

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

**KÖPÜK KURUTMA METODUYLA KAYISI TOZU ÜRETİM
OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

Yüksel SARITEPE

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Gökhan DURMAZ

TEMMUZ 2023

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

**KÖPÜK KURUTMA METODUYLA KAYISI TOZU ÜRETİM
OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

**Yüksel SARITEPE
(36183620001)**

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Gökhan DURMAZ

TEMMUZ 2023

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının her aşamasında bana yardım, öneri, bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Gökhan DURMAZ'a,

Değerli zamanını ayırarak tez çalışmama katkı sunan Prof. Dr. Ali Adnan HAYALOĞLU ve Doç. Dr. İncilay GÖKBULUT'a,

İstatistik analizlerde ve deney dizaynı konusunda yardımcı olan Doç. Dr. İbrahim Sani ÖZDEMİR'e,

Tez çalışmamın projelendirilmesi ve uygulanmasındaki katkılarından dolayı Doç. Dr. Sibel ULUATA'ya,

Laboratuvarında çalışmama izin veren Prof. Dr. İhsan KARABULUT ve Prof. Dr. Süleyman KÖYTEPE'ye,

Kayısı Araştırma Enstitüsü'ndeki tüm mesai arkadaşlarıma ve idarecilerime,

Çalışmalarında her zaman olduğu gibi bu süreç boyunca da benden her türlü desteklerini esirgemeyen aileme, biricik kızıma ve sevgili eşime,

Tezin uygulama aşamasında FOA-2021-2547 proje kodu ile vermiş oldukları maddi ve manevi destekten dolayı İnönü Üniversitesi BAP birimine

teşekkür ederim.

ONUR SÖZÜ

Doktora tezi olarak sunduğum “Köpük Kurutma Metoduyla Kayısı Tozu Üretim Olanaklarının Araştırılması” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Yüksel SARITEPE



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ	i
ONUR SÖZÜ	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	viii
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER	4
2.1 Köpük Kurutma Yöntemi	4
2.2 Köpük Oluşum Teorisi	5
2.3 Çeşitli Köpük Oluşturma Yöntemleri.....	7
2.3.1 Çırpma	7
2.3.2 Çalkalama	7
2.3.3 Gaz verme (Kabarcık oluşturma)	7
2.4 Köpük Stabilitesi	8
2.5 Köpürtücü Ajanlar	9
2.5.1 Yumurta albümini.....	10
2.5.2 Peynir altı suyu proteini.....	11
2.5.3 Soya proteini.....	11
2.5.4 Hidroksipropil metil selüloz (HPMC)	12
2.6 Köpük Stabilizörleri	13
2.6.1 Metil selüloz ve Karboksimetil selüloz	14
2.6.2 Gam Arabik (GA).....	15
2.7 Kurutma	15
2.7.1 Dondurarak kurutma.....	17
2.7.2 Püskürtmeli kurutma.....	17
2.7.3 Sıcak hava ile kurutma	19
2.8 Farklı Kurutma Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....	19
2.9 Köpük Kurutma Yöntemi ile Yapılan Çalışmalar	22
3. MATERYAL VE METOT	26
3.1 Materyal.....	26
3.2 Metod.....	26
3.2.1 Kayısların hasadı, kükürtlenmesi, kurutulması ve depolanması	26
3.2.2 Köpürtücü oranı optimizasyonu	29
3.2.3 Kayısı tozlarının üretilmesi	31
3.2.3.1 Dondurarak kurutma ile kayısı tozu üretilmesi	33
3.2.3.2 Püskürtmeli kurutma ile kayısı tozu üretilmesi	35
3.2.3.3 Köpük kurutma yöntemi ile HPMC kullanılarak kayısı tozu üretilmesi	37
3.2.3.4 Köpük kurutma yöntemi ile YA kullanılarak kayısı tozu üretilmesi.....	39
3.2.4 Analizler	41
3.2.4.1 Drenaj hacmi analizi	41
3.2.4.2 Köpük genleşmesi analizi	42
3.2.4.3 Köpük yoğunluğu analizi	42
3.2.4.4 Köpük boyut, şekil ve şekil dağılımı analizi	42
3.2.4.5 Nem analizi.....	42
3.2.4.6 Çözünabilirlik analizi	43

3.2.4.7 Renk analizi	43
3.2.4.8 pH analizi.....	43
3.2.4.9 Toplam fenolik madde analizi	43
3.2.4.10 Antioksidan aktivite analizi	44
3.2.4.11 Nem çekicilik (Higroskopisite) analizi.....	44
3.2.4.12 Topaklanma düzeyi analizi.....	44
3.2.4.13 Camsı geçiş sıcaklığı (T_g) analizi	45
3.2.4.14 SEM (Taramalı Elektron Mikroskop) analizi.....	45
3.2.4.15 Hausner Ratio ve Carr İndeks analizi	45
3.2.4.16 Yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk analizi	46
3.2.4.17 Partikül boyutu analizi.....	46
3.2.4.18 Su aktivitesi (a_w) analizi	46
3.2.4.19 HMF (Hidroksimetilfurfural) analizi.....	46
3.2.4.20 β -karoten analizi	46
3.2.4.21 Şeker bileşenleri analizi.....	47
3.2.4.22 Kükürtdioksit (SO_2) analizi	47
3.2.4.23 Duyusal analizler	47
3.2.4.24 İstatistiksel analizler	48
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	49
4.1 Optimizasyon Bulguları.....	49
4.1.1 HPMC optimizasyon bulguları.....	49
4.1.1.1 Köpük genleşmesi optimizasyon bulguları (HPMC)	50
4.1.1.2 Drenaj hacmi optimizasyon bulguları (HPMC).....	53
4.1.1.3 İstenilirlik ve optimum oranlar (HPMC)	56
4.1.2 Yumurta akı tozu (YA) optimizasyon bulguları.....	57
4.1.2.1 Köpük genleşmesi optimizasyon bulguları (YA)	57
4.1.2.2 Drenaj hacmi optimizasyon bulguları (YA)	60
4.1.2.3 İstenilirlik ve optimum oranlar (YA)	63
4.2 Analiz Bulguları	64
4.2.1 Köpük genleşmesi, drenaj hacmi köpük ve yoğunluğu analiz sonuçları.....	64
4.2.2 Köpük boyut, şekil ve şekil dağılımı analiz sonuçları.....	70
4.2.3 Taze ve kuru kayısı analiz sonuçları.....	71
4.2.4 Kayısı tozu analiz sonuçları.....	73
4.2.4.1 Şeker bileşimi analiz sonuçları	73
4.2.4.2 Antioksidan aktivite ve toplam fenolik madde analiz sonuçları	77
4.2.4.3 Rutubet, a_w , higroskopisite ve topaklanma düzeyi analiz sonuçları.....	81
4.2.4.4 Yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yoğunluk, Carr İndeks ve Hausner Ratio analiz sonuçları	87
4.2.4.5 Renk ve SÇKM analiz sonuçları	92
4.2.4.6 β -karoten, HMF, SO_2 ve pH analiz sonuçları.....	97
4.2.4.7 Çözünübilirlik, partikül boyutu ve camsı geçiş analiz sonuçları	102
4.2.4.8 SEM analiz sonuçları.....	107
4.2.4.9 Duyusal analiz sonuçları.....	110
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	114
KAYNAKLAR.....	117
ÖZGEÇMİŞ.....	124

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 : Farklı kurutma yöntemlerinin ekonomik ve teknik faydaları	21
Çizelge 2.2 : Kurutma uygulama çeşitleri.....	21
Çizelge 2.3 : Çeşitli gıda maddeleri için kullanılan köpük oluşturma ve kurutma parametreleri.	22
Çizelge 3.1 : Köpürtücü ajan olarak HPMC kullanılan D-optimal mixture dizayn deneme deseni.	30
Çizelge 3.2 : Optimizasyon hedef tablosu (HPMC).....	30
Çizelge 3.3 : Köpürtücü ajan olarak YA kullanılan D-optimal mixture dizayn deneme deseni.	31
Çizelge 3.4 : Optimizasyon hedef tablosu (YA).	31
Çizelge 3.5 : Üretilen kayısı tozlarının % bileşimi.	32
Çizelge 3.6 : Yapılan analizler.	41
Çizelge 3.7 : Akışkanlık sınıflandırılması.....	45
Çizelge 3.8 : Duyusal değerlendirme skalası.	47
Çizelge 4.1 : HPMC D-optimal mixture dizayn tablosu.	49
Çizelge 4.2 : Optimizasyon çalışması sonucu model yardımıyla hesaplanan değerler ve deneysel köpük genişmesi değerleri (HPMC).	50
Çizelge 4.3 : Köpük genişmesi (HPMC) linear modelin uygunluğunu test etmek için kullanılan değerler ve ANOVA tablosu	52
Çizelge 4.4 : Optimizasyon çalışması sonucu model yardımıyla hesaplanan değerler ve deneysel drenaj değerleri (HPMC).	53
Çizelge 4.5 : Drenaj hacmi (HPMC) kübik modelin uygunluğunu test etmek için kullanılan değerler ve ANOVA tablosu.	55
Çizelge 4.6 : YA D-optimal mixture dizayn tablosu.	57
Çizelge 4.7 : Optimizasyon çalışması sonucu model yardımıyla hesaplanan değerler.....	58
Çizelge 4.8 : Köpük genişmesi (YA) linear modelin uygunluğunu test etmek için kullanılan değerler ve ANOVA tablosu.	59
Çizelge 4.9 : Optimizasyon çalışması sonucu model yardımıyla hesaplanan değerler ve deneysel drenaj değerleri (YA).....	61
Çizelge 4.10 : Drenaj hacmi (YA) linear modelin uygunluğunu test etmek için kullanılan değerler model için ANOVA tablosu	62
Çizelge 4.11 : Farklı oranlardaki HPMC formülasyonlarının köpük yoğunluğu değeri. ...	68
Çizelge 4.12 : Farklı oranlardaki YA formülasyonlarının köpük yoğunluğu değeri.	69
Çizelge 4.13 : Taze ve kuru kayısı analiz sonuçları.....	72
Çizelge 4.14 : Kayısı tozlarının şeker bileşimi analiz sonuçları.	74
Çizelge 4.15 : Kayısı tozlarının antioksidan aktivite ve toplam fenolik madde analiz sonuçları.....	79
Çizelge 4.16 : Kayısı tozlarının rutubet, su aktivitesi, higroskopisite ve topaklanma düzeyi analiz sonuçları.	83
Çizelge 4.17 : Kayısı tozlarında yığın yoğunluğu,sıkıştırılmış yoğunluk, Carr İndeks ve Hausner Ratio değerleri.	89
Çizelge 4.18 : Kayısı larında renk ve SÇKM değerleri.	94
Çizelge 4.19 : Kayısı tozlarında β -karoten, HMF, SO ₂ ve pH analiz sonuçları.....	99
Çizelge 4.20 : Kayısı tozlarında çözünabilirlik partikül boyutu ve T _g analiz sonuçları. ..	104
Çizelge 4.21 : Kayısı tozlarında duysal analiz sonuçları.	111

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 : Köpük kurutma işleminin şematik gösterimi.....	5
Şekil 2.2 : Köpük yapısının temsili diyagramı.....	6
Şekil 2.3 : Köpüklerin stabilitesini kaybetmesinden sorumlu üç ana mekanizma.....	9
Şekil 2.4 : HPMC'nin kimyasal yapısı.....	13
Şekil 3.1 : Proje genel akış şeması.....	27
Şekil 3.2 : Kayısı tozu üretim akış şeması.....	28
Şekil 3.3 : Çalışmada kullanılan kayısılar.....	29
Şekil 3.4 : Dondurarak kurutma ile kayısı tozu üretimi.....	33
Şekil 3.5 : Dondurarak kurutma ile kayısı tozu üretim akış şeması.....	34
Şekil 3.6 : Püskürtmeli kurutma ile kayısı tozu üretimi.....	35
Şekil 3.7 : Püskürtmeli kurutma ile kayısı tozu üretim akış şeması.....	36
Şekil 3.8 : Köpük kurutma ile kayısı tozu üretimi.....	37
Şekil 3.9 : Köpük kurutma yöntemi ile HPMC kullanılarak kayısı tozu üretim akış şeması.....	38
Şekil 3.10 : Köpük kurutma yöntemi ile üretilen kayısı tozları.....	39
Şekil 3.11 : Köpük kurutma yöntemi ile YA kullanılarak kayısı tozu üretim akış şeması.....	40
Şekil 4.1 : Modelin tahmini ve deneysel köpük genleşmesi grafiği (HPMC).....	51
Şekil 4.2 : Modelin belirlediği optimum değer için köpük genleşmesi (HPMC).....	52
Şekil 4.3 : Modelin tahmini ve deneysel drenaj grafiği (HPMC).....	54
Şekil 4.4 : Modelin belirlediği optimum değer için drenaj hacmi (HPMC).....	55
Şekil 4.5 : Modelin belirlediği optimum MD, HPMC ve buna bağlı drenaj hacmi ve köpük genleşmesi.....	56
Şekil 4.6 : İstenirlik grafiği (HPMC).....	56
Şekil 4.7 : Modelin tahmini ve deneysel köpük genleşmesi grafiği (YA).....	58
Şekil 4.8 : Modelin belirlediği optimum değer için köpük genleşmesi (YA).....	60
Şekil 4.9 : Modelin tahmini ve deneysel drenaj grafiği (YA).....	61
Şekil 4.10 : Modelin belirlediği optimum değer için drenaj hacmi (YA).....	63
Şekil 4.11 : Modelin belirlediği optimum MD, YA ve buna bağlı drenaj hacmi ve köpük kapasitesi.....	63
Şekil 4.12 : Modelin belirlediği istenirlik grafiği (YA).....	64
Şekil 4.13 : HPMC ve MD'nin farklı oranlarının köpük genleşmesi değerleri.....	66
Şekil 4.14 : YA ve MD'nin farklı oranlarının köpük genleşmesi değerleri.....	67
Şekil 4.15 : HPMC ve MD'nin farklı oranlarının drenaj hacmi değerleri.....	67
Şekil 4.16 : YA ve MD'nin farklı oranlarının drenaj hacmi değerleri.....	68
Şekil 4.17 : HPMC ve MD'nin farklı oranlarının köpük yoğunluğu değerleri.....	69
Şekil 4.18 : YA ve MD'nin farklı oranlarının köpük yoğunluğu değerleri.....	70
Şekil 4.19 : Yumurta akı köpüğü mikroskop görüntüsü.....	71
Şekil 4.20 : HPMC köpüğü mikroskop görüntüsü.....	71
Şekil 4.21 : Kayısı tozlarının glikoz değerleri.....	75
Şekil 4.22 : Kayısı tozlarının fruktoz değerleri.....	75
Şekil 4.23 : Kayısı tozlarının sakkaroz değerleri.....	76
Şekil 4.24 : Kayısı tozlarının sorbitol değerleri.....	76
Şekil 4.25 : Kayısı tozlarının ABTS yöntemiyle elde edilen antiradikal aktivite değerleri.....	79
Şekil 4.26 : Kayısı tozlarının DPPH yöntemiyle elde edilen antiradikal aktivite değerleri.....	80
Şekil 4.27 : Kayısı tozlarının toplam fenolik madde içerikleri.....	80
Şekil 4.28 : Kayısı tozlarının rutubet değerleri.....	84
Şekil 4.29 : Kayısı tozlarının su aktivitesi (a_w) değerleri.....	84

Şekil 4.30 : Kayısı tozlarının higroskopisite değerleri.....	85
Şekil 4.31 : Kayısı tozlarında higroskopisite analiz aşamalarından çeşitli görüntüler.	85
Şekil 4.32 : Kayısı tozlarının topaklanma düzeyi değerleri.	86
Şekil 4.33 : Kayısı tozlarında topaklanma düzeyi analizinden görüntüler.....	86
Şekil 4.34 : Kayısı tozlarında yığın yoğunluğu değerleri.	90
Şekil 4.35 : Aynı ağırlığa sahip püskürtmeli kurutma ve köpük kurutma (HPMC) yöntemleri ile elde edilen kayısı tozlarının görüntüsü.....	90
Şekil 4.36 : Kayısı tozlarının sıkıştırılmış yoğunluk değerleri.	91
Şekil 4.37 : Kayısı tozlarının Carr İndeks değerleri.....	91
Şekil 4.38 : Kayısı tozlarının Hausner Ratio değerleri.	92
Şekil 4.39 : Kayısı tozlarının L* renk değerleri.	95
Şekil 4.40 : Kayısı tozlarının a* renk değerleri.....	95
Şekil 4.41 : Kayısı tozlarının b* renk değerleri.	96
Şekil 4.42 : Kayısı tozlarında renk analizi görüntüsü.	96
Şekil 4.43 : Kayısı tozlarının SÇKM değerleri.	97
Şekil 4.44 : Kayısı tozlarının β -karoten değerleri.	100
Şekil 4.45 : Kayısı tozlarının HMF değerleri.....	100
Şekil 4.46 : Kayısı tozlarını SO ₂ değerleri.	101
Şekil 4.47 : Kayısı tozlarını pH değerleri.....	101
Şekil 4.48 : Kayısı tozlarının çözünübilirlik değerleri.	105
Şekil 4.49 : Kayısı tozlarının partikül boyutu değerleri.....	105
Şekil 4.50 : Kayısı tozu partikül boyutu grafiği (taze kayısı + HPMC).....	106
Şekil 4.51 : Kayısı tozlarının camsı geçiş (T _g) değerleri.	106
Şekil 4.52 : Kayısı tozu DSC termogramı (kükürtlü kayısı + dondurarak kurutma).	107
Şekil 4.53 : Püskürtmeli kurutma yöntemi ile üretilen kayısı tozlarının SEM görüntüleri	108
Şekil 4.54: Dondurarak kurutma yöntemi ile üretilen kayısı tozlarının SEM görüntüleri.....	108
Şekil 4.55 : Köpük kurutma (HPMC) yöntemi ile üretilen kayısı tozlarının SEM.....	109
Şekil 4.56 : Köpük kurutma (YA) ile üretilen kayısı tozlarının SEM görüntüleri.....	109
Şekil 4.57 : Kayısı tozlarının duyu analizi renk değerleri.	111
Şekil 4.58 : Kayısı tozlarının duyu analizi tat değerleri.	112
Şekil 4.59 : Kayısı tozlarının duyu analizi koku değerleri.	112
Şekil 4.60 : Kayısı tozlarının duyu analizi görünüş değerleri.....	113

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

%	: Yüzde
~	: Yaklaşık
μL	: Mikrolitre
μm	: Mikrometre
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ABTS	: 2,2-azinobis (3-etil-bezotiazolin 6 sulfonat)
AOAC	: Association of Official Analytical Chemists
a _w	: Su aktivitesi
B _d	: Yığın yoğunluğu
BSA	: Bovine serum albümin
CHO	: Karbonhidrat
CI	: Carr İndeks
cm ³	: Santimetreküp
CMC	: Karboksimetil selüloz
CV	: Varyasyon katsayısı
D _[4,3]	: Weighted mean value by volume
DAD	: Diode Array Detector
DE	: Dekstroz eşdeğeri
DH	: Drenaj hacmi
dk	: Dakika
DPPH	: 2,2 Difenil -1- pikrilhidrazil
DSC	: Differential scanning calorimetry
FAO	: Food and Agriculture Organization
FAOSTAT	: Food and Agriculture Organization istatistiksel veritabanı
FC	: Köpük kapasitesi (Foam capacity)
g	: Gram
G	: Günkurusu kaybı
GA	: Gam arabik
GAE	: Gallik asit eşdeğeri
Hg	: Civa
HKO	: Hata kareler ortalaması
HKT	: Hata kareler toplamı
HMF	: Hidroksimetil furfural

HPLC	: High pressure liquid chromatography
HPMC	: Hidroksipropil metil selüloz
HR	: Hausner Ratio
INC	: International Trade Centre
ISO	: International Organization for Standardization
ITC	: International Nut & Dried Fruit Council
KA	: Kabuk kayısı
kg	: Kilogram
KG	: Köpük genleşmesi
KM	: Kuru madde
KÜ	: Kükürtlü kayısı
L	: Litre
mbar	: Milibar
MD	: Maltodekstrin
mg	: Miligram
mL	: Mililitre
mm	: Milimetre
nm	: Nanometre
°Briks	: Çözünen madde miktarı
°C	: Santigrat derece
PRESS	: Tahmini hataların karelerinin toplamı
RID	: Refractive Index Detector
rpm	: Dakikadaki devir sayısı
RSM	: Yanıt yüzey metodu
s	: Saniye
SÇKM	: Suda çözünür kuru madde
SD	: Serbestlik derecesi
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
SO₂	: Kükürtdioksit
SPI	: Soya protein izolatu
T	: Taze kayısı
TAC	: Toplam antosiyanin içeriği
T_d	: Sıkıştırılmış yoğunluk
T_g	: Camı geçiş sıcaklığı
THF	: Tetrahidrofur

Trolox	: 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid
Tween 80	: Polisorbat 80
UV	: Ultraviyole
UV-VIS	: Ultraviyole görünür bölge (visible)
v	: Hacim
w	: Ağırlık
WPC	: Peynir altı suyu protein konsantresi
WPI	: Peynir altı suyu protein izolatu
YA	: Yumurta akı tozu
μm	: Mikrometre
ρ_b	: Yığın yoğunluğu
ρ_t	: Sıkıştırılmış yoğunluk

ÖZET

Doktora Tezi

KÖPÜK KURUTMA METODUYLA KAYISI TOZU ÜRETİM OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI

Yüksel SARITEPE

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

124+XII sayfa

2023

Danışman: Prof. Dr. Gökhan DURMAZ

Bu çalışmada köpük kurutma metoduyla kayısı tozu üretim olanakları araştırılmıştır. Bu amaçla, taze, kükürtlü, günkurusu ve kabuk kayısılar kayısı tozu üretiminde kullanılmıştır. Çalışmada köpürtücü ajan olarak yumurta akı (YA) ve hidroksipropil metil selüloz (HPMC), kurutma yardımcısı olarak da 9-11 DE maltodekstrin (MD) kullanılmıştır. Çalışmada kullanılacak köpürtücü ajan/maltodekstrin oranlarını belirlemek için yanıt yüzey yöntemi (D-optimal mixture desing) kullanılmıştır. Üretilen tüm kayısı tozlarında kayısı oranı kuru madde içerisinde %50 olacak şekilde belirlenmiştir. Optimum YA oranının %23.06, HPMC oranının ise %3.83 olduğu belirlenmiş ve bu oranar % 50'ye MD ile tamamlanmıştır. Optimum değerler kullanılarak kayısı püresi köpükleri oluşturulmuştur. Kayısı püre köpükleri 65 °C ve 1.5 m/sn hava hızında kurutulduktan sonra öğütülerek kayısı tozları üretilmiştir. Karşılaştırma amacıyla kayısı+maltodekstrin oranı KM'de %50+50 olacak şekilde püreler hazırlanarak; püskürtmeli kurutma ve dondurarak kurutma metodu ile kayısı tozları üretilmiştir. Kayısı tozlarında, rutubet değerleri 2.17-3.52 g/100 g, su aktivitesi (a_w) değerleri 0.108-0.127, higroskopsite değerleri 37.90-42.54 g/100 g, topaklanma düzeyi değerleri ise 0-22.70 g/100 g aralığında belirlenmiştir. Kayısı tozlarında yığın yoğunluğu, 0.261-0.636 g/cm³, sıkıştırılmış yığın yoğunluğu 0.490-0.815 g/cm³ Carr İndeks % 6.52-53.50 ve Hausner Ratio değerleri 1.20-2.15 aralığında belirlenmiştir. Kayısı tozlarında suda çözünür kuru madde miktarı (SÇKM) 3.55-3.81, β -karoten değeri 14.31-36.30 mg/kg KM, pH değeri 4.96-6.64, çözünabilirlik %84.55-93.05, partikül boyutu ($D_{[4.3]}$) 33.52-149.27 μ m, camsı geçiş sıcaklığı 62.45-70.16 °C aralığında belirlenmiştir. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile elde edilen görüntülerde, HPMC, YA ve dondurarak kurutucu ile elde edilen kayısı tozlarında ürünlerin yüzeylerinde kırık cam ve pullu yapıya benzeyen düzensiz bir morfoloji olduğu belirlenmiştir. Püskürtmeli kurutucu ile elde edilen kayısı tozu, püskürtmeli kurutma koşullarının etkisiyle yuvarlak veya oval şekilli ve düz yüzeyli partiküllere sahip bir yapı kazanmıştır. Duyusal analizlerde en iyi değerleri dondurarak kurutma ve HPMC'nin köpürtücü ajan olarak kullanıldığı köpük kurutma tekniği ile taze kayısıdan elde edilen kayısı tozları almıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda köpük kurutma yöntemiyle kayısı tozunun başarılı bir şekilde üretilbileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kayısı tozu, Köpük kurutma, Köpürtücü ajan, Yumurta akı, HPMC

ABSTRACT

Phd. Thesis

INVESTIGATION OF APRICOT POWDER PRODUCTION POSSIBILITIES WITH FOAM-MAT DRYING METHOD

Yüksel SARITEPE

Inonu University
Graduate School of Nature and Applied Sciences
Department of Food Engineering

124+XII pages

2023

Supervisor: Prof. Dr. Gökhan DURMAZ

In this study, the possibilities of apricot powder production using the foam-mat drying method were investigated. For this purpose, fresh, sulfur-treated, sun-dried, and halved sun-dried apricots were used in the production of apricot powder. Egg white (EW) and hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) were used as foaming agents, and 9-11 DE maltodextrin (MD) was used as a drying aid. The response surface methodology (D-optimal mixture design) was employed to determine the foaming agent/maltodextrin ratios to be used in the study. The apricot content in all produced apricot powders was set at 50% of the dry matter. The optimal ratio of EW was determined as 23.06%, while HPMC was determined as 3.83%, and these ratios were completed to 50% with MD. Using these optimum values, apricot puree were formed and then dried at 65°C and an air velocity of 1.5 m/s to produce apricot powders. For comparison purposes, purees with an apricot+maltodextrin ratio of 50%+50% in weight percent (DM) were prepared, and apricot powders were produced using the spray drying and freeze drying methods. In the apricot powders, moisture content values ranged from 2.17 to 3.52 g/100 g, water activity (a_w) values ranged from 0.108 to 0.127, hygroscopicity values ranged from 37.90 to 42.54 g/100 g, and caking degree values ranged from 0 to 22.70 g/100 g. The bulk density of apricot powders ranged from 0.261 to 0.636 g/cm³, tapped density ranged from 0.490 to 0.815 g/cm³, Carr Index ranged from 6.52 to 53.50%, and Hausner Ratio ranged from 1.20 to 2.15. The total soluble solid (TSS) in apricot powders ranged from 3.55 to 3.81, β -carotene content ranged from 14.31 to 36.30 mg/kg DM, pH values ranged from 4.96 to 6.64, solubility ranged from 84.55% to 93.05%, particle size ($D_{[4.3]}$) ranged from 33.52 to 149.27 μ m, and the glass transition temperature ranged from 62.45 to 70.16°C. Images obtained with scanning electron microscopy (SEM) revealed an irregular morphology resembling broken glass and flaky structure on the surfaces of the apricot powders obtained from HPMC, EW, and freeze drying. Apricot powders obtained with the spray dryer exhibited round or oval-shaped particles with a smooth surface due to the effect of the spray drying conditions. Sensory analyses revealed that the best results were obtained from apricot powders produced from fresh apricots using freeze drying and the foam drying technique with HPMC as the foaming agent. Based on the results obtained, it was concluded that apricot powder can be successfully produced using the foam-mat drying method.

Keywords: Apricot powder, Foam-mat drying, Foaming agent, Egg white, HPMC

1. GİRİŞ

Kayısı (*Prunus armeniaca* L.), yüksek besleyici değeri olan ve ekonomik öneme sahip bir meyvedir. Şeftali ve erikten sonra dünya genelinde en çok yetiştirilen üçüncü sert çekirdekli meyve olarak kabul edilir. Toplam dünya üretimi FAOSTAT verilerine göre yaklaşık 3,72 milyon ton olarak tahmin edilmektedir. Türkiye, yaklaşık 833.398 ton üretimle kayısı tarımında önde gelen ülkeler arasındadır (FAO 2021, Ayour ve diğ, 2022). Dünya üzerinde 2020 yılında yaklaşık olarak 5,6 milyon dekar alanda dört milyon ton taze kayısı üretimi gerçekleştirilirken, dünya kayısı üretiminde Türkiye dünya üretim alanlarının % 23,6'sına ve üretim miktarının ise %21,07'sine sahiptir. Türkiye bu verileri ile dünya kayısı üretiminde ilk sırada yer almaktadır (FAO, 2021). Dünya genelinde kayısı genellikle yaş olarak tüketilmektedir. Kayısının uzun süre yaş olarak muhafazası mümkün olmadığından farklı yöntemler ile işlenip, farklı ürünlere dönüştürülerek ve uzun süreli tüketilmesine olanak sağlanmaktadır. İşleme şekillerinden en yaygın olanı ise kayısının hasat edilmesinden sonra farklı yöntemler kullanılarak kurutulması işlemidir. Kayısı, günümüzde meyve suyu, marmelat gibi çeşitli gıda ürünlerinde kullanılmasının yanı sıra, kozmetik ve ilaç üretiminde de kullanılabilen bir meyvedir (Aslan, 2022). Türkiye, hem taze kayısı üretim miktarında hem de, kuru kayısı üretim miktarı ile de dünyada ilk sırada yer almaktadır. Türkiye, son yıllardaki kayısı üretim miktarı ortalamasına göre dünya kuru kayısı üretim miktarının yaklaşık %57'sini (INC, 2021) karşılamaktadır. Türkiye, kuru kayısı ihracat miktarı ve ihracat değerlerinin ise sırasıyla %62,35 ve %74,5'ine sahip iken kuru kayısı ihracatından sağladığı gelirin yıllık ortalama 300 milyon dolar seviyesindedir (ITC, 2021). Türkiye'de kayısı üretimi geniş bir coğrafyaya yayılmakla birlikte kuru kayısı üretimi daha dar bir alanda yapılmaktadır. Kuru kayısı üretimi en fazla Malatya ilinde olmakla birlikte Elazığ ili Baskil ilçesi, Kahramanmaraş ili Elbistan ilçesi ve Sivas ili Gürün ilçesinde de gerçekleştirilmektedir. Uzun yıllara dayanan verilere göre, Malatya ilinin kuru kayısı üretimi Türkiye'nin toplam kuru kayısı üretiminin %85'ini oluşturmaktadır (Aslan, 2022). Malatya kayısılarını, diğer yörelerin kayısılarından ayıran en önemli özelliklerden biri yüksek şeker oranı ve kuru madde içeriğine sahip olmasıdır (Asma, 2000; Akın ve diğ, 2008). Bu özellikler, kayısının tat ve aromasının yoğun olmasını sağlamaktadır. Ayrıca, bu yüksek şeker ve kuru madde içeriği, kayısının daha uzun süre dayanıklı olmasına ve kurutulmuş kayısı üretiminde tercih edilmesine katkıda bulunur. Malatya kayısı, bu özellikleriyle hem tüketiciler hem de üreticiler için değerli bir besin kaynağı olarak kabul edilmektedir. Kayısı, besinsel değeri açısından ilgi uyandıran bir meyve türüdür (Susanna ve diğ, 2015). Kayısı

meyvesi, yağ, protein, çözünür şekerler, lif ve yağ asitlerinin yanı sıra; β -karoten, β -kriptoksantin, γ -karoten ve likopen gibi karotenoidler, klorojenik asit, neoklorojenik asit, (+)-kateşin, (-)-epikateşin ve rutin gibi fenolik bileşikler, pektin ve Na, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn ve Cu gibi mineral maddeleri de içeren zengin bir kaynak olarak kabul edilmektedir (Erdoğan-Orhan ve Kartal, 2011). Birçok epidemiyolojik çalışma, artan meyve tüketiminin, ateroskleroz, kalp ve beyin hastalıkları ile farklı kanser türleri gibi birçok dejeneratif hastalık riskini azalttığını göstermektedir (Hedegus ve diğ, 2010).

Kurutma, muhtemelen en eski ve en sık kullanılan gıda koruma yöntemidir. Günümüzde gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılan ve sürekli olarak gıda araştırmalarının odak noktası olan bir tekniktir. Kurutma terimi, bir malzemenin neminin azaltılması ile, mikrobiyal aktivitenin ve ürün bozulma hızının azaltılması amacıyla kullanılır. Koruma amacının yanı sıra, kurutulmuş ürünlerin azalan ağırlığı ve hacmi, ambalajlama, taşıma ve depolama maliyetlerini de azaltmaktadır. Ayrıca, birçok gıda ürünü, ileri işleme aşamasında daha iyi öğütme veya karıştırma özellikleri için kurutulmaktadır (Farais ve Ratti, 2009).

Toz gıdalar genellikle kurutma işlemleri sonucunda elde edilmektedir. Ancak, toz gıdaların üretimi, gıdanın yapısında bulunan şeker, yağ ve protein gibi bileşenler nedeniyle ön işleme tekniklerini gerektirmektedir. Özellikle yüksek şeker içeriğine sahip ürünlerin kurutulması sırasında, yapışma, nem çekme (higroskopî) ve düşük çözünürlük gibi bazı sorunlar ortaya çıkmaktadır (Koç ve Ertekin, 2016). Kurutma, suyun uzaklaştırılması ile gerçekleşen bir gıda koruma işlemi olması nedeniyle suyun neden olduğu birçok bozulma reaksiyonunu en aza indirerek ürün kalitesini etkileyen olumsuzlukları azaltmaktadır. Kurutulmuş meyve ve sebzeler ile onların toz formundaki uygulamaları, gıda endüstrisinde ilgi görmektedir (Karam ve diğ, 2016). Kurutma işlemi sırasında, ürünün nem içeriği %1 - 5 arasında değişen bir seviyeye düşürülebilir. Bu durum, mikrobiyal bozulmayı ve istenmeyen enzimatik reaksiyonları önler (Sangamithra ve diğ, 2015a). Kurutulmuş meyve ve sebzeler, şekerleme, tatlı, fırıncılık, çeşitli soslar, çaylar, pudingler, alkollü içki endüstrisi, garnitürler, bebek ve çocuklar için gıda ürünleri gibi bir çok alanda gıda sektörü tarafından geniş çapta kullanılmaktadır. Özellikle meyve ve sebze tozları, içecek endüstrisinde ara ürün olarak kullanılmakta ve gıda ürünlerinin besin değerini artıran fonksiyonel gıda katkı maddeleri olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, dondurma, yoğurt, meyve barları gibi ürünlerde tatlandırıcı olarak veya doğal renklendirici olarak da kullanılmaktadırlar (Camire ve diğ, 2007; Karam ve diğ, 2016). Meyve tozlarının üretimi için püskürtmeli kurutma, dondurarak kurutma, tambur kurutma ve köpük kurutma gibi çeşitli kurutma teknikleri kullanılmaktadır. Püskürtmeli kurutma ve dondurarak kurutma işlemleri, iyi rehidrasyon özellikleri ve renk

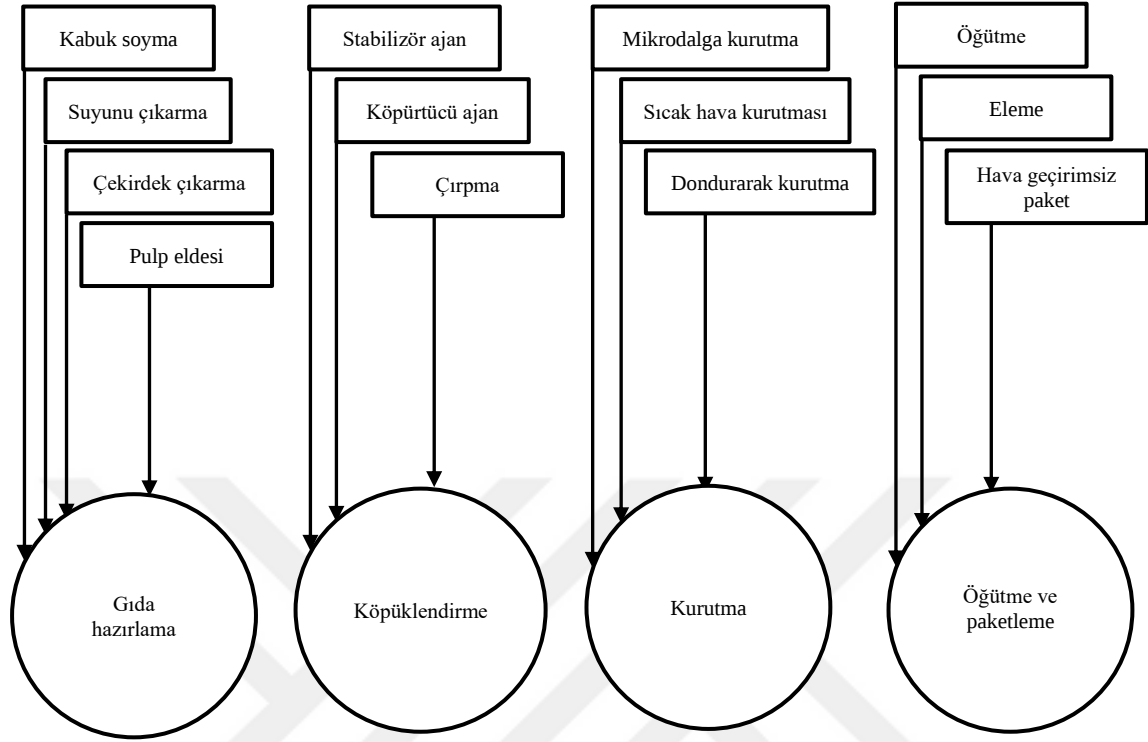
kalitesini koruyarak mükemmel ürün kalitesi sağlamaktadırlar. Ancak, yüksek kurulum ve işletme maliyetleri bu yöntemlerin ticari olarak sınırlı kullanılmasına neden olabilmektedir (Ratti, 2001; Hsu ve diğ, 2003; Sangamithra ve diğ, 2015b). Tambur kurutma işlemiyle ilgili temel sorun ise, yüksek sıcaklıktan dolayı istenmeyen pişmiş aroma ve ciddi kalite kaybının olmasıdır. Bu nedenle, tambur kurutma yöntemi son üründe istenmeyen koku ve kalite kaybına yol açabilmektedir (Nindo ve Tang, 2007). Köpük kurutma, meyve suları ve sebze pürelerinden suyun uzaklaştırılmasını kolaylaştıran, göreceli olarak basit ve alternatif bir yöntemdir. Bu süreçte, bir sıvı ürün, köpük oluşturuvcu veya stabilizatör ajanların eklenmesiyle kararlı bir köpüğe dönüştürölür ve daha sonra göreceli olarak düşük sıcaklıklarda hava ile kurutularak ince, gözenekli bir petek yapısı oluşturulur. Bu köpük kurutulduktan sonra öğütölerek serbest akışlı bir toz elde edilir (Karim ve Wai 1999a; Sangamithra ve diğ, 2015a; Sangamithra ve diğ, 2015b). Birçok sıvı gıda, stabil köpöklere dönüştürölüdüğünde hızlı bir şekilde kurutulabilir ve iyi kalitede instant tozlar elde edilebilir (Karim ve Wai, 1999a). Köpük oluşturuvcu ajan, iki sıvı veya bir sıvı ile katı arasındaki yüzey gerilimini azaltmak için kullanılan bir yüzey aktif maddedir ve köpük oluşumunu kolaylaştırır. Köpük kurutma yöntemi, süt, meyve suları, kahve ve çay gibi yüksek kaliteli konsantre ürünlerin ticari ölçekte kurutulmasında artan taleple birlikte, gıda endüstrisinde uygulama alanı bulmaktadır. Bu yöntem, ısıya duyarlı, yüksek şeker içeriğine sahip ve yapışkan olan gıdaların, kalite değışikliğı olmadan, nispeten hafif koşullarda kurutulmasına olanak tanır. Bu gıdalar, diğerkurutma yöntemleriyle kurutulması zor olan ve yapışkanlık gösteren özelliklere sahiptir. Köpük kurutma yöntemi, bu tür gıdaların nemini uzaklaştırırken, ürün kalitesini korur (Sangamithra ve diğ, 2015a). Bu yöntem, yapışkan, ısıya duyarlı ve püskürtmeli kurutma yöntemiyle kurutulamayan ürünlerin kurutulmasına uygun olduğı için, hassas bir şekilde kurutulması gereken sıvı gıda maddelerinin, kararlı köpük oluşturabilmesi koşuluyla kurutulmasına olanak sağlamaktadır (Akintoye ve Oguntunde, 1991). Literatürde, köpük kurutma tekniğı ile meyve tozu üretimi üzerine birçok çalışma bulunmasına rağmen, taze, kükürtlü, günkurusu ve kabuk kayısının kullanıldığı bir çalışma mevcut değildir. Bu çalışmada, taze, kükürtlü, günkurusu ve kabuk kayısının kullanıldığı ve iki farklı köpürtücü ajan olan Hidroksipropil metil selölöz (HPMC) ve yumurta akı tozu (YA) ile köpük kurutma yöntemi kullanılarak kayısı tozu elde dilmiş ve kalite parametreleri belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca, püskürtmeli kurutma ve dondurarak kurutma yöntemleri de kullanılarak kayısı tozları elde edilmiş ve kalite parametreleri açısından köpük kurutma yöntemi ile elde edilen kayısı tozları ile kıyaslanmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 Köpük Kurutma Yöntemi

Köpük kurutma ilk olarak 1917’de Campbell tarafından koyulaştırılmış sütün kurutulması amacıyla kullanılmış ve patentlenmiştir. Daha sonra başka patentler de yayınlanmış ve bu yöntem yumurta albümini kurutmak için kullanılmıştır (Mounir, 2018). Son yıllarda köpük kurutma, hızlı kurutma süreci, düşük kurutma sıcaklığı, uygun rehidrasyon ve kurutma sırasında uçucu bileşiklerin korunması gibi birçok avantajı nedeniyle yeniden ilgi görmeye başlamıştır (Kudra ve Ratti, 2006). Köpük kurutma, sıvı-yarı sıvı gıdaların stabil köpük üretmek için stabilize edici madde ve/veya köpük oluşturuucu madde ile karıştırılarak 50-80 °C arasındaki sıcaklıklarda kurutulduğu basit bir kurutma tekniğidir (Febrianto ve diğ, 2012; Hardy ve Jideani, 2017). Köpük kurutma yöntemi, ucuz, basit ve hızlı bir yöntem olduğundan, toz elde etmek için kullanılan dondurarak kurutma, püskürtmeli kurutma gibi yöntemlere kıyasla daha avantajlı bir kurutma tekniğidir. (Febrianto ve diğ, 2012). Köpük kurutma, sıvı gıdaların kararlı köpüklere dönüştürülerek havayla kurutulduğu bir işlemdir. Isıtılmış havayla kurutma sırasında, köpüklerin stabil kalması ve tipik açık yapıların korunması arzu edilir. Kurutma sırasında köpüklerin çökmesi, ürün kalitesini düşüreceği ve kurutma tepsisi üzerindeki ürünün alınmasını zorlaştıracığı için istenmeyen bir durumdur. Birçok gıda, doğal olarak çözünür proteinler ve monogliseridler içerir ve bu bileşenler çırıldığında köpük oluşturabilir. Ancak bu köpükler yeterli kurutma için uygun olmayabilir. Bu nedenle, köpük oluşturuucu ve stabilizatör gibi yardımcı maddelerin eklenmesi gerekmektedir. Bu malzemeler köpük oluşumunu teşvik eder ve fırında kurutma esnasında stabiliteyi sağlar (Sankat ve Castaigne, 2004). Köpük kurutma işleminde, köpüklü kütlenin içinde bulunan büyük hacimli gaz nedeniyle ısı transferi engellemesine rağmen, sıvı-gaz arayüzündeki büyük artış nedeniyle kurutma hızı oldukça yüksektir. Kuruma, ardışık katmanların periyodik olarak patlaması nedeniyle birden fazla sabit hızlı dönemde gerçekleşir. Bu durum, kurutma ilerledikçe ısı ve kütle transferi için yeni yüzeylerin ortaya çıkmasını sağlar (Kandsamy ve diğ, 2014). Bir köpük tabakası, aynı dış koşullar altında çırpılmamış bir sıvıya göre çok daha hızlı bir şekilde kurur. Bunun nedeni, sıvının kuru bir köpük yapısı içinden yoğun bir malzeme tabakasından daha kolay hareket etmesidir. Bu, kuru aralıklar boyunca kapiler etki ve kabarcık boşluklarına buharlaşma ve ardından ince dış kuru duvarlar boyunca gaz hareketi sayesinde gerçekleşmektedir. Köpük yapısı, ilgili koşullar altında sıvılar için olan kuruma süresini

yaklaşık olarak 1/3 oranında azaltır (Tayeb, 1993). Köpük kurutma işlemlerinin aşamaları şematik olarak Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : Köpük kurutma işleminin şematik gösterimi (Qadri vd., 2019).

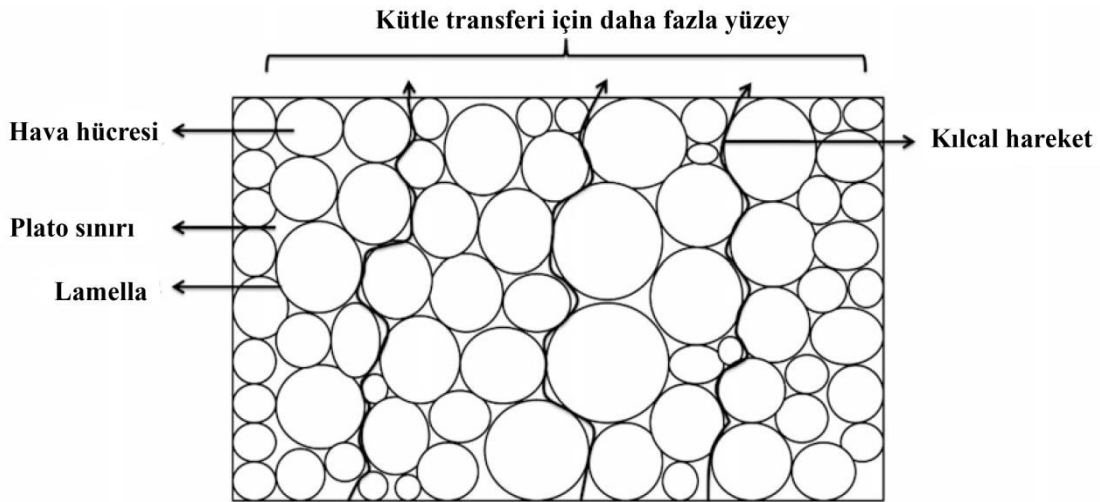
2.2 Köpük Oluşum Teorisi

Köpük, katmanlı faz (ince kabarcık duvarı) olarak bilinen ince bir film sıvı tabakası ile ayrılmış iki fazlı (dağınık ve sürekli faz) bir sistemdir. Yiyecek ve içecek maddelerindeki köpük; gaz, sıvılar, katılar ve yüzey aktif maddeler tarafından oluşturulan karmaşık bir sistemdir (Eisner ve diğ., 2006). Stabil bir köpük hazırlamak, köpük kurutmanın önemli adımlarından biridir. Köpüğün stabilitesi, başarılı bir kurutma işlemi ve istenilen ürün kalitesini sağlamak için büyük bir öneme sahiptir (Mounir, 2018).

Köpük oluşumunun üç aşaması bulunmaktadır:

- Köpürme ajanı çözeltisi (hava dahil edilmemiş durumda),
- Gaz emülsiyonu (çözeltiye hava dahil edilmeye başlandığında, düşük hacim oranlarında hava kabarcıkları birbirleriyle temas etmez; kabarcık geometrisine etkisi yoktur),
- Köpük (polihedral köpük), hava kabarcıkları lamellalar aracılığıyla birbirleriyle temas halindedir, küresel geometrileri bozulmuştur (Arzhavitina ve Steckel, 2010). Köpüklerin sınır tabakası ile çevrili gaz kabarcıkları vardır. Köpük gelişiminin önemli bir adım olduğu

göz önüne alındığında, görünümüne veya kaybolmasına katkıda bulunan faktörlerin anlaşılması çok önemlidir. Kabarcıkların sayısı, boyutu ve dağılımı gibi faktörler köpük dokusunu belirleyecek, düzgün dağıtılmış küçük kabarcıklar daha yumuşak köpüklere neden olacaktır. Köpükler hava-sıvı arayüzünde birikir ve çoğalır, ancak doğal olarak dengesizdir. Çünkü yüzey gerilimi köpük oluşumu için gerekli kuvvetlere karşı hareket eder ve böylece köpüğün çökmesine neden olur (Hardy ve Jideani, 2017). Proteinler ve yüzey aktif maddeler, köpük dokusunu etkileyen ve köpüklerin stabilitesini korumaya veya iyileştirmeye yardımcı olan diğer faktörlerdir. Yüzey aktif maddeler, kabarcık duvarlarının (lamel) daha ince bölgelerine karşı bir gradyan oluşturarak hızla göç ederken, proteinler elektrostatik ya da hidrofobik kuvvetler, hidrojen bağları ya da kovalent bağlar vasıtası ile lamel ile ara-yüzeye bağlanarak daha fazla etkileşime girmektedir. Bu etkileşimler, gerilime dayanıklı ve viskoelastik filmlerin oluşumuna yol açmaktadır. Proteinler, serbest molekül bulunmayacak şekilde birbirleriyle etkileşime girerler ve böylece köpük oluşumu gerçekleşir (Blasco ve diğ., 2011; Hardy ve Jideani, 2017). Köpüğün oluşumu, köpürtülmekte olan sıvının özellikleri, köpürtme yöntemi ve köpürtme koşulu gibi birçok parametreye bağlıdır (Indrawati ve diğ. 2008). Köpük yapısının temsili diyagramı Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2 : Köpük yapısının temsili diyagramı (Qadri ve diğ., 2019).

Lameller birbirleriyle plato sınırı denilen bir noktada buluşurlar. Lamelin mekanik mukavemeti, hava/su arayüz özellikleri ile birlikte köpüğün stabilitesini belirler. Köpük yapmak için viskoz sıvılar kullanılırsa, genellikle daha kararlı köpükler üretir. Bu, lamelin artan elastikiyetinden kaynaklanmaktadır. Arayüzün eğriliği nedeniyle, plato sınırındaki basınç kabarcıktaki basınçtan daha düşüktür (Dickinson, 1992; Mounir, 2018).

2.3 Çeşitli Köpük Oluşturma Yöntemleri

Sulu sıvıların köpüklülüğü, sıvının içinden geçirilen hava kabarcığı ile veya herhangi bir karıştırma yöntemi kullanılarak oluşturulabilecek köpük hacmi ile karakterize edilir (Eisner ve diğ., 2006). Köpük oluşturma sınıflandırmalarından biri statik yöntemdir. Köpük oluşturma en yaygın statik yöntemleri çırpma, çalkalama ve gaz verme (kabarcık oluşturma) olarak bilinir (Hardy ve Jideani, 2017).

2.3.1 Çırpma

Bu yöntem, sıvıya gazın standart bir şekilde dahil edilmesi için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Çırpma işleminde, bir sıvıyı gaz fazı ile temas haline getirmek için, vortex karıştırıcı, blender ve homojenizatör gibi çeşitli cihazlar kullanılabilir. Bu cihazlar, meyve, sebze, sıvılar, fırıncılık malzemeleri, kahve ve çay gibi çeşitli gıda malzemelerini karıştırabilir. Köpüğe dahil edilen hava miktarı genellikle çırpma yoğunluğunun artmasıyla birlikte artar. Ancak yüksek viskoziteli sıvıların çırpılması kararsız köpük oluşumuna yol açar. Her hava kabarcığı çırpma işlemi boyunca ciddi mekanik streslere maruz kalır. Bu nedenle köpük oluşumu sırasında duran bir köpüğe göre daha hızlı bir birleşme gerçekleşir. Köpük oluşumu mekanizması sırasında nihai köpük hacmi, mekanik hava kabarcığı oluşumu ve kabarcıkların yok edilmesi arasında dinamik bir dengeyi yansıtır. Mekanik stres ayrıca daha büyük hava kabarcıklarının daha küçük olanlara dönüşmesine yol açar. Çırpma yöntemiyle köpük oluşturma, yiyecek endüstrisinde krema, hazır tatlı ve sos üretimi için kullanılır (Arzhavitina ve Steckel, 2010; Singh Brar, 2018).

2.3.2 Çalkalama

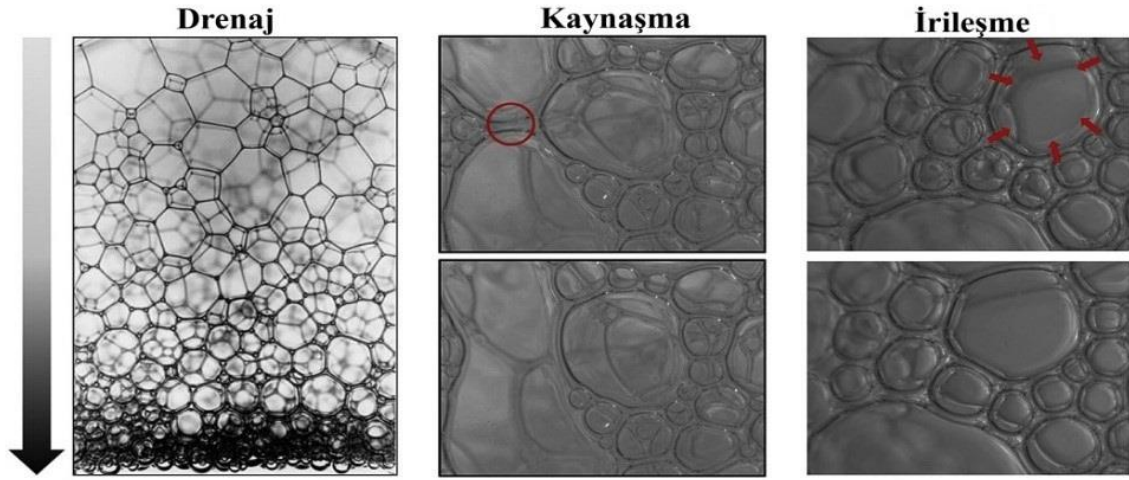
Bir çözeltiye hava kabarcıklarının dahil edildiği hız, çalkalama frekansı ve amplitüdü, konteynerin hacmi ve şekli, sıvının hacmi ve viskozitesine bağlıdır. Bu yöntemle yalnızca uzun oluşum süresiyle düşük köpük hacimleri elde edilebilir. Bu yöntem nadiren kullanılır. (Arzhavitina ve Steckel, 2010).

2.3.3 Gaz verme (Kabarcık oluşturma)

Gaz verme yöntemiyle, gazın dar açıklıklardan enjeksiyonuyla köpükler oluşturulur. Bu yöntem tekrarlanabilir ve homojen kabarcık boyutları sağlar. Bu yöntemle üretilen köpük hacmi, kullanılan çözeltideki toplam köpürme ajanı miktarına bağlıdır (Arzhavitina ve Steckel, 2010).

2.4 Köpük Stabilitesi

Köpük oluşturma sürecinde, köpüğün kurutma süresi boyunca stabil olarak kalabilmesi önemlidir. Sönmeden stabil kalmayan köpükler, evaporasyon yüzey alanını azaltarak kuruma hızını düşürür. Köpüğün stabilitesi, kurutmanın başarısı ve son ürün kalitesi açısından önemli bir rol oynar. Bu nedenle, köpük oluşturulan süreçte stabiliteyi sürdürmek önemlidir (Çınar ve Erafşar, 2018). Köpük stabilitesi, bir dizi faktöre bağlıdır. Gıdanın özellikleri, kullanılan stabilizörün cinsi ve konsantrasyonu, köpüklendirme koşulları (çırpma süresi ve hızı), kremleşme, birleşme ve drenaj gibi faktörler stabilite üzerinde etkilidir. Ayrıca, kurutma sıcaklığı da köpük stabilitesini etkileyen önemli bir faktördür. Köpüğün mekanik ve termal dayanıklılığı, köpük kurutma işleminde başarılı bir şekilde kullanılabilmesi için önemlidir. Stabil köpükler uygun köpük oluşturunca ve stabilizatörler kullanılarak elde edilir. Köpük, destekleyici ızgaranın açıklıklarından akacak kadar sert olmalıdır. Lamellanın mekanik dayanıklılığı, köpüğün kararlılığını belirlerken, hava/su arayüzü özellikleri de önemlidir. Viskoz sıvılar kullanılarak yapılan köpükler daha elastik olabileceği için kararlı köpükler oluşturulabilir. Köpüklerin kararlılığı, sürekli fazın drenajı, yoğunluk değişimi ve belirli bir zaman aralığında kabarcık boyutunun değişimi gibi birçok özelliklerle belirlenebilir. Drenaj yöntemi, köpüğün belirli bir süre boyunca yüksekliğini veya köpük oluşma süresinden itibaren belirli bir süre boyunca köpükten sıvı drenajını ölçerek köpük kararlılığının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılır. Köpük hacmindeki değişiklik, köpük kararlılığı için bir gösterge olarak kullanılır (Rajkumar ve Kailappan, 2006; Mounir, 2018). Protein polipeptitlerinin polar yan zincirleri, köpük lamelindeki su molekülleri ile etkileşime girdiğinde köpükten suyun drenajını azaltılabilir. Köpük stabilitesi, film kalınlığı, mekanik dayanıklılık, protein-protein etkileşimi ve pH gibi çevresel faktörlerden etkilenir. Daha kalın filmlerde daha yüksek stabilite gözlenir çünkü bu filmler, daha iyi mekanik dayanıklılığa ve tekstürel özelliklere sahiptir (Darniadi, 2017). Köpüklerin stabilitesini kaybetmesinden sorumlu üç ana mekanizma Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3 : Köpüklerin stabilitesini kaybetmesinden sorumlu üç ana mekanizma (Aris ve diğ, 2017).

2.5 Köpürtücü Ajanlar

Köpürtücü ajan, iki sıvı arasındaki veya bir sıvı ile bir katı arasındaki yüzey gerilimini azaltan ve köpük oluşumunu kolaylaştıran bir yüzey aktif maddedir. İyi bir köpürtücü ajan, hava-su arayüzünde kolayca adsorbe edebilmeli, ara yüzey gerilimini azaltabilmeli, arayüzde açılan proteinler arasında karşılıklı olarak etkileşime girebilmeli ve termal ve mekanik etkilere dayanabilen güçlü yapışkan ve viskoelastik bir film oluşturabilmelidir. Proteinler, hidrofobiklikleri ve olası konformasyonel düzenlemeleri sayesinde iyi köpürme ve yüksek köpük stabilitesi sağlamaktadırlar. Bu durum da hava-su ara yüzeyine adsorbe olmalarına ve tutarlı, elastik bir tabaka oluşturmalarına olanak sağlamaktadır. En yaygın kullanılan protein köpürtücü ajanlar; yumurta akı, jelatin, kazein, peynir altı suyu proteini ve soya proteini. Protein köpürtücü ajanlar, köpükleri düşük konsantrasyonlarda etkili ve hızlı bir şekilde stabilize etmeli, çeşitli gıdalarda bulunan pH aralığında etkili bir performans sergilemeli, yağ, alkol ve aroma maddeleri gibi köpük inhibitörleri ile verimli bir şekilde çalışmalıdır (Zayas,1997; Dickinson, 1998; Sangamithra ve diğ, 2015a). Köpük oluşturan maddeler, yüzey aktif proteinler, polisakkaritler ve küçük moleküllü yüzey aktif maddeleri içerir. Köpürme kapasitesine sahip maddeler yüzey aktif özelliğe sahiptir. Genel olarak, bu polimer iskeletleri ya birkaç hidrofobik grup (metil) ya da hidrofilik grup (hidroksipropil) ile bağlanmıştır. Hidrofobik grupların itici etkisi, polimerin hidrofobik segmentlerinin gaz-sıvı arayüzüne hareket etmesine ve yüzey gerilimini azaltmasına neden olur. Hidrofilik gruplar ise diğer hidrofilik segmentleri su fazına doğru hareket ettirerek moleküller yeniden düzenlemeleri tetiklerler (Zhu, 2021).

2.5.1 Yumurta albümini

Köpük kabiliyeti ve köpük stabilitesi, yumurta albümininin en önemli işlevlerinden biridir. Bu özellikleri sayesinde birçok gıda prosesinde kullanılmaktadır. Yumurta albümininin deki proteinler, köpüğü stabilize etmek için sürekli ve dispersiyon fazı arasında amfifilik (hem hidrofilik hem de lipofilik olarak davranan) emülgatörler olarak işlev görür. Bununla birlikte, köpükleme için ticari olarak temin edilebilen yumurta albümininin kullanılması, yeterli performans için sınırlı pH ve iyonik mukavemet çeşitliliği gibi birkaç dezavantaj oluşturmaktadır. Bununla birlikte yumurta albüminlerinin köpürme yeteneklerindeki değişkenlik başka bir kısıtlamadır. Bu nedenle, yumurta beyazının köpürme özelliklerini iyileştirebilecek teknolojilere yumurta endüstrisinde büyük bir ihtiyaç vardır (Mleko, 2007; Hardy ve Jideani, 2017). Protein bazlı köpüklerin kalitesi büyük ölçüde emülsifiyerlerin konformasyonel özelliklerine bağlıdır. Genel olarak, proteinin iyi köpükler oluşturabilmesi için yüzeyinde hem hidrofobik hem de hidrofilik grupları olan açık bir yapı ve iyi bir esnekliğe ihtiyaç vardır. Yumurta beyazı karmaşık bir yapıya sahiptir ve yaklaşık 40 farklı proteini içerir. Ovalbumin, globulinler ve ovomukoid, çırpılmış yumurta beyazının köpürmesinde önemli rol oynayan başlıca proteinlerdir. Teorik olarak, bu globüler proteinlerin kısmi açılması, yüzeyde daha fazla hidrofobik grupların ortaya çıkmasını ve amfifilik özelliklerinin ve esnekliklerinin artmasını sağlayarak, köpürme özelliklerini iyileştirilebilir (Mleko, 2007). Yumurta beyazı ısınma ve pıhtılaşma sürecinde sürekli bir protein-ağ, hapsedilmiş-su sistemi oluşturur. Yumurta beyazı, en yaygın kullanılan köpürtücü ajanıdır ve benzersiz protein kombinasyonları sayesinde ısıya karşı stabil büyük hacimli köpükler oluşturur. Yumurta beyazının yüksek köpürebilme kabiliyeti (FC), farklı fiziksel özelliklere sahip proteinlerin benzersiz bir kombinasyonunu yansıtır. Yumurta albümini, protein-protein etkileşimlerinin köpürme sırasında meydana geldiği heterojen bir protein sistemidir. Yumurta köpüğü oluşumunun mekanizması, albümin proteinlerinin sıvı-hava arayüzünde yüzey denatürasyonunu içerir ve köpük stabilitesi albüminin çözünmezliği ile ilişkilidir. Albüminin köpükte temel işlevi, büyük bir gaz hacminin uzun süre tutulmasıdır. Bununla birlikte, albüminin köpürebilme kabiliyeti benzersiz değildir. Çünkü çoğu proteinin köpürme özellikleri vardır. Doğal albümin, hava-su arayüzüne göç edebilen suda çözünebilir, yüzey-aktif proteinleri içerir (Zayas, 1997).

2.5.2 Peynir altı suyu proteini

Peynir altı suyu proteini süt endüstrisinden elde edilir ve peynir yapım sürecinin bir yan ürünüdür. Peynir altı suyu proteini emülgatör ve beyazlatıcı bir ajan olarak kullanılabilecek potansiyel bir fonksiyonel protein kaynağıdır (Kinsella ve Whitehead, 1989). Peynir altı suyu protein konsantresi (WPC), nihai kuru ürün >%25 protein içermesi için pastörize peynir altı suyundan yeterli miktarda protein olmayan bileşenlerin uzaklaştırılması ile elde edilen maddedir. WPC düşük protein WPC (%25-45), orta protein WPC (%45-60) ve yüksek protein WPC (%60-80) olarak ayırt edilebilir (Sangamithra ve di , 2015a). WPC daha ileri işlenir ve peynir altı suyu protein izolatu (WPI; %90) olarak daha da safla tırılabilir. WPI'nin suda çok iyi     nmesi ve yüzey hidrofobikli i, WPI'nin daha iyi bir köpük oluşturma kabiliyetini açıklamaktadır (Abirached ve di , 2012, Sangamithra ve di , 2015a) Peyniraltı suyu proteinleri, gıda emülsiyonları ve köpüklerin oluşumu ve stabilizasyonu için yaygın olarak kullanılan "etiket dostu" bileşenlerdir. Peyniraltı suyu proteinlerinin emülsifiye edici veya köpürtücü ajanı olarak hizmet etme yetenekleri, su-ya  veya su-hava arayüzlerine adsorbe olma ve damlacık birleşmesini  nleme yeteneklerine bağlıdır (Firebaugh, 2006). Proteinlerin köpürebilme kapasitesi, yüzey geriliminin azalma hızı ve film oluşma hızı ile ilişkilidir. Ancak köpük stabilitesi, filmin doğası ve dayanıklılı ına çok bağlıdır ve film matrisi içindeki protein-protein etkileşimlerinin derecesini yansıtır. Bu nedenle,  -kazein gibi esnek proteinler yüzey gerilimini çok hızlı bir şekilde azaltabilir ve kısa sürede büyük bir hacim artışına olanak sağlayabilir, ancak düşük kesme direnci nedeniyle köpük nispeten kararsız olabilir ve sınırlı etkileşimleri yansıtabilir. Bovine serum albümini (BSA) ve p-kazeinin film oluşturma davranışı ile köpürme özellikleri farklılık göstermektedir.   -kazein yüksek yüzey aktif özelliği nedeniyle hızla köpük oluşturur. Ancak sınırlı protein-protein etkileşimleri nedeniyle köpükler kolayca   ker. Buna karşılık, BSA gibi küresel proteinler, arayüzde önemli bir üçüncül yapıyı korudukları için daha kapsamlı moleküler a  oluşumu nedeniyle stabil köpükler oluşturur (Kinsella, 1989).

2.5.3 Soya proteini

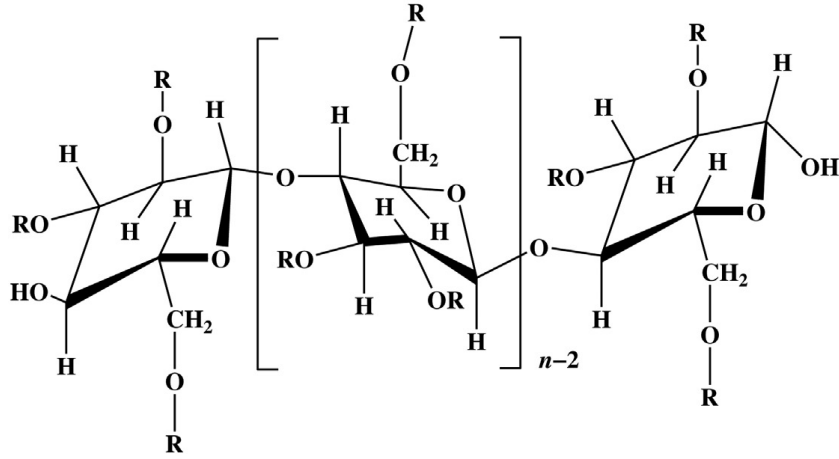
Soya proteini, kabuğu soyulmuş ve ya ından arındırılmış soya fasulyesinden yapılan bir proteindir. Soya proteini izolatu (SPI), minimum %90 protein içeriğine sahip, yüksek oranda rafine edilmiş veya safla tırılmı  bir soya proteini formudur. SPI ile ilişkili fonksiyonel özellikler, jelleşme, emülsifikasyon, viskozite, su ba lama, da ılabilirlik ve köpürme veya çırpma özellikleridir (Daniel 2004, Sangamithra ve di , 2015a).

Soya proteinleri, işlevsel ve besleyici özellikleri nedeniyle birçok gıdada geniş çapta kullanılan bileşenlerdir. Ancak, doğal soya proteininin kompakt üçüncül yapısı nedeniyle köpürme ve emülsifiye etme özellikleri sınırlıdır. Proteinin konformasyonel esnekliğini artıracak yapısal değişiklikler, köpüklerin ve emülsiyonların stabilize edebilme yeteneklerini iyileştirebilir. Birçok çalışma, soya proteinlerinin enzimatik hidrolizinin, çözünürlük, emülsifiye etme ve köpürtme gibi işlevsel özelliklerini iyileştirdiğini göstermiştir. Hidroliz derecesi arttıkça daha düşük moleküler kütleli protein fraksiyonunun artması, moleküllerin sıvı arayüzeylere (hava-su ve yağ-su) daha hızlı yayılması nedeniyle köpük ve emülsiyon oluşumunu teşvik edebilmektedir (Martinez ve diğ, 2009).

2.5.4 Hidroksipropil metil selüloz (HPMC)

HPMC, selüloz halkasında bulunan üç hidroksil grubundan bir veya daha fazlasının hidroksil grupları ile yer değiştirdiği selüloz eterleri grubuna aittir (Şekil 2.4). HPMC, hidrofilik (suda çözünebilir), biyolojik olarak parçalanabilen ve biyoyumluluğu olan bir polimerdir. HPMC, ilaç taşıyıcı sistemler, boya ve vernik, kozmetik ürünler, yapıştırıcılar, kaplamalar, tarım ve tekstil ürünleri gibi geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. HPMC ayrıca polar organik çözücülerde çözünebilir, bu da hem sulu hem de sulu olmayan çözücülerin kullanılmasını mümkün kılar. HPMC, sıcak ve soğuk organik çözücülerde çözünme özelliklerine sahiptir. Diğer metil selüloz benzerlerine göre artmış organo-çözünebilirlik ve termoplastisiteye sahiptir. Isıtıldığında jel oluşturur ve jelleşme sıcaklığı 75-90 °C arasındadır (Deshmuk ve diğ 2017).

Yapıya dayalı olarak işlevsellik, yüzey aktivitesi, termo-ters dönüşümlü jel oluşturma yeteneği, etkili kalınlaştırma ve film oluşturma yeteneği gibi dört önemli özelliğe dayanır. Örneğin, HPMC, ilaç endüstrisinde kontrollü ilaç salım matrislerinde ve gıda endüstrisinde pişmiş ürünlerin iyileştirilmesinde kullanılır. HPMC'nin yüzey aktivitesi, hidroksipropil gruplarının hidrofilik, metil gruplarının ise hidrofobik olduğu ve selüloz omurgası boyunca hidrofobik bölgeler oluşturduğu gerçeğinden kaynaklanmaktadır (Berg ve diğ, 2015).



Şekil 2.4 : HPMC'nin kimyasal yapısı (Deshmuk ve diğ 2017).

2.6 Köpük Stabilizörleri

Köpük stabilitesi, köpük kurutmanın başarısı için önemli bir faktördür. Köpük, kurutma süreci boyunca bütünlüğünü korumalıdır. En önemlisi, köpüğün ısıya karşı dayanıklı olması ve kurutmanın sabit oran dönemi boyunca en azından yapısını sürdürebilmesidir. İlk stabilite çok önemlidir. Çünkü yapıdaki herhangi bir çöküş, köpük kurutma kavramının başarısız olmasına neden olabilir. Köpük, kurutmanın ilk aşamasını atlattığı takdirde, kurutma ilerledikçe nemin uzaklaştırılmasıyla yapısı daha sert hale gelir ve sonunda bal peteği yapısına sahip ince ve kuru bir levha oluşur (Qadri ve diğ, 2019).

Köpük stabilizatörleri, üretim, depolama ve kullanım sırasında karşılaşılan çeşitli koşullara maruz kaldığında bir ürünün birliğini veya tutarlılığını artıran bileşenlerdir. Tipik köpük stabilizatörleri; gamlar, nişastalar, pektinler ve jelatin gibi kalınlaştırıcı veya jelleştirici maddelerdir. Bu maddeler, ya sürekli fazın viskozitesini artırarak ya da köpük içindeki bileşenlerin hareketini geciktiren üç boyutlu bir ağ oluşturarak etki ederler. Glikoz, sakkaroz ve laktoz, sürekli fazın viskozitesini artırarak yüksek konsantrasyonda stabil köpükler oluşturan düşük moleküler ağırlıklı şekerlerdir. Gamlar, bakteri ve bitkiler gibi çeşitli kaynaklardan elde edilen suyla çözünebilir yüksek moleküler ağırlıklı polisakkaritlerdir. Gamların bileşimi, yapısı ve moleküler ağırlığındaki farklılıklar, her birinin farklı gıda uygulamaları için uygun özelliklerle donatılmasını sağlar. Belirli bir işlenmiş gıda için gam seçimi, diğer gıda bileşenleriyle etkileşim yeteneğine bağlıdır (Walsh, 2008). Karboksimetil selüloz (CMC) veya selüloz gamı, birçok araştırmacı tarafından kullanılan en yaygın köpük stabilizördür (Sangamithra ve diğ, 2015a). Köpüren ajanların ve köpük stabilizatörlerinin rolü farklı olmasına rağmen, araştırmacıların bu terimleri birbirinin yerine kullanabilecekleri ve iki kategoriden herhangi birinde farklı katkı maddeleri kategorize ettikleri birçok örnek

vardır. Karboksimetil selülozun bazı araştırmacılar tarafından köpük oluşturuucu madde olarak sınıflandırılmasına rağmen diğer araştırmacılar köpük stabilizörü olarak sınıflandırıldığını bildirmektedir (Qadri ve diğ, 2019).

2.6.1 Metil selüloz ve Karboksimetil selüloz

Selüloz, glukozil birimleri içeren doğrusal, dallanmamış bir polisakkarittir. Selüloz molekülleri, yüksek oranda çözünmeyen ve su geçirimsiz fibröz kristalimsi demetler oluşturmak üzere birleşebilirler. Selüloz ticari olarak odun hamuru ve pamuk linterlerinden elde edilir. Pamuk linterleri, uzun lifler çıkarıldıktan sonra pamuk tohumu üzerinde kalan kısa liflerdir. Pamuk lifleri %98 selüloz içerir. Ahşaplar ise %40-50 selüloz, %30 hemiselüloz ve %20 lignin içermektedir (Manthey ve Xu, 2009). Metil selüloz yüksek derecede saflaştırılmış selüloz formlarından (%99'dan fazla α -selüloz) türetilir ve selülozun metil klorür ile reaksiyona sokulmasıyla elde edilir. Metil selüloz popüler bir gıda katkı maddesidir ve gıda işleme endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Manthey ve Xu, 2009). Toz halindeki selülozun kullanımı ağızda zayıflık hissi vermesi nedeniyle sınırlıdır. Toz halinde selüloz, köpük dengesine yardımcı olmak için kek hamurlarında kullanılır. Yağları azaltmak ve kızarmış yiyeceklerin nem içeriğini arttırmak için de kullanılabilir. Selüloz, suyla oluşturduğu güçlü hidrojen bağından dolayı kızartma sırasında yağın su hareketini sınırlar (Manthey ve Xu, 2009). Sıcaklık ve pH, toz halindeki selülozun su tutma oranını önemli ölçüde etkilemez. Metil selüloz, elektrik yükü olmayan (suyun sertliğinden etkilenmeyen) iyonik olmayan, aktif moleküllerdir, ancak hem hidrofilik hem de hidrofobik grupları içerdiği için bir emülgatör olarak işlev görebilmektedir. Metil selüloz, düşük yağda ve yağlı salata soslarında emülgatör ve stabilizatör olarak işlev görür ve yağ emilimini azaltmak için kızarmış yiyeceklere uygulanabilir. Metil selüloz, unlu mamullerde pasta dolgularının kaynatılmasını önlemek ve pişirme sırasında gazın tutulmasına yardımcı olmak için kullanılır. Metil selüloz, moleküller arası hidrojen bağlanmasını stabilize eden oldukça süstitüe edilmiş bölgeler arasındaki hidrofobik etkileşimler nedeniyle yüksek sıcaklıklarda jel oluşturabilir (Yıldız, 2010, Hardy ve Jideani, 2017). Karboksimetil selüloz, çok viskoz çözeltiler oluşturma yeteneğine sahip, anyonik, suda çözünebilir bir polimerdir. Karboksimetil selüloz, bazik koşullarda çözünürken asidik koşullarda çözünmez. Kalınlaştırıcı ve stabilizatör olarak kullanılır. Karboksimetil selüloz, dondurulmuş tatlılarda ve yumuşak servis dondurması üretiminde buz kristallerinin büyümesini engeller. Ayrıca gaz kabarcıklarını stabilize ederek fırında ekmek hacmini artırmak için de kullanılmaktadır (Manthey ve Xu, 2009).

2.6.2 Gam Arabik (GA)

Gam Arabik (GA), çeşitli uygulamaları bilinen en eski sakız türüdür ve 5000 yılı aşkın bir süredir kullanılmaktadır. Bu sakız, özellikle Afrika ve Asya'nın kuru ve yarı-kurak bölgelerinde yetişen Akasya türlerinden elde edilmektedir ve Sudan, dünyanın önde gelen GA üretici ve ihracatçısıdır. GA, potasyum, magnezyum ve kalsiyum tuzlarının karışımından oluşur ve su içinde kolayca çözülebilir. Benzersiz bir biyokimyasal yapıya ve özelliklere sahip olduğu için stabilizatör, emülsifiyer, dolgu maddesi, koyulaştırıcı, taşıyıcı, parlaklık verici ve sertleştirici madde, nemlendirici ve antioksidan olarak kullanılır. GA, biyo uyumludur ve biyolojik olarak parçalanabilir, aynı zamanda kaynağı yenilenebilir bir maddedir (Prasad ve dig, 2022). GA'nın temel yapısı, 1,3 bağlı β -D-galaktozpiroznosil birimlerinden oluşur. Yan zincirler, temel zincire 1,6 bağlarıyla bağlanan iki ila beş adet 1,3 bağlı β -D-galaktozpiroznosil biriminden oluşur. Nem içeriği, sakızın sertliğini belirler; genel nem içeriği, GA için uluslararası belirtilen aralıkta (%13-15) olmalıdır. GA'nın protein içeriği %1.5-3.0 arasında değişmektedir. GA'da bulunan temel amino asitler çoğunlukla hidroksiprolin, serin, aspartik asit, treonin ve prolindir. GA'nın kimyasal bileşimi ve özelliklerindeki farklılık genellikle genotipik farklılıklar, yaş, iklim koşulları, toprak ve bitki patojenleri kaynaklıdır (Mariod, 2018).

2.7 Kurutma

Su, gıdalarda en yaygın bulunan madde olup, gıdanın saklanabilirliği ve organoleptik özellikleri üzerinde en fazla etkiye sahip bir bileşen olup gıdadan uzaklaştırılması en pahalı olan maddedir. Tarihsel olarak, gıda maddesi nem içeriği azaltılarak daha uzun süre korunabilmiştir. Kuru bir gıda ürünü, bakteri, küf ve böceklerin çoğalmasından kaynaklanan bozulmaya daha az duyarlıdır. Dehidrasyon, bir gıdanın lezzetini, sindirilebilirliğini, renk, tat ve görünümünü iyileştirebilir (Jayas, 2016). Kurutma, gıda koruma yöntemlerinin en eski olanlarından biridir. Binlerce yıllık deneyim ve deneme-yanılma yöntemleri, son yüzyılda yapılan araştırmalarla birlikte çeşitli kurutma yöntemlerinin ve kurutma ekipmanlarının geliştirilmesine yol açmıştır. Sıcak hava ile kurutmanın gıda kalitesi üzerindeki etkisi iyi bilinmesine rağmen, suyun uzaklaştırılması nedeniyle meydana getirdiği süreçlerin ve malzeme özelliklerini olumsuz etkileyen etkilerin anlaşılması sınırlıdır. Bunun nedeni, yüksek sıcaklıkta suyun buharlaşmasıyla gıdada kimyasal, fiziksel ve biyolojik değişiklikler meydana gelmesidir. Bu değişiklikler aynı anda veya sırayla gerçekleşebilir; yani bazıları ilerlerken diğerleri henüz başlamaktadır. Su

buharlaşmasıyla malzemenin katı matrisi kurutulur ve kalan çözeltideki çözünenlerin konsantrasyonu artar. Redoks potansiyeli, pH ve çözünürlük değişiklikleri biyopolimerlerin yapısını ve işlevselliğini etkileyebilir. Kurutmanın son aşamalarında faz geçişleri gerçekleşebilir. Artan çözünenlerin konsantrasyonu, reaktiflerin ve katalizörlerin daha yüksek konsantrasyonu nedeniyle kimyasal ve enzimatik reaksiyonları teşvik edebilmektedir. Kurutulan ürünlerden uzaklaştırılan su, en azından kısmen, havayla değiştirilir ve oksijenle temas önemli ölçüde artar. Kuruyan ürünlerin en belirgin eksiklikleri, büzülme ve şekil bozuklukları, doğal renkte solma veya renk değişimi, azalan lezzet ve hoş olmayan doku gibi görünmektedir. Dahası, düşük rehidrasyon yeteneği ve azalan besleyici kalite, kurutmanın gıda üzerindeki dezavantajlı etkisini de ortaya koymaktadır. Kurutmanın gıda kalitesi üzerindeki olumsuz etkisinin yanı sıra, artan raf ömrü, azalan ambalaj maliyeti, daha düşük nakliye ağırlıkları ve çevresel avantajları nedeniyle birçok gıda endüstrisinin vazgeçilmez bir işlemidir. Dahası, uygun şekilde kullanılan kurutma, diğer teknolojik işlemlerle elde edilemeyen benzersiz özelliklere yol açabilir. Bugünün tüketicilerinin daha iyi kalite, güvenlik ve besin değeri beklentisi, kurutma teknolojilerinin araştırılması ve geliştirilmesini tetikleyen önemli bir faktördür. Kurutmanın gıda kalitesi üzerindeki olumsuz etkisini azaltmanın veya nihai ürünün tipik özelliklerini oluşturmada belki de en önemli yolu, süreci dikkatlice tasarlamak ve bilinçli bir şekilde uygulamaktır (Lewicki, 2006). Et, balık ve bitkisel gıdaların güneşte veya doğal olarak kuru havada, çöllerde ve dağlarda kurutularak korunması, tarih öncesi dönemlerden bu yana uygulanan bir yöntem olup, hâlâ birçok kırsal toplumun hayatında önemli bir işlemdir. Kurutma veya dehidrasyon, tanımı gereği, bir katı veya sıvı gıdadan suyun buharlaşması yoluyla suyun uzaklaştırılması işlemidir. İşlemin amacı, su içeriği yeterince düşük olan bir katı ürün elde etmektir.

Gıda kurutmanın temel teknolojik hedefleri şunlardır:

- Su aktivitesinin düşmesi sonucunda koruma sağlamak
- Ağırlık ve hacmin azaltılması
- Bir gıdayı depolamak, paketlemek, taşımak ve kullanmak için daha uygun bir forma dönüştürmek, örneğin sıvıları (süt veya kahve özü gibi) su eklenerek tekrar orijinal formuna getirilebilen kuru bir toza dönüştürmek (instant ürünler)
- Bir gıda ürününe farklı bir istenen özellik kazandırmak, örneğin farklı bir lezzet, çıtır çıtır bir doku, çignenebilirlik vb. sağlamak, yani yeni bir gıda yaratmak (örneğin üzümün kuru üzüme dönüştürülmesi) (Berk, 2008).

2.7.1 Dondurarak kurutma

Dondurarak kurutma işlemi, dondurma aşaması, birincil kurutma aşaması ve ikincil kurutma aşamalarını içeren bir yöntemdir. Bu yöntemin prensibi, ürünün -10 °C veya daha düşük bir sıcaklıkta dondurulması ve daha sonra, dondurulmuş gıda maddesinin 2 mm Hg veya daha düşük basınç aralığında vakum işlemine tabi tutulmasıdır (Liapis ve Bruttini, 2006).

Dondurarak kurutma yöntemi, su veya başka bir çözücünün, malzemenin dondurulmuş halinden sublimasyon yoluyla buhar olarak uzaklaştırılmasıyla gerçekleşen bir kurutma işlemidir. Dondurarak kurutma, yüzeydeki donmuş maddenin sağladığı yapısal rijitlik nedeniyle genellikle en yüksek kalitede gıda ürünlerini elde etmek için kullanılan bir yöntemdir. Kurutma sürecinde, su veya çözücü direkt olarak sıvı fazdan gaz fazına geçer. Bu işlem düşük sıcaklık ve vakum altında gerçekleşen bir süreçtir. Dondurarak kurutma yöntemi, gıda ve biyolojik malzemelerin kalite kaybını en aza indirmek için etkili bir yöntemdir. Dondurma aşamasında malzemenin yapısı korunur ve suyun doğrudan sıvı fazdan gaz fazına geçmesi nedeniyle sıvı fazdaki moleküler etkileşimler minimumda tutulur. Bu durum, tat, aroma ve besin değeri kayıplarını önlemektedir. Dondurarak kurutma, yüksek kalitede kurutulmuş ürün elde etmek için etkili bir yöntem olmasına rağmen, maliyetli bir işlemdir. Yavaş kuruma hızı ve vakum kullanımı, işleme maliyetini artırır. Bununla birlikte, dondurarak kurutma, gıdaların uzun süre depolanabilmesi, hafif ağırlıkta ve kolay taşınabilir bir ürün elde edilmesi gibi avantajları nedeniyle tercih edilen bir yöntemdir (Liapis ve Bruttini, 2006).

2.7.2 Püskürtmeli kurutma

Püskürtmeli kurutma işlemi, pompalanabilir sıvı beslemeyi tek bir adımda kurutulmuş bir ürüne dönüştüren son derece verimli bir yöntemdir. Ürün tek bileşenli bir ürün veya daha karmaşık bir gıda maddesi olabilir. Besleme, çözelti, süspansiyon veya macun olabilir. Püskürtmeli kurutma, gıdaların dehidrasyonu için iyi bilinen ve uygun bir yöntemdir (Xin ve Mujumdar, 2009). Sıvı, genellikle hava olmak üzere sıcak kurutma ortamının bir akışıyla hemen temas eden bir püskürtme çarkı veya nozul kullanılarak atomize edilir. Sonuç olarak, hızlı buharlaşma, ürünü etkilemeden yüksek kurutma hava sıcaklıklarının uygulanmasına olanak tanıyacak düşük bir damlacık sıcaklığı sağlar. Damlacıkların kurutma süresi, diğer birçok kurutma işlemine kıyasla çok daha kısa sürede olur. Düşük ürün sıcaklığı ve kısa kurutma süresi, yüksek ısıya hassas ürünlerin püskürtme kurutma yöntemiyle kurutulmasına olanak sağlar (Filkova ve Mujumdar, 2006). Genellikle içecekler, kahve, süt ve yoğurt gibi

sıvı ve yarı katı yiyecekler için uygundur (Hardy ve Jideani, 2017). Su içeriğini azaltarak yapılan işlem püskürtülerek kurutulmuş gıdaların mikrobiyal bozulmasını en aza indirmeye, lipid oksidasyonunu azaltma ve orijinal emülsiyon yapısını koruma gibi bazı avantajlar sağlar (Gaiani ve diğ, 2010). Püskürtmeli kurutmanın en büyük dezavantajlarından biri, işlem sırasında uygulanan yüksek sıcaklık nedeniyle ısıya dayanıklı olmayan hassas bileşenler ve bazı uçucu maddelerde kayıplara neden olabilmektedir. Yoğurdun püskürtmeli kurutucu ile kurutulduğu bir çalışmada, püskürtmeli kurutma yönteminin, kararlı ve fonksiyonel ürünlerin hazırlanmasına izin verdiği belirlenmiştir. Bununla birlikte, yoğurdun aroma bileşiklerinin ve reolojik özelliklerinin çoğunun, püskürtmeli kurutma işlemi sırasında muhafaza edilmediği bildirilmiştir (Kumar ve Mishra, 2004). Püskürtmeli kurutucu ile kurutulmuş ürünler depolama stabilitesini artırır, paketleme gereksinimlerini en aza indirir ve nakliye ağırlıklarını azaltarak daha az depola alanı, taşıma maliyeti ve böylece malzemenin daha kolay taşınmasını sağladığı bildirilmektedir (Hardy ve Jideani, 2017). Püskürtmeli kurutma maliyeti doğrudan enerji kullanımı ile bağlantılıdır. Püskürtmeli kurutma yoğun enerji gerektiren bir işlemidir, çünkü kısa sürede buharlaşmanın sağlanabilmesi için belirli bir ısı gereksinimine ihtiyaç vardır. Püskürtmeli kurutma işleminde, kurutma haznesindeki sıcaklık değişimleri, ısıya hassas gıda maddeleri kurutulduğu zaman nispeten düşüktür. Kaliteli bir ürün elde edebilmek için yüksek giriş havası sıcaklığı ve düşük çıkış havası sıcaklığı ve kullanımı uygun görülmemektedir. Çıkış havası nedeniyle, bir miktar ısı kaybı olabilmektedir. Bu durum sistemin zayıf toz toplaması nedeniyle kuru ürünün kaybına yol açmaktadır. Bununla birlikte, bu zorlukların üstesinden gelmek ve enerji tasarrufunu teşvik etmek için, kurutma öncesi gıdadan suyun uzaklaştırılması için ön ısıtma işlemleri yapıldığında büyük enerji tasarrufu sağlamaktadır (Filikova ve Mujumdar, 2006; Hardy ve Jideani, 2017). Püskürtmeli kurutma işlemi sırasında, meyve sularında bulunan sakkaroz, glikoz ve fruktoz gibi düşük moleküllü şekerler yapışma sorununu ortaya çıkarmaktadır. Yapışkanlık probleminin temel nedeni, meyvelerin doğal yapısında bulunan şekerlerin düşük bir camsı geçiş sıcaklığına sahip olmasıdır. Şekerlerin camsı geçiş sıcaklığı düştüğünde, üründe yapışkanlık artmaktadır (Vega ve diğ, 2005; Koç ve Ertekin, 2016). Ayrıca, düşük molekül ağırlıklı şekerlerin kimyasal yapısından kaynaklanan yüksek higroskopisite nedeniyle de yapışkanlık sorunu ortaya çıkmaktadır. Bu yüksek higroskopisite, şekerlerin çevreden su çekme eğilimini artırır ve üründe yapışkanlık oluşturur (Adhikari ve diğ, 2007; Koç ve Ertekin, 2016).

2.7.3 Sıcak hava ile kurutma

Farklı kurutma tekniklerinden biri olan, sıcak hava ile kurutma, meyve ve sebzeler için hala en sık kullanılan yöntemlerden biridir. Kurutma sıcaklığı, hava hızı ve malzeme kalınlığı gibi kurutma parametreleri, meyve ve sebzelerin kuruma kinetiği ve kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Kurutma hızını artırmak için kurutma sıcaklığını ve hava hızını artırmak ve malzeme kalınlığını azaltmak etkili olan faktörlerdir (Zhang ve diğ, 2021). Sıcak hava ile kurutma, ısıtılmış havayı kurutma ortamı olarak kullanan geleneksel bir kurutma yöntemidir ve ısı iletim etkisine göre ıslak malzemelere ısı transferi yapar. Islak malzemeler ısıyı absorbe ettikten sonra, malzemelerin yüzeylerinden kuru ortama doğru nemin dış difüzyonu ve malzemelerin içindeki nemi malzemelerin yüzeylerine doğru iç difüzyonu olmak üzere iki difüzyon meydana gelir. Bu iki difüzyon ile malzemelerdeki nem belirli bir seviyeye inene kadar sürekli olarak devam eder ve kurutma amacına ulaşılmış olur. Kurutma sürecinde, ısıtılan malzemelerin yüzeylerindeki nem önce buharlaşır ve ardından su buharı malzemelerin yüzeylerinden ortam havasına doğru difüze olur. Yüzeydeki nem içeriği, iç nemden daha düşüktür. Bu nedenle nem gradyanı mevcuttur. Nem gradyanının varlığı nedeniyle nem, daha yüksek nem içeriğine sahip bölgeden daha düşük nem içeriğine sahip bölgeye doğru difüze olur. Aynı zamanda, malzemelerin yüzeyleri, merkezden daha yüksek sıcaklıkta ısıtılır. Bu nedenle malzemelerin içinde belirli bir sıcaklık gradyanı oluşur ve sıcaklık gradyanı, daha yüksek sıcaklığa sahip bölgeden daha düşük sıcaklığa sahip bölgeye nem transferini teşvik eder. Böylece, kurutma sürecinde malzemelerin içinde hem nem gradyanı hem de sıcaklık gradyanı aynı anda mevcut olacaktır. Sıcak hava kurutmasında, ısı malzemelerin yüzeyinden merkeze doğru transfer edilirken, nem akış yönü buna karşıdır. Nem gradyanı ve sıcaklık gradyanının yönleri birbirine zıttır (Zhao ve Gao, 2016). Sıcak hava ile kurutma yönteminde, sıcaklığın ve hava akışının kontrol edilmesi, etkili nem uzaklaştırmayı sağlarken kurutulan ürünlerin kalitesi üzerinde olumsuz etkilerin minimize edilmesi açısından önemlidir. Sıcaklık seçimi, gıda maddelerinde termal bozulmaya veya duyuşal özelliklerinde istenmeyen değişikliklere neden olabilecek aşırı ısıdan kaçınmak için dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Ayrıca, hava akış hızı, nem transferinin verimli bir şekilde gerçekleşmesine yardımcı olacak şekilde ayarlanmalıdır.

2.8 Farklı Kurutma Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Gıda maddelerinin kurutulması, gıda işleme endüstrisi tarafından yaygın olarak kullanılan bir gıda muhafaza yöntemidir. Gereken nihai ürün sonucuna bağlı olarak, dünya çapında

kullanılan birçok farklı kurutma yöntemi vardır. Mikrodalga kurutma sisteminin ilk kurulumu maliyetlidir. Mikrodalga kurutma sisteminin kullanımına uygun dielektrik özellikler içeren az sayıda gıda maddesi vardır. Bu, bir mikrodalga kurutma sisteminin güçlü ısıtıcılarının işini zorlaştırabilir (Rao ve diğ, 2012). Bu nedenle, mikrodalgada kurutma yaygın olarak kullanılmamaktadır. Püskürtmeli kurutma sırasında, kısa sürede büyük bir ısı ve kütle transferi gerçekleşmesi nedeniyle yoğun enerji kullanımını gerektirir. Püskürtmeli kurutucunun bakımı, kullanılan nozulların kırılma olma, meme ağzında tıkanma sorunu ve aşınmaya maruz kalması nedeniyle karmaşık olarak kabul edilebilir. Püskürtmeli kurutma işlemi sırasında, tozlar ısıtma odasının iç duvarlarına yapışma potansiyeline sahiptir. Bu durum, bakım maliyetlerini artırabilmektedir. Dondurarak kurutma işlemi için çok düşük sıcaklıklar gerekmektedir. Bu amaç için gerekli olan ekipman maliyetli olabilmektedir. Dondurularak kurutulmuş gıda malzemesi, nem kazanımını ortadan kaldırmaya yardımcı olan ve gıda malzemesinin şeklini korumaya yardımcı olan özel bir ambalaj gerektirmektedir. Öte yandan, köpük kurutma, ortalama sıcaklık koşullarında hava kurutmayı kullandığı için basitlik ve ekonomiklik sağlamaktadır. Gıdaların kurutulması gıda üretimi sektöründe gıdaların korunması için kritik bir adım olmaya devam etmektedir ve gıdaların korunması için köpük kurutma işlemi iyi bir yöntem olarak kullanılabilir. Gıda dehidrasyonunun en önemli yönü, yüksek kaliteli bir gıda maddesi elde etmektir. Gıda maddesi arzu edilen en uygun besinsel, fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri göstermelidir. Yani proteinler, vitaminler ve yağ asitleri gibi besin maddelerindeki kayıp minimum olmalıdır. Gıda kurutma teknikleri, nihai üründe renk kaybı, oksidasyon ve patojenlerin ve toksinlerin zarar vermesini önleyecek şekilde olmalıdır. Esas olarak tekstür, aroma, rehidrasyon ve büzülmeyi içeren tercih edilen fiziksel özelliklere ulaşılmalıdır. Köpük kurutma, yaygın olarak kullanılan diğer kurutma yöntemlerine kıyasla daha ekonomik ve teknik faydalara sahiptir. Proses sırasında kolay uygulanabilmesi ve daha az yoğun enerji gerektirdiği için ekonomiktir. Diğer kurutma yöntemleri gibi köpük kurutma, eşit derecede ısıtma, hızlı kurutma, kaliteli ürün ve depolama güvenilirliği sağlar. Bu nedenle, köpük kurutma işleminin daha yaygın olarak kullanılan bir kurutma ve gıda muhafaza işleme yöntemi olarak kullanılması tavsiye edilmektedir (Hardy ve Jideani, 2017). Farklı kurutma yöntemlerinin ekonomik ve teknik faydaları Çizelge 2.1’de ve kurutma uygulama çeşitleri Çizelge 2.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 : Farklı kurutma yöntemlerinin ekonomik ve teknik faydaları
(Hardy ve Jideani, 2017).

Kurutma metodu	Uygulam a kolaylığı	Ürün kalitesi	Hızlı kuruma	Uniform ısıtma	Depolama dayanıklılığı	Düşük maliyet
Dondurarak kurutma		✓	✓	✓	✓	
Püskürtmeli kurutma		✓	✓	✓	✓	
Mikrodalga kurutma		✓	✓	✓	✓	
Köpük kurutma	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Çizelge 2.2 : Kurutma uygulama çeşitleri (Hardy ve Jideani, 2017).

Kurutma metodu	Gıda maddesi	Başlangıç besleme tipi	İstenen form
Köpük kurutma	Süt, meyve, yoğurt	Sıvı, macun, yarı sıvı	Toz
Püskürtmeli kurutma	Süt, kahve, içecekler	Sıvı	Toz
Dondurarak kurutma	Et, balık, tavuk, meyve (üzümsü meyveler)	Katı, sıvı	Kurutulmuş katı
Mikrodalga kurutma	Patates cipsi, makarna	Katı, macun	Kurutulmuş katı
Solar/ güneşte kurutma	Et, balık, meyve	Katı	Kurutulmuş katı

Köpük kurutma işlemi, her türlü meyve sularına uygunluk, düşük sıcaklıkta hızlı kurutma, beslenme kalitesinin korunması ve suda kolay çözünebilir meyve suyu tozu üretmek için uygun maliyetli olması gibi benzersiz avantajlara sahiptir. Yeniden popüler olmaya başlayan bu işlem, vakum, dondurarak ve püskürtmeli kurutucudan daha ucuz bir işlemdir. Bu işlemle elde edilen meyve suyu tozları, sıvı muadilleri üzerinde, azaltılmış hacim veya ağırlık, azaltılmış depolama alanı, daha kolay kullanım ve nakliye ve daha uzun raf ömrü gibi yüksek ekonomik potansiyele sahiptir. Daha iyi besinsel özelliklere ve proses verimine sahip ürünler elde etmek için proses optimizasyonu için uygun köpürtücü ajanların seçimi, köpük genişlemesi, köpük stabilitesi, kurutma yöntemi, kurutma sıcaklığı gibi köpürme özellikleri doğru bir şekilde anlaşılmalıdır. Sürekli köpük kurutucunun tasarımındaki gelişmeler, istikrarlı köpük elde edilmesine yardımcı olacağı için, yüksek kalitede kurutulmuş toz üretimine katkı sağlayacaktır. Ayrıca köpüklerin ve köpükle kurutulmuş tozların mikroyapı karakterizasyonu, nem ve sıcaklık tahmini için bilgisayar simülasyon teknikleri üzerinde çalışmalar yapılmasına olanak sağlayacaktır. Köpük kurutma işlemindeki daha fazla

gelişmenin yanı sıra köpük kurutma ile birlikte başka kurutma yönteminin kullanılmasının, bu yenilenen yöntemin gıda endüstrisinde benimsenmesini yoğunlaştırması beklenmektedir (Sangamithra ve diğ, 2015a).

2.9 Köpük Kurutma Yöntemi ile Yapılan Çalışmalar

Yapılan literatür incelemesinde, çeşitli ürünlerde köpük kurutma yöntemiyle ilgili çalışmaların mevcut olduğunu göstermektedir. Bu çalışmalarda, farklı köpürtücü ajan ve oranlarıyla birlikte çeşitli kurutma teknikleri kullanılmıştır. Literatürde yapılan çalışmalarda, farklı köpürtücü ajanların kullanımı ve çeşit oranlarının ürünlerin kurutma performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir (Çizelge 2.3). Ayrıca, köpük kurutma yöntemiyle birlikte farklı kurutma tekniklerinin kombinasyonları da araştırılmıştır. Bunlar arasında vakum destekli köpük kurutma, mikrodalga destekli köpük kurutma, sprey kurutma ile köpük kurutma gibi yöntemler bulunmaktadır.

Çizelge 2.3 : Çeşitli gıda maddeleri için kullanılan köpük oluşturma ve kurutma parametreleri.

Gıda maddesi	Köpürtücü, stabilize ve taşıyıcı ajanlar	Çırpma süresi	Kurutma yöntemi	Kaynak
Muz	Soya proteini	12 dk	Hava kurutucuda 45-90 °C	Sankat ve Castaigne, 2004
Yıldız meyvesi	Metosel	4 dk	70-90 °C 0,12 m/sn	Karim ve Wai, 1999b
Vişne	Yumurta beyazı (%1-3), Metil selüloz (%1-2) Maltodekstrin (%8)	4 dk	50, 65 ve 80 °C, 1.5 m/s	Abbasi ve Azizpour, 2016
İncir	Yumurta akı (%10-30) Karboksimetil selüloz (%0.2-0.8) Maltodekstrin (%8)	5 dk	60, 70 ve 80 °C, 1.5 m/s tepsili kurutma ve 100, 300, 600 w mikrodalga kurutma	Varhan ve diğ, 2019
Yacon meyvesi	Yumurta beyazı (%20)	20 dk	50, 60 ve 70 °C 4 m/sn	Franco ve diğ, 2016
Portakal	Karboksimetil selüloz (%0-3), peyniraltı suyu proteini (%0-5), soya protein izolatı (%0-3)	3 dk	60, 90 °C Kırınım pencereci, sıcak hava kurutma kurutma	Aşık, 2019
Nar	Çöven ekstraktı (% 0.1- 0.4) , Karboksimetil selüloz, lesitin (%0.01- 0.05)	1-10 dk	50, 60, 70 °C	Kara, 2021
Börülce	Yumurta beyazı (%2.5-15), Gliserol mono stearat, (%2.5-15)	3-21 dk	60 °C	Falade, Adeyanju, ve Uzo-Peters, 2003
Domates	Yumurta beyazı (%0.3-8.7)	0.3-8.7 dk	60-80 °C	Fernandes ve diğ, 2013
Pandan yaprağı	HPMC (%1-1,5), maltodekstrin (%0-15), NaCl (%0.3-5)	15 dk	70 °C	Rattanapitigorn ve diğ, 2016

Rajkumar ve diğ. (2007) yaptıkları çalışmada, Alphonso mango püresinin köpük kurutma yöntemiyle işlenmesi için çeşitli köpürtücü ajanları kullanımıyla, köpürtücü ajan konsantrasyonunu optimize etmeyi ve farklı reaksiyon sıcaklıklarında kurutulmuş ürünün özelliklerini incelemeyi amaçlamışlardır. Çalışmada araştırmacılar, meyve püresine soya proteini, metil selüloz ve gliserol monostearat gibi farklı ajanlar ekleyerek köpük oluşturmuşlardır. Oluşturulan köpük, köpük tabakası kalınlığı 1, 2 ve 3 mm olacak şekilde ayarlanmış ve daha sonra farklı sıcaklıklarda (60, 65, 70 ve 75 °C) hava ile kurutulmuştur. Elde edilen sonuçlar, 60 °C’de kurutulan meyve püresinin en yüksek biyokimyasal bileşen miktarına sahip olduğunu göstermektedir. Alphonso mango püresinin köpük kurutma tekniği ile kurutulması için en uygun koşulların, %10 yumurta albümini ve %0.5 metil selüloz içeren pürenin 25 dakika boyunca çırılması ve 1 mm kalınlığında köpüğün 60 °C’de kurutulması olduğu belirlenmiştir. Bu optimize edilmiş koşullarda üretilen kurutulmuş mango ürününün en yüksek besin içeriğine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Varhan ve diğ. (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, incir tozu üretimi için köpük kurutma yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada, ilk olarak, optimum incir köpük bileşimi belirlenmiştir. Bu bileşim %52.9 incir, %28.9 yumurta akı, %0.8 karboksimetil selüloz ve %17.4 maltodekstrin olarak tespit edilmiştir. Optimum bileşime sahip olan incir köpüğü, sıcak hava ve mikrodalga ile kurutularak incir tozu elde edilmiştir. Araştırmacılar, sabit köpük kalınlığında, hava sıcaklığının ve mikrodalga gücünün artmasıyla toplam kurutma süresinin azaldığını ve kurutma hızının arttığını gözlemlemişlerdir. Mikrodalga kurutma yöntemi, incir köpüğünün kurutma süresinde daha fazla tasarruf sağlayarak sıcak hava kurutmasından daha verimli olduğunu belirlemişlerdir. Köpük kurutma işleminden sonra, incir tozunun su aktivitesi (a_w) mikrobiyolojik aktivite için güvenli bir seviyeye düştüğünü belirlemiştir. İncir tozunun tanecik ve hacim özellikleri, köpük kalınlığına ek olarak kurutma hava sıcaklığı ve mikrodalga gücünden önemli ölçüde etkilenmiştir. İncir tozunun kimyasal özellikleri, Hidroksimetilfurfural (HMF) ve toplam fenolik içeriği gibi parametreler kullanılarak değerlendirilmiştir. Yüksek köpük kalınlığının, hem mikrodalga hem de sıcak hava kurutması durumunda daha yüksek HMF içeriğine neden olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca, sıcak hava kurutmasıyla elde edilen incir tozunun fenolik içeriğinin, mikrodalga ile kurutulanlardan daha yüksek olduğu belirlemişlerdir. Bu çalışmaları ile, incir meyvesinin başarılı bir şekilde köpük kurutma tekniği ile kurutulabileceğini ve içecek ve tatlı gibi birçok gıda ürününde kullanılabilecek olan incir tozu üretilebileceğini belirlemişlerdir.

Karim ve Wai (1999a), yıldız meyvesi (*Averrhoa carambola* L.) püresinden farklı methocel konsantrasyonları eklenerek köpükler hazırlamışlardır. Methocel’in farklı

konsantrasyonlarından elde edilen köpüklerin genleşme miktarı ve yoğunluğu karşılaştırmışlardır. Methocel konsantrasyonu arttıkça genleşme miktarının ve kararlılığının arttığını ve maksimum değeri, %0.4 w/w methocel konsantrasyonunda elde etmişlerdir. Bu değerler için köpük genleşmesi miktarını %653.2 ve köpük hacmini 0.153 g/cm³ olarak belirlemişlerdir.

Karim ve Wai (1999b), başka bir çalışmada, yıldız meyvesi (*Averrhoa carambola* L.) püresine çeşitli methocel konsantrasyonları ekleyerek köpükler oluşturmuşlardır. Farklı methocel konsantrasyonlarından elde edilen köpüklerin genleşme oranı ve yoğunluğu karşılaştırılmıştır. Köpüğün göreceli stabilitesi, 70 °C’de köpükten ayrılan meyve suyu miktarını karşılaştırarak belirlenmiştir. İki farklı kurutma sıcaklığında (70 ve 90 °C) kuruma hızları da karşılaştırılmıştır. Kurutulmuş ve rekonstitüe tozun kalitesi basit duyuşal değerlendirme ve Hunterlab cihazıyla değerlendirilmiştir. Köpük genleşmesi oranı ve köpük stabilitesi, methocel konsantrasyonunun artmasıyla artmış ve maksimum değer %0.4 w/w methocel konsantrasyonunda elde edilmiştir. Kuruma süresi, kurutma sıcaklığının 70 °C’den 90 °C’ye çıkarılmasıyla 30 dakikaya kadar kısaltılabileceğini belirlemişlerdir. Bununla birlikte, 90 °C’de kurutulan üründe belirgin bir renk ve tat değişiklikleri gözlenmiştir. Bu çalışmada, kullanılan deneysel koşullar altında, makul düzeyde iyi toz özelliklerinin elde edilebileceğini ifade etmişlerdir.

Fardiyah ve diğ. (2018) tarafından havuç üzerine yürütülen çalışmada, köpük kurutma tekniği kullanılarak elde edilen ürünlerdeki β-karoten içeriği üzerinde sıcaklık ve köpürtücü ajan konsantrasyonunun etkisi incelenmiştir. Çalışmada, sıcaklık değişkenleri 40, 50, 60 ve 70 °C olarak kullanılmıştır. Köpürtücü ajan (Tween 80) konsantrasyonu ise sırasıyla %0,01, 0,1, 0,2 ve 0,3 (v/v) değerlerinde belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, maksimum kurutma sıcaklığı 50 °C ve köpürtücü ajan konsantrasyonu ise %0,2 (v/v) olarak tespit edilmiştir. Bu değerlere sahip üründe β-karoten içeriğini de 10.55 mg/kg olarak belirlemişlerdir.

Wilson ve diğ. (2013) tarafından yürütülen bir çalışmada, mango püresinin köpük kurutma tekniği kullanılarak kurutulması incelenmiştir. Çalışmada, köpürtücü ajan olarak yumurta akının farklı konsantrasyonları (%0, 3, 6 ve 9) ve farklı kurutma sıcaklıkları (65, 75 ve 85 °C) kullanılmıştır. Araştırmanın sonuçlarına göre, kurutma sıcaklığı ve köpürme ajanı konsantrasyonunun kurutulmuş mango püresinin besleyici özellikleri üzerinde önemli bir etkisi olduğu belirlenmiştir. 65 °C hava kurutma sıcaklığının, karoten miktarının en yüksek olduğu sıcaklık olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, %3 yumurta akı içeren mango püresinin 65 °C hava kurutma sıcaklığında köpük kurutma için en uygun değer olduğu tespit edilmiştir.

İsa ve Olalusi, (2019) karpuz püresinin köpük kurutma yöntemiyle inceledikleri çalışmada, sürecin kurutma özellikleri üzerinde çeşitli parametrelerin etkisini belirlemeyi amaçlamışlardır. Çalışmada, giriş sıcaklığı, hava hızı, karboksimetil selüloz (CMC) konsantrasyonu ve yumurta akı konsantrasyonu üzerinde durulmuştur. Sıcaklık aralığı 60 - 80 °C arasında, hava hızı 0.5-2 m/s arasında, CMC konsantrasyonu %0.5-2.5 arasında, yumurta akı konsantrasyonu ise %5-15 arasında değişmektedir. Deneysel çalışma, central composite desing ile tasarlanmış ve değişkenlerin farklı kombinasyonlarında 22 deney çalışması gerçekleştirilmiştir. İstatistiksel testler sonucunda, her bir yanıtı açıklayan en iyi model, polinom analizi kullanılarak seçilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, kurutma koşulları için optimum değerler sırasıyla 77.42 °C, 0.5 m/s, %0.5 ve %5 olarak belirlenmiştir. Karpuzu püresinin köpük kurutma yöntemiyle kurutulması çalışmasıyla, giriş sıcaklığı, hava hızı, CMC ve yumurta akı konsantrasyonunun kurutma sürecinin özellikleri üzerinde önemli bir etkisi olduğunu belirlemişlerdir.

Abbasi ve Azizpour (2016), vişne meyvesinin köpük kurutma tekniği ile kurutulması üzerine bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışmada, yumurta akı (1, 2 ve 3 g/100 g), metil selüloz (1, 1.5 ve 2 g/100 g) ve maltodekstrin (8 g/100 g) gibi bileşenlerin vişne köpüğünün yoğunluğu ve drenaj hacmi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada, elde edilen köpük alüminyum tepsilere yayılarak (3.0 ± 0.02 mm kalınlık), 50, 65 ve 80 °C sıcaklıklarda ve 1.5 m/sn hava akış hızında bir kurutma odasına konulmuştur. Köpük kurutma yöntemi kullanılarak elde edilen vişne tozu örnekleri, çözünürlük, toplam antosiyanin içeriği, pH, kahverengileşme indeksi, asidite ve kuruma süresi gibi fizikokimyasal özellikler açısından değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, metilselüloz konsantrasyonu arttıkça, drenaj hacmi, köpük yoğunluğu, toplam antosiyanin içeriği, kahverengileşme indeksi ve kuruma süresi azalmıştır. Bununla birlikte, örneklerin çözünürlüğü ve pH değeri artma eğilimi göstermiştir. Yumurta akı düzeyi arttıkça ise, pH hariç diğer kimyasal özellikler azalmıştır. Ayrıca, 65 °C kurutma sıcaklığında vişne tozunun maksimum çözünürlük, toplam antosiyanin içeriği ve pH değerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Kuruma sıcaklığı arttıkça, kahverengileşme indeksi ve kuruma süresinin azaldığını tespit etmişlerdir.

3. MATERYAL VE METOT

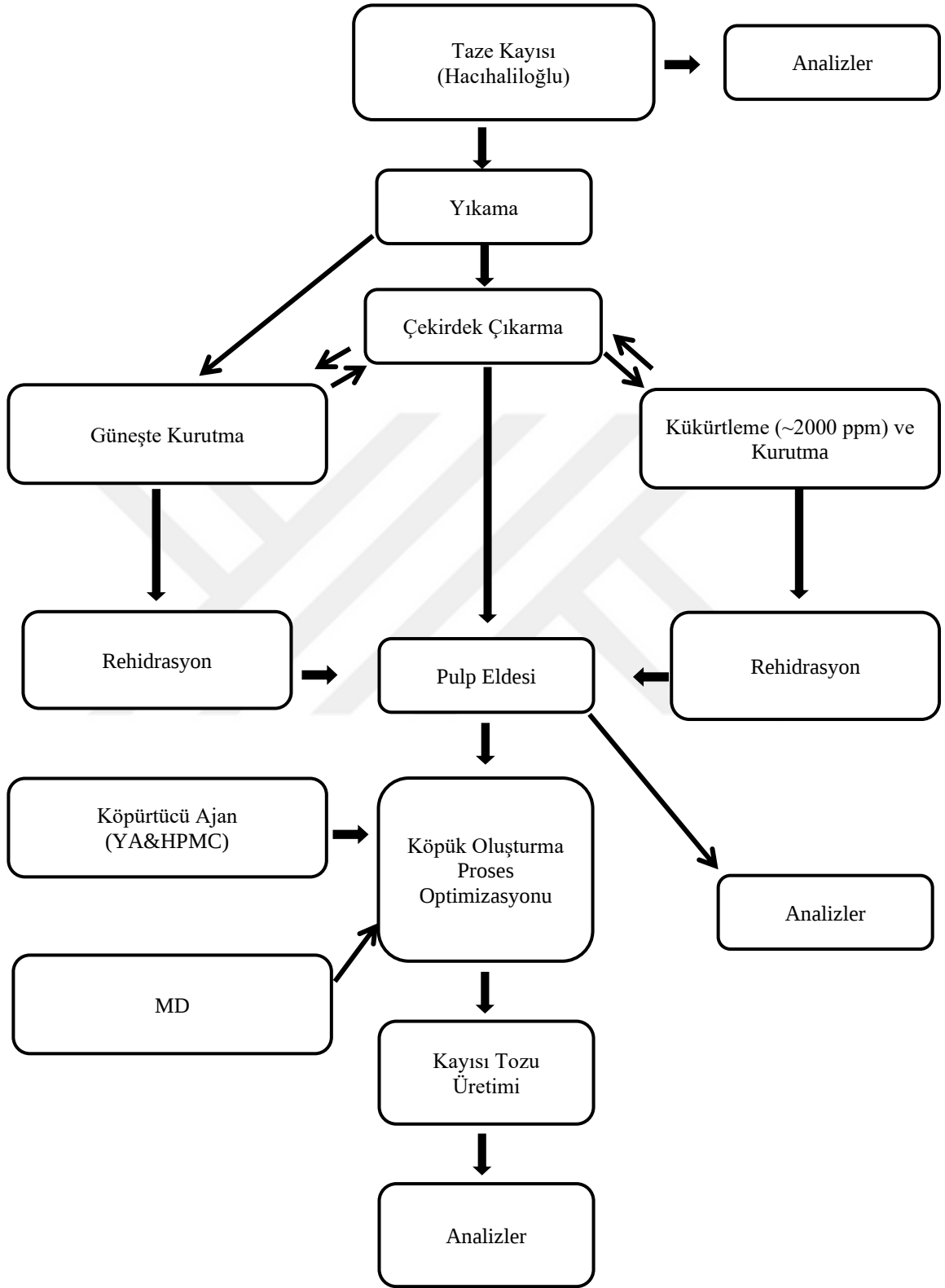
3.1 Materyal

Bu çalışmada, Malatya Kayısı Araştırma Enstitüsü koleksiyon parselinde bulunan Hacıhaliloğlu çeşidi kayısılar kullanılmıştır. Köpürtücü ajan olarak kullanılan yumurta akı tozu (Kimbiotek Kimyaevi Mad. San. ve Tic. A.Ş, İstanbul, Türkiye), gıda için kullanılabilir özellikteki hidroksipropil metil selüloz (HPMC) (Aker kimya, İstanbul, Türkiye), kurutma yardımcısı olarak kullanılan maltodekstrin (MD) (9-11 DE), (Omnia nişasta, Adana, Türkiye) firmalarından temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan kimyasallar; Sigma-Aldrich (Almanya) ve Merck (Almanya) firmalarından temin edilmiştir.

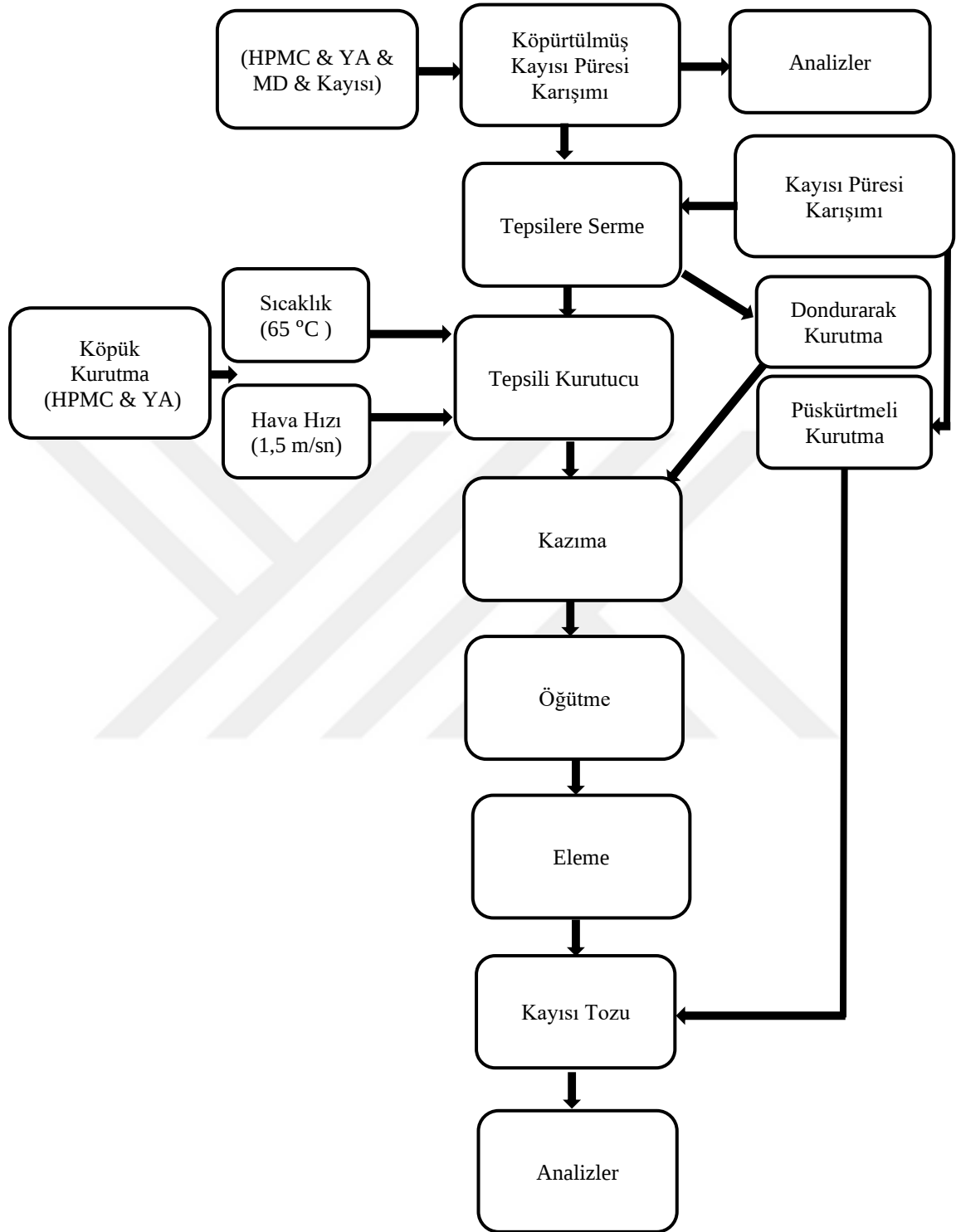
3.2 Metod

3.2.1 Kayıların hasadı, kükürtlenmesi, kurutulması ve depolanması

Çalışmada kullanmak amacıyla hasat olgunluğuna ulaşmış kayı (23-25 °Brix) elle toplanarak dört gruba ayrılmış ve kurutulacak olanlar +4 °C'lik buzdolabında, taze olarak kullanılacaklar ise -86 °C'lik derin dondurucuda muhafaza edilmiştir. Günkurusu üretimi için kerevetlere serilen kayı, %50 nem içeriğine gelinceye kadar güneş altında kurutulmuş ve çekirdekleri çıkarıldıktan sonra nem içeriği %20 oluncaya kadar kurutularak +4 °C'de muhafaza edilmiştir. Kabuk kayı üretimi ise çekirdekleri çıkarılarak ikiye bölünen kayı plastik saratlara konularak nem içeriği içeriği %20 oluncaya kadar kurutulduktan sonra +4 °C'de muhafaza edilmiştir. Kükürtlü kayı elde etmek için, Kayı Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'ndeki otomatik kükürtleme sisteminden yararlanılmıştır. 1 ton yaş kayı için yaklaşık 600 g kükürt yakılarak sızdırmaz kükürtleme odasında 5 saat bekletilen kayı, kerevetlere serilerek %50 nem içeriğine gelinceye kadar güneş altında kurutulmuş ve çekirdekleri çıkarıldıktan sonra nem içeriği %20 oluncaya kadar kurutularak +4 °C'de muhafaza edilmiştir. Proje genel akış şeması, kayı tozu üretim akış şeması ve çalışmada kullanılan kayıların fotoğrafları sırasıyla Şekil 3.1, 3.2 ve 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.1 : Proje genel akış şeması.



Şekil 3.2 : Kayısı tozu üretim akış şeması.



Şekil 3.3 : Çalışmada kullanılan kayısılar (a:taze, b: kükürtlü, c: kabuk ve d: güncurusu).

3.2.2 Köpürtücü oranı optimizasyonu

Optimizasyon çalışması, Varhan ve diğ. (2019)'nin kullandıkları metod modifiye edilerek, yanıt yüzey metodu kullanılarak (D-optimal mixture dizaynı) ile Design Expert 12 (Stat-Ease Co., Mineapolis, ABD) paket programı kullanılarak yapılmıştır. Merkezi noktada 4 olmak üzere toplam 15 deneme gerçekleştirilmiştir (Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.3). Çalışmada köpük oluşturuca ajan olarak yumurta akı tozu (YA) ve HPMC kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan köpük oluşturuca ajanlar için literatür bilgileri ve ön denemeler sonucu belirlenen oranlar kullanılarak optimizasyon çalışması yapılmıştır. Köpürtücü ajan olarak YA'nın kullanıldığı optimizasyon çalışmasında KM üzerinden %50 kayısı, %10-25 aralığında YA ve %25-40 aralığında maltodekstrin kullanılmıştır (Çizelge 3.1). Köpürtücü ajan olarak HPMC'nin kullanıldığı optimizasyon çalışmasında KM üzerinden %50 kayısı, %2-5 aralığında HPMC ve %45-48 aralığında maltodekstrin kullanılmıştır (Çizelge 3.3). Optimizasyon çalışmasında yanıt olarak köpük genleşmesi ve drenaj hacmi kullanılmıştır. Deneme desenleri sonucu elde edilen veriler programa girilerek hedef tablosu (Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.4) doğrultusunda optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon hedef tablosunda, drenaj hacminin minimize edilmesi için 5 önem düzeyi belirlenirken, köpük oluşturma kapasitesi ise 3 önem düzeyi olarak değerlendirilmiştir. Önem düzeylerinin bu oranlarda belirlenmesinin sebebi, kurutma işlemi sırasında köpüğün yapısının bozulmadan homojen bir şekilde kurutmanın sağlanması için drenaj hacminin minimize edilmesinin en önemli parametre olarak kabul edilmesidir (Varhan ve diğ. 2019). Buna ek olarak, köpük oluşturma kapasitesi de önemli bir faktördür. Ancak drenaj hacmi daha büyük bir öneme sahiptir.

Çalışmada köpürtücü ajan olarak kullanılan HPMC ve YA için iki ayrı optimizasyon çalışması yapılarak, çalışmanın ikinci aşaması için üretilecek tozlar için formülasyonlar belirlenmiştir.

Çizelge 3.1 : Köpürtücü ajan olarak HPMC kullanılan D-optimal mixture dizayn deneme deseni.

	Bileşen 1	Bileşen 2	Bileşen 3		Yanıt 1	Yanıt 2
No	Kayısı (%KM)	MD (%KM)	HPMC (%KM)	Toplam (%KM)	Drenaj hacmi (mL)	Köpük kapasitesi (%)
1	50.00	46.50	3.50	100		
2	50.00	45.00	5.00	100		
3	50.00	48.00	2.00	100		
4	50.00	46.50	3.50	100		
5	50.00	45.00	5.00	100		
6	50.00	47.25	2.75	100		
7	50.00	45.00	5.00	100		
8	50.00	46.50	3.50	100		
9	50.00	48.00	2.00	100		
10	50.00	48.00	2.00	100		
11	50.00	46.50	3.50	100		
12	50.00	48.00	2.00	100		
13	50.00	48.00	2.00	100		
14	50.00	45.00	5.00	100		
15	50.00	45.75	4.25	100		

Çizelge 3.2 : Optimizasyon hedef tablosu (HPMC).

Parametre	Amaç	Alt limit	Üst limit	Önem düzeyi
MD	aralıkta	45	48	+++
HPMC	minimize	2	5	+
Drenaj hacmi	minimize	0	12.1	+++++
Köpük genleşmesi	maksimize	184	566	+++

Çizelge 3.3 : Köpürtücü ajan olarak YA kullanılan D-optimal mixture dizayn deneme deseni.

	Bileşen 1	Bileşen 2	Bileşen 3		Yanıt 1	Yanıt 2
No	Kayısı (%KM)	MD (%KM)	YA (%KM)	Toplam (%KM)	Drenaj hacmi (mL)	Köpük kapasitesi (%)
1	50.00	40.0	10.00	100		
2	50.00	32.50	17.5	100		
3	50.00	25.00	25.00	100		
4	50.00	25.00	25.00	100		
5	50.00	25.00	25.00	100		
6	50.00	25.00	25.00	100		
7	50.00	40.00	10.00	100		
8	50.00	32.50	17.50	100		
9	50.00	32.50	17.50	100		
10	50.00	40.00	10.00	100		
11	50.00	28.75	21.25	100		
12	50.00	32.50	17.50	100		
13	50.00	40.00	10.00	100		
14	50.00	40.00	10.00	100		
15	50.00	36.25	13.75	100		

Çizelge 3.4 : Optimizasyon hedef tablosu (YA).

Parametre	Amaç	Alt limit	Üst limit	Önem düzeyi
MD	aralıkta	25	40	+++
YA	minimize	10	25	+
Drenaj hacmi	minimize	0	7.2	+++++
Köpük genleşmesi	maksimize	124	340	+++

3.2.3 Kayısı tozlarının üretilmesi

Çalışmada püskürtmeli kurutma, dondurarak kurutma ve köpük kurutma teknikleri kullanılarak kayısı tozları üretilmiştir. Tüm kayısı tozu üretim proseslerinde kurutma yardımcısı olarak 9-11 DE MD kullanılmıştır. Ön denemelerde elde edilen sonuçlar

doğrultusunda, kayısı tozları için KM üzerinden %50 kayısı + %50 diğer bileşenler (MD, YA ve HPMC) olacak şekilde formüle edilmiştir. Dondurarak kurutma ve püskürtmeli kurutma yöntemiyle kayısı tozu üretiminde, KM üzerinden kayısı ve MD 1:1 oranında kullanılırken, köpük kurutma yönteminde %50 kayısı kuru maddesine eklenecek MD + köpürtücü ajan (YA ve HPMC) toplamda kurumadde üzerinden %50 olacak şekilde D-optimal mixture dizayn kullanılarak belirlenmiştir (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5 : Üretilen kayısı tozlarının % bileşimi.

Kayısı tozu	MD (%KM)	YA (%KM)	HPMC (%KM)	Kayısı (%KM)	Toplam (%KM)
T+HPMC	46.17	-	3.83	50.00	100
KA+HPMC	46.17	-	3.83	50.00	100
G+HPMC	46.17	-	3.83	50.00	100
KÜ+HPMC	46.17	-	3.83	50.00	100
T+Dondurarak kurutma	50.00	-	-	50.00	100
KA+Dondurarak kurutma	50.00	-	-	50.00	100
G+Dondurarak kurutma	50.00	-	-	50.00	100
KÜ+Dondurarak kurutma	50.00	-	-	50.00	100
T+Püskürtmeli kurutma	50.00	-	-	50.00	100
KA+Püskürtmeli kurutma	50.00	-	-	50.00	100
G+Püskürtmeli kurutma	50.00	-	-	50.00	100
KÜ+Püskürtmeli kurutma	50.00	-	-	50.00	100
T+YA	26.94	23.06	-	50.00	100
KA+YA	26.94	23.06	-	50.00	100
GÜ+YA	26.94	23.06	-	50.00	100
KÜ+YA	26.94	23.06	-	50.00	100

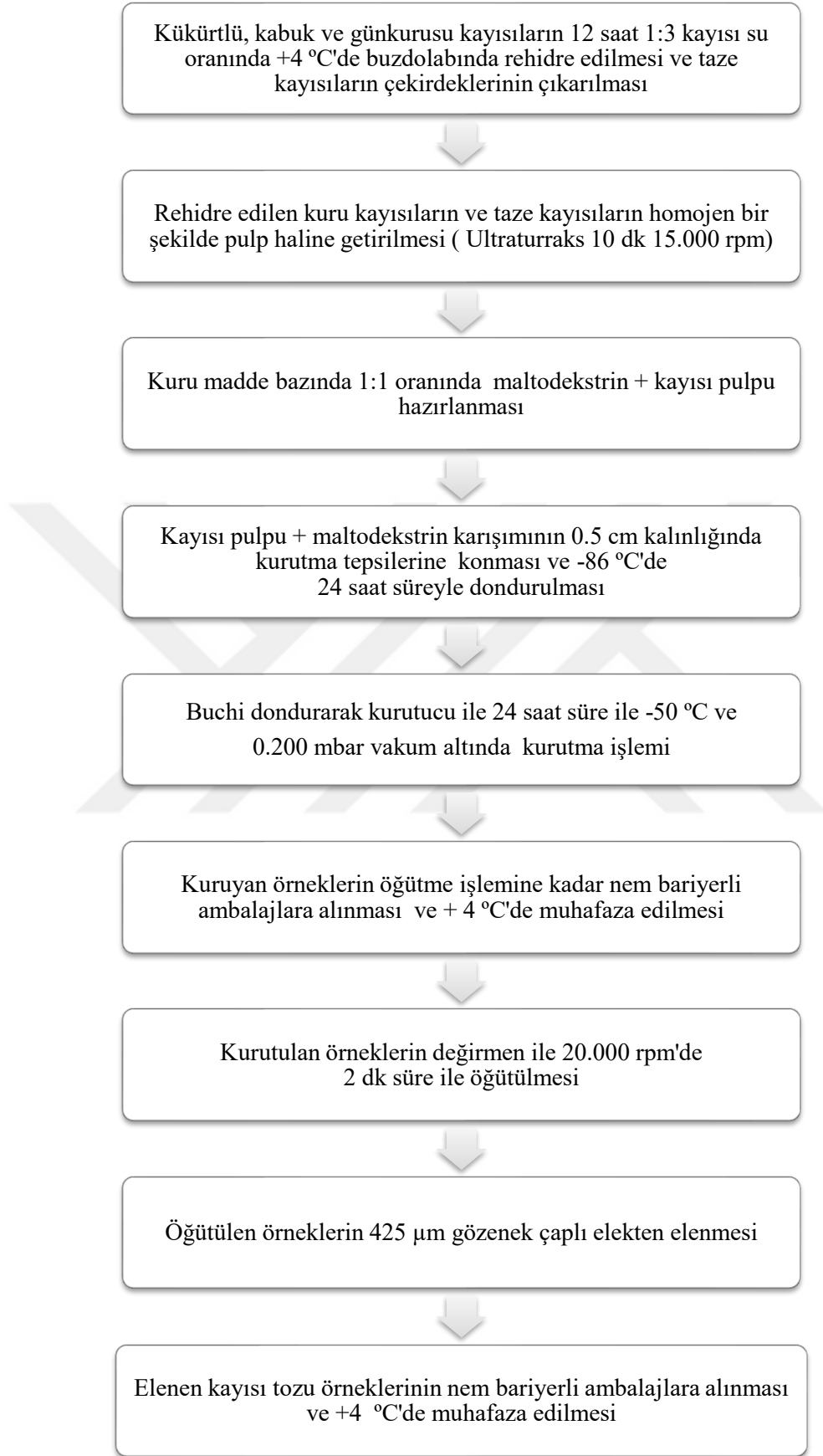
T: Taze kayısı, KA: Kabuk kayısı, G: Günkurusu kayısı, KÜ: Kükürtlü kayısı, HPMC: Hidroksipropil metil selüloz, YA: Yumurta akı tozu

3.2.3.1 Dondurarak kurutma ile kayısı tozu retilmesi

Kükürtlü, kabuk ve günkurusu kayısılar 12 saat süre ile 1:3 kayısı su oranında +4  C’de buzdolabında rehidre edilmiş ve taze kayısıların çekirdekleri çıkarılmıştır. Rehidre edilen kuru kayısılar ve taze kayısılar, ultraturraks, (Ika T 18, Almanya) ile 10 dk 15.000 rpm’de homojenize edilmiştir. Daha sonra kuru madde bazında 1:1 oranında MD + kayısı pulpu hazırlanarak 5 dk ultraturraks ile homojenizasyon işlemi yapılmıştır. Kayısı pulpu + MD karışımı 0.5 cm kalınlığında kurutma tepsilerine konularak -86  C’de 24 saat süreyle dondurulmuştur. Liyofilizatör ile -50  C’de ve 0.200 mbar vakum altında yaklaşık 24 saat süre ile kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir (Buchi L-200 Flawil, İsviçre). Kuruyan rnekler değirmen (Ika, M 20) ile 2 dk süre ile 20.000 rpm’de ętlerek 425  m gözenek çaplı elekten elendikten sonra nem bariyerli ambalajlara alınarak analiz aşamasına kadar +4  C’de muhafaza edilmiştir (şekil 3.4 ve şekil 3.5).



şekil 3.4 : Dondurarak kurutma ile kayısı tozu üretilmiştir.



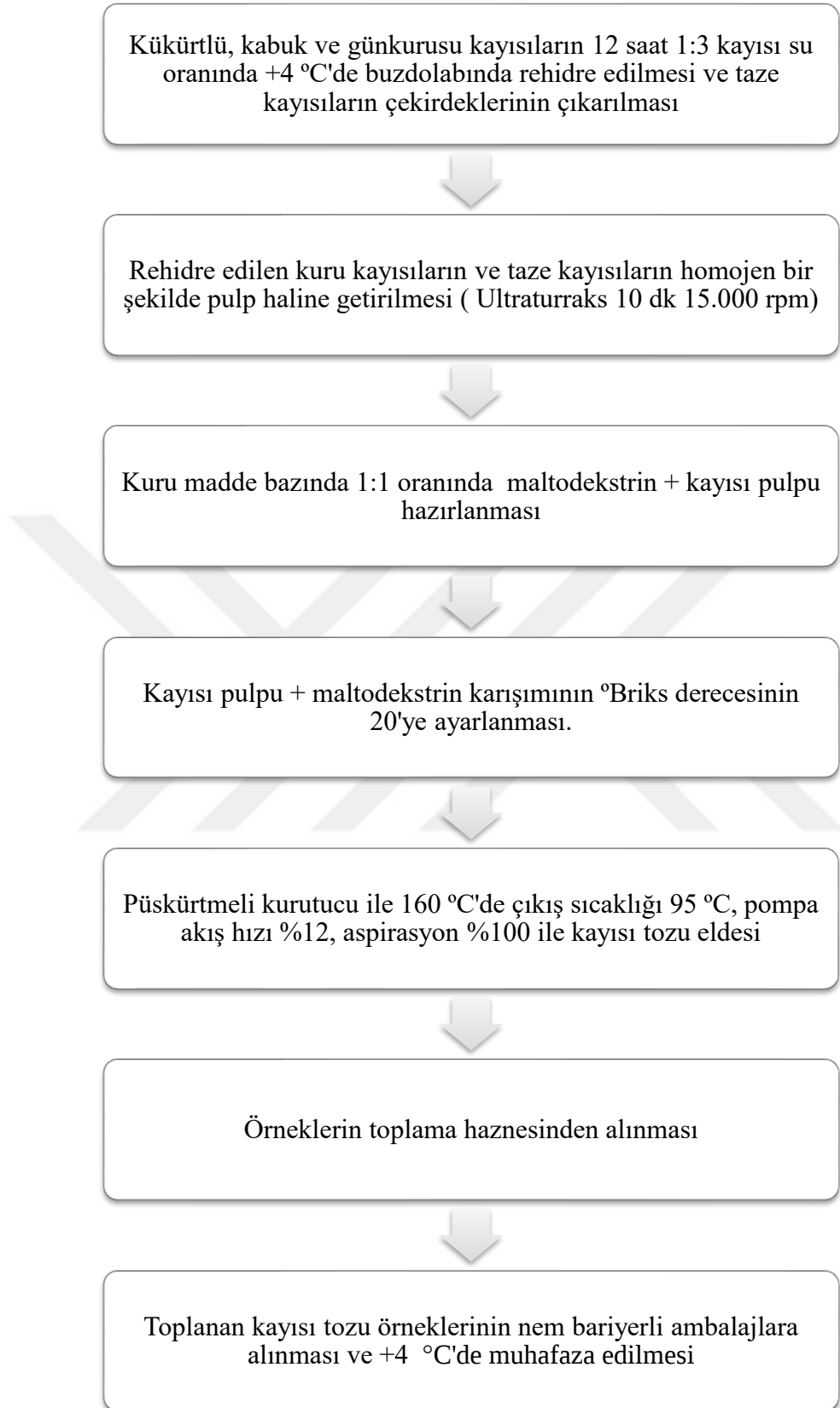
Şekil 3.5 : Dondurarak kurutma ile kayısı tozu üretim akış şeması.

3.2.3.2 Püskürtmeli kurutma ile kayısı tozu üretilmesi

Bu amaçla püre eldesi bölüm 3.2.3.1’de anlatıldığı gibi yapılmıştır. Daha sonra kuru madde bazında 1:1 oranında MD + kayısı pulpu hazırlanarak 5 dk ultraturraks ile homojenizasyon işlemi yapılmıştır. Püskürtmeli kurutucu ile kayısı tozu üretmek için püskürtmeli kurutucu (Buchi Mini Spray Dryer B-290, Flawil, İsviçre) kullanılmıştır. Cihazın çalışma koşulları ön denemelerle belirlenmiştir. Kurutucu hava giriş sıcaklığı 160 °C, çıkış sıcaklığı 95 °C, pompa akış hızı %12, aspirasyon %100 ve besleme °Briks’i 20 olacak şekilde ayarlanmıştır. Cihazın toplama haznesinde biriken tozlar nem bariyerli ambalajlara alınarak analiz aşamasına kadar +4 °C’de muhafaza edilmiştir (Şekil 3.6 ve 3.7).



Şekil 3.6 : Püskürtmeli kurutma ile kayısı tozu üretimi.



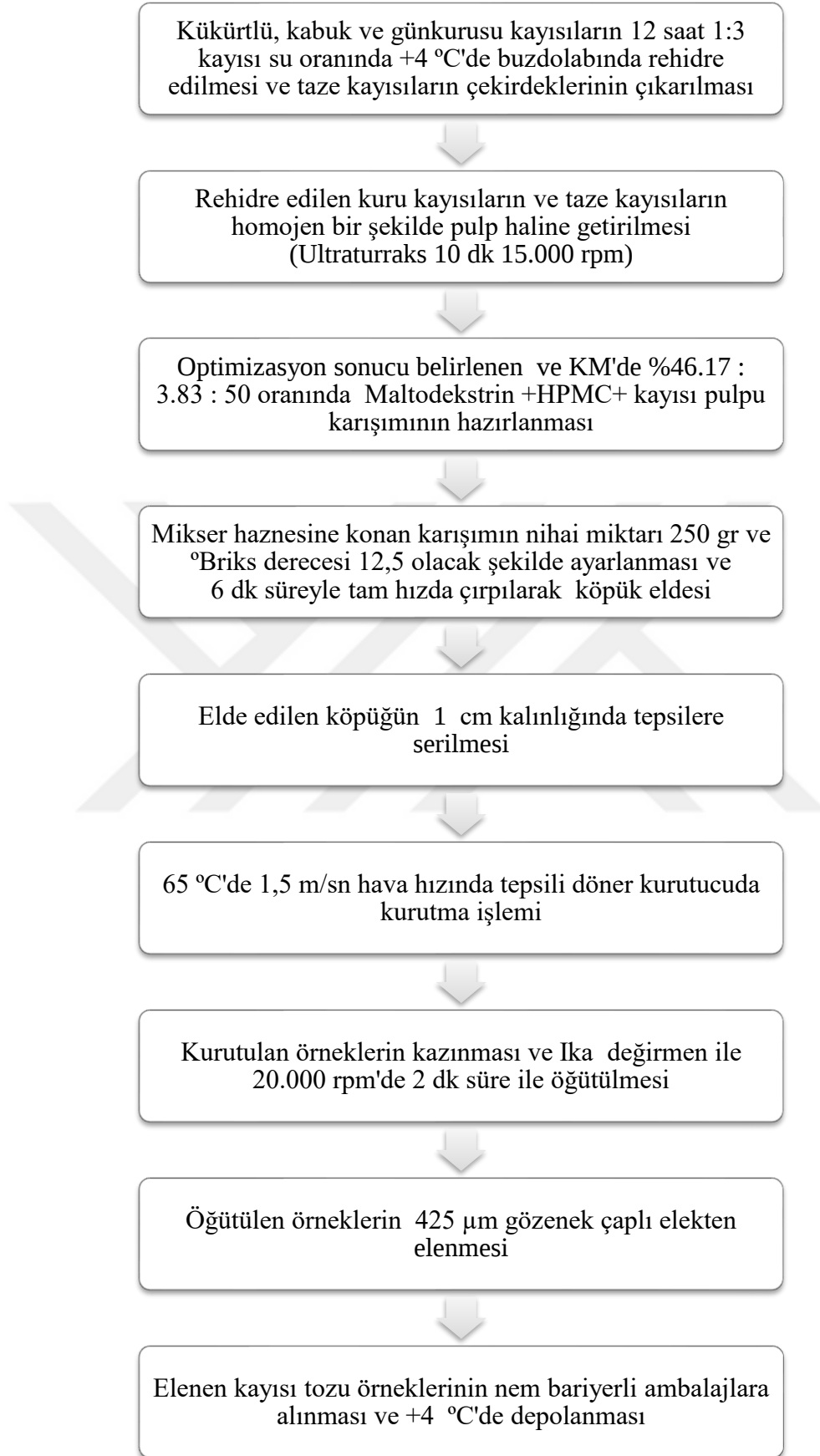
Şekil 3.7 : Püskürtmeli kurutma ile kayısı tozu üretim akış şeması.

3.2.3.3 Köpük kurutma yöntemi ile HPMC kullanılarak kayısı tozu üretilmesi

Bu amaçla püre eldesi bölüm 3.2.3.1’de anlatıldığı gibi yapılmıştır. Optimizasyon sonucu belirlenen ve KM’de %46,17 : 3,83 : 50 oranında MD + HPMC + kayısı karışımı hazırlanmıştır. Mikser (Tefal Master Blend Activflow Pro, 1000 W, Fransa) haznesine konan pulpun nihai miktarı 250 gr ve °Briks derecesi 12.5 olacak şekilde el refrakrometresi (Atago, Tokyo, Japonya) ile ayarlandıktan sonra 6 dk süreyle tam hızda çırpılarak köpük elde edilmiştir. Elde edilen köpük, 1 cm kalınlığında homojen bir şekilde tepsilere yayılarak 65 °C’de 1.5 m/sn hava hızında laboratuvar tipi tepsili döner kurutucuda (Eksis makina, Türkiye) kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Kuruyan örnekler tepsilerden kazındıktan sonra değirmen (Ika, M 20, Almanya) ile 2 dk süre ile 20.000 rpm’de öğütülmüştür. Öğütülen örnekler 425 µ gözenek çaplı elekten elendikten sonra nem bariyerli ambalajlara alınarak analiz aşamasına kadar +4 °C’de depolanmıştır (Şekil 3.8 ve Şekil 3.9).



Şekil 3.8 : Köpük kurutma ile kayısı tozu üretimi.



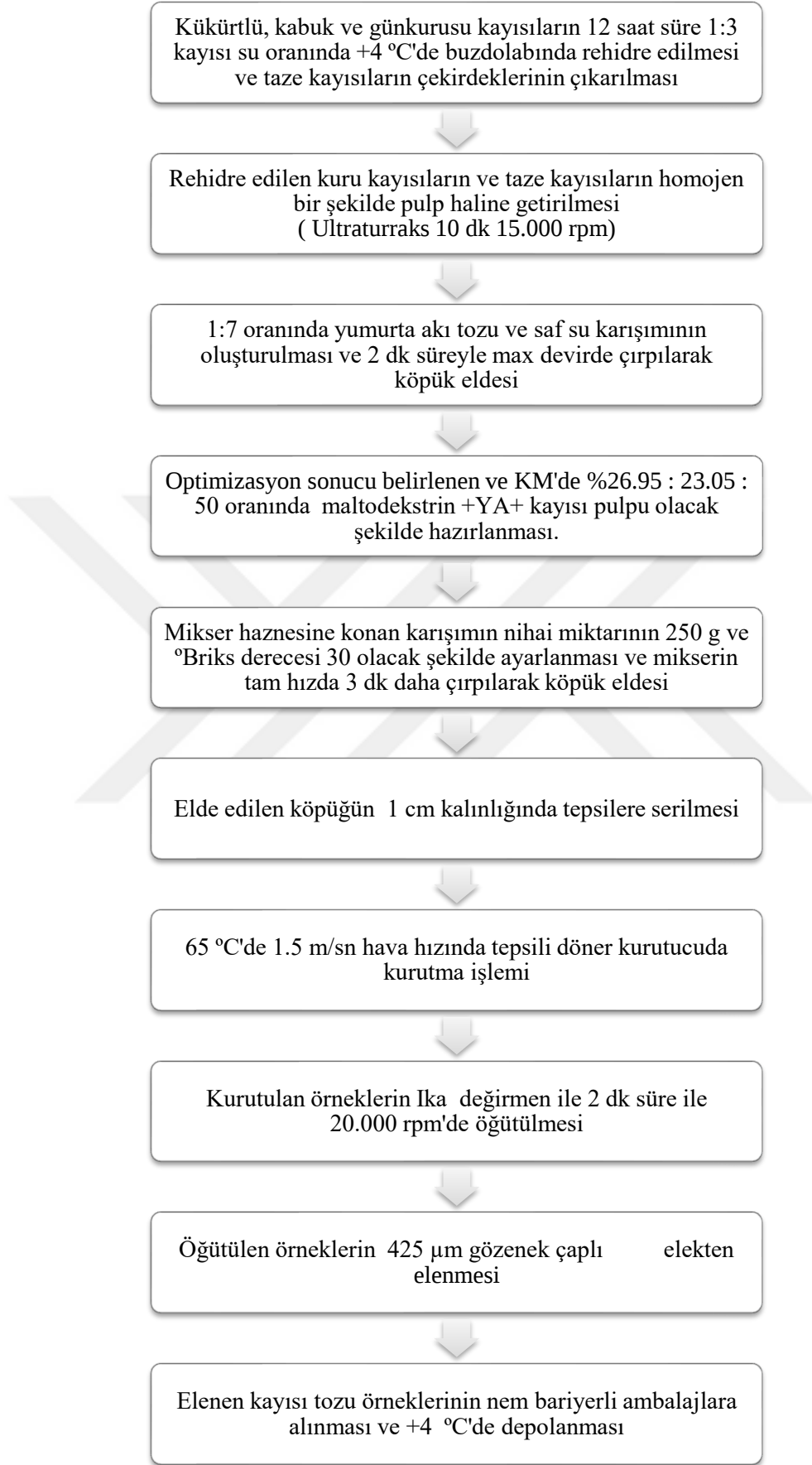
Şekil 3.9 : Köpük kurutma yöntemi ile HPMC kullanılarak kayısı tozu üretim akış şeması.

3.2.3.4 Köpük kurutma yöntemi ile YA kullanılarak kayısı tozu üretilmesi

Bu amaçla püre eldesi bölüm 3.2.3.1’de anlatıldığı gibi yapılmıştır. Optimizasyon sonucu belirlenen ve KM’de %26.94 : 23.06 : 50 oranında MD + YA + kayısı içeren nihai köpük karışımı iki aşamada hazırlanmıştır. İlk olarak, YA ve saf su 1:7 oranında karıştırıldıktan sonra 2 dk süreyle tam hızda mikser (Tefal Master Blend Activflow Pro, 1000 W, Fransa) ile çırpılarak köpük elde edilmiştir. Daha sonra karışımın nihai miktarı 250 gr ve °Briks derecesi 30 olacak şekilde MD ve kayısı pulpu ilave edildikten sonra 3 dk süreyle tam hızda çırpılarak nihai köpük karışımı elde edilmiştir. Elde edilen köpük, 1 cm kalınlığında homojen bir şekilde tepsilere yayılarak 65 °C’de 1,5 m/sn hava hızında laboratuvar tipi tepsili döner kurutucuda (Eksis makina, Türkiye) kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Kuruyan örnekler tepsilerden kazındıktan sonra değirmen (İka, M 20, Almanya) ile 2 dk süre ile 20.000 rpm’de öğütülmüştür. Öğütülen örnekler 425 µm gözenek çaplı elekten elendikten sonra nem bariyerli ambalajlara alınarak analiz aşamasına kadar +4 °C’de depolanmıştır (Şekil 3. 10, Şekil 3. 11).



Şekil 3.10 : Köpük kurutma yöntemi ile üretilen kayısı tozları.



Şekil 3.11 : Köpük kurutma yöntemi ile YA kullanılarak kayısı tozu üretim akış şeması.

3.2.4 Analizler

Örneklerin fiziksel, kimyasal, duyuşsal ve istatistiki analizleri Çizelge 3.6’da verilen tabloya göre yapılmıştır. Her bir analiz, en az üç paralel olarak yapılmıştır.

Çizelge 3.6 : Yapılan analizler.

Yapılan analizler	Taze - kuru meyve	Köpürtülmüş püre	Kayıslı tozu
Drenaj hacmi analizi	-	+	-
Köpük genleşmesi analizi	-	+	-
Köpük yoğunluğu	-	+	-
Köpük boyut, şekil ve şekil dağılımı analizi (Sadece optimize edilmiş prosesler için)	-	+	-
Nem analizi	-	-	+
% Çözünürlük analizi	-	-	+
Renk analizi	+	-	+
pH analizi	+	-	+
SÇKM (°Briks) analizi	-	-	+
Higroskopisite & topaklanma düzeyi analizi	-	-	+
Camsı geçiş sıcaklığı (T _g) analizi	-	-	+
Hausner Ratio ve Carr İndeks analizi	-	-	+
Yığın & sıkıştırılmış yoğunluk analizi	-	-	+
Partikül boyutu analizi	-	-	+
SEM analizi	-	-	+
ABTS analizi	+	-	+
DPPH analizi	+	-	+
Toplam fenolik madde analizi	+	-	+
β- karoten analizi	+	-	+
Su aktivitesi (a _w) analizi	-	-	+
Şeker bileşimi analizi	+	-	+
HMF analizi	+	-	+
SO ₂ analizi (Kükürtlü kayıslar için)	+	-	+
Duyuşsal analizler	-	-	+

3.2.4.1 Drenaj hacmi analizi

Drenaj hacmi, Azizpour ve diğ. (2013) tarafından kullanılan yöntemle göre belirlenmiştir. 50 g köpük Buchner hunisine (80 mm çap) dökülmüş ve 50 mL dereceli silindir üzerine yerleştirilmiştir. 30 dk sonra dereceli silindirde toplanan miktar kaydedilmiştir.

3.2.4.2 Köpük genleşmesi analizi

Köpük genleşmesi, köpüklendirme süreci sırasında sıvının içinde hapsedebildiği gaz hacminin bir ölçüsüdür ve 3.1'deki denklem ile belirlenmiştir (Sangamithra ve diğ, 2015b).

$$\text{Köpük Genleşmesi (\%)} = \frac{V_1 - V_0}{V_0} \cdot 100 \quad (3.1)$$

V_1 : Köpüğün nihai hacmi (cm^3)

V_0 : Başlangıçtaki köpük hacmi (cm^3)

3.2.4.3 Köpük yoğunluğu analizi

Belirli bir hacimdeki köpüğün ağırlığı olarak ifade edilen köpük yoğunluğu 3.2'deki denklem ile hesaplanmıştır. Köpük yoğunluğu hesaplanırken; 1 L'lik ölçü kabı köpük ile doldurulduktan sonra ağırlığı ölçülmüştür (Azizpour ve diğ, 2013).

$$\text{Köpük Yoğunluğu (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{Köpük Ağırlığı (g)}}{\text{Köpük Hacmi (cm}^3\text{)}} \quad (3.2)$$

3.2.4.4 Köpük boyut, şekil ve şekil dağılımı analizi

Sadece optimize edilmiş proseslerden elde edilen köpüklerin yapısının incelenmesi amacıyla mikroskop görüntüsü faz kontrast mikroskobu (Olympus, CH-BI45-T, Tayvan) kullanılarak fotoğraf makinesi ile kaydedilmiştir.

3.2.4.5 Nem analizi

Nem tayini için AOAC 934.06'da belirtilen yöntem kullanılmıştır. Yaklaşık 5 g toz örneği 3 saat etüvde bekletildikten sonra, 2 saat desikatörde sabit tartıma getirilmiş, ardından daraları alınmış kaplara alınarak sıcaklığı $70 \pm 1^\circ\text{C} < 100 \text{ mm Hg}$ basınç koşullarında 6 saat kurutulmuştur. Desikatörde soğutulan kaplar hassas terazide tartılarak sabit tartıma gelinceye kadar işleme devam edilmiştir. Analiz sonuçları 3.3'teki denklem ile hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Nem} = \left(\frac{(M_0 - M_1)}{M_0} \right) \cdot 100 \quad (3.3)$$

M_0 : Örneğin ilk ağırlığı

M_1 : Örneğin kurutmadan sonraki ağırlığı

3.2.4.6 Çözünübilirlik analizi

Yüzde çözünübilirlik testi için Abbasi ve diğ. (2016) tarafından uygulanan metot modifiye edilerek kullanılmıştır 1 g kayısı tozu üzerine 100 mL 30 °C’de saf su eklenmiş ve 5 dk boyunca manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Ardından, karışım 4500 rpm hızında 10 dk santrifüjlendikten sonra süzölmüştür. Süzöntüden 25 mL’lik bir örnek alınmış ve bu örnek, 102 °C’de 5 saat boyunca kurutulmuştur. Desikatörde soğutulan petri kapları hassas terazide tartılmış ve sabit bir ağırlığa ulaşınca kadar tartım işlemi devam etmiştir. Analizler üç paralel olarak gerçekleştirilmiş ve 25 mL çözünen miktardan oranla % çözünübilirlik 3.4’teki denklem ile hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Çözünübilirlik} = \left(\frac{m_2 - m_1}{0.25} \right) * 100 \quad (3.4)$$

m_1 :Boş petri kabının ağırlığı

m_2 : 5 saatlik kurutma sonrası ağırlık

3.2.4.7 Renk analizi

Renk analizinde L^* , a^* ve b^* değerleri ölçümü için, portatif bir renk ölçüm cihazı (Konica Minolta CM-700d Osaka, Japonya) kullanılmıştır. Numuneler cihazın cam hücresine konularak renk analizleri gerçekleştirilmiştir. Renk okumaları 5 kez tekrarlanarak ortalama sonuçlar verilmiştir.

3.2.4.8 pH analizi

pH ölçümü için Ceballos ve diğ. (2012) tarafından uygulanan yöntem kullanılmıştır. Yaklaşık olarak 3 g kayısı tozu, 50 mL su içinde çözülerek çözeltiler elde edilmiştir. Bu çözeltilerin pH ölçümleri masa tipi pH metre (Thermo Orion 5 Star, ABD) kullanılarak belirlenmiştir.

3.2.4.9 Toplam fenolik madde analizi

Toplam fenolik madde miktarı, Kraujalyté ve diğ. (2013) tarafından uygulanan prosedürler modifiye edilerek Folin-Ciocalteu metodu ile belirlenmiştir. Bu modifiye edilmiş prosedüre göre, belirli oranda sulandırılmış kayısı tozları %80 metanol ile ekstrakte edilmiştir. Ekstraktlardan alınan, 100 µL üzerine 1 mL 0.2 N Folin-Ciocalteu reaktifi ve 400 µL deiyonize su + 1 mL %7 sodyum karbonat çözeltisi eklenmiştir. Karışım, karanlıkta 90 dk bekletilmiş ve spektrofotometre (UV-120-01, Shimadzu, Japonya) kullanılarak 725 nm dalga boyunda absorbansı ölçülmüştür. Aynı prosedür, gallik asidin farklı

konsantrasyonlardaki çözeltilerine uygulanarak kalibrasyon grafiği elde edilmiştir. Bu grafiğin denklemi kullanılarak örneklerin toplam fenolik madde miktarı, gallik asit eşdeğeri (GAE) olarak ifade edilmiştir.

3.2.4.10 Antioksidan aktivite analizi

ABTS analizi: ABTS radikal süpürme gücü Re ve diğ. (1999)'nin yöntemine göre yapılmıştır. Örnekler hazırlandıktan sonra 6. dakikadaki absorbansları 734 nm'de okunmuştur. Standart antioksidan olarak Trolox kullanılarak ve örneklerin antioksidan aktivitesi Trolox cinsinden belirlenmiştir.

DPPH analizi: DPPH radikal süpürme gücü Brand-Williams ve diğ. (1995)'nin uyguladığı yönteme göre yapılmıştır. Absorbansı 520 nm'de 0.700 ± 0.020 olacak şekilde metanolde hazırlanmış DPPH çözeltisi kullanılmıştır. Belirli oranda sulandırılmış kayısı tozları %80 metanol ile ekstrakte edilmiştir. Bu şekilde elde edilen ekstraktlardan 100 µL tüplere konularak üzerlerine 2.4 mL DPPH çözeltisi eklenmiştir. Örnekler 30 dk karanlıkta bekletildikten sonra UV spektrofotometrede 520 nm'de metanole karşı okunmuştur. Standart antioksidan olarak Trolox kullanılarak ve örneklerin antioksidan aktivitesi Trolox cinsinden belirlenmiştir.

3.2.4.11 Nem çekicilik (Higroskopisite) analizi

Higroskopisite analizi için, Jaya ve diğ. (2006) uygulanan yöntem modifiye edilerek kullanılmıştır. Yaklaşık 5 g kayısı tozu örneği alınarak darası alınmış petri kaplarına tartılarak toplam ağırlık belirlenmiştir. Kayısı tozu örnekleri, tabanında doygun potasyum nitrat çözeltisi bulunan 10 litre kapasiteli bir cam desikatöre yerleştirildikten sonra sıvı kısımla temas etmeyecek şekilde ızgara üzerine konulmuştur. Ölçüm yapılan yer, klima kullanılarak yaklaşık 20 °C sıcaklıkta sabit tutulmuştur. Belirli zaman aralıklarında yapılan ölçümlerde, üç ardışık ölçümde ağırlık değişiminin olmadığı noktaya kadar analize devam edilmiştir.

3.2.4.12 Topaklanma düzeyi analizi

Topaklanma düzeyi analizi için Arslan, (2014)'te belirtilen yöntem modifiye edilerek kullanılmıştır. Higroskopisite analizi için hazırlanan analiz koşullarında; yaklaşık 5 g kayısı tozu örneği alınarak darası alınmış petri kaplarına tartılarak toplam ağırlık belirlenmiştir. Kayısı tozları neme doygun atmosferde 1 saat süreyle bekletilmiştir. Daha sonra kayısı tozları elek üstü ve elek altı darası alınan 425 µm gözenek çaplı analitik eleğin üzerine

alınarak 1 dk süreyle elenmiştir. Topaklanma düzeyi örneklerin elek altı ve elek üstü miktarları tartılarak topaklanan miktar % olarak hesaplanmıştır.

3.2.4.13 Camsı geçiş sıcaklığı (T_g) analizi

Toz gıdaların önemli bir parametresi olan camsı geçiş sıcaklığı (T_g), Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) (Shimadzu DSC- 60, Japonya) ile belirlenmiştir. Örneklerden cihazın hücrelerine ~5 mg tartılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Örnek analizleri numune özelliklerine göre -100 ile + 300 °C aralığında gerçekleştirilmiştir. DSC soğutma işlemleri için sıvı azot kullanılmıştır. DSC analizi için ısıtma sabit hava atmosferinde 10 °C/dk olarak belirlenmiştir. DSC kalibrasyonu indiyum ve çinko standartları ile gerçekleştirilmiştir. DSC analizlerinde referans olarak α-Al₂O₃ kullanılmıştır (Balcıoğlu, 2019).

3.2.4.14 SEM (Taramalı Elektron Mikroskop) analizi

SEM analizi, Tonon ve diğ. (2009) tarafından kullanılan yöntemle gerçekleştirilmiştir. Numuneler, iletkenliklerinin artırılması için BAL-TEC SCD 050 (Liechtenstein) cihazında saçtırma yöntemiyle Au-Pd ile kaplandıktan sonra SEM ünitesinde (LEO-EVO 40/Cambridge-İngiltere) analiz edilmiştir. SEM analizleri, İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezi'nde gerçekleştirilmiştir.

3.2.4.15 Hausner Ratio ve Carr Indeks analizi

Kayıslı tozlarının % Carr Index (CI) ve Hausner Ratio (HR) değerleri 3.5 ve 3.6'daki denklemler ile hesaplanarak, Çizelge 3.7'e göre değerlendirilmiştir (Saifullah ve diğ, 2016).

$$\% Carr Indeks (CI) = \frac{T_d - B_d}{T_d} \times 100 \quad (3.5) \quad Hausner Ratio (HR) = \frac{T_d}{B_d} \quad (3.6)$$

Çizelge 3.7 : Akışkanlık sınıflandırılması (Lebrun ve diğ, 2012).

Akışkanlık	% Carr Indeks (CI)	Hausner Ratio (HR)
Mükemmel	0–10	1.00–1.11
İyi	11–15	1.12–1.18
Orta	16–20	1.19–1.25
Kabul edilebilir	21–25	1.26–1.34
Kötü	26–31	1.35–1.45
Çok kötü	32–37	1.46–1.59
Çok çok kötü	>38	>1.60

3.2.4.16 Yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk analizi

Yığın yoğunluğu (B_d) analizi : Numunelerin B_d değeri, 10 mL dereceli bir ölçüm cam silindirine 2.5 g meyve tozu dökülerek belirlenmiştir. B_d değeri, toz kütlelerinin toz tarafından işgal edilen hacme oranından hesaplanmıştır.

Sıkıştırılmış yoğunluk (T_d) analizi : Numunelerin T_d değeri, 10 mL dereceli bir ölçüm cam silindirine 2.5 g meyve tozu dökülerek 15 cm yükseklikten kauçuk bir yüzeye 100 kez hafifçe düşürüldükten sonra T_d değeri toz ağırlığının nihai hacme bölünmesiyle hesaplanmıştır (Saifullah ve diğ, 2016).

3.2.4.17 Partikül boyutu analizi

Toz örneklerinin parçacık boyutu, bir partikül boyut analizörü (Malvern Mastersizer 2000; Malvern Instrument Ltd., Malvern, İngiltere) kullanılarak belirlenmiştir. Bu analiz için, toz numuneleri parçacık boyutu analizörüne yerleştirildikten sonra veriler otomatik olarak kaydedilmiştir (Tze ve diğ, 2012).

3.2.4.18 Su aktivitesi (a_w) analizi

Su aktivitesi ölçüm cihazının cihazı (LabMaster a_w , Novasina AG, Lachen, İsviçre) kaplarına konulan örneğin ile 25 °C sıcaklıkta ve ± 0.003 doğruluk değerinde su aktivitesi ölçümü gerçekleştirilmiştir (Phan ve diğ, 2021).

3.2.4.19 HMF (Hidroksimetilfurfural) analizi

HMF miktarı numunelerde, He ve diğ. (2012) tarafından kullanılan yöntem modifiye edilerek HPLC (Shimadzu, Japonya) cihazı ile belirlenmiştir. HMF analizi için test tüpüne 5 g numune tartılmış ve üzerine 30 mL ultra saf su eklenerek çalkaladıktan sonra 5000 rpm'de 10 dk satrifüjlenmiştir. Elde edilen üst faz ayrı bir test tüpüne alınarak iki kez daha aynı işlem gerçekleştirildikten sonra örnek hacmi 100 mL'ye tamamlanmıştır. Elde edilen ekstraktlar, 0.45 μ m'lik naylon filtre ile süzölmüştür. Mobil faz 10:90 metanol su, fırın sıcaklığı 30 °C ve enjeksiyon hacmi 10 μ L, akış hızı: 1mL/dk olarak ayarlanmıştır. Okumalar, C 18 kolon (GL Science 250 mm x 4.6 mm, 5 μ m, Japonya) ve DAD dedektörü kullanılarak 285 nm dalga boyunda gerçekleştirilmiştir.

3.2.4.20 β -karoten analizi

Taze kayısı ve kayısı tozu örneklerinde β -karoten tayini, HPLC (Shimadzu, Japonya) cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, 5 g örnek alınmış ve üzerine 3 defa 30 mL

metanol: tetrahidrofuran (v/v) eklenmiştir. Karışım, 5.000 rpm hızında 5 dakika süreyle santrifüj edilmiştir. Santrifüj sonucunda elde edilen üst fazlar, balon jojeye aktarılarak 100 mL hacmine tamamlanmıştır. Bu çözeltiler, 0.45 µm'lik bir filtre ile süzülerek viale aktarılmış ve 20 µL hacmindeki örnekler HPLC'ye enjekte edilmiştir (Akın ve diğ., 2008).

3.2.4.21 Şeker bileşenleri analizi

Kayısı ve kayısı tozu örneklerinde şeker bileşenleri (fruktoz, glikoz, sakkaroz ve sorbitol) analizi HPLC cihazı (Shimadzu, Japonya) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. HMF analizindeki gibi hazırlanan ekstaktlar, 0.45 µm'lik naylon filtre ile süzülmüştür ve 20 µL hacminde cihaza enjekte edilmiştir. Mobil faz, ultra saf su (izokratik) kullanılmıştır. Mobil fazın akış hızı, 0.6 mL/dk ve kolon sıcaklığı 85 °C olarak ayarlanmıştır. Benson polymeric BP-800 Ca, 9 µm, 7.8 x 300 mm kolon ile, RID dedektör kullanılarak analizler yapılmıştır.

3.2.4.22 Kükürtdioksit (SO₂) analizi

Kükürtdioksit (SO₂) tayini için AOAC 990.28'de belirtilen yöntem kullanılmıştır.

3.2.4.23 Duyusal analizler

Toz ürünlerde skalalar ile kalite derecelendirilmesi, ISO 4121 yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, Çizelge 3.8'deki duyusal değerlendirme skalası kullanılmıştır.

Çizelge 3.8 : Duyusal değerlendirme skalası.

Örnek kodu	Görünüş	Renk	Tat	Koku
123				
...				
...				
...				
(1: Topaklanma var, homojen görüntü yok 7: Homojen görünümde)				
(1: Çok açık/koyu renkte 7: İdeal kayısı rengi)				
(1: Hiç koku gelmiyor veya kayısı dışı kokular var 7: Kayısı/meyve kokusu algılanıyor)				
(1: Hiç meyve tadı algılanmıyor veya meyve dışı tat alınıyor 7: Belirgin meyve tadı algılanıyor)				

3.2.4.24 İstatistiksel analizler

Çalışma kapsamındaki tüm analizler en az üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar bu üç analizin ortalaması $\pm$ standart sapması şeklinde ifade edilmiştir. Ortalamalar arasındaki farklar $P < 0.05$ anlamlılık derecesinde tek yönlü varyans analizine (One way-ANOVA) tabi tutularak değerlendirilmiştir. ANOVA sonucunda anlamlı farklılıklar Tukey post-hoc testine tabi tutularak karşılaştırılmıştır. İstatistiksel analizlerde, XLStat 2021, Adinsoft, Paris, France kullanılmıştır. Duyusal analiz verileri normal dağılım göstermediği için Kruskal-Wallis testine tabi tutulmuştur.



4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1 Optimizasyon Bulguları

Optimizasyon çalışması, Design Expert 12 (Stat-Ease Co., Mineapolis, ABD) paket programı ile D-optimal mixture dizaynı yöntemi kullanılarak yapılmıştır. D-optimal mixture dizaynı merkezi noktada 4 olmak üzere toplam 15 çalışma olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, köpük oluşturuca ajan olarak yumurta akı tozu (YA) ve hidroksipropil metil selüloz (HPMC) kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan köpük oluşturuca ajanlar, kullanılacak oranlar ve köpük oluşturma yöntemleri için, literatür taramaları ve ön denemeler sonucu belirlenen oran ve yöntemler kullanılarak optimizasyon çalışması yapılmıştır.

4.1.1 HPMC optimizasyon bulguları

Köpürtücü ajan olarak HPMC'nin kullanıldığı çalışmada elde edilen bulgular Çizelge 4. 1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 : HPMC D-optimal mixture dizayn tablosu.

	Bileşen 1	Bileşen 2	Bileşen 3	Yanıt 1	Yanıt 2
No	Kayısı (%KM)	MD (%KM)	HPMC (%KM)	Drenaj hacmi (mL)	Köpük genişmesi (%)
1	50.00	46.50	3.50	0.00	384
2	50.00	45.00	5.00	0.00	544
3	50.00	48.00	2.00	12.10	184
4	50.00	46.50	3.50	0.01	390
5	50.00	45.00	5.00	0.00	560
6	50.00	47.25	2.75	0.05	310
7	50.00	45.00	5.00	0.00	556
8	50.00	46.50	3.50	0.02	310
9	50.00	48.00	2.00	10.80	192
10	50.00	48.00	2.00	11.30	188
11	50.00	46.50	3.50	0.20	400
12	50.00	48.00	2.00	9.40	184
13	50.00	48.00	2.00	9.70	200
14	50.00	45.00	5.00	0.00	566
15	50.00	45.75	4.25	0.00	500

4.1.1.1 Köpük genleşmesi optimizasyon bulguları (HPMC)

Optimizasyon çalışmasında yanıt olarak kullanılan, köpük genleşmesi oranının deneysel çalışmalarda %184-566 aralığında olduğu belirlenmiştir. Optimizasyon çalışmasında programın oluşturduğu deneme planındaki çalışmalar yapılarak, deneysel çalışma sonucu elde edilen veriler programa girilmiştir. Daha sonra, optimizasyon hedef tablosundaki (Çizelge 3.2) ayarlar doğrultusunda köpük genleşmesi verileri kullanılarak bir eşitlik oluşturulmuştur. HPMC köpük genleşmesi için belirlenen linear modele ait eşitlik ve 4.1 nolu denklemle gösterilmiştir.

$$KG = -1.05932 * (MD) + 121.73456 * (HPMC) \quad (4.1)$$

KG: Köpük genleşmesi (%)

MD: Maltodekstrin (%KM)

HPMC: Hidroksipropil metil selüloz (%KM)

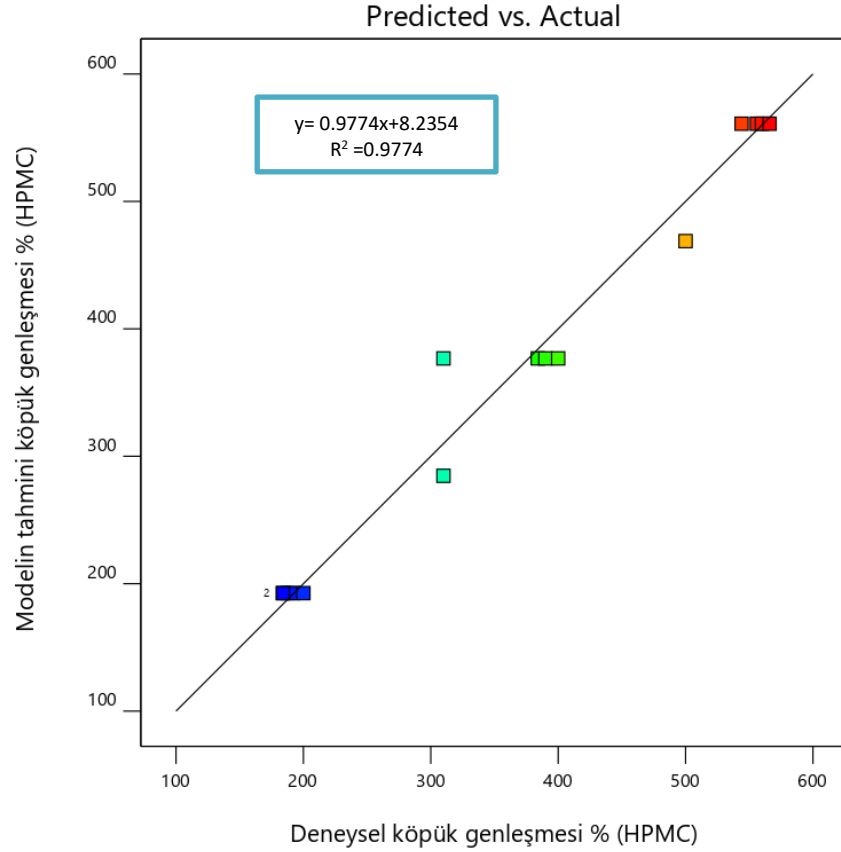
Optimizasyon çalışması sonucu model yardımıyla hesaplanan değerler, deneysel değerlerle karşılaştırılmıştır. Bu değerler Çizelge 4.2’de, elde edilen denklem ve grafik Şekil 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.2 : Optimizasyon çalışması sonucu model yardımıyla hesaplanan değerler ve deneysel köpük genleşmesi değerleri (HPMC).

No	Deneysel köpük genleşmesi (%)	Modelin tahmini köpük genleşmesi (%)
1	544.00	561.00
2	184.00	192.62
3	390.00	376.81
4	560.00	561.00
5	310.00	284.72
6	556.00	561.00
7	310.00	376.81
8	192.00	192.62
9	188.00	192.62
10	400.00	376.81
11	184.00	192.62
12	200.00	192.62
13	566.00	561.00
14	500.00	468.91
15	544.00	561.00

Köpük Genleşmesi

Color points by value of
Köpük Genleşmesi:
184 566



Şekil 4.1 : Modelin tahmini ve deneysel köpük genleşmesi grafiği (HPMC).

Modelin R^2 değeri 0.9774 olup deneysel köpük genleşmesi oranı (%) ile modelin tahmini köpük genleşmesi oranı (%) miktarlarının şekil 4.1’de görülmektedir. Modelin R^2 değerinin 1 değerine yakın olması, deneysel olarak elde edilen verileri daha iyi yansıttığının bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. Modelin keskinliğinin bir ölçütü olan sinyal gürültü oranı (Adeq precision), 42.2904 olarak belirlenmiştir. Bu değer 4’ten büyük olması modeli doğrulamak için kullanılan denklemin yeterli olduğunu ifade etmektedir. Ayarlanmış R^2 (R^2_{adj}) ve tahmin edilen R^2 (R^2_{pre}) değerleri arasındaki farkın 0.2’den az olması aralarındaki farkın makul seviyede olduğunun bir göstergesidir. Model uyumsuzluk değerinin önemsiz çıkması modelin uygunluğu için önemlidir. Model için belirlenen P değerinin 0.05’ten küçük olmasından dolayı, HPMC ve MD’nin model için önemli terimler olduğu belirlenmiştir. Oluşturulan model için ANOVA sonuçları Çizelge 4.3’te verilmiştir.

Çizelge 4.3 : Köpük genleşmesi (HPMC) linear modelin uygunluğunu test etmek için kullanılan değerler ve ANOVA tablosu

Varyasyon kaynakları	HKT	SD	HKO	F-değeri	P-değeri	
Model (Linear)	3.20E+05	1	3.20E+05	562.38	< 0.0001*	önemli
Kalıntı	7398.06	13	569.08			
Model uyumsuzluğu	1867.86	3	622.62	1.13	0.3846	önemsiz
Saf hata	5530.2	10	553.02			
Toplam	3.27E+05	14				
Model Linear	R ² 0.9774	R ² _{adj} 0.9757	R ² _{pre} 0.9731	CV% 6.54	Adeq precision 42.2904	PRESS 8800.95
						Std. Dev. 23.86

*p<0.05 düzeyinde istatistiksel olarak önemlidir.

Optimizasyon çalışması ile elde edilen optimum formülasyonun (KM'de %46.17 MD + %3.83 HPMC+ %50 kayısı) kullanılması sonucu modelin eşitliği ile tahmin ettiği köpük genleşmesi miktarı %416.872 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.2).

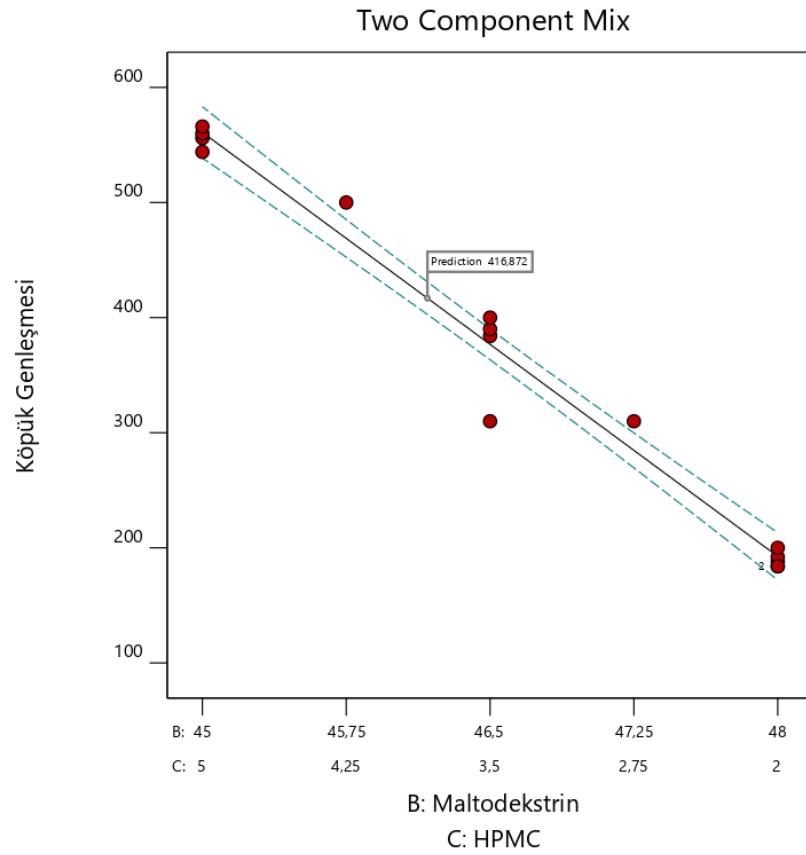
Component Coding: Actual

Köpük Genleşmesi

● Design Points
— —95% CI Bands

X1 = B: Maltodekstrin
X2 = C: HPMC

Actual Component
A: Kayısı = 50



Şekil 4.2 : Modelin belirlediği optimum değer için köpük genleşmesi (HPMC).

4.1.1.2 Drenaj hacmi optimizasyon bulguları (HPMC)

Optimizasyon çalışmasında yanıt olarak kullanılan drenaj hacminin deneysel çalışmalarda 0-12.1 mL aralığında olduğu belirlenmiştir. Optimizasyon çalışmasında, programın oluşturduğu deneme planındaki çalışmalar yapılarak, deneysel çalışma sonucu elde edilen veriler programa girilmiştir. Daha sonra, optimizasyon hedef tablosundaki (Çizelge 3.2) ayarlar doğrultusunda drenaj hacmi verileri kullanılarak bir eşitlik oluşturulmuştur. HPMC drenaj hacmi için belirlenen kübik modele ait eşitlik ve 4.2 nolu denklemle gösterilmiştir.

$$DH = 2.18510 * (MD) - 3734.05031 * (HPMC) + 120.74751 * (MD * HPMC) - 0.955147 * (MD * HPMC) * (MD - HPMC) \quad (4.2)$$

DH: Drenaj Hacmi (mL)

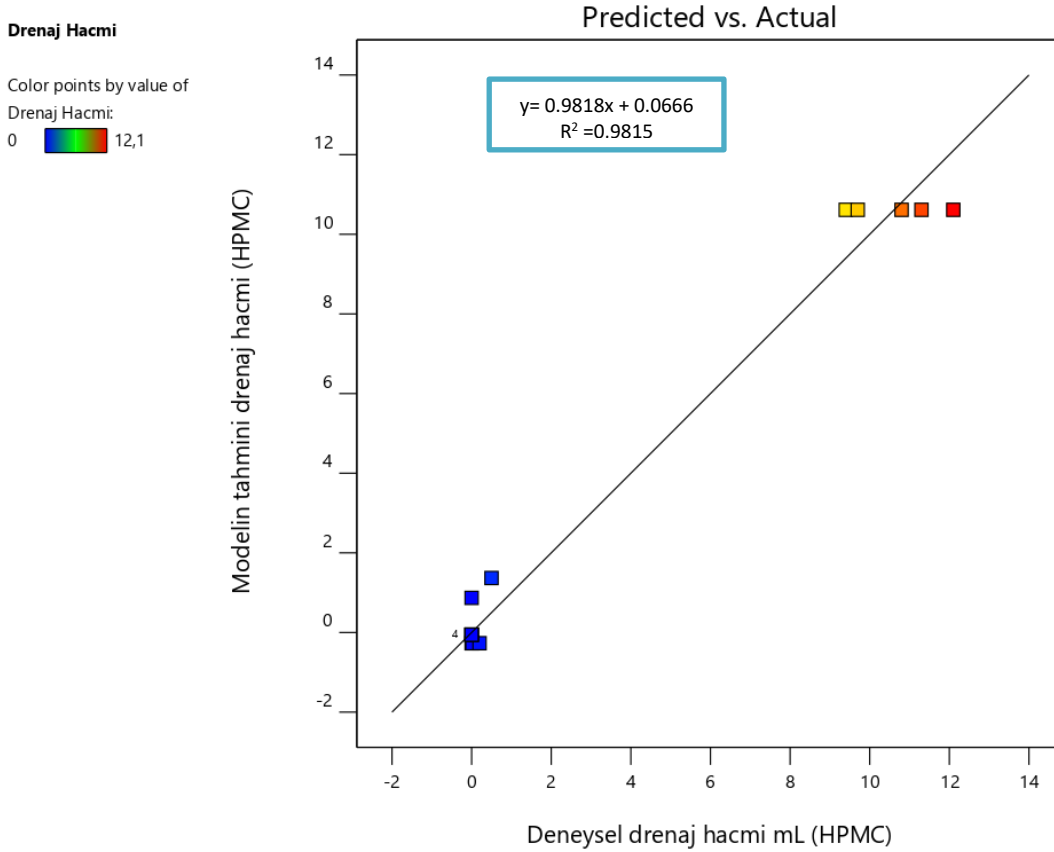
MD: Maltodekstrin (%KM)

HPMC: Hidroksipropil metil selüloz (%KM)

Optimizasyon çalışması sonucu model yardımıyla hesaplanan değerler deneysel değerlerle karşılaştırılmıştır. Bu değerler Çizelge 4.4'te, elde edilen denklem ve grafik Şekil 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.4 : Optimizasyon çalışması sonucu model yardımıyla hesaplanan değerler ve deneysel drenaj değerleri (HPMC).

No	Deneysel drenaj (mL)	Modelin tahmini drenaj (mL)
1	0.0000	-0.2684
2	0.0000	-0.0543
3	12.1000	10.6200
4	0.0100	-0.2684
5	0.0000	-0.0543
6	0.5000	1.3700
7	0.0000	-0.0543
8	0.0200	-0.2684
9	10.8000	10.6200
10	11.3000	10.6200
11	0.2000	-0.2684
12	9.4000	10.6200
13	9.7000	10.6200
14	0.0000	-0.0543
15	0.0000	0.8690



Şekil 4.3 : Modelin tahmini ve deneysel drenaj grafiği (HPMC).

Modelin R^2 değeri 0.9818 olup deneysel drenaj (mL) ile modelin tahmini drenaj (mL) miktarlarının grafiği Şekil 4.3'te görülmektedir. Modelin R^2 değerinin 1 değerine yakın olması ile deneysel olarak elde edilen verileri daha iyi yansıttığının bir göstergesidir. Modelin keskinliğinin bir ölçütü olan sinyal gürültü oranı (Adeq precision) 26.4317 olarak belirlenmiştir. Bu değerin 4'ten büyük olması modeli doğrulamak için kullanılan denklemin yeterli olduğunu ifade etmektedir. R^2_{adj} ve R^2_{pre} değerleri arasındaki farkın 0.2'den az olması aralarındaki farkın makul seviyede olduğunun bir göstergesidir. Model uyumsuzluk değerinin önemsiz çıkması modelin uygunluğu için önemlidir. Model için belirlenen P değerlerinin 0.05'ten küçük olmasından dolayı, HPMC ve MD'nin model için önemli terimler olduğu belirlenmiştir. Oluşturulan model için ANOVA sonuçları aşağıda verilmiştir (Çizelge 4.5).

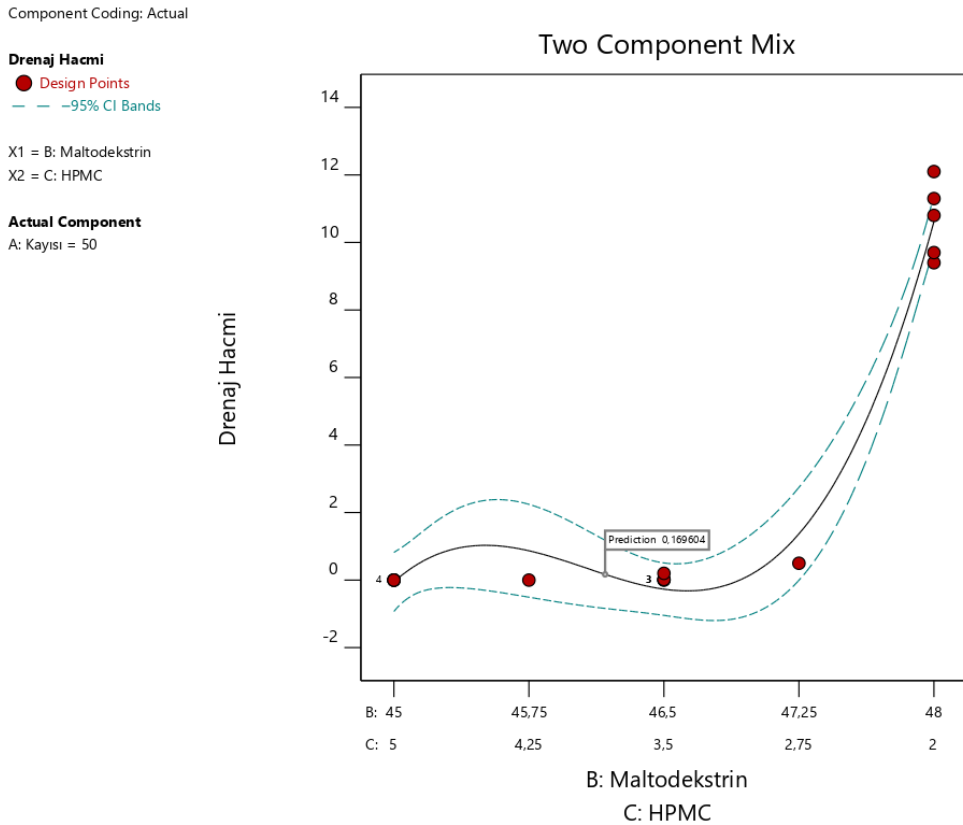
Çizelge 4.5 : Drenaj hacmi (HPMC) kübik modelin uygunluğunu test etmek için kullanılan değerler ve ANOVA tablosu.

Varyasyon kaynakları	HKT	SD	HKO	F- değeri	P-değeri	
Model (Küçük)	371.87	3	123.96	194.91	< 0.0001*	önemli
BC	95.26	1	95.26	149.79	< 0.0001*	
BC(B-C)	11.07	1	11.07	17.4	0.0016*	
Kalıntı	7	11	0.636			
Model uyumsuzluğu	1.96	1	1.96	3.88	0.0771	önemsiz
Saf hata	5.04	10	0.5039			
Toplam	378.86	14				

Model	R ²	R ² _{adj}	R ² _{pre}	CV%	Adeq precision	PRESS	Std. Dev.
Küçük	0.9815	0.9765	0.9507	22.14	26.4317	18.68	0.7975

B: MD, C: HPMC, * $p < 0.05$ düzeyinde istatistiksel olarak önemlidir.

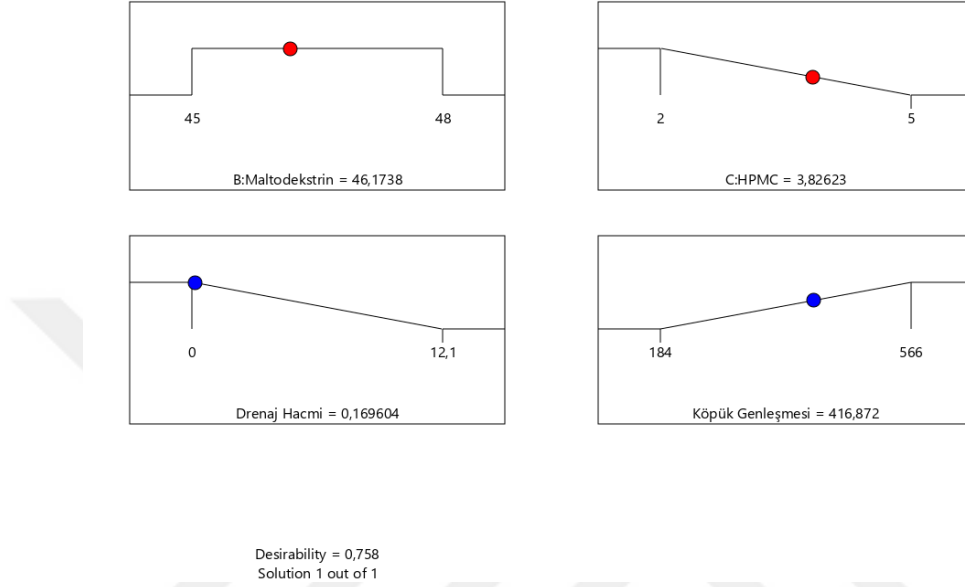
Optimizasyon çalışması ile elde edilen optimum formülasyonun (KM'de %46.17 MD + %3.83 HPMC+ %50 kayısı) kullanılması sonucu modelin eşitliği ile tahmin ettiği drenaj hacmi 0.169604 mL olarak belirlenmiştir (Şekil 4.4).



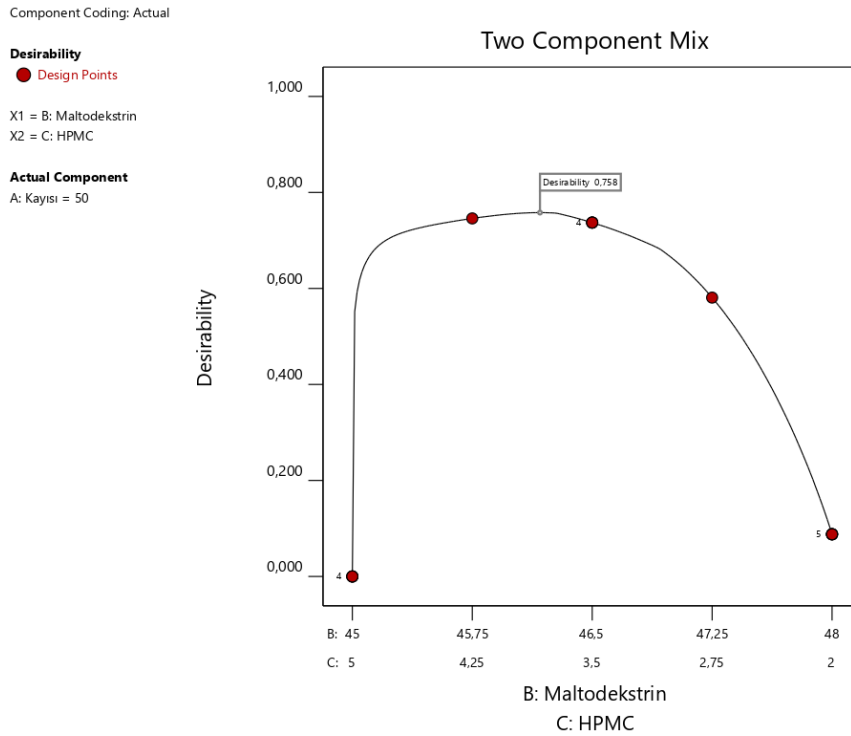
Şekil 4.4 : Modelin belirlediği optimum değer için drenaj hacmi (HPMC).

4.1.1.3 İstenirlik ve optimum oranlar (HPMC)

Optimizasyon deneme desenindeki deneysel çalışmalar sonucu elde edilen veriler programa girilerek optimizasyon hedef tablosundaki (Çizelge 3.2) ayarlar doğrultusunda programın belirlediği optimum MD & HPMC oranları ve bu değerlere karşılık gelen köpük genişmesi ve drenaj hacmi miktarları ile istenirlik oranları belirlenmiştir (Şekil 4.5 ve Şekil 4.6).



Şekil 4.5 : Modelin belirlediği optimum MD, HPMC ve buna bağlı drenaj hacmi ve köpük genişmesi.



Şekil 4.6 : İstenirlik grafiği (HPMC).

4.1.2 Yumurta akı tozu (YA) optimizasyon bulguları

Köpürtücü ajan olarak YA'nın kullanıldığı çalışmada elde edilen bulgular Çizelge 4. 6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6 : YA D-optimal mixture dizayn tablosu.

	Bileşen 1	Bileşen 2	Bileşen 3	Yanıt 1	Yanıt 2
No	Kayısı (%KM)	MD (%KM)	YA (%KM)	Köpük genleşmesi (%)	Drenaj hacmi (mL)
1	50.00	40.00	10.00	140	6.0
2	50.00	32.50	17.50	200	3.0
3	50.00	25.00	25.00	280	0.0
4	50.00	25.00	25.00	292	0.0
5	50.00	25.00	25.00	340	0.0
6	50.00	25.00	25.00	280	0.0
7	50.00	40.00	10.00	160	6.7
8	50.00	32.50	17.50	220	2.8
9	50.00	32.50	17.50	228	2.6
10	50.00	40.00	10.00	188	5.9
11	50.00	28.75	21.25	300	0.5
12	50.00	32.50	17.50	204	2.1
13	50.00	40.00	10.00	136	5.3
14	50.00	40.00	10.00	124	7.2
15	50.00	36.25	13.75	168	3.7

4.1.2.1 Köpük genleşmesi optimizasyon bulguları (YA)

Optimizasyon çalışmasında cevap olarak kullanılan köpük genleşmesi oranının deneysel çalışmalarda %124–340 aralığında olduğu belirlenmiştir. Optimizasyon çalışmasında, programın oluşturduğu deneme planındaki çalışmalar yapılarak, deneysel çalışma sonucu elde edilen veriler programa girilmiştir. Daha sonra, optimizasyon hedef tablosundaki (Çizelge 3.4) ayarlar doğrultusunda köpük genleşmesi verileri kullanılarak bir eşitlik oluşturulmuştur. YA köpük genleşmesi için belirlenen linear modele ait eşitlik ve 4.3 nolu denklemle gösterilmiştir.

$$KG = +0.851355 * (MD) + 11.13168 * (YA) \quad (4.3)$$

KG: Köpük genleşmesi (%)

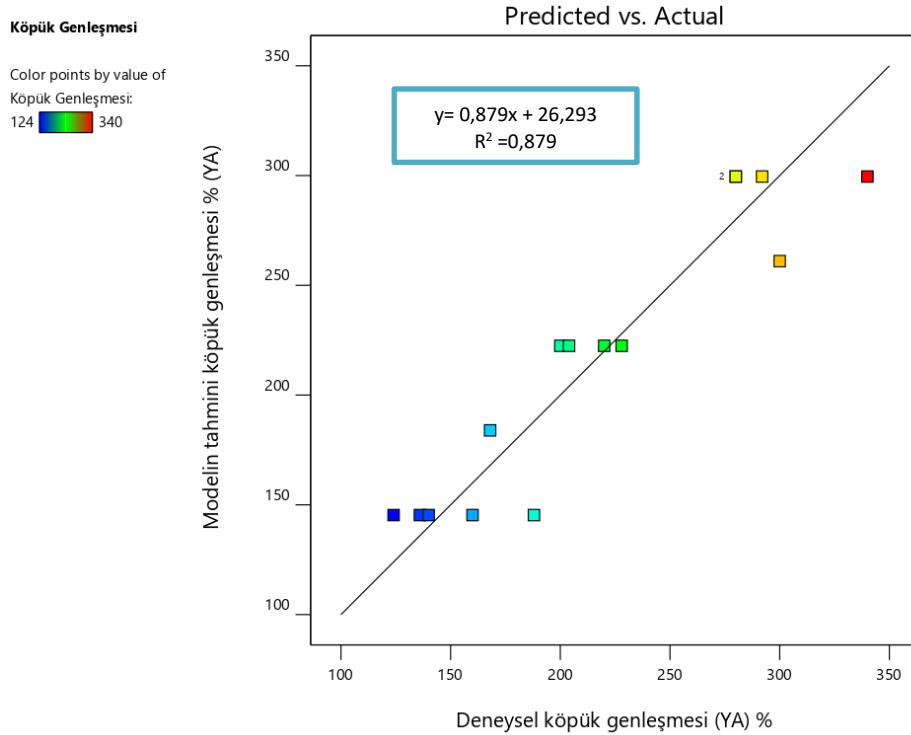
MD: Maltodekstrin (%KM)

YA: Yumurta akı tozu (%KM)

Optimizasyon çalışması sonucu model yardımıyla hesaplanan değerler deneysel değerlerle karşılaştırılmıştır. Bu değerler Çizelge 4.7’de, elde edilen denklem ve grafik Şekil 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7 : Optimizasyon çalışması sonucu model yardımıyla hesaplanan değerler.

No	Deneysel köpük genişmesi (%)	Modelin tahmini köpük genişmesi (%)
1	140.0	145.4
2	200.0	222.5
3	280.0	299.6
4	292.0	299.6
5	340.0	299.6
6	280.0	299.6
7	160.0	145.4
8	220.0	222.5
9	228.0	222.5
10	188.0	145.4
11	300.0	261.0
12	204.0	222.5
13	136.0	145.4
14	124.0	145.4
15	168.0	183.9



Şekil 4.7 : Modelin tahmini ve deneysel köpük genişmesi grafiği (YA).

Modelin R^2 değeri 0.879 olup deneysel köpük genişmesi oranı (%) ile modelin tahmini köpük genişmesi oranı (%) miktarlarının grafiği görülmektedir. Modelin R^2 değerinin 1 değerine yakın olması ile deneysel olarak elde edilen verileri daha iyi yansıttığının bir göstergesidir. Modelin keskinliğinin bir ölçütü olan sinyal gürültü oranı (Adeq precision) 17.3318 olarak belirlenmiştir. Bu değer 4'ten büyük olması modeli doğrulamak için kullanılan denklemin yeterli olduğunu ifade etmektedir. Ayarlanmış ve tahmin edilen R^2 değerleri arasındaki farkın 0.2'den az olması aralarındaki farkın makul seviyede olduğunun bir göstergesidir. Model uyumsuzluk değerinin önemsiz çıkması modelin uygunluğu için önemlidir. Model için belirlenen P değerlerinin 0.05'ten küçük olmasından dolayı, YA ve MD'nin model için önemli terimler olduğu belirlenmiştir Oluşturulan model için ANOVA sonuçları da aşağıda verilmiştir (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8 : Köpük genişmesi (YA) linear modelin uygunluğunu test etmek için kullanılan değerler ve ANOVA tablosu.

Varyasyon kaynakları	HKT	SD	HKO	F- değeri	P-değeri		
Model (Linear)	56079.2	1	56079.2	94.46	< 0.0001*	önemli	
Kalıntı	7718.13	13	593.7				
Model uyumsuzluğu	2230.93	3	743.64	1.36	0.3117	önemsiz	
Saf hata	5487.2	10	548.72				
Toplam	63797.33	14					
Model	R ²	R ² _{adj}	R ² _{pre}	CV%	Adeq precision	PRESS	Std. Dev.
Linear	0.8790	0,8697	0,8338	11.21	17.3318	10600.77	24.37

* $p < 0.05$ düzeyinde istatistiksel olarak önemlidir.

Optimizasyon çalışması ile elde edilen optimum formülasyonun (KM'de %26.94 MD + %23.06 YA + %50 kayısı) kullanılması sonucu modelin eşitliği ile tahmin ettiği köpük genişmesi miktarı %279.495 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.8).

Component Coding: Actual

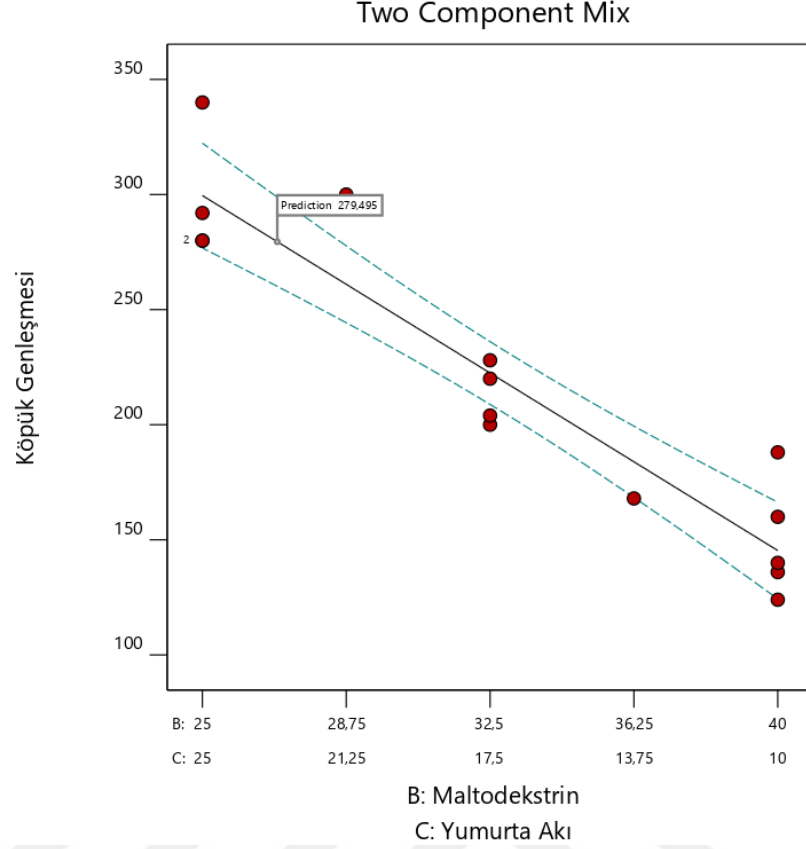
Köpük Genleşmesi

● Design Points
— —95% CI Bands

X1 = B: Maltodekstrin
X2 = C: Yumurta Akı

Actual Component

A: Kayısı = 50



Şekil 4.8 : Modelin belirlediği optimum değer için köpük genleşmesi (YA).

4.1.2.2 Drenaj hacmi optimizasyon bulguları (YA)

Optimizasyon çalışmasında cevap olarak kullanılan drenaj hacminin deneysel çalışmalarda 0-6.7 mL aralığında olduğu belirlenmiştir. Optimizasyon çalışmasında, programın oluşturduğu deneme planındaki çalışmalar yapılarak, deneysel çalışma sonucu elde edilen veriler programa girilmiştir. Daha sonra, optimizasyon hedef tablosundaki (Çizelge 3.4) ayarlar doğrultusunda drenaj hacmi verileri kullanılarak bir eşitlik oluşturulmuştur. YA drenaj hacmi için belirlenen linear modele ait eşitlik ve 4.4 nolu denklemle gösterilmiştir.

$$DH = 0.203538 * (MD) - 0.215496 * (YA) \quad (4.4)$$

DH: Drenaj hacmi (mL)

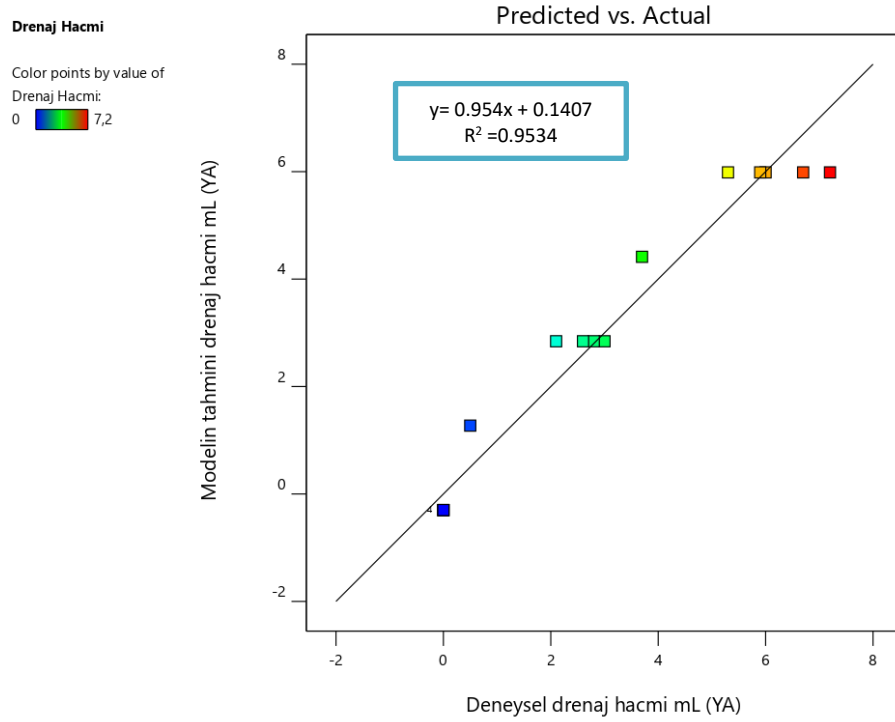
MD: Maltodekstrin (%KM)

YA: Yumurta akı tozu (%KM)

Optimizasyon çalışması sonucu model yardımıyla hesaplanan değerler deneysel değerlerle karşılaştırılmıştır. Bu değerler Çizelge 4.9’te, elde edilen denklem ve grafik Şekil 4.9’de verilmiştir.

Çizelge 4.9 : Optimizasyon çalışması sonucu model yardımıyla hesaplanan değerler ve deneysel drenaj değerleri (YA).

No	Deneysel drenaj (mL)	Modelin tahmini drenaj (mL)
1	6.0000	5.9900
2	3.0000	2.8400
3	0.0000	-0.2989
4	0.0000	-0.2989
5	0.0000	-0.2989
6	0.0000	-0.2989
7	6.7000	5.9900
8	2.8000	2.8400
9	2.6000	2.8400
10	5.9000	5.9900
11	0.5000	1.2700
12	2.1000	2.8400
13	5.3000	5.9900
14	7.2000	5.9900
15	3.7000	4.4200



Şekil 4.9 : Modelin tahmini ve deneysel drenaj grafiği (YA).

Modelin R^2 değeri 0.9534 olup deneysel drenaj (mL) ile modelin tahmini drenaj (mL) miktarlarının grafiği görülmektedir. Modelin R^2 değerinin 1 değerine yakın olması ile deneysel olarak elde edilen verileri daha iyi yansıttığının bir göstergesidir. Modelin keskinliğinin bir ölçütü olan sinyal gürültü oranı (Adeq precision) 29.048 olarak belirlenmiştir. Bu değer 4'ten büyük olması modeli doğrulamak için kullanılan denklemin yeterli olduğunu ifade etmektedir. R^2_{adj} ve R^2_{pre} değerleri arasındaki farkın 0.2'den az olması aralarındaki farkın makul seviyede olduğunun bir göstergesidir. Model uyumsuzluk değerinin önemsiz çıkması modelin uygunluğu için önemlidir. Model için belirlenen P değerlerinin 0.05'ten küçük olmasından dolayı, YA ve MD'nin model için önemli terimler olduğu belirlenmiştir. Oluşturulan model için ANOVA sonuçları da Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10 : Drenaj hacmi (YA) linear modelin uygunluğunu test etmek için kullanılan değerler model için ANOVA tablosu

Varyasyon kaynakları	HKT	SD	HKO	F- değeri	P-değeri		
Model (Linear)	93.17	1	93.17	265.33	< 0.0001*	önemli	
Kalıntı	4.57	13	0.3512				
Model uyumsuzluğu	1.93	3	0.6432	2.44	0.1247	önemsiz	
Saf hata	2.64	10	0.2636				
Toplam	97.74	14					
Model	R ²	R ² _{adj}	R ² _{pre}	CV%	Adeq precision	PRESS	Std. Dev.
Linear	0.9533	0.9497	0.9375	19.41	29.048	6.11	0.5926

* $p < 0.05$ düzeyinde istatistiksel olarak önemlidir.

Optimizasyon çalışması ile elde edilen optimum formülasyonun (KM'de %26.94 MD + %23.06 YA + %50 kayısı) kullanılması sonucu modelin eşitliği ile tahmin ettiği drenaj miktarı 0.519586 mL olarak belirlenmiştir (Şekil 4.10).

Component Coding: Actual

Drenaj Hacmi

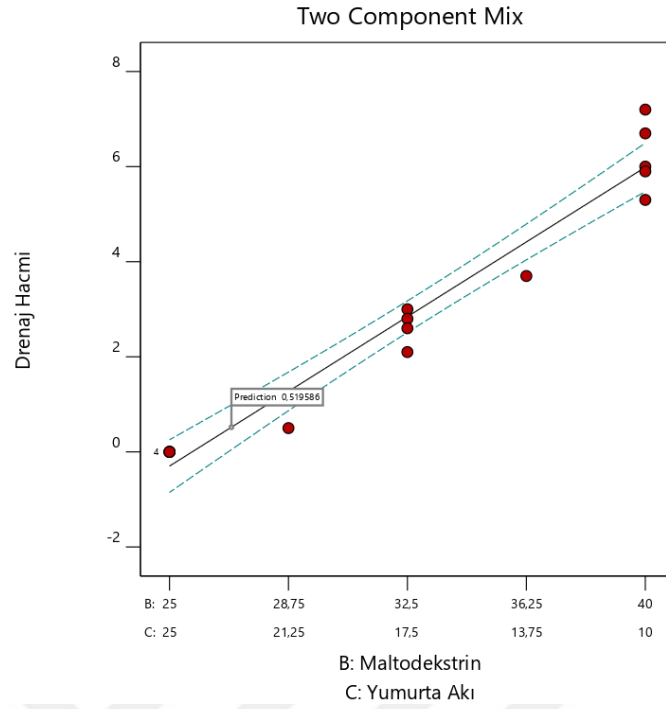
● Design Points
— 95% CI Bands

X1 = B: Maltodekstrin

X2 = C: Yumurta Akı

Actual Component

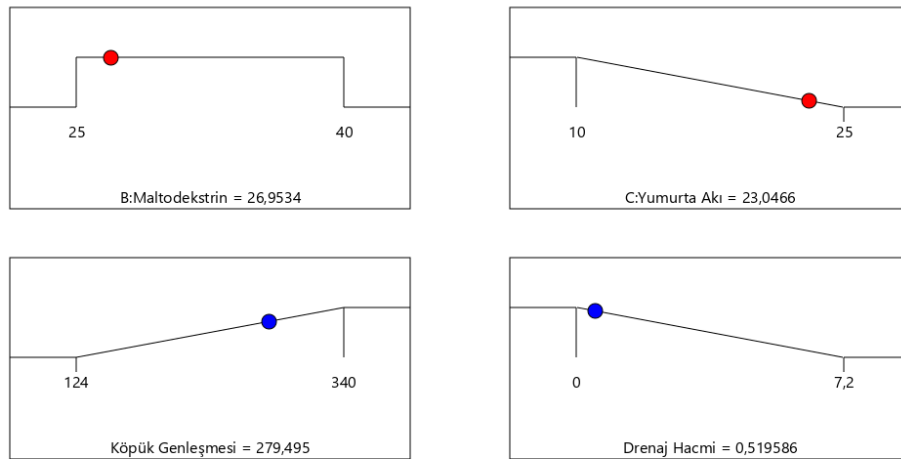
A: Kayısı = 50



Şekil 4.10 : Modelin belirlediği optimum değer için drenaj hacmi (YA).

4.1.2.3 İstenilirlik ve optimum oranlar (YA)

Optimizasyon deneme desenindeki deneysel çalışmalar sonucu elde edilen veriler programa girilerek optimizasyon hedef tablosundaki (Çizelge 3.4) ayarlar doğrultusunda programın belirlediği optimum MD&YA oranları ve bu değerlere karşılık gelen köpük genişmesi ve drenaj hacmi miktarları ile istenirlik oranları belirlenmiştir (Şekil 4.11 ve Şekil 4.12).



Şekil 4.11 : Modelin belirlediği optimum MD, YA ve buna bağlı drenaj hacmi ve köpük kapasitesi.

Component Coding: Actual

Desirability

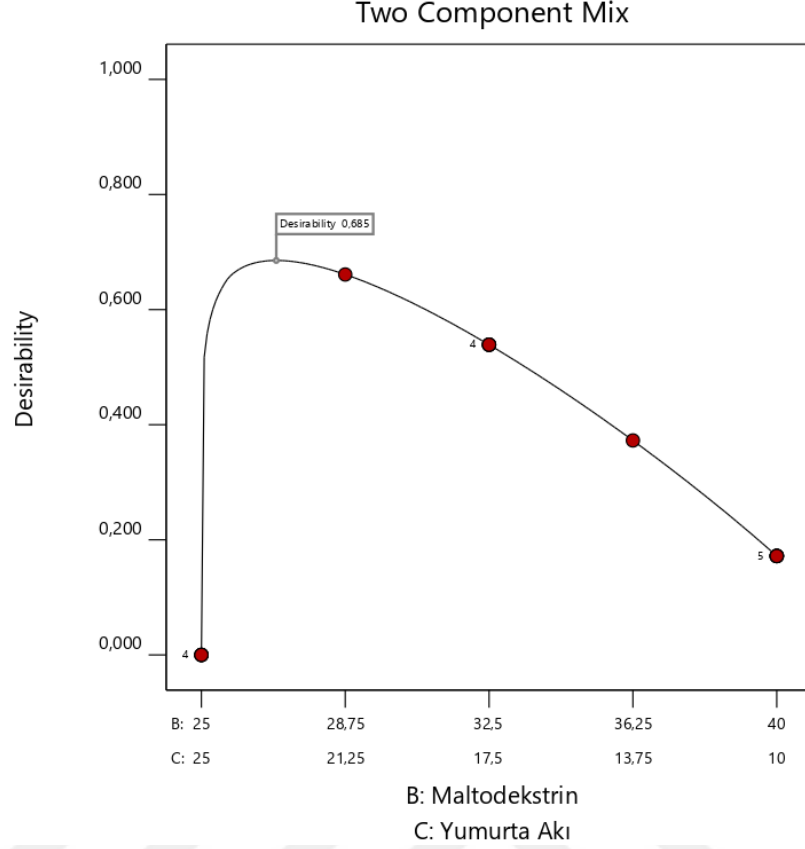
● Design Points

X1 = B: Maltodekstrin

X2 = C: Yumurta Akı

Actual Component

A: Kayısı = 50



Şekil 4.12 : Modelin belirlediği istenirlik grafiği (YA).

4.2 Analiz Bulguları

4.2.1 Köpük genişmesi, drenaj hacmi köpük ve yoğunluğu analiz sonuçları

Çalışma kapsamında, köpürtücü ajan olarak HPMC'nin kullanıldığı çalışmada köpük genişmesi değerleri %184-566 aralığında değişmiştir. Köpük genişmesi oranı köpürtücü ajan oranının artmasına bağlı olarak artmıştır. %5 HPMC içeren örneklerdeki köpük genişmesi oranı %566 değerine kadar çıkarken, bu değer %2 HPMC içeren örneklerde %184'e kadar düşmüştür (Şekil 4.13). Çalışma kapsamında, diğer köpürtücü ajan olarak YA'nın kullanıldığı çalışmada köpük genişmesi değerleri %124-340 aralığında belirlenmiştir. Köpük genişmesi oranı köpürtücü ajan oranının artmasına bağlı olarak artmıştır. Köpük genişmesi oranı, %25 YA içeren örneklerdeki %340 değerine kadar çıkarken, bu değer %10 YA içeren örneklerde %124'e kadar düşmüştür (Şekil 4.14).

Çalışmada, köpürtücü ajan olarak HPMC'nin kullanıldığı çalışmada drenaj hacmi değerleri 0-12.1 mL aralığında belirlenmiştir. Drenaj hacmi miktarı, köpürtücü ajan oranının artmasına bağlı olarak azalmıştır. %5 HPMC içeren örneklerdeki herhangi bir drenaj meydana gelmezken bu değer %2 HPMC içeren örneklerde 12.1 mL'ye kadar çıkmıştır.

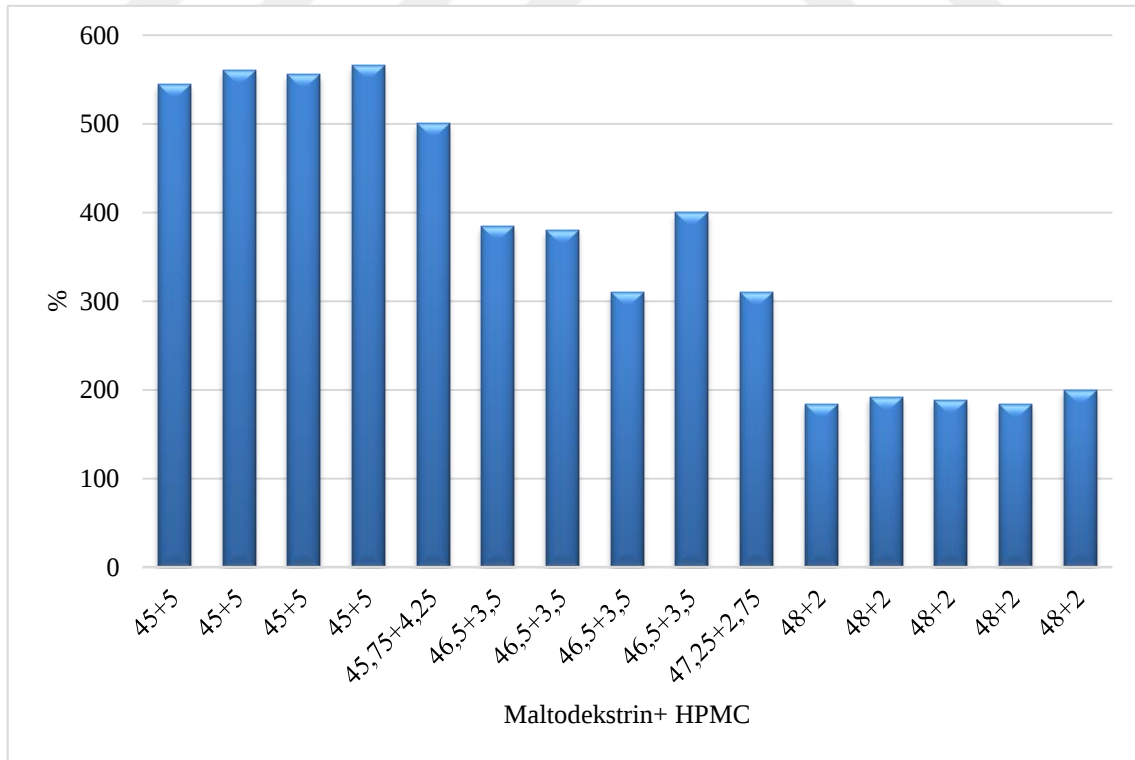
(Şekil 4.15). Çalışma kapsamında diğer köpürtücü ajan olarak YA'nın kullanıldığı çalışmada drenaj hacmi değerleri 0-7.2 mL aralığında belirlenmiştir. Drenaj hacmi değerleri köpürtücü ajan oranının artmasına bağlı olarak azalmıştır. %25 YA içeren örneklerde herhangi bir drenaj gözlenmezken, bu değer %10 YA içeren örneklerde 7.2 mL'ye kadar çıktığı belirlenmiştir. (Şekil 4.16).

Çalışmada, köpürtücü ajan olarak HPMC'nin kullanıldığı çalışmada köpük yoğunluğu değerleri 0.150-0.352 g/cm³ aralığında belirlenmiştir. Köpük yoğunluğu oranı köpürtücü ajanı oranının artmasına bağlı olarak azalmıştır. %5 HPMC içeren örneklerdeki köpük yoğunluğu değerine 0.150 g/cm³ kadar düşerken, bu değer %2 HPMC içeren örneklerde 0.352 g/cm³ değerine kadar yükselmiştir (Çizelge 4.11 ve Şekil 4.17). Çalışma kapsamındaki bir diğer köpürtücü ajan YA'nın kullanıldığı çalışmada, köpük yoğunluğu değerleri 0.230-0.450 g/cm³ aralığında belirlenmiştir. Köpük yoğunluğu oranı köpürtücü ajanı oranının artmasına bağlı olarak azalmıştır. %25 YA içeren örneklerdeki köpük yoğunluğu değeri 0.230 g/cm³ değerine kadar düşerken, bu değer %10 YA içeren örneklerde 0.450 g/cm³ kadar yükselmiştir (Çizelge 4.12 ve Şekil 4.18).

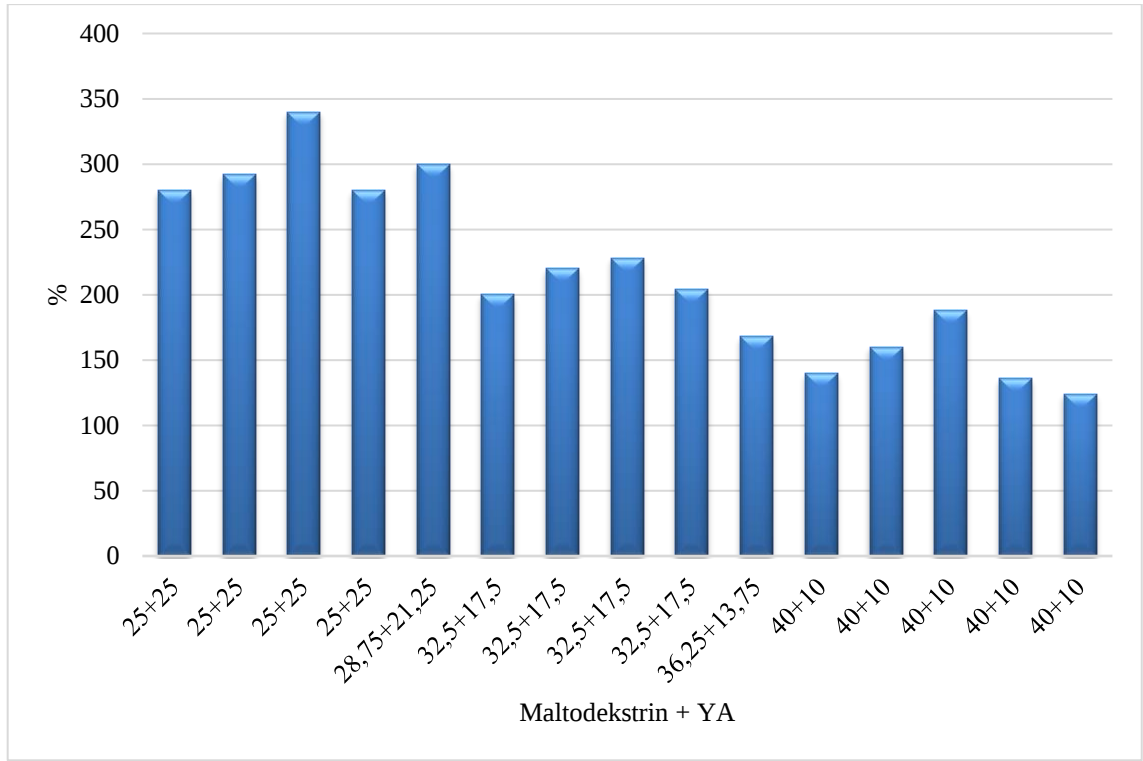
Varhan ve diğ. (2019) köpük kurutma metoduyla incir tozu üretimini araştırdıkları çalışmada, KM bazında %10-30 aralığında yumurta akı içeren formülasyonlar üzerine yaptıkları çalışmada en yüksek drenaj miktarını 19.83 mL ile elde ederken en düşük drenaj miktarını 0 mL olarak tespit etmişlerdir. Yine aynı çalışmada köpük kapasitesini %10 yumurta akı içeren denemede %133.35 ile en düşük, %30 yumurta akı içeren formülasyonda %424.79 oranıyla en yüksek olarak belirlemiştir. Sangamithra ve diğ. (2015c) köpük kurutma yöntemiyle kavun tozu üretimini optimize etmek amacıyla yaptıkları çalışmada, Box-Behnken deney tasarımı ve yanıt yüzeyi metodolojisi (RSM) kullanmışlardır. Bağımsız değişkenler olarak yumurta akı konsantrasyonu, karboksimetil selüloz (CMC) ve çırpma süresini belirlemişlerdir. Yanıtlar ise köpük yoğunluğu, köpük drenaj hacmi ve köpük genleşmesi olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında, yumurta akı miktarı %5, 10 ve 15, karboksimetil selüloz oranı %0, 0.5 ve 1; çırpma süresi ise 2, 4 ve 6 dk aralığında değişmektedir. Optimum koşullar için yumurta akı (%11.59 w/w), CMC (%0.59 w/w) ve çırpma süresi 3.97 dk olarak belirlemişlerdir. Çalışmada, yumurta akı ve CMC miktarının artmasıyla köpük yoğunluğunun arttığını gözlemlemişlerdir. Ancak çırpma süresinin artmasıyla birlikte yoğunluğun kademeli olarak azaldığı, bu kademeli düşüşün ardından ise yoğunluğun tekrar arttığını rapor etmişlerdir. Bu yoğunluk artışının nedeni, uzayan çırpma süresiyle birlikte mekanik deformasyon sonucu köpüğün çökmesinin gerçekleşmesi olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar yumurta akı konsantrasyonunun artması ile köpük

genişlemesi oranının arttığını belirlemişlerdir. Ancak köpük stabilizatörünün artan konsantrasyonda köpük hacminde kademeli bir artışı takiben azalma eğilimi gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca, yumurta akı konsantrasyonunun diğer faktörlere göre köpük genişleme hacmi üzerinde önemli bir etkisi olduğunu belirlemişlerdir. Bu köpük hacmindeki artış, yumurta akı içerisinde bulunan proteinlerin varlığına bağlanmaktadır. Çırpma işlemi sırasında, proteinlerin yüzeyler arası bölgede denatüre olduğunu ve birbirleriyle etkileşerek stabil bir ara yüzey filmi oluşturduğunu ve uzayan çırpma süresiyle meydana gelecek köpük çökmesi sonucunda hacmin azalabileceğini bildirmişlerdir.

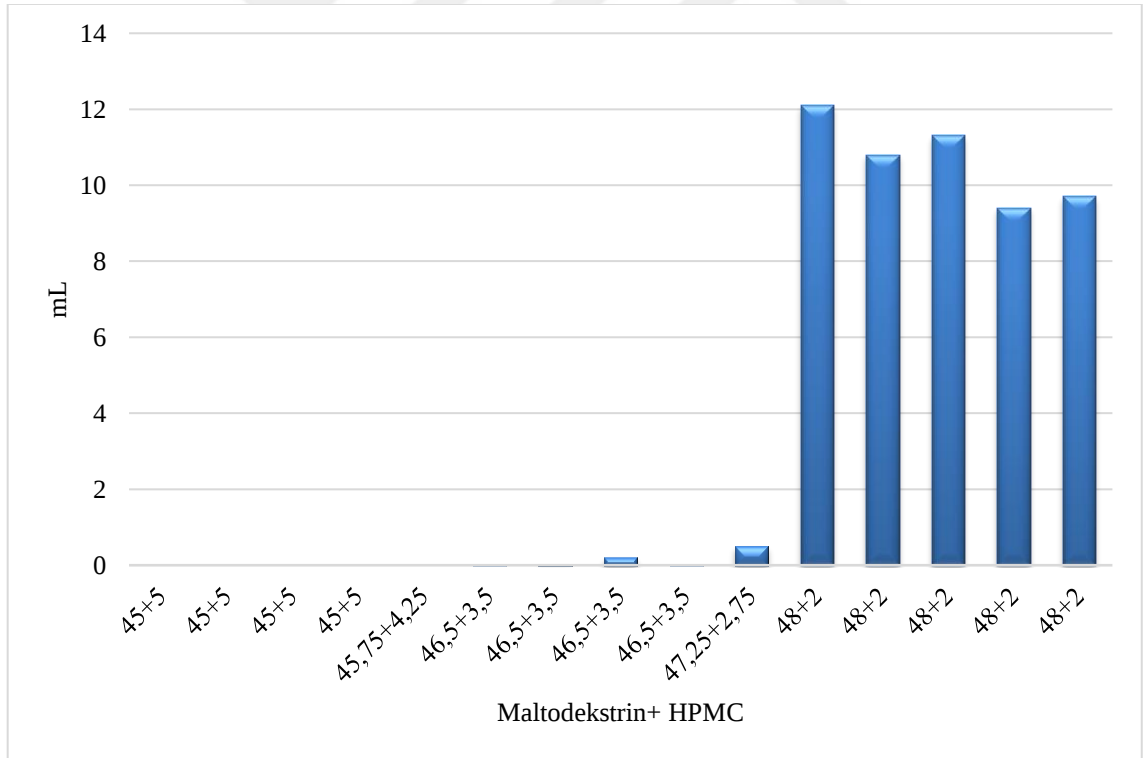
Shaari ve diğ. (2018) tarafından yapılan çalışmada, yumurta akı kullanarak köpük kurutma tekniğiyle ananas tozu üretimi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca püskürtmeli kurutucu kullanılarak da ananas tozu üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, %20 yumurta akı kullanımı ve 10 dakikalık çırpma süresi sonucunda 0.28 g/cm^3 değeriyle en düşük yoğunluk ve %79.20 değeriyle en yüksek köpük genişlemesi değerini belirlemişlerdir. Araştırmacılar, yumurta akı oranının artmasıyla köpürme yeteneğinin arttığını ve köpük yoğunluğunu düşürdüğünü ifade etmişlerdir. Yapılan çalışmalarda, genellikle köpürtücü ajan miktarının artması ile drenaj hacmi ve köpük yoğunluğunda bir azalma, köpük genişmesi miktarında ise bir artışın olduğunu belirlemişlerdir. Çalışmadaki bulgular literatür bilgileri ile uyumlu çıkmıştır.



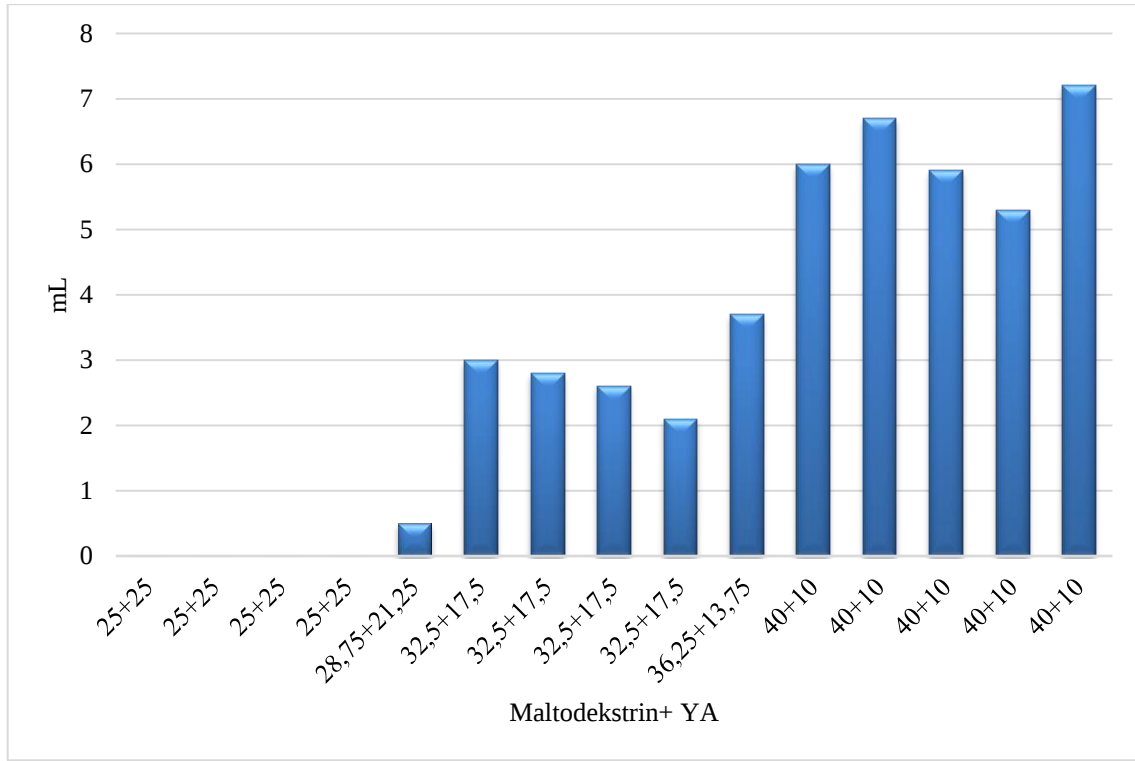
Şekil 4.13 : HPMC ve MD'nin farklı oranlarının köpük genişmesi değerleri.



Şekil 4.14 : YA ve MD'nin farklı oranlarının köpük genişmesi değerleri.



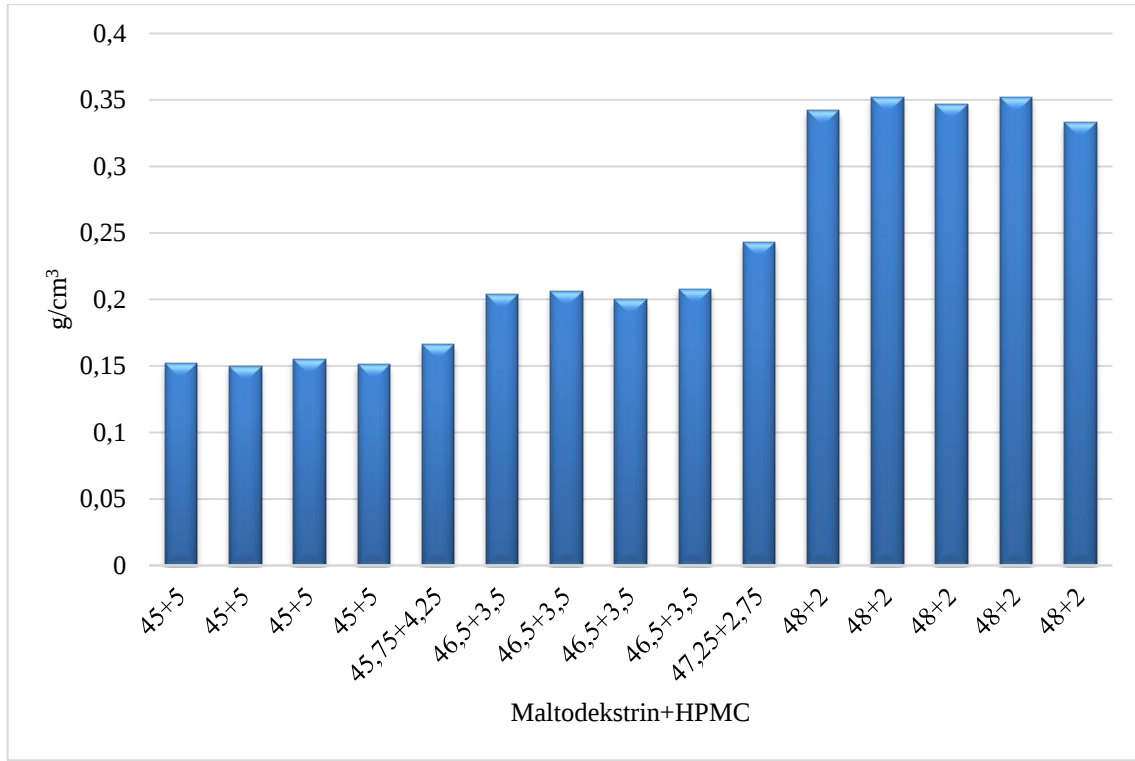
Şekil 4.15 : HPMC ve MD'nin farklı oranlarının drenaj hacmi değerleri.



Şekil 4.16 : YA ve MD'nin farklı oranlarının drenaj hacmi değerleri.

Çizelge 4.11 : Farklı oranlardaki HPMC formülasyonlarının köpük yoğunluğu değeri.

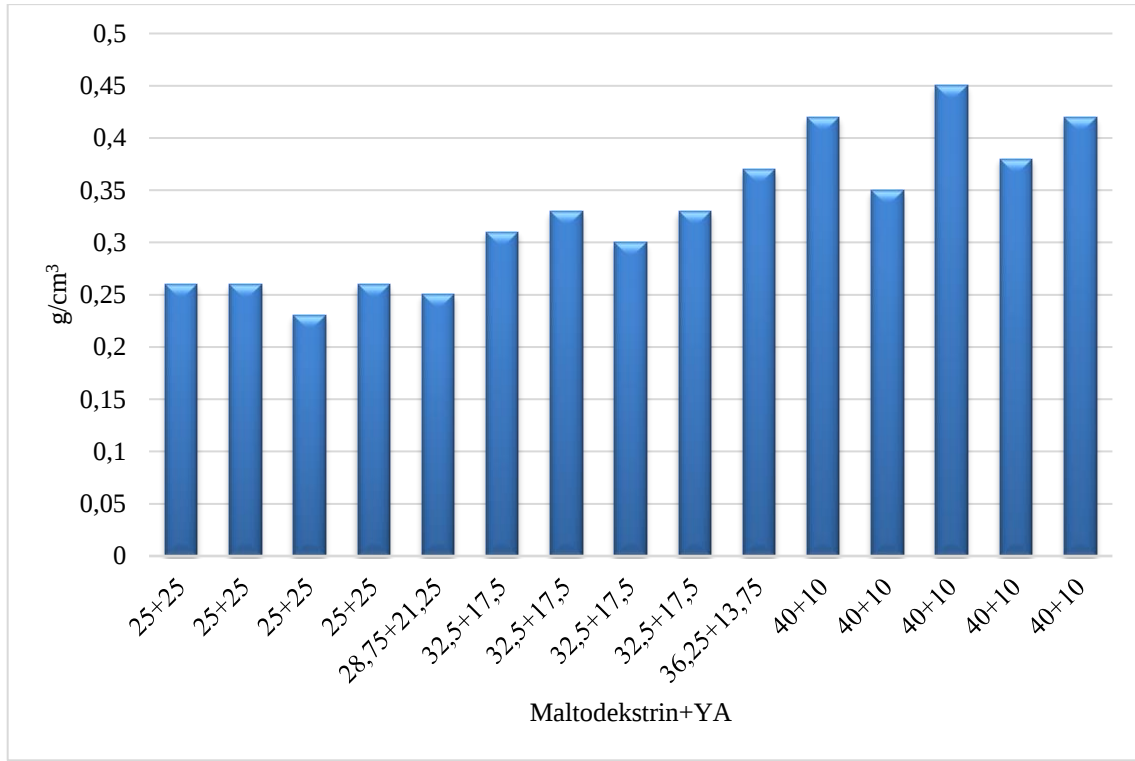
No	Kayısı (%KM)	MD (%KM)	HPMC (%KM)	Köpük yoğunluğu (g/cm ³)
1	50.00	46.50	3.50	0.208
2	50.00	45.00	5.00	0.152
3	50.00	48.00	2.00	0.342
4	50.00	46.50	3.50	0.206
5	50.00	45.00	5.00	0.150
6	50.00	47.25	2.75	0.243
7	50.00	45.00	5.00	0.151
8	50.00	46.50	3.50	0.200
9	50.00	48.00	2.00	0.352
10	50.00	48.00	2.00	0.347
11	50.00	46.50	3.50	0.204
12	50.00	48.00	2.00	0.352
13	50.00	48.00	2.00	0.333
14	50.00	45.00	5.00	0.155
15	50.00	45.75	4.25	0.166



Şekil 4.17 : HPMC ve MD'nin farklı oranlarının köpük yoğunluğu değerleri.

Çizelge 4.12 : Farklı oranlardaki YA formülasyonlarının köpük yoğunluğu değeri.

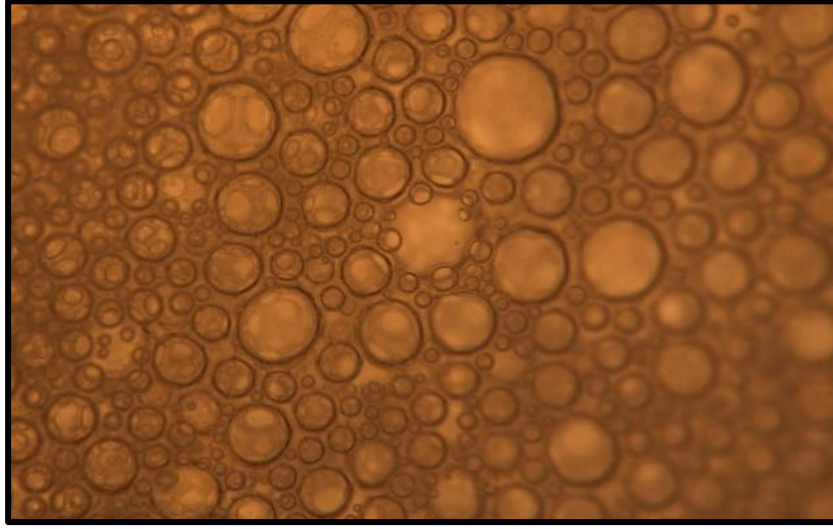
No	Kayıısı (%KM)	MD (%KM)	YA (%KM)	Köpük yoğunluğu (g/cm ³)
1	50.00	40.00	10.00	0.42
2	50.00	32.50	17.50	0.31
3	50.00	25.00	25.00	0.26
4	50.00	25.00	25.00	0.23
5	50.00	25.00	25.00	0.26
6	50.00	25.00	25.00	0.26
7	50.00	40.00	10.00	0.35
8	50.00	32.50	17.50	0.33
9	50.00	32.50	17.50	0.30
10	50.00	40.00	10.00	0.45
11	50.00	28.75	21.25	0.25
12	50.00	32.50	17.50	0.33
13	50.00	40.00	10.00	0.38
14	50.00	40.00	10.00	0.42
15	50.00	36.25	13.75	0.37



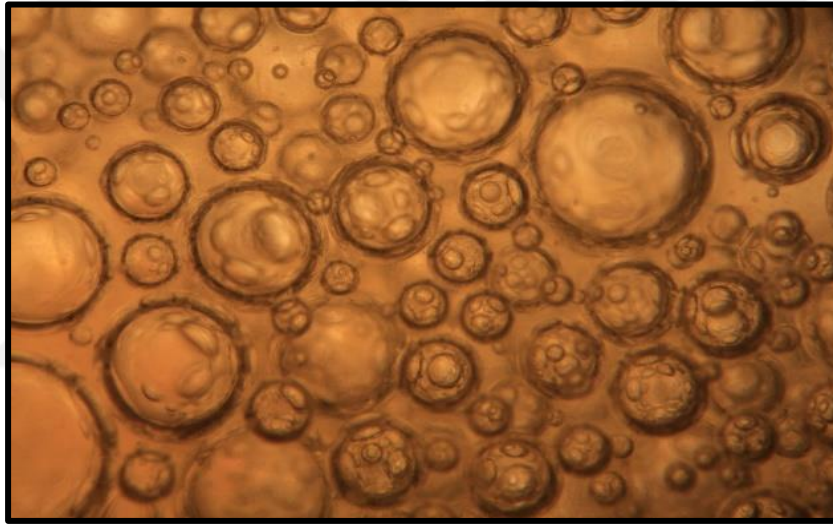
Şekil 4.18 : YA ve MD'nin farklı oranlarının köpük yoğunluğu değerleri.

4.2.2 Köpük boyut, şekil ve şekil dağılımı analiz sonuçları

Bölüm 3.2.3.3 ve 3.2.3.4'de belirtildiği gibi elde edilen köpürtülmüş kayısı pürelerinin köpük yapısı mikroskop yardımıyla incelenmiştir. Görsellerden anlaşılacağı üzere, köpürtücü ajan olarak HPMC kullanılan çalışmada elde edilen köpük yapısı, YA kullanılan çalışmaya kıyasla daha heterojen bir yapı sergilemiştir ve HPMC'nin daha büyük köpük yapıları oluşturduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.19 ve Şekil 4.20). Raharitsifa ve diğ. (2006), elma suyunun köpüklerinin köpük kurutma için stabilitesi ve reolojik özelliklerini incelemişlerdir. Araştırmacılar köpükleri, farklı özelliklere sahip 2 köpürme ajanının farklı konsantrasyonlarıyla (protein olan yumurta akı %0.5, %1, %2 ve %3 w/w ve polisakkarit olan metil selüloz %0.1, %0.2, %0.5, %1 ve %2 w/w) hazırlanan artırılmış elma suyundan elde ettikten sonra farklı sürelerde (3, 5 ve 7 dk) çırpılarak hazırlamışlardır. Genel olarak, yumurta akı köpüklerinin daha az stabil olmalarına rağmen daha yüksek bir katılık derecesi (daha güçlü yapılar), daha yüksek köpürme kapasitesi ve daha küçük ortalama köpük boyutu sergilediğini belirlemişlerdir. Köpük stabilitesinin, hem metil selüloz hem de yumurta akının artan konsantrasyonları ile birlikte arttığını belirtmişlerdir. Araştırmacıların bulguları ile çalışmada elde edilen sonuçlar uyumlu çıkmıştır.



Şekil 4.19 : Yumurta akı köpüğü mikroskop görüntüsü.



Şekil 4.20: HPMC köpüğü mikroskop görüntüsü.

4.2.3 Taze ve kuru kayısı analiz sonuçları

Kayısı tozu üretimi için kullanılan taze, günkurusu, kabuk ve kükürtlü kayısılarda gerçekleştirilen fizikokimyasal analizlerden elde edilen sonuçlar, Çizelge 4.13'te sunulmuştur. Bu sonuçlar, farklı kurutma yöntemlerinin kayısı bileşenleri üzerinde önemli etkileri olduğunu ve kükürtleme işleminin de kayısı bileşimsel özelliklerini etkileyen önemli bir parametre olduğunu göstermektedir. Bu farklılıkların olası nedenleri daha detaylı olarak kayısı tozu analizleri kısmında açıklanmıştır. Sonuçların ayrıntılı olarak incelenmesi, kayısı tozu üretiminde kullanılan hammaddenin özelliklerinin anlaşılmasına yardımcı olabilir. Bu da üretim sürecinin optimize edilmesi ve kaliteli kayısı tozu üretiminin sağlanması açısından oldukça önem arz etmektedir.

Çizelge 4.13 : Taze ve kuru kayısı analiz sonuçları.

Hammadde	ABTS mg Trolox /100 g KM	DPPH mg Trolox /100 g KM	Toplam Fenolik mg GAE /100 g KM	Glikoz g/100 g KM	Fruktoz g/100 g KM	Sakkaroz g/100 g KM	Sorbitol g/100 g KM	HMF mg/kg KM	β - karoten mg/kg KM	SÇKM °Briks	SO ₂ mg/kg KM	pH	L*	a*	b*
T	121.67± 5.69C	97.33± 3.33D	208.65± 6.53D	19.55± 0.50C	10.35± 0.22C	28.24± 0.50A	22.56± 0.58A	t.e.	124.33± 8.14A	23.90± 0.20	-	5.27± 0.12A	69.57± 3.18A	7.63± 4.22B	46.56± 3.96A
KÜ	299.80± 15.30A	301.80 ±4.19A	491.67± 16.50A	26.14± 0.16A	15.55± 0.51A	13.62± 0.54C	22.23± 0.47AB	64.07± 1.75A	76.67± 1.53B	-	2000.3± 47.65	3.89± 0.04B	27.97± 2.25C	14.98± 3.33AB	42.06± 3.64A
G	240.87± 13.51B	229.73 ±4.81B	330.67± 24.70C	20.41± 0.36B	11.52± 0.46B	24.40± 0.44B	21.31± 0.29BC	3.13± 0.29B	65.00± 2.65BC	-	-	5.54± 0.04A	14.87± 2.40D	8.71± 2.07B	15.92± 2.30B
K	210.20± 12.87B	160.93 ±2.26C	401.21± 11.01B	21.10± 0.09B	10.51± 0.45BC	25.20± 0.23B	21.16± 0.17C	5.10± 0.22B	61.33± 2.08C	-	-	5.49± 0.19A	50.83± 3.82B	18.86± 0.78A	49.61± 2.59A

Aynı sütundaki farklı harflerle gösterilen değerler kayısıların birbirinden $P<0.05$ düzeyinde farklı olduğunu göstermektedir., t.e.: Tespit edilemedi.

4.2.4 Kayısı tozu analiz sonuçları

4.2.4.1 Şeker bileşimi analiz sonuçları

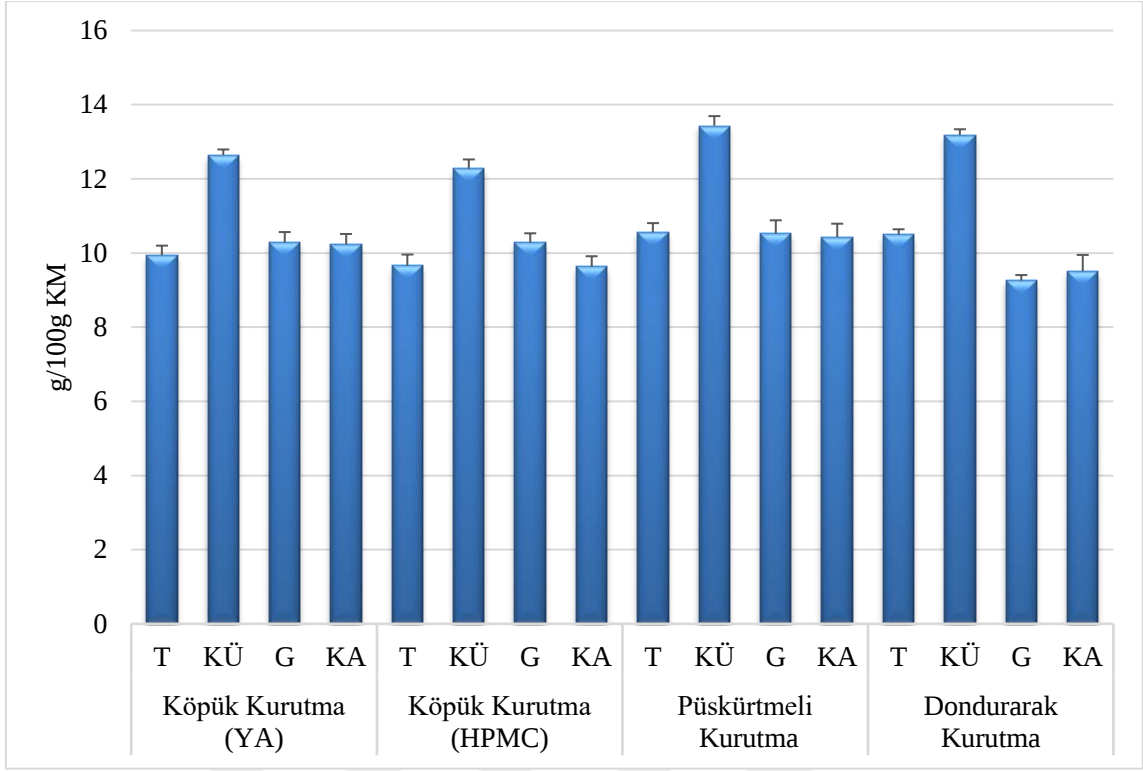
Farklı yöntemlerle elde edilen kayısı tozlarında, glikoz, fruktoz, sakkaroz ve sorbitol miktarları belirlenmiştir (Çizelge 4.14). Kayısı tozlarında en yüksek glikoz değeri 13.43 g/100 g KM ile kükürtlü kayısı kullanılarak püskürtmeli kurutucuda elde edilen kayısı tozunda belirlenirken en düşük glikoz değeri 9.25 g/100 g KM ile günkurusu kayısı kullanılarak dondurarak kurutma yöntemiyle elde edilen kayısı tozlarında belirlenmiştir (Şekil 4.21). Kayısı tozlarında en yüksek fruktoz değeri 8.45 g/100 g KM ile kükürtlü kayısı kullanılarak püskürtmeli kurutucuda elde edilen kayısı tozunda belirlenirken en düşük fruktoz değeri 5.30 g/100 g KM ile kabuk kayısı kullanılarak püskürtmeli kurutucuda elde edilen kayısı tozlarında belirlenmiştir (Şekil 4.22). Kayısı tozlarında en yüksek sakkaroz 14.36 g/100 g KM değeriyle taze kayısı kullanılarak köpük kurutma (YA) yöntemiyle elde edilen kayısı tozunda belirlenirken en düşük sakkaroz 6.69 g/100g KM değeri ile kükürtlü kayısı kullanılarak dondurarak kurutma yöntemiyle elde edilen kayısı tozlarında belirlenmiştir (Şekil 4.23). Kayısı tozlarında en yüksek sorbitol değeri 11.47 g/100 g KM değeriyle kabuk kayısı kullanılarak köpük kurutma (YA) yöntemi ile elde edilen kayısı tozunda belirlenirken en düşük sorbitol değeri 10.340 g/100 g KM ile taze kayısı kullanılarak dondurarak kurutma yöntemiyle elde edilen kayısı tozlarında belirlenmiştir (Şekil 4.24). Çalışmada incelenen kayısı tozları için kullanılan farklı kurutma yöntemlerinin şeker bileşimi değerleri üzerindeki farklılıklar araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, kayısı tozu elde etmek için kullanılan toz elde etme yönteminin şeker bileşenleri üzerinde sistematik bir etkisinin olmadığını göstermiştir. Bununla birlikte, kurutulmuş kayısı örneklerinde glikoz ve fruktoz miktarları taze kayısıya göre daha yüksek bulunmuştur. Sakkaroz oranları ise tam tersine, kuru kayısıda taze kayısıya göre azalmıştır. Bu farklılık, özellikle kükürtlü kayısı örneklerinde daha belirgin bir şekilde gözlenmiştir. Kayısı tozlarının şeker içeriği açısından farklılığının kayısı tozu elde etme yönteminden ziyade kullanılan hammadde tarafından daha çok etkilendiği ve benzer özellikler sergilediği gözlemlenmiştir. Akın (2008), Malatya kayısıları üzerine yaptığı çalışmada, Hacıhaliloğlu taze kayısı çeşidi için glikoz, fruktoz, sakkaroz ve sorbitol değerlerini sırasıyla; 19.21, 13.56, 22.96 ve 26.80 g/100 g KM olarak belirlerken aynı değerleri kuru kayısı için 23.43, 18.91 ,11.90 ve 27.80 g/100 g KM olarak belirlemiştir. Çalışmasında kuru kayısılarda sakkaroz miktarının azalmasını ve glikoz ve fruktoz miktarının artmasının sebebi olarak kayısıların kurutulması veya depolanması

sırasında meydana gelebilecek inversiyondan kaynaklanabileceğini ve bu durumun asitliğin gelişmesiyle ortaya çıkmasının mümkün olabileceği gibi invertaz enzimi ile katalizlenebileceğini bildirmiştir. Karabulut ve diğ. (2018) Malatya kayısılarında farklı boyut ve kurutma metodlarının kayısının özellikleri üzerine etkilerini araştırdığı çalışmada, sakkaroz miktarının taze kayılara oranla kurutulmuş kayılarda daha az buna karşın glikoz ve fruktoz miktarının daha fazla olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca kükürtleme işleminin kayısı pH değerini düşürerek asitli bir ortam oluşturduğunu ve sakkarozun parçalanmasına etkili olabileceğini bildirmiştir. Çalışmada kullanılan kayısı tozlarının KM’de %50 kayısı içerdiği göz önünde bulundurulduğunda elde ettiğimiz sonuçlar genellikle literatürle uyumludur. Kurutma ve kükürtleme işleminin şeker bileşimi üzerine etkisi oldukça önemli olduğu belirlenmiştir.

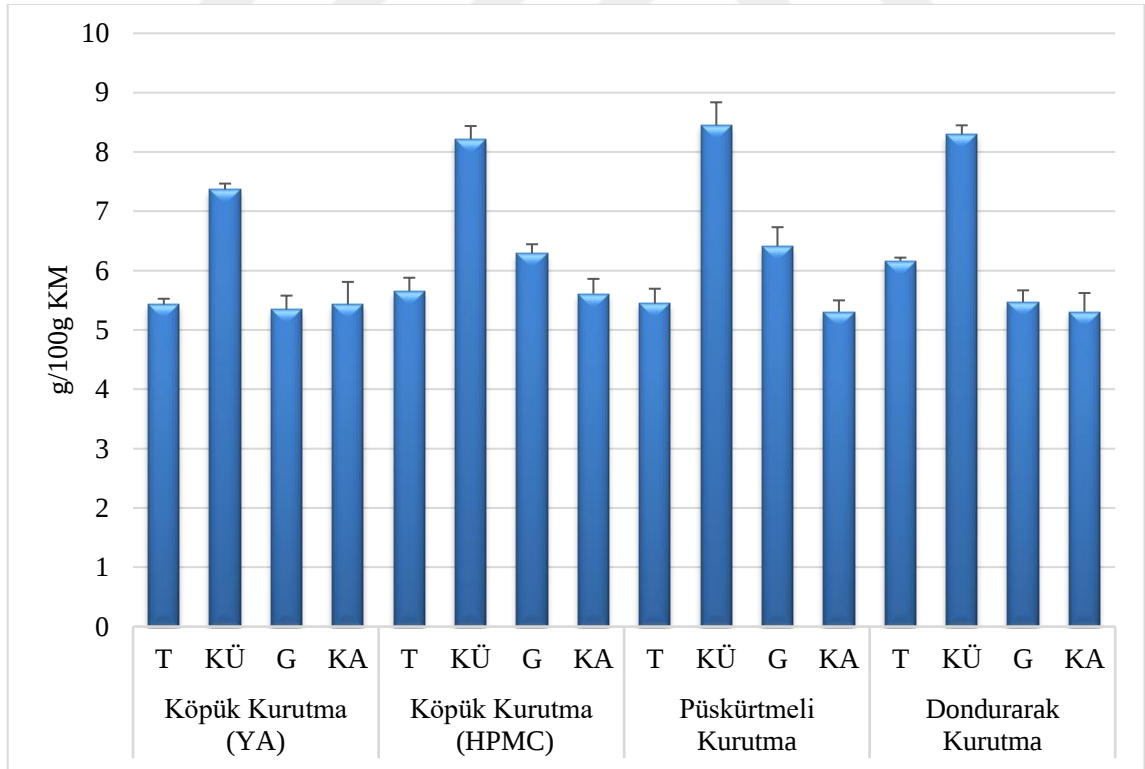
Çizelge 4.14 : Kayısı tozlarının şeker bileşimi analiz sonuçları.

Kurutma yöntemi	Hammadde	Glikoz g/100 g KM	Fruktoz g/100 g KM	Sakkaroz g/100 g KM	Sorbitol g/100 g KM
Köpük kurutma (YA)	T	9.94±0.26B,ab	5.43±0.10B,b	14.36±0.36A,a	10.90±0.03AB,ab
	KÜ	12.64±0.15A,bc	7.37±0.10A,b	7.48±0.11D,a	10.49±0.43B,b
	G	10.28±0.28B,a	5.34±0.23B,b	10.64±0.22C,c	10.55±0.49AB,a
	K	10.23±0.28B,ab	5.43±0.38B,a	11.53±0.28B,c	11.47±0.28A,a
Köpük kurutma (HPMC)	T	9.66±0.30B,b	5.65±0.23C,b	14.42±0.20A,a	11.41±0.21A,a
	KÜ	12.27±0.25A,c	8.21±0.22A,a	7.48±0.41D,a	10.62±0.21B,ab
	G	10.28±0.25B,a	6.29±0.15B,a	11.44±0.25C,b	10.52±0.20B,a
	K	9.63±0.29B,ab	5.61±0.25C,a	12.83±0.14B,a	11.28±0.25A,a
Püskürtmeli kurutma	T	10.56±0.25B,a	5.44±0.25C,b	13.57±0.49A,a	11,22±0,19A,a
	KÜ	13.43±0.26A,a	8.45±0.39A,a	7.51±0.47C,a	11.42±0.37A,a
	G	10.52±0.36B,a	6.41±0.32B,a	12.29±0.30B,a	10.37±0.21B,a
	K	10.43±0.26B,a	5.30±0.19C,a	11.82±0.17B,bc	11.45±0.32A,a
Dondurarak kurutma	T	10.50±0.14B,a	6.17±0.05B,a	13.50±0.49A,a	10.34±0.44A,b
	KÜ	13.18±0.15A,ab	8.30±0.15A,a	6.69±0.25C,a	10.52±0.15A,b
	G	9.25±0.15C,b	5.47±0.20C,b	11.90±0.09B,ab	10.76±0.11A,a
	K	9.50±0.44C,b	5.31±0.31C,a	12.15±0.20B,b	10.38±0.37A,b

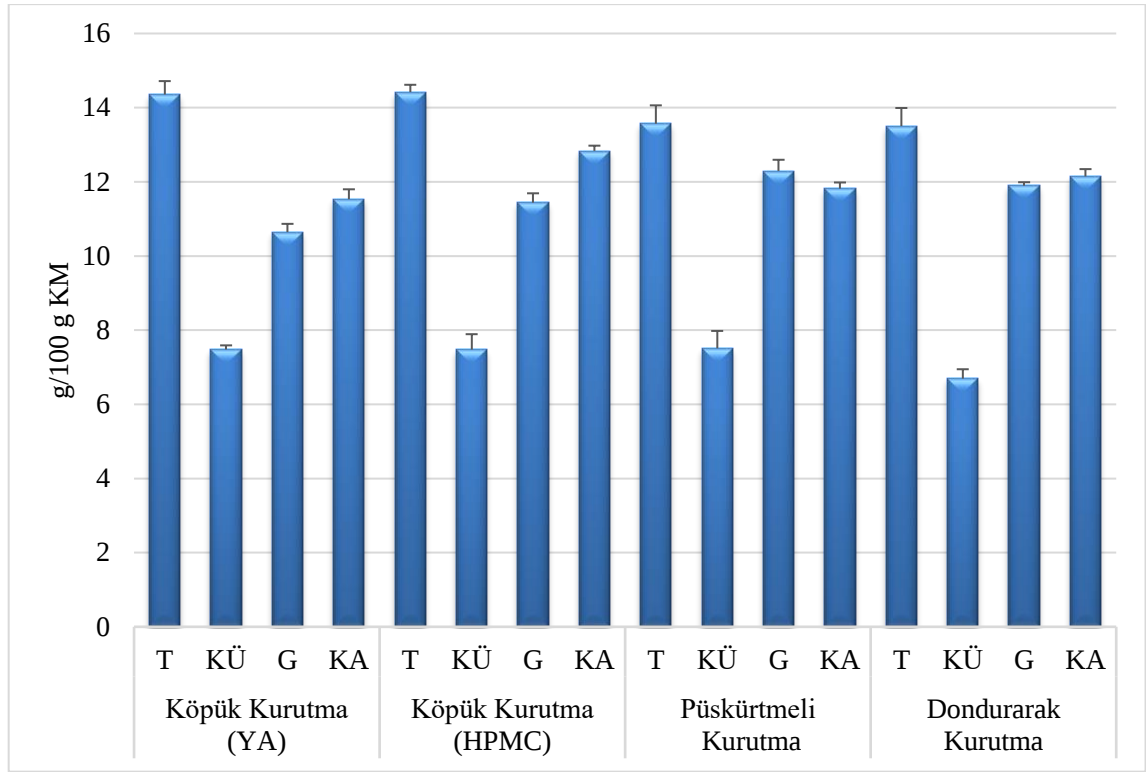
Aynı kurutma metodu içerisindeki farklı büyük harflerle gösterilen değerler uygulamaların birbirinden $P<0.05$ düzeyinde farklı olduğunu göstermektedir. Aynı sütundaki farklı küçük harflerle gösterilen değerler aynı tür hammadde için birbirinden $P<0.05$ düzeyinde farklı olduğunu göstermektedir.



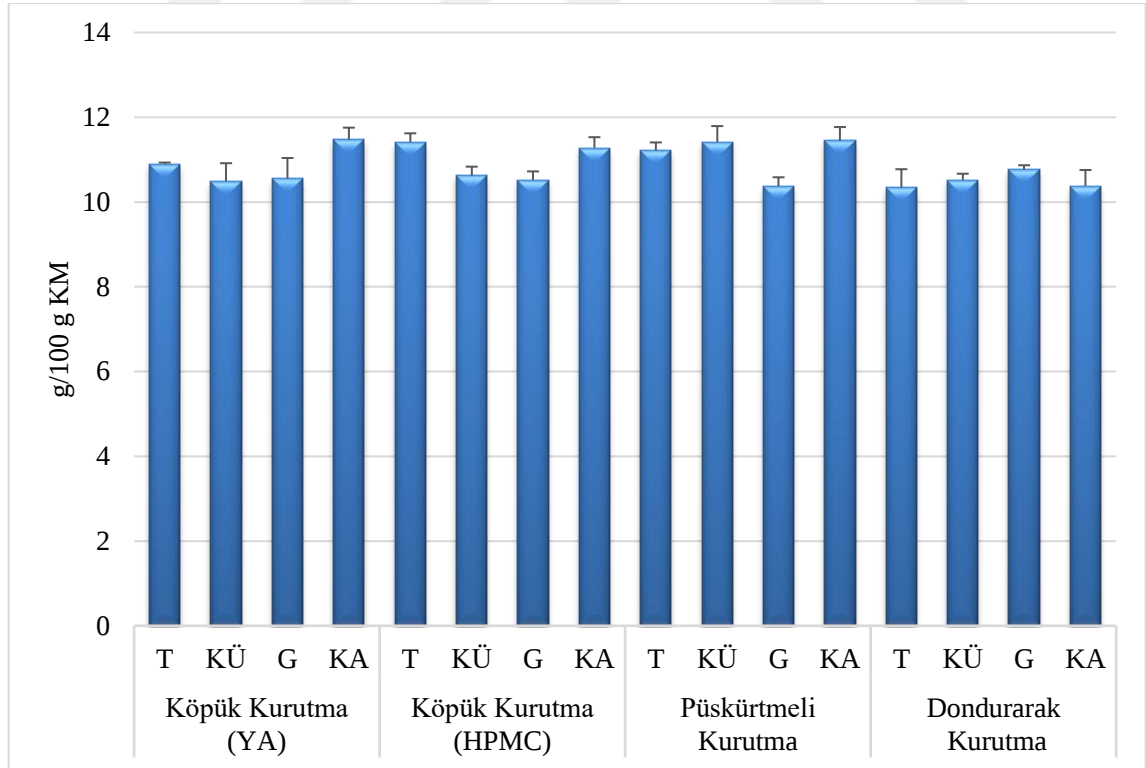
Şekil 4.21 : Kayısı tozlarının glikoz değerleri.



Şekil 4.22 : Kayısı tozlarının fruktoz değerleri.



Şekil 4.23 : Kayısı tozlarının sakkaroz değerleri.



Şekil 4.24 : Kayısı tozlarının sorbitol değerleri.

4.2.4.2 Antioksidan aktivite ve toplam fenolik madde analiz sonuçları

Farklı yöntemlerle elde edilen kayısı tozlarında, ABTS, DPPH ve toplam fenolik madde miktarları belirlenmiştir (Çizelge 4.15). Kayısı tozlarında en yüksek ABTS değeri 165.10 mg Trolox/100 g KM değeriyle günkurusu kayısı kullanılarak köpük kurutma (YA) yöntemiyle elde edilen kayısı tozunda belirlenirken en düşük ABTS değeri 61.47 mg Trolox /100 g KM ile taze kayısı kullanılarak köpük kurutma (HPMC) yöntemiyle elde edilen kayısı tozlarında belirlenmiştir (Şekil 4.25). Kayısı tozlarında en yüksek DPPH değeri 175.40 mg Trolox/100 g KM ile kükürtlü kayısı kullanılarak köpük kurutma (YA) elde edilen kayısı tozunda belirlenirken en düşük DPPH değeri 52.89 mg Trolox/100g KM ile taze kayısı kullanılarak püskürtmeli kurutucuda elde edilen kayısı tozlarında belirlenmiştir (Şekil 4.26). Kayısı tozlarında en yüksek toplam fenolik madde değeri 277.70 mg GAE/100 g KM ile kükürtlü kayısı kullanılarak köpük kurutma (HPMC) yöntemiyle elde edilen kayısı tozunda belirlenirken en düşük toplam fenolik madde değeri 70.16 mg/100g GAE KM ile taze kayısı kullanılarak püskürtmeli kurutma yöntemiyle elde edilen kayısı tozlarında belirlenmiştir (Şekil 4.27).

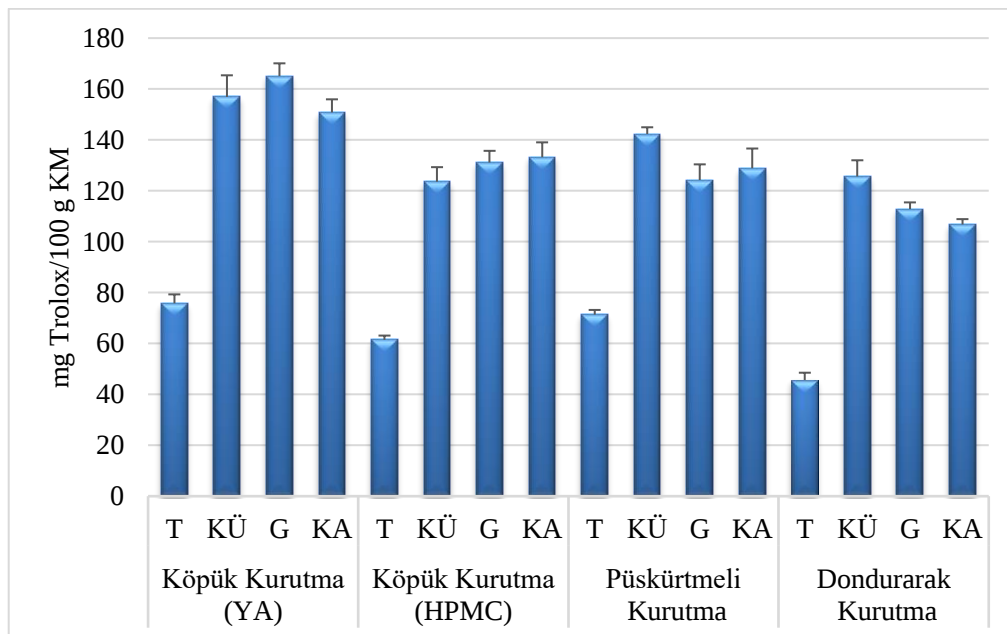
Elde edilen sonuçlara göre, kayısı tozu elde etmek için kullanılan kurutma yönteminin ABTS, DPPH ve toplam fenolik madde miktarları üzerine etkileri incelendiğinde, köpük kurutma yöntemiyle (YA) üretilen kayısı tozlarının aynı kayısı çeşidi için antioksidan aktivite ve toplam fenolik madde içeriği açısından daha yüksek değerler aldığı belirlenmiştir. Bu artışın nedeni olarak köpürtücü ajan olarak kullanılan yumurta akının yapısında bulunan antioksidan ve fenolik maddelerin katkıda bulunabileceği (Liu ve diğ, 2014) düşünülmektedir. Bununla birlikte, kurutulmuş kayısı örneklerinde ABTS, DPPH ve toplam fenolik madde miktarları taze kayısıya göre bir miktar daha yüksek bulunmuştur. Bu farklılık, özellikle kükürtlü kayısı örneklerinde daha belirgin bir şekilde gözlenmiştir. Antioksidan madde ve toplam fenolik madde miktarındaki bu farklılıkların ana sebebinin kayısı tozunu üretmek için kullanılan hammaddelerin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu durumun olası nedenlerini aşağıda verilen araştırmacılar yaptıkları çalışmalarda açıklamışlardır. Güçlü ve diğ (2006), taze, kükürtlenmiş ve günkurusu kayısılarında yaptıkları çalışmada; ABTS değerinin taze kayısıya oranla günkurusu kayısıda 4.6 kat, kükürtlü kayısıda 6.6 kat, toplam fenolik madde miktarının ise günkurusu kayısıda 3.1 kat, kükürtlü kayısıda 7.3 kat arttığını belirlemişlerdir. Bu artışta kurutma sırasında su kaybından kaynaklı oransal kuru madde artışının yanısıra kayısılarda bulunan kükürtün indirgeyici özelliğinden dolayı yalancı pozitif bir hataya neden olabileceğini bildirmiştir.

Çalışmada kükürtlü kayıslardan elde edilen yüksek antioksidan aktivite ve toplam fenolik madde değerlerinin söz konusu durumdan kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Demir (2016), Malatya kayısılarında vakum infüzyon tekniğini uyguladığı çalışmasında; taze Hacıhaliloğlu kayısı çeşidinde sırasıyla 1.81 mg TE/ gKM olan ABTS değerini vakum infüze kayıslarda 3.57 mg TE/ gKM olarak, 2.34 mg GAE/ gKM olan toplam fenolik madde miktarını 1.48 mg GAE/ gKM olarak belirlemiştir. Antioksidan içeriğinin artmasının sebebi olarak geçici yüksek antioksidan aktiviteye sahip ara ürünlerin oluşması, bazı büyük molekül ağırlıklı fenolik maddelerin daha fazla antioksidan özellik gösteren daha küçük moleküllere dönüşmesi veya meyvede bağlı formda bulunan flavonoidler ve fenolik asitlerin serbest hale geçerek antioksidan aktiviteyi artırabileceğini bildirmiştir. Gomes vd. (2018), püskürtmeli kurutucuda kurutulan papaya ürünlerinin, dondurarak kurutulan ürüne göre daha yüksek polifenol bileşiklerinin konsantrasyonunu içerdiğini tespit etmiştir. Naringin ve *p*-kumarik asit, püskürtmeli kurutma ile elde edilen ürünlerinde tespit etmişler ve miktarları belirlemişlerdir, ancak bu bileşenleri taze pulpta tespit edememişlerdir. Yüksek sıcaklık uygulamalarının oksidatif ve hidrolitik enzimleri etkisiz hale getirerek, polifenolik bileşiklerin kayıplarını önleyeceğini ve yüksek sıcaklıklarla termal işlemenin hücresel bileşenlerin parçalanmasıyla bağlı fenolik asitlerin daha fazla serbest kalmasına neden olabileceğini, bu durumun da taze pulpta tespit edilmeyen fenolik bileşiklerin kurutulmuş ürünlerdeki varlığına yol açabileceğini bildirmiştir. Çalışmaları sonucunda, kurutma yönteminin seçimi ve kurutma parametrelerinin optimizasyonu, biyoaktif bileşiklerin ve antioksidan aktivitenin korunmasıyla ilgili ürün kalitesini önemli ölçüde etkilediğini ve bu çalışmadan elde edilen bulgulara göre, püskürtmeli kurutulan papaya ürünlerinin dondurarak kurutulan ürünlere göre daha yüksek flavonoid ve fenolik bileşik korunumu sergilediğini rapor etmişlerdir. Çalışmada elde edilen toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan aktivite değerlerin literatür bilgileriyle uyumlu olduğu belirlenmiştir.

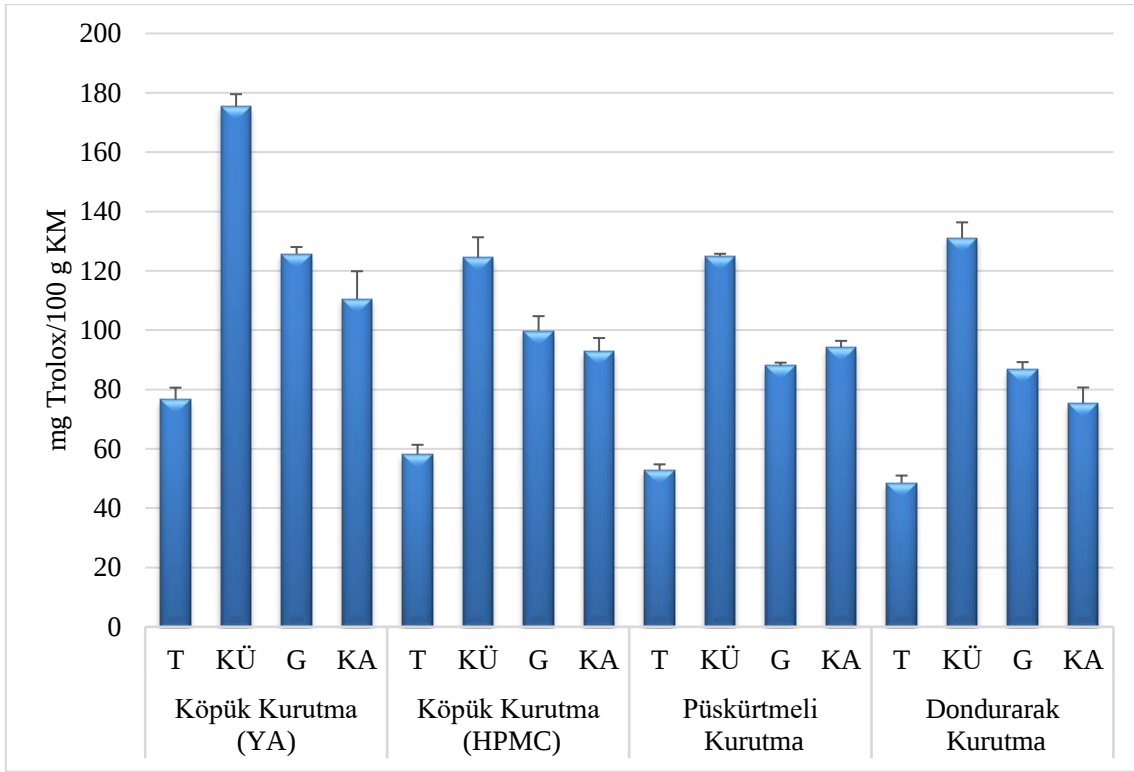
Çizelge 4.15 : Kayısı tozlarının antioksidan aktivite ve toplam fenolik madde analiz sonuçları.

Kurutma yöntemi	Hammadde	ABTS mg Trolox /100 g KM	DPPH mg Trolox /100 g KM	Toplam fenolik mg GAE /100 g KM
Köpük kurutma (YA)	T	75.80±3.50B,a	76.60±4.02D,a	94.93±2.36C,a
	KÜ	156.91±8.48A,a	175.40±4.13A,a	253.61±7.85A,b
	G	165.10±5.00A,a	125.68±2.33B,a	230.07±2.93B,a
	K	150.83±5.12A,a	110.51±9.35C,a	224.52±7.41B,a
Köpük kurutma (HPMC)	T	61.47±1.66B,b	58.13±3.22C,b	78.83±2.29C,b
	KÜ	123.60±5.70A,b	124.50±6.81A,b	277.70±6.84A,a
	G	131.13±4.58A,b	99.72±5.00B,b	197.43±4.82B,c
	K	133.23±5.81A,b	92.75±4.59B,b	201.07±3.97B,b
Püskürtmeli kurutma	T	71.36±1.83C,a	52.89±1.87D,bc	70.16±1.30D,c
	KÜ	142.33±2.64A,a	124.93±0.81A,b	231.59±5.82A,c
	G	124.23±6.16B,bc	87.97±1.08C,c	208.44±2.90B,b
	K	128.90±7.73AB,b	94.17±2.22B,b	178.77±5.46C,c
Dondurarak kurutma	T	45.67±2.86C,c	48.39±2.60D,c	64.35±3.43D,c
	KÜ	125.67±6.33A,b	131.07±5.27A,b	211.95±5.72A,d
	G	112.83±2.62B,c	86.75±2.47B,c	186.71±4.03B,d
	K	106.80±2.08B,c	75.21±5.46C,c	168.10±7.51C,c

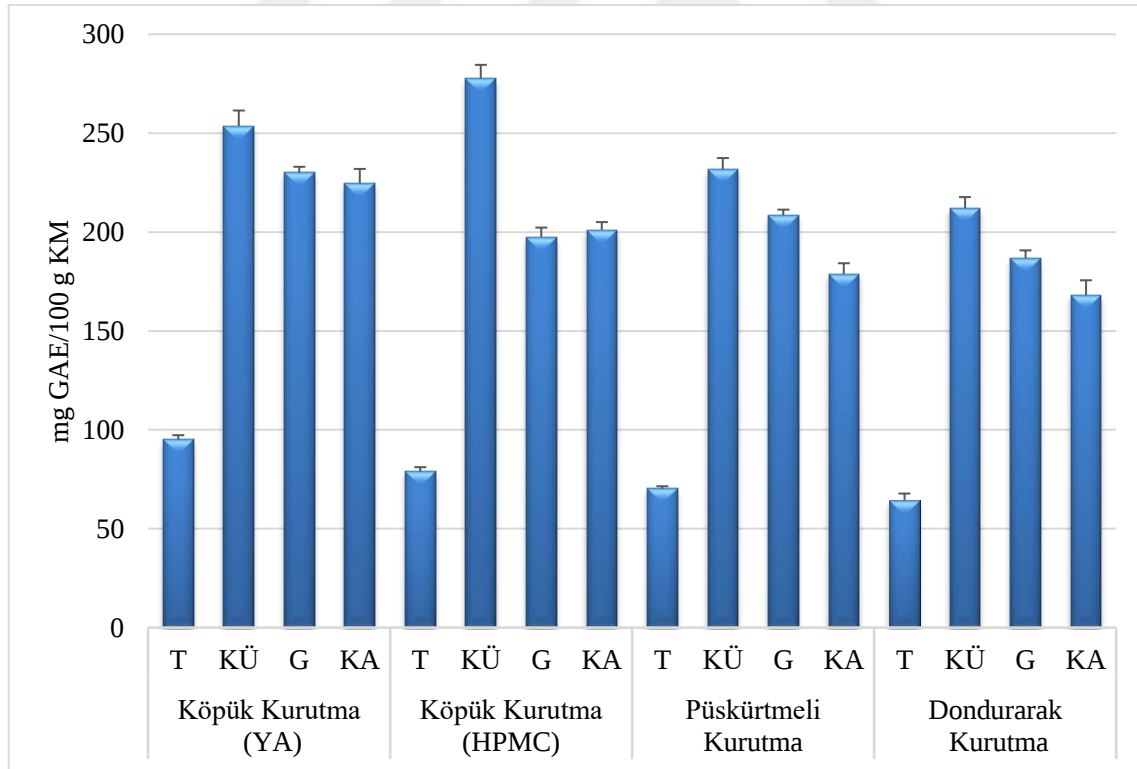
Aynı kurutma metodu içerisindeki farklı büyük harflerle gösterilen değerler uygulamaların birbirinden $P<0.05$ düzeyinde farklı olduğunu göstermektedir. Aynı sütundaki farklı küçük harflerle gösterilen değerler aynı tür hammadde için birbirinden $P<0.05$ düzeyinde farklı olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.25 : Kayısı tozlarının ABTS yöntemiyle elde edilen antiradikal aktivite değerleri.



Şekil 4.26 : Kayısı tozlarının DPPH yöntemiyle elde edilen antiradikal aktivite değerleri



Şekil 4.27 : Kayısı tozlarının toplam fenolik madde içerikleri.

4.2.4.3 Rutubet, a_w , higroskopisite ve topaklanma düzeyi analiz sonuçları

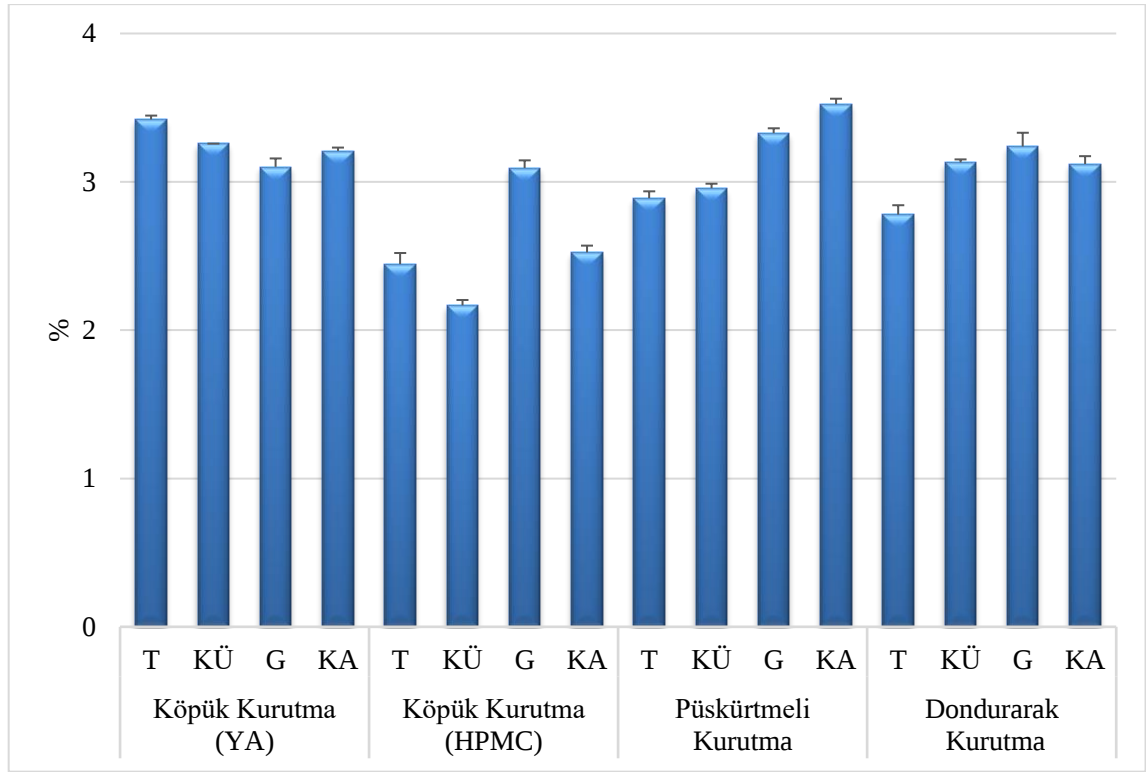
Farklı yöntemlerle elde edilen kayısı tozlarında, rutubet, su aktivitesi (a_w), higroskopisite ve topaklanma düzeyi miktarları belirlenmiştir (Çizelge 4.16). Kayısı tozlarında en yüksek rutubet değeri 3.52 g/100 g değeriyle kabuk kayısı kullanılarak püskürtmeli kurutucuda elde edilen kayısı tozunda belirlenirken, en düşük rutubet değeri 2.17 g/100g ile kükürtlü kayısı kullanılarak köpük kurutma (HPMC) yöntemiyle elde edilen kayısı tozlarında belirlenmiştir (Şekil 4.28). Kayısı tozlarında en yüksek su aktivitesi (a_w) değeri 0.127 değeriyle günkurusu kayısı kullanılarak püskürtmeli kurutucuda elde edilen kayısı tozunda belirlenirken, en düşük su aktivitesi (a_w) değeri 0.106 ile kabuk kayısı kullanılarak köpük kurutma (YA) ile elde edilen kayısı tozlarında belirlenmiştir (Şekil 4.29). Kayısı tozlarında en yüksek higroskopisite değeri 42.54 g/100 g değeriyle taze kayısı kullanılarak köpük kurutma (HPMC) yöntemiyle elde edilen kayısı tozunda belirlenirken en düşük higroskopisite değeri 37.90 g/100 g ile günkurusu kayısı kullanılarak dondurarak kurutma yöntemiyle elde edilen kayısı tozlarında belirlenmiştir (Şekil 4.30 ve Şekil 4.31). Kayısı tozlarında en yüksek topaklanma düzeyi 20.87 g/100 g değeriyle günkurusu kayısı kullanılarak köpük kurutma (HPMC) yöntemi ile elde edilen kayısı tozunda belirlenirken, köpük kurutma (YA) ile elde edilen kayısı tozlarında herhangi bir topaklanma gözlenmemiştir (Şekil 4.32 ve Şekil 4.33). Rutubet içerikleri açısından en düşük değerler, köpük kurutma yöntemiyle (HPMC) ile üretilen kayısı tozlarında belirlenmiştir. Rutubet değerlerinin daha düşük çıkmasının nedeni olarak; HPMC'nin YA'na göre daha yüksek köpük genleşmesi değerine sahip olmasının gözenekli yapıyı artırdığı ve bu nedenle ortamda bulunan suyun daha kolay uzaklaştığı düşünülmektedir. Wilson ve diğ. (2013) YA kullanarak mango pulpunu kurutarak mango tozu elde etmişlerdir. Mango tozlarının, rutubet miktarını 1.12-3.05 g/100 g aralığında tespit etmişlerdir. Capariño ve diğ. (2012) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, farklı kurutma teknikleri (kırınım pencere, dondurarak, püskürtme ve tambur kurutma) ile mango tozu üretimi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Sırasıyla su aktivitesi değerlerini, 0.177, 0.174, 0.169, 0.173 rutubet değerlerini, 1.7, 2.3, 1.3, 4.3 g/100g ve higroskopisite değerlerini %18.0, 18.0, 20.1, 16.5 olarak belirlemişlerdir. Arslan ve Durmaz (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, farklı DE değerine sahip MD kullanılarak taze kayısılarından dondurarak kurutma yöntemiyle kayısı tozu üretimi yapılmış ve β -karoten ile bazı fizikokimyasal parametreler belirlenmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, MD kullanılan örneklerde rutubet miktarının %4.19-5.67 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Ayrıca, MD kullanılan örneklerde higroskopisite değerlerinin %41.1-46.3 arasında olduğu belirlenmiştir.

Aynı çalışmada topaklanma oranı ise %11.6-29.4 arasında değişmiştir. Tüm bu değerlerin, MD kullanılmayan kontrol örneğine göre daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Kara (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, köpük kurutma yöntemi kullanılarak nar suyu tozu üretimi yapılmıştır. Elde edilen nar suyu tozlarının nem miktarlarının 0.5-2.0 g/100 g aralığında ve su aktivitesi değerleri ise 0.088-0.130 arasında değiştiği belirlenmiştir. Shaari ve diğ. (2018), yumurta akı kullanarak köpük kurutma tekniği ile ananas tozu üretmek için yaptıkları çalışmada, püskürtmeli kurutucu ile de ananas tozu üretimi gerçekleştirmişlerdir. Köpük kurutma ile elde ettikleri ananas tozlarındaki rutubet değerleri %3.91-7.80 aralığında değişirken bu değer püskürtmeli kurutucu ile elde edilen tozlarda %5.31 olarak belirlenmiştir. Bu durumun, köpürtücü ajan miktarının artmasına bağlı olarak, daha fazla köpük genleşmesinin daha gözenekli bir yapı oluşturmaya nedeniyse, tozdan nem kaybını hızlandırmasından dolayı olduğunu bildirmişlerdir. Su aktivitesi değerleri köpük kurutma için 0.32-0.41 aralığında belirlenirken, püskürtmeli kurutucu ile elde edilen tozlarda bu değer 0.32 olarak belirlenmiştir. Püskürtmeli kurutma ile elde edilen tozların higroskopisite değeri 2.42 g/100g iken, köpük kurutma ile elde edilen ananas tozlarının higroskopisite değerlerinin 3.52-8.70 g/100g arasında değiştiğini belirlenmiştir. Püskürtmeli kurutma ile elde edilen ananas tozu, MD gibi bir taşıyıcı ajanın eklenmesiyle düşük higroskopisite değeri göstererek parçacıkların bir araya gelerek yapışmasının önlenebileceğini bildirmişlerdir. Köpük kurutma tekniğiyle elde edilen toz, yumurta akında bulunan ve çevredeki havayla temas ettiğinde su moleküllerini çekme kapasitesini artıran polar bir yapıya sahip olduğundan, Püskürtmeli kurutma ile elde edilen tozdan daha yüksek higroskopisite değerine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Köpük kurutma (YA) akı ile elde edilen kayısı tozlarının higroskopisite değerlerinin diğer yöntemlerle üretilen kayısı tozlardan daha yüksek çıkmasının sebebi olarak yukarıda bahsedilen durumdan kaynaklandığı düşünülmektedir. Çalışmada püskürtmeli kurutucu ile elde edilen kayısı tozlarının higroskopisite değerlerinin diğer yöntemlerle üretilen kayısı tozlardan daha düşük çıkmasının nedeni olarak, Shaari ve diğ. (2018)'nin ifade ettiğı gibi püskürtmeli kurutma sırasında MD'nin kayısı içerisindeki yüksek higroskopik bileşenleri etkin bir şekilde enkapsüle ederek nem çekmeye karşı daha dayanıklı hale getirmesi olduğu düşünülmektedir.

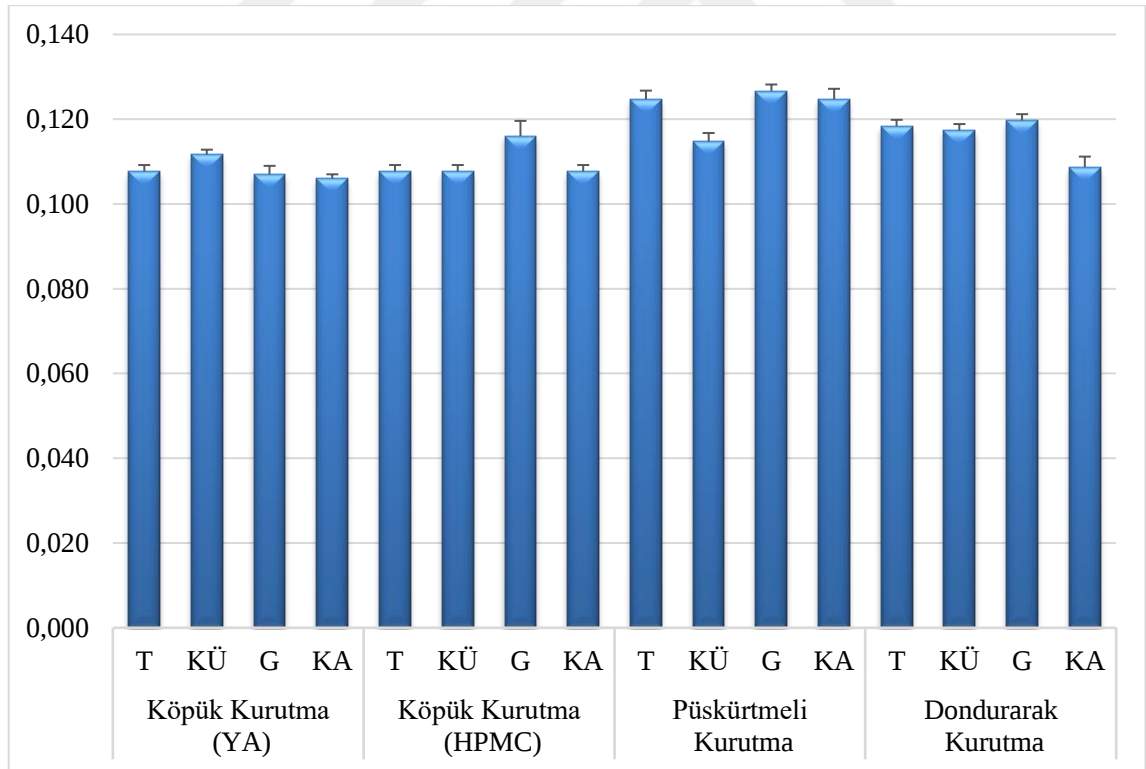
Çizelge 4.16 : Kayısı tozlarının rutubet, su aktivitesi, higroskopisite ve topaklanma düzeyi analiz sonuçları.

Kurutma yöntemi	Hammadde	Rutubet g/100 g	Su aktivitesi a_w	Higroskopisite g/100 g	Topaklanma düzeyi g/100 g
Köpük kurutma (YA)	T	3.42±0.03A,a	0.108±0.002B,c	41.24±0.09BC,b	0
	KÜ	3.26±0.00B,a	0.112±0.001A,bc	40.89±0.12C,b	0
	G	3.10±0.06C,b	0.107±0.002B,c	42.17±0.11A,a	0
	K	3.21±0.02B,b	0.106±0.001B,b	42.09±0.63AB,a	0
Köpük kurutma (HPMC)	T	2.44±0.08B,c	0.108±0.002B,c	42.54±0.15A,a	20.83±0.21B,a
	KÜ	2.17±0.04C,d	0.108±0.002B,c	39.67±0.11B,c	22.70±0.36A,a
	G	3.09±0.05A,b	0.116±0.004A,b	39.00±0.20C,c	20.87±0.15B,a
	K	2.52±0.05B,c	0.108±0.002B,b	38.67±0.28C,b	20.57±0.21B,a
Püskürtmeli kurutma	T	2.89±0.05C,b	0.125±0.003A,a	39.59±0.16B,c	18.06±0.16B,b
	KÜ	2.96±0.03C,c	0.115±0.002B,ab	42.32±0.41A,a	19.09±0.21A,b
	G	3.33±0.03B,a	0.127±0.002A,a	40.21±0.75B,b	14.13±0.36D,b
	K	3.52±0.04A,a	0.125±0.003A,a	41.42±0.13A,a	15.95±0.28C,c
Dondurarak kurutma	T	2.78±0.060B,b	0.118±0.002A,b	39.51±0.13A,c	17.63±0.33A,b
	KÜ	3.13±0.02A,b	0.117±0.002A,a	39.15±0.68A,c	16.15±0.53B,c
	G	3.24±0.09A,b	0.120±0.002A,b	37.90±0.10B,d	14.59±0.20C,b
	K	3.12±0.05A,b	0.109±0.003B,b	37.93±0.56B,b	16.73±0.40AB,b

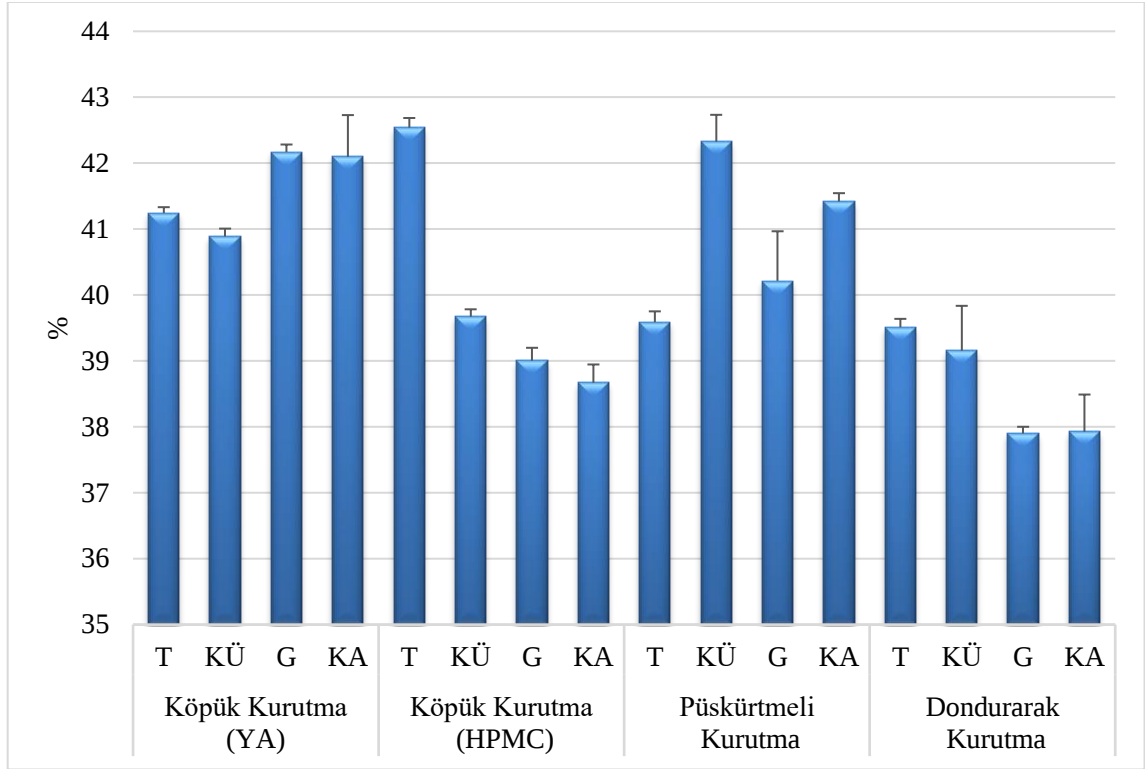
Aynı kurutma metodu içerisindeki farklı büyük harflerle gösterilen değerler uygulamaların birbirinden $P<0.05$ düzeyinde farklı olduğunu göstermektedir. Aynı sütundaki farklı küçük harflerle gösterilen değerler aynı tür hammadde için birbirinden $P<0.05$ düzeyinde farklı olduğunu göstermektedir.



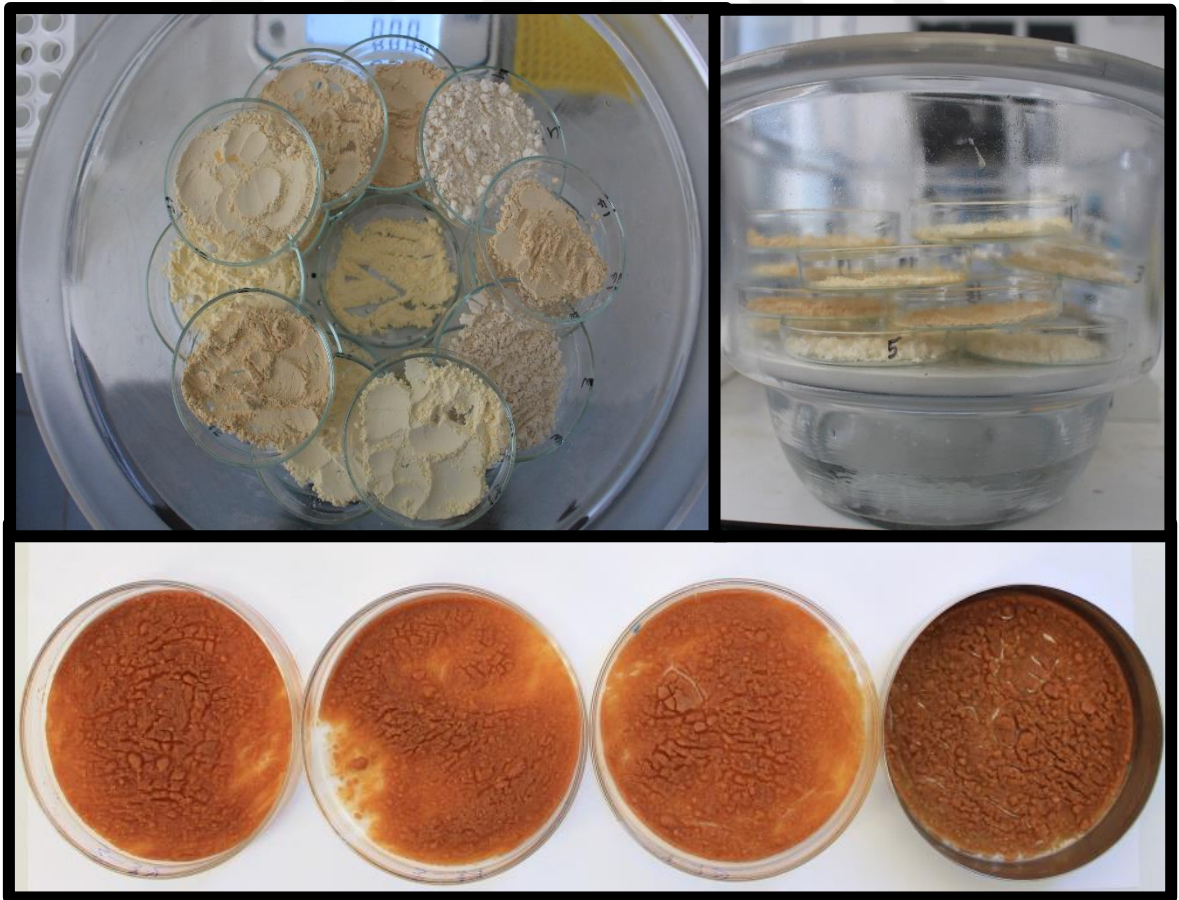
Şekil 4.28 : Kayısı tozlarının rutubet değerleri.



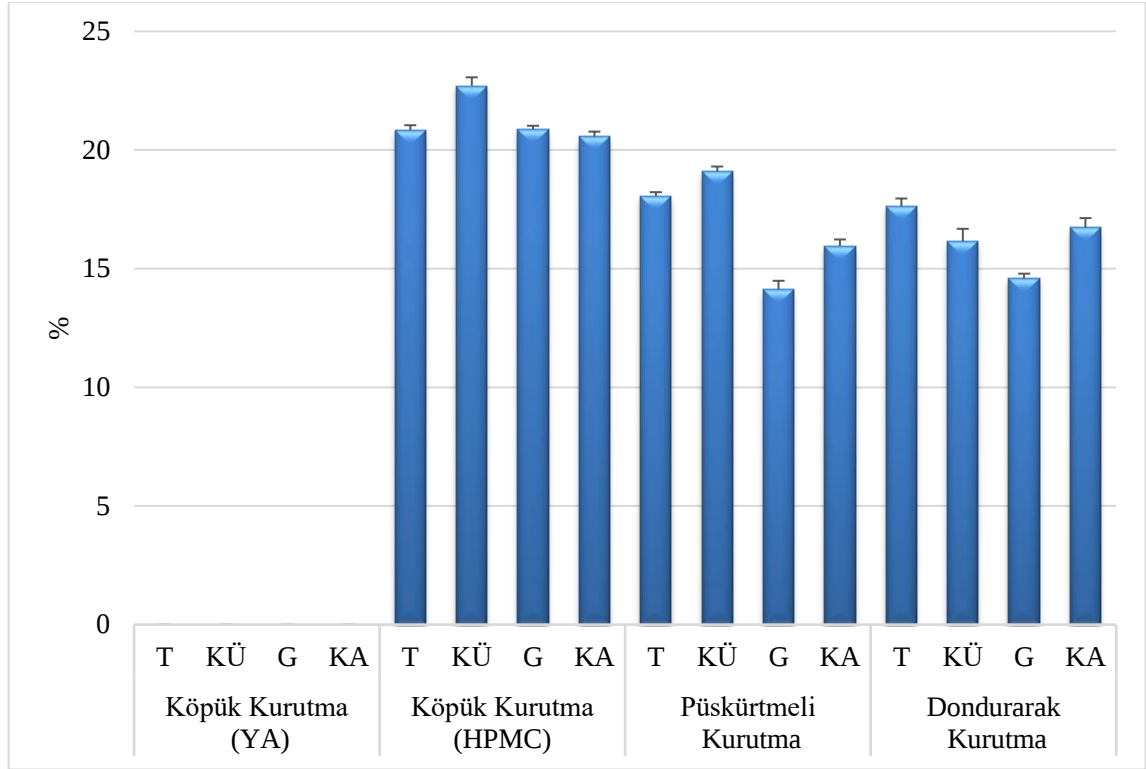
Şekil 4.29 : Kayısı tozlarının su aktivitesi (a_w) değerleri.



Şekil 4.30 : Kayısı tozlarının higroskopisite değerleri.



Şekil 4.31 : Kayısı tozlarında higroskopisite analiz aşamalarından çeşitli görüntüler.



Şekil 4.32 : Kayısı tozlarının topaklanma düzeyi değerleri.



Şekil 4.33 : Kayısı tozlarında topaklanma düzeyi analizinden görüntüler.

4.2.4.4 Yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yoğunluk, Carr Indeks ve Hausner Ratio analiz sonuçları

Çalışma kapsamında farklı yöntemlerle elde edilen kayısı tozlarında yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yoğunluk, Carr Indeks ve Hausner Ratio değerleri belirlenmiştir (Çizelge 4.17). Elde edilen sonuçlara göre: En yüksek yığın yoğunluğu değeri, 0.636 g/cm^3 ile günkurusu kayısı kullanılarak köpük kurutma (HPMC) yöntemiyle elde edilen kayısı tozunda tespit edilmiştir. En düşük yığın yoğunluğu 0.261 g/cm^3 değeriyle günkurusu kayısı kullanılarak püskürtmeli kurutma yöntemiyle elde edilen kayısı tozlarında belirlenmiştir (Şekil 4.34 ve Şekil 4.35). En yüksek sıkıştırılmış yoğunluk, 0.815 g/cm^3 değeriyle kabuk kayısı kullanılarak köpük kurutma (YA) yöntemiyle elde edilen kayısı tozunda tespit edilmiştir. En düşük sıkıştırılmış yoğunluk ise 0.490 g/cm^3 değeriyle taze kayısı kullanılarak püskürtmeli kurutma yöntemiyle elde edilen kayısı tozlarında belirlenmiştir (Şekil 4.36). En yüksek Carr Indeks %53,50 değeriyle kabuk kayısı kullanılarak püskürtmeli kurutma yöntemiyle elde edilen kayısı tozunda tespit edilmiştir. En düşük Carr Indeks değeri ise %16.52 ile taze kayısı kullanılarak köpük kurutma (YA) yöntemiyle elde edilen kayısı tozlarında belirlenmiştir (Şekil 4.37).

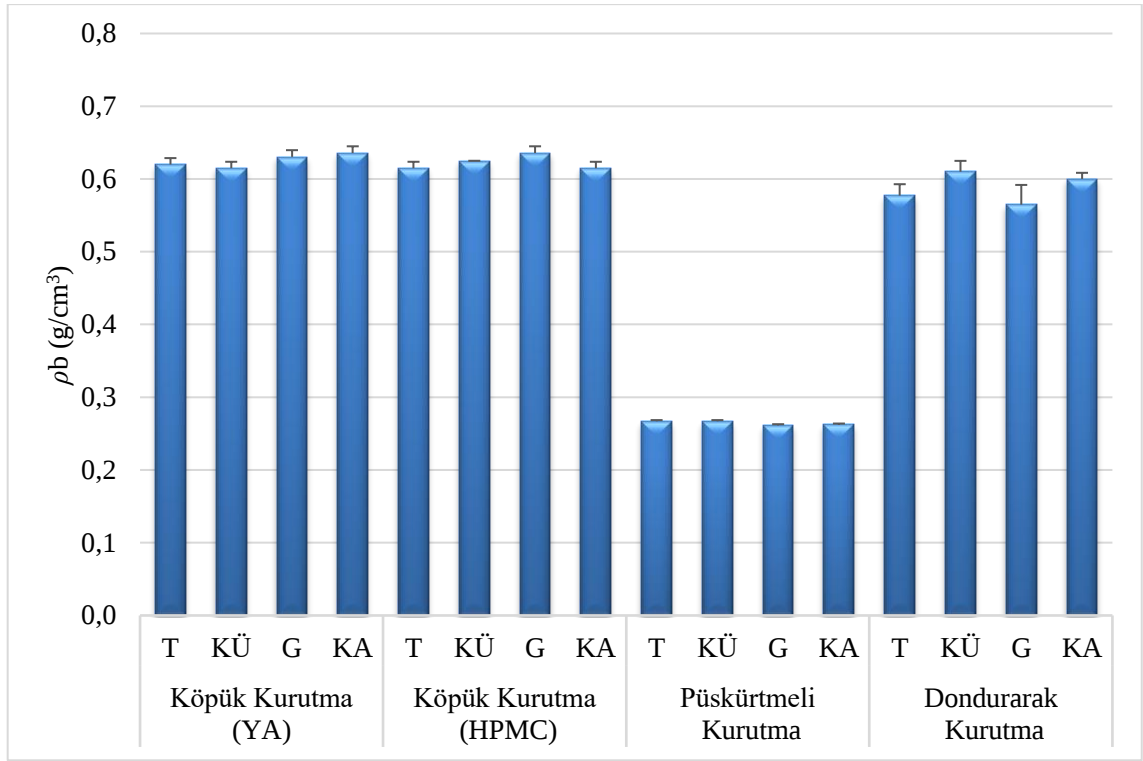
En yüksek Hausner Ratio, 2.15 değeriyle kabuk kayısı kullanılarak püskürtmeli kurutma yöntemiyle elde edilen kayısı tozunda tespit edilmiştir. En düşük Hausner Ratio değeri ise 1.20 ile taze kayısı kullanılarak köpük kurutma (YA) yöntemiyle elde edilen kayısı tozlarında belirlenmiştir (Şekil 4.38). Çalışmada incelenen farklı kurutma yöntemleri ve kullanılan kayısı türleri üzerinde yapılan analizler sonucunda, tozların akışkanlığını belirlemek için kullanılan % Carr Indeks ve Hausner Ratio değerlerinin iki farklı köpük kurutma yöntemi ve günkurusu veya taze kayısı kullanılarak dondurarak kurutma yöntemiyle elde edilen kayısı tozları, akışkanlık açısından genellikle kabul edilebilir sınırlar içerisinde yer aldığı belirlenmiştir. Bu yöntemlerle elde edilen tozlar genellikle, istenen kalite standartlarına uygun bir akışkanlık sergilemektedir. Ancak, dondurarak kurutma yöntemiyle günkurusu ve taze kayısı kullanılarak elde edilen kayısı tozları, % Carr Indeks ve Hausner Ratio değerleri açısından kötü sonuç verdiği belirlenmiştir. Püskürtmeli kurutma yöntemiyle elde edilen tüm kayısı tozları ise % Carr Indeks ve Hausner Ratio değerleri açısından %38'den daha yüksek olarak belirlenmiş ve bu nedenle çok çok kötü sınıfta yer almıştır (Çizelge 3.7). Bu durum, püskürtmeli kurutmanın tozun akışkanlığını önemli ölçüde etkileyen bir faktör olduğunu göstermektedir. Bu bulgular, kayısı tozlarının üretimi ve kalite kontrolü açısından doğru kurutma yöntemlerinin seçiminin önemini vurgulamaktadır. Akışkanlık özellikleri, tozların işlenmesi, depolanması ve dozajlanması gibi pek çok faktörü

etkileyen önemli bir parametredir. Bu nedenle, tozun akışkanlığının istenmesi durumunda, kayısı tozlarının istenen kalite standartlarına uygun akışkanlık özelliklerine sahip olmasını sağlamak için uygun kurutma yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir. Şekil 4.36'da aynı ağırlıktaki püskürtmeli kurutma tekniği ve köpük kurutma tekniği ile üretilen kayısı tozlarının hacim miktarları görülmektedir. Xin ve diğ. (2022) tarafından yapılan çalışmada, kanuka ağacı ekstraktını toz forma dönüştürmek için sprey kurutma ve dondurarak kurutma yöntemleri kullanılmıştır. Bu çalışmada, dondurarak kurutma yöntemiyle elde edilen tozların % Carr İndeks ve Hausner Ratio değerlerinin püskürtmeli kurutucu ile elde edilen tozlara göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, dondurarak kurutma yöntemiyle elde edilen tozların daha iyi akışkanlık özelliklerine sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Araştırmacıların bulguları çalışmada elde edilen bulgularla benzerlik göstermektedir. Shaari ve diğ. (2018) tarafından yapılan çalışmada, yumurta akı kullanarak köpük kurutma tekniğiyle ananas tozu üretimi gerçekleştirilmiş ve aynı zamanda püskürtmeli kurutucuyla da ananas tozu üretimi yapılmıştır. Çalışmada elde edilen ananas tozlarının yığın yoğunluğu değerleri püskürtmeli kurutma için 0.62 g/cm^3 ve köpük kurutma için ise $0.66\text{-}0.77 \text{ g/cm}^3$ olarak belirlenmiştir. Araştırmacılar, püskürtmeli kurutma ile elde edilen ananas tozunun yüksek sıcaklığın hızlı buharlaşma hızına neden olduğu ve daha gözenekli ve parçalı bir yapı oluşturduğu için en düşük yığın yoğunluğu değerine sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Bu durum, damlacıkların daha az büzülmesi nedeniyle daha düşük yoğunluklu tozların oluşmasına yol açacağını bildirmiştir. Araştırmacıların bulguları çalışmada elde edilen yığın yoğunluğu sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir. Bu çalışmada elde edilen bulgular literatür bulgularıyla genellikle uyumlu bulunmuştur.

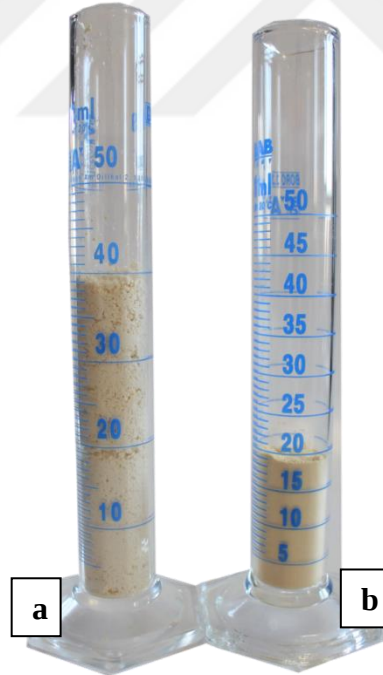
Çizelge 4.17 : Kayısı tozlarında yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yoğunluk, Carr İndeks ve Hausner Ratio değerleri.

Kurutma yöntemi	Hammadde	Yığın yoğunluğu (ρ_b) g/cm ³	Sıkıştırılmış yoğunluk (ρ_t) g/cm ³	Carr İndeks %	Hausner Ratio
Köpük kurutma (YA)	T	0.620±0.009A,a	0.743±0.013B,b	16.52±1.34B,c	1.20±0.02B,c
	KÜ	0.615±0.009A,a	0.807±0.026A,a	23.76±2.67A,b	1.31±0.05A,b
	G	0.630±0.009A,a	0.807±0.026A,a	21.86±1.64A,b	1.28±0.03A,b
	K	0.636±0.009A,a	0.815±0.016A,a	22.03±1.35A,bc	1.28±0.03A,bc
Köpük kurutma (HPMC)	T	0.615±0.009B,a	0.807±0.026A,a	23.74±3.46A,b	1.31±0.06A,b
	KÜ	0.625±0.000AB,a	0.790±0.015A,a	20.83±1.44A,b	1.26±0.02A,b
	G	0.636±0.009A,a	0.798±0.015A,a	20.32±2.28A,b	1.26±0.04A,b
	K	0.615±0.009B,b	0.758±0.023A,b	18.84±2.70A,c	1.23±0.04A,c
Püskürtmeli kurutma	T	0.267±0.002A,c	0.490±0.010C,c	45.55±1.37C,a	1.84±0.05C,a
	KÜ	0.267±0.002A,b	0.549±0.006A,b	51.42±0.31AB,a	2.06±0.01B,a
	G	0.261±0.002B,c	0.519±0.008B,b	49.65±1.09B,a	1.99±0.04B,a
	K	0.262±0.002B,c	0.564±0.007A,c	53.50±0.32A,a	2.15±0.01A,a
Dondurarak kurutma	T	0.577±0.016A,b	0.790±0.015A,a	26.91±0.62A,b	1.37±0.01A,b
	KÜ	0.610±0.015A,a	0.798±0.015A,a	23.55±2.31A,b	1.31±0.04A,b
	G	0.565±0.027A,b	0.765±0.014A,a	26.19±4.14A,b	1.36±0.07A,b
	K	0.600±0.008A,b	0.790±0.015A,a b	24.00±0.34A,b	1.32±0.01A,b

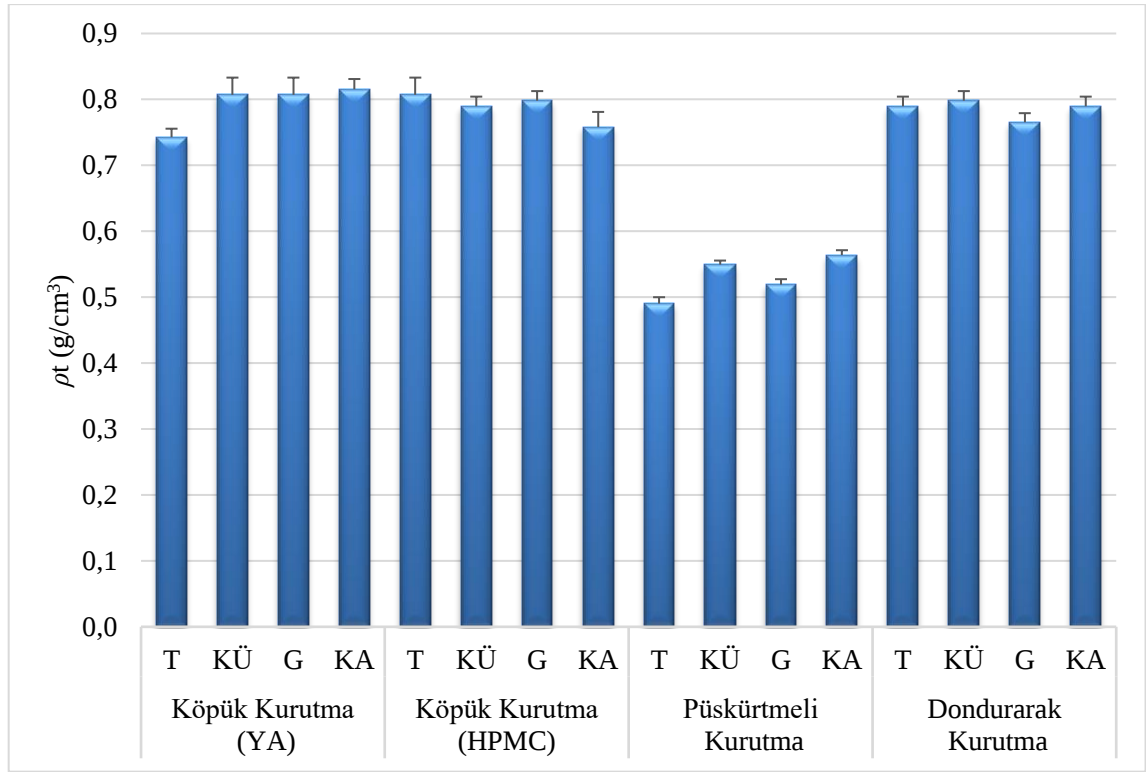
Aynı kurutma metodu içerisindeki farklı büyük harflerle gösterilen değerler uygulamaların birbirinden $P<0.05$ düzeyinde farklı olduğunu göstermektedir. Aynı sütundaki farklı küçük harflerle gösterilen değerler aynı tür hammadde için birbirinden $P<0.05$ düzeyinde farklı olduğunu göstermektedir.



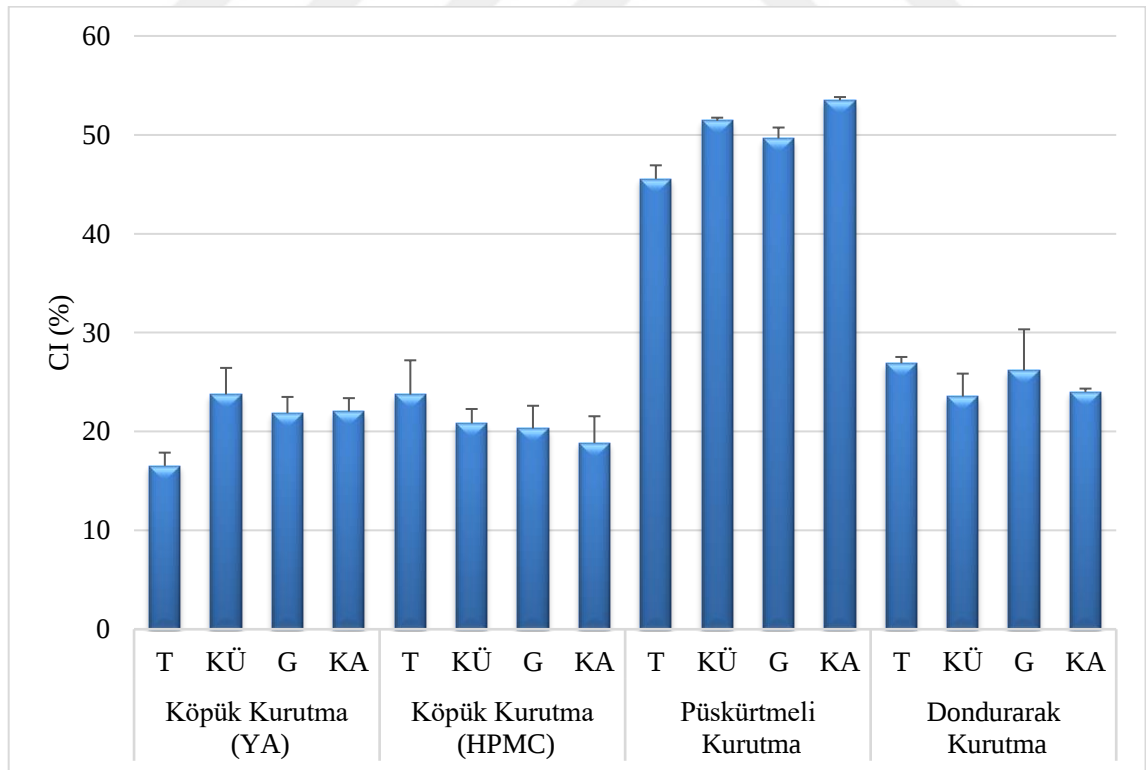
Şekil 4.34 : Kayısı tozlarında yığın yoğunluğu değerleri.



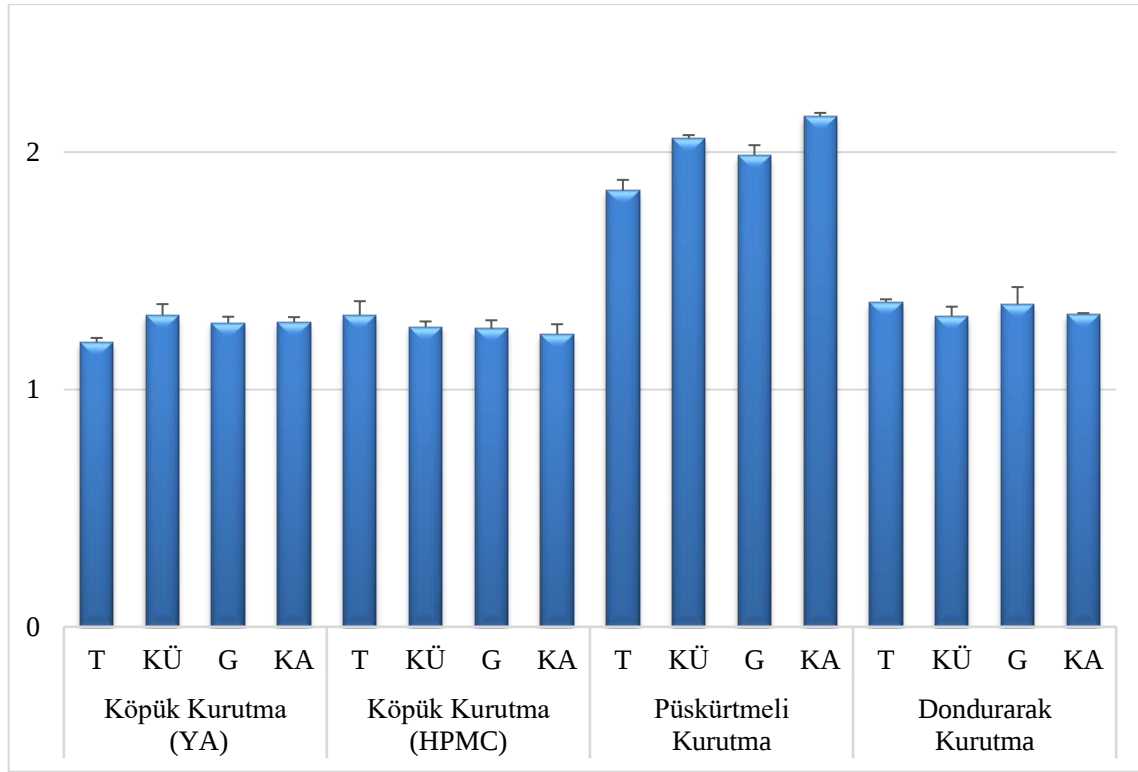
Şekil 4.35 : Aynı ağırlığa sahip püskürtmeli kurutma (a) ve köpük kurutma (HPMC) (b) yöntemleri ile elde edilen kayısı tozlarının görüntüsü.



Şekil 4.36 : Kayısı tozlarının sıkıştırılmış yoğunluk değerleri.



Şekil 4.37 : Kayısı tozlarının Carr İndeks değerleri.



Şekil 4.38 : Kayısı tozlarının Hausner Ratio değerleri.

4.2.4.5 Renk ve SÇKM analiz sonuçları

Farklı yöntemlerle elde edilen kayısı tozlarında, L^* , a^* , b^* ve SÇKM değerleri belirlenmiştir (Çizelge 4.18). Kayısı tozlarında en yüksek L^* değeri 95.26 ile kükürtlü kayısı kullanılarak püskürtmeli kurutma yöntemiyle elde edilen kayısı tozunda belirlenirken en düşük L^* değeri 81.66 ile, günkurusu kayısı kullanılarak köpük kurutma (YA) yöntemi ile elde edilen kayısı tozlarında belirlenmiştir (Şekil 4.39). Kayısı tozlarında en yüksek a^* değeri 4.28 ile günkurusu kayısı kullanılarak köpük kurutma (YA) yöntemi ile edilen kayısı tozunda belirlenirken en düşük a^* değeri 0.23 ile taze kayısı kullanılarak püskürtmeli kurutucuda elde edilen kayısı tozlarında belirlenmiştir (Şekil 4.40). Kayısı tozlarında en yüksek b^* değeri 23.31 ile taze kayısı kullanılarak dondurarak kurutma yöntemiyle elde edilen kayısı tozunda belirlenirken en düşük b^* değeri 9.64 ile kükürtlü kayısı kullanılarak püskürtmeli kurutma yöntemi ile elde edilen kayısı tozlarında belirlenmiştir (Şekil 4.41). Şekil 4.42’te renk analizi yapıldığı görülmektedir. Kayısı tozlarında en yüksek SÇKM değeri 3.81 değeriyle kabuk ve kükürtlü kayısı kullanılarak püskürtmeli kurutma yöntemi ile elde edilen kayısı tozunda belirlenirken en düşük SÇKM 3.55 değeri ile kükürtlü kayısı kullanılarak köpük kurutma (YA) yöntemi ile edilen kayısı tozlarında belirlenmiştir (Şekil 4.43).

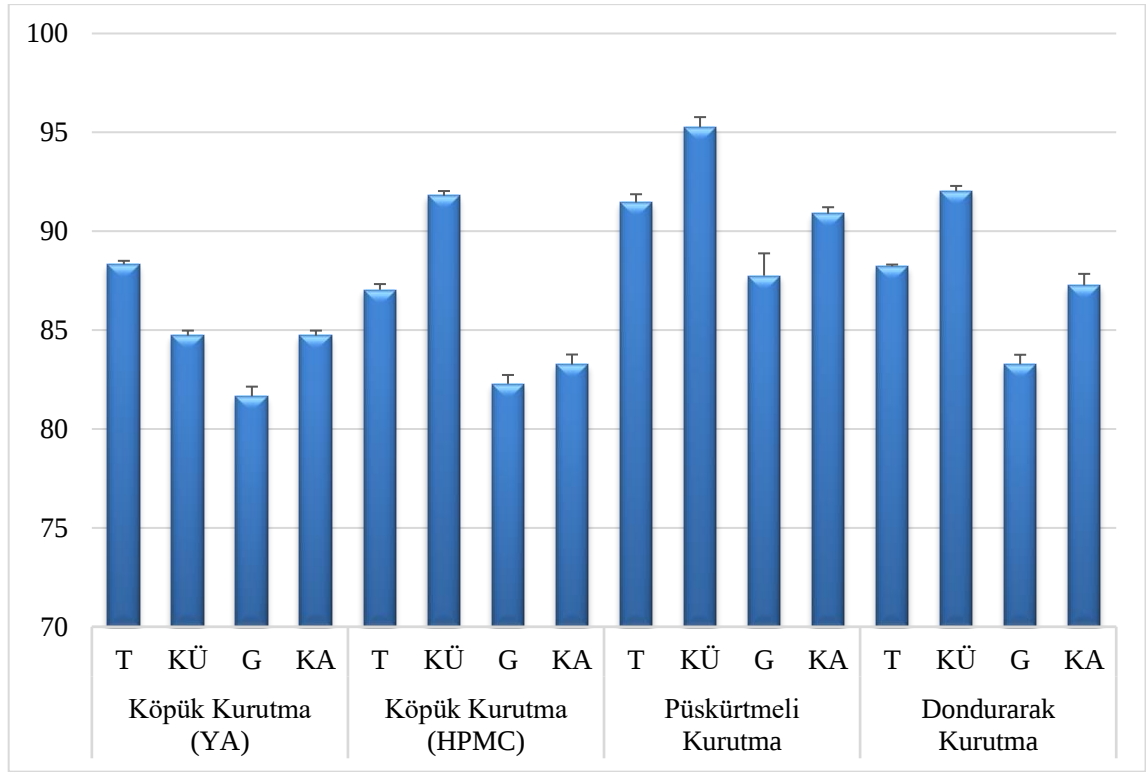
Capariño ve diğ. (2012) tarafından, farklı kurutma teknikleri (kırınım pencere, dondurarak, püskürtme ve tambur kurutma) ile mango tozu üretimi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmaları sonucunda, püskürtmeli kurutma yöntemiyle üretilen mango tozu örnekleri en yüksek L* değerine sahip olurken, tambur kurutma yöntemiyle üretilen mango tozunun en düşük L* değerine sahip olduğunu belirlemişlerdir. Püskürtmeli kurutma yöntemindeki daha açık rengin, mangonun yapışkanlığını azaltmak için gerekli olan ve püskürtmeli kurutma işleminin etkili olmasına olanak sağlayan MD katkısından kaynaklandığını bildirmiştir. Ayrıca püskürtmeli kurutma süresinin çok kısa (1-3 s) olduğu için renk bozunmasının sınırlı kaldığını ifade etmiştir. Tambur kurutulmuş mango tozlarında görülen koyu rengin, şekerler ile proteinler arasındaki kimyasal reaksiyonlar olan kahverengileşme veya Maillard reaksiyonu tarafından karakterize edilebileceğini, ayrıca, mango içindeki şekerlerin yüksek sıcaklık nedeniyle gerçekleşen karamelizasyonun da kurutma sırasındaki renk koyulaşmasına katkıda bulunabileceğini bildirmiştir. Püskürtmeli kurutucu ile elde edilen kayısıların L* değerinin diğer yöntemlerle elde edilen kayısı tozlarından daha yüksek çıkmasının Capariño ve diğ. (2012)'nin yukarıda belirttiği nedenlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca kayısı tozlarını üretmede kullanılan hammaddelerin renklerinin birbirinden oldukça farklı olması elde edilen kayısı tozlarının renk değerleri arasındaki farklılığın bir nedenidir. Arslan ve Durmaz (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, farklı DE değerlerine sahip MD'ler kullanılarak taze kayısılarından dondurarak kurutma yöntemiyle kayısı tozu üretimi yapılmış ve bazı fizikokimyasal parametreleri belirlenmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, kayısı tozunun L* değerinin 66.7 - 80.7 arasında, a* değerinin 2.2-8.6 arasında ve b* değerinin 21.7-29.2 arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Araştırmacıların bulguları, farklı MD kullanımlarının kayısı tozunun renk karakteristiklerini etkileyebileceğini göstermektedir. Bu çalışmada elde edilen renk değerleri genellikle literatür ile uyumludur. Arslan ve Durmaz (2020)'nin yaptıkları çalışmadan farklı olarak elde edilen renk değerlerinin nedeninin, kullanılan farklı kayısı çeşidi, kayısı tozu elde etme tekniğine ve farklı öğütme koşullarına bağlı olduğu düşünülmektedir. Shaari ve diğ. (2018) tarafından yapılan çalışmada, yumurta akı kullanarak köpük kurutma tekniği ve püskürtmeli kurutucu kullanarak ananas tozu üretimi gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar, elde ettikleri tozların çözünürlük değerlerini köpük kurutma için °Briks değerini 8-8.40 aralığında belirlerken, püskürtmeli kurutma yöntemiyle elde edilen tozlarda bu değerin 9.03 °Briks'e kadar yükseldiğini tespit etmişlerdir. Yumurta akı miktarının artmasıyla çözünürlük değerlerinde bir azalma eğilimi gözlemlemişlerdir. Ayrıca, püskürtmeli kurutma ile elde edilen tozlarda L* değerinin en yüksek olduğunu ve bu tozların çok açık ve beyaz renkte

olduğunu gözlemlemişlerdir. Araştırmacıların bulguları ile çalışmada elde edilen değerler benzerlik göstermektedir. Püskürtmeli kurutucu ile elde edilen kayısı tozlarının SÇKM değerlerinin yüksek çıkmasının nedeni olarak, püskürtmeli kurutma sırasında meyvelerde bulunan bazı bileşenlerin yüksek atomizasyon sonucunda küçük parçalara ayrılabilmesi ve bu durumun da ürünün çözünürlüğünün artmasına neden olacağı düşünülmektedir (Capariño ve diğ, 2012).

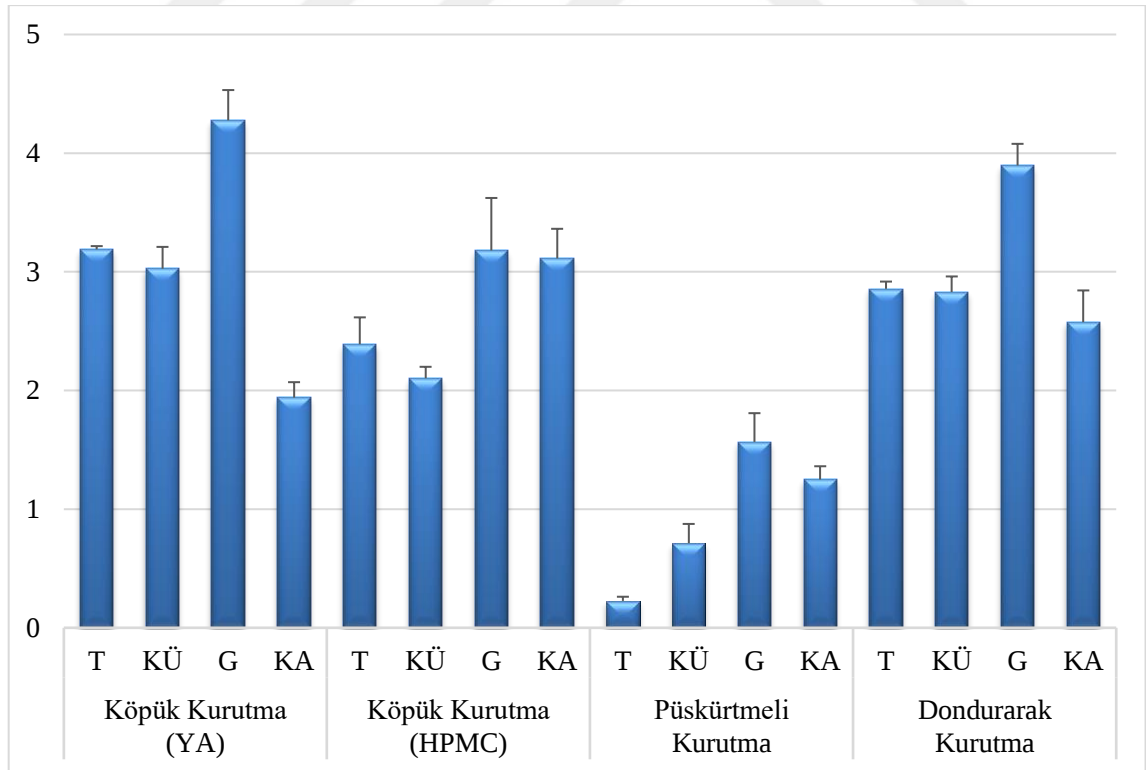
Çizelge 4.18 : Kayısılarında renk ve SÇKM değerleri.

Kurutma yöntemi	Hammadde	L*	a*	b*	SÇKM °Briks
Köpük kurutma (YA)	T	88.33±0.18A,b	3.19±0.03B,a	19.38±0.06AB,b	3.60±0.01B,c
	KÜ	84.72±0.26B,c	3.03±0.18B,a	17.53±0.44B,ab	3.55±0.02C,c
	G	81.66±0.49C,b	4.28±0.26.A,a	20.83±0.91A,a	3.60±0.00B,b
	K	84.72±0.26B,c	1.94±0.13.C,c	18.42±1.33B,a	3.67±0.01A,b
Köpük kurutma (HPMC)	T	87.04±0.29,Bc	2.39±0.23.BC,c	15.17±1.06B,c	3.66±0.01A,b
	KÜ	91.80±0.24A,b	2.10±0.10C,b	15.64±1.11AB,b	3.66±0.01A,b
	G	82.28±0.45C,b	3.18±0.44A,b	17.25±1.82AB,b	3.66±0.01A,b
	K	83.26±0.51C,d	3.11±0.25AB,a	18.60±0.84A,a	3.68±0.04A,b
Püskürtmeli kurutma	T	91.45±0.42B,a	0.23±0.04C,d	12.84±0.48AB,d	3.80±0.01A,a
	KÜ	95.26±0.51A,a	0.71±0.16B,c	9.64±0.82C,c	3.81±0.01A,a
	G	87.75±1.13C,a	1.57±0.24A,c	13.27±0.45.A,c	3.76±0.03A,a
	K	90.88±0.33.B,a	1.25±0.11A,d	11.27±0.70.BC,b	3.81±0.01A,a
Dondurarak kurutma	T	88.23±0.09B,b	2.86±0.06B,b	23.31±0.86A,a	3.71±0.04A,b
	KÜ	92.02±0.27A,b	2.83±0.13B,a	18.34±0.68BC,a	3.65±0.02AB,b
	G	83.28±0.48C,b	3.90±0.18A,ab	20.48±0.79B,a	3.63±0.04B,b
	K	87.27±0.58B,b	2.58±0.27B,b	16.11±1.13C,a	3.61±0.01B,c

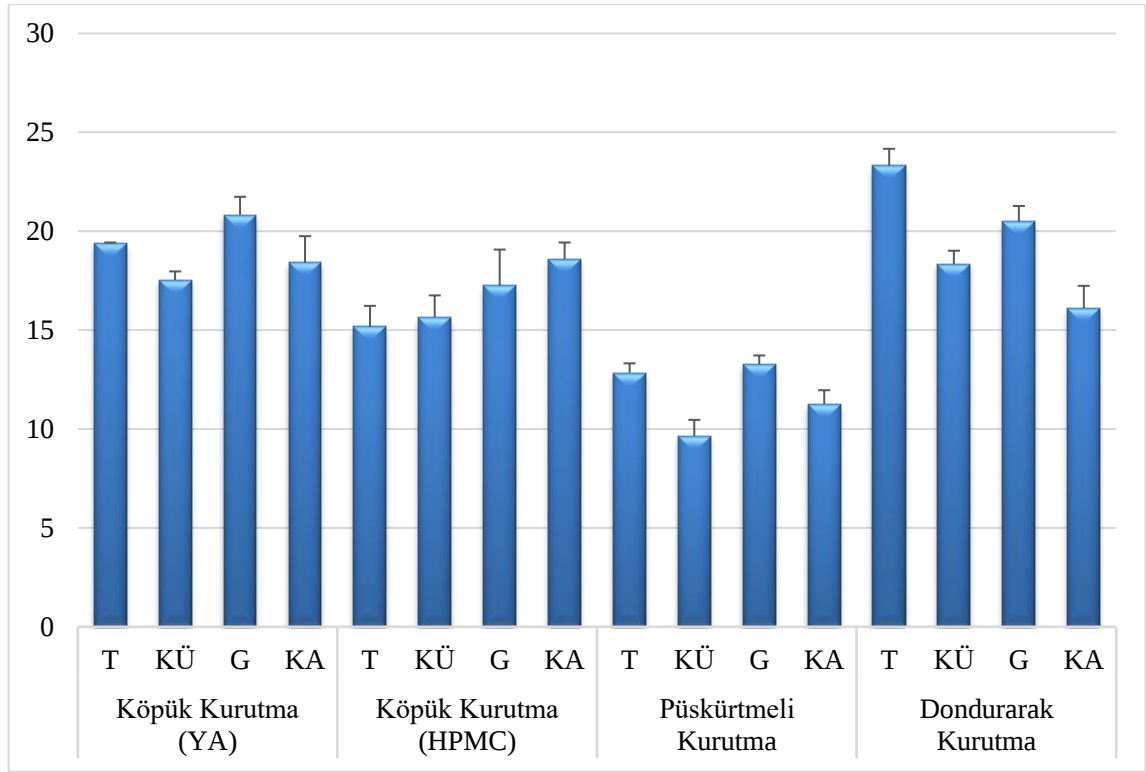
Aynı kurutma metodu içerisindeki farklı büyük harflerle gösterilen değerler uygulamaların birbirinden $P<0.05$ düzeyinde farklı olduğunu göstermektedir. Aynı sütundaki farklı küçük harflerle gösterilen değerler aynı tür hammadde için birbirinden $P<0.05$ düzeyinde farklı olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.39 : Kayısı tozlarının L* renk değerleri.



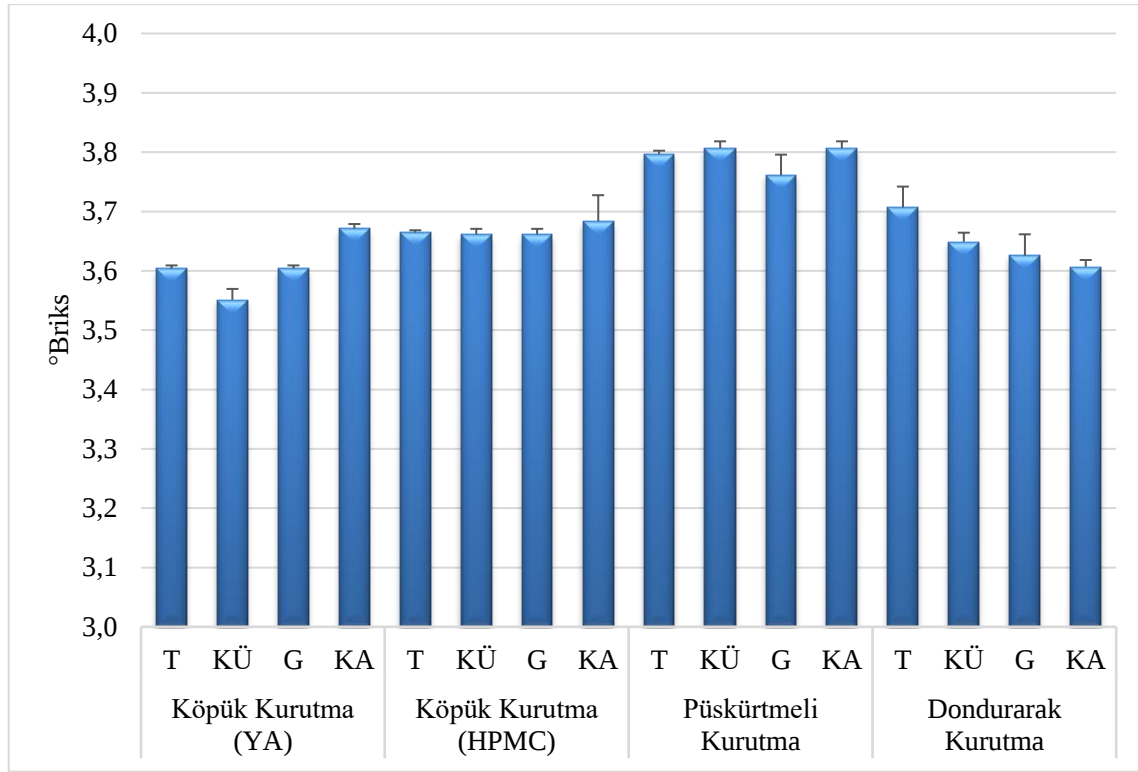
Şekil 4.40 : Kayısı tozlarının a* renk değerleri.



Şekil 4.41 : Kayısı tozlarının b* renk değerleri.



Şekil 4.42 : Kayısı tozlarında renk analizi görüntüsü.



Şekil 4.43 : Kayısı tozlarının SÇKM değerleri.

4.2.4.6 β-karoten, HMF, SO₂ ve pH analiz sonuçları

Farklı yöntemlerle elde edilen kayısı tozlarında, β-karoten, HMF, SO₂ miktarları ve pH değerleri belirlenmiştir (Çizelge 4.19). Kayısı tozlarında en yüksek β-karoten değeri 36.30 mg/kg KM ile taze kayısı kullanılarak dondurarak kurutma yöntemiyle elde edilen kayısı tozunda belirlenirken en düşük β-karoten 14.31 mg/kg KM değeriyle, kabuk kayısı kullanılarak köpük kurutma (YA) yöntemi ile elde edilen kayısı tozlarında belirlenmiştir (Şekil 4.44). Kayısı tozlarında en yüksek HMF değeri 36.67 mg/kg KM ile kükürtlü kayısı kullanılarak dondurarak kurutma yöntemi edilen kayısı tozunda belirlenirken, en düşük HMF değeri 0.29 mg/kg KM ile taze kayısı kullanılarak köpük kurutma (HPMC) elde edilen kayısı tozlarında belirlenmiştir (Şekil 4.45). Kayısı tozlarında en yüksek SO₂ 880.55 mg/kg KM değeriyle kükürtlü kayısı kullanılarak dondurarak kurutma yöntemiyle elde edilen kayısı tozunda belirlenirken en düşük SO₂ değeri 748.33 mg/kg KM ile kükürtlü kayısı kullanılarak köpük kurutma (HPMC) elde ile elde edilen kayısı tozlarında belirlenmiştir (Şekil 4.46). Kayısı tozlarında en yüksek pH değeri 6.64 ile günkurusu kayısı kullanılarak köpük kurutma (HPMC) yöntemi ile elde edilen kayısı tozunda belirlenirken en düşük pH değeri 3.95 ile kükürtlü kayısı kullanılarak dondurarak kurutma yöntemi ile edilen kayısı tozlarında belirlenmiştir (Şekil 4.47).

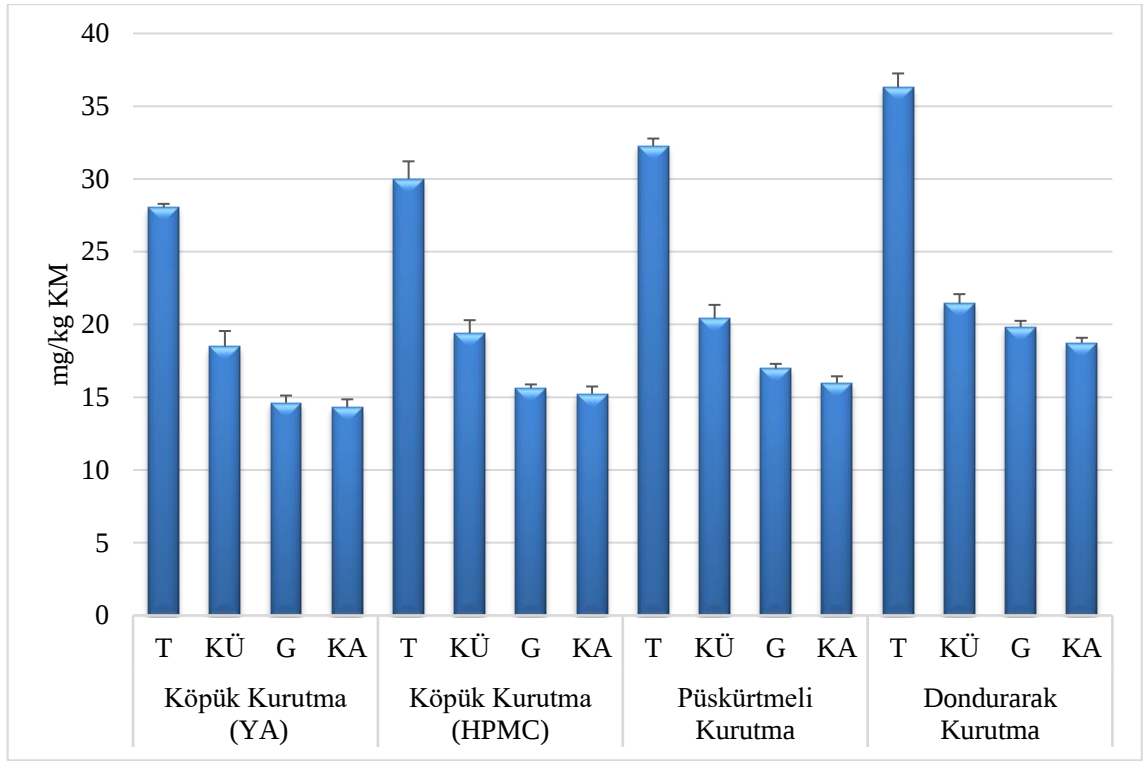
Arslan ve Durmaz (2020) tarafından yapılan çalışmada, farklı DE değerlerine sahip MD kullanılarak taze kayısıların dondurarak kurutma yöntemiyle kayısı tozu üretimi gerçekleştirilmiş ve bazı fizikokimyasal parametreler belirlenmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, MD kullanılan örneklerde kayısı tozunun pH değeri 4.76 olarak belirlenmiştir. Kontrol örneğinde ise pH değeri 4.82 olarak tespit edilmiştir. Çalışma, farklı MD miktarlarının kayısı tozunun kontrol örneği hariç pH değeri üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığını göstermiştir. Shaari ve diğ. (2018), yumurta akı kullanarak köpük kurutma tekniği ile ananas tozu üretmek için yaptıkları çalışmada, püskürtmeli kurutucu ile de ananas tozu üretimi gerçekleştirmişlerdir. Ürettikleri tozlarda yumurta akı oranı arttıkça tozların pH seviyelerinin arttığını belirlemişler ve bu durumun yumurta beyazının alkali yapısından kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Hamzaoğlu, F. (2016), kuru kayısılarda farklı SO₂ konsantrasyonun kayısıların bazı kalite parametreleri üzerine etkilerini incelemiştir. Çalışmada, HMF'nin özellikle 30 °C'de depolanan örneklerde çok hızlı oluştuğunu ve SO₂ konsantrasyonu arttıkça HMF miktarının da arttığını belirlemişlerdir. Bu durumun, SO₂'nin HMF oluşumunu hızlandırdığını belirtmiştir. Ayrıca, SO₂'nin, gıda ürünlerindeki su ile reaksiyona girerek sülfüroz asit oluşturmaya ve böylece H⁺ iyonu konsantrasyonunu da arttırarak, kuru kayısıların pH'sının azalmasına neden olduğunu ifade etmiştir. Bu nedenle yüksek SO₂ konsantrasyonlarında gerçekleşen HMF oluşumunun, pH'daki azalmadan kaynaklandığı belirtmiştir. Bu çalışmada SO₂ içeren kayısılardan üretilen kayısı tozlarının pH değerleri diğer yöntemlerle üretilen kayısı tozlarından daha düşük HMF değerleri ise daha yüksek olarak belirlenmiştir. Bu durumun, Hamzaoğlu, F. (2016) belirttiği sebeplerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Karabulut ve diğ. (2018) Malatya kayısılarında farklı boyut ve kurutma metodlarının kayısının özellikleri üzerine etkilerini araştırdığı çalışmasında; taze, kükürtlü ve günkurusu kayısıların β-karoten içeriklerini sırasıyla 53.34 - 60.00, 40.74 - 46.84 ve 24.88 - 27.28 mg/kg olarak belirlemiştir. Tüm kurutulan kayısı çeşitlerinde β-karoten içeriğinin azaldığını belirlemişler ve bu duruma SO₂'nin karotenoidleri koruyucu etkisine rağmen, güneş altında uzun süre kurutma işleminde yüksek sıcaklık ve oksijene maruz kalmalarının sebep olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmada taze kayısı ile üretilen kayısı tozları en yüksek içeriğine sahip oldukları belirlenmiştir. Dondurarak kurutma yöntemi ile üretilen kayısı tozlarının β-karoten içeriğinin diğer yöntemlerle üretilen kayısı tozlarından daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Desorby ve diğ. (1997), β-karotenin enkapsülasyonu ve korunması için farklı kurutma yöntemlerinin karşılaştırdıkları çalışmalarında, püskürtmeli kurutma, tambur kurutma ve dondurarak kurutma tekniklerinin β-karoten üzerine etkileri değerlendirmişlerdir. Kurutma ve enkapsülasyon işlemi sonunda, dondurarak kurutma

işleminde β -karotenin %8, püskürtmeli kurutma işleminde %11 ve tambur kurutma işleminde %14 oranında bozunmasına yol açtığını belirlemişlerdir. Araştırmacıların bulguları ile çalışmada elde edilen sonuçlar paralellik göstermektedir.

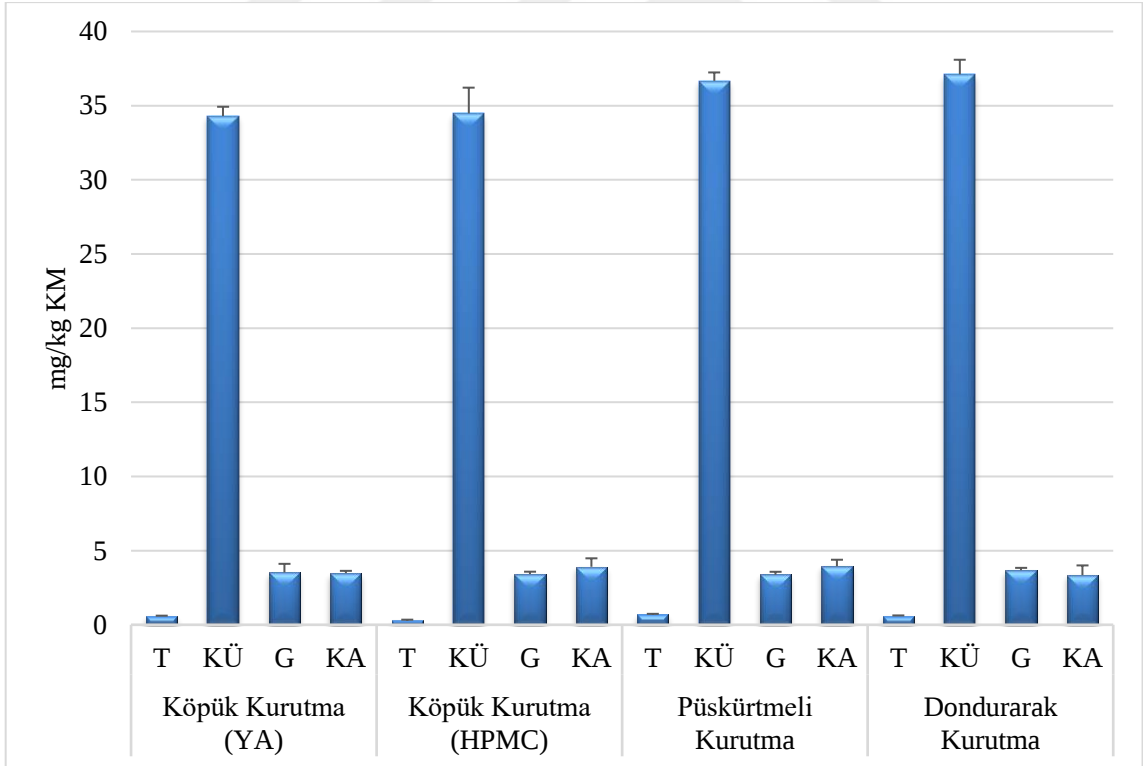
Çizelge 4.19 : Kayısı tozlarında β -karoten, HMF, SO_2 ve pH analiz sonuçları.

Kurutma yöntemi	Hammadde	β -karoten mg/kg KM	HMF mg/kg KM	SO_2 mg/kg KM	pH
Köpük kurutma (YA)	T	28.04 $\pm$ 0.25A,c	0.59 $\pm$ 0.02C,b	-	5.47 $\pm$ 0.02C,b
	KÜ	18.49 $\pm$ 1.06B,b	34.30 $\pm$ 0.63A,a	873.33 $\pm$ 25.17A	4.96 $\pm$ 0.01D,b
	G	14.62 $\pm$ 0.50C,c	3.53 $\pm$ 0.57B,a	-	5.85 $\pm$ 0.01A,b
	K	14.31 $\pm$ 0.55C,c	3.49 $\pm$ 0.15B,a	-	5.62 $\pm$ 0.01B,b
Köpük kurutma (HPMC)	T	30.00 $\pm$ 1.21A,c	0.29 $\pm$ 0.05C,c	-	6.34 $\pm$ 0.02C,a
	KÜ	19.39 $\pm$ 0.90B,ab	34.48 $\pm$ 1.73A,a	748.33 $\pm$ 27.54B	5.70 $\pm$ 0.01D,a
	G	15.63 $\pm$ 0.25C,c	3.42 $\pm$ 0.16B,a	-	6.64 $\pm$ 0.01A,a
	K	15.23 $\pm$ 0.50C,bc	3.91 $\pm$ 0.57B,a	-	6.50 $\pm$ 0.01B,a
Püskürtmeli kurutma	T	32.27 $\pm$ 0.51A,b	0.71 $\pm$ 0.03C,a	-	5.02 $\pm$ 0.01C,c
	KÜ	20.42 $\pm$ 0.93B,ab	36.67 $\pm$ 0.57A,a	841.67 $\pm$ 52.04.AB	4.27 $\pm$ 0.01D,c
	G	16.96 $\pm$ 0.34C,b	3.38 $\pm$ 0.20B,a	-	5.70 $\pm$ 0.02A,c
	K	15.98 $\pm$ 0.46C,b	3.95 $\pm$ 0.44B,a	-	5.36 $\pm$ 0.02B,c
Dondurarak kurutma	T	36.30 $\pm$ 0.95A,a	0.61 $\pm$ 0.02C,b	-	5.00 $\pm$ 0.01C,c
	KÜ	21.43 $\pm$ 0.65B,a	37.11 $\pm$ 0.98A,a	880.55 $\pm$ 36.48A	3.95 $\pm$ 0.01D,d
	G	19.83 $\pm$ 0.42BC,a	3.68 $\pm$ 0.15B,a	-	5.58 $\pm$ 0.01A,d
	K	18.73 $\pm$ 0.35C,a	3.35 $\pm$ 0.65B,a	-	5.33 $\pm$ 0.01B,d

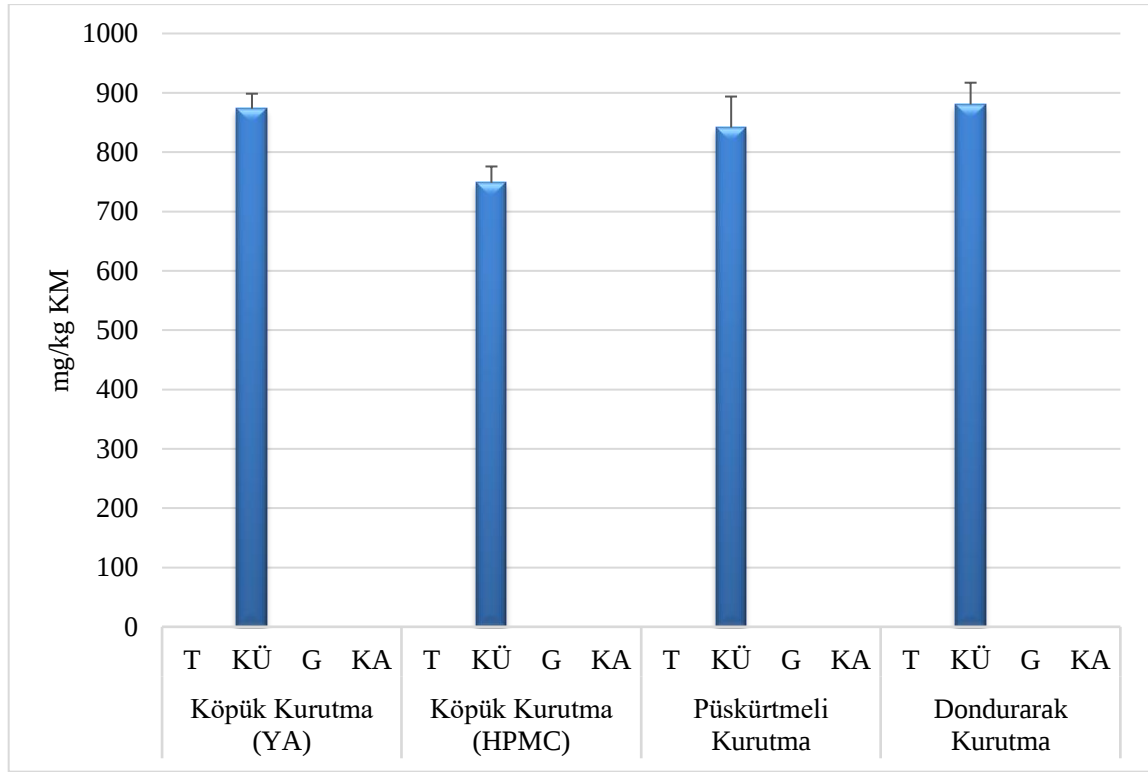
Aynı kurutma metodu içerisindeki farklı büyük harflerle gösterilen değerler uygulamaların birbirinden $P<0.05$ düzeyinde farklı olduğunu göstermektedir. Aynı sütundaki farklı küçük harflerle gösterilen değerler aynı tür hammadde için birbirinden $P<0.05$ düzeyinde farklı olduğunu göstermektedir.



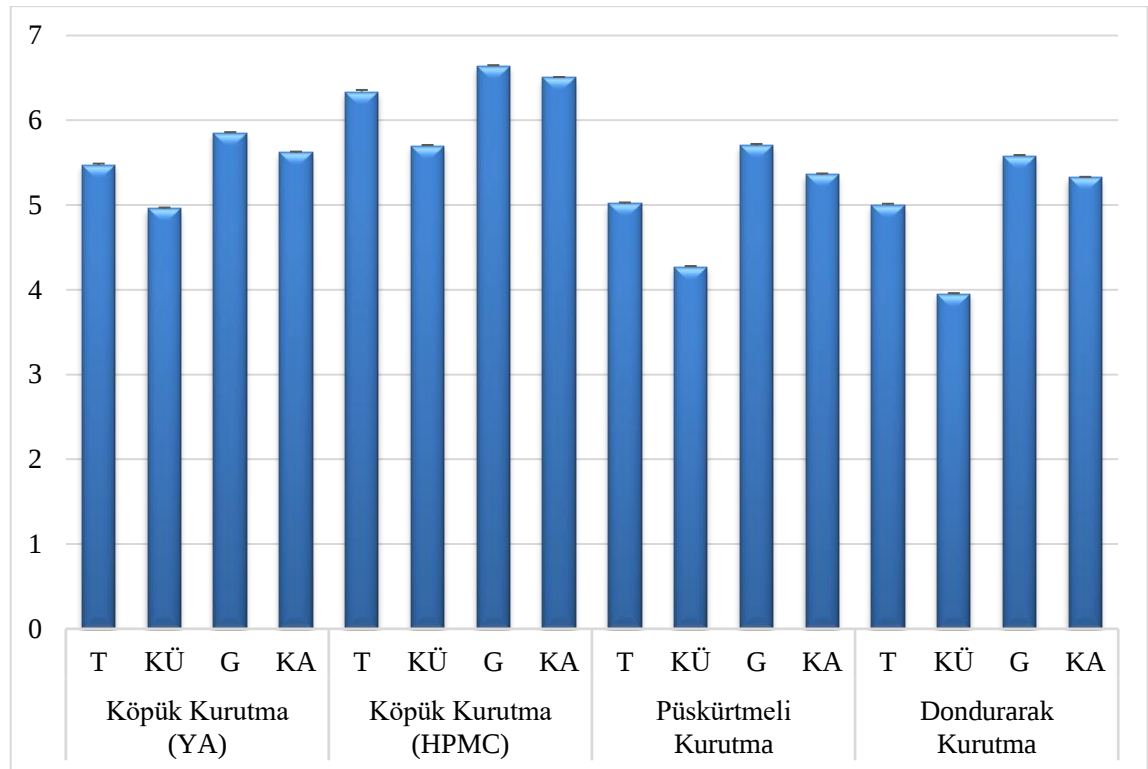
Şekil 4.44 : Kayısı tozlarının β -karoten değerleri.



Şekil 4.45 : Kayısı tozlarını HMF değerleri.



Şekil 4.46 : Kayısı tozlarının SO₂ değerleri.



Şekil 4.47 : Kayısı tozlarının pH değerleri.

4.2.4.7 Çözünürlük, partikül boyutu ve camsı geçiş analiz sonuçları

Farklı yöntemlerle elde edilen kayısı tozlarında, çözünürlük, partikül boyutu ($D_{[4,3]}$) ve camsı geçiş değerleri belirlenmiştir (Çizelge 4.20). Kayısı tozlarında en yüksek çözünürlük değeri %93.05 ile günkurusu kayısı kullanılarak köpük kurutma (HPMC) yöntemiyle elde edilen kayısı tozunda belirlenirken en düşük çözünürlük değeri %84.55 ile günkurusu kayısı kullanılarak köpük kurutma (YA) yöntemi ile elde edilen kayısı tozlarında belirlenmiştir (Şekil 4.48). Kayısı tozlarında en büyük partikül boyutu ($D_{[4,3]}$) değeri $149.27 \mu\text{m}$ ile günkurusu kayısı kullanılarak köpük kurutma (HPMC) yöntemi edilen kayısı tozunda belirlenirken, en küçük partikül boyutu ($D_{[4,3]}$) değeri $33.52 \mu\text{m}$ ile kabuk kayısı kullanılarak püskürtmeli kurutma ile elde edilen kayısı tozlarında belirlenmiştir (Şekil 4.49). Taze kayısı kullanılarak köpük kurutma (HPMC) ile elde edilen kayısı tozuna ait mastersizer grafiği Şekil 4.50’de gösterilmiştir. Kayısı tozlarında en yüksek camsı geçiş (T_g) değeri 70.16°C ile taze kayısı kullanılarak köpük kurutma (HPMC) yöntemi edilen kayısı tozunda belirlenirken, en küçük T_g değeri 62.45°C ile günkurusu kayısı kullanılarak köpük kurutma (YA) yöntemi ile elde edilen kayısı tozlarında belirlenmiştir (Şekil 4.51). Kükürtlü kayısı kullanılarak dondurarak kurutma yöntemi ile elde edilen kayısı tozuna ait DSC termogramı Şekil 4.52’te gösterilmiştir. Çalışmada en yüksek çözünürlük değeri püskürtmeli kurutucu ile elde edilen kayısı tozlarında belirlenmiştir. Capariño ve diğ. (2012) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, farklı kurutma teknikleri (kırınım pencereli, dondurarak, püskürtme ve tambur kurutma) kullanılarak mango tozu üretimi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarının sonuçlarına göre çözünürlük değerlerini %89.70 - 95.31 aralığında belirlemiş ve püskürtmeli kurutucu ile üretilen mango tozunun %95.31 ile en yüksek çözünürlüğe sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Bu yüksek çözünürlüğün, MD ilavesine bağlı olabileceği sonucuna varmışlardır. MD’nin, püskürtme kurutma sırasında partikül kabuğunun oluşmasında bir kaplama ajanı olarak görev yaptığını ve bu durum yüksek çözünürlüğe sahip bir ürün elde edilmesini sağlayacağını bildirmişlerdir. Araştırmacılar ayrıca, püskürtmeli kurutma sırasında mango içinde bulunan lifler ve diğer bileşenlerin yüksek atomizasyon sonucunda küçük parçalara ayrılabilceğini ve bu durumun da kurutulmuş ürünün çözünürlüğünün artmasına katkıda bulunabileceğini belirtmişlerdir. Dondurarak kurutulmuş ve kırınım pencereli yöntem ile kurutulan mango tozlarının çözünürlüklerinin, püskürtme ve tambur kurutma ile üretilen mango tozlarına kıyasla önemli ölçüde daha düşük olduğunu belirlemişlerdir. Bu örneklerin daha düşük çözünürlüğe sahip olmasının nedeni olarak, her iki kurutma yöntemi de ürün sıcaklığı açısından nazik

olmasından dolayı, mango püresinin hücre yapısının bozulmaması ve daha az miktarda katı maddenin çözünebilir kısma katılması olabileceğini ifade etmişlerdir. Çalışmada elde edilen sonuçlar, Capariño ve diğ. (2012) tarafından elde edilen sonuçlarla benzerlik göstermektedir. Çalışmada en düşük partikül boyutu değerleri püskürtmeli kurutucu ile elde edilen kayısı tozlarında tespit edilmiştir. Çalışmada elde edilen değerler, Xin ve diğ. (2022) tarafından yapılan çalışma ile benzerlik göstermektedir. Araştırmacılar kanuka ağacı ekstraktını toz forma dönüştürmek için yaptıkları çalışmada, sprey kurutma ve dondurarak kurutma yöntemleri kullanılmıştır. Dondurarak kurutma yöntemiyle elde edilen tozlarla karşılaştırıldığında, püskürtmeli kurutma yöntemi ile elde edilen tozların partikül boyutunun on kat daha küçük olduğunu belirlemiş ve bu durumun gıdanın muhafazası açısından avantajlı bir durum olacağını ifade etmişlerdir Xin ve diğ. (2022).

Meyve suyu tozlarının yapışkanlık davranışı, şeker ve organik asit içeriği ile bunların sıcaklıkları ile ilişkilidir. Gıda malzemelerindeki farklı şekerlerin fiziksel özellikleri, kurutma süreci sırasında çeşitli etkilere sahiptir. Yüksek higroskopisite, yüksek çözünürlük ve düşük camsı geçiş sıcaklığı gibi bazı özellikler, püskürtmeli kurutucularda kurutma süreci sırasında bazı sorunlara neden olur. Camsı geçiş olayı, amorf, sert ve katı bir şeker veya asit molekülünün yumuşak ve elastik bir faz haline dönüşmesi durumunda meydana gelir. Yüksek camsı geçiş sıcaklığına sahip nişasta ve MD gibi katkı maddelerinin kullanımı, amorf malzemeler ile su arasındaki hidrojen bağlarını kırar ve püskürtmeli kurutmada, depolama ve işleme sırasında partiküllerin yapışkanlığını ortadan kaldırır (Roustapour ve diğ, 2006). Glikoz için camsı geçiş sıcaklığı 31 °C, fruktoz için 5 °C sorbitol için -9.2 °C, sakkaroz için 62 °C, MD (10 DE) için 160 °C, nişasta için 243 °C, su için - 135 °C, HPMC için 168-198 °C ve yumurta akı tozu için 107 °C (a_w : 0.12) olarak bildirilmiştir (Gómez-Carracedo ve diğ, 2003; Roustapour ve diğ, 2006; Rao ve Labuza, 2012; Hadjikinova ve Marudova, 2016).

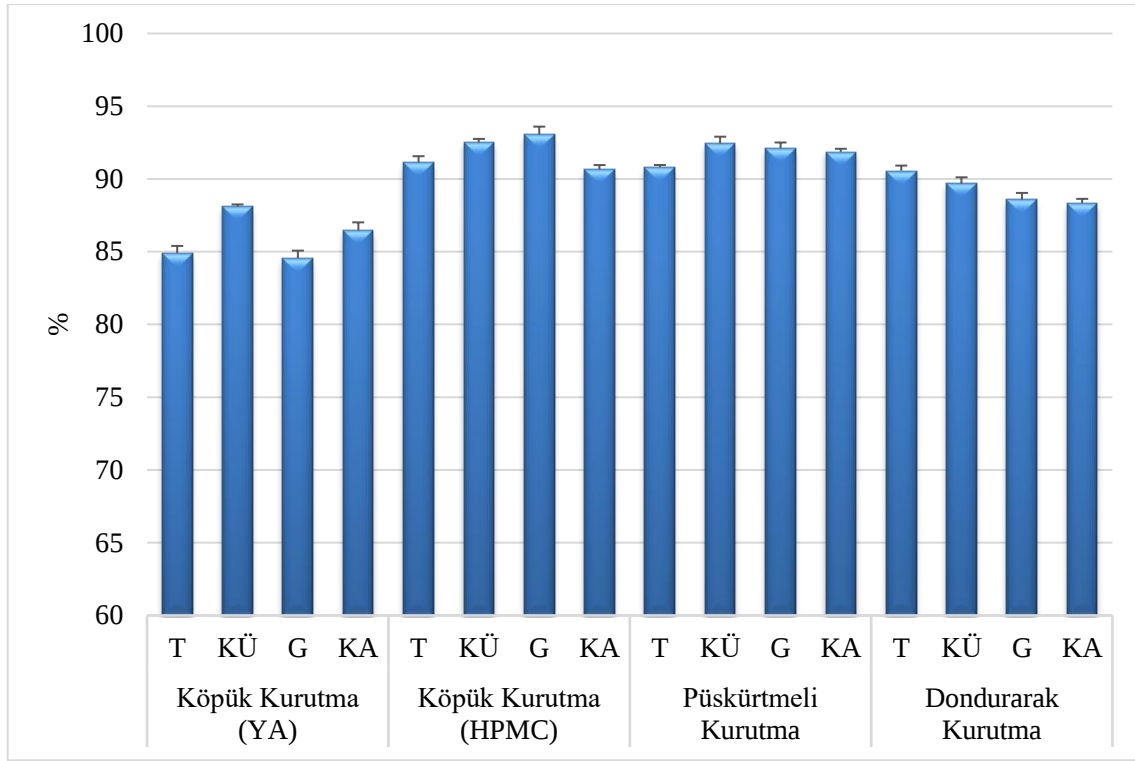
Capariño ve diğ. (2012) tarafından gerçekleştirilen çalışma, farklı kurutma tekniklerinin (kırınım pencere, dondurarak, püskürtme ve tambur kurutma) mango tozu üretimi üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, camsı geçiş (T_g) sıcaklık değerleri 23.1 - 28.8 °C arasında değişmiş ve püskürtmeli kurutma yöntemiyle üretilen mango tozunun en yüksek T_g değerine (28.8 °C) sahip olduğu tespit edilmiştir. İstatistiksel olarak, kurutma yöntemleri arasında T_g sıcaklığı açısından anlamlı bir fark bulunmasa da, püskürtmeli kurutma yöntemiyle elde edilen mango tozlarının yüksek T_g değerine sahip olmasının nedeninin, püskürtmeli kurutma öncesi ilave edilen yüksek moleküler ağırlıklı MD gibi bileşenlerin, düşük molekül ağırlıklı şekerlerce zengin mango gibi meyvelerin T_g

sıcaklığını artırması olduğu belirtmişlerdir. Gıda ürünlerinin karmaşıklığından dolayı genellikle T_g değerini belirlemek zor olabilir. Camsı geçiş genellikle bir sıcaklık aralığında gerçekleşir. Ürünün T_g değerini daha hassas bir şekilde belirlemek için daha fazla çalışma gerektiğini bildirmektedir (Pavan, 2010). Çalışmada, herhangi bir katkı maddesi ilave edilmeden dondurarak kurutma yöntemiyle elde edilen kayısı tozunun T_g değeri 7.06 °C olarak belirlenmiştir. Kayısı tozu üretmek için kullanılan HPMC, YA ve MD'nin T_g değerini önemli derecede artırdığı belirlenmiştir. T_g değerleri açısından kayısı tozu üretim yöntemlerinin istatistiksel olarak farklı olmadığı belirlenmiştir. Arslan ve Durmaz (2020) tarafından yapılan çalışmada, farklı DE değerlerine sahip MD kullanılarak taze kayısıların dondurarak kurutma yöntemiyle kayısı tozu üretimi gerçekleştirilmiş ve bazı fizikokimyasal parametreler belirlenmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre T_g değerlerini 79.08-89.33 °C aralığında belirlemişlerdir. T_g değerlerinin çalışmamızda elde edilen değerlerden yüksek çıkmasının nedeni olarak söz konusu çalışmada MD oranının çalışmamıza oranla daha yüksek düzeyde kullanılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

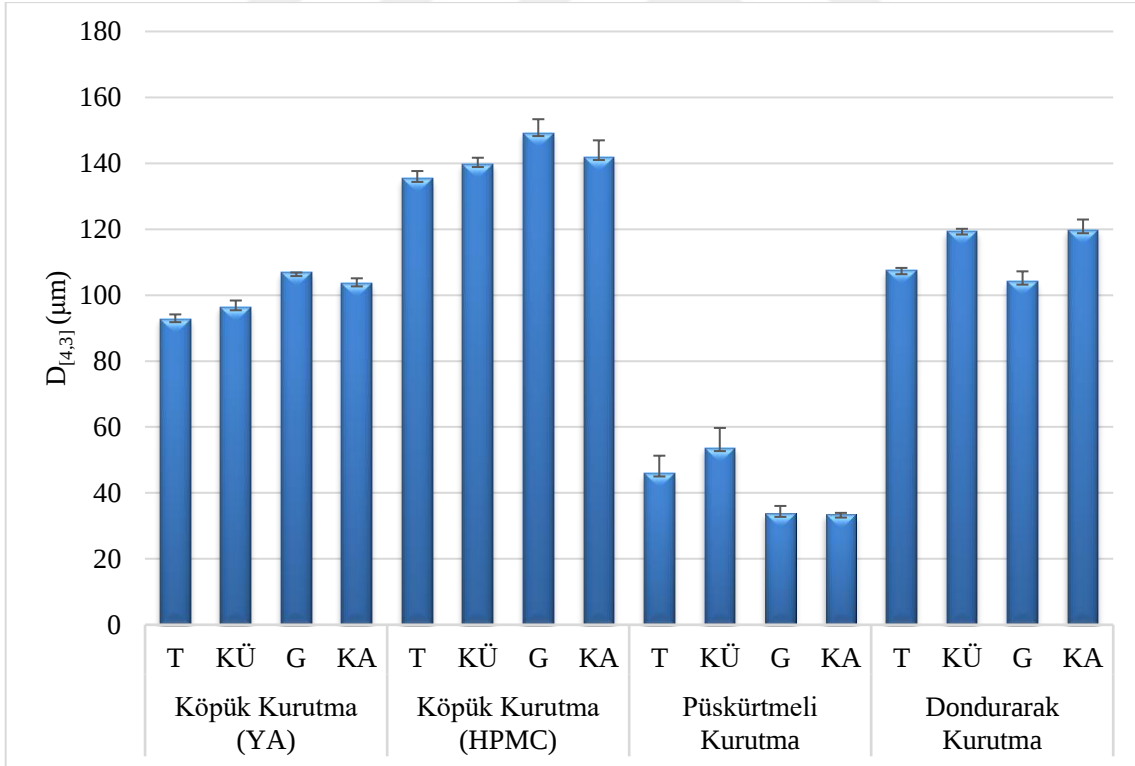
Çizelge 4.20 : Kayısı tozlarında çözünübilirlik partikül boyutu ve T_g analiz sonuçları.

Kurutma yöntemi	Hammadde	Çözünübilirlik %	Partikül boyutu ($D_{[4.3]}$) μm	Camsı geçiş sıcaklığı (T_g) °C
Köpük kurutma (YA)	T	84.91±0.49C,b	92.80±1.36B,c	64.36±2.30A,b
	KÜ	88.10±0.15A,c	96.41±1.97B,c	62.83±1.76A,a
	G	84.55±0.52C,c	106.79±0.10A,b	62.45±2.20A,b
	K	86.46±0.56B,d	103.66±1.46A,c	63.64±1.85A,a
Köpük kurutma (HPMC)	T	91.14±0.43B,a	135.35±2.30B,a	70.16±0.97A,a
	KÜ	92.50±0.26A,a	139.88±1.82B,a	65.86±0.95A,a
	G	93.05±0.55A,a	149.27±4.11A,a	67.54±1.5A,a
	K	90.65±0.30B,b	141.99±4.97AB,a	67.55±3.25A,a
Püskürtmeli kurutma	T	90.81±0.15B,a	46.00±5.30A,d	65.49±1.46A,b
	KÜ	92.43±0.47A,a	53.69±6.03A,d	64.2±0.53A,a
	G	92.10±0.41A,a	33.73±2.32B,c	66±1.00A,ab
	K	91.86±0.21A,a	33.52±0.44B,d	65.38±1.57A,a
Dondurarak kurutma	T	90.57±0.35A,a	107.35±0.92B,b	66.00±1.58A,ab
	KÜ	89.67±0.44A,b	119.40±0.73A,b	62.90±2.50A,a
	G	88.58±0.46B,b	104.19±3.03B,b	64.67±2.08A,ab
	K	88.34±0.29B,c	119.79±3.16A,b	64.53±2.51A,a

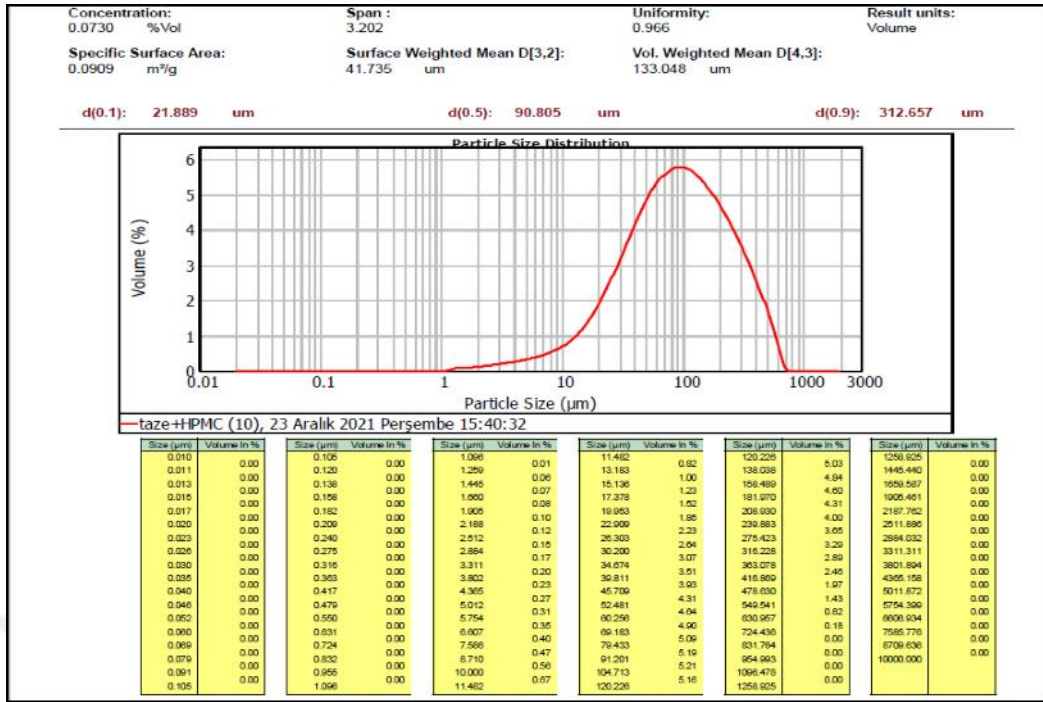
Aynı kurutma metodu içerisindeki farklı büyük harflerle gösterilen değerler uygulamaların birbirinden $P<0.05$ düzeyinde farklı olduğunu göstermektedir. Aynı sütundaki farklı küçük harflerle gösterilen değerler aynı tür hammadde için birbirinden $P<0.05$ düzeyinde farklı olduğunu göstermektedir.



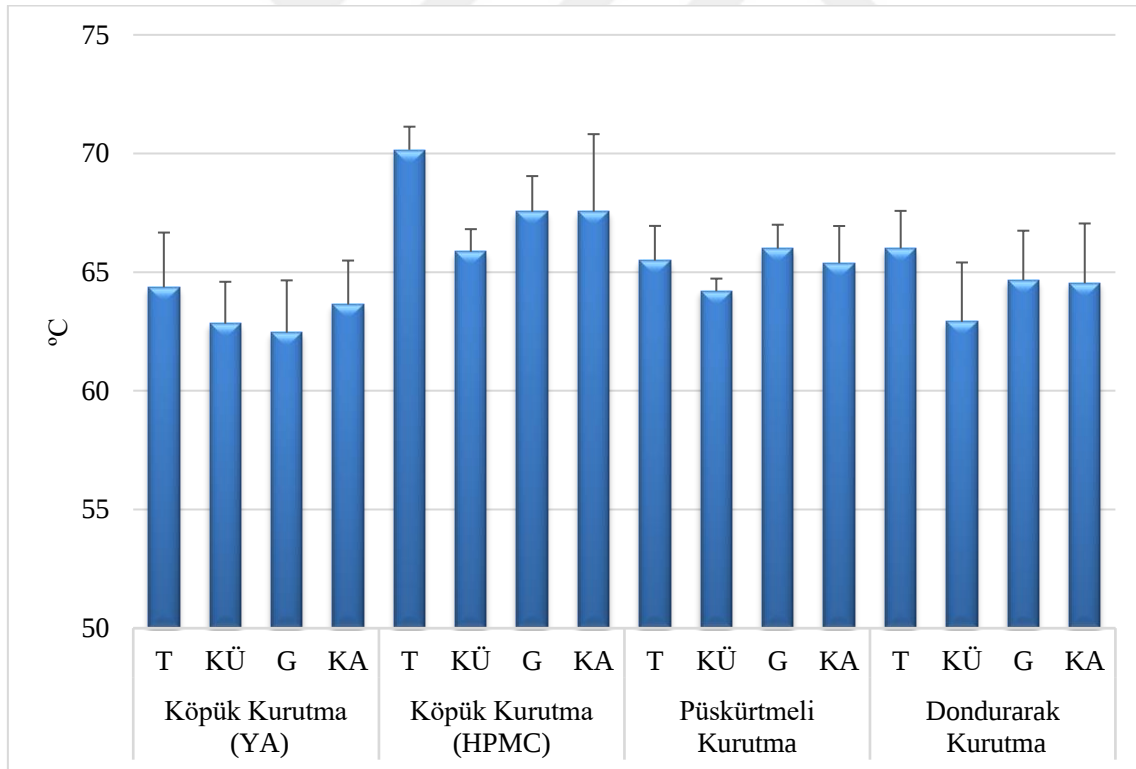
Şekil 4.48 : Kayısı tozlarının çözünürlük değerleri.



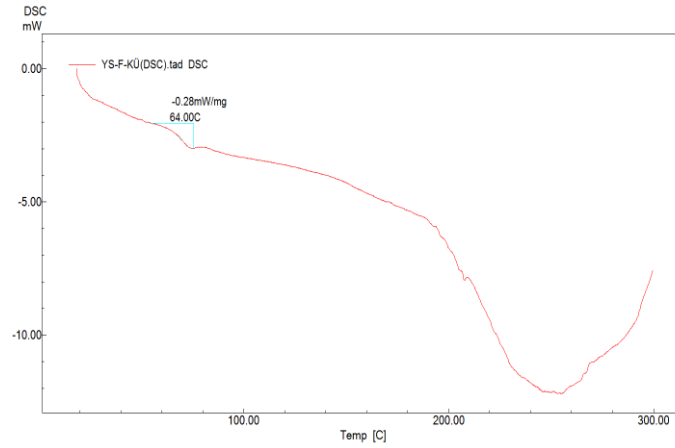
Şekil 4.49 : Kayısı tozlarının partikül boyutu değerleri



Şekil 4.50 : Kayısı tozu partikül boyutu grafiği (taze kayısı + HPMC).



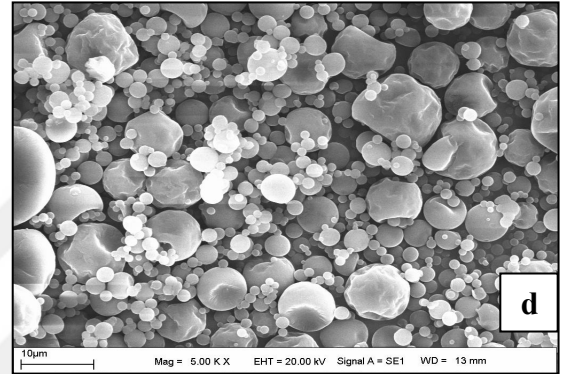
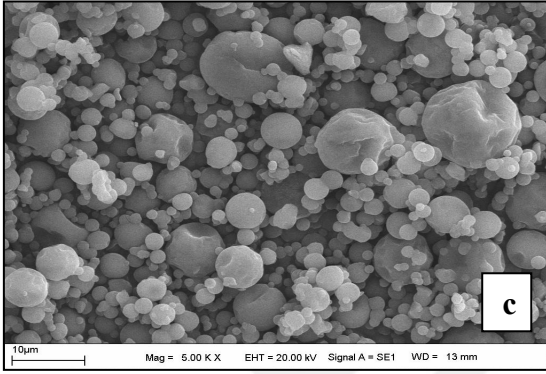
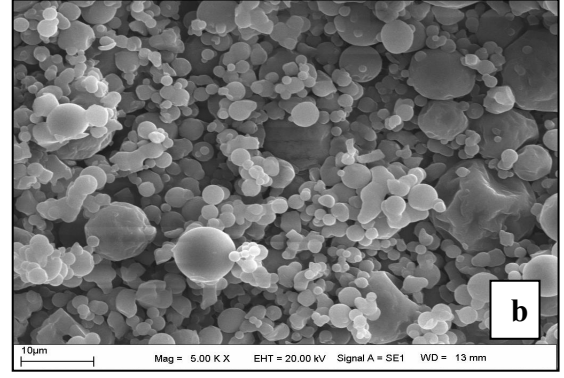
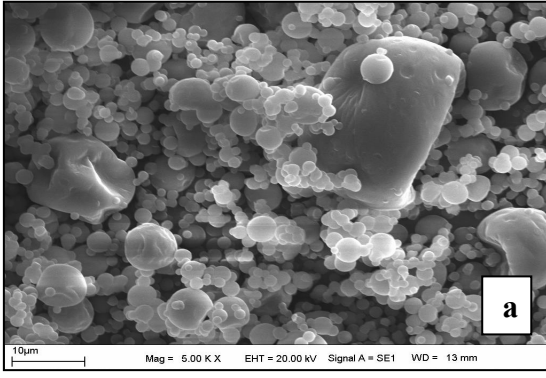
Şekil 4.51 : Kayısı tozlarının camsı geçiş (T_g) değerleri.



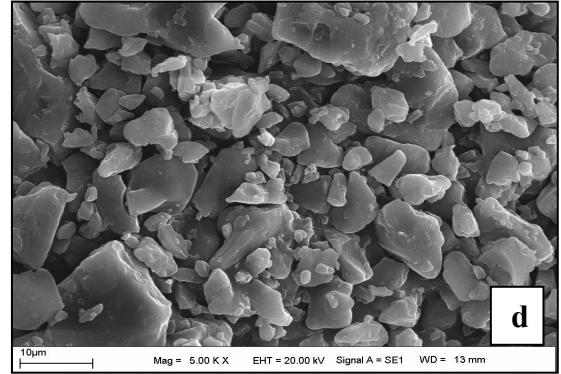
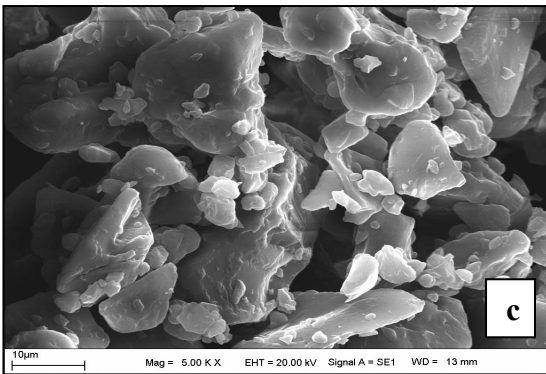
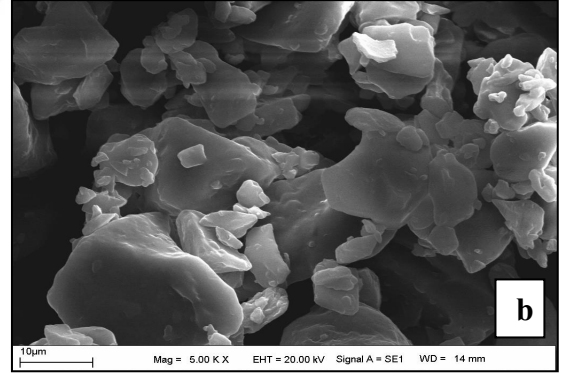
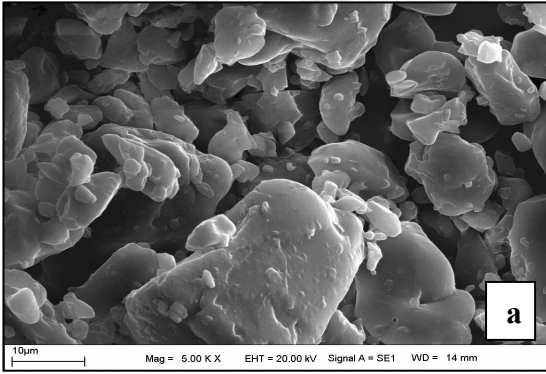
Şekil 4.52 : Kayısı tozu DSC termogramı (kükürtlü kayısı + dondurarak kurutma).

4.2.4.8 SEM analiz sonuçları

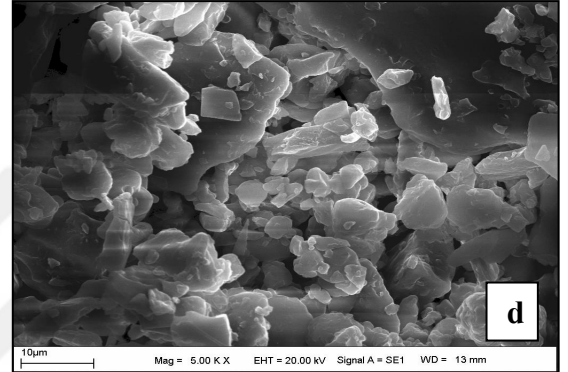
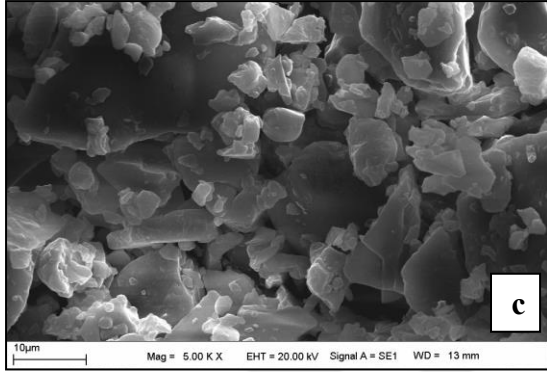
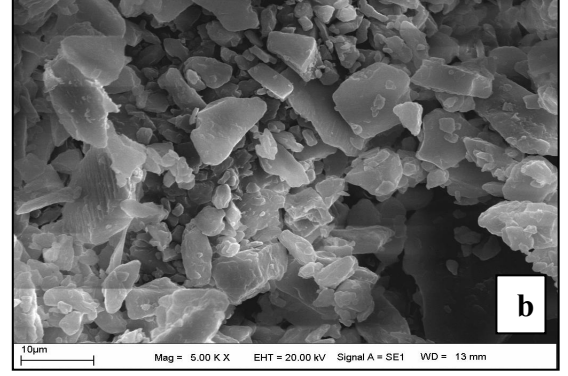
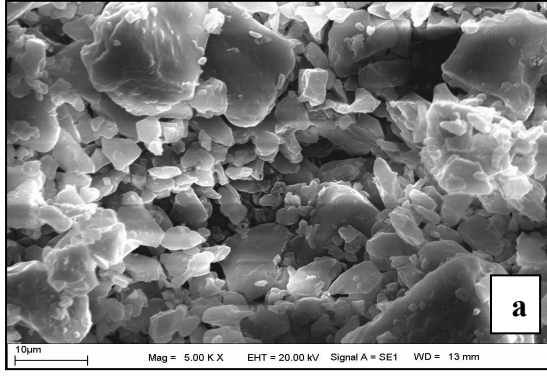
Farklı yöntemlerle elde edilen kayısı tozlarının yüzey morfolojisini belirlemek için SEM analizi, 500 x büyütme ile gerçekleştirilmiştir. HPMC, YA ve dondurarak kurutucu ile elde edilen kayısı tozlarında ürünlerin yüzeylerinde kırık cam ve pullu yapıya benzeyen düzensiz bir morfoloji olduğu belirlenmiştir. Bu düzensizlikler, kurutulmuş kayısı püresinin toza dönüştürülmesi sırasında öğütülmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Şekil 4.53, Şekil 4.54 ve Şekil 4.55). Toza dönüştürme işlemi için öğütme kullanılan teknikler sonucu elde edilen tozlar arasında morfolojik olarak farklılıklar gözlenmemiştir. Püskürtmeli kurutucu ile elde edilen kayısı tozu, püskürtmeli kurutma koşullarının etkisiyle yuvarlak veya oval şekilli ve düz yüzeyli partiküllere sahip bir yapı kazanmıştır. Düz ve yuvarlak şekilli kayısı tozu, diğer üç kurutma yöntemine göre yüksek bir gözenekliliğe sahiptir (Şekil 4.54). Capariño ve diğ. (2012) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, farklı kurutma teknikleri (kırınım pencere, dondurarak, püskürtme ve tambur kurutma) üretimi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Araştırmacılar, elde ettikleri mango tozlarının morfolojisini incelemiş ve çalışmada elde edilen benzer sonuçlara ulaşmışlardır. Xin ve diğ. (2022) tarafından yapılan çalışmada, kanuka ağacı ekstraktını toz forma dönüştürmek için püskürtmeli kurutma ve dondurarak kurutma yöntemleri kullanılmıştır. Araştırmacılar, püskürtme kurutma yöntemiyle elde edilen partiküllerin yaklaşık 10 µm boyutunda küresel bir şekle sahip olup, nispeten daha küçük bir parçacık boyutuna sahip olduğunu belirlemişlerdir. Diğer yandan, dondurarak kurutma yöntemiyle elde edilen partiküllerin düzensiz şekillere sahip olduğunu ve parçacık boyutlarının 100 µm'den daha büyük olduğunu belirtmişlerdir. Kanuka ağacı ekstraktının dondurarak kurutulması, amorf camsı bir kütlenin oluşmasına neden olduğunu, bu kütlenin havan ve dövecek yardımıyla öğütülmesi sonucu bu durumun gerçekleştiğini belirtmişlerdir.



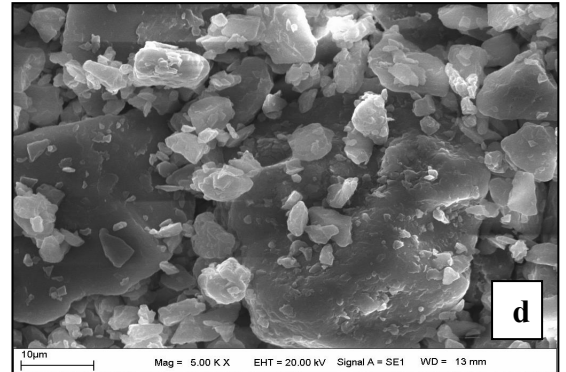
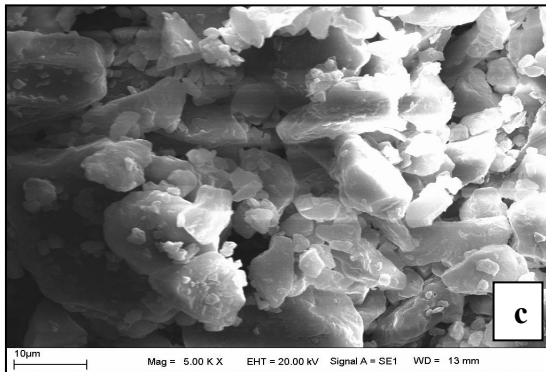
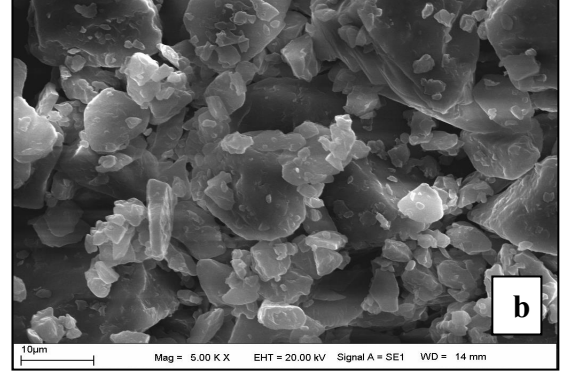
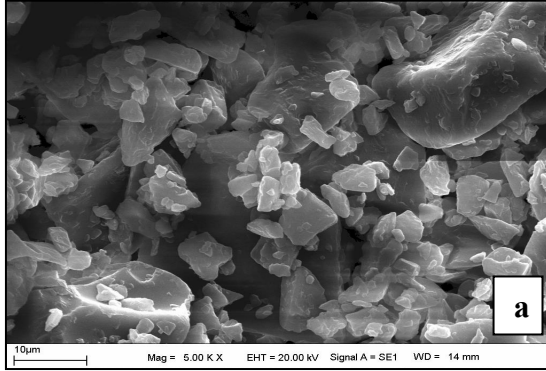
Şekil 4.53 : Püskürtmeli kurutma yöntemi ile üretilen kayısı tozlarının SEM görüntüleri
a:taze, b: kükürtlü, c:günkurusu ve d: kabuk.



Şekil 4.54: Dondurarak kurutma yöntemi ile üretilen kayısı tozlarının SEM görüntüleri
a:taze, b: kükürtlü, c:günkurusu ve d: kabuk.



Şekil 4.55 : Köpük kurutma (HPMC) yöntemi ile üretilen kayısı tozlarının SEM görüntüleri a:taze, b: kükürtlü, c:güncurusu ve d: kabuk.



Şekil 4.56 : Köpük kurutma (YA) ile üretilen kayısı tozlarının SEM görüntüleri a:taze, b: kükürtlü, c:güncurusu ve d: kabuk

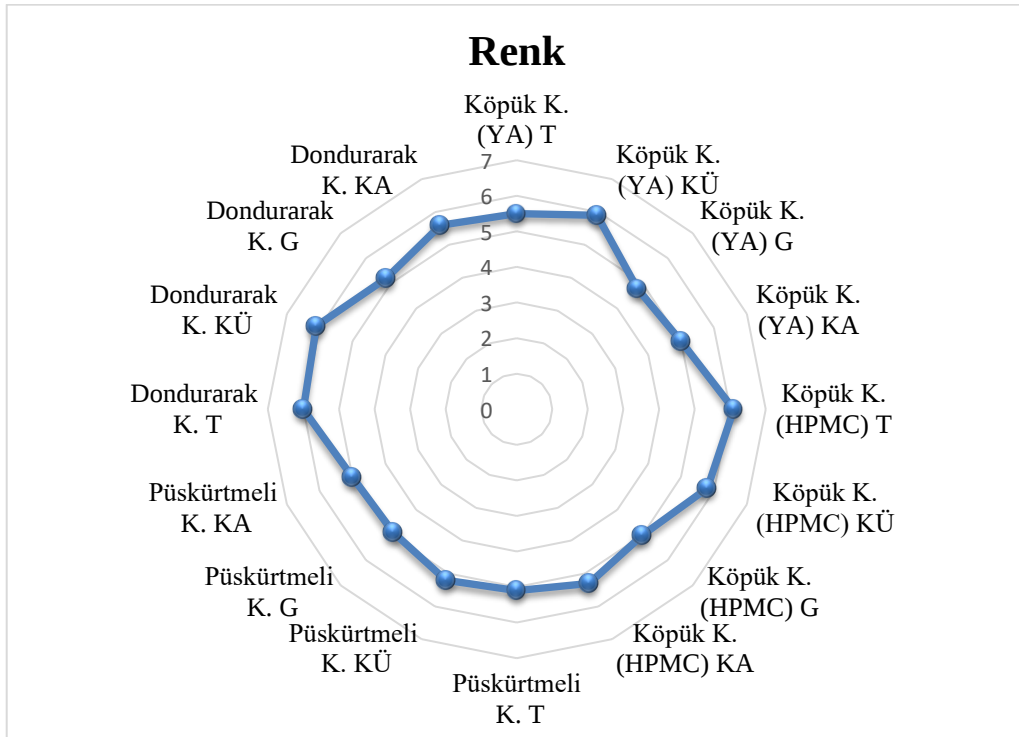
4.2.4.9 Duyusal analiz sonuçları

Duyusal analizler sonucunda farklı yöntemlerle elde edilen kayısı tozlarının beğeni puanları değerlendirilmiştir (Çizelge 4.21). Renk değerlerinin, kayısı tozlarında 4.8-6.1 puan aralığında değiştiği belirlenmiştir. Elde edilen değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir (Şekil 4.57). Tat değerleri ise 4.4- 6.4 arasında değişmektedir. En düşük tat beğeni puanları köpük kurutma (YA) yöntemiyle elde edilen kayısı tozlarında bulunurken, genellikle taze kayısıdan üretilen kayısı tozları en yüksek tat puanlarını elde etmiştir. Panelistler, YA ve kükürt tadının kayısının karakteristik tadını etkilediğini belirtmişlerdir (Şekil 4.58). Koku puanları ise 3.8-6.4 arasında değişmektedir. En düşük koku değeri kükürtlü kayısı kullanılarak köpük kurutma (YA) yöntemiyle elde edilen kayısı tozlarında belirlenmiştir. En yüksek koku değeri ise taze kayısı kullanılarak dondurarak kurutma yöntemiyle elde edilen kayısı tozlarında bulunmuştur. Panelistler, YA ve kükürt tadının kayısının karakteristik kokusunu etkilediğini ifade etmişlerdir (Şekil 4.59). Görünüş puanları incelendiğinde, en düşük puan 4.5 değeri ile günkurusu kayısı kullanılarak köpük kurutma (YA) yöntemiyle elde edilen kayısı tozlarında belirlenmiştir. En yüksek puan ise taze kayısı kullanılarak dondurarak kurutma yöntemiyle elde edilen kayısı tozlarında 6.3 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.60). Sonuç olarak, duyusal analiz sonuçlarına göre farklı kayısı tozu üretim yöntemleri arasında renk, tat, koku ve görünüş açısından farklılıklar tespit edilmiştir. Köpük kurutma (YA) yöntemiyle elde edilen tozlarda genellikle daha düşük tat, koku ve görünüş puanları elde edilirken, dondurarak kurutma yöntemiyle elde edilen tozlarda daha yüksek tat, koku ve görünüş puanları elde edilmiştir. Panelistler, YA ve kükürt tadının kayısının özgün tat ve koku özelliklerini etkilediğini belirtmişlerdir.

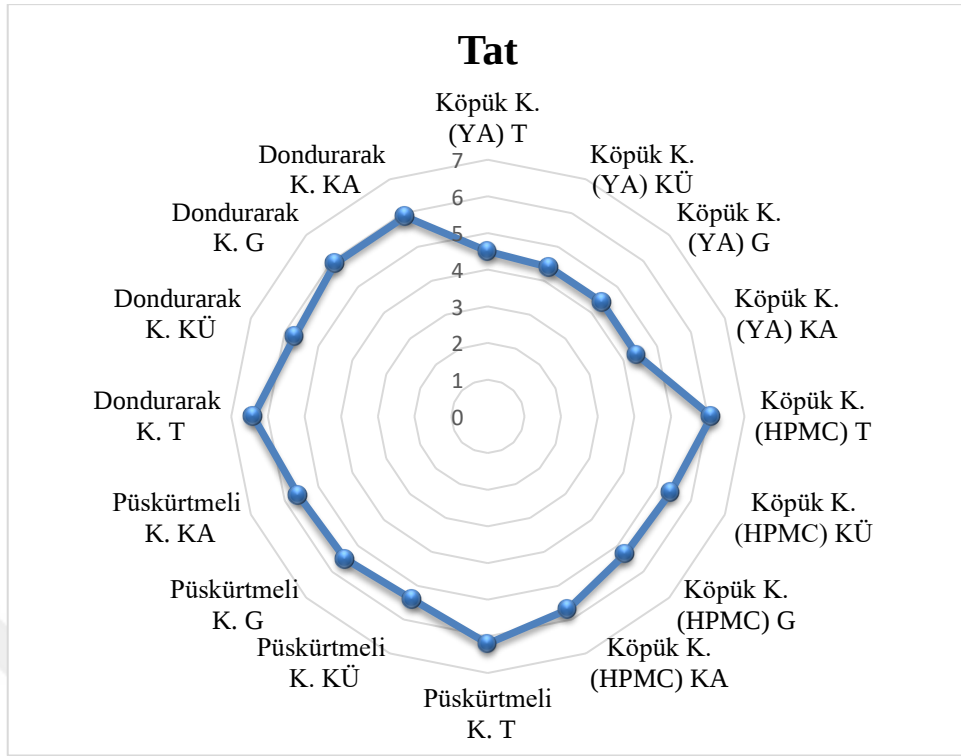
Çizelge 4.21 : Kayısı tozlarında duyu analizi sonuçları.

Kurutma yöntemi	Hammadde	Renk	Tat	Koku	Görünüş
Köpük kurutma (YA)	T	5.5±0.53A	4.5±0.53BC	4.8±0.79ABC	5.6±0.52BC
	KÜ	5.9±0.74A	4.4±0.52C	3.8±0.63C	4.9±0.74BC
	G	4.8±0.63A	4.4±0.52C	4.2±0.79BC	4.5±0.53C
	K	5.00±0.67A	4.4±0.52C	4.5±0.53BC	4.7±0.82BC
Köpük kurutma (HPMC)	T	6.1±0.57A	6.1±0.74A	6.3±0.67A	6.2±0.63B
	KÜ	5.8±0.79A	5.4±0.52ABC	5.4±0.52AB	6.1±0.57B
	G	5.0±0.67A	5.3±0.67ABC	5.5±0.53AB	5.6±0.52BC
	K	5.3±0.67A	5.7±0.48AB	6.1±0.53A	5.8±0.63BC
Püskürtmeli kurutma	T	5.1±0.57A	6.2±0.63A	5.9±0.57A	5.8±0.42B
	KÜ	5.2±0.42A	5.4±0.52ABC	5.2±0.63ABC	5.3±0.48BC
	G	4.9±0.57A	5.5±0.53ABC	5.0±0.67ABC	5.1±0.32BC
	K	5.0±0.67A	5.6±0.52ABC	5.4±0.70AB	5.5±0.53C
Dondurarak kurutma	T	6.0±0.67A	6.4±0.70A	6.4±0.70A	6.3±0.67B
	KÜ	6.1±0.74A	5.7±0.48BA	5.3±0.48BA	6.1±0.74B
	G	5.2±0.63A	5.9±0.57A	5.7±0.67BA	5.5±0.53BC
	K	5.6±0.52A	5.9±0.57A	5.7±0.67BA	5.5±0.53BC

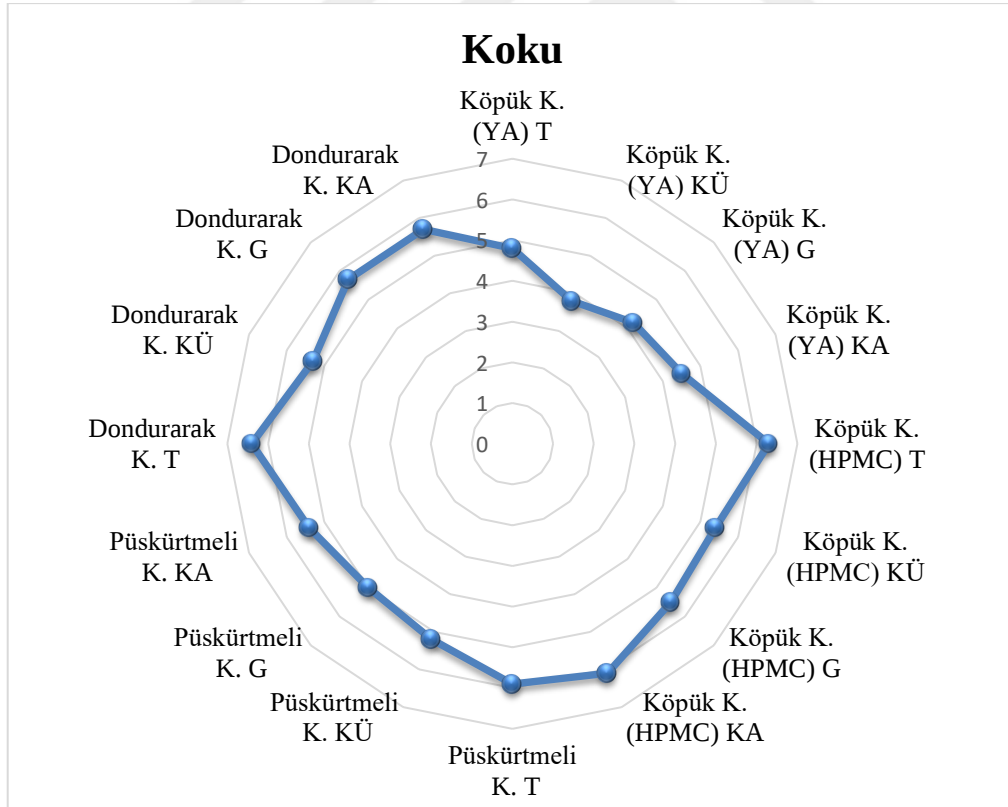
Aynı kurutma metodu içerisindeki farklı büyük harflerle gösterilen değerler uygulamaların birbirinden $P<0.05$ düzeyinde farklı olduğunu göstermektedir.



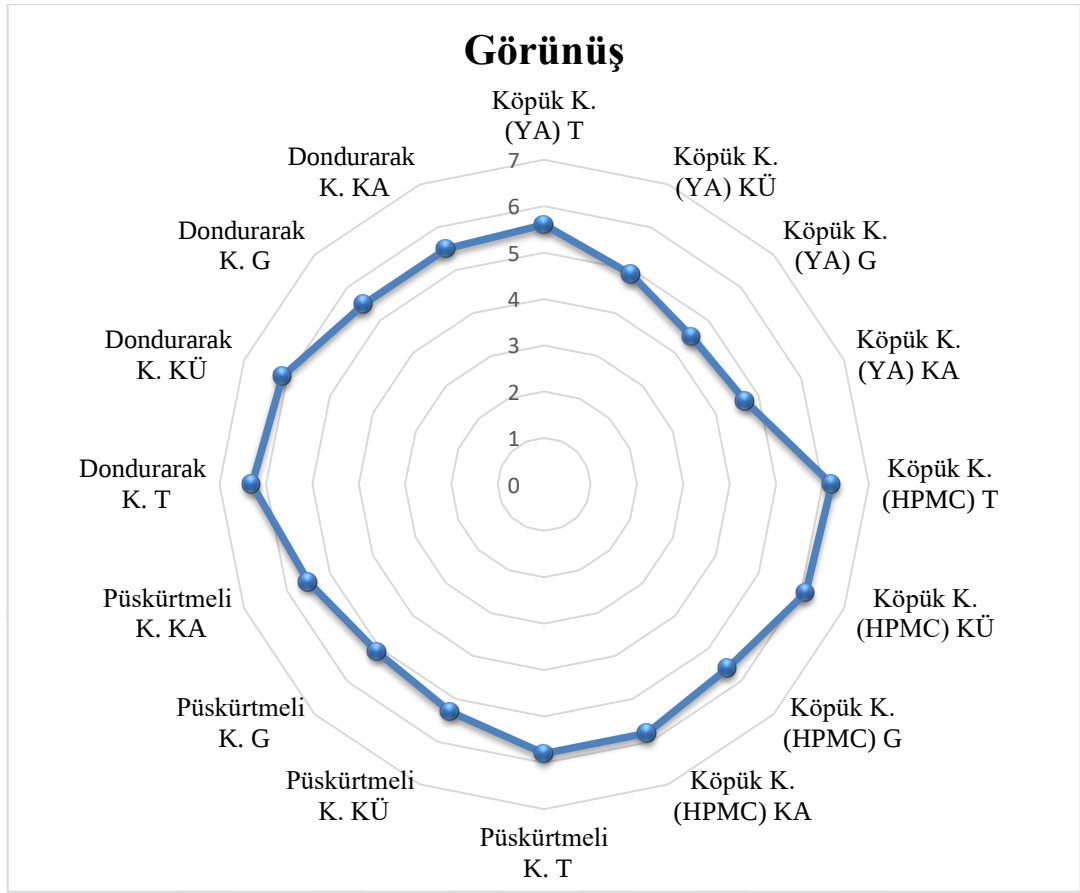
Şekil 4.57 : Kayısı tozlarının duyu analizi renk değerleri.



Şekil 4.58 : Kayısı tozlarının duyu analizi tat değerleri.



Şekil 4.59 : Kayısı tozlarının duyu analizi koku değerleri.



Şekil 4.60 : Kayısı tozlarının duyu analizi görünüş değerleri.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada köpük kurutma metoduyla kayısı tozu üretim olanakları araştırılmıştır. Bu amaçla; taze, kükürtlü, günkurusu ve kabuk kayısılar üretilerek kayısı tozu üretiminde kullanılmıştır. Köpük kurutma metoduyla Kayısı tozu üretimi için yumurta akı (YA) ve hidroksipropil metil selüloz (HPMC) olmak üzere iki farklı köpürtücü ajan kullanılmıştır. Kurutma yardımcısı olarak 9-11 DE MD kullanılmıştır. Çalışmada kullanılacak köpürtücü ajan MD oranlarını belirlemek için D-optimal mixture dizayn yöntemi kullanılmıştır. Üretilen tüm kayısı tozlarında kayısı oranı KM'de %50 olacak şekilde belirlenmiştir. Optimizasyon sonucunda YA + MD oranı sırasıyla %23.06 + 26.94 belirlenirken HPMC için %3.83 + 46.17 olarak belirlenmiştir. Bu oranlara göre köpükler üretilerek 65 °C'de 1,5 m/s hava hızında laboratuvar tipi tepsili döner kurutucuda kurutulan örnekler kazındıktan sonra öğütülüp 425 µm elekten elenerek kayısı tozları elde edilmiştir. Köpük kurutma metodu ile elde edilen kayısı tozlarını karşılaştırmak amacıyla kayısı+MD oranı KM'de %50+50 olacak şekilde; püskürtmeli kurutma ve dondurarak kurutma metodu ile üretilen kayısı tozları ile karşılaştırma yapılmıştır. HPMC'nin köpürtücü ajan olarak kullanıldığı optimizasyon çalışmasında; cevap olarak kullanılan köpük genleşmesi oranının deneysel çalışmalarda %184-566 aralığında, drenaj hacminin ise 0-12.1 mL aralığında olduğu belirlenmiştir. Bu değerler YA için sırasıyla %124 - 340 ve 0-6.7 mL, belirlenmiştir. İdeal köpük oluşumu ve kurutmanın sağlanabilmesi için HPMC'ye oranla çok daha fazla yumurta akı tozuna ihtiyaç duyulduğu belirlenmiştir. Genellikle köpürtücü ajan oranının artışına bağlı olarak köpük kapasitesinin arttığı ve drenaj hacminin ve köpük yoğunluğunun azaldığı belirlenmiştir. Mikroskop görüntüleri incelendiğinde yumurta akının biraz daha homojen ve küçük yapıli köpük oluşturduğu HPMC'nin ise daha heterojen ve iri boyutlu köpük yapısı oluşturduğu belirlenmiştir. Kayısların şeker içeriğine kurutma yöntemlerinin etkisinden ziyade kükürtleme yapılan kayısların sakkaroz oranının diğer kayısı çeşitlerine göre az glikoz ve fruktoz oranın daha fazla olduğu belirlenmiştir. Aynı kayısı çeşitleri içerisinde en yüksek antioksidan ve toplam fenolik madde oranlarının köpürtücü ajan olarak yumurta akı kullanılan köpük kurutma yönteminde olduğu belirlenmiştir. Kuru kayıslar genellikle taze kayıslara oranla daha yüksek antioksidan ve toplam fenolik madde oranına sahip olduğu belirlenmiştir. Kükürtlü kayısların antioksidan ve toplam fenolik madde miktarları diğer kuru kayıslara oranla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Kurutma yöntemleri için rutubet ve su aktivitesi (a_w) miktarları birbirine yakın değerler almıştır. Kayısı tozlarının

higroskopisite oranları incelendiğinde dondurarak kurutma ve köpük kurutma (HPMC) metoduyla üretilenlerin diğer yöntemlere göre daha düşük nem çektikleri belirlenmiştir. Köpük kurutma (YA) ile üretilen kayısı tozlarında herhangi bir topaklanma gözlenmezken diğer kayısı tozları arasında köpük kurutma (HPMC) en yüksek topaklanma oranına sahip olduğu ve diğer yöntemlerle üretilen kayısı tozları yakın değerler aldığı belirlenmiştir. Yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk analizlerinde en düşük oranlar püskürtmeli kurutucu ile elde edilen kayısı tozlarından belirlenirken diğer yöntemlerle üretilen kayısı tozlarının yakın değerler aldığı saptanmıştır. Carr İndeksi ve Hausner oranında en yüksek değerler, püskürtmeli kurutucu ile elde edilen kayısı tozlarından belirlenirken diğer yöntemlerle üretilen kayısı tozları yakın değerler aldığı tespit edilmiştir. Kayısı tozlarında en yüksek L^* değeri genellikle kükürtlü kayısı tozlarında elde edilirken en düşük L^* değeri günkurusu kayısılarından elde edilen tozlarda belirlenmiştir. Kayısı tozlarında en yüksek a^* değeri genellikle günkurusu kayısı tozlarında elde edilirken en düşük a^* değeri püskürtmeli kurutucu ile elde edilen kayısı tozlarında belirlenmiştir. Püskürtmeli kurutucu ile elde edilen kayısı tozlarında b^* değeri diğer yöntemlerle üretilenlere oranla daha düşük olarak belirlenmiştir. Taze kayısılarından üretilen kayısı tozlarındaki β -karoten miktarları en yüksek değeri almıştır. Dondurarak kurutma yöntemiyle elde edilen kayısı tozlarının β -karoten miktarları diğer yöntemlere göre daha yüksek belirlenmiştir. HMF miktarı kükürtlü kayısılarından elde edilen kayısı tozlarında yüksek oranda tespit edilmiştir. Kayısı tozu çözünübilirlik değerleri köpük kurutma (YA) ile üretilen kayısı tozlarında diğer yöntemlerle üretilenlere göre düşük olarak belirlenmiştir. Kayısı tozu partikül boyutu değerleri incelendiğinde en küçük partikül boyutuna sahip kayısı tozlarının püskürtmeli kurutucu, en büyük partikül boyutuna sahip kayısı tozlarının ise köpük kurutma (HPMC) ile elde edilen örneklerde olduğu tespit edilmiştir. SEM analiz görüntüleri incelendiğinde, püskürtmeli kurutucu ile elde edilen kayısı tozların yuvarlak ve daha küçük boyuta sahip olduğu diğer yöntemlerle üretilen kayısı tozlarının ise benzer özellikler gösterdiği belirlenmiştir. Duyusal analiz sonuçları değerlendirildiğinde, köpük kurutma (HPMC), dondurarak ve püskürtmeli kurutma yöntemleri kullanılarak taze ve kabuk kayısından üretilen tozların daha yüksek skorlar elde ettiği belirlenmiştir. Köpük kurutma yöntemi ile taze, kükürtlü, günkurusu ve kabuk kayısılar ve köpürtücü ajan olarak YA ve HPMC ve kurutma yardımcısı olarak MD kullanılarak kayısı tozları başarılı bir şekilde üretilmiştir. Çalışmada iyi bir optimizasyonla elde edilen köpük kurutma yöntemlerinde ve dondurarak kurutma yönteminde verim açısından herhangi bir kayıp yaşanmazken, püskürtmeli kurutucuda kayısı tozu elde edilirken gerek kurutma kulesi gerekse de cihazın diğer kısımlarında meydana gelen

yapışmadan dolayı verim kayıplarının olduğu belirlenmiştir. Ayrıca püskürtmeli kurutma yöntemi ile elde edilen kayısı tozlarının akışkanlık özellikleri diğer yöntemlerle elde edilen kayısı tozlarına göre oldukça zayıf olduğu belirlenmiştir. Bu durum akışkanlığın istendiği gıda proseslerinde bir eksiklik olabilir. Duyusal analiz değerlendirmeleri direkt olarak bir ara ürün olan kayısı tozu örneklerinde yapıldığı için, çalışmada düşük beğeni puanı alan kayısılar ürün içerisinde kullanıldığında bu olumsuzluklardan kurtulabilirler. Çalışmada kullanılan HPMC'nin çok düşük miktarlarda kullanılmasına rağmen etkin bir köpürtücü ajan olması nedeniyle gıda sanayii tarafından tercih edilebilir. Ancak HPMC'nin YA'na göre yüksek olan topaklanma düzeyinin azaltılması için topaklanmayı önleyici bazı katkı maddeleri ilave edilebilir. Bu çalışmanın sonuçlarına dayanarak, köpük kurutma metoduyla kayısı tozu üretimi için daha geniş ölçekli üretim denemeleri yapılabilir. Endüstriyel ölçekte üretim yapılması, üretim verimliliği ve ekonomik değeri artırabilir. Farklı köpürtücü ajanlar ve kurutma yardımcıları kullanarak kayısı tozu üretimi üzerinde yapılan bu çalışmanın benzer çalışmalara yol gösterici olabileceği düşünülmektedir. Farklı bileşenlerin kullanımının kayısı tozunun özellikleri üzerindeki etkisini araştıran çalışmalar yapılabilir. Kayısı tozu üretimi için kullanılan kurutma yöntemlerinin enerji tüketimi ve çevresel etkileri de dikkate alınmalıdır. Daha sürdürülebilir ve enerji verimli kurutma yöntemlerinin geliştirilmesi önemlidir. Daha ileri araştırmalar yaparak kayısı tozlarının farklı kullanım alanları araştırılabilir. Örneğin, kayısı tozunun gıda endüstrisinde nasıl kullanılabileceği veya fonksiyonel gıda ürünlerinde nasıl değerlendirilebileceği araştırılabilir. Bu çalışmanın sonuçlarına dayanarak, diğer meyve ve sebzelerin köpük kurutma metoduyla toz formuna dönüştürülmesi üzerine benzer çalışmalar yapılabilir. Farklı ürünlerin köpük kurutma yöntemiyle elde edilen tozlarının kalite ve özelliklerinin karşılaştırılması ilgi çekici olabilir.

KAYNAKLAR

- Abbasi, E. & Azizpour, M.** (2016). Evaluation of physicochemical properties of foam mat dried sour cherry powder. *Lwt - Food Science and Technology*, 68, 105-110.
- Abirached, C., Medrano, C.A., Araujo, A.C., Moyna, P., Añón, M.C. & Panizzolo, L.A.** (2012). Comparison of interfacial and foaming properties of soy and whey protein isolates. *J. Food Sci. Eng.* 2, 376–381.
- Akın B.,E.** (2006). *Coğrafi İşaret Olarak Tescil Edilmiş Malatya Kayısısının Teknolojik Özelliklerinin Saptanması ve Gıda Güvenliği Açısından Araştırılması* (Doktora Tezi). Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara
- Akın, E.B., Karabulut, İ. & Topçu A.** (2008). Some compositional properties of main Malatya apricot (*Prunus armeniaca* L.) Varieties, *Food Chemistry*, 107, 939–948.
- Akintoye, O.A. & Oguntunde, A.O.** (1991). Preliminary Investigation on the Effect of Foam Stabilizers on the Physical Characteristics and Reconstitution Properties of Foam-Mat Dried Soymilk. *Drying Technology*, 9, 245-262.
- Arslan, T., & Durmaz, G.** (2020). β -Carotene Stability and Some Physicochemical Properties of Apricot Juice Powders Obtained by Using Maltodextrins with Different Dextrose Equivalents. *Starch-starke*, 72, 1900318.
- Arslan,T.** (2014) *Dondurarak kurutulmuş kayısı tozunun bazı özelliklerine farklı maltodekstrinlerin etkisinin belirlenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya
- Arzhavitina, A. & Steckel, H.** (2010). Foams for pharmaceutical and cosmetic application. *Int. J. Pharm.* 394:3, 4, 6, 7.
- Aslan, A.** (2022). *Malatya ilinde kuru kayısı üretim ve pazarlama etkinliğinin belirlenmesi* (Doktora Tezi). Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum
- Asma, B.M.** (2000). *Kayısı Yetiştiriciliği*. Evin Ofset Matbaası, Malatya, 243 s
- Aşık, S.** (2019). *Farklı Kurutma Yöntemleri İle Biyoaktif Bileşenlerce Zengin Portakal Tozu Üretimi* (Yüksek Lisans Tezi). Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya.
- Ayour, J., Audergon, J.M., Renard, C.M., Benichou, M. & Le Bourvellec, C.** (2022). Phenolic profiling in ten apricot clones using an efficient method (Thioacidolysis-UFLC) and determination of their antioxidant potential. *Food Biosci.* , 49, 101880.
- Azizpour, M., Mohebbi, M., Khodaparast, M. & Varidi, M.** (2013). Foam-mat drying of shrimp: Characterization and drying kinetics of foam. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. 15. 159-165.
- Balcıoğlu, S.,** (2019). *UV-Kürlenenebilir Poliüretan-Akrilat Temelli Multifonksiyonel Kemik Yapıştırıcılarının Hazırlanması ve Sternal Kapamada Kullanımı*, (Doktora Tezi). İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Malatya

- Berg, M.V., Jara, F.L. & Pilosof, A.M.** (2015). Performance of egg white and hydroxypropylmethylcellulose mixtures on gelation and foaming. *Food Hydrocolloids*, 48, 282-291.
- Berk, Z.** (2008). *Food Process Engineering and Technology*. Burlington, U.S.A
- Blasco, L., Vinas, M. & Villa, T. G.** (2011). Proteins influencing foam formation in wine and beer: The role of yeast. *Int. Microbiol.* 14 20, 61–71.
- Brand -Williams, W., Cuvelier, M.E. & Berset, C.** (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity using the DPPH free radical method. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie, Food Science and Technology*, 28, 25-30.
- Camire, M.E., Dougherty, M.P. & Briggs, J.L.** (2007). Functionality of fruit powders in extruded corn breakfast cereals. *Food Chem*, 2007, 101, 765–770.
- Capariño, O.A., Tang, J., Nindo, C., Sablani, S.S., Powers, J.R., & Fellman, J.K.** (2012). Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine 'Carabao' var.) powder, *Journal of Food Engineering*, 111, 135-148.
- Ceballos, A.M., Giraldo, G.I. & Orrego C.E.** (2012), Effect of freezing rate on quality parameters of freeze dried soursoup fruit pulp, *Journal of Food Engineering*, 111, 360- 65.
- Çınar, İ., & Erafşar, F.K.** (2018). Köpük Kurutma Tekniğinin Meyve ve Sebze İşlemede Kullanımı. *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19, 2, 89-100.
- Daniel, C.** (2004). Soy Protein Concentrate: Technology, Properties and Applications, Chap. 6. In *Soybeans as Functional Foods and Ingredients* (K Liu, ed.) AOCS Press, Champaign, IL, USA.
- Darniadi, S.** (2017) *Optimisation of foam-mat freeze-drying conditions for blueberry powder and evaluation of powder properties*, University of Leeds (Doctoral dissertation). Retrieved from https://etheses.whiterose.ac.uk/18476/1/Darniadi_S_FoodScience_PhD_2015.pdf
- Demir, N.,** (2016). *Malatya Kayısılarından Vakum İnfüzyon Tekniği Kullanılarak Katma Değeri Artırılmış Yeni Ürün Geliştirme*, (Doktora Tezi). İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Malatya
- Deshmukh, K., Ahamed, M.B., Deshmukh, R.R., Pasha, S.K., Bhagat, P.R. & Chidambaram, K.** (2017). Biopolymer Composites With High Dielectric Performance: Interface Engineering. *Biopolymer Composites in Electronics*, 27,128.
- Desobry, S., Netto, F.M., & Labuza, T.P.** (1997). Comparison of Spray-drying, Drum-drying and Freeze-drying for β -Carotene Encapsulation and Preservation. *Journal of Food Science*, 62, 1158-1162.
- Dickinson, E.** (1992). *Introduction to Food Colloids*. Oxford University Press, UK.
- Dickinson, E.** (1998). Proteins at interfaces and in emulsions Stability, rheology and interactions. *J. Chem. Soc. Faraday Trans.* 94, 1657–1669.

- Eisner, M. D., Jeelani, S. A. K., Bernhard, L. & Windhab, E. J. (2006). Stability of foams containing proteins, fat particles and nonionic surfactants, *Chem. Eng. Sci.* 62: 1974-1976.
- Erdogan Orhan, I. & Kartal, M. (2011). Insights into research on phytochemistry and biological activities of *Prunus armeniaca* L. (apricot), *Food Research International* 44, 1238-243.
- Falade, K.O., Adeyanju, K. & Uzo-Peters, P.I. (2003). Foam-mat drying of cowpea (*Vigna unguiculata*) using glyceryl monostearate and egg albumin as foaming agents. *European Food Research and Technology*, 217, 486-491.
- FAO (2021), Erişim: 08.09.2021, <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Farais, M. A. & Ratti, C. (2009). Dehydration of foods. In Ratti, C. Ed., *Advance in Food Dehydration*, pp. 2–3.
- Fardiyah, Q., Rumhayati, B. & Khotimah, Y.H. (2018). The Effect of Temperature and Concentration of Foaming Agent to the β -Carotene Content in Product Derived from Carrots. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 299.
- Febrianto, A., Kumalaningsih, S. & Aswari, A. W. (2012). Process engineering of drying milk powder with foam-mat drying method. A study on the effect of the concentration and types of filler. *J. Basic Appl. Sci. Res.* 2(4), 3588, 3589, 3591.
- Fernandes, R.V., Queiroz, F., Botrel, D.A., Rocha, V.V., Lima, C.F. & Souza, V.R. (2013). Foam mat drying of tomato pulp. *Bioscience Journal* , vol. 29, no. 4, pp. 816–825.
- Filkova, I., and Mujumdar, A. S. (2006) Industrial spray drying systems. Arun S. Mujumdar In *Handbook of Industrial Drying* (2nd ed., pp. 263–308). New York: Taylor & Francis Group, LLC.
- Franco, T.S., Perussello, C.A., Ellendersen, L.N. & Masson, M. L. (2016). Effect of Foam Mat Drying on Physicochemical and Microstructural Properties of Yacon Juice Powder. *LTW Food Science and Technology*. 66, 503-513.
- Gaiani, C., Morand, M., Sánchez, C., Tehrany, E.A., Jacquot, M., Schuck, P., Jeantet, R., & Scher, J. (2010). How surface composition of high milk proteins powders is influenced by spray-drying temperature. *Colloids and surfaces. B, Biointerfaces*, 75 1, 377-84 .
- Gomes, W.F., França, F.R., Denadai, M., Andrade, J.K., da Silva Oliveira, E.M., de Brito, E.S., Rodrigues, S., & Narain, N. (2018). Effect of freeze- and spray-drying on physico-chemical characteristics, phenolic compounds and antioxidant activity of papaya pulp. *Journal of Food Science and Technology*, 55, 2095-2102.
- Güçlü, K., Altun, M., Özyürek, M., Karademir, S.E., & Apak, R. (2006). Antioxidant capacity of fresh, sun- and sulphited-dried Malatya apricot (*Prunus armeniaca*) assayed by CUPRAC, ABTS/TEAC and folin methods. *International Journal of Food Science and Technology*, 41, 76-85.
- Hamzaoglu, F. (2016) *Kuru kayisilarin şeker, aminoasit, hidroksimetilfurfural ve furosin içeriğinde depolama boyunca meydana gelen değişim üzerine SO₂*

konsantrasyonunun etkisi (Yüksek Lisans Tezi). Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum

- Hardy, Z., & Jideani, V.A.** (2017). Foam-mat drying technology: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57, 2560 - 2572.
- He, L., Zhang, X., Xu, H., Xu, C., Yuan, F., Knez, Ž., Novak, Z., & Gao, Y.** (2012). Subcritical water extraction of phenolic compounds from pomegranate (*Punica granatum* L.) seed residues and investigation into their antioxidant activities with HPLC–ABTS+ assay. *Food and Bioproducts Processing*, 90, 215-223.
- Hegedűs, A., Engel, R., Abrankó, L., Balogh, E., Blázovics, A., Hermán, R., Halász, J., Ercişli, S., Pedryc, A., & Stefanovits-Bányai, É.** (2010). Antioxidant and antiradical capacities in apricot (*Prunus armeniaca* L.) fruits: variations from genotypes, years, and analytical methods. *Journal of food science*, 75 9, C722-30.
- Hsu, C., Chen, W., Weng, Y.M., & Tseng, C.** (2003). Chemical composition, physical properties, and antioxidant activities of yam flours as affected by different drying methods. *Food Chemistry*, 83, 85-92.
- INC** (2021), Erişim: 13.12.2021, <https://www.nutfruit.org/>
- Indrawati, L., Wang, Z., Narsimhan, G., & González, J.J.** (2008). Effect of processing parameters on foam formation using a continuous system with a mechanical whipper. *Journal of Food Engineering*, 88, 65-74.
- Isa, J. & Olalusi, A.P.** (2019). Optimization of Foam-Mat Drying Process of Watermelon Pulp Using Response Surface Methodology. *Journal of Energy Research and Reviews*.
- ISO 4121**, (2003). Sensory analysis-Guidelines for the use of quantitative response scales
- ITC** (2021), Erişim: 05.10.2021, <https://www.trademapp.org>
- Jaya, S., Das, H. & Mani, S.** (2006). Optimization of Maltodextrin and Tricalcium Phosphate for Producing Vacuum Dried Mango Powder, *International Journal of Food Properties*, 9,13-24.
- Jayas, D.** (2016). *Food Dehydration*. University of Manitoba, Winnipeg, MB, Canada
- Kandasamy, P., Varadharaju, N., Kalemullah, S., & Maladhi, D.** (2014). Optimization of process parameters for foam-mat drying of papaya pulp. *Journal of Food Science and Technology*, 51, 2526-2534.
- Kara, N. R.** (2021). *Köpük Kurutma Yöntemiyle Nar Suyu Tozu Üretiminde Saponinlerin Kullanılabilirliğinin Araştırılması (Yüksek Lisans Tezi)*. Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya
- Karabulut, I., Bilenler, T., Sislioglu, K., Gokbulut, I., Ozdemir, I.S., Seyhan, F., & Ozturk, K.** (2018). Chemical composition of apricots affected by fruit size and drying methods. *Drying Technology*, 36, 1937 - 1948.
- Karam, M.C., Petit, J., Zimmer, D., Djantou, E.B. & Scher, J.** (2016). Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review. *J. Food Eng.*, 188, 32–49

- Karim, A.A. & Wai, C.** (1999b). Foam-mat drying of starfruit (*Averrhoa carambola* L.) purée. Stability and air drying characteristics. *Food Chemistry*, 64, 337-343.
- Karim, A.A., & Wai, C.** (1999a). Characteristics of foam prepared from starfruit (*Averrhoa carambola* L.) puree by using methyl cellulose. *Food Hydrocolloids*, 13, 203-210.
- Kinsella, J. & Whitehead, D.** (1989). Proteins in whey: Chemical, physical, and functional properties. *Adv. Food Nutr. Res.* 33, 437–438.
- Koç, M. & Kaymak, E.F.** (2016). Şeker İçeriği Yüksek Gıdaların Püskürtülerek Kurutulması: Ürün Kazanımı ve Toz Ürün Özelliklerinin Geliştirilmesi. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 4, 336.
- Kudra, T. & Ratti, C.** (2006). Foam-mat drying: Energy and cost analyses. *Canadian Biosystems Engineering/Le genie des biosystemes au Canada* 48, 27 - 32.
- Kumar, P., & Mishra, H.N.** (2004). Yoghurt Powder—A Review of Process Technology, Storage and Utilization. *Food and Bioproducts Processing*, 82, 133-142.
- Lazidis, A., Parizotto, L.D., Spyropoulos, F., & Norton, I.T.** (2017). Microstructural design of aerated food systems by soft-solid materials. *Food Hydrocolloids*, 73, 110-119.
- Lewicki, P.** (2006). Design of hot air drying for better foods. *Trends in Food Science and Technology*, 17, 153-163.
- Liapis, A.I. & Bruttini, R.** (2020). *Freeze Drying. Handbook of Industrial Drying*. CRC Press
- Liu, Q., Li, J., Kong, B., Li, P., & Xia, X.** (2014). Physicochemical and antioxidant properties of Maillard reaction products formed by heating whey protein isolate and reducing sugars. *International Journal of Dairy Technology*, 67, 220-228.
- Manthey, F.A. & Xu, Y.** (2010). Glycobiology of Foods: Food Carbohydrates—Occurrence, Production, Food Uses, and Healthful Properties. In: Yildiz F (ed) *Advances in food biochemistry* (25–49). CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton.
- Mariod, A. A.** (2018). 6 - Chemical Properties of Gum Arabic. In A. A. Mariod (Ed.), *Gum Arabic* (pp. 67–73). Academic Press.
- Martínez, K.D., Sánchez, C.C., Patino, J.M., & Pilosof, A.M.** (2009). Interfacial and foaming properties of soy protein and their hydrolysates. *Food Hydrocolloids*, 23, 2149-2157.
- Mleko, S., Kristinsson, H. G., Liang, Y. & Gustaw, W.** (2007). Rheological properties of foams generated from egg albumin after pH treatment. *Food Sci. Technol.* 40, 908–909.
- Mounir, S.** (2018). Foam Mat Drying FMD.
- Nindo, C., & Tang, J.** (2007). Refractance Window Dehydration Technology: A Novel Contact Drying Method. *Drying Technology*, 25, 37 - 48.
- Pavan A. M.** (2010). *Effects of Freeze Drying, Refractance Window Drying and Hot-Air Drying on the Quality Parameters of Açai* (Doctoral dissertation). Retrieved from <https://www.ideals.illinois.edu/items/16048>

- Phan, A.D., Adiomo, O.Q., Akter, S., Netzel, M.E., Cozzolino, D., & Sultanbawa, Y.** (2021). Effects of drying methods and maltodextrin on vitamin C and quality of *Terminalia ferdinandiana* fruit powder, an emerging Australian functional food ingredient. *Journal of the science of food and agriculture*.
- Prasad, N., Thombare, N., Sharma, S., & Kumar, S.** (2022). Gum arabic – A versatile natural gum: A review on production, processing, properties and applications. *Industrial Crops and Products*.
- Qadri, O.S., Srivastava, A.K., & Yousuf, B.** (2019). Trends in foam mat drying of foods: Special emphasis on hybrid foam mat drying technology. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60, 1667 - 1676.
- Raharitsifa, N., Genovese, D.B., & Ratti, C.** (2006). Characterization of Apple Juice Foams for Foam-mat Drying Prepared with Egg White Protein and Methylcellulose. *Journal of Food Science*, 71, 142-151.
- Rajkumar, P. & Kailappan R.** (2006). Optimizing the process parameters for Foam Mat Drying of Totapuri Mango Pulp. *Madras Agric. J.*, 93,1-6, 86-98
- Rajkumar, P., Kailappan, R., Viswanathan, R. & Raghavan, G. S. V.** (2007). Drying characteristics of foamed Alphonso mango pulp in continuous type foam-mat dryer. *Journal of Food Engineering*, 79, 1452–1453
- Rao, O. G., Hariharan, T. & Feroz, S.** (2012). Processing of dates by dehydration and microwave drying. In: Production Manickavasagan, A., Essa, M. M. and Sukumar,E., Eds., *Processing, Food and Medical Values* (pp. 206 – 312). London: CRC Press, LLC.
- Rattanapitigorn, P., Ogawa, M., & Rattanapanone, N.** (2016). Effect of MethocelTM, Maltodextrin, Sodium Chloride, and pH on Foaming Properties and Foam-mat Drying of Aqueous Pandan (*Pandanus amaryllifolius*) Leaves Extract. *Chiang Mai University journal of natural sciences*, 5.
- Ratti, C.** (2001). Hot air and freeze-drying of high-value foods : a review. *Journal of Food Engineering*, 49, 311-319.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. & Rice-Evans, C.** (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic Biol Med*, 26, 1231–1237.
- Saifullah, M., Yusof, Y.A., Chin, N.L. & Aziz, M.G.** (2016). Physicochemical and flow properties of fruit powder and their effect on the dissolution of fast dissolving fruit powder tablets. *Powder Technology*, 301, 396-404.
- Sangamithra, A., Sivakumar, V.M., Kannan, K.T., & John, S.G.** (2015c). Foam-Mat Drying of Muskmelon. *International Journal of Food Engineering*, 11, 127 - 137.
- Sangamithra, A., Venkatachalam, S., John, S.G., Kuppuswamy, K.** (2015a). Foam Mat Drying of Food Materials: A Review. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39, 3165- 3174.
- Sangamithra, A., Venkatachalam, S., Swamy, G.J., Kuppusamy, K.** (2015b). Optimization of Foaming Properties Foam Mat Drying of Muskmelon Using Soy Protein. *Journal of Food Process Engineering*. 39, 692-701.

- Sankat, K. C. & Castaigne, F.** (2004). Foaming and drying behavior of ripe bananas. *J. Food Sci. Technol.* 37, 517–518.
- Shaari, N., Sulaiman, R., Rahman, R.B., & Bakar, J.** (2018). Production of pineapple fruit (*Ananas comosus*) powder using foam mat drying: Effect of whipping time and egg albumen concentration. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42.
- Singh, B.** (2018) *Optimization of Foam-Mat Drying Process for Peaches* The University of Guelph Canada
- Tayeb, A.M.** (1994). Solar-augmented foam-mat drying of fruits. *Renewable Energy*, 4, 283-289.
- Tze, N.L., Han, C.P., Yusof, Y.A., Ling, C.N., Talib, R.A., Taip, F.S., & Aziz, M.G.** (2012). Physicochemical and nutritional properties of spray-dried pitaya fruit powder as natural colorant. *Food Science and Biotechnology*, 21, 675-682.
- Varhan, E., Elmas, F. & Koç, M.** (2019). Foam mat drying of fig fruit: Optimization of foam composition and physicochemical properties of fig powder. *Journal of Food Process Engineering*.
- Vega, C., Goff, H.D., & Roos, Y.H.** (2006). Spray Drying of High-sucrose Dairy Emulsions: Feasibility and Physicochemical Properties. *Journal of Food Science*, 70, 41.
- Walsh, D.J., Russell, K., & Fitzgerald, R.J.** (2008). Stabilisation of sodium caseinate hydrolysate foams. *Food Research International*, 41, 43-52.
- Wilson, R.A., Kadam, D.M., Chadha, S., Grewal, M.K. & Sharma, M.** (2013). Evaluation of Physical and Chemical Properties of Foam-Mat Dried Mango (*Mangifera indica*) Powder during Storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38, 1866-1874.
- Xin, H. L. and Mujumdar, A. S.** (2009). Spray drying and its applications in food processing. In M. L. Passos, C. P. Ribeiro (Eds.), *New Techniques and Products Innovation in Food Engineering*, (p. 324–326). Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Xin, X., Essien, S.O., Dell, K., Woo, M.W., & Baroutian, S.** (2022). Effects of Spray-Drying and Freeze-Drying on Bioactive and Volatile Compounds of Smoke Powder Food Flavouring. *Food and Bioprocess Technology*, 15, 785 - 794.
- Zayas, J.F.** (1997). Foaming properties of proteins. In J.F. Zayas (Eds.), *Functionality of Proteins in Food* (pp. 260–309). Verlag Berlin Heidelberg: Springer.
- Zhang, W., Yang, X., Mujumdar, A., Ju, H., & Xiao, H.** (2021). The influence mechanism and control strategy of relative humidity on hot air drying of fruits and vegetables: a review. *Drying Technology*, 40, 2217 - 2234.
- Zhao, R., & Gao, T.** (2016). Research Progress of Hot Air Drying Technology for Fruits and Vegetables. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 10.
- Zhu, J., Qian, Z., Eid, M., Zhan, F., Ismail, M.A., Li, J., & Li, B.** (2021). Foaming and rheological properties of hydroxypropyl methylcellulose and welan gum composite system: The stabilizing mechanism. *Food Hydrocolloids*, 112, 106275.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad: Yüksel SARITEPE

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2003, Yüzüncüyıl Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek Lisans** : 2018, İnönü Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans
- **Doktora** : 2023, İnönü Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora

MESLEKİ DENEYİM:

- 2004-2006 Bingöl İl Tarım Müdürlüğü
- 2006-2009 Sivas Gıda Kontrol Laboratuvar Müdürlüğü
- 2009-.... Kayısı Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN ÇALIŞMALAR (Makaller, Bildiriler, Patentler v.b.)