

T.C.
İSTANBUL SABAHATTİN ZAİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
GIDA MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

SEÇİLEN BAZI MODEL GIDA TOZLARININ TOZ
AKIŞ ÖZELLİKLERİNİN FARKLI PARAMETRELERE
BAĞLI OLARAK BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zeynep UZUN

İstanbul
Ocak-2025

T.C.

İSTANBUL SABAHATTİN ZAİM ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GIDA MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

SEÇİLEN BAZI MODEL GIDA TOZLARININ TOZ AKIŞ
ÖZELLİKLERİNİN FARKLI PARAMETRELERE BAĞLI
OLARAK BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zeynep UZUN

Tez Danışmanı
Doç. Dr. Ertan ERMİŞ

İstanbul
Ocak-2025

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürlüğüne,

Bu çalışma, jürimiz tarafından Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Gıda Mühendisliği Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman Doç. Dr. Ertan ERMİŞ

Üye Dr. Öğr. Üyesi Mustafa YILDIZ

Üye Doç. Dr. Merve TOMAŞ

Onay

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Erhan İÇENER
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİMİ

Yüksek lisans tezi olarak hazırladığım “**Seçilen Bazı Model Gıda Tozlarının Toz Akış Özelliklerinin Farklı Parametrelere Bağlı Olarak Belirlenmesi**” adlı çalışmanın öneri aşamasından sonuçlandığı aşamaya kadar geçen süreçte bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle uyduğumu, tez içindeki tüm bilgileri bilimsel ahlak ve gelenek çerçevesinde elde ettiğimi, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığımı, bu çalışmamda doğrudan veya dolaylı olarak yaptığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu beyan ederim.

Zeynep UZUN

ÖN SÖZ

Yüksek lisans eğitimim süresince bana yol gösteren ve bu tez çalışmasının konusunun oluşturulmasında, araştırma yönteminin belirlenmesi ve gerçekleştirilmesinde desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, her aşamada bana yardımcı olan, bilgi ve deneyimleriyle bana rehberlik eden saygıdeğer tez danışman hocam Doç. Dr. Ertan ERMİŞ'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca benden desteklerini esirgemeyen, her türlü fedakarlığı gösterip hep yanımda destek olan canım aileme ve vazgeçmediği için en çok da kendime teşekkür ederim.

Zeynep UZUN
İstanbul- 2025

ÖZET

**SEÇİLEN BAZI MODEL GIDA TOZLARININ TOZ AKIŞ
ÖZELLİKLERİNİN FARKLI PARAMETRELERE BAĞLI
OLARAK BELİRLENMESİ**

Zeynep UZUN

Yüksek Lisans, Gıda Mühendisliği

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ertan ERMİŞ

Ocak, 2025- 59 sayfa

Toz gıdaların çeşitli üretim aşamalarında toz akışı gibi fiziksel davranışlarının farklı faktörlere bağlı olarak belirlenmesi oldukça önemlidir. Belirlenen parametreler doğrultusunda toz gıdaya uygun olan taşıma, işleme, paketlenme ve depolama işlemlerinde kullanılacak ekipmanların dizaynının doğru yapılması önem arz etmektedir. Bu tez çalışmasında seçilen bazı gıda tozu örneklerinin belirlenen parametrelere bağlı olarak toz akış özellikleri ile birlikte diğer bazı toz özelliklerinin belirlenmesi çalışmaları yapılmıştır. Bu amaçla sekiz farklı gıda tozunun (siyez unu, yulaf unu, soya unu, bezelye protein tozu, laktoz, kazein, natürel kakao ve alkalize kakao) akış davranışları Toz Akış Ölçüm Cihazı (Powder Flow Tester-PFT) kullanılarak belirlenmiştir. PFT, toz akış davranışı, serbest ve sıkıştırılmış yoğunluk, duvar sürtünme açısı, kritik silo ve boşaltım sistemleri (hazne) geometrik parametreleri gibi verileri belirlemek için geliştirilmiş olan bir ölçüm cihazıdır. PFT kullanılarak tozların akış fonksiyonlarıyla birlikte yığın kütle yoğunluğu, sürtünme açısı, kritik hazne çıkış açısı değerleri belirlenmiştir. Ayrıca farklı partikül boyutu ve farklı nem değerlerinin toz akış davranışına etkileri de incelenmiştir.

Akış indeksi (flow function) ile karakterize edilen gıda tozlarının akışkanlığı, kolay akıştan yapışkan toza değişen aralıklarda sınıflandırılmaktadır. Elde edilen veriler incelendiğinde, laktoz ve bezelye protein tozu örneklerinin kolay akan; siyez unu, yulaf unu, soya unu, kazein ve kakao tozları örneklerinin ise yapışkan özellikte olduğu tespit edilmiştir. En zordan en kolaya doğru akışkanlık sıralaması soya unu, kazein, alkalize kakao, natürel kakao, siyez unu, yulaf unu, bezelye protein tozu ve laktoz

şeklinde bulunmuştur. Kritik hazne çıkış çapları tozların akışkanlıklarına göre değiştiği görülmüştür. Genel itibariyle akışkanlığı zor olan tozlar için daha büyük hazne çıkış çapına sahip boşaltma haznelerinin kullanılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Toz akış özelliklerinin karakterizasyonu için kullanılan klasik yöntemlerden Carr İndeksi (CI) ve Hausner Oranı (HO) değerleri belirlenerek PFT'den elde edilen verilerle karşılaştırılması yapılmıştır ve elde edilen sonuçların birbirleriyle büyük oranda uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

Partikül büyüklüğünün akışkanlığa etkisini belirlemek amacıyla toz örnekler üç farklı fraksiyona ayrılmıştır (laktoz için 200 µm üstü, 100-200 µm arası ve 100 µm altı; kazein için 700 µm üstü, 200-700 µm arası ve 100-200 µm arası). Toz örneklerin nem içeriklerinin etkisini araştırmak için iki farklı nem değerinde (laktoz %3,5 ve %5; kazein %6,5 ve %8,5) karşılaştırması yapılmıştır. Partikül büyüklüğünün artması akışkanlığı olumlu yönde etkilerken nem içeriğinin artması akışkanlığı olumsuz etkilemiştir. Toz örneklerin partikül boyut dağılımları ve yüzey yapıları SEM ile görüntülenmiştir. Ortalama partikül boyutu hesaplanmış ve partikül yüzey yapısıyla beraber akışkanlığa etkisi tartışılmıştır. Bu iki özelliğin de toz örneklerin akışkanlığına etki ettiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Gıda tozları, Toz akışı, PFT, Toz akış indeksi, Partikül büyüklüğü

ABSTRACT
**DETERMINATION OF POWDER FLOW PROPERTIES OF
SELECTED MODEL FOOD POWDERS DEPENDING ON
DIFFERENT PARAMETERS**

Zeynep UZUN

Master, Food Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ertan ERMIŞ

January, 2025 – 59 Pages

In various production stages of powdered foods, understanding their physical behaviors such as powder flow based on different factors is crucial. Proper design of equipment used for conveying, processing, packaging, and storage of powdered food relies on parameters determined through such analysis. In this thesis study, investigations were conducted to determine the flow properties of selected food powder samples based on specified parameters. Eight different food powders (einkorn flour, oat flour, soy flour, pea protein powder, lactose, casein, natural cocoa, and alkalized cocoa) were analyzed using a Powder Flow Tester (PFT) to assess flow behavior, bulk density (both loose and tapped), wall friction angle, and critical hopper and discharge system (bin) geometries. Additionally, the impact of different particle sizes and moisture levels on flowability was examined.

The flowability of food powders, characterized by the flow function index, falls within a range from free-flowing to cohesive. Based on the obtained data, lactose and pea protein powder samples exhibited easy flow, while einkorn flour, oat flour, soy flour, casein, and cocoa powders demonstrated cohesive behavior. The ranking of flowability from most difficult to easiest was as follows: soy flour, casein, alkalized cocoa, natural cocoa, einkorn flour, oat flour, pea protein powder, and lactose. Critical hopper outlet diameters varied according to the flow characteristics of the powders, generally requiring larger outlet diameters for powders with challenging flow behavior. Classic methods for characterizing powder flow, such as the Carr Index (CI) and Hausner Ratio (HR) were compared with data obtained from the PFT, showing good agreement.

To investigate the influence of particle size on flowability, the powder samples were divided into three fractions (for lactose: $>200\ \mu\text{m}$, $100\text{--}200\ \mu\text{m}$, $<100\ \mu\text{m}$; for casein: $>700\ \mu\text{m}$, $200\text{--}700\ \mu\text{m}$, and $100\text{--}200\ \mu\text{m}$). Additionally, the effect of moisture content was studied by comparing two different humidity levels (lactose: 3.5% and 5%; casein: 6.5% and 8.5%). It was observed that particle size positively affected flowability, while increased moisture content had a negative impact. Particle size distributions and surface structures of the powder samples were visualized, and the average particle size was calculated. Overall, both particle size and surface structure significantly influenced flowability in these food powder samples.

Keywords: Food powders, Powder flow, PFT, Powder flow index, Particle size

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI	i
BİLİMSEL ETİK BİLDİRİMİ.....	ii
ÖN SÖZ.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	vi
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	xiii
BİRİNCİ BÖLÜM	
GİRİŞ	1
İKİNCİ BÖLÜM	
LİTERATÜR BİLGİSİ.....	3
2.1. Toz Gıdalar ve Karakterizasyonu	3
2.1.1. Toz Partiküllerin Şekli ve Boyutu	4
2.1.2. Toz Yığın Yoğunluğu ve Sıkıştırılmış Yoğunluk.....	4
2.1.3. Hausner Oranı ve Carr İndeksi ile Toz Akış Davranışının Belirlenmesi ...	6
2.1.4. Kekleşme Özelliği ve Yapışkanlık	7
2.1.5. Nem İçeriği ve Su Aktivitesi	8
2.2. Toz Akış Ölçüm Cihazı (Powder Flow Tester-PFT).....	9
2.2.1. PFT'nin Jenike Kesme Hücreğine (Shear Cell) Dayanan Ölçüm Prensipleri	11
2.2.2. İç Sürtünme Açısı	12
2.3. Toz Gıdalar İçin Depolamada Silo Tasarımı.....	13
2.4. Partikül Boyut Dağılımı ve Yüzey Mikroyapı Analiz Yöntemleri	14

2.5. Tez Çalışmasında Kullanılan Toz Gıda Örnekleri	15
2.5.1. Siyez Unu.....	15
2.5.2. Yulaf Unu	16
2.5.3. Soya Unu.....	17
2.5.4. Bezelye Protein Tozu.....	18
2.5.5. Laktoz	19
2.5.6. Kazein	20
2.5.7. Kakao Tozu.....	21

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

MATERYAL VE METOT	23
3.1. Materyal.....	23
3.2. Metot	23
3.2.1. Toz Örneklerin Nem Analizi	23
3.2.2. Elek ile Farklı Partikül Fraksiyonların Eldesi.....	23
3.2.3. PFT ile Toz Örneklerin Akışkanlık Analizi.....	24
3.2.4. Toz Örneklerin Serbest Yığın ve Sıkıştırılmış Kütle Yoğunluğu.....	25
3.2.5. Toz Örneklerin İç Sürtünme Açısı ve Kritik Silo Boşaltma Çapı Değerlerinin Belirlenmesi.....	25
3.2.6. Toz Örneklerin Partikül Boyut Analizi.....	26
3.2.7. Toz Örneklerin SEM Analizi	26
3.2.8. İstatistiki Analizler.....	26

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA	27
4.1. Toz Örneklerin Nem Analizi	27
4.2. Partikül Boyut Dağılımı Analizi.....	27
4.3. SEM ile Partikül Yüzeyinin Görüntülenmesi.....	30

4.4. Toz Örneklerin Yoğunluk Analizi.....	32
4.5. Toz Örneklerin PFT Analizleri.....	33
4.5.1. Toz Akışkanlıklarının Karşılaştırılması.....	33
4.5.1.1. Karbonhidratça Zengin Toz Örneklerin Akışkanlığının Karşılaştırılması	33
4.5.1.2. Proteince Zengin Toz Örneklerin Akışkanlığının Karşılaştırılması ...	35
4.5.1.3. Farklı Partikül Boyutlarında Toz Akış Özelliklerinin Karşılaştırılması	36
4.5.1.4. Farklı Nem Değerlerinde Akışkanlığın Karşılaştırılması.....	39
4.5.2. Toz Örneklerin Kütle Yoğunluğu	40
4.5.3. Toz Örneklerin İç Sürtünme Açısı.....	42
4.5.4. Toz Örneklerin Kritik Silo Çıkış Açısı Değerleri.....	43
BEŞİNCİ BÖLÜM	
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	45
KAYNAKÇA	47
ÖZGEÇMİŞ.....	59

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1: Carr İndeks ve Hausner Oranı Değerlerinin Toz Akış Davranışı İle İlişkisi	7
Tablo 2.2: Akış Faktörüne Göre Toz Akışkanlığının Sınıflandırması	10
Tablo 2.3: Siyez Buğdayının Besin Değeri	16
Tablo 2.5: Soyanın % Besin Değeri	18
Tablo 2.6: Çeşitli Süt Ürünlerinin İçerdiği Laktoz Miktarı.....	20
Tablo 4.1: Toz Örneklerin Partikül Boyut Değerleri.....	28
Tablo 4.2: Toz Örneklerin Nem, Yığın ve Sıkıştırılmış Yoğunluk Değerleri.....	32
Tablo 4.3: Karbonhidratça Zengin Ürünlerin Maksimum Basınç Altında Akış Faktörü (ff _c) Değerleri	34
Tablo 4.4: Proteince Zengin Toz Örneklerin Maksimum Basınç Altında Akış Faktörü (ff _c) Değerleri	36
Tablo 4.5: Toz Örneklerin Maksimum Basınç Altındaki Kütle Yoğunlukları.....	41
Tablo 4.6: Toz Örneklerin Maksimum Basınç Altındaki Sürtünme Açılırları.....	42
Tablo 4.7: Toz Örneklerin Depolamada Kemerleşme ve Fare Deliği Oluşmaması için Gerekli Olan Minimum Kritik Silo Çıkış Çapı Değerleri.....	44

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1: PFT (Toz Akış Ölçüm Cihazı)	10
Şekil 2.2: Mohr'un Akma Odağını Belirleyen Gerilme Çemberleri.....	11
Şekil 2.3: Partiküllerin Birbirleri Üzerinde Hareket Etmesi	12
Şekil 2.4: Depolamada Kemerleşme ve Fare Deliği Oluşumu	14
Şekil 3.1: PFT Cihazının Toz Örnek Haznesinin Görünümü ve Toz Akış Testi Cihazı (PFT) Şeması, Kesme Hücresinin Şeması	24
Şekil 4.1: Toz Örneklerin Partikül Boyut Dağılımları	29
Şekil 4.2: Toz Örneklerin SEM Görüntüleri	31
Şekil 4.3: Akış Faktörünün (ff_c) Uygulanan Basınca Göre Değişimi	34
Şekil 4.4: Siyez Unu, Yulaf Unu, Soya Unu, Laktoz, Natürel Kakao, Alkalize Kakao Örnekleri için Akış Fonksiyonu Karşılaştırması	35
Şekil 4.5: Soya Unu, Bezelye Protein Tozu, Kazein Örnekleri için Akış Fonksiyonu Karşılaştırması.....	36
Şekil 4.6: Laktoz 200 μ m Üstü, Laktoz 100-200 μ m Arası, Laktoz 100 μ m Altı Örnekleri için Akış Fonksiyonu Karşılaştırması	38
Şekil 4.7: Kazein 100-200 μ m Arası, Kazein 200-700 μ m Arası, Kazein 700 μ m Üstü Örnekleri için Akış Fonksiyonu Karşılaştırması	38
Şekil 4.8: Laktoz %3,5 Nem, Laktoz %5 Nem için Akış Fonksiyonu Karşılaştırması	39
Şekil 4.9: Kazein %6,5 Nem Kazein %8,5 Nem için Akış Fonksiyonu Karşılaştırması	40
Şekil 4.10: Siyez Unu, Yulaf Unu, Soya Unu, Bezelye Protein Tozu, Laktoz, Kazein, Natürel Kakao, Alkalize Kakao Örnekleri için Kütle Yoğunluğu Değişim Grafiği...	41
Şekil 4.11: Siyez Unu, Yulaf Unu, Soya Unu, Bezelye Protein Tozu, Laktoz, Kazein, Natürel Kakao, Alkalize Kakao Örnekleri için Sürtünme Açısı Değişim Grafiği	43

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AOAC: Resmi Analitik Kimyacılar Birliği

ASTM: Amerikan Test ve Malzeme Kurumu

a_w : Su Aktivitesi

Bezelye p.t.: Bezelye Protein Tozu

$^{\circ}\text{C}$: Santigrat Derece

Cİ: Carr İndeks

cm: Santimetre

cm^3 : Santimetreküp

D(arching): Kemerleşme Oluşum Kritik Çıkış Çapı

D(rh): Fare Deliği Oluşum Kritik Çıkış Çapı

ff_c : Akış Faktörü

HO: Hausner Oranı

kcal: Kilokalori

kg: Kilogram

kPa: Kilopaskal

m: Metre

m^3 : Metreküp

mg: Miligram

ml: Mililitre

mm: Milimetre

Pa: Paskal

ρ_b : Serbest Yığın Yoğunluğu

ρ_t : Sıkıştırılmış Yoğunluk

PFT: Toz akış ölçüm cihazı (Powder Flow Tester)

SEM: Taramalı Elektron Mikroskobu

vb.: Ve Benzeri

μm : Mikrometre

σ_1 : Maksimum Asal Gerilme (Major Principal Stress) (Pa)

σ_c : Kesme Öncesi (Pre-Shear) Fazda Normal Sıkıştırma Gerilimi (Pa)

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

Gıda maddeleri hammaddeden son ürüne kadarki işleme süreçlerinde çoğunlukla toz formunda üretilir, depolanır veya paketlenir. Gıdaların toz forma dönüştürülmesindeki temel amaçlar; taşıma ve depolamada kolaylık, yer tasarrufu ve uzatılmış raf ömrü sağlamasıdır. Toz gıdaların üretimi ve depolanması üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda partikül ve toz kütle özellikleri karakterize edilmiştir. Özellikle toz akışı davranışı tahmin edilmesi zor ve gıda işleme proseslerini doğrudan etkileyen bir parametredir. Tozlar, katıların, sıvıların ve gazların (genellikle hava) karışımlarıdır. Ancak nem, sıcaklık ve basınç gibi bazı değişkenlerin değişmesine bağlı olarak bazen katı bazen de sıvı gibi davranabilirler. Toz gıdaların akış özellikleri çok sayıda faktörden etkilenebilmektedir (Jan vd., 2015).

Gıda tozları genellikle kristal veya amorf yapıdadırlar. Gıda hammaddeleri, sağladığı taşıma ve depolamada kolaylık, mikrobiyal stabilite gibi avantajlar nedeniyle çeşitli yöntemler kullanılarak toz haline getirilir (Ermiş, 2015). Endüstride tozlar genelde son ürün olarak elde edilirler (şeker, tuz, kahve, baharatlar, kurutulmuş süt vb.) ancak hammadde ve ara ürün (meyve tozu, nişasta, yumurta tozu, süt tozu, un vb.) olarak da çeşitli proseslerde kullanılırlar (Pazos vd., 2012).

Toz akışı, toz partiküllerinin toplu bir şekilde komşu partiküller ile buldukları ortamdaki (örneğin, gıda işleme ekipmanları ve ambalajlar) yüzeyler boyunca kayarak hareket etmesinin tanımıdır. Toz akışını fiziksel özelliklerin yanında (partikül boyutu, şekli vb.) kimyasal özellikler de (karbonhidrat, yağ ve protein içeriği gibi) etkilemektedir (Alonso-Miravalles vd., 2020). Toz kütle bir süre basınç stresine maruz kalırsa sıkışarak kekleşebilir veya katılaşıp akış sorunları meydana getirebilir. Bu davranış tozun fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlıdır. Bu nedenle ortam sıcaklığı ve sıkıştırma basıncı gibi dış koşulların etkisini dikkate almak ve tozun fiziksel özelliklerini belirlemek oldukça önemlidir (Teunou ve Fitzpatrick, 1999).

Toz gıdaların akış özellikleri; partikül boyutu, dağılımı, şekli, kimyasal bileşimi, nem oranı ve sıcaklık gibi çeşitli parametrelere büyük ölçüde bağlıdır. Bu akış özellikleri, depo ünitelerinden boşaltım, nakliye, karıştırma, sıkıştırma ve ambalajlama işlemlerini önemli ölçüde etkilemektedir. Toz gıdaların üretimi sırasında ortaya çıkan büyük

endüstriyel sorunlardan biri, toz akışının durmasıdır. Bu amaçla, toz gıdaların akış özelliklerinin ayrışma, düzensiz akış ve akmama gibi sorunların önlenmesi için ayrıntılı bir şekilde analiz edilmesi gerekmektedir (Ermış vd., 2018a).

Toz gıdalarda görülebilen akmama davranışı, gıda işletmelerindeki depo ünitelerinde (silo gibi) üretimi aksatıp iş gücü ve enerji kayıplarına sebep olan önemli bir sorundur. Bu durum yığın halinde çuval ve silolarda depolanan toz gıda ürünlerinde ileri düzeyde kekleşme meydana getirerek son üründe kalite ve ekonomik kayıplara yol açmaktadır (Fitzpatrick vd., 2017).

Bu çalışmada son yıllarda geliştirilmiş olan PFT cihazı kullanılarak toz akış özelliklerinin çeşitli parametrelere bağlı olarak incelemek amacıyla farklı protein ve karbonhidrat içeriklerine sahip sekiz adet toz gıda örneği kullanılmıştır. Ayrıca gıda tozlarının fiziksel özelliklerini belirleyerek (partikül boyutu, nem içeriği, kütle yoğunluğu) akışkanlık üzerinde etkileri tartışılmıştır. Her bir toz örneği için silo çıkış haznesi tasarımında akmama gibi sorunların önüne geçilmesi için kritik silo haznesi/konisi çıkış çapları belirlenmiş, elde edilen sonuçlar neticesinde toz örneklerin fizikokimyasal özellikleriyle ilişkisi belirlenmeye çalışılmıştır.

İKİNCİ BÖLÜM

LİTERATÜR BİLGİSİ

2.1. Toz Gıdalar ve Karakterizasyonu

Toz gıdalar nanometreden milimetreye kadar değişen farklı boyutlarda çok sayıda partiküllerden oluşan ve nem içeriği %12'nin altında olan maddelerdir. Toz gıdalar, hem tek bir ürün grubunu temsil edebilir hem de çeşitli toz ürünlerin birleşimiyle oluşan karışımları kapsayabilmektedir. Gıda tozlarının kimyasal bileşim ve fiziksel özellikleri kullanılan hammaddelere ve toz üretim tekniğine bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Bu nedenle toz gıdalar fiziksel özellikler ve kimyasal içerik açısından çeşitlilik göstermektedirler (Murrieta-Pazos vd., 2012). Toz gıdalar kimyasal bileşimi, yığın yoğunluğu, partikül yoğunluğu, partikül boyutu dağılımı, akışkanlık, rehidrasyon (ıslanabilirlik, batabilirlik, dağılıbilirlik, çözünürlük), higroskopiklik, emülsiyon oluşturma kapasitesi, su aktivitesi, ısı kararlılığı, camsı geçiş sıcaklığı, kekleşme ve yapışkanlık gibi özelliklerinin yanı sıra, birçok fiziksel ve işlevsel özelliğe sahiptirler (Sharma vd., 2012).

Tozlar veya granüler malzemeler çok farklı özelliklerde üretilebilmektedirler. Gıdalar, toz formda üretilirken su aktivitesini düşüştüğü için raf ömürlerini uzatır ve ürünün oda sıcaklığında kalitesinde önemli bir değişiklik olmadan uzun süre depolanmasına olanak sağlar (Güner, 2017). Toz akışkanlığı, çok sayıda parametrenin karmaşık kombinasyonunun bir sonucudur. Partikül boyutu, şekli, toz kütle yoğunluğu, toz kütlesine uygulanan basınç, sıcaklık ve nem içeriği toz akışını etkileyen en önemli parametrelerdir (Chávez Montes vd., 2019). Tozların fiziksel özellikleri önemlidir çünkü bu özellikler tozu tanımlamaya yardımcı olur. Tozların akışkanlığı depolama, taşıma ve işleme proseslerinden etkilenir. Toz akışı, depo üniteleri ve silolardan boşaltım, karıştırma, taşıyıcı sistemlerle taşıma, sıkıştırma ve paketleme aşamalarında önemli rol oynar ve istenilen seviyede olması gereklidir (Teunou vd., 1999).

Toz gıdaların karakterizasyonu için önemli olan tekno-fonksiyonel özelliklerden birkaçı aşağıda başlıklar halinde açıklanmıştır.

2.1.1. Toz Partiküllerin Şekli ve Boyutu

Toz akışkanlığı, depolama, taşıma veya paketleme gibi proseslerin verimliliğini etkileyen önemli bir özelliktir. Akıcılığın ise büyük ölçüde partikül boyutu, şekli, kimyasal kompozisyonu gibi faktörlere bağlı olduğu bilinmektedir (Barbosa-Canovas vd., 1987). Bir partikül kümesinin toz olarak nitelendirilebilmesi için partiküllerin boyutunun 1 mm'den küçük olması gerekmektedir (Barbosa-Cánovas vd., 2005). Partikül boyutu ve dağılımı, toz akışkanlığına olduğu kadar kütle yoğunluğuna, duruş açısına ve sıkıştırılabilirliğe de büyük ölçüde etki eder. Partikül boyutunun küçülmesi, birim kütledeki partiküllerin daha fazla etkileşimde bulunmasına ve partikül yüzey alanı ile kohezyon gücünün artışı akışkanlığı olumsuz etkiler. Partikül boyutundaki artış, genel olarak akışkanlığın artmasına ve kütle yoğunluğunun azalmasına neden olur (Ganesana vd., 2008; Ermiş, 2015).

Partiküllerin şekli, yığın tozların özelliklerini ve akış davranışlarını etkileyen bir özelliktir. Örneğin, partiküllerin şekli tozların paketlenme şeklini de değiştirerek yığın yoğunluğunu ve depolama kapasitesini artırabilmektedir. Ayrıca partiküllerin birbirleriyle teması ve etkileşimi toz akışını etkileyebilmektedir. Partikül büyüklüğü aynı zamanda akışkanlık, sıkıştırılabilirlik, sitotoksosite ve toz patlaması dahil olmak üzere tozların çeşitli davranış özelliklerini etkileyen önemli bir parametredir (Fitzpatrick, 2013). Partikül şekilleri genelde asiküler (iğne benzeri sivri uçlu), granüler (simetrik boyutlu tanecikler şeklinde), modüler (yuvarlatılmış, düzensiz şekil), kristalize, köşeli, dallanmış, pulsü, lifli, düzensiz ve küre vb. şekil yapılarında olabilir (Dhanalakshmi vd., 2011).

2.1.2. Toz Yığın Yoğunluğu ve Sıkıştırılmış Yoğunluk

Bir kabın birim hacmini kaplayan partiküllerin kütlesine kütle yoğunluğu denir. Bir toz kütlesinin serbest yığın yoğunluğu (g/cm^3), bir sıkıştırma etkisi olmaksızın ölçülebilen yoğunluğudur (Chandra vd., 2015). Gıda sanayisinde paketleme, depolama, işleme ve taşıma süreçlerinde dikkate alınması gereken önemli bir parametredir (Yaşasın, 2020). Bireysel partiküller arasında veya içinde mevcut olan boşluklar, aynı zamanda konsolidasyon (sıkışma) geriliminin büyüklüğüne de bağlıdır. Partikül içerisindeki gözeneklilik azaldıkça kütle yoğunluğu artar (Sjollema, 1963).

Dolayısıyla, tozların sıkıştırılabilirliği gözeneklilik seviyesi ile orantılıdır (Ji vd., 2017).

Yığın yoğunluğu, yığını oluşturan partiküllerin geometrisi ve partiküller arası boşluk oranına bağlı olarak değişebilir. Pürüzsüz, düzgün yüzeyli, düşük boyutlu ve küresel şekilli parçacıklar, daha yüksek kütle yoğunluğuna sahiptirler. Düzenli küresel partikül şekli, ara hava miktarını en aza indirir. Örneğin, küresel partiküller arasında boşluk az olduğundan, diğer koşulların sabit tutulduğu durumda en yüksek yığın yoğunluğu değerine sahiptirler. (Koç vd., 2021).

Toz ürünün nem içeriği, partikül şekli ve büyüklüğü, partikül yoğunluğu ve kimyasal bileşimi (örneğin, nem ve yağ içeriği) gibi faktörler yığın yoğunluğunu büyük oranda etkiler. Bu nedenle, uzun süreli taşıma ve depolama özelliklerini belirlemek için yığın yoğunluk analizi değerlendirme ölçütleri arasında önemli bir rol oynamaktadır (Sharma., 2012). Paketleme maliyetlerinin azaltılması ve taşıma kolaylığı açısından yığın yoğunluğunun yüksek olması önemlidir (Baykal vd., 2018). Tozların uzun mesafelere taşınması gerektiğinde, yüksek yığın yoğunluğuna sahip olmaları hacim azaltmada avantaj sağlamaktadır. Ayrıca, ambalaj malzemesinden tasarruf edilmesine de katkıda bulunur. Aynı zamanda toz kütle yoğunluğu taşıyıcı kap hacmine, depo ünitesi dizaynına ve toz işleme ekipman seçimine de etki eder. Toz üretim aşamalarında önemli sorunlardan olan topaklaşma (clumping) davranışı da toz yığın yoğunluğundan etkilenmektedir (Barbosa-C'anvas ve Juliano 2005).

Toz ürünlerin yoğunluk değerleri, proses ekipmanlarının seçiminde önemli bir ölçüttür. Yığın yoğunluğunun düşük olması topaklaşmanın bir göstergesidir. Güçlü yapısal mukavemete sahip tozlar, taşıma sistemleri içinde dağıldıklarında yığılmaya direnç gösterir ve düşük yığın yoğunluğuna sahip olur. Öte yandan, yapısal olarak zayıf tozlar kolayca sıkışarak yüksek yığın yoğunluğu sergileyebilir. Partiküller arasında oluşan yüksek sürtünme kuvvetleri genellikle düşük yığın yoğunluğuna sebep olmaktadır. Nitekim sürtünme azaldıkça, yığın yoğunluğu artış gösterir (Abdullah vd., 1999; Saraç vd., 2020). Kurutulan ürünlerin hacim azalması veya büzülmesi, kurutma tekniğine ve durumuna bağlı olarak meydana gelebilir. Ayrıca, kurutulmuş gıda ürünlerinin kaybettiği su miktarına göre hacim ve ağırlık kayıpları, ürünün yığın yoğunluğunda değişikliklere yol açmaktadır (Ratti, 1994).

Toz ürünlerin sıkıştırılmış yığın yoğunluğu, toz örneklerle belirli düzeyde kuvvet uygulanarak sıkıştırıldıktan sonra sıkıştırılmış toz kütlelerinin hacminin ölçülmesi yoluyla belirlenmektedir. Serbest yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk toz davranışını tanımlamada kullanılan önemli parametrelerdir (Atalar, 2018). Toz ürünün akış özellikleri, yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yığın yoğunluğu arasındaki fark ile doğrudan ilişkilidir. Bu farkın azalması, toz ürünlerin akış özelliğinin iyileşmesi anlamına gelmektedir (Couto vd., 2011).

2.1.3. Hausner Oranı ve Carr İndeksi ile Toz Akış Davranışının Belirlenmesi

Tozların akışkanlığı, toz kütlelerinin birbirlerine veya depolama ünitelerinin duvar yüzeylerine göre kısmi hareket edebilmesi ya da basitçe akabilme yeteneği olarak tanımlanır (Salley vd., 2014; Ermiş, 2015). Toz gıda ürünlerinin akış özellikleri, raf ömrü boyunca birbirlerine yapışma ve kekleşme eğilimine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Toz gıdaların akışkanlığı genel olarak partikül boyutuna, yoğunluğuna ve şekline, yüzey alanına ve kimyasal bileşimine bağlıdır. Bununla beraber dış etmenlerden de (nem, sıcaklık, basınç) büyük oranda etkilenir. Tozların akışkanlığı, kolay akan (easy flow), yapışkan (cohesive), çok yapışkan (very cohesive) ve ileri derecede yapışkan (extremely cohesive) şeklinde sınıflandırılmaktadır (Benkovic vd., 2013).

Akışkanlığı tanımlamak için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunlar, Hausner oranı (Hausner Ratio-HR) (Hausner, 1967), Carr İndeksi (CI) (Carr, 1965) ve akış faktörüdür (ff_c) (Jenike, 1964). Hausner oranı ve Carr indeksi değerleri toz ürünlerin akışkanlık özelliklerini belirlemek amacıyla kullanılırlar. Bu değerler, serbest yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yığın yoğunluğu kullanılarak hesaplanır. (Koc ve Dirim, 2017). Hausner oranı, sıkıştırılmış yoğunluk ve serbest yoğunluk arasındaki oran olarak adlandırılır ve çoğunlukla tozların iç sürtünme indeksini belirlemede kullanılır (Ganesana vd., 2008). Hausner oranı aşağıdaki formüle göre hesaplanır

$$\text{Hausner oranı} = \rho_t / \rho_b \quad (2.1)$$

ρ_b = Serbest yığın yoğunluğu, ρ_t = Sıkıştırılmış yoğunluk

Carr (1965) tarafından geliştirilen Carr indeksi aşağıdaki denkleme göre hesaplanır (Tripathi vd., 2013).

$$\text{Carr indeks (\%Sıkıştırılabilirlik)} = 100 \times (1 - \rho_b / \rho_t) \quad (2.2)$$

ρ_b = Serbest yığın yoğunluğu, ρ_t = Sıkıştırılmış yoğunluk

Hausner oranı ve Carr indeksi değerleri ile toz akış davranışı arasındaki ilişki Tablo 2.1'de verilmiştir.

Toz ürünlerin akış özellikleri, akış hızının artması veya azalmasıyla değişkenlik gösterebilir. Örneğin, toz ürünlerin akış hızı arttığında serbest akış özelliği gösterebilirken, hızlı akmaya zorlandıklarında akışa daha dirençli hale gelebilirler (Doğan vd., 2019). Düşük yağ içeriğine sahip olan tozlar, yüksek yağ içeriğine sahip tozlara göre daha iyi akışkanlık gösterir. Düşük erime noktası fraksiyonuna sahip yağ, yüksek veya orta erime derecesine sahip yağ partikülleri içeren tozlar elde etmek için kristalize edilebilir ve bu da daha iyi akışkanlık sağlamaktadır (Ilari and Loisel 1991; Güner, 2017).

Tablo 2.1: Carr İndeks ve Hausner Oranı Değerlerinin Toz Akış Davranışı ile İlişkisi

Carr indeks (Cİ), %	Hausner oranı (HO)	Akışkanlık
0-10	1.00-1.11	Mükemmel
11-15	1.12-1.18	İyi
16-20	1.19-1.25	Uygun
21-25	1.26-1.34	Orta
26-31	1.35-1.45	Zayıf
32-37	1.46-1.59	Çok zayıf

Kaynak: Shishira, 2014; Güner, 2017

2.1.4. Kekleşme Özelliği ve Yapışkanlık

Düşük nem oranına sahip serbest akışkan tozların önce yığınlara daha sonra topaklaşmış yapılara ve sonucunda katı bir forma dönüşmesiyle ortaya çıkan kekleşme, ürünün işlevselliğini kaybetmesine ve kalitesinin düşmesine neden olan istenmeyen bir durumdur (Saraç vd., 2020).

Kekleşme, suda çözünebilen amorf (düzensiz) veya serbest halde bulunan partiküllerin birleşerek katı bir yapı oluşturması olarak tanımlanır. Düzensiz partiküllerin kısmi çözünmesi ve kristal yapıdaki tozun yeniden kristalize olması, kekleşme davranışını tetikleyebilmektedir. Kek oluşumu, üretim ekipmanlarında topaklanmaya neden olarak üretim sürecinde sorunlara yol açar. Bu duruma, depolama koşulları (nem, sıcaklık,

basınç, kütle yoğunluğu vb.), partiküllerin kimyasal içeriği, mekanik kenetlenme ve moleküler dağılım gibi faktörler etki eder (Ermiş, 2015). Çevredeki havanın bağıl nemi arttıkça, tozlar suyu emme (absorbe etme) eğilimi gösterirler. Toz partikülleri arasında sıvı köprüler oluşur ve bu da daha fazla toz yapışması ve daha az akışkanlığa neden olur. Öte yandan bağıl nem azaldıkça tozlar suyu desorbe etme eğiliminde olur ve sıvı köprüler kaybolur (Teunou ve Fitzpatrick, 1999).

Toz gıdalarda yapışkanlığa kohezyon (partikül–partikül çekimi) ve adhezyon (partikül–yüzey çekimi) kuvvetleri de etki ederler. Toz gıdaların aglomerasyonu işlemi haricinde istenmeyen bir özelliktir. Sıcaklık, nem, basınç (sıkışma), partikül yüzey kompozisyonu ve gıda katkılarının varlığı gibi çeşitli faktörler yapışkanlığa etki ederler (Ermiş, 2015). Toz gıdaların akışını doğrudan etkileyen önemli bir özellik olan kohezyon, nakliye, depolama ve ambalajlama sırasında akmama veya homojen karışmama gibi sorunlar meydana getirmektedir (Türker vd., 2022).

2.1.5. Nem İçeriği ve Su Aktivitesi

Gıdaların muhafazasında ve kalitelerinin korunmasında içerdiği su (nem) miktarının önemi büyüktür. Toz gıdaların nem içeriği toz akış davranışına önemli ölçüde etki eder. Nem içeriğinin artması toz partikülleri arasında sıvı köprülerin oluşumuna buna bağlı olarak akışkanlığın azalmasına yol açar. Artan nem içeriği tozları daha fazla yapışkan yapma eğilimindedir, ancak belirli bir eşik değerinin üzerindeki nem oranı, partiküller arasında kayma geriliminin azalması ile kaydırma etkisi oluşmasına neden olarak akışı iyileştirebilir (Fitzpatrick vd., 2004; Opalinski vd., 2012). İlave olarak tozların partikül boyutu ne kadar küçük olursa, nem çekip birbirine yapışması o kadar fazla olur. Bunun nedeni ise partikül boyutu küçüldükçe yüzey alanının artıyor olmasıdır (Düsenberg vd., 2023).

Her gıda maddesi çeşitli oranlarda su içerir ve su içeriği yüksek gıdaların kalitesi, suyun mikrobiyolojik, kimyasal, biyokimyasal ve etkilerinin kontrol altında tutulmasıyla sağlanabilir. Gıdalarda kolayca ölçülebilen bir fizikokimyasal özellik olan su aktivitesi (a_w), gıda teknolojisinde kritik öneme sahip bir parametredir. Su aktivitesi gıda kalitesi ve raf ömrüne etki eder ve fiziksel, kimyasal ve özellikle mikrobiyolojik kararlılığın belirlenmesinde kullanılan bir parametredir (Özay vd., 1993).

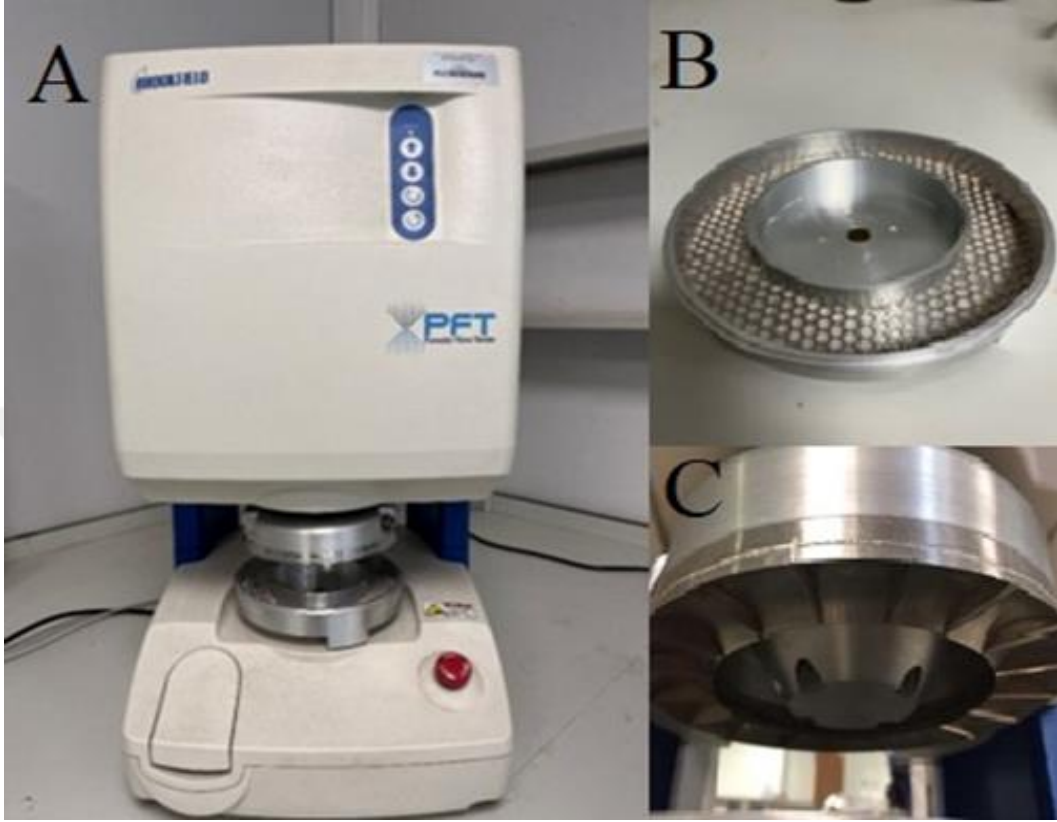
Nem içeriğinin artması ile genellikle partiküller arasındaki etkileşim ve kütle transferi de artar. Partikülleri bağlayan stabil sıvı köprülerin oluşumu yoluyla toz akış özelliklerini olumsuz etkiler (Opalinski vd., 2011). Gıdanın içerdiği suyun buhar basıncının, aynı sıcaklıktaki saf suyun buhar basıncına oranı gıdaların su aktivitesi (a_w) olarak tanımlanır. Sabit bir sıcaklıkta gıda, bulunduğu ortamın buhar basıncının içerdiği suyun buhar basıncından büyük veya küçük olmasına bağlı olarak nem alarak su miktarını artırır veya nem miktarını azaltarak kurur. Gıda maddeleri için su, iyi bir plastikleştirici görevi görür. Nem oranının artmasıyla birlikte gıdadaki molekül hareketliliği ve dolayısıyla biyolojik ve kimyasal reaksiyon hızları artar, yapısal değişiklikler meydana gelir (Evranoz ve Kılıç, 2006). Toz kütlelerinin toplanmasının en önemli nedenlerinden biri olan nem miktarının bilinmesi ve kritik değerin altında tutulması çok önemlidir (Fitzpatrick vd., 2010).

2.2. Toz Akış Ölçüm Cihazı (Powder Flow Tester-PFT)

Toz gıdalarda akış özelliklerini tespit etmek için hassas, hızlı ve tekrarlanabilir ölçümler yapabilen analiz cihazlarına gereksinim duyulmuş ve PFT geliştirilmiştir. Jenike Kesme (Shear) Test Cihazı için kullanılan ASTM D6128 analiz metodu PFT cihazına adapte edilmiştir. PFT cihazının örnek hücresi, (230 cm³, 15,2 cm iç çap) hareketli üst çene ve hareketsiz alt haznedan oluşup cihaz için özel olarak tasarlanmıştır (Şekil 2.1). Alüminyumdan yapılan hazne, belirli miktarda örneğin içine yerleştirilebileceği halka şeklinde bir geometriye sahiptir (Yaşasın, 2020).

Üst çenede, haznede bulunan toza kesme gerilimi oluşturmak için 18 bölme bulunmaktadır. Alt hazne, toz numunenin yüzeyde kayma hareketini engellemek amacıyla delikli bir plaka şeklinde tasarlanmıştır. Alt hazne hareketsiz durumdayken, üst çene aşağı doğru doğrusal bir hareketle değişen miktarlarda sıkıştırma gerilimi (σ_1) uygulamakta ve aynı anda dönme hareketiyle toz numunede kesme gerilimi oluşturmaktadır. PFT'nin temel ölçüm ilkesi, toz numuneye sıkıştırma gerilimi uygulandıktan sonra akmaya başlaması veya deformasyona uğraması için gerekli olan kesme geriliminin (σ_c) ölçülmesi esasına dayanır. σ_1/σ_c oranı, test edilen numunenin deformasyon davranışı ile orantılıdır (Tablo 2.2). Buna göre, oranın yüksek olması (>10) zayıf materyal (akışkan), düşük değerde olması (<1) güçlü materyal (yapışkan) olduğunu belirtir (Ermiş vd., 2018a).

PFT’de gerilme-kırılma basınçları (Pa) yanında kritik silo çıkış çapı, duvar sürtünme açısı ve yığın yoğunluğu gibi değerler de belirlenebilmektedir.



Şekil 2.1: A: PFT (Toz Akış Ölçüm Cihazı), B: Alt Hazne, C: Bölmeli Üst Çene
Kaynak: Araştırmacı tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 2.2: Akış Faktörüne (ff_c) Göre Toz Akışkanlığının Sınıflandırması

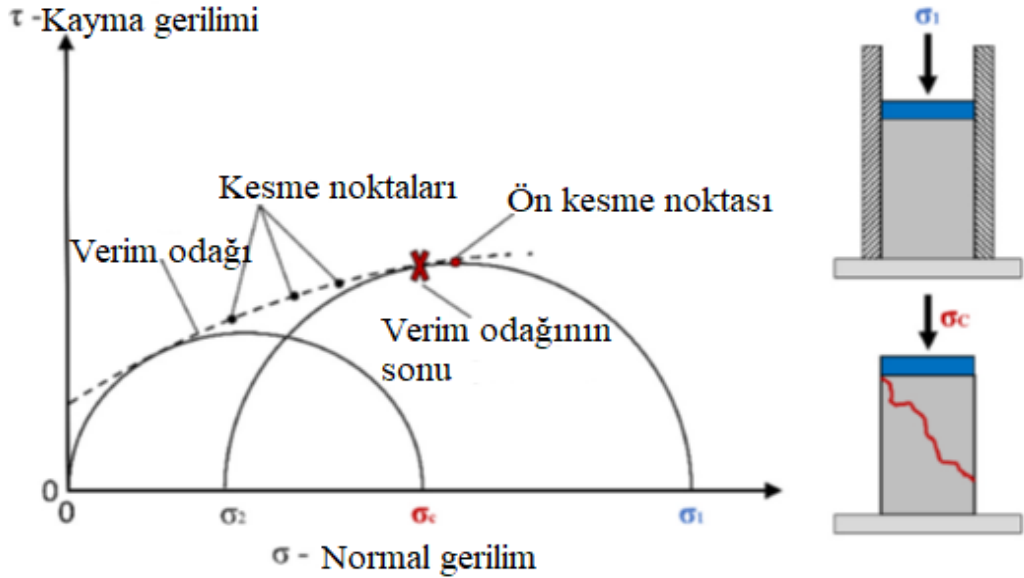
Toz Akış Davranışı	ff_c
Akmayan	<1
Çok yapışkan	1-2
Yapışkan	2-4
Kolay akan	4-10
Serbest akan	>10

Kaynak: Fitzpatrick vd., 2004

2.2.1. PFT'nin Jenike Kesme Hücreesine (Shear Cell) Dayanan Ölçüm Prensipli

Akış özelliklerini ölçmek için birçok kesme test cihazı kullanılmaktadır. Doğrudan kesme test cihazlarında gerilim tek bir doğrultuda uygulanır ve esas gerilme doğrultusu sabit kalır, test süresince değişmez. Jenike test cihazı, bu tür test cihazlarına bir örnektir (Çağlı, 2005).

Jenike'in akışkanlık fonksiyonuna göre akışkanlık, toz yığınının tek eksenli sıkıştırılmasına dayanır. Bu benzetmeye göre içi boş bir silindir, katı bir dökme malzeme ile doldurulmuştur. Toz yatağı içindeki sıkıştırma gerilimi ise σ_1 'dir. Sıkıştırma gerilimi olan σ_1 silindirin içinde giderek toz numunesinin hacmini azaltır. Silindiri çıkarırken bir kütle dikey olarak numune kopuncaya kadar uygulanır. Kırılma için kullanılan kütleyle kesme gerilimi (σ_c) denir. Kesme testlerinde konsolidasyon durumlarını belirten σ_1 ve σ_c 'yi belirlemek için Mohr stres çemberi çizilir (Şekil 2.2) (Jenike, 1967). Dökme katı bir numune üzerinde kesme ve normal gerilmeler, Mohr çember gerilimi üzerindeki noktalarla temsil edilir. Merkez σ ekseninde yer alır ve Mohr gerilme çemberi her akma odağı konsolidasyon noktasındaki gerilim seviyesini gösterir. Ön kesme noktası kesme testinden elde edilir ve kesme gerilimini gösterir (Jenike, 1967; Schulze, 2008; Düsenberg vd., 2023).

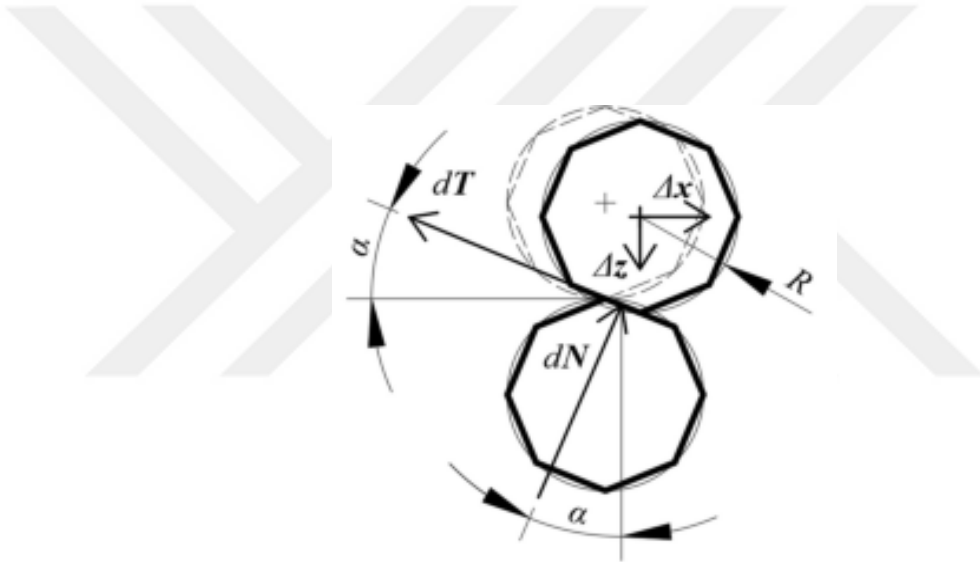


Şekil 2.2: Mohr'un Akma Odağını Belirleyen Gerilme Çemberleri (σ_1 : Uygulanan Sıkıştırma Gerilimi, σ_c : Deformasyona Uğraması için Gerekli Kesme Gerilimi)

Kaynak: Düsenberg vd., 2023

2.2.2. İç Sürtünme Açısı

İç sürtünme açısı partiküllerin birbirleri üzerinde hareket etmesine veya kaymasına neden olan kuvvetin bir ölçüsüdür (Şekil 2.3) (Zegzulka vd., 2022). Depo ünitelerinde oluşan akmama sorunu büyük ölçüde bu açığa bağlıdır. İç sürtünme, partikül yüzeyi sürtünmesi de dahil olmak üzere partikül şekli, elastikiyeti, partikül boyutu ve dağılımı gibi birçok fiziksel faktörlere bağlı olarak değişim gösterir. Toz gıdaların üretimi aşamalarında kullanılan depo ve üretim elemanlarının dizaynında iç sürtünme açısı değeri, duvar sürtünmesi değeri ile birlikte kullanılır (Ganesana vd., 2008). Partikül boyutu arttıkça sürtünme açısı azalır, bunun başlıca nedeni daha küçük partiküllerin birbirlerine çok daha güçlü bir şekilde yapışma eğiliminde olmasıdır (Barbosa-Canovas vd., 2005).



Şekil 2.3: Partiküllerin Birbirleri Üzerinde Hareket Etmesi

Kaynak: Zegzulka vd., 2022

İç sürtünme açısının tanjantı eşitlik 2.3 ile hesaplanabilmektedir.

$$\tan(\alpha) = \frac{dT \cdot \Delta x}{dN \cdot \Delta z} \quad (2.3)$$

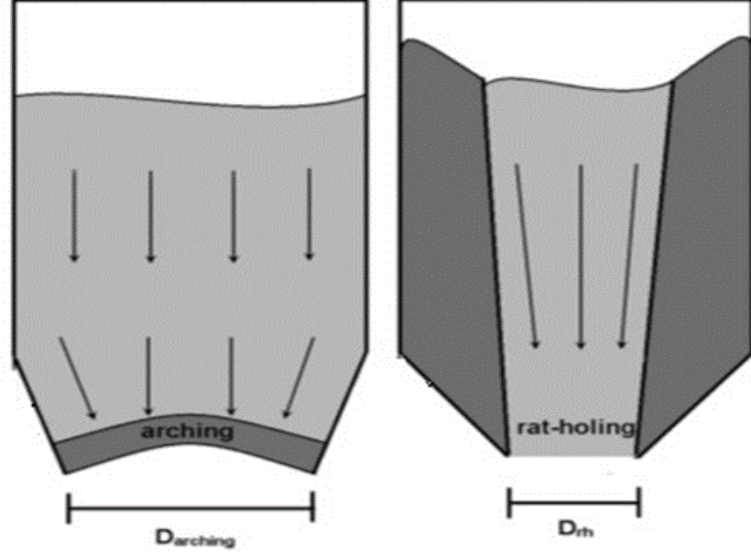
Eşitlikte α , dT ve Δx vektörleri veya dN ve Δz vektörleri arasındaki açıyı ifade etmektedir.

2.3. Toz Gıdalar İçin Depolamada Silo Tasarımı

Toz kütlesindeki gerilim dağılımlarının belirlenmesi, silo boşaltım ve taşıma sistemlerinin dizaynı için büyük öneme sahiptir. Toz kütlesinin depo ünitelerinden boşaltımı ve sonraki aşamalara iletilmesi bu dizayn karakteristiklerine bağlıdır. Toz davranışlarına uygun olmayan tasarımların depo üniteleri içerisinde, çıkışlarında ve aktarım elemanlarında akışın kesilmesiyle birlikte stabil kemerlerin oluşmasına yol açabilir (Matchett, 2007).

Yer çekimi nedeniyle depolarda veya silolarda toz akışını engelleyen tıkanıklıklar veya kemerler toz kütlenin akışını engelleyen önemli olumsuzluklardır. Tozun boşaltılması sırasında karşılaşılan sorun olan kemer oluşumu partiküllerin kenetlenmesi ile oluşan bir yapıdır. Kemer oluşumu (arching) durumunda toz partiküller birbirine kenetlenir ve çıkış deliğinde sabit bir kemer oluşturur (Şekil 2.4). Dar bir çıkış deliği hem yapışkan hem de serbest akışlı tozlar için kavislenmeye neden olabilir. Bu durumda kemeri kırmak için titreşim veya vurma gibi dış gerilimler uygulanması gerekir. Toz kütlesinin kimyasal yapısı ve nem içeriğinin yanında partikül boyutu ve partikül şeklinin de kemer oluşumunda kritik etkiye sahip olduğu bildirilmektedir (Goh vd., 2018).

Konik siloların çıkış çapı ve eğimi, silo duvarının dikey konumu silolardan toz ürün boşaltımının belirlenmesi için çok önemli parametrelerdir (Fitzpatrick vd., 2004). Fare deliği terimi, depolama ünitelerinde veya silolarda oluşan ve yalnızca yerçekimi etkisi altında akmakta olan toz kütlesinin içerisinde oluşan stabil iki boyutlu kanalları veya üç boyutlu silindirik boşlukları tanımlamak için kullanılır. Çoğu zaman bir fare deliği oluştuğunda orada kalma eğilimi gösterir çünkü zaman geçtikçe malzeme kuruyup sertleşme gösterir bu da silo içerisindeki toz kütlesinin tamamen boşaltılması için zaman ve maddi kayba sebep olmaktadır (Cox vd., 2004). Bu durumun önlenmesi için kritik çıkış çapının önceden hesaplanıp belirlenmesi gerekmektedir.



Şekil 2.4: Depolamada Kemerleşme (arching) ve Fare Deliği (rat-holing) Oluşumu
[D(arching): Kemerlenmeyi Önlemek İçin Minimum Çıkış Çapı, D(rh): Fare Deliği Oluşumunu Önlemek İçin Minimum Çıkış Çapı]

Kaynak: Ji vd., 2017

2.4. Partikül Boyut Dağılımı ve Yüzey Mikroyapı Analiz Yöntemleri

Partikül boyut dağılımını, örnek üzerine lazer ışığı gönderilerek örnekten yansıyan ve kırılan lazer ışığı dedektörler ile belirlenmekte ve sonucunda saçılan ışığın açısı ve şiddetini göstermektedir. Lazer ışığının partikül üzerinden geçen dağılma açısı, partikül boyutuyla ilişkilidir. Partikül boyutu azaldıkça, dağılma açısı logaritmik olarak artar. Partiküller büyüdükçe dağılma açıları düşer ve dağılan lazer ışığının şiddeti yükselir. Küçük partiküller de ise dağılma açısı yüksek, dağılan lazer ışığının şiddeti düşüktür.

Taramalı elektron mikroskobu (Scanning Electron Microscope-SEM), yoğunlaştırılmış bir elektron demeti ile örneğin yüzeyini tarayarak görüntüleme yapan bir tür elektron mikroskobudur. Elektronlar, örnekteki atomlarla etkileşime girerek örneğin yüzey topografyası ve kompozisyonu ile ilgili bilgi içeren çeşitli sinyaller üretir. İlgili dedektörler tarafından birleştirilen bu sinyaller, bilgisayar ekranına aktarılır ve görüntü oluşturulur. Bu görüntüler fotoğraflanarak toz örneklerin mikroyapıları hakkında bilgi edinilebilmektedir.

2.5. Tez Çalışmasında Kullanılan Toz Gıda Örnekleri

2.5.1. Siyez Unu

Son yıllarda artış gösteren obezite, diyabet, kalp hastalıkları ve yüksek kolesterol gibi sağlık sorunları tüketicileri yüksek proteinli, düşük glisemik indeksli, besleyici ve sağlığı destekleyici kaliteli ürünler arayışına yöneltmiştir. Bu durum, günümüzde birçok unutulmuş 'antik' tahılın yeniden keşfedilmesine neden olmuştur (Çakır ve Arıcı, 2023). Siyez (*Triticum monococcum L. Subsp. Monococcum*), günümüzde kullandığımız buğdaylarının atası olarak kabul edilmektedir. Siyez buğdayı yüksek yağ ve protein içeriğine sahiptir. Ekmeklik buğdaylarına kıyasla çok daha yüksek mineral madde içermektedir. Morfolojik yapısı nedeniyle diğer buğdaylardan daha küçük olan siyezin kepek tabakası (perikarp, testa ve aleuron), endosperm tabakasına (unun elde edildiği merkez kısım) daha sıkı bağlıdır ve kepek tabakası oranı da daha yüksektir (Örü ve Ertop, 2021).

Siyez buğdayı ekimi, ülkemizde özellikle Kastamonu'nun İhsangazi, Seydiler ve Devrekani ilçelerinde yoğun olarak yapılmaktadır. İlde ekilen siyez buğdayının büyük kısmı, 4.400 ton ile Seydiler ilçesine aittir. İhsangazi ilçesindeki tahıl ekiminin yaklaşık %90'ını buğday oluşturmaktadır ve ekilen buğdayın yaklaşık %45'i siyez buğdayıdır. Hasadı yapılan siyez buğdayının büyük çoğunluğu (%80) hayvan yemi olarak kullanılmakta, geri kalan kısmı (%20) ise siyez bulguru olarak işlenmektedir (Kaplan, 2020).

Siyez buğdayı, bazı eser elementler (doymamış yağ asitleri, demir, çinko ve fruktan gibi) açısından zengindir. Aynı zamanda konjuge fenolikler, karotenoidler, tokoferoller, alkilenmiş resorsinoller ve fitosteroller gibi biyoaktif bileşenleri de önemli oranda içermektedir (Tablo 2.3). Ancak amilaz ve lipoksigenaz enzim aktivitesi düşüktür. Yüksek antioksidan oranına sahip olan karotenoidler lipid peroksidasyonu sonucu ortaya çıkan serbest radikallere karşı koruma sağlar. Karotenoidler arasında provitamin A özelliği gösteren α karoten, β karoten ve β kriptoksantin bulunur. Bu nedenle A vitamini sentezi açısından önemlidir. Yüksek karotenoid içeriği ve düşük lipoksigenaz aktivitesine sahip siyez buğdayından elde edilen ürünlerin, durum ve ekmeklik buğdaydan elde edilenlere kıyasla daha fazla karotenoid içermesine neden olur (Işık ve Keser, 2020).

Tablo 2.3: Siyez Buğdayının Besin Değeri

Besin Öğeleri	Birim	Miktar
Protein	g/100g	15.5-22.8
Yağ	g/100g	4.0-4.4
Nişasta	g/100g	60.6-71.4
Amiloz	g/100g nişasta	23.0-28.6
Karotenoid	mg/kg	5.3-13.6
Tokoferol	mg/kg	61.5-115.9
Çinko	mg/kg	42.7-71.1
Demir	mg/kg	37.2-62.6
Manganez	mg/kg	34.4-68.2
Bakır	mg/kg	4.9-8.3
Magnezyum	mg/kg	1.19-2.00
Fosfor	mg/kg	4.54-6.27

Kaynak: Çakır ve Arıcı, 2023

2.5.2. Yulaf Unu

Yulaf kültürünün ne zaman başladığı tam olarak bilinmemekle beraber başlangıçta yabani ot olarak bilinen yulaf, buğday ve arpaya kıyasla oldukça yeni bir kültür bitkisidir. Kuraklığa ve kışa dayanıklı olmayan ve çavdardan sonra en az toprak seçiciliği olan serin iklim tahıdır. Yeterli nemin bulunduğu en verimsiz topraklarda bile yetişebilmektedir. Günümüzde yulaf; tane, saman, hayvan yemi, insan besini ve endüstri hammaddesi olarak kullanılır. En yaygın kullanım alanı hayvan beslenmesidir. İnsan beslenmesinde ise yulaf unu ve yulaf ezmesi, kahvaltılık olarak tüketilmektedir (Kahraman vd., 2012). Yulaf unu ile yapılan ürünler, içerdiği antioksidanlar, diyet lifi ve diğer fitokimyasallar sayesinde yüksek besin kalitesine sahiptir. Ayrıca fındık benzeri, ekşi olmayan güzel bir tat sunarlar. Su tutma özellikleri çok iyi olduğundan ürünün daha uzun süre taze kalmasını sağlar (Hüttner vd., 2010).

Buğday ve pirince göre daha az tüketilmesine rağmen, yulaf (*Avena sativa L.*), hipoalerjenik, antioksidan, antiinflamatuar ve antikarsinojenik özelliklerinden dolayı son yıllarda büyük ilgi görmektedir. Yulafın (*Avena sativa L.* ve *Avena nuda L.*) içerdiği doymamış yağ asitleri, çözünür diyet lifi, vitamin, mineral ve dengeli protein kompozisyonu, işlenmiş gıdalarda kullanımına olan ilgiyi artırmıştır (Tablo 2.4). Ayrıca yulaf, bol miktarda antioksidan özelliğe sahip (tokoferol, fenolik bileşikler, sterol ve fitik asit gibi) bileşenler içerir (Topçu vd., 2019).

Tablo 2.4: Yulafın Besin Değeri

Besin Ögesi	Miktar (g/100g)
Protein	33
Karbonhidrat	22
Yağ	10
Vitamin/Mineral	35

Kaynak: Özaydın, 2014

Diğer hububatlar gibi, yulaf da fenolik bileşikleri serbest veya bağlı formda içerebilir. Serbest fenolikler, insan beslenmesinde kolaylıkla emilimi sağlanan antioksidan kaynaklarıdır; bağlı fenolikler ise sindirim yolunda emilmeden önce daha ileri bir metabolizma süreci gerektirdiğinden, uzun süreli faydalar sağlar. Yulaf, diğer tahıllarda bulunmayan avenantramid adında kendine özgü, düşük moleköl ağırlıklı ve çözünebilen bir fenolik bileşik içerir. Avenantramidler, yüksek antioksidan özellik gösterir. Yulaf tanesinin en temel fenolik maddesi olan avenantramidler, tane içerisindeki dış bölgelerde (örneğin; kepek ve alt alöron tabakalarında) nispeten daha yüksek oranlarda bulunur (Liu vd., 2004).

2.5.3. Soya Unu

Soya “Leguminosae” familyasına aittir. Tipik bir baklagil tohumu olan soya tohumu kabuk, bir çift kotiledon ve embriyo olmak üzere üç kısımdan oluşur. Özellikle Uzakdoğu ülkelerinde sıkça tüketilen soya, bilimsel çalışmalarla kanıtlanmış sayısız faydası bulunan bir üründür. Etten daha yüksek protein içeren soya, düzenli tüketildiğinde kolesterolü düşürerek kalp ve damar hastalıklarına karşı koruma sağlar. Bu özellikleriyle soya, mucize bitki olarak benimsenmiştir (Nilüfer ve Boyacıoğlu, 2007).

Besin değeri ve içerdii vitamin, mineral yönünden soya fasulyesi oldukça zengindir (Tablo 2.5). Lif, protein, kalsiyum ve magnezyumu yüksek miktarda içerir. Toprağa azot sağlayan bu bitki, yağ içeriği nedeniyle yağlı tohumlu bitkiler kategorisinde sınıflandırılır. Soya tohumlarında %18-24 yağ, %35-45 protein, %30 karbonhidrat ve %5 mineral bulunur. Aynı zamanda birçok vitamin içeren soya, geniş kullanım alanları sayesinde dünya genelinde giderek daha fazla üretilmektedir (Yıldırım vd., 2014).

Tablo 2.4: Soyanın % Besin Değeri

İçeriği	Miktarı (%)
Enerji	469 kcal/100 g
Protein	37.69
Doymuş yağ asitleri	28
Karbonhidrat	16.31
Şeker	7.33
Nem	8

Kaynak: Etiosa vd., 2017

Soya unu, yağı alınmış ve kabuğu ayrılmış soya tanelerinin öğütülmesiyle elde edilir. Kabuk ve/veya yağ dışında hiçbir bileşen ayrılmadığından, başlangıç hammaddesine göre protein oranı (kuru madde bazında) yaklaşık %55 düzeyinde kalmaktadır. Diğer soya protein kaynaklarına göre soya unu, daha az işlem görmesi nedeniyle daha ekonomiktir. Protein, izoflavon ve fitokimyasalların önemli bir kaynağıdır. Aynı zamanda soya unu, besleyici ve fonksiyonel bir gıdadır. Birçok gıda ürününde besleyici değeri artırmak ve üretim maliyetlerini azaltmak amacıyla yaygın olarak kullanılır. Fırıncılık ürünlerinde nem tutma, ekmek içini beyazlatma, ekmek kabuğunu koyulaştırma, raf ömrünü uzatma, pişirme süresini kısaltma ve yağ absorpsiyonunu azaltma gibi etkiler sağlar. Ayrıca, uygun fiyatlı süt bazlı bileşenlerle karışımlar halinde, yağsız süt tozunun veya diğer yüksek fiyatlı süt bazlı bileşenlerin ikamesi olarak da çeşitli formülasyonlarda yer alır (Liu, 2004).

2.5.4. Bezelye Protein Tozu

Bitkisel protein açısından baklagiller son derece önemlidir. Üstelik dirençli nişasta, diyet lifi, vitamin ve mineral bakımından da mükemmel bir kaynak sunarlar (Türksoy, 2018). Bezelye hem üretimi hem de işlenmesi kolay bir baklagildir. İçerdiği aminoasit kompozisyonu sayesinde fonksiyonel bir baklagil olarak gıda endüstrisinde değerlendirilmektedir. Bezelye proteini günümüzde çeşitli et ve süt ürünleri, vejetaryen ürünler ve yüksek proteinli sporcu gıda formülasyonlarında kullanılmaktadır (Çetiner ve Bilek, 2018).

Bezelye proteini ekstraksiyonu için öncelikle bezelye temizlenir ve öğütülür. Sonra diyet lifleri ve bezelye nişastası ayrı ayrı çıkarılır. Daha sonra protein yapılar ekstrakte edilerek sprey kurutucuda kurutulur. Elde edilen saflaştırılmış bezelye protein izolatu, kuru madde bazında %85 protein, %7 yağ, %3 karbonhidrat, %5 kül içerir (Overduin vd., 2015).

Soya proteini ürünlerine en umut veren alternatif olarak, bezelye protein izolatları verilebilir. Bezelye protein izolatlarının çözünürlük, emülsifiye edici, köpüklenme ve jelleşme özelliklerinin kabul edilebilir seviyelerde olduğu bildirilmektedir. Bezelye proteinleri genellikle protein ekstrakt tozu, protein konsantresi tozu veya protein izolatu olarak kullanılır (Barac vd., 2015). Diğer birçok protein tozunun aksine, bezelye proteini bilinen alerjen bileşenler içermediği için diyet programları uygulayan kişiler için iyi bir alternatiftir. Bezelye proteini, kardiyovasküler ve gastrointestinal sağlığa önemli faydalar sağladığı bilinen çözünür lifler de içermektedir (Krefting, 2017).

2.5.5. Laktoz

Laktoz (süt şekeri), glikoz ve galaktoz monosakkaritlerinin birleşmesiyle oluşan bir disakkarittir. Sadece süt ve süt ürünlerinde bulunan laktoz inek sütünde yaklaşık %4,8 düzeyinde bulunur. Endüstriyel laktoz üretimi 100 yıldan uzun bir süre önce başlamış olup, bu süreçte gıda, içecek ve şekerleme endüstrilerinde bir bileşen olarak kullanılırken, ilaç üretiminde yaygın olarak sulandırıcı şeklinde kullanılmaktadır (Gutierrez vd., 2011). Laktoz, kalsiyum, fosfat, magnezyum ve manganez gibi önemli minerallerin emilimini kolaylaştırır. Ayrıca, bağırsak mikrobiyotası tarafından fermente edilerek *Bifidobacterium* türleri gibi probiyotik gram pozitif bağırsak bakterilerinin çoğalmasına katkı sağlar. Böylece bağırsaklarda baskın hale gelen probiyotik bakteriler patojen mikroorganizmaların gelişmesini önleyebilmektedir (Ugidos-Rodriguez vd., 2018).

Peynir üretimi sırasında arta kalan peynir altı suyu yaklaşık olarak %4,5 civarında laktoz içermektedir. Peynir altı suyu laktozun değerlendirilmesi için iyi bir kaynak olarak görülür. Bu yüzden peynir altı suyu laktoz üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunu için peynir altı suyu önce separatörden geçirilerek yağı ayrılır. Daha sonra kaynatıncaya kadar ısıtılarak içindeki proteinli maddeler pıhtılaştırılır ve kalsiyum hidroksit ile pH 6.2'ye ayarlayıp süzülür. Süzmede basınçlı filtrelerden

yararlanılır. Vakum buharlaştırma ile fazla suyu buharlaştırılır. Geniş kaplara alınarak karıştırılmak suretiyle soğutulur. Ortaya çıkan laktoz kristalleri santrifüjde ayrılır. Böylece basit olarak laktoz elde edilir. Bu şekilde elde edilen laktoz sarımsı renkte ve bileşiminde %80 oranında laktoz vardır. Rengini ve kokusunu gidermek için suda eritilir. Kemik külü ve sirke katılarak kaynatılır ve rafine edilir. Daha sonra süzülerek vakumda koyulaştırılıp tekrar kristalleştirilerek beyaz toz halinde α -laktoz elde edilir. Gıda endüstrisinde en çok kullanılan laktoz türü α -laktoz monohidrattır (Tarakçı ve Küçüköner, 2005).

Laktoz, sadece sütte bulunan bir disakkarit olmasına rağmen, süt ve süt ürünleri birçok gıdanın üretiminde yer almaktadır (Tablo 2.6). Saf haldeki laktoz, teknolojik özellikleri nedeniyle endüstriyel gıda üretiminde katkı maddesi olarak sıkça kullanılır. Laktoz, renk ve su bağlama özelliğine sahip olup, ürünün tekstür özellikleri üzerinde de olumlu etkiler yapmaktadır. Tatlılık açısından, laktoz glukozun yarısı, sakkarozun ise üçte biri kadar tatlıdır. Bu özelliklerinden dolayı, tatlılar, şekerlemeler, ekmekler ve sosis gibi işlenmiş et ürünlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Vesa vd., 2000).

Tablo 2.5: Çeşitli Süt Ürünlerinin İçerdiği Laktoz Miktarı

Süt Ürünleri	İçerdiği Laktoz Miktarı g/100 g
Tam yağlı süt	4.70 g
Yağsız süt	4.80 g
Az yağlı süt (%1.5-1.8 yağ)	4.80 g
Tam yağlı süt tozu	35.10 g
Yağsız süt tozu	50.50 g
Yoğurt (%3.5 yağlı)	3.19 g

Kaynak: Senser vd., 2009

2.5.6. Kazein

Süt proteinleri, kendilerine özgü fizikokimyasal özellikleriyle birçok işlenmiş gıdada önemli işlevsel bileşenler olarak yer almaktadır (Bilici, 2019). Kazein, inek sütündeki proteinlerin yaklaşık %80'ini oluşturan bir fosfoproteindir. Bunlar, yarıçapları yaklaşık 80 nm olan ve düzgün olmayan küresel şekle sahip büyük kolloidal taneciklerdir. Doğal formunda, kazein partiküllerinin kalsiyum ve fosfor oranı yüksek,

magnezyum ve sitrat oranı daha düşüktür. Bu partiküller genellikle kazeinatfosfat ve kalsiyumfosfokazeinat partikülleri olarak adlandırılır. Hidrofobik etkileşimler sayesinde misellerin bütünlüğünü koruyan bu mineraller, kümeleşmiş nano yapılar olan koloidal kalsiyum fosfatlar şeklindedir (Demirbaş vd., 2012). Kazeinler, pH 3'ün altındaki ve pH 5.5'in üstündeki ortamlarda çözünürler, fakat izoelektrik bölgede ve 5°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda çözünmezler. Hem nötr hem de asidik pH değerlerinde, kazeinlerin viskozitesi büyük oranda sıcaklığa, pH'a, protein ve kalsiyum konsantrasyonuna bağlıdır ve oldukça viskoz çözeltiler oluşturur (Fox ve Mulvihill, 1990).

Gıda endüstrisinde kazein izolatları, fonksiyonel ve besleyici özellikleri sayesinde çoğunlukla kullanılmaktadır. Ayrıca, biyoaktif bileşenlerin (yağ asitleri, vitaminler vb.) doğal taşıyıcıları olarak kabul edilirler. Kazein proteini, emülsiyon ve köpük oluşturma, yağ ve su bağlama, viskozite sağlama gibi çeşitli işlevsel özellikleriyle; et ve süt ürünleri, unlu mamuller, bebek mamaları, şekerlemeler ve içeceklerin stabilizasyonunda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Lu vd., 2015).

2.5.7. Kakao Tozu

Kakao ürünlerinin temel bileşeni olan kakao çekirdekleri, Theobroma cacao ağacının meyvelerinden elde edilir. Kullanımı 1500 yıl öncesine kadar uzanan kakao çekirdeklerinin üretiminin %70'den fazlası Batı Afrika'da gerçekleşmektedir. Sanayileşmenin artışıyla birlikte, kavrulmuş, kabuğu ayrılmış ve öğütülmüş kakao çekirdeğine uygulanan presleme işlemi, kakao tozu ve yağının ayrılmasını sağlamış bu da çikolatanın dokusu ve lezzetinin gelişimine büyük katkıda bulunmuştur (Demirkol vd., 2018).

Kakaonun ana bileşeni yağdır. İçerisinde bulunan doymuş yağ asitlerinin %55-57'si palmitik ve stearik asitlerden (doymuş asitler), %38'i oleik asitten ve %2'si linoleik asitten oluşur. Kakao yağının sabunlaşma indeksi 194, iyot indeksi 34-36 ve erime noktası 32-34 °C'dir. Kakaodaki karbonhidratların büyük bir kısmını nişasta oluşturur. Çekirdeğin %9-10'u nişastadan oluşurken, %1,17-1,26 oranında indirgen şeker içermesine rağmen sakkaroz bulunmamaktadır (Özocak, 2004).

Türk Gıda Kodeksi Kakao ve Kakao Ürünleri Tebliği'ne göre kakao tozu "Temizlenmiş, kabuğu soyulmuş ve kavrulmuş kakao çekirdeğinin toz haline

getirilmesi ile elde edilen ve kuru madde üzerinden kütlece en az % 20 oranında kakao yağı içeren toz haldeki ürün” olarak tanımlanmaktadır (Anonim, 2017).



ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Tez çalışması kapsamında sekiz adet toz ürün kullanılmıştır. Bunlar; toz formda laktoz (Sigma-Aldrich), siyez unu (Datça Murat Çiftliği), yulaf unu (doğa evi), soya unu (Smoll), bezelye protein tozu (Smoll), kazein tozu (ESN micellar casein), alkalize ve natürel kakao (Ülker). Siyez unu ve yulaf unu İstanbul'da yerel marketlerden; soya unu, laktoz, bezelye protein tozu, kazein tozu ve kakao üretici firmaların internet sitelerinden temin edilmiştir.

3.2. Metot

3.2.1. Toz Örneklerin Nem Analizi

Temin edilen toz örneklerin nem analizi etüv kullanılarak AOAC 934.01 numaralı metoda göre yapılmıştır (AOAC, 1990). Örnekler, tartılarak cam petri kaplarına yerleştirilmiş ve 105°C'de ısıtılmış etüvde 24 saat boyunca kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Kurutma süresi tamamlandığında kap, desikatöre alınarak oda sıcaklığında sabit ağırlığa ulaşana kadar bekletilmiştir. Oda sıcaklığına getirildikten sonra örneklerin tartımı yapılmış ve % nem miktarı aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Nem: } [(m_1 - m_2) / m] \times 100 \quad (3.1)$$

Bu formülde, m_1 kurutulmadan önceki ağırlığını, m_2 kurutulduktan sonraki ağırlığını, m alınan örnek ağırlığını (g) ifade etmektedir.

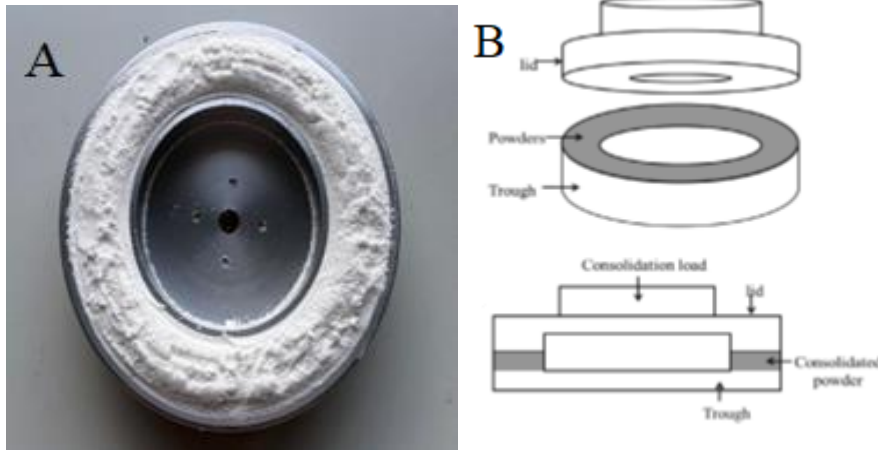
3.2.2. Elek ile Farklı Partikül Fraksiyonların Eldesi

Seçilen farklı partikül boyutlarındaki toz örneklerin toz akış davranışlarını belirlemek için Retsch ZM 200 model rotorlu öğütücü (Retsch, Almanya) ve Retsch AS 200 basic

model elek sistemi (Retsch, Almanya) kullanılmış ve beş dakika boyunca eleklerden geçmesi için sarsılıp farklı partikül boyut fraksiyonları elde edilmiştir.

3.2.3. PFT ile Toz Örneklerin Akışkanlık Analizi

Bu çalışmada örneklerin toz akışkanlığının belirlenebilmesi için toz akışı ölçüm cihazı (PFT) (Brookfield Engineering, İngiltere) kullanılmıştır (Ermiş vd., 2018b). Jenike Shear Test cihazı için uygulanan ASTM D6128 metodu, PFT için de uygun bir yöntemdir (Slettengren vd., 2015). Bu amaçla, toz örnekler ilk önce darası alınan PFT örnek hücresine konularak (Şekil 3.1) tartım yapıp toz örneğin ağırlığı kaydedilmiştir. Standart akış fonksiyonu testleri için, önerilen tek eksenli normal gerilmeler uygulanmıştır. Bu gerilmeler 0,2 ile 4,8 kPa arasında değişmektedir. PFT tarafından yapılabilecek maksimum stres basıncı 4,834 kPa olarak ayarlanmıştır. Akış fonksiyonu değerlerine ek olarak, kütle yoğunluğu, sürtünme açısı, kritik silo açısı değerleri de ölçülmüştür. Sonuçların elde edilmesi ve analizi PFT ile birlikte gelen paket program (Powderflow Pro V1.2) kullanılarak yapılmış ve elde edilen veriler bu program yardımı ile bilgisayarda işlenmiştir. Analiz sonuçları, tablo veya grafik şeklinde alınarak değerlendirilmiştir.



Şekil 3.1: A: PFT Cihazının Toz Örnek Haznesinin Görünümü, B: Toz Akış Testi Cihazı (PFT) Şeması ve Kesme Hücresinin Şeması

Kaynak: A: Araştırmacı tarafından oluşturulmuştur, B: Lee ve Yoon, 2015

3.2.4. Toz Örneklerin Serbest Yığın ve Sıkıştırılmış Kütle Yoğunluğu

Toz örneklerinin yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk değerlerinin belirlenmesinde ASTM D7481-09 (ASTM D7481-09, 2009) metodu bazı değişiklikler yapılarak uygulanmıştır. Kütle/hacim oranı kullanılarak yığın yoğunluğu değeri hesaplanmıştır. Bu amaçla, 50 ml'lik bir mezür kullanılmıştır. Öncelikle mezürün darası alınmış, ardından serbestçe doldurulmuş 50 ml'lik toz örneğinin ağırlığı hassas terazi ile ölçülmüştür. Toz ağırlığının hacme bölünmesi ile yığın (serbest) kütle yoğunluk değeri bulunmuş ve “g/cm³” cinsinden verilmiştir. Serbest yığın yoğunluğu analizinden sonra mezürdeki toz örneğe düz tabanlı metal bir çubukla sabit bir hızla yaklaşık 50 kez vurma işlemi yapılarak tozun sıkıştırılması sağlanmıştır. Sıkıştırılan tozun ağırlığı tartılıp sıkıştırıldıktan sonraki okunan hacim değerine bölünerek sıkıştırılmış kütle yoğunluğu bulunmuştur. Sıkıştırılmış yoğunluk “g/cm³” cinsinden verilmiştir. Sıkıştırılmış yoğunluk ve serbest yığın yoğunluğu oranlanarak Hausner Oranı değeri hesaplanmıştır.

3.2.5. Toz Örneklerin İç Sürtünme Açısı ve Kritik Silo Boşaltma Çapı Değerlerinin Belirlenmesi

İç sürtünme açısı genellikle 30-40° aralığında değişir (Pierrat, 1994; Çağlı, 2005). Kohesif olmayan serbest akan malzemelerde, yığın açısı ile iç sürtünme açısı aynı olabilir. Ancak bu, malzemede kohesif kuvvetlerin bulunmadığı veya ihmal edilebilir olduğu durumlar için geçerlidir. Kohesif malzemelerde ise durum değişmektedir. Malzemenin kohesif olduğu durumda, iç sürtünme açısı yüzeyde gözlemlenemez ve yalnızca bir kesme test cihazı ile hesaplanabilir (Peschl, 1998; Çağlı, 2005). Bu çalışmada kesme test cihazı olarak PFT cihazı kullanılmıştır. PFT cihazının uyguladığı maksimum basınç altında tozların iç sürtünme açısı hesaplanıp karşılaştırılmıştır. Toz örneklerin depolamada sorun teşkil eden fare deliği ve kemer oluşum sorunlarını engellemek için konik şeklinde örnek bir depo modeline (çapı 2 m, yüksekliği 8 m) uygun kritik geometrik parametreleri PFT cihazıyla gelen paket programı yardımı ile analiz edilmiştir.

3.2.6. Toz Örneklerin Partikül Boyut Analizi

Toz örneklerin partikül boyut dağılımı analizi lazer partikül boyut analiz cihazı (Horiba-LA350 Partica) kullanılarak yapılmıştır. Toz örneklerin partikül boyut dağılımı % olarak belirlenmiştir.

3.2.7. Toz Örneklerin SEM Analizi

Toz örneklerin yüzey mikroyapıları, taramalı elektron mikroskobu (SEM) (Phenom Prox) ile incelenmiştir. Görüntüler 15 kV değerinde 500X, 1000X ve 1500X büyütme oranları kullanılarak elde edilmiştir.

3.2.8. İstatistik Analizler

Toz örneklerin ortalama değerler arasındaki farklılıkların istatistik olarak anlam düzeylerinin belirlenmesi amacıyla Minitab17 programı kullanılarak ANOVA tek yönlü varyans analizi ile Tukey's çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır ($p < 0,05$).

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Toz Örneklerin Nem Analizi

Nem miktarı toz ürünlerde toz akış davranışını etkileyen önemli faktörlerden birisidir. Gıda endüstrisinde kullanılan unların nem değerinin depolama stabilitesi açısından en yüksek %14,5 olması gerektiği bilinmektedir (Anonim, 2013). Siyez ve yulaf unu örneklerinin nem değerleri sırasıyla %10,81 ve %10,98 olarak bulunmuş olup birbirine yakınlık göstermiştir. Soya ununun nemi ise %6,61 olarak bulunmuştur. Bezelye protein tozunda kalite standardı olarak nem değerinin %10'u aşmayacak şekilde olması istenir. Bizim ölçtüğümüz nem değeri ise %5,38'tir. Kakao tozlarında ise nem değeri maksimum %9 olacak şekilde mevzuatta belirtilmiştir (Anonim, 2017). Alkalize ve natürel kakao tozlarında nem değeri yaklaşık %8 olarak ölçülmüştür.

Süt tozlarındaki nem oranının %5'i aşmaması gerekmektedir (Anonim, 2005). Aksi halde, sıcaklık değişimleri nedeniyle Maillard reaksiyonları meydana gelebilir ve laktoz kristalizasyonu enzimatik reaksiyonlar sonucunda ortaya çıkabilmektedir (Carić, 1994). Susuz formda üretilen toz laktozun nem değeri %1,5 bulunmuş olup oldukça düşük bir değerdir. Bunun nedeni laktozun yüksek nem değerinde çabuk kristalleşmesi ve kolayca nem çekici yani higroskopik bir yapısı olmasından kaynaklanmaktadır. Mevzuat kapsamında yenilebilir kazeinin nem değeri en fazla %12 olmalıdır (Anonim, 2022). Toz kazeinin nem değeri ise %6,5 bulunmuştur.

4.2. Partikül Boyut Dağılımı Analizi

Partikül boyut dağılımı toz akış davranışı üzerinde önemli rol oynar. Partikül boyutu küçüldükçe partiküller arası etkileşim ve akmaya karşı mukavemet artar, toz akış hızı düşer (Marinelli ve Carson, 1992). Toz numunelerin partikül boyut analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 4.1'de gösterilmiştir. Tabloda d_{10} değeri toz kütlelerinde yer alan partiküllerin %10'unun çapının verilen değer altındadır. Örneklerin d_{10} değeri 3,35-9,88 μm aralığındadır. Tablodaki d_{50} değeri, numunenin %50'sinin belirtilen çapın altında olduğunu belirtir. Örneklerin d_{50} değeri 16,46-78,94 μm arasında olduğu tespit edilmiştir. Yine tabloda d_{90} değeri, örneğin %90'ının bu çapın altında olduğunu belirtmektedir. Örneklerin d_{90} değerleri 67,58-528,71 μm

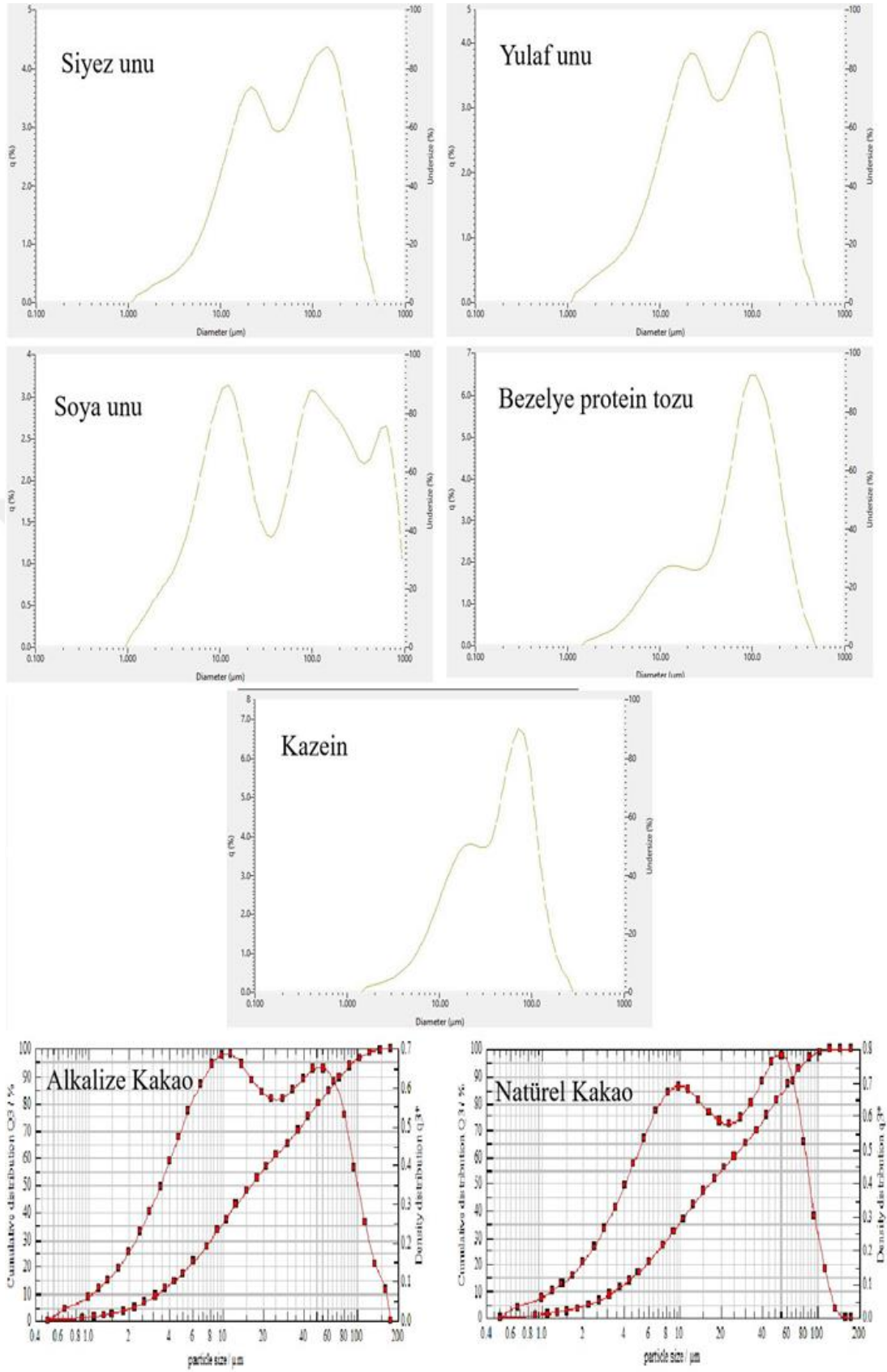
olmak üzere geniş bir aralıkta bulunmuştur. Span d(s), partikül dağılımının genişliğini gösteren bir değerdir. En büyük d(s) değeri soya ununa ait bulunmuştur. Bu da soya ununun diğer örneklerle göre daha yapışkan bir toz olduğunu destekleyen bir bulgudur. Kazeinin en düşük d(s) değeri göstermesi ancak soya unundan sonra en zor akışkanlık gösteren toz olması bu durumla ters düşmektedir. Bu durum kazeinin akışkanlığı partikül boyutunun haricinde başka faktörlere de (partikül şekli, yüzey özellikleri vb.) bağlı olduğunu ortaya koymaktadır.

Toz örneklerin partikül boyut dağılımları Şekil 4.1'de verilmiştir. Örneklerin çoğu dimodal partikül dağılımı yani iki pik göstermiştir. Proteince zengin olan bezelye protein tozu ve kazein tozu örnekleri benzer şekilde dağılım gösterip monomodal pik göstermiştir. Soya unu örneğinin ise trimodal şeklinde bir dağılım gösterdiği görülmektedir. Grafıklara bakıldığında hacim bakımından soya ununun dağılımının daha geniş olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum örneklerin span değerleriyle uyumludur.

Tablo 4.1: Toz Örneklerin Partikül Boyut Değerleri

Ürün	d ₁₀ (µm)	d ₅₀ (µm)	d ₉₀ (µm)	d(s)=d ₉₀ -d ₁₀ /d ₅₀
Siyez unu	8.88	52.20	210.00	3.85
Yulaf unu	7.94	44.91	191.35	4.08
Soya unu	5.72	67.33	528.71	7.77
Bezelye p.t.	9.88	78.94	202.27	2.44
Kazein	9.56	44.63	111.69	2.29
Natürel kakao	3.46	16.87	67.58	3.80
Alkalize kakao	3.35	16.46	74.92	4.35

Kaynak: Araştırmacı tarafından oluşturulmuştur.



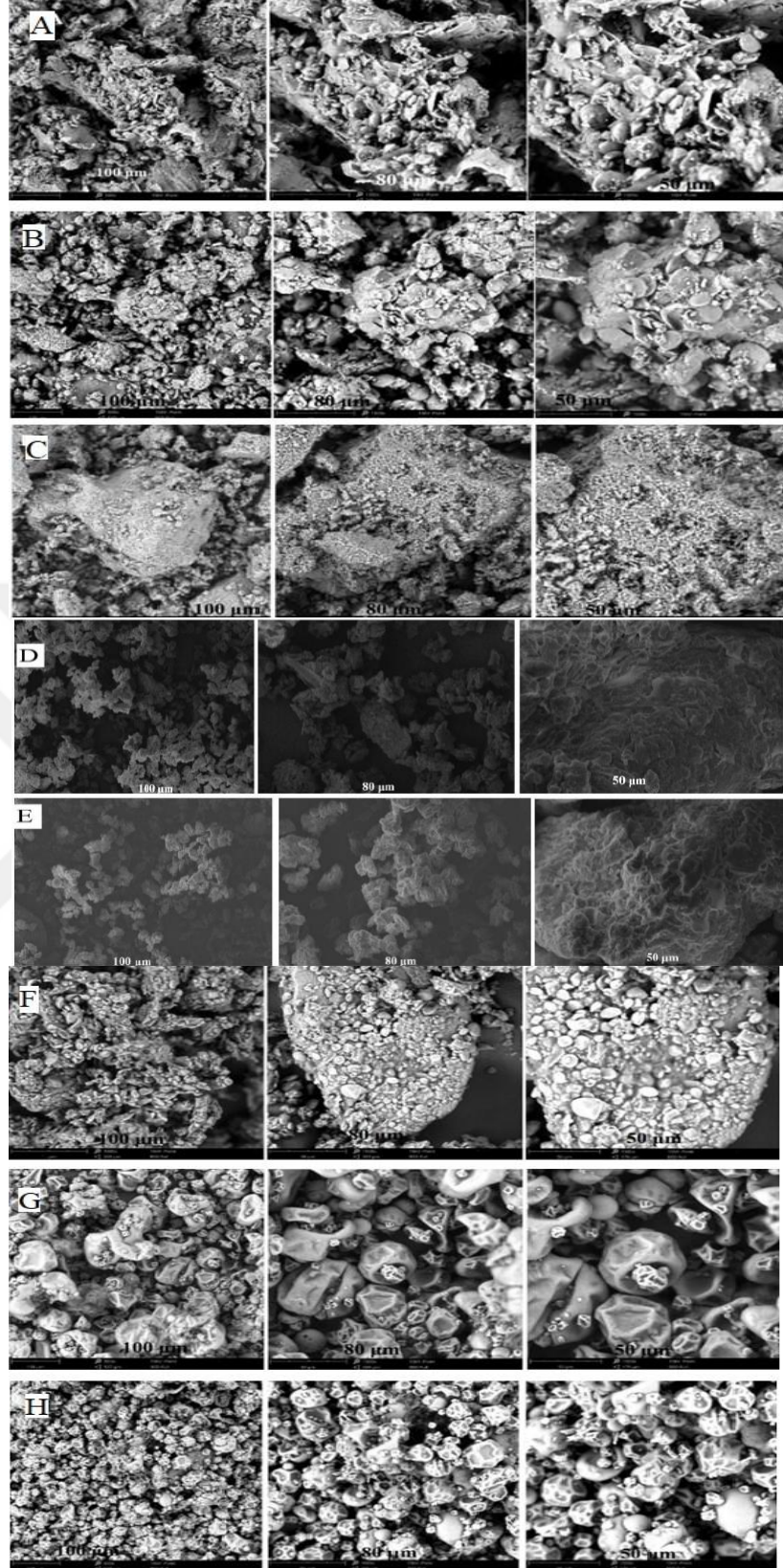
Şekil 4.1: Toz Örneklerin Partikül Boyut Dağılımları

Kaynak: Araştırmacı tarafından oluşturulmuştur.

4.3. SEM ile Partikül Yüzeyinin Görüntülenmesi

Toz örneklerle ait SEM görüntüleri Şekil 4.2’de verilmiştir. Karbonhidratça zengin siyez (Şekil 4.2A) ve yulaf ununda (Şekil 4.2B) benzer görüntüler elde edilmiştir. İkisinde de içeriğine uygun olarak yağ partikülleri ve lifler gözlemlenmektedir. Laktoz da (Şekil 4.2C) ise daha pürüzsüz yuvarlak denilebilecek bir partikül yapısı gözlemlenmiştir. Toz örneğinin yüzeyi ne kadar pürüzsüz olursa partiküller arasında moleküler temas da o kadar fazla olur ve buna bağlı olarak partiküller arası kuvvetlerde de artış beklenir (Ferrari vd., 2004). Tam tersi olarak da partikül yüzeyindeki düzensizlikler ve pürüzler partiküller arasındaki moleküler etkileşimi azaltır ancak fiziksel kenetlenmeye neden olur. Bu kenetlenmeler de akışkanlık özelliğini olumsuz etkiler. Teunou ve arkadaşları (1999) laktoz partiküllerinin çoğunlukla küresel şekilli partiküller olduğunu gözlemlemiş ve bu yüzden daha yüksek akıcılığa sahip olduğunu belirtmiştir. Natürel kakao (Şekil 4.2D) ve alkalize kakao (Şekil 4.2E) ise görünüşleri birbirine benzer düzensiz pürüzlü bir yapıda olduğu görülmüştür.

Proteince zengin olan toz örneklerin SEM görüntülerinde soya ununun (Şekil 4.2F) partikül büyüklüğü ve yüzeyindeki sıvı yapı dikkat çekmektedir. Soya ununun partiküllerinin yüzeyindeki sıvı, partiküllerin birbirine yapışmasına veya aglomere olmasına neden olabileceği belirtilmektedir (Kim vd., 2005). Bezelye protein tozu (Şekil 4.2G) ve kazein (Şekil 4.2H) partiküllerinin görünüşleri benzerlik göstermektedir. İkisinin de yüzeyi düzensiz ve girintili çıkıntılı özelliktedir. Amagliani ve arkadaşları (2016), pirinç protein konsantresi tozunun benzer partikül özelliklerini bildirmiştir. Ayrıca düzensiz, kırık, içi boş, buruşuk ve gözenekli gibi partikül özelliklerinin püskürtülerek kurutulmuş protein tozlarına özgü olduğu bildirilmektedir (Ermış ve Karasu, 2020).



Şekil 4.2: Toz Örneklerin SEM Görüntüleri: A: Siyez Unu, B: Yulaf Unu, C: Laktoz, D: Natürel Kakao, E: Alkalize Kakao, F: Soya Unu, G: Bezelye Protein Tozu, H: Kazein

Kaynak: Araştırmacı tarafından oluşturulmuştur.

4.4. Toz Örneklerin Yoğunluk Analizi

Bu çalışmada analiz edilen toz örneklerin yığın yoğunlukları 0,42 ile 0,63 g/cm³ arasında bulunmuştur. Yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk değerleri kullanılarak hesaplanan Carr İndeksi değerleri incelendiğinde örneklerin birbirinde farklı akış davranışları gösterdiği görülmektedir. Carr İndeks değeri, toz ürünlerde %15'den az ise çok iyi, %15-20 aralığında ise iyi, %20-35 orta, %35-45 kötü ve %45'den büyük değerlerde ise çok kötü akış anlamına gelmektedir (Santhalakshmy vd., 2015).

Bu aralıklar göz önüne alındığında laktoz ve bezelye protein tozu çok iyi, yulaf ve siyez unu, natürel kakao ve alkalize kakao tozu iyi, soya unu ve kazein tozu orta akış sergilemektedir (Tablo 4.2).

Tablo 4.2: Toz Örneklerin Nem, Yığın ve Sıkıştırılmış Yoğunluk Değerleri

Ürün	Nem Değeri (%)	Yığın Yoğunluk (pb) (g/cm ³)	Sıkıştırılmış Yoğunluk (pt) (g/cm ³)	Hausner Oranı (pt/pb)	Carr indeks (%)	Akışkanlık
Siyez unu	10.81±0.11 ^{ab}	0.50±0.011 ^d	0.63±0.013 ^b	1.25	19.00	İyi
Yulaf unu	10.98±0.13 ^a	0.57±0.009 ^b	0.68±0.010 ^{ab}	1.20	17.00	İyi
Soya unu	6.61±00.9 ^c	0.46±0.004 ^e	0.60±0.009 ^c	1.31	23.00	Orta
Bezelye p.t.	5.38±0.07 ^d	0.53±0.008 ^c	0.61±0.005 ^{cd}	1.15	13.3	Çok iyi
Laktoz	1.50±0.01 ^e	0.63±0.010 ^a	0.70±0.011 ^a	1.11	10.00	Çok iyi
Kazein	6.50±0.08 ^{cd}	0.42±0.006 ^{fg}	0.52±0.004 ^{ef}	1.26	21.00	Orta
Natürel kakao	8.00±0.10 ^b	0.49±0.010 ^{de}	0.60±0.009 ^c	1.22	18.30	İyi
Alkalize kakao	8.00±0.12 ^b	0.43±0.009 ^f	0.53±0.011 ^e	1.24	19.40	İyi

a,b,c,d,e,f,g; aynı sütunda farklı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki fark önemlidir (P < 0.05)

Kaynak: Araştırmacı tarafından oluşturulmuştur.

4.5. Toz Örneklerin PFT Analizleri

4.5.1. Toz Akışkanlıklarının Karşılaştırılması

4.5.1.1. Karbonhidratça Zengin Toz Örneklerin Akışkanlığının Karşılaştırılması

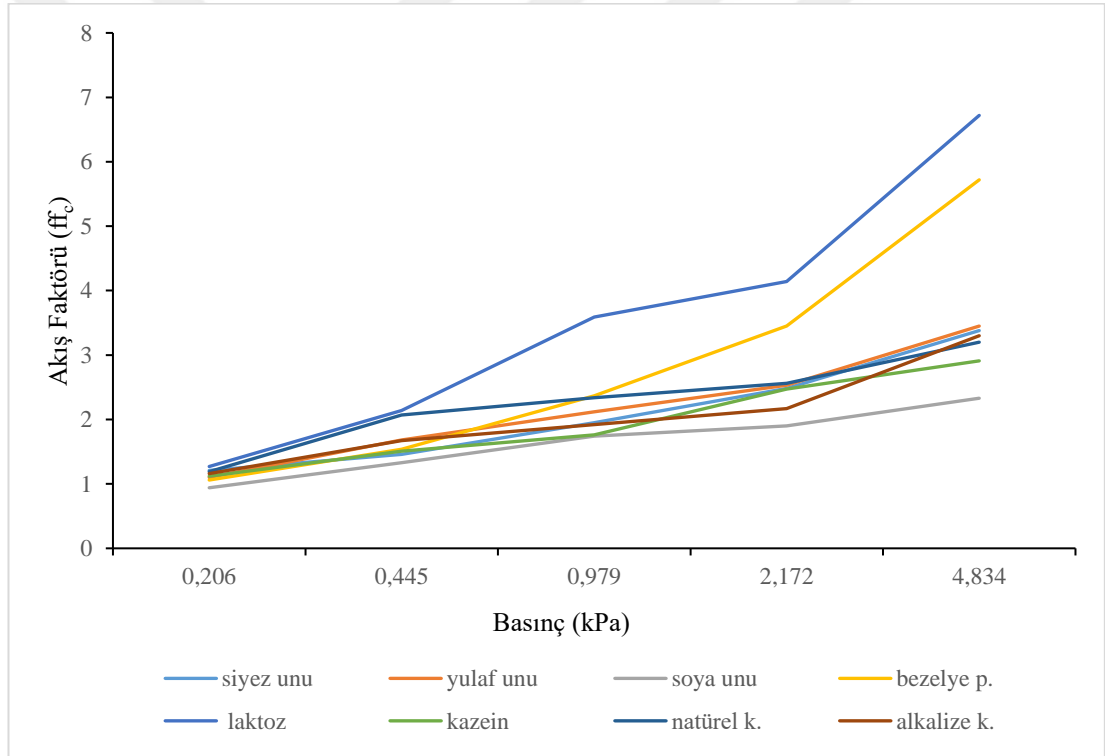
Gıdalardaki toz partiküllerinin birbirine yapışarak daha büyük partikül kümeleri oluşturma eğilimi, kohezyon olarak adlandırılır (Mercan vd., 2018). Örneklerin kohezyon indeksine dayalı olarak akış davranışları sınıflandırılmıştır (Tablo 4.3 ve Şekil 4.3). Siyez unu, yulaf unu, soya unu, laktoz, natürel kakao ve alkalize kakao olmak üzere altı farklı karbonhidratça zengin toz ürün PFT cihazı ile analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır (Şekil 4.4). Şekilde saat yönünün tersine doğru gidildikçe tozlar daha zor akış (cohesive) davranışı göstermektedir. Bu bağlamda en zor akış davranışı gösteren örneklerin soya unu ve alkalize kakao, en kolay akış davranışı gösteren örneğin ise laktoz olduğu belirlenmiştir. Natürel kakao, siyez unu, yulaf unu ise akışkanlıkta birbirine yakın değerler göstermiştir. Soya ununun en zor akış davranışı göstermesinin nedenleri diğerlerine göre ortalama partikül boyutunun büyük olması ve partikül yüzey yağ oranının fazla olmasıdır. Laktozun en kolay akış sergilemesinin nedeni ise diğerlerine göre nem oranının düşük, kütle yoğunluğunun yüksek ve partikül yüzeyinin düzgün olması olarak söylenebilir.

Fitzpatrick ve arkadaşlarının (2004) yaptıkları çalışmada soya ununun ff_c değeri 2, nem değeri 6,2, kakao tozunun ise ff_c değeri 1,5 nem değeri 4,4 olarak bulmuşlardır. Soya unundan elde ettikleri değerler bu çalışmada elde edilen değerlerle yakınlık göstermiştir. Kakao tozunun ff_c değerinin bu çalışmadan elde edilen değere göre daha düşük olmasının nedeni, kakao örneğinin nem değerinin bu çalışmada kullanılan örneklerden daha düşük olmasından kaynaklanmış olabileceği sonucuna varılmıştır.

Tablo 4.3: Karbonhidratça Zengin Ürünlerin Maksimum Basınç (4.83 kPa) Altında Akış Faktörü (ff_c) Değerleri

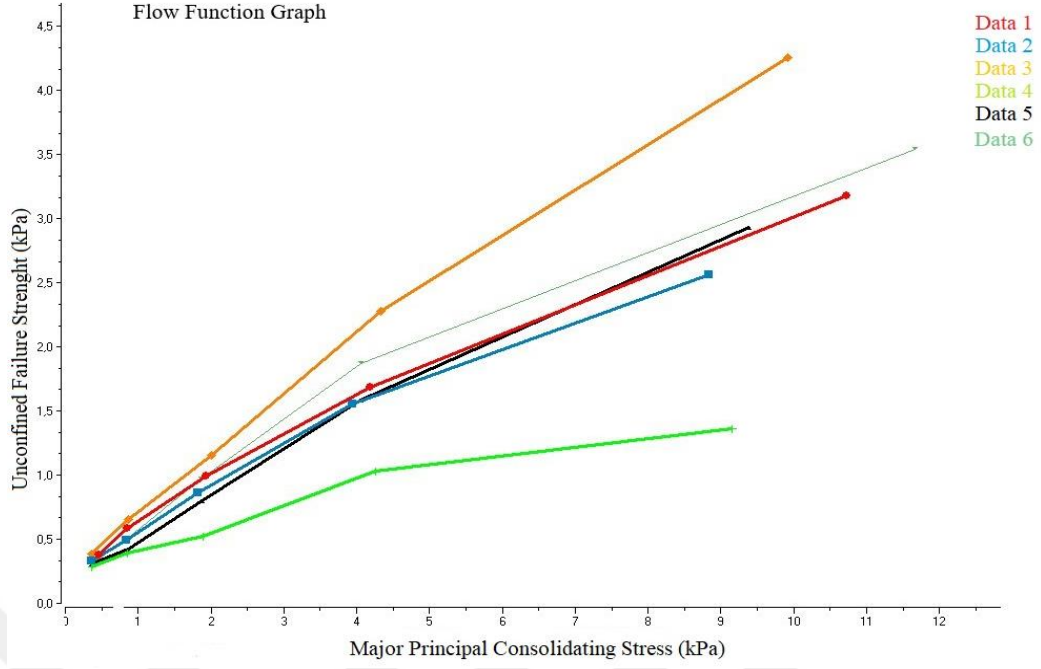
Ürün	ff_c	Akış Davranışı
Siyez unu	3.38	Yapışkan
Yulaf unu	3.45	Yapışkan
Soya unu	2.33	Yapışkan
Laktoz	6.72	Kolay akan
Natürel kakao	3.20	Yapışkan
Alkalize kakao	3.30	Yapışkan

Kaynak: Araştırmacı tarafından oluşturulmuştur



Şekil 4.3: Akış Faktörünün (ff_c) Uygulanan Basınca Göre Değişimi

Kaynak: Araştırmacı tarafından oluşturulmuştur.



Şekil 4.4: Siyez Unu (Data 1), Yulaf Unu (Data 2), Soya Unu (Data 3), Laktöz (Data 4), Natürel Kakao (Data 5), Alkalize Kakao (Data 6) Örnekleri için Akış Fonksiyonu Karşılaştırması

Kaynak: Araştırmacı tarafından oluşturulmuştur.

4.5.1.2. Proteince Zengin Toz Örneklerin Akışkanlığının Karşılaştırılması

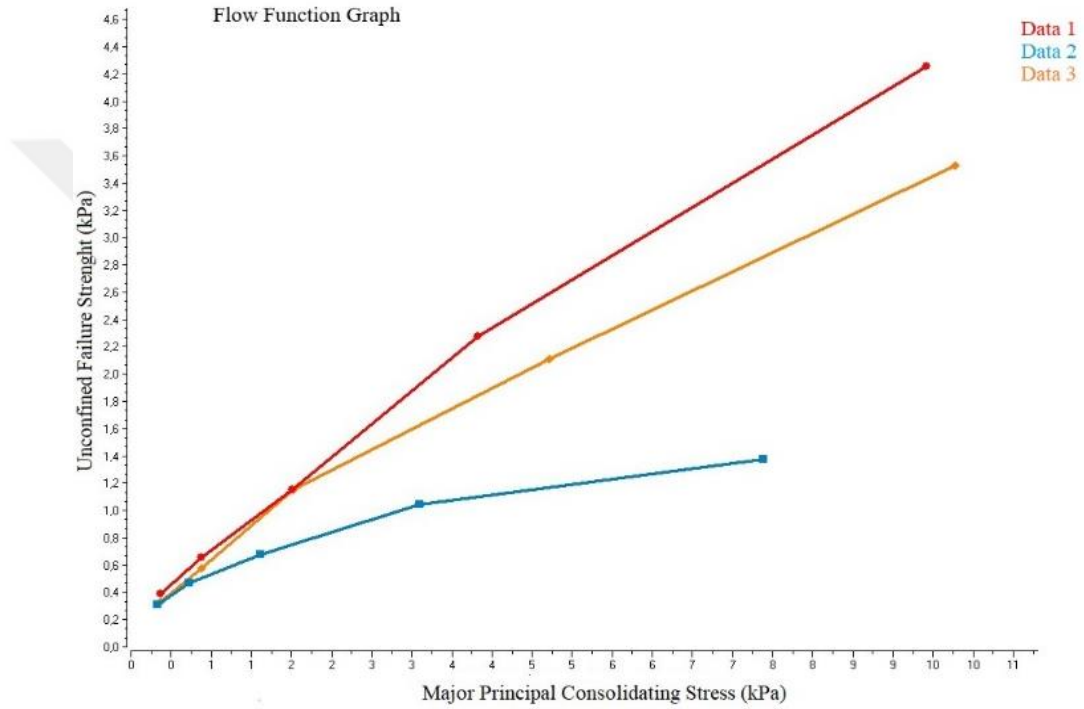
Proteince zengin toz örnekleri olarak kazein, bezelye protein tozu ve soya unu örnekleri çalışılmıştır (Şekil 4.5). Elde edilen veriler incelendiğinde en zor akış davranışı gösteren soya unu, en kolay akış davranışı gösteren ise bezelye protein tozu olarak belirlenmiştir. Kazein ise 2 kPa basınca kadar soya ununa benzer bir akış davranışı göstermiş olup sonrasında ise farklılaşarak daha kolay akış sergilediği görülmüştür.

Proteince zengin toz örneklerin uygulanan maksimum basınç altındaki akış faktörü (ff_c) değerleri Tablo 4.4'de verilmiştir. Fitzpatrick ve arkadaşlarının (2007) yaptığı çalışmada peynir mayası kazein tozu ve sodyum kazeinat tozunun ff_c değeri sırasıyla 2, 1 ve 2 bulunmuş olup yapışkan özellikte olduğu rapor edilmiştir.

Tablo 4.4: Proteince Zengin Toz Örneklerin Maksimum Basınç (4,83 kPa) Altında Akış Faktörü (ff_c) Değerleri

Ürün	ff_c	Akış Davranışı
Soya unu	2.33	Yapışkan
Bezelye protein tozu	5.72	Kolay Akan
Kazein	2.91	Yapışkan

Kaynak: Araştırmacı tarafından oluşturulmuştur.



Şekil 4.5: Soya Unu (Data 1), Bezelye Protein Tozu (Data 2), Kazein (Data 3) Örnekleri için Akış Fonksiyonu Karşılaştırması

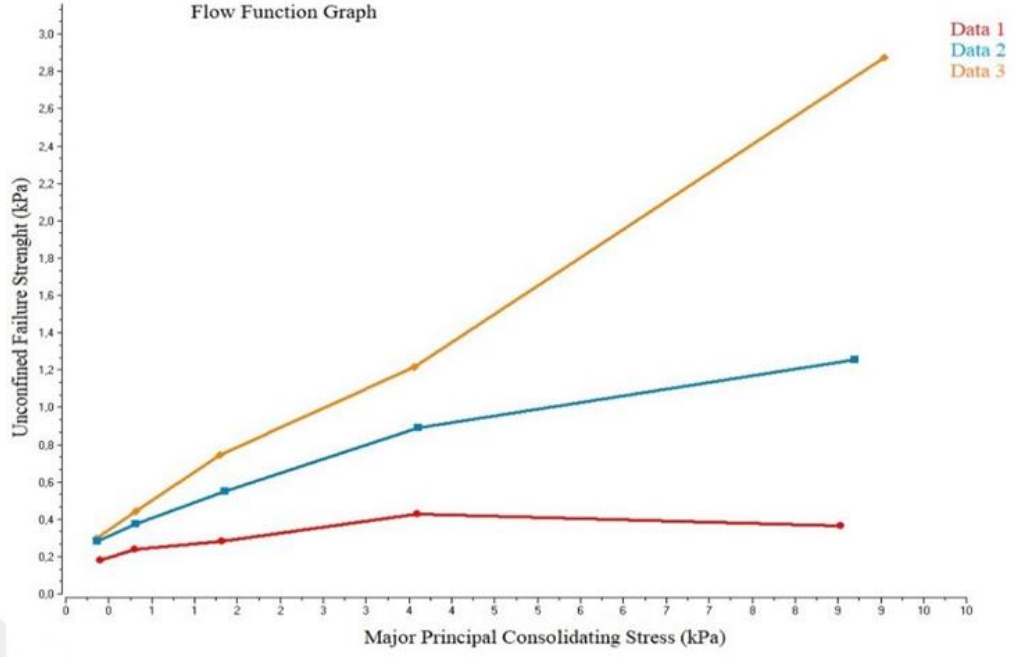
Kaynak: Araştırmacı tarafından oluşturulmuştur.

4.5.1.3. Farklı Partikül Boyutlarında Toz Akış Özelliklerinin Karşılaştırılması

Tozların akışkanlığını etkileyen özellikler arasında partikül büyüklüğü en önemli fiziksel parametrelerden biridir. Model toz örnekler olarak seçilen karbonhidrat yapıda laktoz ve protein yapıda kazein farklı partikül boyut fraksiyonlarına ayrılarak toz akış davranışları karşılaştırılmıştır.

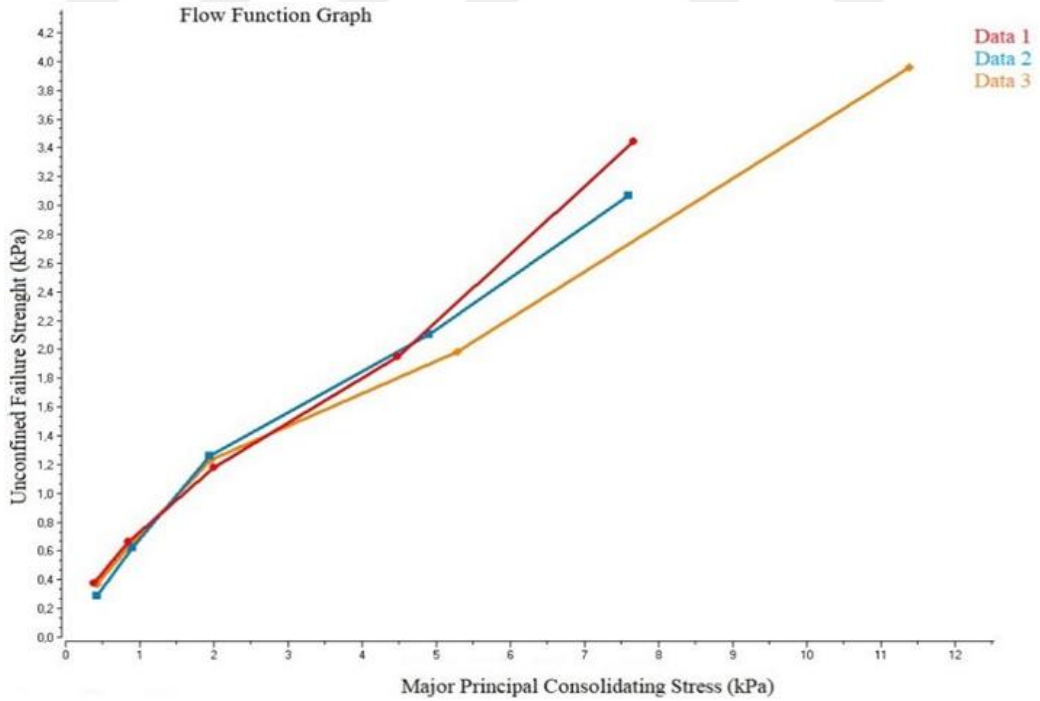
Toz formundaki laktozun titreşimli elek cihazı (Retsch, AS200) yardımıyla üç farklı fraksiyona (200 µm üstü, 100-200 µm arası, 100 µm altı) ayırıp bu fraksiyonlardaki akış davranışı incelendi. Elde edilen sonuçlara incelendiğinde en kolay akış sergileyen 200 µm üstü laktoz olurken daha zor akış sergileyen 100 µm altı olduğu görülmektedir (Şekil 4.6). Benzer şekilde kazein tozu için 700 µm üstü, 200-700 µm arası ve 100-200 µm arası olmak üzere üç farklı fraksiyona ayrılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır (Şekil 4.7). Kazein 700 µm üstü toz örneğinin 200-700 µm arası toz örneğe göre daha kolay akış davranışı gösterdiği 100-200 µm arası kazein tozunun ise daha zor akış davranışı gösterdiği bulunmuştur. Elde edilen bu sonuçlara göre partikül boyutundaki küçülmenin, toz akış davranışı üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Nedenlerden biri olarak, partikül boyutunun küçülmesiyle temas yüzey alanının artması ve bunun sonucunda yüzeyler arası çekme ve sürtünme kuvvetlerinin artması gösterilmektedir (Fitzpatrick vd., 2004). Genellikle partikül boyutu 200 µm'den büyük olan tozların serbest akışlı olduğu, daha küçük partiküllere sahip toz kütlelerinin ise kohezyona maruz kaldığı ve toz akış davranışının olumsuz etkilendiği düşünülmektedir. Bunun nedeni ise küçük partiküllere sahip tozların partikül yüzey alanının daha fazla olmasıdır (Teunou vd., 1999).

Teunou ve arkadaşları (1999) yaptıkları çalışmada, dairesel kesme hücresi (annular shear cell) kullanarak çeşitli toz gıdaların akış özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada, 200 µm ve üzeri partikül boyutuna sahip yağsız süt tozunun kolay akan olduğu, ancak daha küçük partikül boyutlarına sahip peynir altı suyu tozu ve çay tozunun, partiküller arası etkileşim nedeniyle akışkanlıklarının zorlaştığı rapor edilmiştir. Fitzpatrick ve arkadaşları (2004), aynı nem oranına sahip iki tip tuzun farklı partikül boyutlarında akış indeksini incelemiş ve daha küçük partikül boyutlarına sahip tuzun daha zor akış davranışı gösterdiğini elde etmiştir. Böylece, literatürde rapor edilen veriler ile bu çalışmadan elde edilen verilerin uyumlu olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.6: Laktoz 200 µm Üstü (Data 1), Laktoz 100-200 µm Arası (Data 2), Laktoz 100 µm Altı (Data 3) Örnekleri için Akış Fonksiyonu Karşılaştırması

Kaynak: Araştırmacı tarafından oluşturulmuştur.



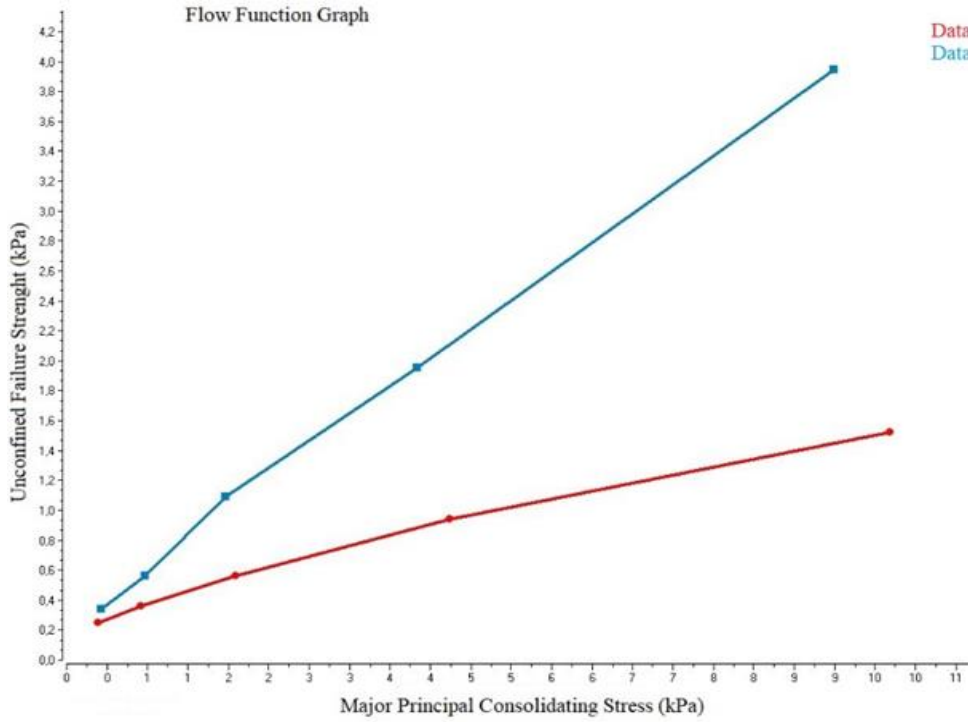
Şekil 4.7: Kazein 100-200 µm Arası (Data 1), Kazein 200-700 µm Arası (Data 2), Kazein 700 µm Üstü (Data 3) Örnekleri için Akış Fonksiyonu Karşılaştırması

Kaynak: Araştırmacı tarafından oluşturulmuştur.

4.5.1.4. Farklı Nem Değerlerinde Akışkanlığın Karşılaştırılması

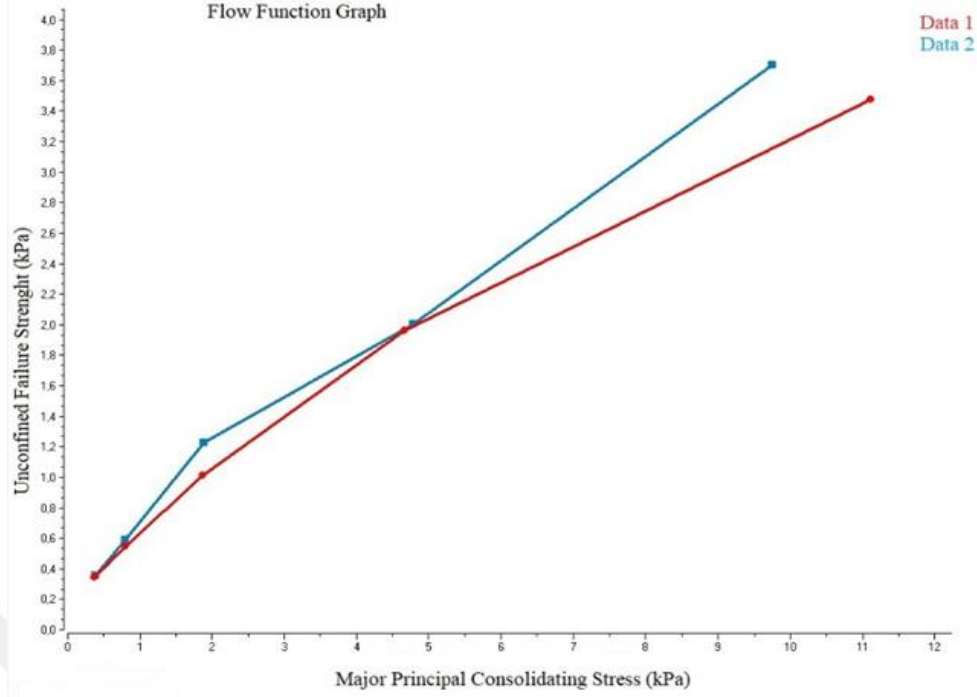
Toz formundaki laktozun iki farklı nem değerinde (%3,5 ve %5) akışkanlıklarının karşılaştırması yapılmıştır (Şekil 4.8). Nem değeri daha yüksek olan laktozun daha yapışkan davranış gösterdiği tespit edilmiştir. Laktoz higroskopik (nem çekme özelliğinde) olduğundan, birbirine komşu partiküller arasında sıvı köprülerin oluşması nedeniyle toz akışının zorlaştığı söylenebilir. Benzer şekilde kazein örneğinde de nem değeri fazla olan toz örnek nem değeri az olan örneğe göre daha zor akış davranışı göstermiştir (Şekil 4.9) fakat laktozdaki kadar aradaki fark açılmamıştır.

Fitzpatrick ve arkadaşları (2007) peynir altı suyu protein konsantresi tozu, peynir mayası kazein tozu ve sodyum kazeinat tozunun farklı nem değerlerinde akışkanlıklarını karşılaştırmıştır. Test edilen tozların hepsinde nem içeriğinin artırılması akışkanlığın azalmasına neden olmuştur.



Şekil 4.8: Laktoz %3,5 Nem (Data 1), Laktoz %5 Nem (Data 2) için Akış Fonksiyonu Karşılaştırması

Kaynak: Araştırmacı tarafından oluşturulmuştur.



Şekil 4.9: Kazein %6,5 Nem (Data 1), Kazein %8,5 Nem (Data 2) için Akış Fonksiyonu Karşılaştırması

Kaynak: Araştırmacı tarafından oluşturulmuştur.

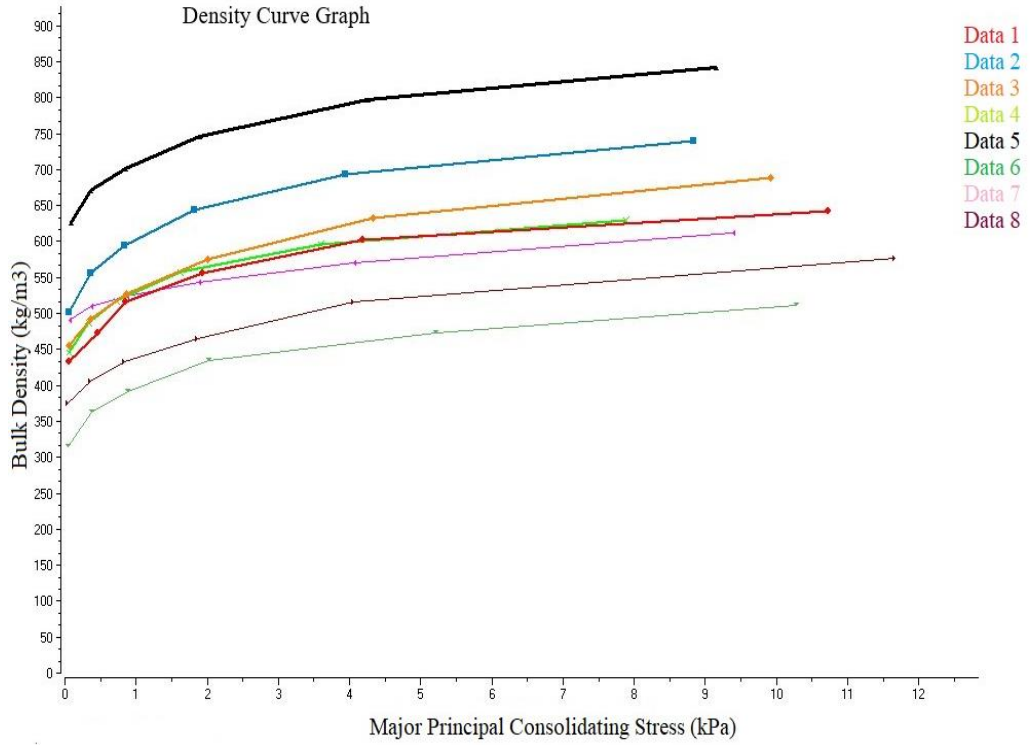
4.5.2. Toz Örneklerin Kütle Yoğunluğu

Toz örneklerin PFT cihazında ölçülen kütle yoğunlukları karşılaştırıldığında en düşük kütle yoğunluğunu sahip toz kazein, en yüksek kütle yoğunluğuna sahip tozun laktoz olduğu görülmüştür (Tablo 4.5 ve Şekil 4.10). Kolay akış davranışına sahip tozların yığın yoğunluğu değerlerinin yüksek olduğu bildirilmektedir (Abdullah ve Geldart, 1999). Laktozun daha yüksek kütle yoğunluğuna sahip olması, onu diğer tozlardan daha yoğun olduğunu gösterir. Yüksek kütle yoğunluğuna sahip tozların avantajı, dağıtım aşamasında daha az yer kaplaması ve paketleme giderlerini düşürmesidir (Ratnawati vd., 2019). Laktoz diğer tozlarla karşılaştırıldığında, birim ağırlık başına daha az alan ihtiyacı ve daha düşük paketleme maliyetleri gerektirdiği söylenebilir. Kazeinin nispeten kütle yoğunluğunun daha düşük olması, onun diğer tozlara göre daha hafif olduğunun bir göstergesidir. Kazeinin yapısının gözenekli olması da buna sebep gösterilebilir (Appiah vd., 2011).

Tablo 4.5: Toz Örneklerin Maksimum Basınç (4.83 kPa) Altındaki Kütle Yoğunlukları

Ürün	Yoğunluk (kg/m ³)
Siyez unu	643
Yulaf unu	739
Soya unu	689
Bezelye protein tozu	630
Laktoz	842
Kazein	511
Natürel kakao	612
Alkalize kakao	576

Kaynak: Araştırmacı tarafından oluşturulmuştur.



Şekil 4.10: Siyez Unu (Data 1), Yulaf Unu (Data 2), Soya Unu (Data 3), Bezelye Protein Tozu (Data 4), Laktoz (Data 5), Kazein (Data 6), Natürel Kakao (Data 7), Alkalize Kakao (Data 8) Örnekleri için Kütle Yoğunluğu Değişim Grafiği

Kaynak: Araştırmacı tarafından oluşturulmuştur.

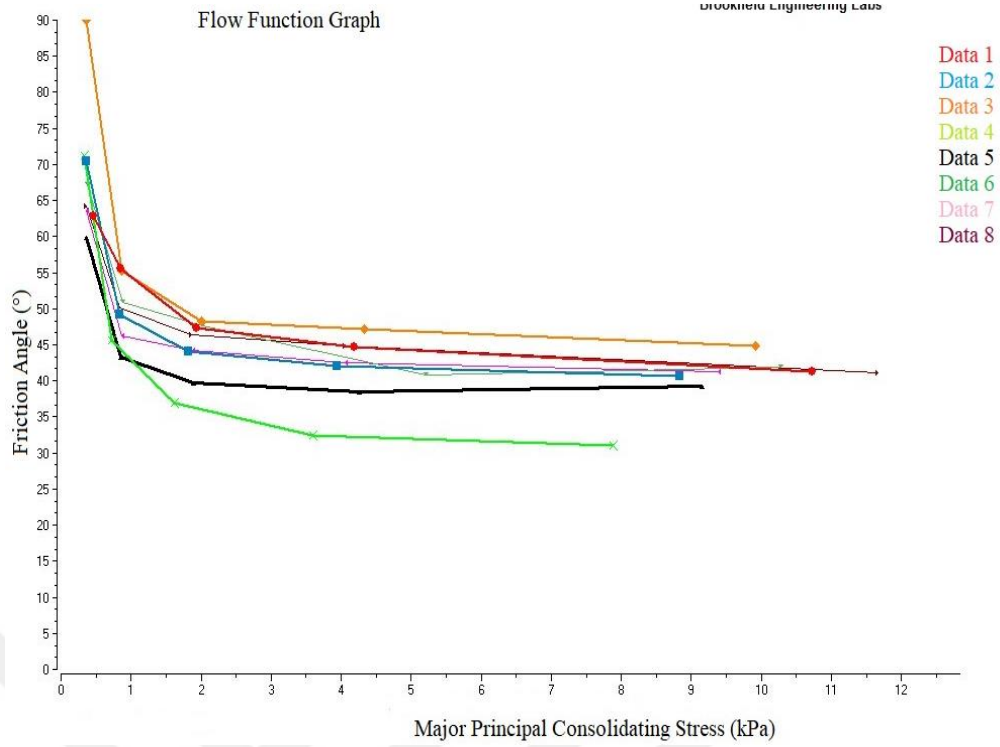
4.5.3. Toz Örneklerin İç Sürtünme Açısı

Şekil 4.11 incelendiğinde en yüksek sürtünme açısı değerini 90°'den başlayıp basınç arttıkça 45°'ye düşen soya unu, en düşük değeri ise 31°'ye kadar düşen bezelye protein tozu göstermiştir. Diğer toz örnekler birbirlerine yakın değerlerde bulunmuştur (Tablo 4.6).

Tablo 4.6: Toz Örneklerin Maksimum Basınç (4.83 kPa) Altındaki Sürtünme Açıları

Ürün	Sürtünme Açısı (°)
Siyez unu	41.2
Yulaf unu	40.7
Soya unu	45
Bezelye protein tozu	31
Laktoz	39.3
Kazein	41.9
Natürel kakao	41.3
Alkalize kakao	41.1

Kaynak: Araştırmacı tarafından oluşturulmuştur.



Şekil 4.11: Siyez Unu (Data 1), Yulaf Unu (Data 2), Soya Unu (Data 3), Bezelye Protein Tozu (Data 4), Laktoz (Data 5), Kazein (Data 6), Natürel Kakao (Data 7), Alkalize Kakao (Data 8) Örnekleri için Sürtünme Açısı Değişim Grafiği

Kaynak: Araştırmacı tarafından oluşturulmuştur.

4.5.4. Toz Örneklerin Kritik Silo Çıkış Açısı Değerleri

Analiz edilen toz örneklerin kritik geometrik parametreleri 2 m çap ve 8 m yüksekliğe sahip olan konik şeklinde bir depo baz alınarak PFT cihazının paket programı yardımı ile analiz edilmiştir. Ölçüm yapılan toz örneklerde kemer ve fare deliği oluşturan en küçük kritik silo çıkış çapı en az olan laktoz, en fazla olan örnek soya unu şeklinde bulunmuştur (Tablo 4.7). Bunun nedeni soya ununun diğer örneklerle göre akışının zor ve ortalama partikül boyutunun daha fazla olması olabilir. Genellikle akışkanlığı zayıf olan tozlar kemer problemi nedeniyle daha büyük bir silo çıkış haznesi açısı ve çıkış çapı gerektirir (Lee ve Yoon, 2015).

Tablo 4.7: Toz Örneklerin Depolamada Kemerleşme ve Fare Deliği Oluşmaması için Gerekli Olan Minimum Kritik Silo Çıkış Çapı Değerleri

Ürün	Kemer Oluşum Çapı D(arching) (m)	Fare Deliği Oluşum Çapı D(rh) (m)
Siyez unu	0.21	1.28
Yulaf unu	0.14	0.93
Soya unu	0.27	1.68
Bezelye protein tozu	0.16	0.47
Laktoz	0.09	0.49
Kazein	0.26	1.48
Natürel kakao	0.13	1.30
Alkalize kakao	0.18	1.38

Kaynak: Araştırmacı tarafından oluşturulmuştur.

BEŞİNCİ BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

Toz gıdalar, sağladığı birçok avantajdan dolayı gıda endüstrisinde önemli bir yere sahiptirler. Günümüzde çoğu gıda maddeleri hammadde, ara ürün ya da son ürün olarak toz haline getirilmektedir. Toz akış davranışının, depolama, taşıma ve paketlenme aşamalarında oluşabilecek sorunların önüne geçilebilmesi ve kullanılacak ekipman tasarımının doğru yapılabilmesi için önceden analiz edilerek belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada seçilen 8 ayrı model gıda tozu örneğinin toz akış ve diğer bazı fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Toz akış özelliklerinin belirlenmesinde PFT cihazından elde edilen veriler ile Hausner Oranı ve Carr İndeksi değerleri arasındaki korelasyonun belirlenmesi de amaçlanmıştır. Akış faktörü (ff_c) değerinin yanında, iç sürtünme açısı, kütle yoğunluğu, kritik silo çıkış çapı gibi parametreler her bir gıda tozu için ayrı ayrı belirlenmiştir. Akış faktörü hesaplandığında bezelye protein tozu ve laktoz kolay akan tozlar, soya unu, siyez unu yulaf unu, kakao tozları ve kazein yapışkan tozlar sınıfına ait bulunmuştur. İç sürtünme açıları (4,834 kPa basınçta) 31° ile 45° arasında değişmiştir. Kütle yoğunluğu değerlerinin uygulanan maksimum basınç altında 511 kg/m^3 ile 842 kg/m^3 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Depolama sürecinde kemerleşme ve fare deliği gibi problemler oluşmaması için kritik silo çıkış çapları hesaplanmıştır. Genellikle akışı zor olan tozların daha büyük silo çıkış çapı gerektirdiği gözlemlenmiştir.

Laktoz (%3,5 ve %5 nem) (200 μm üstü, 100-200 μm arası, 100 μm altı) ve kazein tozu (%6,5 ve %8,5 nem) (700 μm üstü, 200-700 μm arası ve 100-200 μm arası) için farklı partikül boyutlarında ve farklı nem değerlerinde akışkanlıkları karşılaştırılmış ve akış davranışlarının nem ve partikül boyutuna bağlı olarak değiştiği gözlemlenmiştir. Partikül boyutundaki küçülmenin akış davranışını olumsuz etkilediği belirlenmiştir. Diğer taraftan toz örneklerin nem değeri arttıkça akışkanlığın zorlaştığı tespit edilmiştir.

Analiz edilen toz örnekler arasında akış davranışı en zordan en kolaya doğru sıralandığında; soya unu, kazein, alkalize kakao, natürel kakao, siyez unu, yulaf unu, bezelye protein tozu ve laktoz şeklindedir. Elde edilen verilerin literatürde yer alan bazı çalışmalar ile uyum gösterdiği anlaşılmaktadır. PFT cihazı kullanılarak, çeşitli

faktörlerin toz gıdaların akış davranışları üzerindeki etkileri belirlenebilir ve elde edilen verilerin özellikle depolama ve ambalajlamada önemli sorunlara neden olan akmama, ayrışma ve düzensiz akış, kekleşme gibi davranışların daha iyi anlaşılmasında kullanılabilir olduğu ve bundan sonra yapılacak çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir. Toz gıdaların kalite karakteristiklerinin belirlenmesi ve üretim aşamalarındaki değişen şartlara bağlı olarak davranışlarının tahminlenmesi ve daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla daha fazla çalışma yapılmasına ihtiyaç vardır.



KAYNAKÇA

- ASTM D7481-09. (2009). Standard test methods for determining loose and tapped bulk densities of powders using a graduated cylinder. Annu. B. ASTM Stand. 1–4. <https://doi.org/10.1520/D7481-09.1>
- Abdullah, E. C. & Geldart, D. (1999). The use of bulk density measurements as flowability indicators. *Powder technology*, 102(2), 151-165.
- Amagliani, L., Regan, J.O., Kelly, A.L. & Mahony, J.A.O. (2016). Physical and flow properties of rice protein powders. *Journal of Food Engineering*. 190, 1–9.
- Anonim (2005). Türk Gıda Kodeksi Koyulaştırılmış Süt ve Süt Tozu Tebliği. (Tebliğ No: 2005/18) [Online]. <https://www.mevzuat.gov.tr/> Mevzuat/Türk-Gıda-Kodeksi/ [Ziyaret Tarihi: 12.07.2024].
- Anonim (2017). Kakao ve Çikolata Ürünleri Tebliği Ürünleri Tebliği. (Tebliğ No: 2017/29) [Online]. <https://www.mevzuat.gov.tr/> Mevzuat/Türk-Gıda-Kodeksi/ [Ziyaret Tarihi: 15.07.2024].
- Anonim (2013). Türk Gıda Kodeksi Buğday Unu Tebliği (Tebliğ No: 2013/9) [Online]. <https://www.mevzuat.gov.tr/> Mevzuat/Türk-Gıda-Kodeksi/ [Ziyaret Tarihi: 18.07.2024].
- Anonim (2022). Türk Gıda Kodeksi Yenilebilir Kazein ve Kazeinat Tebliği (Tebliğ No: 2022/21) [Online]. <https://www.mevzuat.gov.tr/> Mevzuat/Türk-Gıda-Kodeksi/ [Ziyaret Tarihi: 19.07.2024].
- Alonso-Miravalles, L., Zannini, E., Bez, J., Arendt, E. K., & O'Mahony, J. A. (2020) Physical and flow properties of pseudocereal-based protein-rich ingredient powders. *Journal of Food Engineering*, 281, 109973.
- Appiah, F., Asibuo, J., & Kumah, P. (2011). Physicochemical and functional properties of bean flours of three cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) varieties in Ghana. *African Journal of Food Science*, 5(2), 100-104.
- Atalar, İ. (2018). *Instant Yoğurt Tozu Üretim Koşullarının Optimizasyonu* (Yayımlanmış Doktora Tezi). Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun.

- Ayhan, K. (2000). Gıdalarda mikroorganizma gelişmesini etkileyen faktörler. Gıda Mikrobiyolojisi ve Uygulamaları. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü Yayını*.
- Barbosa-Cánovas, G. V. (2005). Physical and chemical properties of food powders. *Encaps. and Powder Foods*, 39-71.
- Barbosa-Cánovas, G. V., Malave-Lopez, J. & Peleg, M. (1987). Density and Compressibility of Selected Food Powders Mixtures 1. *Journal of Food Process Engineering*, 10(1), 1-19.
- Barbosa-Cánovas, G. V. & Juliano, P. (2005). Compression and compaction characteristics of selected food powders. *Advances in Food and Nutrition Research*, 49(1), 233-300.
- Barbosa-Cánovas, G. V., Ortega-Rivas, E., Juliano, P. & Yan, H. (2005). Food powders: physical properties, processing, and functionality. *Kluwer Academic/Plenum Publishers*. 86, 71-75.
- Barac, M. B., Pešić, M. B., Stanojević, S. P., Kostić, A. Ž. & Čabrilo, S. B. (2015). Techno-functional properties of pea (*Pisum sativum*) protein isolates: A review. *Acta Periodica Technologica*, 46, 1-18.
- Baykal, H., Karais, K., Koç, G. Ç. ve Dirim, S. N. (2018). Tarçın, Keçiyoynuzu ve Zencefil ile Zenginleştirilerek Üretilmiş Keçi Sütü Tozlarının Özellikleri. *Gıda*, 43(4), 716-732.
- 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, 2525-2537.
- Bilici, S. A. (2019). *Zein-kazein ile kapsüllenmiş nane uçucu yağının antioksidan ve antimikrobiyal özelliklerinin belirlenmesi* (Yayımlanmış Doktora Tezi). İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.

- Cansu, Ü., Okutan, G. ve Boran, G. (2023). Kazein ve Glüten İzolatlarının Bazı Fonksiyonel Özelliklerinin Karşılaştırılması. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 13(3), 1055-1069.
- Carr, R. L. (1965). Evaluating flow properties of solids. *Chemical Engineering*, 18, 163-168.
- Carić, M. (1994). *Concentrated and dried dairy products*.
- Chávez-Montes, B. C., Martínez-Alejo, J. M., Lozano-Perez, H., Gumy, J. C., Zemlyanov, D. & Carvajal, M. T. (2019). A surface characterization platform approach to study Flowability of food powders. *Powder Technology*, 357, 269-280.
- Couto, R., Araújo, R., Tacon, L., Conceição, E., Bara, M., Paula, J. & Freitas, L. (2011). Development of a phytopharmaceutical intermediate product via spray drying. *Drying Technology*, 29(6), 709-718.
- Cox, G. M., Hill, J. M. & Thamwattana, N. (2004). A formal exact mathematical solution for a sloping rat-hole in a highly frictional granular solid. *Acta Mechanica*, 170(3), 127-147.
- Çağlı, S. (2005). *Katı yığınların akış özelliklerinin belirlenmesi ve silo tasarımı* (Yayımlanmamış Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çakır, E. ve Arıcı, M. (2023). The Effect of Ancient Wheat Einkorn (*Triticum monococcum*) on the Quality and Nutritional Properties of Bread. *International Journal of Food, Agriculture and Animal Sciences*, 3(2), 51-57.
- Çetiner, M. ve Ersus Bilek, S. (2018). Plant protein sources. *Çukurova Journal of Agricultural and Food Sciences*, 33(2), 111-126.
- Çırak, H. N. (2018). *Protein tozu kullanan aktif spor yapan bireylerin beslenme durumlarının saptanması* (Yayımlanmış Doktora Tezi). Haliç Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Demirbaş, Ö., Karadağ, A., Dalkıran, V. ve Yıldız, C. (2012). Kazein Yüzeyine Metil Violetin Biyosorpsiyonu. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14(1), 93-102.

- Demirkol, O., Yiğit, G. G. ve Cerit, İ. (2018). Fonksiyonel kakao ve kakao ürünleri. *Gıda*, 43(4), 702-715.
- Dhanalakshmi, K., Ghosal, S. & Bhattacharya, S. (2011). Agglomeration of food powder and applications. *Critical reviews in food science and nutrition*, 51(5), 432-441.
- Doğan, M., Aslan, D., Gürmeriç, V., Özgür, A. ve Saraç, M. G. (2019). Powder caking and cohesion behaviours of coffee powders as affected by roasting and particle sizes: principal component analyses (PCA) for flow and bioactive properties. *Powder Technology*, 344, 222-232.
- Düsenberg, B., Schmidt, J., Şensoy, I. & Bück, A. (2023). Flowability of plant based food powders: Almond, chestnut, chickpea, coconut, hazelnut and rice. *Journal of Food Engineering*, 357, 111606.
- Erdem, Y. K. (1992). Kazein: Kolloidal Yapıya Giriş. *Gıda*, 17, 3.
- Ermiş, E. (2015). Gıda Tozları: Özellikleri ve Karakterizasyonu. *Gıda*, 40(5), 287-294.
- Ermiş, E., Güneş, R. ve Zent, İ. (2018a). Bazı Model Toz Gıdaların Akışkanlığına ve Sıkıştırılabilirliğine Partikül Boyutunun Etkisinin PFT Toz Akışı Test Cihazı Kullanılarak Belirlenmesi. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 6(1), 55-60.
- Ermiş, E. ve Karasu, E. N. (2019). Spray drying of de-oiled sunflower protein extracts: functional properties and characterization of the powder. *Gıda*, 45(1), 39-49.
- Ermiş, E., Yaşasın, M., Bozkurt, F. & Yılmaz, M. T. (2018b). Powder Flow Tester (PFT): a new tool to evaluate wheat flour dough behavior by measuring unconfined failure strength under variable consolidation stresses. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12, 1678-1685.
- Etiosa, O. R., Chika, N. B. & Benedicta, A. (2017). Mineral and proximate composition of soya bean. *Asian Journal of Physical and Chemical Sciences*, 4(3), 1-6.
- Evranuz, Ö. ve Kılıç, M. (2006). Su Aktivitesi ve Camsılığa Geçiş Sıcaklığının Şeker İçeriği Yüksek Gıdaların Dayanma Süresi ve Fizikokimyasal Kalite Özelliklerine Etkisi. *Gıda Kongresi*, 24-26.

- Ferrari, F., Cocconi, D., Bettini, R., Giordano, F., Santi, P., Toby, M., ... & Colombo, P. (2004). The surface roughness of lactose particles can be modulated by wet-smoothing using a high-shear mixer. *Aaps Pharmscitech*, 5, 69-74.
- Fitzpatrick, J. (2013). Powder properties in food production systems. *Handbook of Food Powders*, 289-293.
- Fitzpatrick, J. J., Barringer, S. A. & Iqbal, T. (2004). Flow property measurement of food powders and sensitivity of Jenike's hopper design methodology to the measured values. *Journal of Food Engineering*, 61(3), 399-405.
- 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.
- Fitzpatrick, J. J., Descamps, N., O'Meara, K., Jones, C., Walsh, D. & Spitere, M. (2010). Comparing the caking behaviours of skim milk powder, amorphous maltodextrin and crystalline common salt. *Powder Technology*, 204(1), 131-137.
- Fitzpatrick, J. J., O'Connor, J., Cudmore, M. & Dos Santos, D. (2017). Caking behaviour of food powder binary mixes containing sticky and non-sticky powders. *Journal of Food Engineering*, 204, 73-79.
- Fox, P. F. & Mulvihill, D. M. (1990). Casein. In *Food gels*, 121-173.
- Ganesana, V., Rosentrater, K. A. & Muthukumarappan, K. (2008). Flowability and handling characteristics of bulk solids and powders—a review with implications for DDGS. *Biosystems Engineering*, 101(4), 425-435.
- Goh, H. P., Heng, P. W. S. & Liew, C. V. (2018). Investigation on the impact of powder arching in small die filling. *International Journal of Pharmaceutics*, 551(1-2), 42-51.
- Gutierrez, L. F., Hamoudi, S. & Belkacemi, K. (2011). Selective production of lactobionic acid by aerobic oxidation of lactose over gold crystallites supported on mesoporous silica. *Applied Catalysis A: General*, 402(1-2), 94-103.

- Güner, K. Ö. (2017). *Fındık hammaddesinden püskürtmeli kurutma ve dondurarak kurutma yöntemleri ile fındık sütü tozu eldesi ve karakterizasyonu* (Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hallaç, Ş. (2016). *Keçiboynuzu Unu ve Soya Unu Katkılarının Makarnanın Kalite Kriterlerine Etkisi* (Yayımlanmış Doktora Tezi). İstanbul Aydın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hausner, H. H. (1967). *Friction Conditions In A Mass Of Metal Powder*. Brooklyn University, Polytechnic Institute, Los Angeles.
- Hüttner, E. K., Dal Bello, F. & Arendt, E. K. (2010). Fundamental study on the effect of hydrostatic pressure treatment on the bread-making performance of oat flour. *European Food Research and Technology*, 230, 827-835.
- Işık, F. ve Keser, A. (2020). Siyez Buğdayının Sağlık Üzerine Etkileri. *Sürekli Tıp Eğitimi Dergisi*, 29(4), 299-304.
- Ilari, J. L. & Loisel, C., (1991). La maîtrise de la fonctionnalit'e des poudres. *Process (Cesson-Sévigné)*, 1063, 39-43.
- İlter, Ş. O. ve Yılmaz, O. (2023). Toz Kakaolu İçeceklerin Prebiyotik Kombinasyonun Fiziksel Özellikleri Yönünden Optimizasyonu. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 11(3), 1054-1065.
- Jan, S., Rafiq S.I. & Saxena D.C. (2015). Effect of physical properties on flow ability of commercial rice flour/powder for effective bulk handling. *International Journal of Computer Applications*, 975, 8887.
- Jenike, A.W. (1964). Storage and flow of solids. *Bulletin*, 123.
- Jenike, A.W. (1967). Quantitative design of mass-flow bins. *Powder technology*, 1(4), 237-244.
- Ji, J., Fitzpatrick, J., Cronin, K., Fenelon, M. A. & Miao, S. (2017). The effects of fluidised bed and high shear mixer granulation processes on water adsorption and flow properties of milk protein isolate powder. *Journal of Food Engineering*, 192, 19-27.

- Kahraman, T., Avcı, R., Öztürk, İ. ve Tülek, A. (2012). Trakya-Marmara Bölgesine uygun yulaf genotiplerinin belirlenmesi. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 2, 24-28.
- Kaplan, B. (2020). *Bazı fırıncılık ürünlerinde siyez buğday unu kullanımının optimizasyonu, ürün kalitesi ve raf ömrü nitelikleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi* (Yayımlanmış Doktora Tezi). Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu.
- Karasu, E.N. (2019). *Lactobacillus brevis e25 suşlarından elde edilen ekzopolisakkaritlerin bazı gıda tozlarının yapışma özellikleri üzerine etkisi* (Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Kelly, J., Kelly, P. M. & Harrington, D. (2002). Influence of processing variables on the physicochemical properties of spray dried fat-based milk powders. *Le Lait*, 82(4), 401-412.
- 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.
- Koç, B., Koç, M. & Baysan, U. (2021). Food powders bulk properties. *Food powders properties and characterization*, 1-36.
- Koç, G. Ç. ve Dirim, S. N. (2017). Spray drying of spinach juice: characterization, chemical composition, and storage. *Journal of Food Science*, 82(12), 2873-2884.
- Kömürcü, T.C. (2023). Potansiyel Bir Fonksiyonel Gıda Olarak Farklı Turp (Raphanus Sativus) Çeşitlerine Ait Tozların Kimyasal ve Fonksiyonel Özelliklerinin Değerlendirilmesi. *Gıda*, 48(6), 1185-1198.
- Krefting, J. (2017). The appeal of pea protein. *Journal of Renal Nutrition*, 27(5), 31-33.
- Lee, Y. J. & Yoon, W. B. (2015). Flow behavior and hopper design for black soybean powders by particle size. *Journal of Food Engineering*, 144, 10-19.
- Liu, K. (2004). *Soybeans as functional foods and ingredients*. 73-100.

- Liu, L., Zubik, L., Collins, F. W., Marko, M. & Meydani, M. (2004). The antiatherogenic potential of oat phenolic compounds. *Atherosclerosis*, 175(1), 39-49.
- Lopes, J. P., Meira, A. S. & Nascimento, J. W. D. (2017). Flow properties and pattern flow prediction of food industrial powders. *Engenharia Agrícola*, 37(04), 627-636.
- Lu, Y., McMahon, D. J., Metzger, L. E., Kommineni, A. & Vollmer, A. H. (2015). Solubilization of rehydrated frozen highly concentrated micellar casein for use in liquid food applications. *Journal of Dairy Science*, 98(9), 5917-5930.
- Matchett, A. J. (2007). The shape of the cohesive arch in hoppers and silos- Some theoretical considerations. *Powder Technology*, 171(3), 133-145.
- Marinelli, J. & Carson, J. W. (1992). Solve solids flow problems in bins, hoppers and feeders. *Chemical Engineering Progress;(United States)*, 88(5).
- Mercan, E., Sert, D. ve Akin, N. (2018). Determination of powder flow properties of skim milk powder produced from high-pressure homogenization treated milk concentrates during storage. *LWT*, 97, 279-288.
- Montes, B. C., Martínez-Alejo, J. M., Lozano-Perez, H., Gumy, J. C., Zemlyanov, D. & Carvajal, M. T. (2019). A surface characterization platform approach to study Flowability of food powders. *Powder Technology*, 357, 269-280.
- Morina, A. (2023). *Rennet kazein ve emülsifiye edici tuzları kullanarak glutensiz ekmek* (Yayımlanmış Doktora Tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya.
- Murrieta-Pazos, I., Gaiani, C., Galet, L., Calvet, R., Cuq, B., & Scher, J. (2012). Food powders: Surface and form characterization revisited. *Journal of Food Engineering*, 112(1-2), 1-21.
- Nilüfer, D. ve Boyacıoğlu, D. (2008). Soya ve soya ürünlerinin fonksiyonel gıda bileşenleri. *Gıda*, 33(5), 241-250.
- Opaliński, I., Chutkowski, M. & Stasiak, M. (2012). Characterizing moist food-powder flowability using a Jenike shear-tester. *Journal of Food Engineering*, 108(1), 51-58.

- Oktar, S. (1984). *Türkiye’de Tarım Sektörünün Yapısal Düzenlenmesinde Toprak ve Tarım Reformu ile Kooperatifçilik* (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Marmara Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İstanbul.
- Overduin, J., Guérin-Deremaux, L., Wils, D. & Lambers, T. T. (2015). Nutralys pea protein: characterization of in vitro gastric digestion and in vivo gastrointestinal peptide responses relevant to satiety. *Food & Nutrition Research*, 59(1), 25622.
- Örü, F. ve Ertop, M. H. (2021). Siyez ve Ekmeklik Buğday Kepeğinin Ekşi Hamur Üretiminde Kullanım Olanığının Değerlendirilmesi. *Gıda*, 46(2), 396-407.
- Özay, G., Pala, M. ve Saygı, B. (1993). Bazı Gıdaların Su Aktivitesi Yönünden İncelenmesi. *Gıda*, 18(6).
- Özaydın, S. (2014). *Bazı katkı maddelerinin diyabetik yulaf kepeği bisküvisinin kalite kriterleri üzerine etkileri* (Yayımlanmış Doktora Tezi). Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Özocak, A. (2004). *Çikolatalarda kakao yağı ikamelerinin tespiti* (Yayımlanmamış Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Peschl, I.A.S.Z. (1988). Mechanical Properties of Powders. *Bulk Solids Handling*, 8(5), 615-624.
- Pierrat, P. (1994). *The Flow Properties of Wet Granular Materials*. Lehigh University.
- Ratnawati, L., Desnilasari, D., Surahman, D. N. & Kumalasari, R. (2019). Evaluation of physicochemical, functional and pasting properties of soybean, mung bean and red kidney bean flour as ingredient in biscuit. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 251, p. 012026). IOP Publishing.
- Ratti, C. (1994). Shrinkage During Drying of Foodstuffs. *Journal of Food Engineering*, 23, 91-105.
- Salleh, F. S. M., Yusof, Y. A., Anuar, M. S. & Chin, N. L. (2014). Flow Properties of Ficus Deltoidea Extract Powder and the Binders, Acdisol and Avicel. *Journal of Food Process Engineering*, 37(1), 63-74.

- Santhalakshmy, S., Bosco, S. J. D., Francis, S. & Sabeena, M. (2015). Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. *Powder Technology*, 274, 37-43.
- Saraç, M. G., Türker, D. A., ve Doğan, M. (2021). Ticari öneme sahip toz süt ürünlerinin morfolojik yapısı ve toz akış özelliklerinin belirlenmesi. *Gıda*, 46(1), 119-133.
- Senser, F., Scherz, H. & Kirchhoff, E. (2009). Der kleine Souci-Fachmann-Kraut Lebensmitteltabelle für die Praxis. *Deutsche Lebensmittel-Rundschau*, 105(5).
- Sert, D., ve Mercan, E. (2021). Farklı Yağ Oranına Sahip Keçi Sütü Tozlarının Fizikokimyasal Özellikleri, Toz Akış Davranışı ve Partikül Boyutu Parametrelerinin Belirlenmesi. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 7(1), 196-206.
- Sharma, A., Jana, A. & Chavan, R. (2012). Functionality of Milk Powders and Milk-Based Powders for End Use Applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 11(5), 518-528.
- Shishira, M., Taipa, F. S., Aziza, N.A. & Taliba, R. A. (2014). Physical Properties of Spray-dried Pink Guava (*Psidium guajava*) Powder. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2, 74-81.
- Schulze, D., Schwedes, J. & Carson, J.W. (2008). Powders and bulk solids: Behavior, characterization, storage and flow. *Powders and Bulk Solids: Behavior, Characterization, Storage and Flow*.
- Slettengren, K., Xanthakis, E., Ahrné, L. M. & Windhab, E. (2015). Flow Properties of Spices Measured with Powder Flow Tester and Ring Shear Tester-XS. *Journal of Food Properties*, 19 (7), 1475-1482.
- Sjollema, A. (1963). Some investigations on the free-flowing properties and porosity of milk powders.
- Tarakçı, Z. ve Küçüköner, E. (2005). Laktoz, laktoz türevleri ve gıda sanayinde kullanımı. *Gıda*, 30(4), 261-267.

- Teunou, E., & Fitzpatrick, J. J. (1999). Effect of relative humidity and temperature on food powder flowability. *Journal of Food Engineering*, 42(2), 109-116.
- Teunou, E., Fitzpatrick, J. J., & Synnott, E. C. (1999). Characterisation of food powder flowability. *Journal of Food Engineering*, 39(1), 31-37.
- Topçu, B., Caba, Z. T. ve Erdil, D. N. (2019). Yulaf Ekmeği Üretim Aşamalarının Fenolik Madde İçeriği ve Antioksidan Aktiviteye Etkisi. *Food and Health*, 5(1), 48-63.
- Tripathi, R., Verma, S., Easwari, T.S. & Shah, H. (2013). Standardization Of Some Herbal Antidiabetic Drugs In Polyherbal Formulation & Their Comparative Study. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 4(8), 3256-3265.
- Turgut, D. Y. ve Yeğın, A. B. (2019). Kamkat tozunun fizikokimyasal özellikleri üzerine kurutma uygulamalarının etkisi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 23(4), 477-488.
- Türker, D. A., Saraç, M. G. ve Doğan, M. (2021). Tuz Oranı Değişiminin Kırmızı Pul Biberin Toz Akış Özellikleri Üzerine Etkisi. *Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 36(2), 165-176.
- Türker, D. A., Saraç, M. G. ve Doğan, M. (2022). Glütensiz unların tekno-fonksiyonel özellikleri ile toz akış davranışlarının belirlenmesi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 26(4), 528-537.
- Türksoy, S. (2018). Tam tane baklagil unlarının kimyasal, fonksiyonel ve reolojik özelliklerinin belirlenmesi. *Gıda*, 43(1), 78-89.
- Ugidos-Rodríguez, S., Matallana-González, M. C., & Sánchez-Mata, M. C. (2018). Lactose malabsorption and intolerance: a review. *Food & function*, 9(8), 4056-4068.
- Vesa, T. H., Marteau, P. & Korpela, R. (2000). Lactose intolerance. *Journal of the American College of Nutrition*, 19(2), 165-175.
- Yağdı, S. D. ve Konuşkan, Z. G. (2021). Glütensiz ürünlerde kullanılan alternatif protein kaynakları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 32, 32-39.

- Yaşasın, M. (2020). *Hamur reolojisi karakterizasyonunda kullanılabilir yeni bir analiz yöntemi: Toz akış ölçüm cihazı (PFT)* (Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Yıldırım, F., Avinç, O. ve Yavaş, A. (2014). Soya fasulyesi protein lifleri Bölüm 1: Soya fasulyesi protein liflerinin genel yapısı, üretimi ve çevresel etkileri. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 19(2), 29-50.
- Yılmaz L. E., Özcan, T., Akpınar, A., B. ve Delikanlı, B. (2016). Bifidojenik faktör olarak laktoz türevlerinin önemi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 30(2), 79-90.
- Yılmaz, M. M. (2012). *Türkiye'deki işlenmiş soya ürünlerinde kalitatif ve kantitatif GDO tanısı ve transgen analizi* (Yayımlanmamış Doktora Tezi). İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Zegzulka, J., Necas, J., Rozbroj, J., Gelnar, D., Ramírez-Gómez, Á., & Jezerska, L. (2022). Internal friction angle model of particles. *Scientific Reports*, 12(1), 2036. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05891-8>

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Zeynep UZUN

A. EĞİTİM

Yüksek Lisans: İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi – Gıda Mühendisliği (2022 – 2024)

Lisans: Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi- Gıda Mühendisliği (2014-2018)

B. KURS/SERTİFİKA BİLGİSİ

ISO 22000:2018 Gıda Güvenliği Yönetim Sistemi Eğitim Belgesi

ISO 22000:2018 Gıda Güvenliği Yönetim Sistemi İç Denetçi Eğitim Belgesi

BRC- Gıda Güvenliği Global Standard Eğitim Belgesi

GHP – İyi Hijyen Uygulamaları Eğitim Belgesi

C. BİLİMSEL ÇALIŞMALAR

Zeynep UZUN ve Ertan ERMİŞ. 2024. Determination of Powder Flow Properties of Some Selected Model Food Powders with a Powder Flow Tester (PFT). International Food Innovation and Sustainability Congress. 16-18 Mayıs, Yıldız Teknik Üniversitesi (Poster sunum).