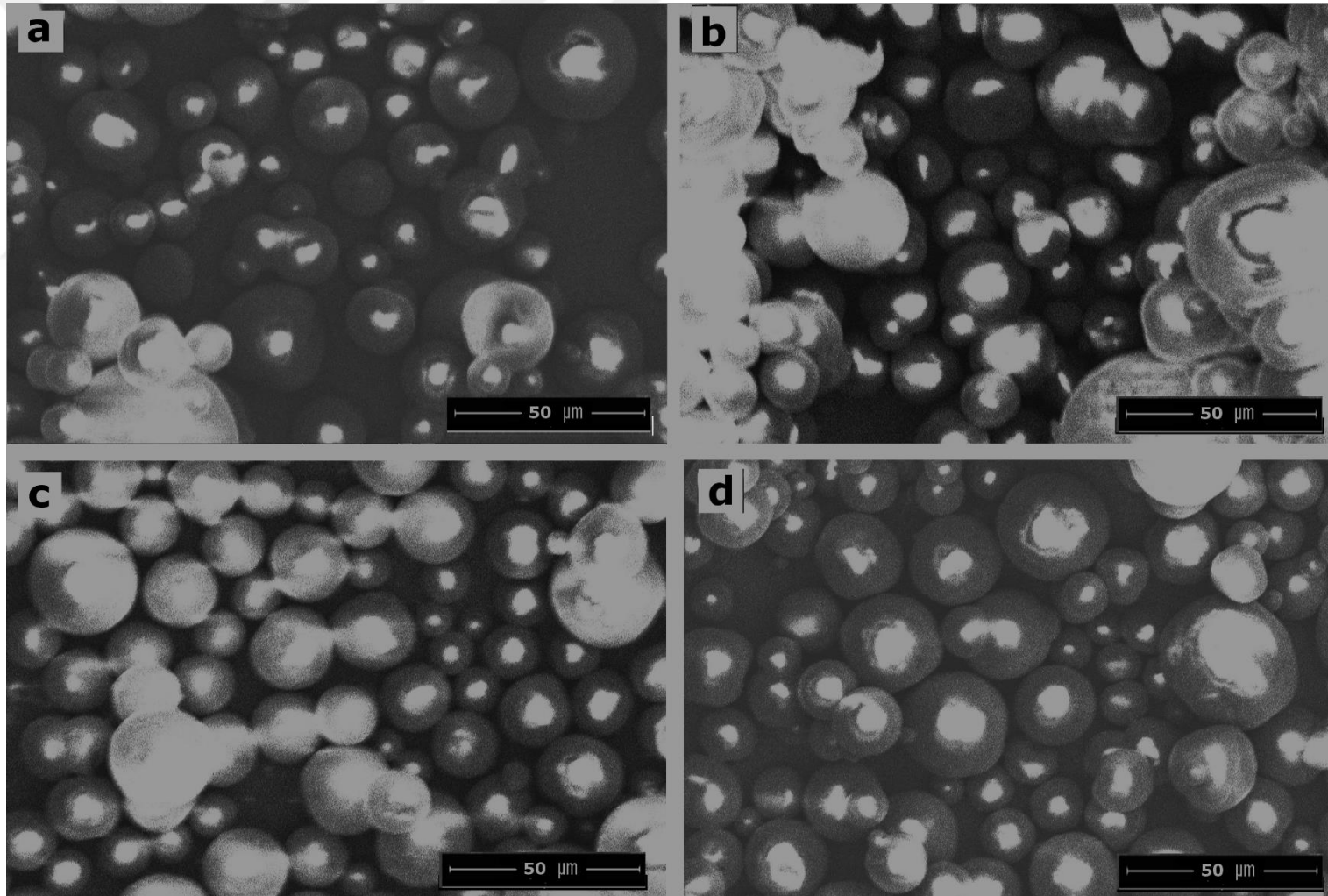
Yağlı süt tozlarının 80-120x büyütme faktörüyle elde edilen taramalı elektron mikroskopu (SEM) görüntüleri Şekil 4.9’da verilmiştir. Bu görüntülerden tüm yağlı süt tozlarının şekil olarak küresel olduğu görülmektedir. Homojenize edilmemiş koyulaştırılmış süttten üretilen kontrol örneğinde (Yağlı-0) diğer örneklerle kıyasla nispeten iri boyutlu partiküllere rastlanılmıştır. SEM görüntüleri incelendiğinde Yağlı-10, Yağlı-20 ve Yağlı 30 örneklerinin kontrol örneğine kıyasla daha homojen partikül yapısı gösterdiği belirlenmiştir. 80-120x büyütme faktörü ile partiküllere çok yaklaşılmamasına rağmen partikül yüzeylerinde por veya krater benzeri yapıların olmadığı görülmektedir.

Şekil 4.10 1200x büyütme faktörüyle elde edilen (SEM) yağlı süt tozu örneklerinin görüntülerini göstermektedir. Bu büyütme faktörüyle görüntü alınırken yağlı süt tozlarında parlama yaşanmıştır. Bu nedenle partikül yüzeyindeki por veya kırışıklık benzeri çukurlu yapılar net olarak belirlenememiş olmasına rağmen bazı partiküllerde por yapısı olduğu görülmektedir. Bununla birlikte partiküllerin yüzeyinin genel olarak düz olduğu düşünülmektedir.

Kurutma sıcaklığının süt tozunun mikroyapısı üzerindeki etkisini incelendiği çalışmalar kurutma sıcaklığının artırılmasının damlacıkların kuruma hızını hızlandırdığını ve hızlı kabuk oluşumuna yol açtığını bildirmiştir (El-Sayed ve ark., 1990; King, 1990; Hassan ve Mumford, 1993). Birchall ve ark. (2005) hızlı kabuk oluşumunun ve genişlemesinin de partikül yüzeyine zarar verebileceğini, çatlaklar veya kırılmalar oluşturabileceğini bildirmişlerdir.



Şekil 4.9. Yağlı süt tozlarının taramalı elektron mikroskopu görüntüleri (a: Yağlı-0, b: Yağlı-10, c: Yağlı-20, d: Yağlı-30)



Şekil 4.10. Yağlı süt tozlarının taramalı elektron mikroskobu görüntüleri (a: Yağlı-0, b: Yağlı-10, c: Yağlı-20, d: Yağlı-30)

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, süt tozu üretiminde koyulaştırılmış sütlerle yüksek basınç homojenizasyon (YBH) uygulamasının etkisi araştırılmıştır. Aynı zamanda farklı depolama sıcaklıklarının süt tozu kalitesine etkisi belirlenmiştir. Bu amaçla yağsız koyulaştırılmış sütlerle 0, 50, 100 ve 150 MPa ve yağlı koyulaştırılmış sütlerle 0, 10, 20 ve 30 MPa YBH uygulanmıştır. YBH uygulamasından sonra koyulaştırılmış sütler püskürterek kurutulmuştur. Süt tozları 3 kat kraft kaplı polietilen torbalarda ambalajlanarak 20 ve 40°C'de 180 gün boyunca depolanmıştır. Depolama süresince süt tozu örneklerinin fizikokimyasal, fonksiyonel, toz akış ve duyu özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca süt tozlarının mikroyapıları incelenmiştir.

Depolama süresince örneklerin nem içerikleri yağsız süt tozlarında %2.38-3.26 ve yağlı süt tozlarında %2.19-2.94 aralığında bulunmuştur. Depolama süresindeki artışla birlikte örneklerin nem içeriklerinin nispeten artış meydana gelmiştir ($p < 0.05$). Yağlı süt tozlarında en yüksek su aktivitesi değeri (0.14) Yağlı-0 örneğinde en düşük su aktivitesi değeri (0.11) Yağlı-30 örneğinde belirlenmiştir. Depolama sıcaklığı ve basıncın yağsız süt tozlarında asitlik değerine etkisi önemsiz düzeyde bulunmuştur ($p > 0.05$). Yağlı ve yağsız süt tozlarının yağ oranlarında depolama süresince değişim meydana gelmemiştir. Yağsız-150 örneğinin HMF içeriği diğer örneklerle kıyasla daha düşük bulunmuştur. Yağlı süt tozlarında ise artan homojenizasyon basıncına bağlı olarak örneklerin HMF içeriklerinde artış gözlenmiştir. Yağsız ve yağlı süt tozlarında depolama süresine bağlı olarak HMF içerikleri artmış olup bu artışın 40°C'de depolanan örneklerde daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Yağsız ve yağlı süt tozlarının yabancı yanık madde içerikleri A ve B diski düzeyinde değişmiştir. 20°C'de depolanan yağsız süt tozlarının sarılık (b) değerlerinin (12.89) 40°C'de depolananlardan (12.59) daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde 40°C'de depolanan yağlı süt tozlarının b-değeri (11.91) 20°C'de depolananlarınkine (11.69) kıyasla daha yüksek bulunmuştur.

Yağsız ve yağlı süt tozlarının çözünübilirlik değerleri depolama süresince %99.60-99.80 aralığında değişmiştir. YBH yağsız süt tozlarında köpük oluşturma kapasitesini artırmış dağılıbilirliği ise azaltmıştır. Yağlı süt tozlarında YBH uygulaması kontrol örneğine kıyasla TBARS değerini yükseltmiştir.

Yağsız süt tozlarının kek kuvveti değerleri depolama süresince 0.00-8.20 mN.m arasında değişirken ortalama kek kuvvetlerinin ise 0.00-0.57 N aralığında değiştiği tespit edilmiştir. En yüksek kek kuvveti (8.20 mN.m) 0. günde Yağsız-0'da belirlenirken, YBH ile muamele edilmiş koyulaştırılmış sütlerden üretilen yağsız süt tozu örneklerinin kek kuvveti değerleri 0. günde 0.43-2.70 mN.m arasında değişmiştir. YBH işleminin yağsız süt tozlarında kek kuvveti ve ortalama kek kuvveti değerlerini önemli ölçüde düşürdüğü belirlenmiştir.

Kohezyon indeksi değerleri yağsız süt tozlarında 6.80-15.29 arasında bulunmuştur. Kohezyon indeksi değerlerine göre süt tozlarının akış özellikleri sınıflandırıldığında, depolama periyodu boyunca yağsız süt tozları serbest akabilir, kolay akabilir ve kohezif akış özelliği göstermiştir. Kohezif özellik sadece kontrol örneğinde belirlenmiştir. 20°C'de depolanan yağsız süt tozu örneklerinin 10, 20, 50 ve 100 mm/s hızlardaki sıkıştırma katsayısı değerlerinin 40°C'de depolananlara kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yağsız süt tozlarının farklı sıcaklıklarda depolanması süresince akış stabilitesi değerleri 0.95-1.15 arasında değişmiştir. Depolama süresi ise örneklerin akış stabilite değerlerini artırmıştır.

40°C'de depolanan yağlı süt tozu örneklerinin kek kuvveti ve ortalama kek kuvveti değerlerinin 20°C'de depolananlara kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Yağlı süt tozlarında kekleşme oluşumunu azaltmak için en uygun homojenizasyon basıncının 20 MPa olduğu belirlenmiştir. Kohezyon indeksi değerleri 20°C'de depolanan yağlı süt tozlarında 33.06-55.28 ve 40°C'de depolanan örneklerde 32.26-55.61 arasında bulunmuştur. Süt tozlarında kohezyon indeksi değerinin >19 olması o örneğin aşırı derecede kohezif olduğunu göstermektedir. 10, 20, 50 ve 100 mm/s hızlardaki en yüksek sıkıştırma katsayısı değerleri genel olarak Yağlı-10 ve Yağlı-30 örneklerinde belirlenmiştir. Homojenize edilmemiş kontrol örneğinin (Yağlı-0) sıkıştırma katsayısı değerleri ise diğer örneklerle kıyaslandığında genel olarak daha düşük bulunmuştur.

Yağsız süt tozu örneklerinin $D[3,2]$ değerleri 17.35-31.69 μm arasında bulunmuştur. 20°C'de depolanan örneklerin $D[3,2]$ değerleri 40°C'de depolananlara kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Depolama süresine bağlı olarak ise örneklerin $D[3,2]$ değerlerinde düşüş gözlenmiştir. Yağsız süt tozlarının $D[4,3]$ değerlerinin 27.88-62.50 μm arasında olduğu tespit edilmiştir. Depolama süresi arttıkça örneklerin $D[4,3]$ değerlerinde yükselme görülmüştür.

Yağlı süt tozlarının $D[3,2]$ değerleri 13.13-29.10 μm arasında bulunmuştur. 20°C'de depolanan örneklerin $D[3,2]$ değerleri 40°C'de depolananlara kıyasla daha

düşük bulunmuştur. Yağlı örneklerin depolama periyodu boyunca yağlı süt tozlarının D[4,3] değerlerinin 26.21-65.35 μm arasında olduğu tespit edilmiştir.

Mikroyapı sonuçlarına göre, kontrol örneği olan Yağsız-0 örneğinin diğer örneklerle kıyasla yüzeyinde daha fazla kırışıklıklar bulunduğu tespit edilmiştir. YBH uygulanmış koyulaştırılmış sütlerden üretilen yağsız sütlerde toz akış özelliklerinin kontrol örneğine göre daha iyi olmasının sebebinin partikül yüzey yapısı olduğu düşünülmektedir. SEM görüntüleri incelendiğinde, Yağlı-10, Yağlı-20 ve Yağlı 30 örneklerinin kontrol örneğine kıyasla daha homojen partikül yapısı gösterdiği belirlenmiştir.

Kekleşme, tozların önce topak haline getirildiği daha sonra aglomere ve istenmeyen yapışkan bir malzemeye dönüştüğü, tozun kalitesini ve fonksiyonelliğini azaltan istenmeyen bir olaydır. Kekleşme sırasında meydana gelen, küçük ve yumuşak agregalardan sert topaklara kadar değişen materyaller akışkanlığın kaybolmasına neden olmaktadır. Süt tozlarında kekleşme problemi yaygın olarak görülebilmektedir. Bu çalışmada, koyulaştırılmış sütleri YBH uygulamasının özellikle yağsız süt tozlarında kekleşme sorununa büyük ölçüde çözüm olabileceği görülmüştür. Kekleşmenin yanı sıra YBH'nin yağsız süt tozlarında kohezyonu da düşürdüğü belirlenmiştir. Kohezyonun azalmasıyla süt tozlarının daha kolay akması sağlanmaktadır. Süt tozlarında kolay akabilirliğin sağlanması üretim ortamında süt tozunun daha kolay taşınabilmesini sağlamaktadır. Bu çalışmada kullanılan toz akışı analiz cihazının süt tozlarının akış özelliklerinin belirlenmesi amacıyla kullanımının uygun olacağı belirlenmiştir.

5.2. Öneriler

Süt endüstrisinde kullanılan taşıma, işleme ve işleme operasyonlarında, süt tozlarının toz akış özellikleri kritik öneme sahiptir. Toz akış özelliklerinde meydana gelen olumsuz yönde değişiklikler kalitesiz bir ürüne veya işlemlerde durmalara yol açabilmektedir. Yağsız süt tozu üretiminde koyulaştırılmış sütleri 50-150 MPa arasında yüksek basınç homojenizasyon uygulamasının kekleşme ve kohezyonu azaltarak toz akış özelliklerini iyileştirdiği görülmüştür. Ayrıca YBH uygulaması yağsız süt tozlarında fonksiyonelliği (köpük oluşumu vs.) artırarak süt ürünleri üretiminde yeniliklere yol açmaktadır. Bu nedenlerden dolayı endüstriyel yağsız süt tozu üretiminde 50-150 MPa arasında değişen basınçlarda YBH uygulaması tavsiye edilebilir nitelikte bulunmuştur. Bununla birlikte süt endüstrisinde geniş ölçekli üretim proseslerinde YBH

kullanılabilmesi için yüksek kapasiteli yüksek basınç homojenizatörlere ihtiyaç duyulacaktır. Bu durumun gelişen teknolojiyle birlikte yüksek kapasiteli cihazların üretilmesiyle sağlanabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışmada, aşırı viskozite artışından dolayı yağlı koyulaştırılmış sültere maksimum 30 MPa YBH uygulanabilmiştir. Gelecek çalışmalarda farklı yollar kullanılarak daha yüksek homojenizasyon basınçlarına çıkılabilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla yağlı süt tozu üretiminde YBH işleminin evaporasyon öncesi farklı kuru maddelerdeki yağlı sültere uygulanması düşünülmektedir. Böylelikle daha yüksek YBH basınçlarına çıkılması planlanmaktadır. Daha yüksek basınçlarda YBH uygulanmış sülterden üretilen yağlı süt tozlarının süt endüstrisinde fonksiyonelliği artmış yeni ürünlerin üretilmesine olanak sağlayacağı öngörülmektedir.



KAYNAKLAR

- ADPI, (2002). Standards for grades of dry milks including methods of analysis. Elmhurst, IL, American Dairy Products Institute. **Bulletin No 916**.
- ADPI, (2018a). Skim milk powder (smp) standard. Elmhurst, IL, American Dairy Products Institute.
- ADPI, (2018b). Whole milk powder (wmp) standard. Elmhurst, IL, American Dairy Products Institute.
- Aguilera, J., del Valle J., Karel M., 1995. Caking phenomena in amorphous food powders. *Trends in Food Science & Technology*, 6 (5), 149-155.
- Akın, N., 2010. Modern süt ürünleri teknolojisi, Konya, Damla Ofset, p. 130.
- Amador-Espejo, G. G., Gallardo-Chacón J. J., Juan B., Trujillo A. J., 2017. Effect of ultra-high-pressure homogenization at moderate inlet temperatures on volatile profile of milk. *Journal of Food Process Engineering*, 40 (5), e12548.
- Amador Espejo, G. G., Hernández-Herrero M. M., Juan B., Trujillo A. J., 2014. Inactivation of bacillus spores inoculated in milk by ultra high pressure homogenization. *Food Microbiology*, 44, 204-210.
- The powder flow analyser, 2018. Stable Micro Systems, Erişim tarihi 31.01.2018. Erişim adresi, <https://www.stablemicrosystems.com/PowderFlowAnalyser.html>.
- AOAC, (2005). Official methods of analysis of aoac international. Washington, DC, AOAC International.
- Auldist, M. J., Coats S. T., Sutherland B. J., Clarke P. T., McDowell G. H., Rogers G. L., 1996. Effect of somatic cell count and stage of lactation on the quality of full cream milk powder. *Australian Journal of Dairy Technology*, 51 (2), 94.
- Baldwin, A. J., Woodhams D. J., 1974. Dispersibility of skim milk powder at high total solids. *New Zealand Journal of Dairy Science and Technology*, 9, 140-151.
- Banks, W., 1993. Dairy products: Technology. *International Journal of Dairy Technology*, 46 (3), 83-86.
- Bansal, V., Premi M., Sharma H. K., Nanda V., 2017. Compositional, physical, functional attributes and flow characterization of spray-dried skim milk powder enriched with honey. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11 (3), 1474-1485.
- Benković, M., Belščak-Cvitanović A., Bauman I., Komes D., Srećec S., 2017. Flow properties and chemical composition of carob (*Ceratonia siliqua* L.) flours as related to particle size and seed presence. *Food Research International*, 100, 211-218.
- Benković, M., Srećec S., Špoljarić I., Mršić G., Bauman I., 2013. Flow properties of commonly used food powders and their mixtures. *Food and Bioprocess Technology*, 6 (9), 2525-2537.

- Berlin, E., Howard N. M., Pallansch M. J., 1964. Specific surface areas of milk powders produced by different drying methods. *Journal of Dairy Science*, 47 (2), 132-138.
- Birchal, V. S., Passos M. L., Wildhagen G. R. S., Mujumdar A. S., 2005. Effect of spray-dryer operating variables on the whole milk powder quality. *Drying Technology*, 23 (3), 611-636.
- Bylund, G., 2003. Milk powder. In: Dairy processing handbook. Eds: Bylund G. Lund, Sweden: Tetra Pak Processing Systems AB, p. 361-373.
- Calligaris, S., Foschia M., Bartolomeoli I., Maifreni M., Manzocco L., 2012. Study on the applicability of high-pressure homogenization for the production of banana juices. *LWT - Food Science and Technology*, 45 (1), 117-121.
- 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.
- Carić, M., 1994. Concentrated and dried dairy products, New York, VCH Vublishers, p.
- Celestino, E. L., Iyer M., Roginski H., 1997. The effects of refrigerated storage of raw milk on the quality of whole milk powder stored for different periods. *International Dairy Journal*, 7 (2), 119-127.
- Chen, X., Xu X., Zhou G., 2016. Potential of high pressure homogenization to solubilize chicken breast myofibrillar proteins in water. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 33, 170-179.
- Cluskey, S. M. C., Connolly J. F., Devery R., O'brien B., Kelly J., Harrington D., Stanton C., 1997. Lipid and cholesterol oxidation in whole milk powder during processing and storage. *Journal of Food Science*, 62 (2), 331-337.
- Craig, J. C., Aceto N. C., Della Monica E. S., 1961. Occurrence of 5-hydroxymethylfurfural in vacuum foam-dried whole milk and its relation to processing and storage. *Journal of Dairy Science*, 44 (10), 1827-1835.
- Cruz, M. A. A., Passos M. L., Ferreira W. R., 2005. Final drying of whole milk powder in vibrated-fluidized beds. *Drying Technology*, 23 (9-11), 2021-2037.
- Datta, N., Hayes M. G., Deeth H. C., Kelly A. L., 2005. Significance of frictional heating for effects of high pressure homogenisation on milk. *Journal of Dairy Research*, 72 (4), 393-399.
- de Oliveira, M. M., Júnior B. R. d. C. L., Tribst A. A. L., Cristianini M., 2018. Use of high pressure homogenization to reduce milk proteolysis caused by *pseudomonas fluorescens* protease. *LWT*, 92, 272-275.
- Deveci, O., 1999. Farklı iki teknikle üretilen sprey yağsız süttozlarının bazı nitelikleri üzerine bir araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.

- Efstathiou, T., Feuardent C., Méjean S., Schuck P., 2002. The use of carbonyl analysis to follow the main reactions involved in the process of deterioration of dehydrated dairy products: Prediction of most favourable degree of dehydration. *Le Lait*, 82 (4), 423-439.
- El-Sayed, T. M., Wallack D. A., King C. J., 1990. Changes in particle morphology during drying of drops of carbohydrate solutions and food liquids. 1. Effect of composition and drying conditions. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 29 (12), 2346-2354.
- Eshpari, H., 2011. Evaluation of vacuum packaging on the physical properties, solubility, and storage space of dairy powders, California Polytechnic State University, San Luis Obispo.
- Fäldt, P., Bergenståhl B., 1996a. Changes in surface composition of spray-dried food powders due to lactose crystallization. *LWT-Food Science and Technology*, 29 (5-6), 438-446.
- Fäldt, P., Bergenståhl B., 1996b. Spray-dried whey protein/lactose/soybean oil emulsions. 1. Surface composition and particle structure. *Food Hydrocolloids*, 10 (4), 421-429.
- FAO, (2018). Food outlook biannual report on global food markets. <http://www.fao.org/3/CA0239EN/ca0239en.pdf>, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fitzpatrick, J., Iqbal T., Delaney C., Twomey T., Keogh M., 2004. Effect of powder properties and storage conditions on the flowability of milk powders with different fat contents. *Journal of Food Engineering*, 64 (4), 435-444.
- Fitzpatrick, J., O'Callaghan E., O'Flynn J., 2008. Application of a novel cake strength tester for investigating caking of skim milk powder. *Food and Bioprocess Technology*, 86 (3), 198-203.
- Fitzpatrick, J. J., Barry K., Cerqueira P. S. M., Iqbal T., O'Neill J., Roos Y. H., 2007. Effect of composition and storage conditions on the flowability of dairy powders. *International Dairy Journal*, 17 (4), 383-392.
- Francis, F. J., 1998. Color analysis. In: Food analysis. Eds: Nielsen S. Gaithersburg, MD: Aspen Publishers, p. 599-612.
- Freudig, B., Hogekamp S., Schubert H., 1999. Dispersion of powders in liquids in a stirred vessel. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 38 (4-6), 525-532.
- GEA, (2004). A 25 a - ash content, GEA Niro. **GEA Niro Method No. A 25 a.**
- GEA, (2005). A 9 b - total fat by gerber/teichert, GEA Niro. **GEA Niro Method No. A 9 b.**
- GEA, (2006a). A 1 b - powder moisture accurate standard method, GEA Niro. **GEA Niro Method No. A 1 b.**

- GEA, (2006b). A 19 a - titratable acidity, GEA Niro. **GEA Niro Method No. A 19 a.**
- 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.
- Hall, C. W., Hedrick T. I., 1971. Drying of milk and milk products, Avi Publishing Company, p.
- Hassan, H. M., Mumford C. J., 1993. Mechanisms of drying of skin-forming materials. 3. Droplets of natural products. *Drying Technology*, 11 (7), 1765-1782.
- Hayes, M. G., Fox P. F., Kelly A. L., 2005a. Potential applications of high pressure homogenisation in processing of liquid milk. *Journal of Dairy Research*, 72 (1), 25-33.
- Hayes, M. G., Fox P. F., Kelly A. L., 2005b. Potential applications of high pressure homogenisation in processing of liquid milk. *Journal of Dairy Research*, 72 (1), 25-33.
- Hayes, M. G., Kelly A. L., 2003. High pressure homogenisation of raw whole bovine milk (a) effects on fat globule size and other properties. *Journal of Dairy Research*, 70 (3), 297-305.
- Hayes, M. G., Lefrancois A. C., Waldron D. S., Goff H. D., Kelly A. L., 2003. Influence of high pressure homogenisation on some characteristics of ice cream. *Milchwissenschaft*, 58 (9-10), 519-523.
- IDF, (1995). Dried milk and dried milk products - determination of bulk density. Brussels, Belgium, International Dairy Federation. **IDF standard 134A.**
- IDF, (2014). Determination of the dispersibility and wettability of instant dried milk. Brussels, Belgium, International Dairy Federation. **IDF standard 87.**
- Ilari, J.-L., Mekkaoui L., 2005. Physical properties of constitutive size classes of spray-dried skim milk powder and their mixtures. *Le Lait*, 85 (4-5), 279-294.
- 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.
- Iucci, L., Patrignani F., Vallicelli M., Guerzoni M. E., Lanciotti R., 2007. Effects of high pressure homogenization on the activity of lysozyme and lactoferrin against listeria monocytogenes. *Food Control*, 18 (5), 558-565.
- Jeantet, R., Schuck P., Six T., Andre C., Delaplace G., 2010. The influence of stirring speed, temperature and solid concentration on the rehydration time of micellar casein powder. *Dairy Science & Technology*, 90 (2-3), 225-236.
- Jinapong, N., Supphantharika M., Jamnong P., 2008. Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of Food Engineering*, 84 (2), 194-205.

- 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.
- Keeney, M., Bassette R., 1959. Detection of intermediate compounds in the early stages of browning reaction in milk products¹. *Journal of Dairy Science*, 42 (6), 945-960.
- Kielczewska, K., Haponiuk E., Krzyżewska A., 2000. Effect of high pressure homogenization on some physicochemical properties of milk. *Mededelingen-Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, Universiteit Gent*, 65 (3b), 603-606.
- Kim, E. H.-J., Chen X. D., Pearce D., 2002. Surface characterization of four industrial spray-dried dairy powders in relation to chemical composition, structure and wetting property. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 26 (3), 197-212.
- Kim, E. H.-J., Chen X. D., Pearce D., 2005. Effect of surface composition on the flowability of industrial spray-dried dairy powders. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 46 (3), 182-187.
- King, C. J., 1990. Spray drying food liquids and the retention of volatiles. *Chemical Engineering Progress*, 86 (6), 33-39.
- King, N., 1965. The physical structure of dried milk. *Dairy Science Abstracts*, 27 (3), 91-104.
- Kinsella, J. E., Melachouris N., 1976. Functional properties of proteins in foods: A survey. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 7 (3), 219-280.
- Kneifel, W., Ulberth F., Schaffer E., 1992. Tristimulus colour reflectance measurement of milk and dairy products. *Le Lait*, 72 (4), 383-391.
- Koc, A. B., Heinemann P. H., Ziegler G. R., 2003. A process for increasing the free fat content of spray-dried whole milk powder. *Journal of Food Science*, 68 (1), 210-216.
- Kosasih, L., Bhandari B., Prakash S., Bansal N., Gaiani C., 2016a. Effect of whole milk concentrate carbonation on functional, physicochemical and structural properties of the resultant spray dried powder during storage. *Journal of Food Engineering*, 179, 68-77.
- Kosasih, L., Bhandari B., Prakash S., Bansal N., Gaiani C., 2016b. Physical and functional properties of whole milk powders prepared from concentrate partially acidified with co₂ at two temperatures. *International Dairy Journal*, 56, 4-12.
- 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.
- Kuhn, K. R., Cunha R. L., 2012. Flaxseed oil – whey protein isolate emulsions: Effect of high pressure homogenization. *Journal of Food Engineering*, 111 (2), 449-457.

- Lanciotti, R., Patrignani F., Iucci L., Guerzoni M. E., Suzzi G., Belletti N., Gardini F., 2007. Effects of milk high pressure homogenization on biogenic amine accumulation during ripening of ovine and bovine italian cheeses. *Food Chemistry*, 104 (2), 693-701.
- Leite Júnior, B. R. d. C., Tribst A. A. L., Cristianini M., 2014. Proteolytic and milk-clotting activities of calf rennet processed by high pressure homogenization and the influence on the rheological behavior of the milk coagulation process. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 21, 44-49.
- Leite, T. S., Augusto P. E. D., Cristianini M., 2014. The use of high pressure homogenization (hph) to reduce consistency of concentrated orange juice (coj). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 26, 124-133.
- Liu, H.-H., Chien J.-T., Kuo M.-I., 2013. Ultra high pressure homogenized soy flour for tofu making. *Food Hydrocolloids*, 32 (2), 278-285.
- Liu, X., Liu J., Bi J., Yi J., Peng J., Ning C., Wellala C. K. D., Zhang B., 2019. Effects of high pressure homogenization on pectin structural characteristics and carotenoid bioaccessibility of carrot juice. *Carbohydrate Polymers*, 203, 176-184.
- Lloyd, M. A., Drake M. A., Gerard P. D., 2009a. Flavor variability and flavor stability of us-produced whole milk powder. *Journal of Food Science*, 74 (7), S334-S343.
- Lloyd, M. A., Hess S. J., Drake M. A., 2009b. Effect of nitrogen flushing and storage temperature on flavor and shelf-life of whole milk powder. *Journal of Dairy Science*, 92 (6), 2409-2422.
- Lodaite, K., Chevalier F., Armaforte E., Kelly A. L., 2009. Effect of high-pressure homogenisation on rheological properties of rennet-induced skim milk and standardised milk gels. *Journal of Dairy Research*, 76 (3), 294-300.
- Lu, C., Wang G., Li Y., Zhang L., 2013. Effects of homogenisation pressures on physicochemical changes in different layers of ultra-high temperature whole milk during storage. *International Journal of Dairy Technology*, 66 (3), 325-332.
- Marco-Molés, R., Hernando I., Llorca E., Pérez-Munuera I., 2012. Influence of high pressure homogenization (hph) on the structural stability of an egg/dairy emulsion. *Journal of Food Engineering*, 109 (4), 652-658.
- Martínez-Monteagudo, S. I., Kamat S., Patel N., Konuklar G., Rangavajla N., Balasubramaniam V. M., 2017. Improvements in emulsion stability of dairy beverages treated by high pressure homogenization: A pilot-scale feasibility study. *Journal of Food Engineering*, 193, 42-52.
- McClements, D. J., 2015. Food emulsions: Principles, practices, and techniques, CRC press, p. 690.
- McKenna, A. B., 2000. Effect of processing and storage on the reconstitution properties of whole milk and ultrafiltered skim milk powders, Massey University, Palmerston North, New Zealand.

- Meng, S., Ma Y., Sun D.-W., Wang L., Liu T., 2014. Properties of starch-palmitic acid complexes prepared by high pressure homogenization. *Journal of Cereal Science*, 59 (1), 25-32.
- Mercan, E., Sert D., Akın 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.
- Mohan, M. S., Ye R., Harte F., 2016. Initial study on high pressure jet processing using a modified waterjet on physicochemical and rennet coagulation properties of pasteurized skim milk. *International Dairy Journal*, 55, 52-58.
- Mounir, S., Schuck P., Allaf K., 2010. Structure and attribute modifications of spray-dried skim milk powder treated by dic (instant controlled pressure drop) technology. *Dairy Science & Technology*, 90 (2-3), 301-320.
- Mulvihill, D. M., Ennis M. P., 2003. Functional milk proteins: Production and utilization. In: Advanced dairy chemistry. Eds: Fox P. F., McSweeney P. L. H., 2. New York: Kluwer Academic, p. 1175–1219.
- Murphy, E. G., Roos Y. H., Hogan S. A., Maher P. G., Flynn C. G., Fenelon M. A., 2015. Physical stability of infant milk formula made with selectively hydrolysed whey proteins. *International Dairy Journal*, 40, 39-46.
- Nanua, J. N., McGregor J. U., Godbert J. S., 2000. Influence of high-oryzanol rice bran oil on the oxidative stability of whole milk powder¹. *Journal of Dairy Science*, 83 (11), 2426-2431.
- Nikolova, Y., Petit J., Sanders C., Gianfrancesco A., Desbenoit N., Frache G., Francius G., Scher J., Gaiani C., 2014. Is it possible to modulate the structure of skim milk particle through drying process and parameters? *Journal of Food Engineering*, 142, 179-189.
- Oliveira, M. M. d., Augusto P. E. D., Cruz A. G. d., Cristianini M., 2014. Effect of dynamic high pressure on milk fermentation kinetics and rheological properties of probiotic fermented milk. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 26, 67-75.
- Paquin, P., 1999. Technological properties of high pressure homogenizers: The effect of fat globules, milk proteins, and polysaccharides. *International Dairy Journal*, 9 (3-6), 329-335.
- Pedras, M. M., Tribst A. A. L., Cristianini M., 2013. Effects of high-pressure homogenisation on physicochemical characteristics of partially skimmed milk. *International Journal of Food Science & Technology*, 49 (3), 861-866.
- 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.

- Pereda, J., Ferragut V., Quevedo J. M., Guamis B., Trujillo A. J., 2009. Heat damage evaluation in ultra-high pressure homogenized milk. *Food Hydrocolloids*, 23 (7), 1974-1979.
- Pereda, J., Jaramillo D. P., Quevedo J. M., Ferragut V., Guamis B., Trujillo A. J., 2008. Characterization of volatile compounds in ultra-high-pressure homogenized milk. *International Dairy Journal*, 18 (8), 826-834.
- Picart, L., Thiebaud M., René M., Guiraud J. P., Cheftel J. C., Dumay E., 2006. Effects of high pressure homogenisation of raw bovine milk on alkaline phosphatase and microbial inactivation. A comparison with continuous short-time thermal treatments. *Journal of Dairy Research*, 73 (4), 454-463.
- Pijanowski, E., Zmarlicki S., Nowak D., 1975. Selective chemical analysis of whole fresh milk powder and its technological interpretation. *Acta Alimentaria Polonica*, 1, 83-97.
- Pinho, C. R. G., Franchi M. A., Tribst A. A. L., Cristianini M., 2011. Effect of ultra high pressure homogenization on alkaline phosphatase and lactoperoxidase activity in raw skim milk. *Procedia Food Science*, 1, 874-878.
- Pugliese, A., Cabassi G., Chiavaro E., Paciulli M., Carini E., Mucchetti G., 2017. Physical characterization of whole and skim dried milk powders. *Journal of Food Science and Technology*, 54 (11), 3433-3442.
- Qiu, S., Li Y., Chen H., Liu Y., Yin L., 2014. Effects of high-pressure homogenization on thermal and electrical properties of wheat starch. *Journal of Food Engineering*, 128, 53-59.
- Rankin, S., 2009. Concentrated and dried milk products. In: The sensory evaluation of dairy products. Eds: Clark S., Costello M., Drake M. A., Bodyfelt F. New York: Springer, p. 333-385.
- Renner, E., 1988. Storage stability and some nutritional aspects of milk powders and ultra high temperature products at high ambient temperatures. *Journal of Dairy Research*, 55 (1), 125-142.
- Roach, A., Harte F., 2008. Disruption and sedimentation of casein micelles and casein micelle isolates under high-pressure homogenization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 9 (1), 1-8.
- Rodarte, D., Zamora A., Trujillo A.-J., Juan B., 2018. Effect of ultra-high pressure homogenization on cream: Shelf life and physicochemical characteristics. *LWT*, 92, 108-115.
- Rodríguez-Alcalá, L. M., Harte F., Fontecha J., 2009. Fatty acid profile and cla isomers content of cow, ewe and goat milks processed by high pressure homogenization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 10 (1), 32-36.
- Romeu-Nadal, M., Chavez-Servin J. L., Castellote A. I., Rivero M., Lopez-Sabater M. C., 2007. Oxidation stability of the lipid fraction in milk powder formulas. *Food Chemistry*, 100 (2), 756-763.

- Rosenthal, I., 1991. Milk and dairy products: Properties and processing, Wiley, p. 218.
- Sandra, S., Dalgleish D. G., 2005. Effects of ultra-high-pressure homogenization and heating on structural properties of casein micelles in reconstituted skim milk powder. *International Dairy Journal*, 15 (11), 1095-1104.
- Sandra, S., Dalgleish D. G., 2007. The effect of ultra high-pressure homogenization (uhph) on rennet coagulation properties of unheated and heated fresh skimmed milk. *International Dairy Journal*, 17 (9), 1043-1052.
- Saricaoglu, F. T., Gul O., Besir A., Atalar I., 2018a. Effect of high pressure homogenization (hph) on functional and rheological properties of hazelnut meal proteins obtained from hazelnut oil industry by-products. *Journal of Food Engineering*, 233, 98-108.
- Saricaoglu, F. T., Tural S., Gul O., Turhan S., 2018b. High pressure homogenization of mechanically deboned chicken meat protein suspensions to improve mechanical and barrier properties of edible films. *Food Hydrocolloids*, 84, 135-145.
- Schubert, H., 1993. Instantization of powdered food products. *International Chemical Engineering*, 33 (1), 28-45.
- Schuck, P., Jeantet R., Dolivet A., 2012. Analytical methods for food and dairy powders, John Wiley & Sons, p.
- Serra, M., Trujillo A. J., Guamis B., Ferragut V., 2009a. Evaluation of physical properties during storage of set and stirred yogurts made from ultra-high pressure homogenization-treated milk. *Food Hydrocolloids*, 23 (1), 82-91.
- Serra, M., Trujillo A. J., Guamis B., Ferragut V., 2009b. Proteolysis of yogurts made from ultra-high-pressure homogenized milk during cold storage. *Journal of Dairy Science*, 92 (1), 71-78.
- Serra, M., Trujillo A. J., Jaramillo P. D., Guamis B., Ferragut V., 2008a. Ultra-high pressure homogenization-induced changes in skim milk: Impact on acid coagulation properties. *Journal of dairy research*, 75 (1), 69-75.
- Serra, M., Trujillo A. J., Pereda J., Guamis B., Ferragut V., 2008b. Quantification of lipolysis and lipid oxidation during cold storage of yogurts produced from milk treated by ultra-high pressure homogenization. *Journal of Food Engineering*, 89 (1), 99-104.
- Serra, M., Trujillo A. J., Quevedo J. M., Guamis B., Ferragut V., 2007. Acid coagulation properties and suitability for yogurt production of cows' milk treated by high-pressure homogenisation. *International Dairy Journal*, 17 (7), 782-790.
- Sert, D., Mercan E., Aydemir S., Civelek M., 2016. Effects of milk somatic cell counts on some physicochemical and functional characteristics of skim and whole milk powders. *Journal of Dairy Science*, 99 (7), 5254-5264.

- Shahbazi, M., Majzoobi M., Farahnaky A., 2018. Physical modification of starch by high-pressure homogenization for improving functional properties of κ -carrageenan/starch blend film. *Food Hydrocolloids*, 85, 204-214.
- Shariffa, Y. N., Tan T. B., Uthumporn U., Abas F., Mirhosseini H., Nehdi I. A., Wang Y. H., Tan C. P., 2017. Producing a lycopene nanodispersion: Formulation development and the effects of high pressure homogenization. *Food Research International*, 101, 165-172.
- Sharma, A., Jana A. H., Chavan R. S., 2012. Functionality of milk powders and milk-based powders for end use applications—a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 11 (5), 518-528.
- Singh, H., Newstead D. F., 1992. Aspects of proteins in milk powder manufacture. In: Advanced dairy chemistry. Eds: Fox P., 2. New York: Elsevier Applied. Science Pub., p. 763-765.
- Smiddy, M. A., Martin J.-E., Huppertz T., Kelly A. L., 2007. Microbial shelf-life of high-pressure-homogenised milk. *International Dairy Journal*, 17 (1), 29-32.
- Stang, M., Schuchmann H., Schubert H., 2001. Emulsification in high-pressure homogenizers. *Engineering in Life Sciences*, 1 (4), 151-157.
- Sun, C., Dai L., Liu F., Gao Y., 2016. Simultaneous treatment of heat and high pressure homogenization of zein in ethanol–water solution: Physical, structural, thermal and morphological characteristics. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 34, 161-170.
- TGK, (2005). Türk gıda kodeksi koyulaştırılmış süt ve süt tozu tebliği Ankara. **2005/18**.
- Thiebaud, M., Dumay E., Picart L., Guiraud J. P., Cheftel J. C., 2003. High-pressure homogenisation of raw bovine milk. Effects on fat globule size distribution and microbial inactivation. *International Dairy Journal*, 13 (6), 427-439.
- Thomas, M. E. C., Scher J., Desobry-Banon S., Desobry S., 2004. Milk powders ageing: Effect on physical and functional properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44 (5), 297-322.
- Thomsen, M. K., Lauridsen L., Skibsted L. H., Risbo J., 2005. Temperature effect on lactose crystallization, maillard reactions, and lipid oxidation in whole milk powder. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53 (18), 7082-7090.
- Tobin, J., Heffernan S. P., Mulvihill D. M., Huppertz T., Kelly A. L., 2015. Applications of high-pressure homogenization and microfluidization for milk and dairy products. In: Emerging dairy processing technologies opportunities for the dairy industry. Eds: Datta N., Tomasula P. M. West Sussex, UK: John Wiley & Sons, Ltd, p. 93-114.
- Tribst, A. A. L., Cristianini M., 2012. Changes in commercial glucose oxidase activity by high pressure homogenization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 16, 355-360.

- Tuohy, J. J., 1989. Some physical properties of milk powders. *Irish Journal of Food Science and Technology*, 141-152.
- Turchiuli, C., Smail R., Dumoulin E., 2013. Fluidized bed agglomeration of skim milk powder: Analysis of sampling for the follow-up of agglomerate growth. *Powder Technology*, 238, 161-168.
- TÜİK, (2018). Süt ve süt ürünleri üretim miktarı ve değişim oranları, 2017, 2018 Ankara, Türkiye İstatistik Kurumu.
- Van Buggenhout, S., Wallecan J., Christiaens S., Debon S. J. J., Desmet C., Van Loey A., Hendrickx M., Mazoyer J., 2015. Influence of high-pressure homogenization on functional properties of orange pulp. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 30, 51-60.
- Vannini, L., Patrignani F., Iucci L., Ndagijimana M., Vallicelli M., Lanciotti R., Guerzoni M. E., 2008. Effect of a pre-treatment of milk with high pressure homogenization on yield as well as on microbiological, lipolytic and proteolytic patterns of “pecorino” cheese. *International Journal of Food Microbiology*, 128 (2), 329-335.
- Venir, E., Marchesini G., Biasutti M., Innocente N., 2010. Dynamic high pressure–induced gelation in milk protein model systems. *Journal of Dairy Science*, 93 (2), 483-494.
- Walstra, P., 1999. Colloidal particles of milk. In: Dairy technology: Principles of milk properties and processes. Eds: Walstra P., Geurts T. J., Noomen A., Jellama A., van Boekel M. A. J. S. New York: Marcel Dekker Inc., p. 107-147.
- Wang, Y., Li D., Wang L.-J., Xue J., 2011. Effects of high pressure homogenization on rheological properties of flaxseed gum. *Carbohydrate Polymers*, 83 (2), 489-494.
- Williams, A. M., 2007. Instant milk powder production : Determining the extent of agglomeration Doctoral, Massey University, Palmerston North, New Zealand.
- Wong, P. Y. Y., Kitts D. D., 2003. A comparison of the buttermilk solids functional properties to nonfat dried milk, soy protein isolate, dried egg white, and egg yolk powders. *Journal of Dairy Science*, 86 (3), 746-754.
- Yang, J., Liu G., Zeng H., Chen L., 2018. Effects of high pressure homogenization on faba bean protein aggregation in relation to solubility and interfacial properties. *Food Hydrocolloids*, 83, 275-286.
- Yazdanpanah, N., Langrish T. A. G., 2013. Comparative study of deteriorative changes in the ageing of milk powder. *Journal of Food Engineering*, 114 (1), 14-21.
- Yetişmeyen, A., 1984. Değişik tür sütlerden elde edilen süttozlarının bazı fiziksel ve kimyasal niteliklerinin saptanması, Doktora tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Yetişmeyen, A., 2007. Koyulaştırılmış ve kurutulmuş süt ürünleri teknolojisi, Ankara, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Süt Teknolojisi Bölümü, p.

- Yu, C., Wu F., Cha Y., Zou H., Bao J., Xu R., Du M., 2018a. Effects of high-pressure homogenization on functional properties and structure of mussel (*mytilus edulis*) myofibrillar proteins. *International Journal of Biological Macromolecules*, 118, 741-746.
- Yu, Z.-Y., Jiang S.-W., Cai J., Cao X.-M., Zheng Z., Jiang S.-T., Wang H.-L., Pan L.-J., 2018b. Effect of high pressure homogenization (hph) on the rheological properties of taro (*colocasia esculenta* (l). Schott) pulp. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*.
- 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.
- Zhou, L., Guan Y., Bi J., Liu X., Yi J., Chen Q., Wu X., Zhou M., 2017. Change of the rheological properties of mango juice by high pressure homogenization. *LWT - Food Science and Technology*, 82, 121-130.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Emin MERCAN
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Çal 19.07.1987
Telefon : 04582111153
Faks : 04582111178
e-mail : eminmercan20@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Çal Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi, Çal, DENİZLİ	2005
Üniversite	: Selçuk Üni. Ziraat Fak. Gıda Müh. Bölümü, KONYA	2010
Yüksek Lisans	: Selçuk Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü. Gıda Müh. Ana Bilim Dalı, KONYA	2013
Doktora	: Selçuk Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü. Gıda Müh. Ana Bilim Dalı, KONYA	2019

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2010	Enka Süt A.Ş. KONYA	Gıda Mühendisi
2011-Devam ediyor	Bayburt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, BAYBURT	Araştırma Görevlisi

UZMANLIK ALANI

Süt ve Süt Ürünleri Üretim Teknolojisi

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

Mercan, E., Akın, N., 2017. Effect of different levels of pine honey addition on physicochemical, microbiological and sensory properties of set-type yoghurt. *International Journal of Dairy Technology*, 70(2), 245-252. (Yüksek lisans tezinden yapılmıştır)

Mercan, E., Sert, D., Akın, 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. (Doktora tezinden yapılmıştır)