

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SICAK HAVA-MİKRODALGA KOMBİNASYONU İLE
KURUTULAN BALKABAĞI VE TATLI PATATESİN
KURUMA KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE
YANIT YÜZEY YÖNTEMİYLE OPTİMİZASYONU

DOKTORA TEZİ

SENEM TÜFEKÇİ

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2024

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**SICAK HAVA-MİKRODALGA KOMBİNASYONU İLE
KURUTULAN BALKABAĞI VE TATLI PATATESİN
KURUMA KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE
YANIT YÜZEY YÖNTEMİYLE OPTİMİZASYONU**

DOKTORA TEZİ

SENEM TÜFEKÇİ

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2024

**Bu tez çalışması Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri
Koordinatörlüğü tarafından 2017FEBE043 nolu proje ile desteklenmiştir.**

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

Senem TÜFEKÇİ

ÖZET

**SICAK HAVA-MİKRODALGA KOMBİNASYONU İLE KURUTULAN
BALKABAĞI VE TATLI PATATESİN KURUMA
KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE YANIT YÜZEY
YÖNTEMİYLE OPTİMİZASYONU
DOKTORA TEZİ
SENEM TÜFEKÇİ
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. SAMİ GÖKHAN ÖZKAL)**

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2024

Bu tez çalışmasında sıcak hava, mikrodalga ve hibrit (sıcak hava-mikrodalga) kurutma yöntemlerinin balkabağı ve tatlı patates örnekleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Üç farklı kurutma sıcaklığı (50, 60 ve 70 °C) ve mikrodalga güç seviyesinin (90, 180 ve 360 W) solo ve kombine uygulamalarını içeren içeren 15 farklı kurutma koşulunda kurutulan örneklerin, kuruma hızı, nem içeriği değişimi, etkin difüzyon katsayısı, enerji tüketimi, rehidrasyon oranı, su tutma kapasitesi, renk değişimi, antioksidan aktivite, toplam fenolik madde içeriği, beta karoten içeriği gibi kurutma karakteristikleri ve kalite parametreleri incelenmiş, kuruma kinetiği için modelleme ve tüm kurutma prosesi için yanıt yüzey yöntemi ile optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Balkabağı ve tatlı patatesin kuruma kinetiğini en iyi açıklayan modeller Alibas, Midilli-Küçük ve Weibull modeller olmuştur.

Artan mikrodalga güçlerinde her iki örnek için de rehidrasyon oranı artarken, kurutma sıcaklığındaki artış ile balkabağının rehidrasyon oranı azalmış, tatlı patatesin rehidrasyon kapasitesi değişmemiştir. Solo kurutma yöntemlerinde mikrodalga gücü arttıkça su tutma kapasitesi düşerken, artan kurutma sıcaklığı ile yükselmektedir.

Balkabağı ve tatlı patates örnekleri için tüm kurutma yöntem ve koşullarında antioksidan aktivite değeri artarken, toplam fenolik madde ve beta karoten içeriği azalmıştır.

Balkabağının ve tatlı patatesin hibrit kurutulması işlemi için optimum kurutma sıcaklığı ve mikrodalga gücü sırasıyla 56,55 °C-148,52 W ve 62,43 °C-53,48 W olarak belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Hibrit kurutma, kinetik modelleme, yanıt yüzey yöntemi, optimizasyon, balkabağı, tatlı patates

ABSTRACT

DETERMINATION OF DRYING CHARACTERISTICS OF PUMPKIN AND SWEET POTATO DRIED WITH HOT AIR-MICROWAVE COMBINATION AND OPTIMIZATION BY RESPONSE SURFACE METHODOLOGY

Ph.D THESIS

SENEM TÜFEKÇİ

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
FOOD ENGINEERING
(SUPERVISOR: PROF. DR. SAMİ GÖKHAN ÖZKAL)

DENİZLİ, AUGUST 2024

In this thesis study, the effects of hot air, microwave and hybrid (hot air-microwave) drying methods on pumpkin and sweet potato samples were investigated. Drying characteristics and quality parameters such as drying rate, moisture content change, effective moisture diffusivity, energy consumption, rehydration rate, water holding capacity, color change, antioxidant activity, total phenolic content, beta carotene content of the samples dried under 15 different drying conditions including solo and combination of three different drying temperatures (50, 60 and 70 °C) and microwave power levels (90, 180 and 360 W) were investigated, and modeling for drying kinetics and optimization studies were carried out with response surface method for drying process.

The best models explaining the drying kinetics of pumpkin and sweet potato samples were; Alibas, Midilli-Küçük and Weibull model.

While the rehydration ratio increased for both samples with increasing microwave powers, the rehydration ratio of pumpkin decreased with imcreasing drying temperature, while the rehydration capacity of sweet potato remained unchanged. In solo drying methods, water holding capacity decreases as microwave power increases, while it increases with increasing drying temperature.

For pumpkin and sweet potato samples, antioxidant activity values increased under all drying methods and conditions, while total phenolic content and beta carotene content decreased.

The optimum drying temperature and microwave power for the hybrid drying process of pumpkin and sweet potato were determined as 56.55 °C-148.52 W and 62.43 °C-53.48 W, respectively.

KEYWORDS: Hybrid drying, kinetic modeling, response surface methodology, optimization, pumpkin, sweet potato

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖNSÖZ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÖZETİ.....	3
2.1 Balkabağı	3
2.2 Tatlı patates	5
2.3 Kurutmanın Temelleri	7
2.4 Hibrit Kurutma	10
2.5 Yanıt Yüzey Yöntemi.....	16
3. MATERYAL ve YÖNTEM	22
3.1 Materyal.....	22
3.2 Yöntem	23
3.2.1 Kurutma Yöntemi	23
3.2.2 Kurutma Performansının Belirlenmesi	25
3.2.2.1 Nem İçeriği ve Nem Oranının Hesaplanması	25
3.2.2.2 Kuruma Hızının Hesaplanması	25
3.2.2.3 Etkin Difüzyon Katsayısının Hesaplanması.....	25
3.2.2.4 Kurutma Kinetiğinin Matematiksel Modellenmesi.....	26
3.2.2.5 Enerji Tüketimi ve Verimliliği.....	28
3.2.3 Analizler.....	28
3.2.3.1 Rehidrasyon Oranı	28
3.2.3.2 Su Tutma Kapasitesi	29
3.2.3.3 Renk Analizi	29
3.2.3.4 Antioksidan Aktivite ve Toplam Fenolik Madde İçeriğinin Belirlenmesi	30
3.2.3.5 Beta karoten İçeriğinin Belirlenmesi	31
3.2.4 Kalite Parametrelerindeki Değişimlerin Hesaplanması	32
3.2.5 İstatistiksel Analiz.....	33
3.2.6 Yanıt Yüzey Yöntemi ile Optimizasyon.....	33
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	36
4.1 Sıcak Hava, Mikrodalga ve Sıcak Hava-Mikrodalga (Hibrit) Kurutma Yöntemlerinin Balkabağı Örnekleri Üzerine Etkisi	36
4.1.1 Kuruma Davranışı ve Karakteristikleri	36
4.1.2 Kuruma Kinetiğinin Modellenmesi	44
4.1.3 Etkin Difüzyon Katsayısı.....	50
4.1.4 Toplam Enerji Tüketimi.....	51
4.1.5 Rehidrasyon Oranı ve Su Tutma Kapasitesi	53
4.1.6 Renk Değişimi	56
4.1.7 Antioksidan Aktivite ve Toplam Fenolik Madde İçeriği Değişimi.....	61

4.1.8	Beta karoten İçeriği Değişimi	65
4.2	Balkabağının Hibrit Kurutulmasının Yanıt Yüzey Yöntemi ile Optimizasyonu.....	68
4.2.1	Toplam Kuruma Süresi	70
4.2.2	Toplam Enerji Tüketimi.....	72
4.2.3	Rehidrasyon oranı	74
4.2.4	Su tutma kapasitesi	76
4.2.5	Toplam renk değişimi	78
4.2.6	Antioksidan aktivite değişimi	80
4.2.7	Toplam fenolik madde içeriği değişimi	82
4.2.8	Beta karoten İçeriği Değişimi	84
4.2.9	Sayısal Optimizasyon	86
4.3	Sıcak Hava, Mikrodalga ve Sıcak Hava-Mikrodalga (Hibrit) Kurutma Yöntemlerinin Tatlı Patates Örnekleri Üzerine Etkisi	88
4.3.1	Kuruma Davranışı ve Karakteristikleri	88
4.3.2	Kuruma Kinetiğinin Modellenmesi	95
4.3.3	Etkin Difüzyon Katsayısı.....	102
4.3.4	Toplam Enerji Tüketimi.....	103
4.3.5	Rehidrasyon Oranı ve Su Tutma Kapasitesi	105
4.3.6	Renk Değişimi	107
4.3.7	Antioksidan Aktivite ve Toplam Fenolik Madde İçeriği Değişimi.....	111
4.3.8	Beta-karoten içeriği değişimi.....	113
4.4	Tatlı Patatesin Hibrit Kurutulmasının Yanıt Yüzey Yöntemi ile Optimizasyonu.....	116
4.4.1	Toplam Kuruma Süresi	118
4.4.2	Toplam Enerji Tüketimi.....	120
4.4.3	Rehidrasyon Oranı	122
4.4.4	Su Tutma Kapasitesi	124
4.4.5	Toplam Renk Değişimi	126
4.4.6	Antioksidan Aktivite Değişimi	128
4.4.7	Fenolik Madde İçeriği Değişimi	130
4.4.8	Beta-Karoten İçeriği Değişimi.....	132
4.4.9	Sayısal Optimizasyon	134
5.	SONUÇLAR.....	136
6.	KAYNAKLAR.....	140
7.	EKLER.....	161
8.	ÖZGEÇMİŞ.....	163

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Eş zamanlı ısı ve kütle transferi (Kumar ve ark. 2022).....	7
Şekil 2.2: Gıdaların kuruma eğrileri (Ertekin, 2006).....	8
Şekil 2.3: Gıda kurutma sistemleri (Qadri ve ark. 2020'den uyarlanmıştır.)	9
Şekil 2.4: Hibrit kurutma mekanizması (Fidan 2022)	11
Şekil 2.5: Yanıt yüzeyi grafiği örneği.....	16
Şekil 3.1: Taze balkabağı ve tatlı patates örnekleri	22
Şekil 3.2: Siemens marka HN678G4S1 model ankastre fırın	23
Şekil 4.1: Farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan balkabağı örneklerine ait kuruma eğrileri a) Nem oranının kuruma zamanı ile değişimi b) Kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi.....	37
Şekil 4.2: Sıcak hava ile kurutulan balkabağı örneklerine ait kuruma eğrileri a) Nem oranının kuruma zamanı ile değişimi b) Kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi.....	38
Şekil 4.3: 50 °C sıcak hava ve farklı mikrodalga güçlerinin kombinasyonu ile hibrit kurutulan balkabağı örneklerine ait kuruma eğrileri a) Nem oranının kuruma zamanı ile değişimi b) Kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi.....	39
Şekil 4.4: 60 °C sıcak hava ve farklı mikrodalga güçlerinin kombinasyonu ile hibrit kurutulan balkabağı örneklerine ait kuruma eğrileri a) Nem oranının kuruma zamanı ile değişimi b) Kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi.....	40
Şekil 4.5: 70 °C sıcak hava ve farklı mikrodalga güçlerinin kombinasyonu ile hibrit kurutulan balkabağı örneklerine ait kuruma eğrileri a) Nem oranının kuruma zamanı ile değişimi b) Kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi.....	41
Şekil 4.6: Balkabağı örneklerine ait toplam renk değişimi (ΔE^*) değerleri	60
Şekil 4.7: Balkabağı örneklerinin D_t yanıtına ait yüzey grafiği	72
Şekil 4.8: Balkabağı örneklerinin ET yanıtına ait yüzey grafiği	74
Şekil 4.9: Balkabağı örneklerinin RO yanıtına ait yüzey grafiği.....	76
Şekil 4.10: Balkabağı örneklerinin STK yanıtına ait yüzey grafiği.....	78
Şekil 4.11: Balkabağı örneklerinin ΔE^* yanıtına ait yüzey grafiği.....	80
Şekil 4.12: Balkabağı örneklerinin AA (%) yanıtına ait yüzey grafiği	82
Şekil 4.13: Balkabağı örneklerinin TFM (%) yanıtına ait yüzey grafiği.....	84
Şekil 4.14: Balkabağı örneklerinin BK (%) yanıtına ait yüzey grafiği.....	86
Şekil 4.15: Farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan tatlı patates örneklerine ait kuruma eğrileri a) Nem oranının kuruma zamanı ile değişimi b) Kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi	89
Şekil 4.16: Farklı sıcaklık derecelerinde hava ile kurutulan tatlı patates örneklerine ait kuruma eğrileri a) Nem oranının kuruma zamanı ile değişimi b) Kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi	90
Şekil 4.17: 50 °C sıcak hava ve farklı mikrodalga güçlerinin kombinasyonu ile hibrit kurutulan tatlı patates örneklerine ait kuruma eğrileri a) Nem oranının kuruma zamanı ile değişimi b) Kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi.....	91

Şekil 4.18: 60 °C sıcak hava ve farklı mikrodalga güçlerinin kombinasyonu ile hibrit kurutulan tatlı patates örneklerine ait kuruma eğrileri a) Nem oranının kuruma zamanı ile değişimi b) Kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi.....	92
Şekil 4.19: 70 °C sıcak hava ve farklı mikrodalga güçlerinin kombinasyonu ile hibrit kurutulan tatlı patates örneklerine ait kuruma eğrileri a) Nem oranının kuruma zamanı ile değişimi b) Kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi.....	93
Şekil 4.20: Tatlı patates örneklerinin toplam renk değişimi (ΔE^*) değerleri.....	110
Şekil 4.21: Tatlı patates örneklerinin toplam kuruma süresi yanıtına ait yüzey grafiği.....	120
Şekil 4.22: Tatlı patates örneklerinin ET yanıtına ait yüzey grafiği.....	122
Şekil 4.23: Tatlı patates örneklerinin RO yanıtına ait yüzey grafiği	124
Şekil 4.24: Tatlı patates örneklerinin STK yanıtına ait yüzey grafiği	126
Şekil 4.25: Tatlı patates örneklerinin ΔE^* yanıtına ait yüzey grafiği	128
Şekil 4.26: Tatlı patates örneklerinin AA (%) yanıtına ait yüzey grafiği.....	130
Şekil 4.27: Tatlı patates örneklerinin TFM (%) yanıtına ait yüzey grafiği	132
Şekil 4.28: Tatlı patates örneklerinin BK (%) yanıtına ait yüzey grafiği	134

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Balkabağının besin içeriği (Anonim 2022 ^b)	4
Tablo 2.2: Tatlı patates besin içeriği (Anonim 2022 ^c)	6
Tablo 2.3: Gıdaların sıcak hava-mikrodalga ile hibrit kurutulması üzerine yapılmış çalışmalar.....	13
Tablo 2.4: Gıdaların farklı kurutma yöntemleri ile kurutulmasının YYY ile optimizasyonu üzerine yapılmış çalışmalar	18
Tablo 3.1: Kurutma yöntem ve koşulları	24
Tablo 3.2: Deneysel verilere uygunluğu araştırılan ince tabaka kurutma modelleri	27
Tablo 3.3: HPLC cihazı ve uygulanan kromatografik koşullar	32
Tablo 3.4: Bağımsız değişkenler.....	33
Tablo 4.1: Balkabağı örneklerinin 0,1 g su/g kuru madde nem içeriğine ulaşma süreleri	43
Tablo 4.2: Farklı kurutma yöntemleri ve koşullarında kurutulan balkabağı örnekleri için model katsayıları, sabitleri ve istatistiksel parametreler.....	45
Tablo 4.3: Farklı kurutma yöntemleri ve koşullarında kurutulan balkabağı örneklerinin etkin difüzyon katsayısı ve toplam enerji tüketimi değerleri.....	51
Tablo 4.4: Farklı kurutma yöntemleri ve koşullarında kurutulan balkabağı örneklerine ait rehidrasyon oranı ve su tutma kapasitesi değerleri.....	54
Tablo 4.5: Tablo 4.5 Taze ve kuru balkabağı örneklerine ait L^* , a^* , b^* değerleri ve yüzde değişimleri	57
Tablo 4.6: Balkabağı örneklerine ait antioksidan aktivite ve toplam fenolik madde içeriği değerlerinin farklı kurutma yöntemleri ve koşullarına bağlı değişimi	62
Tablo 4.7: Balkabağı örneklerine ait beta karoten içeriği değerlerinin farklı kurutma yöntemleri ve koşullarına bağlı olarak değişimi.....	65
Tablo 4.8: FCCD Deney deseni ve tatlı patatesin hibrid kurutulması sonucunda yanıtlar için elde edilen deneysel ve tahmini değerler.....	69
Tablo 4.9: Balkabağı örneklerinin D_t yanıtı için model seçimi	70
Tablo 4.10: Balkabağı örneklerinin D_t yanıtı için kuadratik model analizi	70
Tablo 4.11: 4Balkabağı örneklerinin ET yanıtı için model seçimi	72
Tablo 4.12: Balkabağı örneklerinin ET yanıtı için kuadratik model analizi	73
Tablo 4.13: Balkabağı örneklerinin RO yanıtı için model seçimi	74
Tablo 4.14: Balkabağı örneklerinin RO yanıtı için kuadratik model analizi	75
Tablo 4.15: Balkabağı örneklerinin STK yanıtı için model seçimi.....	77
Tablo 4.16: Balkabağı örneklerinin kurutulmasında STK yanıtı için kuadratik model analizi	77
Tablo 4.17: Balkabağı örneklerinin ΔE^* yanıtı için model seçimi.....	78
Tablo 4.18: Balkabağı örneklerinin ΔE^* yanıtı için lineer model analizi	79
Tablo 4.19: Balkabağı örneklerinin AA (%) yanıtı için model seçimi	80

Tablo 4.20: Balkabağı örneklerinin AA (%) yanıtı için kuadratik model analizi	81
Tablo 4.21: Balkabağı örneklerinin TFM (%) yanıtı için model seçimi	82
Tablo 4.22: Balkabağı örneklerinin TFM (%) yanıtı için kuadratik model analizi	83
Tablo 4.23: Balkabağı örneklerinin BK (%) yanıtı için model seçimi.....	84
Tablo 4.24: Balkabağı örneklerinin BK (%) yanıtı için model analizi	85
Tablo 4.25: Balkabağının hibrit kurutulması için yanıt yüzey yöntemi ile belirlenen optimum koşul ve bu koşulda yanıtların alacağı tahmini değerler	87
Tablo 4.26: Tatlı patates örneklerinin 0,1 g su/g kuru madde nem içeriğine ulaşma süreleri	95
Tablo 4.27: Farklı kurutma yöntemleri ve koşullarında kurutulan tatlı patates örnekleri için model katsayıları, sabitleri ve istatistiksel parametreler.....	96
Tablo 4.28: Farklı kurutma yöntemleri ve koşullarında kurutulan tatlı patates örneklerinin etkin difüzyon katsayısı ve toplam enerji tüketimi değerleri.....	103
Tablo 4.29: Farklı kurutma yöntemleri ve koşullarında kurutulan tatlı patates örneklerine ait rehidrasyon oranı ve su tutma kapasitesi değerleri.....	105
Tablo 4.30: Taze ve kuru tatlı patates örneklerine ait L^* , a^* , b^* değerleri ve yüzde değişimleri	108
Tablo 4.31: Tatlı patates örneklerine ait antioksidan aktivite ve toplam fenolik madde içeriği değerlerinin	112
Tablo 4.32: Tatlı patates örneklerine ait β -Karoten içeriği değerlerinin farklı kurutma yöntemleri ve koşullarına bağlı olarak değişimi.....	114
Tablo 4.33: FCCD Deney deseni ve tatlı patatesin hibrid kurutulması sonucunda yanıtlar için elde edilen deneysel ve tahmini değerler.....	117
Tablo 4.34: Tatlı patates örneklerinin D_t yanıtı için model seçimi	118
Tablo 4.35: Tatlı patates örneklerinin D_t yanıtı için kuadratik model analizi	118
Tablo 4.36: Tatlı patates örneklerinin ET yanıtı için model seçimi.....	121
Tablo 4.37: Tatlı patates örneklerinin ET yanıtı için kuadratik model analizi	121
Tablo 4.38: Tatlı patates örneklerinin RO yanıtı için model seçimi	123
Tablo 4.39: Tatlı patates örneklerinin RA yanıtı için kuadratik model analizi	123
Tablo 4.40: Tatlı patates örneklerinin STK yanıtı için model seçimi	125
Tablo 4.41: Tatlı patates örneklerinin STK yanıtı için kuadratik model analizi	125
Tablo 4.42: Tatlı patates örneklerinin ΔE^* yanıtı için model seçimi	127
Tablo 4.43: Tatlı patates örneklerinin ΔE^* yanıtı için kuadratik model analizi	127
Tablo 4.44: Tatlı patates örneklerinin AA (%) yanıtı için model seçimi.....	129
Tablo 4.45: Tatlı patates örneklerinin AA (%) yanıtı için kuadratik model analizi	129
Tablo 4.46: Tatlı patates örneklerinin TFM (%) yanıtı için model seçimi	131

Tablo 4.47: Tatlı patates örneklerinin TFM (%) yanıtı için kuadratik model analizi	131
Tablo 4.48: Tatlı patates örneklerinin BK (%) yanıtı için model seçimi	133
Tablo 4.49: Tatlı patates örneklerinin BK (%) için kuadratik model analizi ..	133
Tablo 4.50: Tatlı patatesin hibrit kurutulması için yanıt yüzey yöntemi ile belirlenen optimum koşul ve bu koşulda yanıtların alacağı tahmini değerler	135



SEMBOL LİSTESİ

a*	:	Kırmızılık değeri
AA	:	Antioksidan aktivite
b*	:	Sarılık değeri
BBD	:	Box Behnken tasarım
BK	:	Beta karoten
CCD	:	Merkezi birleşik tasarım
FCCCD	:	Yüzey merkezli merkezi birleşik tasarım
g	:	Gram
GAE	:	Gallik asit eşdeğeri
HPLC	:	Yüksek basınçlı sıvı kromatografisi
KH	:	Kuruma hızı
KM	:	Kuru madde
L*	:	Parlaklık değeri
M_t	:	Nem içeriği
MR	:	Nem oranı
MW	:	Mikrodalga gücü
RO	:	Rehidrasyon oranı
STK	:	Su tutma kapasitesi
T	:	Kurutma sıcaklığı
TFM	:	Toplam fenolik madde içeriği
TE	:	Troloks eş değeri
ΔE*	:	Toplam renk değişimi
W	:	Watt
YYY	:	Yanıt yüzey yöntemi

ÖNSÖZ

Doktora çalışmam sırasında bilgi ve tecrübeleriyle katkıda bulunan saygıdeğer hocam Prof. Dr. Sami Gökhan ÖZKAL'a; tez izleme komitesi üyeleri değerli hocalarım Prof. Dr. Sebahattin NAS ve Prof. Dr. Hakan KARACA'ya, laboratuvar çalışmam süresince hiçbir yardımdan kaçınmayan arkadaşlarım Dr. Öğr. Üyesi Ezgi ÖZGÖREN ÇAPRAZ, Arş. Gör. Dr. Özlem ZAMBAK ve Arş. Gör. Ufuk Gökçe AYRANCI'ya, maddi manevi desteklerini esirgemeyen aileme, varlığıyla hayatıma neşe katan Zeynep Ada'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Senem TÜFEKÇİ



Anneme...

1. GİRİŞ

Kurutma en eski ve yaygın gıda muhafaza yöntemlerinden biridir (Gu ve diğ. 2022). Bu yöntem esas olarak gıdanın yapısında bulunan suyun uzaklaştırılıp su aktivitesini düşürerek gıdada oluşabilecek mikrobiyolojik ve enzimatik bozulma reaksiyonlarının yavaşlatılması veya tamamen durdurulması prensibine dayanır (Altay, 2022). Tarım ürünlerinin kurutulmasında en yaygın ve geleneksel yöntem olan sıcak hava ile kurutmada, uzun süreler boyunca sıcak havaya maruziyet nedeniyle son ürünün besin içeriği ve duyu kalitesinde kayıplar meydana gelmektedir (Hasan ve diğ. 2019).

Günlük diyet içerisinde besin değeri ve fonksiyonel özellikleri ile önemli yer tutan meyve ve sebzelerin kurutulmasında, pazarda artan yüksek kalitede kurutulmuş ürün talebine cevap verebilmek için yeni kurutma yöntemlerinin kullanımı günümüz gıda teknolojisinin popüler araştırma konularından biri olmuştur. (Kamali ve ark., 2021; Dehghannya ve ark., 2019). Mikrodalga enerjisinin tek başına ve farklı enerjiler ile kombine edildiği kurutma yöntemleri üzerinde çalışmalar giderek artmaktadır (Taghinezhad ve diğ. 2020).

Mikrodalga, dielektrik malzemelere nüfuz etme ve ısı enerjisi üretme kapasitesine sahiptir (Zhang ve diğ. 2019). Üretilen iç ısı, üründe buhar basıncı oluşturur ve nem malzemenin yüzeyine doğru sürülür, bu sayede kuruma süreci hızlanır (Chou ve Chua, 2001). Mikrodalga kurutma yöntemi, yüksek kurutma hızları, yüksek ürün kalitesi ve enerji verimliliği ve yerden tasarruf sağlama gibi avantajlara sahiptir (Kumar ve diğ. 2014).

Günümüzde önemli bir araştırma alanı haline gelen hibrit kurutma teknikleri ile farklı kurutma yöntemlerinin güçlü ve zayıf yönlerini kullanılarak kurutma işlemi son ürün kalitesini arttıracak şekilde optimize edilebilmektedir (Yuan ve diğ. 2016, Shi ve diğ. 2014). Hibrit (mikrodalga-sıcak hava) kurutma işleminde, ürünün iç kısmındaki nem, mikrodalga gücü ile yüzeye doğru hareket etmeye zorlanır ve burada hibrit kurutucuda dolaşan sıcak hava tarafından uzaklaştırılır (Gowen ve diğ. 2006). Hibrit kurutma ile düşük enerji tüketimiyle kısa sürede yüksek kalitede kurutulmuş

ürünler üretilebilmektedir. Bu kombine yöntem, malzemenin hem içinin hem de dışının ısıtılmasını sağlar, bu da ısı ve kütle transferi katsayılarını artırır (Dehghannya ve diğ. 2018).

Gıda kurutma proseslerinin optimizasyonunun temel amacı, ek maliyet ve zaman olmadan sistem verimliliği ve kurutulmuş ürün kalitesi için en iyi koşulları elde etmektir (Yolmeh ve Jafari 2017, Amaripour ve diğ. 2015). Gıda proseslerinin geliştirilmesi, iyileştirilmesi ve optimizasyonu için yanıt yüzeyi yöntemi (YYY), bir dizi matematiksel ve istatistiksel yaklaşımı temsil eden pratik bir araçtır (Šumić ve diğ. 2016^a, Omolola ve diğ. 2015). YYY, regresyon denklemleri oluşturarak bağımsız değişkenler ve bağımlı değişkenler arasındaki etkileşimleri analiz eder (Bello ve diğ. 2023).

Balkabağı ve tatlı patatesin hibrit (mikrodalga-sıcak hava) kurutulması işleminin optimizasyonunu literatürde sınırlı şekilde araştırılmış ve ürünlerin etkin difüzyon katsayısı, aktivasyon enerjisi ve kurutma verimliliği gibi kurutma özelliklerine odaklanılmıştır. Bu çalışma ek olarak hibrit sistemin enerji tüketimi, rehidrasyon özellikleri ve biyoaktif bileşikler üzerindeki etkilerini araştırırken; bu eksende bir yenilik ve literatüre katkı olarak proses optimizasyonunu da gerçekleştirmektedir.

Bu tez çalışmasında sıcak hava, mikrodalga, hibrit (sıcak hava-mikrodalga) kurutma yöntemlerinin ve dolayısıyla kurutma sıcaklığı ve mikrodalga gücünün balkabağı ve tatlı patates örneklerinin kuruma performansı, enerji tüketimi, rehidrasyon oranı, su tutma kapasitesi, toplam renk değişimi, antioksidan aktivite, toplam fenolik madde içeriği ve beta karoten içeriği üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Balkabağı ve tatlı patatesin sıcak hava, mikrodalga ve hibrit kurutulmasının kinetik modellemesi ve hibrit kurutmada kullanılan işlem parametrelerinin yanıt yüzey yöntemi ile optimizasyonu gerçekleştirilerek; literatüre hibrit kurutma yönteminin endüstriyel olarak uygulamasını yaygınlaştıracak bilgi ve veri sunulması amaçlanmıştır.

2. KURAMSAL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÖZETİ

2.1 Balkabağı

Balkabağı, Cucurbitaceae (Kabakgiller) familyasına dahil olan Cucurbita cinsine ait bir meyvedir (Hosen 2021). Balkabağı botanik olarak meyve olmasına rağmen, mutfak kültüründe sebze veya meyvesi için yetiştirilen sebze olarak kabul görmektedir (Guine 2011, Anonim 2022^a). Balkabağı geniş bir tür çeşitliliğine sahiptir ve bu türlerden *Cucurbita pepo*, *Cucurbita maxima* ve *Cucurbita moschata*, yaygın ekimleri ve yüksek verimlilikleri nedeniyle ekonomik açıdan önemli türler olarak kabul edilir (Ropelweska ve diğ. 2022). İklim çeşitliliğine bağlı olarak balkabağı türlerinin çoğunun yetiştirilmesinin sonucu olarak ülkemiz balkabağı için ikincil gen merkezi konumunu almıştır (Kılıç 2022). Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2022 yılı verilerine göre Türkiye’de balkabağı üretimi 92.968 ton olarak gerçekleşmiştir (Anonim 2022^a).

Bu tez çalışmasında materyal olarak kullanılan kestane kabağı olarak da adlandırılan ve ülkemizde yetiştirmekte olan kışlık kabakların büyük bölümünü oluşturan *Cucurbita maxima* türü kabaklar genellikle dilimli formda olup kabuğu krem-açık yeşil (çağla yeşili), meyve eti turuncu renge sahip, küre şeklinde meyvelerdir (Aslan ve diğ. 2019).

Balkabağı (*Cucurbita maxima*), karotenoidler, antioksidanlar, fenolikler, vitaminler, polisakkaritler, mineraller, diyet lifi ve diğer sağlığa yararlı biyoaktif bileşenler açısından iyi bir kaynak olarak bilinen tarım ürünüdür. Balkabağının (*Cucurbita maxima*) besin değeri ve bileşimi Tablo 2.1’de verilmiştir (Anonim 2022^b).

Tablo 2.1: Balkabağının besin içeriği (Anonim 2022^b)

Bileşen	Birim	Ortalama	En düşük	En yüksek
Enerji	Kcal	32	13	40
	kJ	135	55	168
Su	g	90,43	88,32	95,32
Kül	g	0,94	0,75	1,11
Protein	g	0,84	0,34	1,29
Azot	g	0,13	0,06	0,21
Yağ	g	0,20	0,16	0,29
Karbonhidratlar	g	5,97	1,53	8,12
Lif, toplam diyet	g	1,62	1,23	2,17
Lif, suda çözünür	g	0,36	0,14	0,64
Lif, suda çözünmeyen	g	1,26	1,08	1,62
Sakaroza	g	0,97	0,00	2,69
Glukoz	g	1,22	0,38	1,97
Fruktoz	g	1,07	0,37	1,93
Mineraller				
Tuz	mg	3	0	5
Demir, Fe	mg	0,19	0,13	0,28
Fosfor, P	mg	15	9	26
Kalsiyon, Ca	mg	15	10	26
Magnezyum, Mg	mg	11	3	17
Potasyum, K	mg	255	189	374
Sodyum, Na	mg	1	0	2
Çinko, Zn	mg	0,11	0,07	0,16
Vitaminler ve diğer bileşenler				
C vitamini	mg	18,1	11,9	24,5
L-askorbik asit	mg	14,6	1,0	24,5
Tiamin	mg	0,042	0,026	0,058
Riboflavin	mg	0,044	0,016	0,066
Niasin	mg	0,903	0,801	1,081
B6 vitamini	mg	0,173	0,056	0,258
Folat	µg	10	8	12
A vitamini	RE	338	208	435
Beta-karoten	µg	4055	2500	5220
Likopen	µg	82	0	280
Lutein	µg	158	31	364
K1 vitamini	µg	4,4	1,8	7,0

2.2 Tatlı patates

Tatlı Patates, Ipomoea cinsine dahil olan Convolvulaceae ailesinin bir üyesidir (Cao ve diğ. 2017). Yaygın ekimi, yüksek verimliliği ve kuraklığa karşı dayanıklı olması nedeniyle tatlı patates; mısır, buğday, pirinç ve patatesten sonra en yaygın yetiştirilen beşinci tarım ürünüdür (Gao ve diğ. 2019, Kim ve diğ. 2019).

Yaprak, saplar ve kökler (yumru) tatlı patatesin yenilebilir kısımlarıdır ancak sebzenin yumru dışındaki kısımları dünyanın çok küçük bir bölgesinde yeşillik olarak tüketilmektedir (Alam ve diğ. 2020). Tatlı patates yumrusunun rengi beyaz, krem, sarı, turuncudan mor renge kadar geniş bir skalada değişmektedir (Makori ve diğ. 2020). Yumru rengine bağlı olarak tatlı patates antosiyaninler, beta karoten, diyet lifi, fenoller, vitamin ve mineraller gibi çeşitli biyoaktif bileşenleri yüksek konsantrasyonlarda içermektedir (Truong ve diğ. 2021). Tatlı patatesin besin içeriği Tablo 2.2’de sunulmuştur (Anonim 2022^c).

Literatürdeki pek çok çalışma tatlı patatesin antioksidan, antienflamatuvar, antikanser/antitümör, antimikrobiyal, antiülser ve immünomodülatör özellikleri yoluyla genellikle kronik hastalıkların önlenmesinde ve tedavisinde faydalı olabileceği bildirilmiştir (Alam 2021, Ayeleso ve diğ. 2016).

Yaygın olarak üretilen ancak yeterince kullanılmayan tatlı patatesin hasat sonrası farklı tekniklerle işlenmesi gıda kıtlığı ile mücadelede odaklanması gereken konulardan biridir. Tatlı patatesin kurutularak farklı ürünlere işlenmesi bu noktada en uygulanabilir metottur (Wang ve diğ. 2016). Kurutulmuş tatlı patates direkt atıştırmalık ve cips (Monterio ve diğ. 2020) olarak tüketilebildiği gibi; öğütülerek un haline de getirilebilmekte ve ekmek (Oluniyo ve diğ. 2021), bisküvi (Onabanjo ve diğ. 2014), kek (Azzahra ve diğ. 2019), makarna (Marengi ve diğ. 2018) ve erişte (Salama ve diğ. 2021) üretiminde kullanılabilmektedir. Tatlı patatesin ülkemizde yetiştiriciliği ağırlıklı olarak Hatay ilinde olmak üzere dar bir alanda yapılmasına rağmen son yıllarda üretimi giderek artmaktadır. TÜİK verilerine göre 2020, 2021 ve 2022 yıllarında sırasıyla; 238, 674 ve 1269 ton üretim gerçekleşmiştir (Anonim 2022^a)

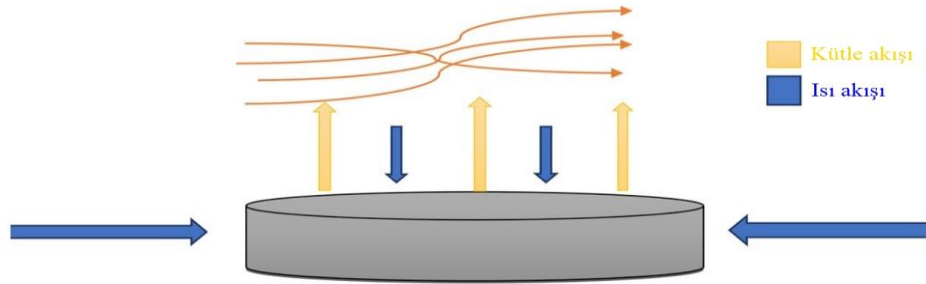
Tablo 2.2: Tatlı patates besin içeriği (Anonim 2022^c)

Bileşen	Birim	Ortalama	En düşük	En yüksek
Enerji	Kcal	79		
Su	g	79,4	77,7	81,4
Kül	g	1,04	0,88	1,73
Protein	g	1,5	0,81	2,44
Azot	g	0,24	0,13	0,39
Yağ	g	0,44	0,11	0,51
Karbonhidratlar	g	17,3		
Lif, toplam diyet	g	4,56	3,18	5,24
Lif, suda çözünür	g	0,16	0	0,65
Lif, suda çözünmeyen	g	4,32	3,18	5,24
Sakaroz	g	2,7	0,41	7,17
Glukoz	g	0,72	0,34	2,15
Fruktoz	g	0,92	0,29	1,87
Maltoz	g	1,18	0	2,62
Mineraller				
Bakır, Cu	mg	0,186	0,127	0,237
Demir, Fe	mg	0,4	0,34	0,44
Fosfor, P	mg	35	28	49
Kalsiyon, Ca	mg	22	13	36
Magnezyum, Mg	mg	19,7	13,7	26,1
Potasyum, K	mg	502	374	521
Sodyum, Na	mg	<2,5		
Çinko, Zn	mg	0,3	0,23	0,56
Manganez, Mn	mg	0,33	0,159	0,702
Vitamin ve diğer bileşenler				
C vitamini, toplam askorbik asit	mg	14,6	13	17,5
Tiamin	mg	0,045	0,04	0,05
Niasin	mg	0,903	0,801	1,081
B6 vitamini	mg	0,124	0,089	0,148
K1 vitamini	µg	0,2	0	0,5

2.3 Kurutmanın Temelleri

Gıdaların kurutularak daha uzun süre dayanmasını sağlamak insanlar tarafından ilk çağlardan beri uygulanmakta olan ve doğadan öğrenilmiş en eski gıda muhafaza yöntemlerinden biridir (Cemeroğlu, 2009). Kurutma işleminin temel amacı, gıdadaki suyun uzaklaştırılması ve bu sayede gıdalarda bozulma etmeni olan mikroorganizmaların gelişimini ve arzu edilmeyen değişimlere neden olabilecek enzimlerin aktivitesini sınırlandırmaktır (Çınar 2006).

Gıdaların kurutulması sırasında eş zamanlı olarak gerçekleşen ısı ve kütle transferi; kullanılan kurutma yöntemine bağlı olarak değişse de genellikle temel ısı transferi mekanizmaları olan kondüksiyon (ısıl iletim), konveksiyon (ısıl taşıma) ve radyasyon (ısıl ışıma) bir arada gerçekleşir (Şekil 2.1) (Sangamithra ve ark., 2015).

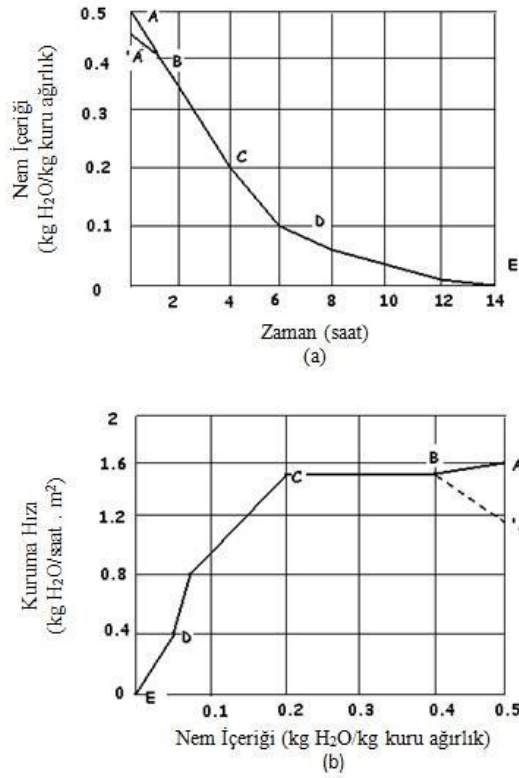


Şekil 2.1: Eş zamanlı ısı ve kütle transferi (Kumar ve ark. 2022).

Farklı koşullarda kurutulan gıdaların kuruma eğrileri farklılaşmakla birlikte genel olarak gıdaların kurutulması iki temel aşamada gerçekleşmektedir. Bunlardan ilki gıdadaki suyun büyük bir bölümünün uzaklaştırıldığı ve kurumanın yüksek hızla gerçekleştiği sabit hızda kuruma periyodu, ikincisi ise su içeriğindeki azalmaya bağlı olarak kuruma hızın yavaşladığı ve daha az miktarda suyun uzaklaştırıldığı daha uzun sürede gerçekleşen azalan hızda kuruma periyodudur (Şekil 2.2) (Geankoplis, 2003).

A veya 'A noktaları kurutma başlangıcındaki ürünün nemini göstermektedir. Ürün yüzey sıcaklığının denge sıcaklığına ulaştığı B noktası sabit hızda kuruma periyodunun başlangıç noktasıdır. AB arasındaki bölge çok kısa süren bir kararsız hal periyodudur. BC arasındaki bölümde yani sabit hızda kuruma periyodunda, gıdanın yüzeyi ıslaktır ve kuruma yüzeyinde suyun ortama transferinin gerçekleşmesi için bir

film tabaka oluşmuştur. Gıdada serbest halde bulunan su, bu film tabakası sayesinde gıdanın yüzeyinden havaya transfer edilir. Bu periyotta buharlaşma hızı, serbest halde bulunan suyun, buharlaşma hızı ile aynıdır. Gıda maddesi gözenekli bir yapıda ise, sabit hız periyodunda uzaklaştırılan suyun büyük bölümü gıda matrisinin iç bölümlerinde bulunan sudur. Sabit hızda kuruma periyodu, gıdanın iç kısımlarındaki suyun, buharlaşma ile aynı hızda yüzeye doğru geldiği sürece devam eder (Ertekin 2006).

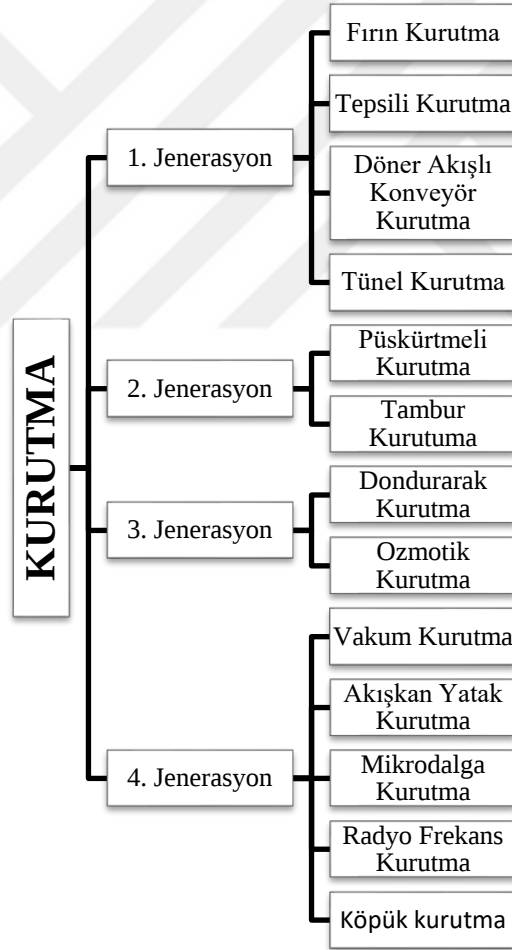


Şekil 2.2: Gıdaların kuruma eğrileri (Ertekin, 2006).

Kritik nem içeriği yani C noktasından itibaren gıdanın yüzeyi kuru durumdadır ve yüzeydeki film tabaka ortadan kalkmıştır ve kuruma hızı azalmaktadır. Azalan hızda kuruma periyodunun ilk evresi CD bölümüdür, D noktasında ise gıdanın yüzeyi artık tamamen kurudur ve bu noktadan denge nem içeriği yakalanana kadar geçen süre azalan hızda kuruma periyodunun ikinci kısmını oluşturur (Geankoplis, 2003). Azalan hızda kuruma periyodunda kütle transferi; sıvı difüzyonu teorisi ve kılcal hareket olmak üzere iki temel mekanizma ile açıklanmaktadır. Sıvı difüzyon teorisine göre, gıdanın yüzeyi ile iç kısımları arasındaki konsantrasyon farkına göre sıvı hareketi gerçekleşir ve bu durum daha çok tek fazlı ve gözeneksiz gıdalarda görülür. Kılcal

hareket ise tam tersi gözenekli ve taneli gıdalarda serbest ve yarı bağlı suyun kılcal borulara doğru hareket etmesi şeklinde gerçekleşir. Bunlara ek olarak gıdalardaki suyun hareketi, kısmi buhar basıncı farklılıklarına bağlı gerçekleşen buhar transferi, yüksek sıcaklık veya dış basıncından kaynaklı viskoz akış gibi mekanizmalarla da gerçekleşmektedir (Özel, 2010).

Gıdaların kurutulmasında en eski yöntem olarak kabul edilen güneşte kurutmanın yanı sıra kurutma kabinleri, tepsili ve tünel kurutucular, püskürtmeli kurutma, tambur kurutma, dondurarak kurutma, vakum kurutma, akışkan yatak kurutma, mikrodalga kurutma, radyo frekans kurutma ve köpük kurutma gibi birçok farklı yöntem ve ekipmanın gıdaların kurutma işleminde zaman içinde kullanıldığı görülmektedir (Şekil 2.3) (Qadri ve ark. 2020).



Şekil 2.3: Gıda kurutma sistemleri (Qadri ve ark. 2020’den uyarlanmıştır.)

Gıda endüstrisinde kullanılan sistemler zaman içinde geniş bir çeşitlilik kazanmıştır ve ileride beşinci jenerasyon olarak da tanımlanabileceği düşünülen bu tez çalışmasında da kullanılan hibrit kurutma sistemleri üzerine araştırmalar son yıllarda artış göstermiştir.

2.4 Hibrit Kurutma

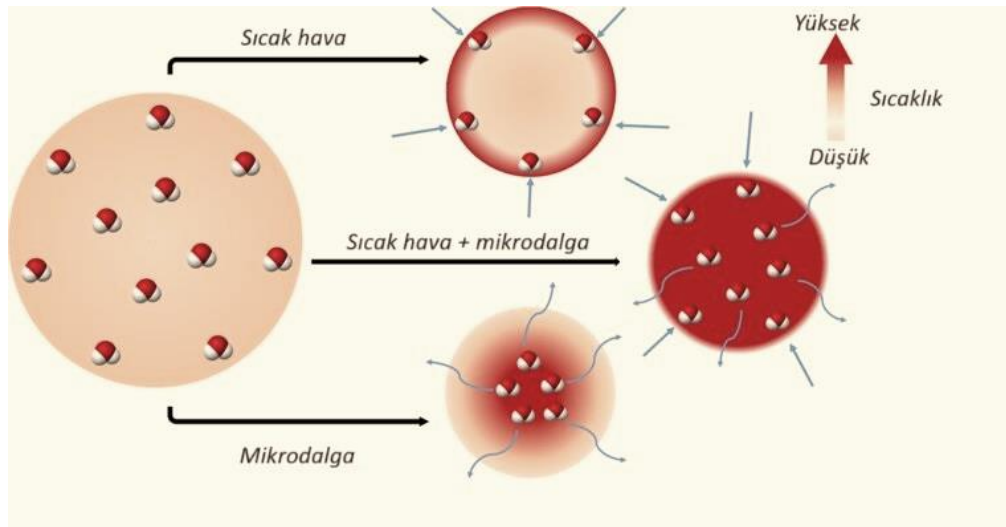
Hibrit kurutma yöntemleri, tek başına kullanılan kurutma yöntemlerinin neden olduğu olumsuz sonuçlarını ortadan kaldırmak ve uygun yöntemlerin kombinasyonu ile daha iyi kalitede ürünleri daha düşük enerji sarfiyatıyla elde etmek amacıyla kullanılmaktadır. Sıcak hava-mikrodalga, dondurarak-vakum kurutma, vakum-mikrodalga gibi farklı yöntemlerin kombinasyonundan oluşan hibrit kurutma yöntemlerinin kullanımı son yıllarda artmaktadır. Sıcak hava-mikrodalga hibrit kurutma yöntemi ile kurutma süresindeki azalmaya bağlı olarak enerji tüketiminin düştüğü bunun yanında besin içeriği, görüntü ve tat açısından daha kaliteli ürünler elde edildiği literatürdeki çalışmalarda bildirilmiştir (Tüfekçi ve Özkal, 2023, Adeleye ve ark. 2020).

Mikrodalgalar, dalga boyları 0,01 ile 1 m ve frekansları 0,3 ila 300 GHz arasında olan elektromanyetik spektrumda kızılötesi ve radyo dalgası bölgeleri arasında yer alan elektromanyetik bir enerji türüdür. Kullanım alanlarına göre mikrodalga; ev tipi mikrodalga fırınlar (2.45 GHz frekans) ve endüstriyel tip fırınlar (2.45 GHz veya 915 MHz frekans) olmak üzere iki kategoride incelenmektedir (Akyüz 2023, Gedik 2023). Mikrodalga, dielektrik malzemelere nüfuz etme ve ısı enerjisi üretme kapasitesine sahiptir (Zhang ve diğ. 2019).

Mikrodalga enerjisi tek başına uygulandığında üretilen iç ısı, üründe buhar basıncı oluşturur ve nem malzemenin yüzeyine doğru sürülür, bu sayede kuruma süreci hızlanır (Chou ve Chua, 2001). Mikrodalga kurutma yöntemi, yüksek kurutma hızları, yüksek ürün kalitesi ve enerji verimliliği gibi avantajlara sahiptir (Kumar ve diğ. 2014). Ancak mikrodalga kurutmanın, üründe homojen olmayan ısınma, olası doku zararı ve mikrodalga radyasyonunun ürüne sınırlı nüfuz etmesi gibi bazı önemli dezavantajları vardır. Bu dezavantajların üstesinden mikrodalga enerjisini zorlanmış sıcak hava ile birleştirerek gelmek mümkündür (Chandrasekaran ve diğ., 2013).

Mikrodalga destekli sıcak hava kurutma temel olarak dört farklı şekilde uygulanmaktadır. Bunlardan ilki kurutmanın başında mikrodalga enerjisi kullanılarak ürün içindeki nemin yüzeye doğru hareket etmesine olanak sağlayacak şekilde ürünün hızla ısıtılması ve ürüne gözenekli bir yapı kazandırarak kurumanın sıcak hava uygulanarak devam edecek aşamalarında yüksek kuruma hızı sağlanması şeklindedir. İkinci teknikte ise kuruma hızı yavaşladığında yani azalan hızda kuruma periyoduna geçildiğinde mikrodalga uygulaması yaparak, ürünün nemli kalan iç kısmından suyun yüzeye hareketi hızlandırılır. Bu teknikte hava akışındaki değişikliğe bağlı olarak nem konsantrasyon gradyanı azalır ve kuruma kolaylaşır. Üçüncü yöntem de ise ürünün içindeki suyu uzaklaştırmak ve büzüşmenin önüne geçmek için mikrodalga enerjisinden kurumanın son aşamasında faydalanılır (Tepe 2023, Horuz 2018).

Son yöntemde ise bu tez çalışmasında olduğu gibi mikrodalga ve sıcak hava eş zamanlı olarak uygulanmaktadır. Bu yöntem ürünün hem iç hem de dış kısmından ısıtılması sağlanarak, ısı ve kütle transferi atar. Ayrıca eş zamanlı uygulama sürecinde ürünün iç kısmındaki nem mikrodalga gücünün etkisiyle yüzeye doğru hareket etmeye zorlanır ve ürün yüzeyindeki buhar sıcak hava tarafından uzaklaştırılır (Dehghannya ve diğ. 2018, Gowen ve diğ. 2006) (Şekil 2.4).



Şekil 2.4: Hibrit kurutma mekanizması (Fidan 2022)

Tablo 2.3'te sıcak hava ve mikrodalga gücünün kombine edilerek gıdaların hibrit kurutulması üzerine yapılan çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmalar farklı kurutma sıcaklıkları ve mikrodalga güçlerinde kurutulan gıda örneğinin kuruma karakteristikleri, enerji verimliliği, renk değişimi, rehidrasyon performansı ve büzüşme gibi fiziksel özelliklerinin yanında; toplam fenolik madde içeriği, antioksidan aktivite, C vitamini ve β -karoten gibi biyoaktif bileşenlerinde meydana gelen değişimleri de ele almış ve söz konusu özellikleri yalnızca sıcak hava ve mikrodalga kurutma yapılan koşullarda elde edilen sonuçlar ile karşılaştırmıştır.



Tablo 2.3: Gıdaların sıcak hava-mikrodalga ile hibrit kurutulması üzerine yapılmış çalışmalar

Ürün	Uygulama	Sonuçlar	Kaynak
Aronya meyvesi	Sıcak hava, Mikrodalga ve Hibrit kurutma (Mikrodalga-sıcak hava) - Kurutma sıcaklığı (50-60-70 °C) - Mikrodalga gücü (90-180-360 W)	- En yüksek kurutma sıcaklığı ve mikrodalga güçlerinin kullanıldığı 60 °C-360 W ve 70 °C-360 W koşullarında suyun buharlaşmasının hızlı şekilde gerçekleşmesine bağlı olarak en kısa kuruma sürelerine ulaşılmıştır. - Kurutma kinetiğini en iyi tanımlayan model olarak Page model seçilmiştir. - Sıcak hava ile 360 W mikrodalga gücünün kombine edildiği koşullarda örneklerde kararına meydana gelmiştir. - Artan mikrodalga güçleri ve kurutma sıcaklıklarında hibrit kurutulan örneklerde toplam fenolik madde içeriği ve antioksidan aktivite değerlerindeki düşüş azalırken toplam monomerik antosiyanin miktarındaki düşüş artmıştır. - Hibrit kurutma sistemi için optimum proses koşulu 50 °C sıcak havanın, 357 W mikrodalga gücü ile kombine edildiği koşul olmuştur.	(Fidan 2022)
Kivi	Sıcak hava, Mikrodalga ve Hibrit kurutma (Mikrodalga-sıcak hava) - Kurutma sıcaklığı (55-60-65 °C) - Mikrodalga gücü (100-200-300 W)	Diğer iki kurutma yöntemi ile kıyaslandığında hibrit kurutmada; - Toplam fenolik madde içeriğinde daha az kayıp gerçekleşmiştir. - Okside olan polifenollerin antioksidan etkisine bağlı olarak antioksidan aktivite kaybı daha düşük kalmıştır. - Kurutma süresinin kısalmasından kaynaklı oksidatif süreçlerin azalmasına bağlı olarak C vitamini kaybı azalmıştır. - Mineral madde içeriğinde anlamlı bir değişiklik olmamıştır. - Duyusal testlerde renk, tat ve genel kabul açısından en yüksek skorlar almıştır.	(Bhat ve diğ. 2022)
Soğan	Sıcak hava, Hibrit kurutma (Mikrodalga-sıcak hava) - Kurutma sıcaklığı (50-60-70 °C) - Mikrodalga gücü (100-150-200 W)	Sıcak hava kurutma ile kıyaslandığında hibrit kurutma ile, - Kurutma süresi %90 oranına kadar kısalmıştır. - Enerji verimliliği 3 ile 16 kat artmıştır. - Verma ve Midilli & Küçük kurutma modelleri soğanın kurutulmasını en iyi tanımlayan modeller olmuştur. - Mikrodalga enerjisinin yarattığı hücreler arası boşluklar nedeniyle hibrit kurutulan örneklerin rehidrasyon kapasitesi artmıştır.	(Maftoonazad ve diğ. 2020)
Pepino	Sıcak hava, Mikrodalga ve Hibrit kurutma (Mikrodalga-sıcak hava) - Kurutma sıcaklığı (50-75 °C) - Mikrodalga gücü (90-160 W)	- Pepino kuruma eğrilerinin sıcak hava ve mikrodalga kurutma için Midilli & Küçük; hibrit kurutma için ise Midilli & Küçük ve Wang & Singh modeli ile uyum göstermiştir. - En düşük ve en yüksek etkin difüzyon katsayıları sırasıyla 160°W-75°C ve 90W koşullarında kurutulan örneklerde gerçekleşmiştir. - Mikrodalga gücü ve kurutma sıcaklığındaki artışla kuruma süresinde gerçekleşen kısılmaya bağlı olarak toplam enerji tüketimi azalmıştır. - Taze örneklerle kıyasla kurutma ile kahverengileşme reaksiyonlarının bir göstergesi olarak a* değeri artmıştır.	(İzli ve diğ. 2021)

Ürün	Uygulama	Sonuçlar	Kaynak
Trabzon hurması	Sıcak hava, Hibrit kurutma HK1 (Mikrodalga-sıcak hava), Hibrit kurutma HK2 (Vakum- dondurularak kurutma) Kurutma sıcaklığı (60-70-80 °C) Mikrodalga güç yoğunluğu (6,8-10,7-22-30,8-40 W/g)	- Üç kurutma yöntemi kıyaslandığında sıcak hava ile kurutulan örnekler duyuşal değerdendirmede kavrulmuş-yanık olarak değerdendirirken; HK1 ve HK2 ile kurutulan örnekler bu kategoride yanık bulunmamış ve benzer puanlar almıştır. HK1 ve HK2 yöntemiyle kurutulan örnekler kokularını sıcak hava ile kurutulan örneklere göre daha iyi korumuştur. - Duyusal olarak benzer kabul edilebilirlik puanlarına sahip olan HK1 ve HK2 yöntemleri ile kurutulan örneklerin kurutulması için gerekli toplam enerji kıyaslandığında, HK2 yönteminin enerji gereksinimi HK1 yönteminin 7 katı olmuştur. Yine HK1 yöntemi enerji tüketimi bakımından sıcak hava ile kurutmaya kıyasla %11 enerji tasarrufu sağlayarak en verimli yöntem olmuştur. - HK1 kurutma ile örneklerin β-karoten içeriğı; HK ile kurutulan örneklerden %50 oranında az iken, sıcak hava ile kurutulan örneklerden yüksektir.	(Jia ve diğ. 2019)
Limon ve portakal kabuğı	Sıcak hava, Mikrodalga ve Hibrit kurutma (Mikrodalga-sıcak hava) • Kurutma sıcaklığı (40-50-60 °C) • Mikrodalga gücü (90-180-360 W)	- Page ve Modifiye Page modeller limon ve portakal kabuğunun kurutulmasını en iyi tanımlayan modeller olmuştur. - 360 W mikrodalga gücünde mikrodalga ve hibrit kurutulan örneklerde renkte kararırma ve yanmalar tespit edilmiştir. - Kurutma sıcaklığı ve mikrodalga gücü yükseldikçe hücrelerde bağı bulunan fenolik maddenin serbest kalmasına bağı olarak toplam fenolik madde miktarı artmıştır. - Kuruma süresi uzadıkça örneklerin antioksidan aktivite değerdeleri düşmüştür.	(Uysal 2019)
Mantar	Hibrit kurutma (Mikrodalga-sıcak hava) • Kurutma sıcaklığı (23-50-70 °C) • Mikrodalga güç yoğunluğu (Değışken ve sabit: 1,5-2-2,5 W/g)	- En düşük kuruma süreleri; örneğın nem içeriğı değıştikçe artan mikrodalga güç yoğunluğunun uygulandığı değışken koşullarda elde edilmiş olsa da bu örneklerde ciddi kalite kayıpları olduğı raporlanmıştır. - En düşük enerji tüketimi ve renk değışimi sırasıyla; 23°C-2,5 W/g ve 70 °C-1,5 W/g koşullarında kurutulan örneklerde gerçekteleşmiştir. - 1,5 ve 2 W/g mikrodalga güç yoğunluğunun herhangi sıcaklıktaki sıcak hava ile kombine edildiğı koşullarda mantar kuruma eğırilerinde iki belirgin azalan hızda kuruma periyodu gözlemlenmiştir.	(Omari ve diğ. 2018)
Nektarin	Sıcak hava, Hibrit kurutma (Mikrodalga-sıcak hava) • Kurutma sıcaklığı ve hızı (50 °C ve 0,5 m/s) • Mikrodalga güç yoğunluğu (80-160-240-320 W)	- Nektarinin sıcak hava ve hibrit kurutma yöntemi ile kurutulmasına ait kuruma eğırileri Midilli & Küçük ince tabaka kurutma modeline uyum göstermiştir - Sıcak hava ile kurutma ile kıyaslandığında hibrit kurutma ile kurutulan örneklerde toplam renk değışimi daha düşüktür. - Mikrodalga gücünün etkisiyle örneğın duvarlarının merkezine göre daha hızlı kurumasına bağı olarak hibrit kurutulan örneklerin büzüşme oranı daha düşük kalmıştır.Mikrodalga desteğı ile kurutulan örnekler hücreler arası boşluğın artmasının etkisiyle daha yumuşak tekstüre sahip olmuştur.	(Miraei Ashtiani ve diğ. 2018)

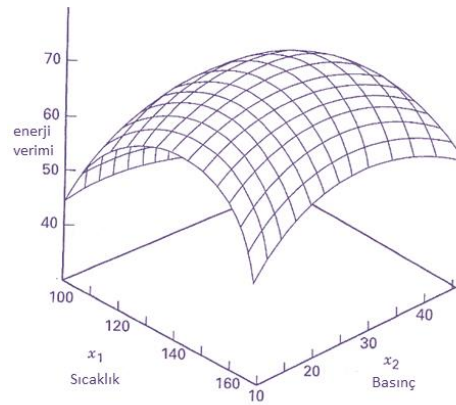
Ürün	Uygulama	Sonuçlar	Kaynak
Elma	Hibrit kurutma (Mikrodalga-sıcak hava) - Kurutma sıcaklığı (50-60-70 °C) - Mikrodalga gücü (120-150-180 W)	- Yalnızca düşük kuruma sıcaklıkları ve mikrodalga güçlerinde sabit hızda kuruma periyodu gerçekleşmiş, ayrıca iki tane azalan hızda kuruma periyodu gözlemlenmiştir. - Örneklerin kuruma kinetiğini en iyi açıklayan model Modifiye Logistic model olmuştur. - En düşük enerji tüketimi ve en yüksek enerji verimliliği 70 °C sıcak havanın 180 W mikrodalga gücü ile kombine edildiği örneklerde gerçekleşmiştir.	(Horuz ve diğ. 2018)
Vişne	Sıcak hava, Hibrit kurutma (Mikrodalga-sıcak hava) - Kurutma sıcaklığı (50-60-70 °C) - Mikrodalga gücü (120-150-180 W)	- Vişnenin kuruma kinetiğini en iyi tanımlayan modeller Verma ve Modifiye Logistic modeller olmuştur. - Sıcak hava kurutma ile kıyaslandığında hibrit kurutma ile; - Kuruma süresi kısalmış ve kuruma hızı artmıştır. - Daha yüksek rehidrasyon kapasitesi ile toplam fenolik madde, antioksidan aktivite ve C vitamini içeriğine sahip örnekler elde edilmiştir. - Her iki yöntemde benzer renk değerlerine ulaşılmıştır.	(Horuz ve diğ. 2017)
Papatya	Hibrit kurutma (Mikrodalga-sıcak hava) - Kurutma sıcaklığı ve hızı (50 °C ve 0,5 m/s) - Mikrodalga güç (200-300-400-500-600-700-800-900 W)	- Kurutma azalan hızda kuruma periyodunda gerçekleşmiş ve sabit hızda kuruma periyodu gözlemlenememiştir. - Örneklerin kuruma kinetiğini en iyi açıklayan model Midilli ve Küçük olmuştur. - Yüksek mikrodalga güçlerinde enerji kayıpları artmıştır ve en yüksek enerji verimliliğine sıcak havanın 400 W mikrodalga ile kombine edildiği koşulda ulaşılmıştır.	(Motevali ve diğ. 2016)
Domates	Sıcak hava, Mikrodalga ve Hibrit kurutma (Mikrodalga-sıcak hava) - Kurutma sıcaklığı (50-75 °C) - Mikrodalga gücü (90-160 W)	- Hibrit kurutma, tek başına sıcak hava ve mikrodalga kurutma ile karşılaştırıldığında kuruma süresini kısaltmıştır. - Artan mikrodalga güçleri ve kuruma sıcaklıklarında L* ve a* değeri düşerken, a* değeri artan mikrodalga gücünden daha fazla etkilenmiştir. - Taze örneklerin renk değerlerine, en yakın kuru örnek 50 °C'de kurutulan örnek olmuştur. - Taramalı elektron mikroskobu görüntüleri, kurutma sıcaklığının veya mikrodalga gücünün artmasıyla, domates örneklerinin yapısındaki bozulmaların arttığını göstermiştir.	(İzli ve Işık 2015)
Bamya	Hibrit kurutma (Mikrodalga-sıcak hava) - Kurutma sıcaklığı ve hızı (40-46,1-55-63,9-70 °C) - Kuruma havası hızı (1-1,2-1,5-1,8-2 m/s) - Mikrodalga güç yoğunluğu (0,5-0,9-1,5-2,1-2,5 W/g)	- Artan mikrodalga güçlerinde ve kurutma sıcaklıklarında örneklerin rehidrasyon oranı ve toplam renk değişimi daha yüksek olmuştur. - Kurutulmuş bamya örneklerinin sertliği hava sıcaklığındaki artış ile artmıştır. - Enerji tüketimi, mikrodalga gücündeki artışla kuruma süresinde meydana gelen kısalmaya bağlı olarak azalmıştır.	(Kumar ve diğ. 2014)

2.5 Yanıt Yüzey Yöntemi

“Denemelerin Optimum Koşullara Ulaşması” ismi ile 1951 yılında geliştirilen ve tanıtılan yanıt yüzey yönteminin (YYY) ilk uygulamaları kimya ve tarım sektörlerinde gerçekleşmiştir. YYY, Myers ve Montgomery (1995) tarafından “Proseslerin oluşturulması, geliştirilmesi ve optimizasyonu için gerekli istatistiksel ve matematiksel tekniklerin bir arada kullanıldığı bir yöntem” tanımlamışlardır. Yanıt yüzey yönteminin temel amacı deney tasarımlarını kullanarak proses için optimum koşullara ulaşılabilecek bağımsız değişkenleri belirlemek ve bu koşullardaki yanıtları tahminlemektir (Koç ve Kaymak-Ertekin 2010).

YYY, bir veya daha fazla bağımlı değişken ve birden çok olmak üzere seviyeleri kontrol altına alınabilen bağımsız değişkenlerden optimum bir yüzey elde etmeye dayanan bir optimizasyon yöntemidir (Çiftçi, 2011). Bağımsız değişken: deneyi düzeninde kontrol altına alınabilen değerler alırken; bağımlı değişken: kontrol altına alınabilen değişkenlerin etkisiyle oluşan yanıtlardır (Baş, 2010).

Örneğin; sıcaklık (X_1) ve basınç (X_2) gibi iki bağımsız değişkeninin, enerji verimini (y) maksimize ettiği seviyelerini bulmak istediği bir durumda, yanıt yüzeyinde X_1 ve X_2 sırasıyla apsis ve ordinatta olmak üzere oluşturulan düzleme dik olacak şekilde çizilen Y , ile üç boyutlu yanıt yüzeyi oluşturulur.



Şekil 2.5: Yanıt yüzeyi grafiği örneği

Yanıt yüzey yönteminde bağımsız değişkenler ile yanıtlar arasındaki ilişki çoğunluklu birinci dereceden veya ikinci dereceden modellerle uyum göstermektedir, kübik ve daha yüksek dereceli modeller ile biyolojik terimlerin açıklanmasında güçlükler yaşanmaktadır (Thompson 1982, Baş 2010; Çiftçi 2011) Birinci dereceden modeller için kullanılan deney tasarımı çeşitleri; 2^k faktöriyel, 2^k kesirli faktöriyel tasarımlar, simpleks tasarımlar, plackett-burman tasarımıdır. İkinci dereceden modeller içinse; 3^k faktöriyel tasarımlar, merkezi bileşik tasarımlar CCD), Merkezi Olmayan Bileşik Tasarımlar, Box-Behnken Tasarımı (BBD), Eş Yarıçaplı Tasarımlar, Koshal Tasarımı, Karma Tasarımlar kullanılmaktadır (Özler, 1997).

Gıdaların farklı kurutma yöntemleri ve koşullarında kurutulmasının yanıt yüzey yöntemi ile optimize edildiği çalışmalar Tablo 2.4'te sunulmuştur. Bu çalışmalarda temel olarak en yüksek enerji verimliliği ile yüksek ürün kalitesine ulaşılması hedeflenmektedir. Tablo 2.4; optimize edilen kurutma prosesi (ürün/kurutma yöntemi) hakkında bilgi, optimizasyon için kullanılan deney tasarımı, bağımsız değişkenler ve kullanılan aralıklar, yanıtlar ve bu yanıtlar için beklenen hedefler ile çalışma sonucunda elde edilen optimum koşulları içermektedir.

İlgili çalışmalarda optimizasyon; ikinci dereceden denklemler kullanılarak ve temel kriterin yüksek istenilebilirlik fonksiyonu olarak belirlenmesi ile gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2.4: Gıdaların farklı kurutma yöntemleri ile kurutulmasının YY ile optimizasyonu üzerine yapılmış çalışmalar

Ürün	Kurutma prosesi	Deney deseni	Bağımsız değişkenler ve seviyeleri	Yanıtlar ve hedefler	Optimum koşullar	Kaynak
Patates	İnfrared-sıcak hava kombine kurutma	BBD (Box Behnken tasarımı)	Kurutma sıcaklığı (40-55-70 °C) Kurutma havası hızı (1-1,5- 2 m/s) İnfrared gücü (0,225-0,450-0,675 kW)	Kuruma süresi (ED) Enerji kaybı (ED) Ekserji yıkımı (ED) Enerji verimi (EY) Ekserji verimi (EY)	70 °C 1 m/s 0.225 kW	(Geng ve diğ. 2023)
Nar kabuğu fenolikleri ile zenginleştirilmiş nar suyu	Püskürtmeli kurutma	FCCCD (Yüzey merkezli merkezi birleşik tasarımı)	Nar kabuğu ekstraktı konsantrasyonu (%2,5-6,25-10) Kurutma sıcaklığı (160-175-190 °C) Besleme akış hızı (0,6-0,8-1,0 ml/saniye)	Nem içeriği (ED) Su aktivitesi (ED) Çözünürlük (EY) Higroskopisite (EY) Çözünme süresi (ED) Toplam fenolik madde içeriği (EY) Carr indeksi (ED) Hausner indeksi (ED) L değeri (ED) Antioksidan aktivite (EY)	%10 189,9 °C 0,63 ml/saniye	(Hadree ve diğ. 2023)
Şeftali	Ozmotik kurutma	BBD	Kurutma süresi (60-120-180 dakika) Kurutma sıcaklığı (35-40-45 °C) Sükroz konsantrasyonu (50-60-70 °Brix)	Su kaybı (EY) Katı kazanımı (ED) Rehidrasyon oranı (EY) Sertlik (HD) Genel kabul edilebilirlik (EY)	133 dakika 41 °C 63,20 °Brix	(Kaur Dhillion ve diğ. 2022)

ED (En düşük), EY (En yüksek), HA (Hedef değer aralığı), HD (Hedef değer)

Ürün	Kurutma prosesi	Deney deseni	Bağımsız değişkenler ve seviyeleri	Yanıtlar ve hedefler	Optimum koşullar	Kaynak
Fesleğen	Hibrit solar kurutucu (güneş enerjisi ile sıcak hava üreten sistem)	CCD (Merkezi birleşik tasarım)	Kurutma sıcaklığı (40-55-70 °C) Ürün yatak kalınlığı (2-4-6 cm)	Kuruma hızı (EY)	63,776 °C	(Parhizi ve diğ. 2022)
				Enerji tüketimi (ED)	2 cm	
				Enerji tüketim oranı (ED)		
				Ekserji kaybı oranı (ED)		
				Ekserji verimliliği (EY)		
				İyileştirebilme potansiyeli oranı (EY)		
				Sürdürülebilirlik endeksi (EY)		
Mor tatlı patates	Tamburlu kurutma	BBD	Sitrik asit konsantrasyonu (%0,5-1-1,5) Buhar basıncı (300-400-500 kPa) Tambur dönüş hızı (1-2-3 rpm)	Nem içeriği (ED)	%0,59	(Senevirathna ve diğ. 2021)
				Kroma değeri (HD)	499,8 kPa	
				a*(HD)	3 rpm	
				Toplam antosiyanin içeriği (HD)		
				Toplam fenolik madde içeriği (EY)		
				Toplam flavonoid içeriği (EY)		
				Antioksidan aktivite (EY)		
				Su emme kapasitesi (EY)		
				pH (EY)		
Turp	Ozmotik dehidrasyon ön işlemleri sonrası sıcak hava ile kurutma	BBD	Kurutma sıcaklığı (30-40-50 °C) Ozmotik çözelti konsantrasyonu (%30-45-60) Kurutma süresi (4-5-6 saat)	Su kaybı (EY)	30,81 °C	(Rigi ve diğ. 2020)
				Katı kazanımı (ED)	%60	
				Ağırlık kaybı (EY)	6 saat	
				Vitamin C içeriği (EY)		
				Büzüşme oranı (ED)		
				Rehidrasyon oranı (EY)		
				L (EY)		
				a (ED)		
				b (ED)		

ED (En düşük), EY (En yüksek), HA (Hedef değer aralığı), HD (Hedef değer)

Ürün	Kurutma prosesi	Deney deseni	Bağımsız değişkenler ve seviyeleri	Yanıtlar ve hedefler	Optimum koşullar	Kaynak
Elma	Mikrodalga kurutma	CCRD (Merkezi birleşik dönebilen tasarım)	Mikrodalga gücü (60-77,6-120-162,4-180 W) Dilim kalınlığı (2-2,6-4-5,4-6 mm)	Etkin difüzyon katsayısı (HA) Kuruma hızı sabiti (HA) Renk değişimi (ED) Hue açısı (EY) Toplam kuruma süresi (ED) Enerji tüketimi (ED)	162,4 W 5,4 mm	(Yoğurtçu 2019)
Frenk üzümü	Vakum kurutma	BBD	Vakum Basıncı (30-180-330 mbar) Kurutma sıcaklığı (48-63-78 °C) Kuruma süresi (8-12-16 saat)	Nem içeriği (ED) Su aktivitesi (HA) Toplam renk değişimi (ED) Sertlik (ED) Rehidrasyon oranı (EY) Toplam fenolik madde (EY) Toplam flavonoid içeriği (EY) Monomerik antosiyanin içeriği (EY) Askorbik asit içeriği (EY) IC ₅₀ değeri (EY)	39,2 mbar 70,2 °C 8 saat	(Šumić ve diğ. 2016b)
Yer elması	Mikrodalga kurutma	BBD	Mikrodalga gücü (100-200-300 W) Dilim kalınlığı (2-4-6 mm) Ön işlem çözeltisi konsantrasyonu (0-1-2 g NaCl/100 ml su)	Kuruma süresi (ED) Etkin difüzyon katsayısı (EY) Rehidrasyon oranı (EY)	235 W 5,95 mm 0,081 g NaCl/100 ml su	(Karacabey ve diğ. 2016)
Kivi	Elektro hidrodinamik kurutma	BBD	Hava hızı (0-2-4 m/saat) Voltaj (6-10,5-15 kV) Alan kuvveti (3-4,5-6 kV/cm) İğne sayısı (1-9-17)	Nem oranı (ED) Enerji tüketimi (EY) Enerji verimliliği (EY)	- - 5,2 kV/cm 17	(Dalvand ve diğ. 2014)

ED (En düşük), EY (En yüksek), HA (Hedef değer aralığı), HD (Hedef değer)

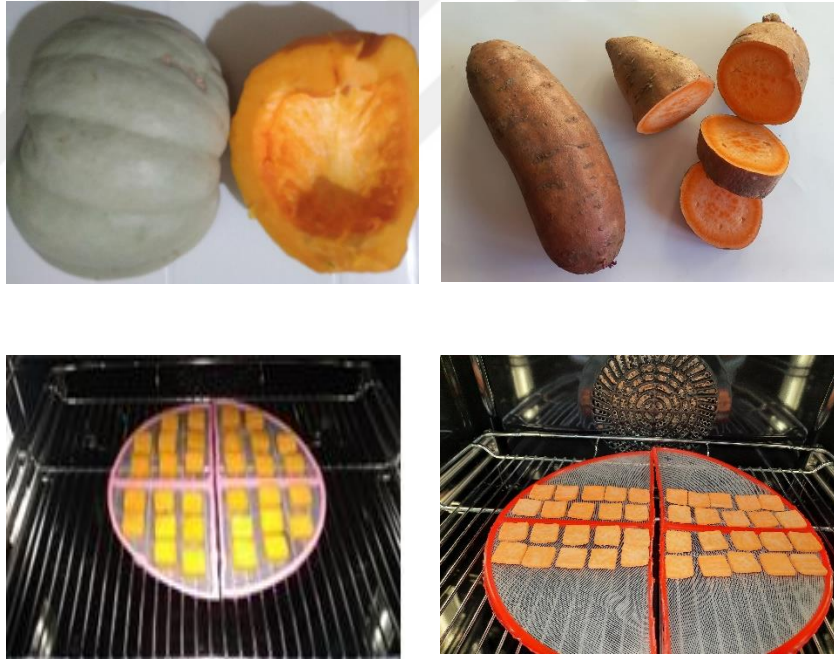
Ürün	Kurutma prosesi	Deney deseni	Bağımsız değişkenler ve seviyeleri	Yanıtlar ve hedefler	Optimum koşullar	Kaynak
Zerdeçal	Mikrodalga-vakum hibrit kurutma	3 ² faktöriyel CDD	Mikrodalga gücü (2400-3200-4000 W)	Toplam fenolik madde içeriği (EY)	4000 W	(Hirun ve diğ. 2014)
			Kuruma süresi (10-20-30 dakika)	Antioksidan potansiyeli (EY)	30 dakika	
				Toplam kurkiminoid (EY)		
				Su aktivitesi (ED)		
				Nem içeriği (ED)		
Zencefil	Ozmotik kurutma	BBD	Çözelti konsantrasyonu (%5-10-15)	Su kaybı (EY)	%7,31	(An ve diğ. 2013)
			Çözelti sıcaklığı (30-45-60 °C)	Katı kazanımı (ED)	30 °C	
			Proses süresi (60-120-180 dakika)	Rehidrasyon oranı (EY)	102 dakika	
				Toplam renk değişimi (ED)		
				Toplam fenolik madde içeriği (EY)		
Pembe guava	Kabin kurutma	CCD	Kabin sıcaklığı (50-65-80 °C)	Likopen kaybı (ED)	43,8 °C	(Kong ve diğ. 2010)
			Kuruma süresi (4-5-6 saat)	Lipofilik antioksidan aktivite (EY)	6,4 saat	
Yeşil dolmalık biber	Ozmotik kurutma	CCRD	Tuz konsantrasyonu (0-2,5-5-7,5-10 g tuz / 100 g ürün)	Su kaybı (EY)	5,5 g tuz / 100 g ürün	(Özdemir ve diğ. 2008)
			Sorbitol konsantrasyonu (0-2,5-5-7,5-10 g tuz / 100 g ürün)	Katı kazanımı (ED)	6 g sorbitol / 100 g ürün	
			Sıcaklık (20- 25 -30 -35 - 40 °C)	Tuz kazanımı (ED)	30 °C	
			Süre (15- 36 - 96 - 240 - 600 dakika)	Sorbitol kazanımı (ED)	240 dakika	
Brezilya kakaosu (Guarana) ekstraktı	Akışkan yatak kurutma	3 ³ faktöriyel CDD	Kurutma sıcaklığı (60-120-180 °C)	Nem içeriği (ED)	120 °C	(Pagliarussi ve diğ. 2006)
			Kurutma havası hızı (0,43-0,50-0,57 m ³ /dakika)	Kafein içeriği (EY)	-	
			Ekstrakt besleme hızı (3-5-7 ml/dakika)		-	

ED (En düşük), EY (En yüksek), HA (Hedef değer aralığı), HD (Hedef değer)

3. MATERİYAL ve YÖNTEM

3.1 Materyal

Çalışmada kullanılan balkabağı (*Cucurbita maxima*) Denizli ilinin Acıpayam ilçesinde yerel üreticiden; turuncu tatlı patates (*Ipomoea batatas* [L.] Lam) ise İstanbul merkezli taze meyve ve sebze tedarikçisi İdeal Tarım Ürünleri Ticareti AŞ'den satın alınmıştır. Kurutma işlemi öncesinde balkabağı ve tatlı patates örneklerinin kabukları soyulmuş ve elektronik sebze doğrayıcı (Moulinex Fresh Express, Moulinex, Ecully, Fransa) ile 0,4 cm kalınlığında dilimlenmiştir. Sabit kalınlıkta elde edilen dilimlere 2×2 cm boyutlarındaki metal kalıp ile kare şekli verilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Taze balkabağı ve tatlı patates örnekleri

Balkabağı ve tatlı patates örneklerinin başlangıç nem içeriklerinin belirlenebilmesi için $5 \pm 0,5$ g numune, 105°C 'de sıcaklıktaki etüvde (Memmert UNB 400, Almanya) sabit tartıma gelinceye kadar kurutulmuştur (Onwude ve diğ. 2018). Nem içeriği analizi her kurutma denemesinden önce 3 paralelli olarak gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada kullanılan bütün kimyasallar analitik saflıkta olup Merck (Merck, Darmstadt, Almanya) ve Sigma (Sigma-Aldrich, Steinheim, Almanya) firmalarından temin edilmiştir.

3.2 Yöntem

3.2.1 Kurutma Yöntemi

Kurutma, programlanabilir hava sirkülasyonlu ev tipi hibrit fırın (Siemens HN678G4S1 Ankastre Fırın, Münih, Almanya) ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2: Siemens marka HN678G4S1 model ankastre fırın

Bu fırın, bir fandan gelen ısıtılmış havayı fırın içinde dolaştırırken üst kısmından da mikrodalga ışınları yaymaktadır. Bu sayede yalnız sıcak hava ve mikrodalga ile kurutmanın yanında sıcak hava ile mikrodalga'nın eş zamanlı olarak kullanıldığı hibrit kurutma yönteminin uygulanmasına da imkan sağlamaktadır. Fırın 30-300 °C hava sıcaklığında; 90-180-360-600 ve 900 W mikrodalga güç seviyelerinde çalışabilmekte ve her sıcaklıktaki sıcak havayı 90, 180 ve 360 W mikrodalga güç seviyeleriyle eş zamanlı olarak birleştirebilmektedir.

Kurutma denemelerinde her bir paralel için tepsilere 16 adet dilim yerleştirilmiştir. Sıcak hava ile kurutulan örnekler için kurutmanın ilk 30 dakikası içinde her beş dakikada bir, sonrasında her 30 dakikada bir tartım alınmıştır. Mikrodalga ve hibrit kurutma yöntemleri ile kurutulan örneklerden ise kurutma süresince her 5 dakikada bir tartım alınmıştır. Örnekler kuruma kinetiği çalışmaları için sabit tartıma ulaşıncaya kadar; kalite parametrelerin belirlenmesi ve optimizasyon çalışmaları için ise $\%10 \pm 0,5$ nem içeriğine kadar kurutulmuştur.

Kurutma denemeleri iki paralelli ve üç tekerrürlü Tablo 3.1’de sunulmuş olan yöntem ve koşullarda gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.1: Kurutma yöntem ve koşulları

Kurutma Yöntemi	Kurutma sıcaklığı (°C)	Mikrodalga gücü (W)	Örnek kodu
Mikrodalga		90	90 W
		180	180 W
		360	360 W
Sıcak hava	50		50 °C
	60		60 °C
	70		70 °C
Hibrit	50	90	50 °C + 90 W
		180	50 °C + 180 W
		360	50 °C + 360 W
	60	90	60 °C + 90 W
		180	60 °C + 180 W
		360	60 °C + 360 W
	70	90	70 °C + 90 W
		180	70 °C + 180 W
		360	70 °C + 360 W

3.2.2 Kurutma Performansının Belirlenmesi

3.2.2.1 Nem İçeriği ve Nem Oranının Hesaplanması

Balkabağı ve tatlı patates örneklerinin farklı koşullarda kurutulması sırasında nem içeriği ve nem oranı değerleri Denklem 3.1 ve 3.2'den hesaplanmıştır.

$$M_t = (M - KM)/KM \quad (3.1)$$

$$MR = (M_t - M_e)/(M_0 - M_e) \quad (3.2)$$

M_t herhangi bir t anındaki nem içeriği (g su/g kuru madde) iken, M örneğin ağırlığı (g), KM örneğin kuru madde içeriği (g), MR nem oranı (birimsiz), M_e denge anındaki nem içeriği (g su/g kuru madde), M_0 başlangıç nem içeriği (g su/g kuru madde) olarak tanımlanmıştır (Uysal 2019, Rani ve Tripathy 2023).

3.2.2.2 Kuruma Hızının Hesaplanması

Kuruma hızı, nem içeriğine karşılık kuruma zamanı eğrilerinin türevlerinin alınması ile g su/g kuru madde.dakika cinsinden bulunmuştur (Denklem 3.3).

$$KH = (M_{t+dt} - M_t)/d_t \quad (3.3)$$

M_{t+dt} herhangi bir $t+dt$ anındaki nem içeriği (g su/g kuru madde), M_t herhangi bir t anındaki nem içeriği (g su/g kuru madde), d_t kuruma zamanı (dakika) olarak tanımlanmıştır (Shrivastava ve Kurmar 2016).

3.2.2.3 Etkin Difüzyon Katsayısının Hesaplanması

Etkin difüzyon katsayısı, Fick'in ikinci yasasının uygun sınır koşullarda dilim (kesit) kabulü yapılarak elde edilen Denklem 3.4 basitleştirilerek balkabağı ve tatlı patates örnekleri için hesaplanmıştır (Karami ve diğ. 2021).

$$MR = \frac{8}{\pi^2} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(1+2n)^2} \exp\left(-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (3.4)$$

D_{eff} etkin difüzyon katsayısı (m²/saat), L dilim kalınlığının yarısı (merkezinden dilimin yüzeyine olan mesafe) (m) ve t kuruma zamanı (saat) olarak tanımlanmıştır.

Uzun kurutma süreleri için denklemin ilk terimleri çözüm için kullanıldığında, Denklem 3.4 logaritmik formda yazılır.

$$\ln MR = \ln \frac{8}{\pi^2} - \frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} t \quad (3.5)$$

DeneySEL MR değerlerinin doğal logaritmasına karşılık kuruma zamanı grafiği çizildiğinde elde edilen doğrunun eğiminden etkin difüzyon katsayısı hesaplanır.

$$eğim = \frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} \quad (3.6)$$

3.2.2.4 Kurutma Kinetiğinin Matematiksel Modellenmesi

Farklı kurutma yöntemleri ve koşulları uygulanan balkabağı ve tatlı patates örneklerine ait dENEYSSEL verilerin, tahmini verilere dönüştürülmesi için 12 farklı ince tabaka kurutma modelinin uygunluğu araştırılmıştır. Uygunluğu araştırılan matematiksel modellere atı kurutma eşitlikler Tablo 3.2’de sunulmuştur.

Tablo 3.2: Deneysel verilere uygunluğu araştırılan ince tabaka kurutma modelleri

Model no	Model adı	Model denklemi	Kaynak
1	Lewis	$MR = \exp(-kt)$ (3.7)	(Bruce 1985)
2	Henderson ve Pabis	$MR = a \exp(-kt)$ (3.8)	(Henderson ve Pabis 1961)
3	Page	$MR = \exp(-kt^n)$ (3.9)	(Page 1949)
4	Geliştirilmiş Page 1	$MR = \exp[-(kt)^n]$ (3.10)	(Demir ve diğ. 2004)
5	Geliştirilmiş Page 2	$MR = a \exp[-(kt)^n]$ (3.11)	(Lahsasni ve diğ. 2004)
6	Logaritmik	$MR = a \exp(-kt) + c$ (3.12)	(Toğrul ve Pehlivan 2002)
7	Midilli-Küçük	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$ (3.13)	(Midilli ve diğ. 2002)
8	Wang ve Singh	$MR = 1 + at + bt^2$ (3.14)	(Wang ve Singh 1978)
9	Verma	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-gt)$ (3.15)	(Verma ve diğ. 1985)
10	Parabolik	$MR = a + bt + ct^2$ (3.16)	(Sharma ve Prasad 2004)
11	Weibull Dağılımı	$MR = a - b \exp[-(kt^n)]$ (3.17)	(Mahdad ve diğ. 2021)
12	Alibaş	$MR = a \exp((-kt^n) + (bt)) + g$ (3.18)	(Alibaş 2012)

k: kinetik sabit (dakika⁻¹), t: kurutma süresi (dakika), n-a-b-c-g: model katsayıları,

Deneysel ve tahmini değerlerin uyumunu belirlemede temel kriterler, en yüksek belirme katsayısı (R^2) ile en düşük ki-kare (χ^2) ve hataların ortalama kare kökü (RMSE) olarak belirlenmiştir. R^2 (Denklem 3.19), χ^2 (Denklem 3.20) ve RMSE (Denklem 3.21) değerleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır (Kipcak ve Doymaz 2020a).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{deneysel,i} - MR_{tahmini,i})^2}{\sum_{i=1}^N (MR_{deneysel,i} - MR_{deneysel\ ortalaması,i})^2} \quad (3.19)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{deneysel,i} - MR_{tahmini,i})^2}{N - n} \quad (3.20)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{tahmini,i} - MR_{deneysel,i})^2 \right]^{1/2} \quad (3.21)$$

Burada N gözlemlenen deneysel veri adedi, n matematiksel modeldeki katsayıların adedini ifade etmektedir.

3.2.2.5 Enerji Tüketimi ve Verimliliği

Sıcak hava, mikrodalga ve hibrit kurutma işlemleri boyunca gerçekleşen toplam enerji tüketimi sırasıyla E_{ts} (Denklem 3.22), E_{tm} (Denklem 3.23) ve E_{th} (Denklem 3.24) olarak ifade edilmiştir ve kWh cinsinden hesaplanmıştır (Ye ve diğ. 2021, Motevali ve diğ. 2016, Darvishi 2012).

$$E_{ts} = (A \ v \ \rho_a \ c_a \ \Delta T) \ t \quad (3.22)$$

$$E_{tm} = P \ t \quad (3.23)$$

$$E_{th} = [P + (A \ v \ \rho_a \ c_a \ \Delta T)] \ t \quad (3.24)$$

Burada A örneğin yerleştirildiği tepsinin yüzey alanı (m^2), v kurutma havası hızı (m/s), ρ_a hava yoğunluğu (kg/m^3), c_a havanın özgül ısısı ($kJ/kg \ ^\circ C$), ΔT sıcaklık farkı ($^\circ C$), t toplam kuruma süresi (saat), P mikrodalga gücü (kW) ifade etmektedir.

3.2.3 Analizler

3.2.3.1 Rehidrasyon Oranı

Mikrodalga, sıcak hava ve hibrit kurutma yöntem ve koşullarının, $\%10 \pm 1$ nem içeriğine sahip kuru örneklerin su geri kazanım özellikleri üzerine etkisinin belirlenmesi amacıyla; kurutulmuş balkabağı ve tatlı patates dilimleri beher içerisinde 1:100 (w/w) ürün/su oranında, $60^\circ C$ sıcaklıktaki su banyosunda 1 saat süreyle rehidrasyon işlemine tabi tutulmuştur. Bir saat sürenin sonunda örnekler 30 saniye süre boyunca süzölmüş ve üzerlerindeki fazla su peçete yardımıyla uzaklaştırıldıktan sonra tartım alınmıştır. Rehidrasyon denemeleri, üç paralel ve iki tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir

Balkabağı ve tatlı patates örneklerinin rehidrasyon oranı (RO) Denklem 3.25 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$RO = M_0 / M_s \quad (3.25)$$

RO rehidrasyon oranı (birimsiz), M_0 rehidrasyon işleminden önceki örnek ağırlığı (g), M_s rehidrasyon işlemi sonundaki örnek ağırlığı (g) olarak tanımlanmıştır (Deng ve Zhao 2008).

3.2.3.2 Su Tutma Kapasitesi

Su tutma kapasitesini belirlemek amacıyla, 1 saat boyunca rehidre edilmiş balkabağı ve tatlı patates örneklerine 5°C’de 4000 rpm dönüş hızında 10 dakika süreyle santrifüj işlemi uygulanmıştır. Santrifüj işlemi sonunda örneklerin çevresindeki fazla su alınarak tartım alınmıştır. Bu işlem için ortasına elek teli yerleştirilmiş ve bu sayede rehidre olan üründen suyun ayrılmasını mümkün kılan özel tasarlanmış santrifüj tüpleri kullanılmıştır. Su tutma kapasitesi denemeleri, 3 paralel ve 2 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir.

Balkabağı ve tatlı patates örneklerinin su tutma kapasitesi Denklem 3.26 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$STK = [(M_r \cdot X_r) - M_s] / (M_r \cdot X_r) \cdot 100 \quad (3.26)$$

STK su tutma kapasitesi, M_r rehidrasyon işlemi sonundaki örnek ağırlığı (g), M_s : Santrifüj işleminin sonundaki örnek ağırlığı (g), X_r : Rehidre ürünün su içeriği (%) olarak tanımlanmıştır (Vega-Galvez ve ark., 2009).

3.2.3.3 Renk Analizi

Mikrodalga, sıcak hava ve hibrit kurutma yöntemi ve koşullarının balkabağı ve tatlı patates örneklerinin rengi üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla taze ve kurutulmuş örneklerinin CIE sisteminde L^* , a^* , b^* parametreleri renk ölçüm cihazı (PCE-CSM 2, Almanya) ile ölçülmüştür. Renk ölçümleri 8’er örnekte 2 paralel ve 3 tekerrür şeklinde yapılmış ve ölçülen değerlerin ortalaması alınmıştır. Bu işlem sonucunda örneklerdeki renk değişimleri incelenmiştir.

Çalışmada L^* , a^* ve b^* değerlerine ilave olarak taze balkabağı ve tatlı patatese ait renk değerleri (L_0^* , a^* , b_0^*) referans kabul edilerek örneklerin toplam renk değişimi (ΔE^*) Denklem 3.27 yardımıyla hesaplanmıştır (Seerangurayar ve diğ. 2019).

$$\Delta E^* = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2} \quad (3.27)$$

3.2.3.4 Antioksidan Aktivite ve Toplam Fenolik Madde İçeriğinin Belirlenmesi

Taze ve kuru balkabağı örneklerinde antioksidan aktivite ve toplam fenolik madde içeriğinin belirlenmesi için aynı ekstraksiyon yöntemi uygulanarak ekstraktlar hazırlanmış, ardından spektrofotometrik olarak miktar belirleme ve hesaplama aşamaları gerçekleştirilmiştir.

Taze ve kuru örneklerden 1 g tartılarak ve üzerine 10 ml metanol su çözeltisi (70:30 v/v) ilave edilmiştir. Ardından örnekler 1 dakika süreyle homojenizatörde (Ultra Turrax T25, IKA Werke, Almanya) parçalanmıştır. Bu işlemin ardından örnekler ultrasonik su banyosunda (E 60 H Model, Elma Co., Almanya) 10 dakika süreyle bekletilip, mekanik çalkalayıcıda (WiseShake SHO-1D, Wertheim, Almanya) 15 dakika boyunca karıştırılmıştır. Karıştırma işlemini takiben örnekler, 4°C’de 9000 rpm dönüş hızında 15 dakika süreyle santrifüj (NF 1200 R, Nüve, Türkiye) edilmiştir. Santrifüj sonunda üstte bulunan berrak kısım pastör pipeti yardımıyla amber şişelere alınmıştır. Falcon tüplerinde kalan çökelti için aynı ekstraksiyon basamakları ikinci kez tekrarlanarak ekstraktlar hazırlanmıştır. Bu ekstraktlar analizlerde kullanılıncaya kadar -18°C’de muhafaza edilmiş ve analizlerin hemen öncesinde şırınga ucu membran filtreden geçirilmiştir.

Antioksidan aktivite tayini 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) serbest radikalini indirgeme prensibine dayanan metot uygulanarak gerçekleştirilmiştir (Thaipong ve diğ. 2006; Brand-Williams ve diğ. 1995). Öncelikle 0,0050 g troloks (6-Hidroxy-2,5,7,8-Tetrametilkroman-2-Karboksilik Asit), 1 ml etanolde çözündürülmüştür. Sonra elde edilen çözelti 10 ml’lik balon jöjeye alınıp ultrasonik su banyosunda çözündürülmüştür ve ardından 10 ml’ye saf su ile tamamlanmıştır. Kalibrasyon eğrisi 0-50 µmol konsantrasyon aralığındaki troloks çözeltileri

kullanılarak oluşturulmuştur. Antioksidan aktivite tayini için ilk olarak 24 mg DPPH üzerine 100 ml saf su ilave edilerek DPPH stok çözeltisi elde edilmiştir. Çalışmada kullanmak amacıyla DPPH stok çözeltisi spektrofotometrede (T80 UV/VIS model, PG Instruments Ltd., İngiltere) 515 nm dalga boyunda okutularak absorbans değeri 1,1 değeri olacak şekilde ayarlanmıştır. Örneklerin analizinde 150 µl ekstrakt cam tüplere alınarak üzerlerine 2850 µl DPPH çözeltisi ilave edilmiştir. Ardından tüplerin ağızları parafilm ile kapatılarak örnekler vorteks ile 10 saniye karıştırılmıştır. Karıştırılan örnekler daha sonra karanlık ortamda ve oda sıcaklığında 60 dakika bekletilmiştir. Bu süre sonunda örneklerin absorbansları spektrofotometrede 515 nm dalga boyunda okunmuştur. Sonuçlar µmol troloks eşdeğeri (TE)/g kuru madde olarak hesaplanmıştır.

Örneklerin toplam fenolik madde içeriği Folin-Ciocalteu yöntemi kullanılarak belirlenmiştir (Singleton ve diğ 1999). Öncelikle saf su ile 0,5 g/l gallik asit çözeltisi hazırlanmıştır. Kalibrasyon eğrisi 25-100 mg/l konsantrasyon aralığındaki gallik asit çözeltileriyle oluşturulmuştur 300 µl ekstrakt cam tüp içerisine alınmış ve üzerine 1500 µl 1 N Folin-Ciocalteu (1:10 v/v) reaktifi ve 1200 µl % 7,5 (w/v) Na₂CO₃ çözeltisi eklenmiştir. Ardından tüplerin ağızları parafilm ile kapatılarak örnekler vorteks ile 10 saniye karıştırılır. Karıştırılan örnekler daha sonra karanlık ortamda ve oda sıcaklığında 120 dakika bekletilmiştir. Bu süre sonunda örneklerin absorbansları spektrofotometrede 760 nm dalga boyunda okunmuştur. Sonuçlar mg gallik asit eşdeğeri (GAE)/g kuru madde olarak hesaplanmıştır.

3.2.3.5 Beta karoten İçeriğinin Belirlenmesi

Taze ve kuru balkabağı ve tatlı patates örneklerinin beta karoten miktarı, Demiray ve diğ. (2013) tarafından bildirilen yöntemde uygulanan bazı değişikliklerle birlikte yüksek basınçlı sıvı kromatografisi (HPLC) cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Analiz temel olarak ekstraksiyon ve tanımlama-hesaplama olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir.

Ekstraksiyon için içerisinde % 1'lik bütillendirilmiş hidroksi toluen (BHT) (w/v) bulunan etanol-hekzan çözeltisi (4:3 v/v) hazırlanmıştır. Taze ve kuru örneklerin üzerine bu çözeltiliden 1:40 w/v oranında eklenmiş ve karışım 60 saniye süreyle

homojenize edilmiştir. Homojenize edilen numuneler 4°C’de 9000 rpm dönüş hızında 15 dakika süreyle santrifüj edilmiştir. Santrifüj işlemi sonunda santrifüj tüpünün üst kısmında kalan faz pastör pipeti yardımıyla amber şişelere alınmıştır. Amber şişe içerisindeki toplanan ekstrakt 0,45 µm’lik şırınga ucu membran filtrelerden geçirilerek vakit kaybetmeden HPLC cihazına enjekte edilmiştir.

Balkabağı ve tatlı patates örneklerinin beta karoten içeriğinin belirlenmesi için HPLC cihazında (Shimadzu LC-20AD, Shimadzu Corporation, Kyoto, Japonya) uygulanan kromatografik koşullar Tablo 3.3’te sunulmuştur. Balkabağı ve tatlı patates örneklerinin beta karoten miktarı, beta karoten standardına ait kalibrasyon eğrisi kullanılarak kromatogramlardan elde edilen pik alanlarından hesaplanmış ve sonuçlar µg/g kuru madde olarak raporlanmıştır.

Tablo 3.3: HPLC cihazı ve uygulanan kromatografik koşullar

HPLC cihazı	Shimadzu LC-20AD
Yazılım	Shimadzu LC solution
Dedektör	UV-VIS DAD (Model SPD-M10 AVP, Shimadzu)
Gaz giderici	Model DGU 14A, Shimadzu
Kolon fırını	Shimadzu CTO-20A
Kolon sıcaklığı	25 °C
Kolon	C18
Akış hızı	0,25 mL / dakika
Elüsyon süresi	15 dakika
Enjeksiyon hacmi	20 µL
Dalga boyu	445 nm
Mobil faz	Asetonitril: Metanol: Hekzan: Diklorometan (40:20:20:20)
Standart	Sigma Aldrich

3.2.4 Kalite Parametrelerindeki Değişimlerin Hesaplanması

Balkabağı ve tatlı patates örnekleri için antioksidan aktivite, toplam fenolik madde içeriği, beta karoten miktarı ve renk değerleri gibi kalite parametrelerindeki yüzde değişim Denklem 3.28 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Yüzde değişim} = \left| \frac{\text{Son değer} - \text{İlk değer}}{\text{İlk değer}} \right| \times 100 \quad (3.28)$$

3.2.5 İstatistiksel Analiz

Deneyisel veriler IBM SPSS 25 kullanılarak analiz edilmiştir. Veriler arasındaki farkı ifade etmek için Tukey çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır ($p < 0.05$). Tüm analizler 3 tekrar 2 paralel olarak gerçekleştirilmiştir ve sonuçlar ortalama $\pm$ standart sapma (SD) şeklinde verilmiştir.

3.2.6 Yanıt Yüzey Yöntemi ile Optimizasyon

Balkabağı ve tatlı patatesin hibrit kurutulması prosesi için optimum kurutma sıcaklığı ve mikrodalga gücü koşullarını belirlemek amacıyla yanıt yüzey metodu kullanılmıştır. Kurutma sıcaklığı ve mikrodalga gücü bağımsız değişkenler olarak seçilmiştir. Bağımsız değişkenlerin kodlanmış ve kodlanmamış (gerçek) seviyeleri Tablo 3.4'te listelenmiştir.

Tablo 3.4: Bağımsız değişkenler

Kod	Bağımsız değişken	Birim	Gerçek / Kodlanmış değerler		
			-1	0	1
A	Kurutma sıcaklığı	°C	50	60	70
B	Mikrodalga gücü	W	0	90	180

Merkezi birleşik tasarım (CCD), ardışık deneyler için başarıyla çalışan ve çok sayıda tasarım noktasına ihtiyaç duymadan uyum eksikliğini test etmek için yeterli bilgiyi sağlayan etkili bir deney tasarımıdır. Proses optimizasyonu için sıklıkla kullanılan CDD, ikincil dereceden yüzeyler ile uyum göstermektedir (Demirel ve Kayan 2014). Bu çalışmada balkabağı ve tatlı patates örneklerinin hibrit kurutulmasının optimizasyonu için yüzey merkezli merkezi birleşik tasarım (FCCCD) kullanılmıştır. Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında ilişki ikinci dereceden denklem formunda temsil edilmiştir (Denklem 3.29) (Nkama ve diğ. 2014).

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i=1}^n b_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n b_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (3.29)$$

Burada Y tahmin edilen yanıt iken; b_0 , b_i , b_{ii} , ve b_{ij} sırasıyla lineer, kuadratik ve etkileşim katsayılarıdır. x_i ve x_{ij} terimleri bağımsız değişkenleri kodlanmış seviyeleri, n bağımsız değişken sayısı ve ε hata terimidir.

Optimizasyon çalışmaları Design Expert Software, Sürüm 12.0 (Stat-Ease Inc., Minneapolis, MN, ABD) kullanılarak yapılmıştır. Bağımsız değişkenlerin optimum seviyelerini belirlemek için istenebilirlik fonksiyonu kullanılmıştır. İstenebilirlik fonksiyonu, belirli bir bağımsız değişken seviyesinde yanıtların ne kadar uygun olduğunu tanımlayan bileşik bir fonksiyondur ve Denklem 3.30'dan hesaplanmıştır (Golpour ve ark. 2022).

$$D = (d_1 \times d_2 \times d_3 \dots \dots \times d_n)^{1/n} \quad (3.30)$$

Burada D genel istenebilirlik, d bireysel istenebilirlik ve n yanıtların sayısıdır. İstenebilirlik fonksiyonunun 0 ile 1 arasında değişen optimum değerini üretebilecek değişken değerler aranır ve bu değer 1'e yakın olması arzu edilir.

Modelin anlamlılığı, ANOVA testi yapılarak ve regresyon ortalama karesi ile hata ortalama karesi arasındaki oran olan F oranı tahmin edilerek araştırıldı. R^2 , Düzeltilmiş (Adj)- R^2 ve Tahmini (Pre) R^2 , modelin ne kadar iyi performans gösterdiğini de açıklayan belirleme katsayılarıdır (Denklem 3.31-3.33) (Aghilinategh ve ark. 2015)

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{residual}}{SS_{total}} \quad (3.31)$$

$$Adj R^2 = 1 - \frac{SS_{residual}/DF_{residual}}{SS_{total}/DF_{total}} \quad (3.32)$$

$$Pre R^2 = 1 - \frac{\sum_1^n (y_i - \bar{y}_i)^2}{SS_{total}} \quad (3.33)$$

Her iki örnek için toplam kuruma süresi (Dt), toplam enerji tüketimi (ET), rehidrasyon oranı (RO), su tutma kapasitesi (STK), toplam renk değişimi (ΔE^*), antioksidan aktivite değişimi (AA (%)), toplam fenolik madde içeriği değişimi (TFM (%)) ve beta karoten miktarı değişimi (BK (%)) yanıt olarak seçilerek yüzey merkezli merkezi birleşik tasarım (FCCCD) deney deseni uygulanmıştır.

Deneyisel verilerin lineer, iki faktör etkileşim (2FI), kuadratik ve kübik model olmak üzere 4 farklı modele uygunluğu test edilmiştir. Model seçiminde 4 kriterden faydalanılmıştır. Bunlar model p-değerinin 0,05'ten küçük; uyum eksikliği p-değerinin 0,05'ten büyük yani istatistiksel olarak anlamsız olması, R^2 değerinin en yüksek (1'e yakın), düzeltilmiş R^2 ve tahmini R^2 değerleri arasındaki farkın 0,2'den küçük olması şeklinde belirlenmiştir.



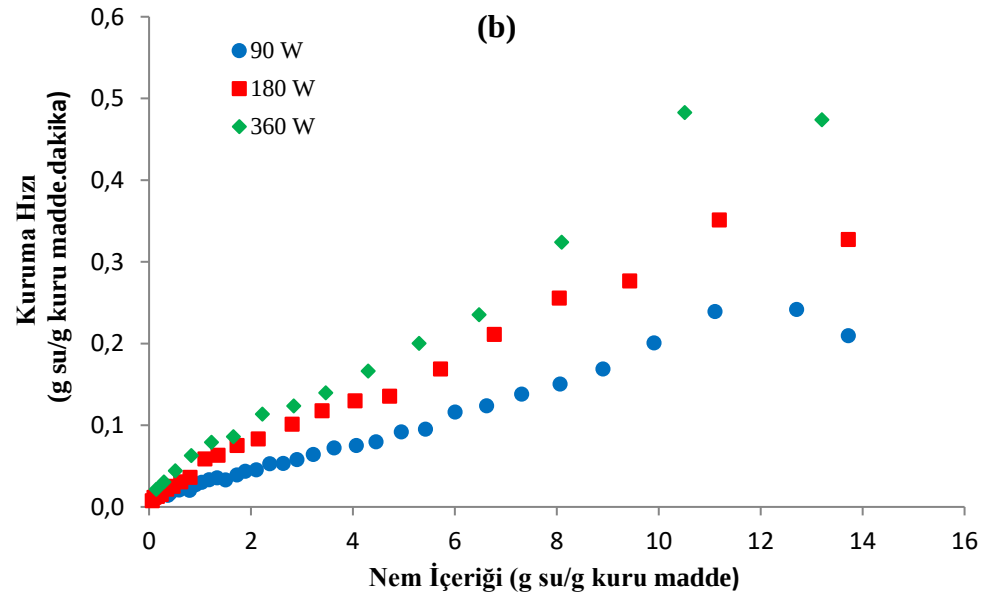
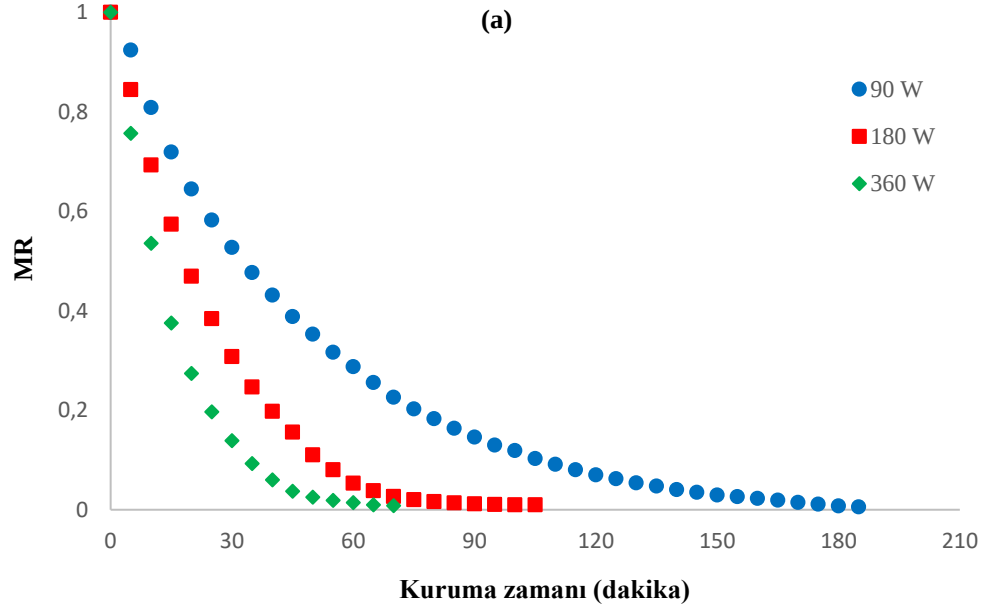
4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1 Sıcak Hava, Mikrodalga ve Sıcak Hava-Mikrodalga (Hibrit) Kurutma Yöntemlerinin Balkabağı Örnekleri Üzerine Etkisi

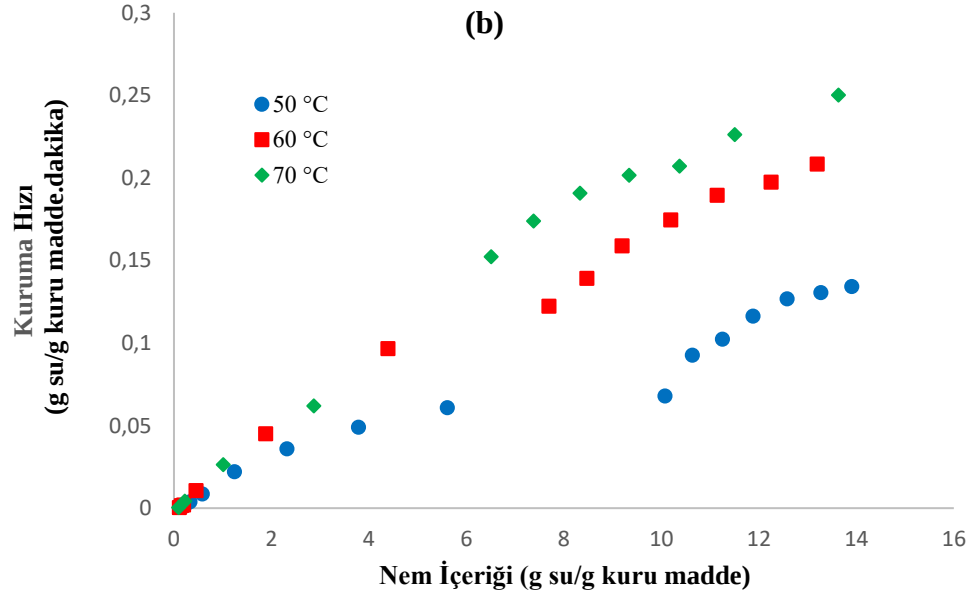
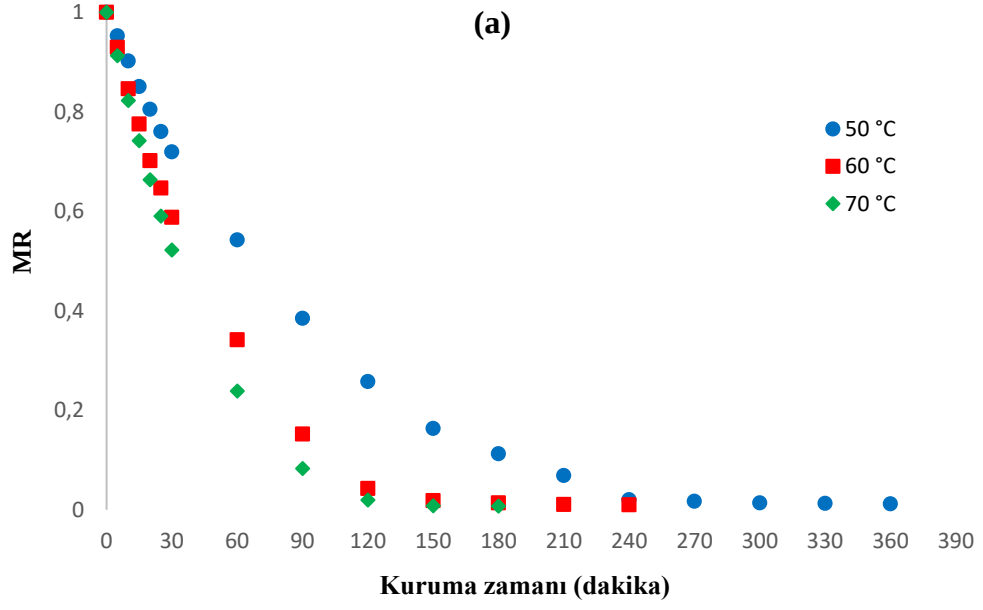
4.1.1 Kuruma Davranışı ve Karakteristikleri

Kurutma denemelerinde kullanılan balkabağı örneklerinin başlangıç nem içeriği $M_0 = 13,62 \pm 0,54$ g su/g kuru madde olarak tespit edilmiştir. Farklı kurutma yöntemleri (mikrodalga, sıcak hava ve hibrit kurutma) ve koşullarında (hava sıcaklığı ve mikrodalga gücü) kurutulan balkabağı örneklerine ait nem oranı ve kuruma hızı değişimlerini içeren kuruma eğrileri Şekil 4.1- 4.5'te grafiksel olarak sunulmuştur. Sıcak hava ile mikrodalga gücünün kombine edildiği tüm kurutma denemelerinde balkabağı örnekleri için artan kurutma sıcaklığı ve mikrodalga gücü ile daha düşük nem içeriklerine kurumanın daha erken dakikalarında ulaşıldığı tespit edilmiştir. Buna ek olarak mikrodalga ile sıcak havanın kombine edildiği hibrit koşullarda artan mikrodalga güçlerinde, kurutma sıcaklığının nem oranındaki düşüş üzerine etkisinin azaldığı görülmüştür.

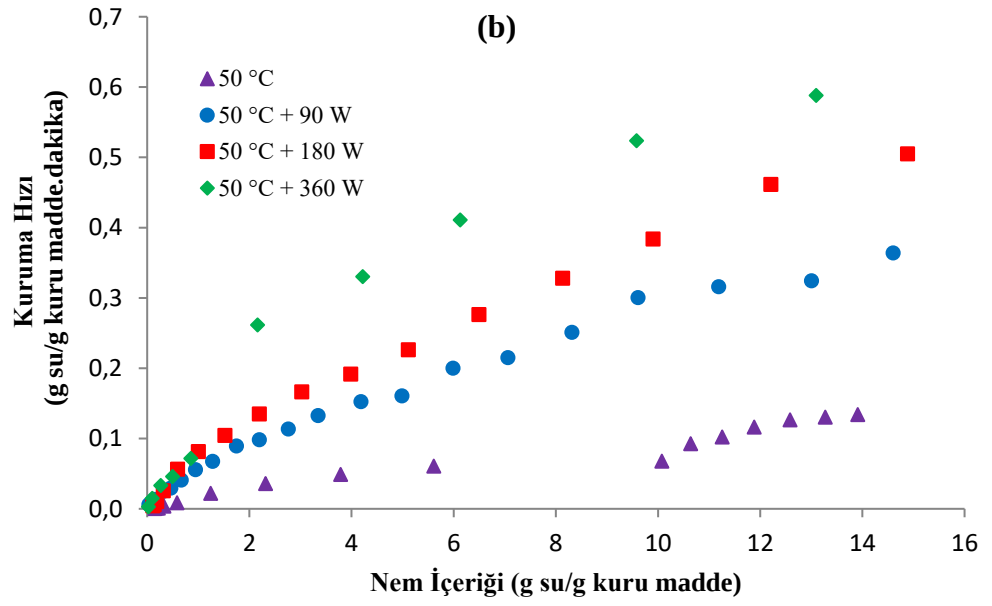
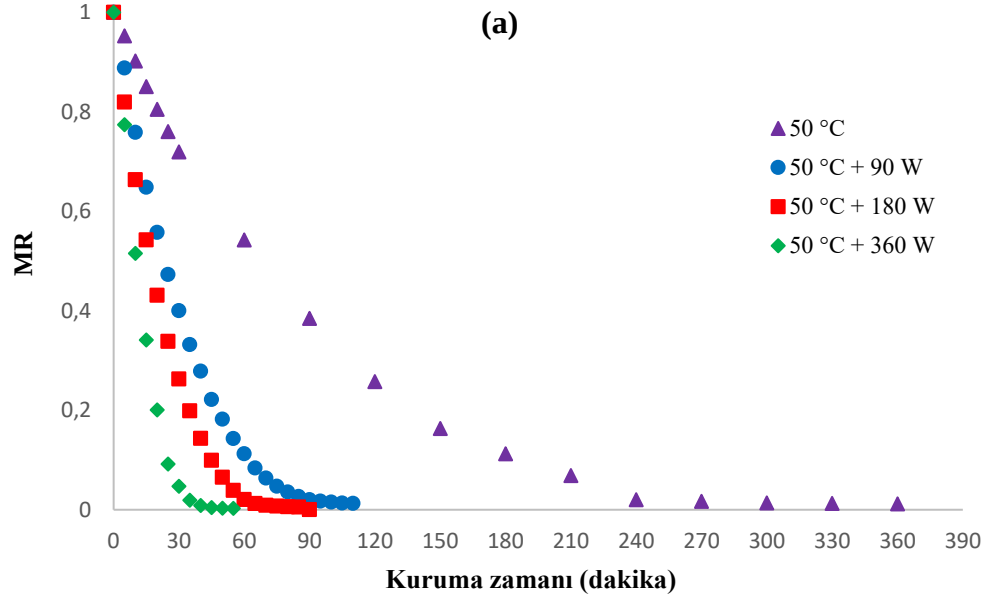
Mikrodalga enerjisinin, kuruma hızı üzerine etkisini incelemek için farklı mikrodalga güçleri ve kurutma sıcaklıklarında kurutulan balkabağı örneklerinin kuruma hızı Denklem 3.3'ten hesaplanmış ve bu değerler Şekil 4.1b-4.5b'de grafiksel olarak verilmiştir. Artan kurutma sıcaklığı ve mikrodalga güçlerinde kuruma hızının arttığı ancak azalan nem içeriğine bağlı olarak kurutma hızları arasındaki farkın azaldığı tespit edilmiştir. En yüksek kuruma hızlarına 50 °C, 60°C ve 70 °C'de sıcak havanın 360 W mikrodalga gücü ile kombine edildiği koşullarda ulaşılmıştır. Benzer şekilde elmanın 50, 60, 70 °C sıcak hava ve 120, 150 ve 180 W mikrodalga güçlerinin farklı kombinasyonları ile kurutulduğu bir çalışmada en yüksek kuruma hızı 70°C sıcak hava ile 180 W mikrodalga gücünün kombine edildiği koşulda gözlemlenmiştir. (Horuz 2018).



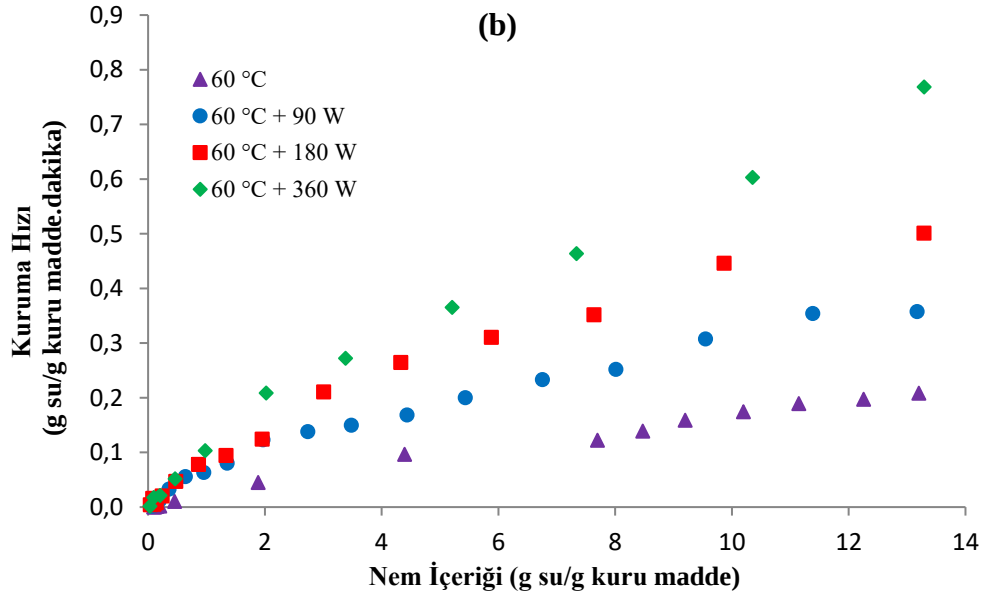
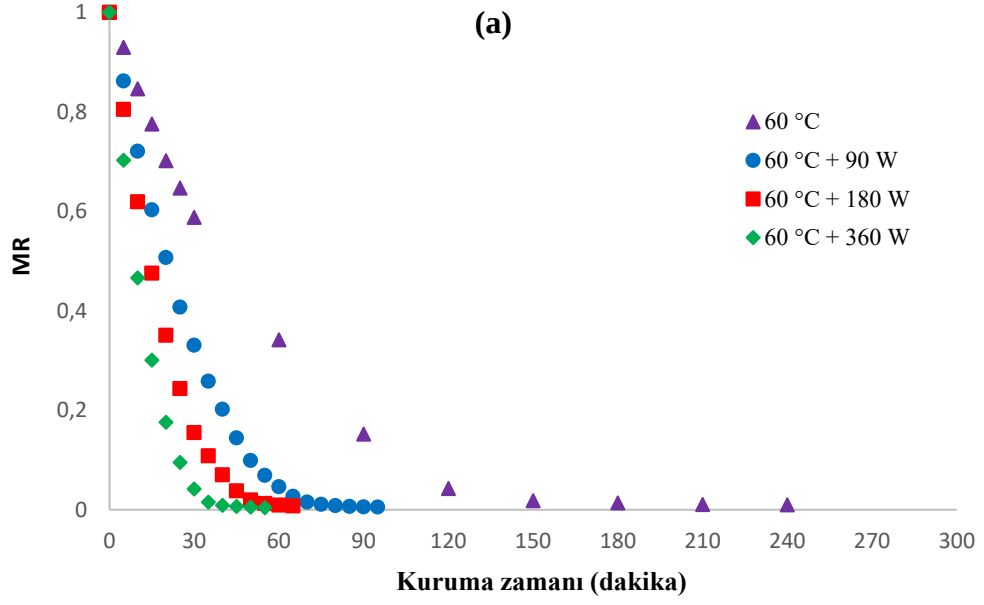
Şekil 4.1: Farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan balkabağı örneklerine ait kuruma eğrileri a) Nem oranının kuruma zamanı ile değişimi b) Kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi



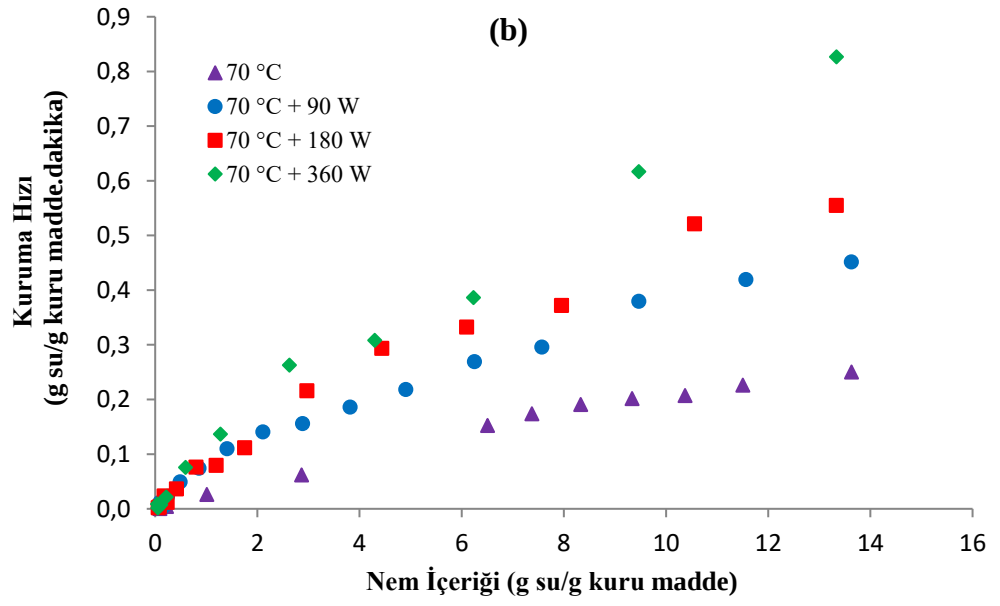
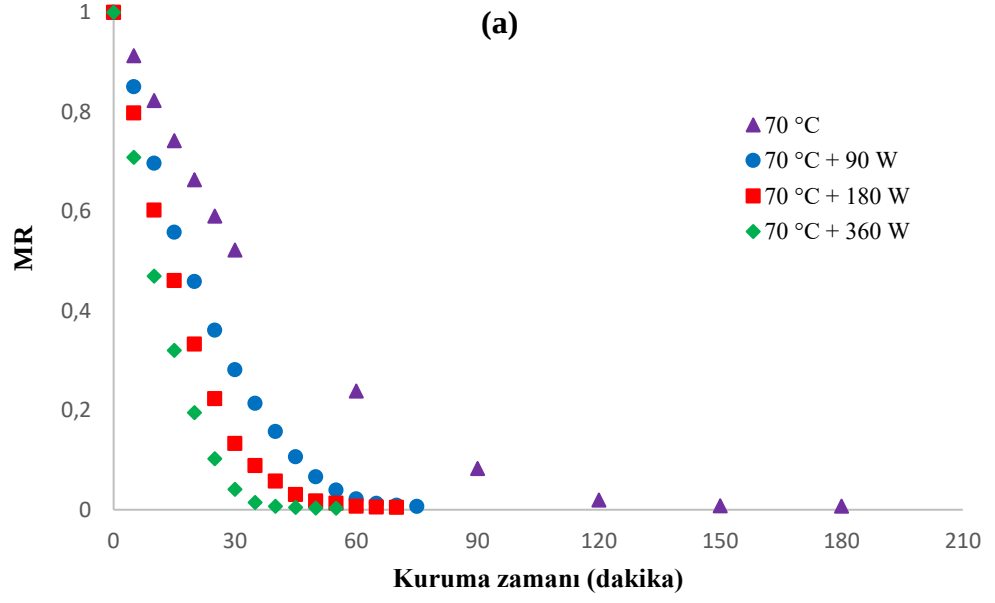
Şekil 4.2: Sıcak hava ile kurutulan balkabağı örneklerine ait kuruma eğrileri
a) Nem oranının kuruma zamanı ile değişimi b) Kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi



Şekil 4.3: 50 °C sıcak hava ve farklı mikrodalga güçlerinin kombinasyonu ile hibrit kurutulan balkabağı örneklerine ait kuruma eğrileri a) Nem oranının kuruma zamanı ile değişimi b) Kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi



Şekil 4.4: 60 °C sıcak hava ve farklı mikrodalga güçlerinin kombinasyonu ile hibrit kurutulan balkabağı örneklerine ait kuruma eğrileri a) Nem oranının kuruma zamanı ile değişimi b) Kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi



Şekil 4.5: 70 °C sıcak hava ve farklı mikrodalga güçlerinin kombinasyonu ile hibrit kurutulan balkabağı örneklerine ait kuruma eğrileri a) Nem oranının kuruma zamanı ile değişimi b) Kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi

Sıcak hava ve hibrit kurutma yöntemleri ile kurutulan balkabağı örneklerinin kurutulması yalnızca azalan hızda kuruma periyodunda gerçekleşmiştir. Mikrodalga kurutma yöntemi ile kurutulan balkabağı örneklerinde ise önce artan hız daha sonrasında azalan hızda kuruma periyodu gözlemlenmiştir. Üç kurutma yönteminde de belirgin bir sabit hızda kuruma periyodu gözlemlenmemiştir. Bu durumun gıdanın yüzeyindeki buharlaşma hızının yeterli seviyede desteklendiği sürece kuruma hızının sabit bir şekilde devam etmesi ancak yetersiz seviyede desteklenmesi durumunda kuruma hızının düşmesi olgusuna bağlı olarak gerçekleştiği düşünülmektedir. Mikrodalga kurutma yöntemi uygulanan örneklerde gözlemlenen ısınma periyodunun, sıcak hava ve hibrit kurutma yöntemleriyle kurutulan örneklerde görülmemesi ise iki nedene bağlanmıştır. Bunlardan ilki sadece mikrodalga uygulanan örneklerde kurumanın iç kısımdan başlayarak dış yüzeye doğru gerçekleşmesi, diğeri ise başlangıçta düşük sıcaklıkta olan su moleküllerinin mikrodalga uygulaması ile ısınması için geçen kısa süredir (Tepe, 2023, Uysal 2019).

Balkabağı örneklerinin 0,1 g su/g kuru madde nem içeriğine ulaşmaları için geçen toplam kuruma süresi Tablo 4.1’de verilmiştir. Artan kurutma sıcaklıklarında ve mikrodalga güçlerinde kuruma süresi kısalmıştır. En uzun ve en kısa kuruma süresi sırasıyla 362 dakika ile 50 °C sıcak havayla ve 36 dakika ile 70 °C + 360 W koşulunda hibrit kurutulan balkabağı örneklerine aittir. Benzer şekilde pazı yaprağının farklı kurutma sıcaklıkları (50, 75, 100 °C) ve mikrodalga güçleri (350, 500, 650 W) kullanılarak kurutulduğu bir çalışmada en kısa kuruma süresine 100 °C’nin 650 W mikrodalga gücü ile kombine edildiği koşulda ulaşılmıştır (Alibaş 2006).

Hibrit yöntemle kurutulan örnekler, yalnızca sıcak hava ve mikrodalga ile kurutulan örnekler ile kıyaslandığında kuruma süresinde sırasıyla %40,88-88,67 ve %25,53-%52,35 oranlarında kısalma meydana gelmiştir. Bu kısalma oranı sabit mikrodalga gücünde artan kurutma havası sıcaklıklarında azalırken, sabit sıcaklıkta artan mikrodalga güçlerinde artmaktadır. 60 °C sıcak havayla kurutulan örneklerle aynı sıcaklıktaki kurutma havası ile 90, 180 ve 360 W mikrodalga güçlerinin kombine edildiği hibrit koşullarda kuruma süresinde sırasıyla %48,51, %68,32 ve %81,19 oranlarında kısalma meydana gelmiştir. Bantle ve diğ. (2013), tuzlanmış Morina balığının mikrodalga-sıcak hava ile hibrit kurutulması sırasında 65 ve 155 W kg⁻¹

yoğunluğunda mikrodalga desteği ile kuruma süresinde %35 ile %90 oranında azalma sağlanabildiğini rapor etmişlerdir.

Tablo 4.1: Balkabağı örneklerinin 0,1 g su/g kuru madde nem içeriğine ulaşma süreleri

Kurutma Yöntemi	Kurutma Koşulları	Kuruma süresi (dakika)
		(0,1 g su/g kuru madde nem içeriğine kadar geçen süre)
Mikrodalga	90 W	170±0,98
	180 W	94±0,74
	360 W	66±0,60
Sıcak hava	50 °C	362±1,82
	60 °C	202±1,60
	70 °C	137±0,93
Hibrit	50 °C + 90 W	130±0,84
	50 °C + 180 W	70±0,69
	50 °C + 360 W	41±0,57
	60 °C + 90 W	104±1,08
	60 °C + 180 W	64±0,97
	60 °C + 360 W	38±0,71
	70 °C + 90 W	81±0,38
	70 °C + 180 W	47±0,65
	70 °C + 360 W	36±0,52

Sonuçlar ortalama±standart sapma şeklinde verilmiştir.

Hibrit kurutulan örneklerde yüksek mikrodalga güçlerinde kurutma sıcaklığındaki artışın kuruma süresi üzerine etkisinin sınırlı olduğu saptanmıştır. 360 W mikrodalga gücünün 50, 60 ve 70 °C sıcak hava ile kombine edildiği koşullarda balkabağı örnekleri için kuruma süresi sırasıyla 41, 38 ve 36 dakika olmuştur. Limon dilimlerinin hibrit (sıcak hava-mikrodalga) yöntem ile kurutulduğu bir çalışmada da en yüksek mikrodalga gücü seviyesi olan 2.04 W g⁻¹ ile 50 ve 55 °C sıcak havanın kombine edildiği koşullarda son nem içeriğine yakın kuruma sürelerinde (44 ve 45 dakika) ulaşıldığı, sıcak hava ile kurutma yöntemi ile kıyaslandığında 0,97 ve 2,04 W g⁻¹ mikrodalga desteği ile kuruma süresinde sırasıyla 17 ve 31 kat azalma sağlandığı bildirilmiştir (Sadeghi ve diğ. 2013).

4.1.2 Kuruma Kinetiğinin Modellenmesi

Farklı kurutma yöntemleri ve koşullarında kurutulan balkabağı örneklerinin kurutulması sırasında elde edilen nem oranı değerlerinin kuruma zamanı ile değişimini içeren deneysel veriler Tablo 3.2’de bilgileri sunulan on iki ayrı ince tabaka kurutma modeli ile modellenmiştir. Her kurutma koşulu için matematiksel modellere ait katsayı ve sabitler ile istatistiksel veriler Tablo 4.2’de verilmiştir.

Balkabağının kurutulmasını en iyi tanımlayan modelin belirlenmesinde kriterler yüksek R^2 ile düşük χ^2 ve RMSE olarak belirlenmiştir. Bu kriterlere göre balkabağı örneklerinin kuruma kinetiğini açıklayan en iyi modeller; yalnızca sıcak hava ve hibrit yöntemle kurutulan örnekler için Alibas model olurken; yalnız mikrodalga yöntemi uygulanan örnekler için Weibull Dağılımı ve Midilli-Küçük model olmuştur. Hibrit kurutma yöntemi ile kurutulan örneklerden sadece 70 °C + 90 W koşulunda kurutulan balkabağı örnekleri Midilli-Küçük modele uyum göstermiştir.

Bu çalışmada kurutma yöntemindeki değişikliğin aynı ürünün kuruma kinetiğinin farklı ince tabaka kurutma modeline uyum göstermesi yönünde sonuç vermesine benzer şekilde pepino meyvesine ait kuruma eğrileri sıcak hava ve mikrodalga kurutma yöntemleri için Midilli-Küçük model; sıcak hava-mikrodalga hibrit kurutma için ise Midilli- Küçük ve Wang & Singh modeller ile uyum göstermiştir (Miraei Ashtiani ve diğ. 2018). Mikrodalga kurutma yöntemi ile kurutulan Fuji çeşidi elmanın kuruma kinetiği Weibull Dağılımı modelle uyum gösterirken (Dai ve diğ. 2019), pomelo meyvesinin hibrit kurutulduğu bir çalışmada Midilli-Küçük en uyumlu model olarak rapor edilmiştir (Yıldız ve İzli 2019). Asma yaprağının farklı mikrodalga güç seviyelerinde kurutulmasını en iyi açıklayan model ise Alibas model olmuş ve bu modele en yakın regresyon katsayısına sahip diğer ince tabaka kurutma modeli Midilli-Küçük olarak rapor edilmiştir. Bu iki model birbirine yakın uyum göstermeleri Alibas modelin Midilli-Küçük denkleminde türetilmesinden kaynaklanmaktadır (Alibaş 2012). Mantarın 180, 360, 540, 720 ve 900 W mikrodalga güçlerinde kurutulduğu bir diğer çalışmada Alibas model en iyi tanımlayıcı model olurken, 180 W mikrodalga gücünde kurutulan örnekler Weibull Dağılımı modele uyum göstererek istisna oluşturmuşlardır (Karaaslan ve Havuz 2014).

Tablo 4.2:Farklı kurutma yöntemleri ve koşullarında kurutulan balkabağı örnekleri için model katsayıları, sabitleri ve istatistiksel parametreler

Model No	Model katsayıları ve sabitleri			R ²	RMSE	χ ²
Örnek kodu: 90W						
1	k= 0,0214			0,9990	0,0085	0,000075
2	k= 0,0216	a= 1,0092		0,9991	0,0082	0,000070
3	k= 0,0193	n= 1,0248		0,9992	0,0077	0,000062
4	k= 0,0213	n= 1,0248		0,9992	0,0077	0,000062
5	k= 0,0193	n= 1,0258	a= 0,9992	0,9992	0,0077	0,000064
6	k= 0,0220	a= 1,0067	c= 0,0056	0,9987	0,0100	0,000109
7	k= 0,0245 n= 1,0205	a= 0,9993	b= 0,0053	0,9992	0,0077	0,000066
8	a= -0,0143	b= 0,0001		0,9638	0,0518	0,002833
9	k= 0,0206	a= 1,0154	g= 0,000001	0,9996	0,0055	0,000032
10	a= 0,8590	b= -0,0116	c= 0,00004	0,9783	0,0401	0,001744
11	k= 0,0232 n= 0,9675	a= -0,0228	b= -1,0319	0,9997	0,0049	0,000027
12	k= 0,0273 n= 0,9727	a= 1,0320 g= -0,0229	b= 0,0041	0,9997	0,0049	0,000028
Örnek kodu: 180W						
1	k= 0,0406			0,9945	0,0216	0,000488
2	k= 0,0419	a= 1,0344		0,9957	0,0192	0,000404
3	k= 0,0248	n= 1,1438		0,9990	0,0094	0,000098
4	k= 0,0394	n= 1,1438		0,9990	0,0094	0,000098
5	k= 0,0232	n= 1,1595	a= 0,9897	0,9990	0,0091	0,000096
6	k= 0,0431	a= 1,0287	c= 0,0096	0,9939	0,0228	0,000603
7	k= 0,0001 n= 2,7091	a= 1,0025	b= -0,0359	0,9997	0,0050	0,000031
8	a= -0,0264	b= 0,0002		0,9777	0,0435	0,002084
9	k= 0,0292	a= 7,4895	g= 0,0278	0,9981	0,0126	0,000184
10	a= 0,9243	b= -0,0236	c= 0,00015	0,9866	0,0337	0,001315
11	k= 0,0255 n= 1,1253	a= -0,0105	b= -1,0042	0,9992	0,0081	0,000081
12	k= 0,0300 n= 1,1105	a= 1,0046 g= -0,0107	b= 0,0047	0,9992	0,0082	0,000086
Örnek kodu: 360W						
1	k= 0,0650			0,9982	0,0124	0,000165
2	k= 0,0662	a= 1,0193		0,9986	0,0109	0,000138
3	k= 0,0503	n= 1,0865		0,9997	0,0049	0,000028
4	k= 0,0639	n= 1,0865		0,9997	0,0049	0,000028
5	k= 0,0507	n= 1,0844	a= 1,0017	0,9997	0,0049	0,000030
6	k= 0,0678	a= 1,0142	c= 0,0082	0,9978	0,0139	0,000242
7	k= 0,0546 n= 1,0796	a= 1,0017	b= 0,0039	0,9997	0,0049	0,000033
8	a= -0,0406	b= 0,0004		0,9594	0,0596	0,004097
9	k= 0,0628	a= 1,0126	g= 0,0001	0,9989	0,0097	0,000117
10	a= 0,9067	b= -0,0354	c= 0,00034	0,9737	0,0480	0,002879
11	k= 0,0510 n= 1,0818	a= -0,0008	b= -1,0028	0,9997	0,0049	0,000033
12	k= 0,0550 n= 1,0769	a= 1,0028 g= -0,0009	b= 0,0040	0,9997	0,0049	0,000036

Tablo 4.2 (devam)

Model No	Model katsayıları			R ²	RMSE	χ ²
Örnek kodu: 50 °C						
1	k=	0,0114		0,9972	0,0198	0,000415
2	k=	0,0116	a= 1,0153	0,9976	0,0185	0,000386
3	k=	0,0079	n= 1,0801	0,9986	0,0143	0,000230
4	k=	0,0114	n= 1,0801	0,9986	0,0143	0,000230
5	k=	0,0066	n= 1,1163 a= 0,9841	0,9987	0,0134	0,000216
6	k=	0,0120	a= 1,0066 c= 0,0118	0,9965	0,0222	0,000591
7	k=	0,0000002	a= 0,9954 b= -0,0102	0,9995	0,0081	0,000084
	n=	2,7674				
8	a=	-0,0074	b= 0,000014	0,9853	0,0455	0,002660
9	k=	0,0081	a= 7,1130 g= 0,0077	0,9990	0,0119	0,000171
10	a=	0,9452	b= -0,0068 c= 0,00001	0,9921	0,0333	0,001332
11	k=	0,0076	a= -0,0129 b= -1,0023	0,9990	0,0120	0,000185
	n=	1,0797				
12	k=	0,0000003	a= 0,9875 b= -0,0102	0,9996	0,0077	0,000077
	n=	2,7687	g= 0,0066			
Örnek kodu: 60 °C						
1	k=	0,0189		0,9950	0,0262	0,000741
2	k=	0,0198	a= 1,0298	0,9962	0,0229	0,000611
3	k=	0,0113	n= 1,1347	0,9985	0,0143	0,000240
4	k=	0,0193	n= 1,1347	0,9985	0,0143	0,000240
5	k=	0,0104	n= 1,1544 a= 0,9906	0,9986	0,0140	0,000250
6	k=	0,0202	a= 1,0228 c= 0,0096	0,9953	0,0256	0,000833
7	k=	0,0000002	a= 1,0029 b= -0,0171	0,9995	0,0081	0,000092
	n=	3,2043				
8	a=	-0,0118	b= 0,000035	0,9674	0,0672	0,005274
9	k=	0,0142	a= 9,5981 g= 0,0137	0,9971	0,0200	0,000511
10	a=	0,9265	b= -0,0105 c= 0,00003	0,9806	0,0519	0,003430
11	k=	0,0107	a= -0,0035 b= -0,9952	0,9986	0,0138	0,000265
	n=	1,1444				
12	k=	0,0000002	a= 0,9901 b= -0,0172	0,9997	0,0067	0,000070
	n=	3,2843	g= 0,0112			
Örnek kodu: 70 °C						
1	k=	0,0225		0,9943	0,0274	0,000817
2	k=	0,0237	a= 1,0339	0,9959	0,0231	0,000638
3	k=	0,0125	n= 1,1663	0,9995	0,0080	0,000077
4	k=	0,0234	n= 1,1663	0,9995	0,0080	0,000077
5	k=	0,0116	n= 1,1838 a= 0,9917	0,9996	0,0075	0,000074
6	k=	0,0241	a= 1,0285 c= 0,0071	0,9951	0,0252	0,000845
7	k=	0,000031	a= 1,0031 b= -0,0194	0,9999	0,0035	0,000019
	n=	2,2403				
8	a=	-0,0150	b= 0,0001	0,9803	0,0507	0,003079
9	k=	0,0162	a= 9,4764 g= 0,0156	0,9974	0,0184	0,000452
10	a=	0,9481	b= -0,0142 c= 0,00005	0,9883	0,0390	0,002033
11	k=	0,0121	a= -0,0053 b= -0,9985	0,9996	0,0068	0,000069
	n=	1,1689				
12	k=	0,000014	a= 1,0001 b= -0,0198	0,9999	0,0033	0,000019
	n=	2,4270	g= 0,0037			

Tablo 4.2 (devam)

Model No	Model katsayıları			R ²	RMSE	χ ²
Örnek kodu: 50 °C + 90 W						
1	k=	0,0329		0,9909	0,0286	0,000854
2	k=	0,0345	a= 1,0506	0,9935	0,0241	0,000639
3	k=	0,0163	n= 1,1935	0,9991	0,0089	0,000087
4	k=	0,0318	n= 1,1935	0,9991	0,0089	0,000087
5	k=	0,0150	n= 1,2126 a= 0,9887	0,9992	0,0085	0,000083
6	k=	0,0356	a= 1,0428 c= 0,0125	0,9909	0,0285	0,000934
7	k=	0,000045	a= 1,0050 b= -0,0270	0,9998	0,0043	0,000022
	n=	2,3091				
8	a=	-0,0229	b= 0,0001	0,9930	0,0251	0,000690
9	k=	0,0213	a= 9,9674 g= 0,0204	0,9976	0,0146	0,000246
10	a=	0,9621	b= -0,0216 c= 0,00012	0,9951	0,0210	0,000506
11	k=	0,0174	a= -0,0160 b= -1,0108	0,9995	0,0069	0,000057
	n=	1,1631				
12	k=	0,000007	a= 0,9994 b= -0,0284	0,9998	0,0037	0,000018
	n=	2,7669	g= 0,0083			
Örnek kodu: 50 °C + 180 W						
1	k=	0,0460		0,9915	0,0277	0,000811
2	k=	0,0476	a= 1,0368	0,9928	0,0254	0,000722
3	k=	0,0252	n= 1,1812	0,9980	0,0134	0,000199
4	k=	0,0444	n= 1,1812	0,9980	0,0134	0,000199
5	k=	0,0226	n= 1,2090 a= 0,9830	0,9982	0,0127	0,000191
6	k=	0,0476	a= 1,0367 c= 0,0002	0,9928	0,0255	0,000771
7	k=	0,000002	a= 1,0000 b= -0,0401	0,9999	0,0025	0,000008
	n=	3,2473				
8	a=	-0,0297	b= 0,0002	0,9784	0,0440	0,002165
9	k=	0,0322	a= 10,6548 g= 0,0311	0,9968	0,0169	0,000338
10	a=	0,9258	b= -0,0268 c= 0,00019	0,9873	0,0337	0,001352
11	k=	0,0248	a= -0,0072 b= -0,9943	0,9986	0,0111	0,000156
	n=	1,1756				
12	k=	0,000002	a= 0,9984 b= -0,0403	0,9999	0,0022	0,000007
	n=	3,3290	g= 0,0019			
Örnek kodu: 50 °C + 360 W						
1	k=	0,0768		0,9820	0,0438	0,002089
2	k=	0,0803	a= 1,0545	0,9851	0,0398	0,001905
3	k=	0,0275	n= 1,3694	0,9994	0,0083	0,000082
4	k=	0,0726	n= 1,3694	0,9994	0,0083	0,000082
5	k=	0,0270	n= 1,3754 a= 0,9967	0,9994	0,0082	0,000090
6	k=	0,0809	a= 1,0524 c= 0,0027	0,9844	0,0407	0,002213
7	k=	0,0270	a= 0,9967 b= 0,0000	0,9994	0,0082	0,000102
	n=	1,3753				
8	a=	-0,0482	b= 0,0006	0,9771	0,0494	0,002933
9	k=	0,0542	a= 10,3855 g= 0,0523	0,9885	0,0349	0,001628
10	a=	0,9491	b= -0,0451 c= 0,00053	0,9812	0,0448	0,002675
11	k=	0,0280	a= -0,0051 b= -1,0029	0,9994	0,0078	0,000091
	n=	1,3571				
12	k=	0,0028	a= 1,0010 b= -0,0415	0,9996	0,0065	0,000073
	n=	1,9008	g= 0,0002			

Tablo 4.2 (devam)

Model No	Model katsayıları			R ²	RMSE	χ ²	
Örnek kodu: 60 °C + 90 W							
1	k=	0,0395		0,9857	0,0367	0,001417	
2	k=	0,0415	a= 1,0557	0,9888	0,0325	0,001170	
3	k=	0,0165	n= 1,2520	0,9979	0,0140	0,000219	
4	k=	0,0377	n= 1,2520	0,9979	0,0140	0,000219	
5	k=	0,0143	n= 1,2885	a= 0,9804	0,9982	0,0132	0,000204
6	k=	0,0420	a= 1,0522	c= 0,0053	0,9875	0,0343	0,001385
7	k=	0,000007	a= 1,0034	b= -0,0321	0,9999	0,0037	0,000017
	n=	2,9257					
8	a=	-0,0269	b= 0,0002	0,9933	0,0251	0,000701	
9	k=	0,0261	a= 8,6006	g= 0,0248	0,9944	0,0229	0,000619
10	a=	0,9628	b= -0,0254	c= 0,00017	0,9954	0,0209	0,000514
11	k=	0,0161	a= -0,0088	b= -0,9941	0,9986	0,0115	0,000165
	n=	1,2484					
12	k=	0,000004	a= 0,9996	b= -0,0324	0,9999	0,0033	0,000015
	n=	3,0599	g= 0,0036				
Örnek kodu: 60 °C + 180 W							
1	k=	0,0562		0,9883	0,0341	0,001254	
2	k=	0,0586	a= 1,0461	0,9906	0,0306	0,001090	
3	k=	0,0264	n= 1,2446	0,9990	0,0100	0,000116	
4	k=	0,0539	n= 1,2446	0,9990	0,0100	0,000116	
5	k=	0,0248	n= 1,2613	a= 0,9903	0,9991	0,0096	0,000117
6	k=	0,0597	a= 1,0406	c= 0,0075	0,9889	0,0331	0,001396
7	k=	0,0003	a= 1,0004	b= -0,0424	0,9998	0,0040	0,000023
	n=	2,2513					
8	a=	-0,0386	b= 0,0004	0,9940	0,0244	0,000693	
9	k=	0,0367	a= 7,6963	g= 0,0346	0,9959	0,0202	0,000518
10	a=	0,9704	b= -0,0370	c= 0,00035	0,9955	0,0212	0,000570
11	k=	0,0278	a= -0,0156	b= -1,0098	0,9994	0,0078	0,000086
	n=	1,2128					
12	k=	0,0001	a= 0,9969	b= -0,0435	0,9999	0,0038	0,000023
	n=	2,4072	g= 0,0040				
Örnek kodu: 60 °C + 360 W							
1	k=	0,0838		0,9928	0,0265	0,000768	
2	k=	0,0859	a= 1,0287	0,9937	0,0248	0,000741	
3	k=	0,0477	n= 1,2073	0,9992	0,0090	0,000098	
4	k=	0,0804	n= 1,2073	0,9992	0,0090	0,000098	
5	k=	0,0466	n= 1,2142	a= 0,9952	0,9992	0,0089	0,000106
6	k=	0,0868	a= 1,0258	c= 0,0038	0,9930	0,0263	0,000922
7	k=	0,0001	a= 1,0006	b= -0,0697	0,9999	0,0032	0,000015
	n=	2,6457					
8	a=	-0,0496	b= 0,0006	0,9565	0,0654	0,005133	
9	k=	0,0620	a= 8,8520	g= 0,0598	0,9963	0,0191	0,000485
10	a=	0,9058	b= -0,0438	c= 0,00053	0,9718	0,0527	0,003700
11	k=	0,0477	a= -0,0027	b= -0,9986	0,9993	0,0084	0,000106
	n=	1,2024					
12	k=	0,0001	a= 0,9973	b= -0,0710	0,9999	0,0026	0,000011
	n=	2,8697	g= 0,0038				

Tablo 4.2 (devam)

Model No	Model katsayıları			R ²	RMSE	χ ²
Örnek kodu: 70 °C + 90 W						
1	k=	0,0437		0,9859	0,0372	0,001474
2	k=	0,0458	a= 1,0523	0,9889	0,0329	0,001236
3	k=	0,0194	n= 1,2433	0,9979	0,0142	0,000230
4	k=	0,0420	n= 1,2434	0,9979	0,0142	0,000230
5	k=	0,0176	n= 1,2684 a= 0,9860	0,9981	0,0137	0,000230
6	k=	0,0468	a= 1,0460 c= 0,0087	0,9869	0,0358	0,001576
7	k=	0,000007	a= 1,0078 b= -0,0366	0,9997	0,0054	0,000038
	n=	2,9959				
8	a=	-0,0310	b= 0,0002	0,9978	0,0147	0,000246
9	k=	0,0258	a= 13,4529 g= 0,0248	0,9970	0,0171	0,000361
10	a=	0,9811	b= -0,0301 c= 0,00023	0,9983	0,0128	0,000203
11	k=	0,0231	a= -0,0416 b= -1,0380	0,9993	0,0082	0,000089
	n=	1,1601				
12	k=	0,4017	a= 1,0445 b= 0,3809	0,9993	0,0085	0,000105
	n=	1,0132	g= -0,0476			
Örnek kodu: 70 °C + 180 W						
1	k=	0,0589		0,9885	0,0334	0,001194
2	k=	0,0613	a= 1,0461	0,9907	0,0301	0,001042
3	k=	0,0273	n= 1,2512	0,9989	0,0103	0,000122
4	k=	0,0563	n= 1,2512	0,9989	0,0103	0,000122
5	k=	0,0258	n= 1,2674 a= 0,9905	0,9990	0,0100	0,000124
6	k=	0,0621	a= 1,0428 c= 0,0047	0,9896	0,0317	0,001254
7	k=	0,0003	a= 1,0001 b= -0,0440	0,9997	0,0054	0,000039
	n=	2,2624				
8	a=	-0,0382	b= 0,0004	0,9813	0,0426	0,002095
9	k=	0,0411	a= 10,3712 g= 0,0397	0,9943	0,0236	0,000696
10	a=	0,9441	b= -0,0355 c= 0,00033	0,9862	0,0366	0,001671
11	k=	0,0269	a= -0,0043 b= -0,9964	0,9991	0,0094	0,000121
	n=	1,2497				
12	k=	0,0001	a= 0,9950 b= -0,0457	0,9998	0,0048	0,000034
	n=	2,5138	g= 0,0058			
Örnek kodu: 70 °C + 360 W						
1	k=	0,0816		0,9918	0,0284	0,000882
2	k=	0,0836	a= 1,0288	0,9927	0,0268	0,000864
3	k=	0,0465	n= 1,2045	0,9983	0,0131	0,000205
4	k=	0,0783	n= 1,2045	0,9983	0,0131	0,000205
5	k=	0,0451	n= 1,2134 a= 0,9938	0,9983	0,0129	0,000223
6	k=	0,0843	a= 1,0266 c= 0,0028	0,9921	0,0279	0,001039
7	k=	0,000006	a= 1,0020 b= -0,0713	0,9997	0,0050	0,000038
	n=	3,5295				
8	a=	-0,0491	b= 0,0006	0,9635	0,0602	0,004347
9	k=	0,0598	a= 7,5217 g= 0,0572	0,9959	0,0202	0,000546
10	a=	0,9124	b= -0,0437 c= 0,00052	0,9766	0,0482	0,003096
11	k=	0,0468	a= -0,0035 b= -0,9984	0,9985	0,0122	0,000223
	n=	1,1965				
12	k=	0,000001	a= 0,9996 b= -0,0726	0,9998	0,0046	0,000036
	n=	3,9830	g= 0,0034			

4.1.3 Etkin Difüzyon Katsayısı

Dilim kabulü yapılan balkabağı örnekleri için etkin difüzyon katsayıları Denklem 3.6'nın eğiminden hesaplanmıştır (Tablo 4.3). Balkabağı örnekleri için en düşük etkin difüzyon katsayısı; 50°C'de kurutulan kontrol örneği için $4,86 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak bulunurken en yüksek değer 70 °C + 360 W koşulunda kurutulan örnek için $29,72 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak bulunmuştur. Tüm kurutma yöntemleri ve koşullarında balkabağı için elde edilen etkin difüzyon katsayısı değerleri, literatürde yapılan çalışmalarla gıdalar için tanımlanmış referans aralıkta (10^{-11} - $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$) kalmıştır (Tunde-Akintunde ve Ogunlakin 2012). Ayrıca 50, 55, 60 °C'de kurutulan balkabağı örnekleri için etkin difüzyon katsayısı bu çalışmada yalnız sıcak hava ile kurutulan örneklerle uyumlu olarak $3,88$ - $9,38 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak raporlanmıştır (Doymaz 2007).

Kurutma sıcaklığı ve mikrodalga gücü arttıkça, balkabağı örneklerine ait etkin difüzyon katsayısı değerleri de artmıştır. Benzer sonuçlar sıcak hava ve mikrodalga ile kurutulan soğan (Arslan ve Özcan 2010), sıcak hava ve sıcak hava-mikrodalga ile hibrit kurutulan limon dilimleri (Sadeghi ve diğ. 2013) için de raporlanmıştır. Bu durum kurutma sıcaklığındaki artış ile suyun viskozitesinde ve dolayısıyla sıvı çıkış direncindeki azalmaya bağlı olarak gıdadaki kapiller içine suyun difüzyonun kolaylaşması ve nem kaybının artmasından kaynaklanmaktadır (Torki-Harchegani ve diğ 2016). Mikrodalga gücündeki artış ile meydana gelen ısınma ve su moleküllerinin hareketinin artması da suyun difüzyonunda artışa neden olmaktadır (Zarein ve diğ. 2015).

Hibrit kurutma ve sıcak hava ile kurutma yöntemleri kıyaslandığında; sabit mikrodalga gücünde artan kuruma havası sıcaklıklarında etkin difüzyon katsayısındaki artış azalmıştır. Örneğin yalnızca sıcak hava ile kurutulan örneğe kıyasla 90 W mikrodalga gücü ilavesiyle etkin difüzyon katsayısında 50, 60 ve 70 °C'de sırasıyla %141,77; %124,81 ve %81,16 artış sağlanırken; 180 W mikrodalga gücü ilavesiyle bu artış %266,87, %191,37 ve %143,70 olarak gerçekleşmiştir.

Hibrit kurutulan balkabağı örneklerinde; sabit sıcaklıkta artan mikrodalga güçlerinde yalnız mikrodalga ile kurutulan örneklere göre ve sabit mikrodalga gücünde artan kurutma havası sıcaklıklarında; yalnız sıcak hava ile kurutulan örneklere göre etkin difüzyon katsayısında gerçekleşen artış yükselmiştir. Örneğin 360

W mikrodalga gücünün 50, 60 ve 70 °C sıcak hava ile kombine edilerek kurutulduğu örneklerde sadece 360 W mikrodalga ile kurutulan örneğe göre artış sırasıyla; %26,90, %40,32 ve %40,99 olarak gerçekleşmiştir. Yine 70 °C sabit kurutma sıcaklığında 90, 180, 360 W mikrodalga ile kombine edilerek kurutulan örneklerde sadece 70 °C sıcak hava ile kurutulan örneğe göre artış sırasıyla; %81,16, %143,70, %243,58 artmıştır. Hibrit kurutma ile etkin difüzyon katsayısında sağlanan artış; bu parametrenin gıdadaki suyun taşınımı karakterize etmesi açısından önemlidir.

Tablo 4.3: Farklı kurutma yöntemleri ve koşullarında kurutulan balkabağı örneklerinin etkin difüzyon katsayısı ve toplam enerji tüketimi değerleri

Kurutma Yöntemi	Kurutma Koşulları	$Deff \times 10^{10}$ (m ² /s)	Toplam enerji tüketimi ¹ (kWh)
Mikrodalga	90 W	6,48	0,25±0,00 ^a
	180 W	12,43	0,28±0,02 ^a
	360 W	21,08	0,40±0,06 ^b
Sıcak hava	50 °C	4,86	2,68±0,13 ^k
	60 °C	6,49	2,07±0,02 ^j
	70 °C	8,65	1,76±0,01 ⁱ
Hibrit	50 °C + 90 W	11,75	1,17±0,06 ^{gh}
	50 °C + 180 W	17,83	0,73±0,05 ^e
	50 °C + 360 W	26,75	0,56±0,05 ^c
	60 °C + 90 W	14,59	1,23±0,10 ^h
	60 °C + 180 W	18,91	0,85±0,01 ^f
	60 °C + 360 W	29,58	0,62±0,06 ^{cd}
	70 °C + 90 W	15,67	1,15±0,02 ^g
	70 °C + 180 W	21,08	0,74±0,01 ^e
	70 °C + 360 W	29,72	0,67±0,01 ^{de}

¹Aynı sütunda farklı üssel harfler ortalamalar arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermektedir (p<0,05).

Sonuçlar ortalama±standart sapma şeklinde verilmiştir.

4.1.4 Toplam Enerji Tüketimi

Balkabağı örneklerinin 0,1 g su/g kuru madde nem içeriğine kadar kurutulması esnasında gerçekleşen toplam enerji tüketimi Denklem 3.22-3.24'ten hesaplanmıştır. Horuz (2018) farklı meyve ve sebzelerim hibrit kurutma (sıcak hava-mikrodalga) yöntemi ile kurutulduğu çalışmasında enerji tüketimini deneysel olarak ölçmüş ve

ayrıca bu tez çalışmasında da kullanılan denklemlerle teorik olarak hesaplamıştır. Teorik ve deneysel sonuçlar arasında kuvvetli bir korelasyon ($R^2=0,9724$) olduğunu ve teorik hesaplamanın gerçek sarfiyata uyumlu sonuç verdiğini raporlamışlardır.

Balkabağı örneklerinin sıcak hava, mikrodalga ve hibrit kurutma yöntemleri ile 0,1 g su/g kuru madde nem içeriğine kadar kurutulması için harcanan toplam enerji miktarları sırasıyla 0,25-0,40 kWh, 1,76-2,68 kWh ve 0,56-1,23 kWh olarak belirlenmiştir. En yüksek enerji sarfiyatı 2,68 kWh ile 50 °C sıcak hava ile kurutulan örnek için gerçekleşirken, en düşük sarfiyata 0,25 kWh ile 90 W mikrodalga gücünde kurutulan örnek sahip olmuştur. Sıcak hava ile kurutma ve mikrodalga kurutma yöntemleri ile hibrit koşullarda kurutulan örnekler toplam enerji tüketimi açısından kıyaslandığında yöntemler arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğu tespit edilmiştir ($p<0,05$). Bu açıdan bakıldığında hibrit kurutma ile sıcak hava kurutma yöntemine göre daha az enerji sarfiyatı ile daha kısa sürede hedeflenen son nem içeriğine ulaşmak mümkündür. Örneğin 50 °C’de kurutulan balkabağı örneği için toplam kuruma süresi 362 dakika, toplam enerji tüketimi ise 2,68 kWh iken bu sıcaklığın 90 W mikrodalga gücü ile kombine edildiği hibrit koşulda kuruma süresi 2,78 kat (130 dakika), toplam enerji tüketimi 2,29 kat (1,17 kWh) düşmektedir (Tablo 4.1-4.3).

Yalnızca sıcak hava ile kurutulan örnekler için toplam enerji tüketimi artan kurutma sıcaklığında düşüş göstermiş ve bu yöntem için kurutma sıcaklığının enerji sarfiyatı üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$). Hibrit yöntemle kurutulan örneklerde sabit kurutma sıcaklığında artan mikrodalga güçlerinde enerji tüketimi azalmıştır. Hibrit yöntemle kurutulan örnekler içinde en düşük enerji sarfiyatı 50 °C + 360 W kodlu balkabağı örneğine aittir. Benzer durum pepino meyvesinin sıcak hava (50 ve 75 °C), mikrodalga (90 ve 160 W) ve bu koşulların kombinasyonu içeren hibrit kurutma yöntemi ile kurutulduğu çalışmada raporlanmıştır. Bu çalışmada artan kurutma sıcaklıklarında enerji tüketimi azalırken, en düşük enerji tüketimi 50 °C sıcak havanın 160 W mikrodalga gücü ile kombine edildiği koşulda 0,580 kWh olarak gerçekleşmiştir (İzli ve diğ. 2021).

Mikrodalga ile kurutma yönteminde artan mikrodalga güçlerinde enerji sarfiyatı artmıştır ancak 90 W ve 180 W koşulları enerji tüketimi açısından kıyaslandığında istatistiksel açıdan fark bulunmamıştır ($p>0,05$). Mevcut çalışmayla

uyumlu şekilde 90, 180, 270 ve 360 W mikrodalga güçlerinde kurutulan sığır etleri için enerji tüketimleri sırasıyla 0,39, 0,37, 0,27 ve 0,24 kWh olarak bildirilmiş ve 90 W ile 180W arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır (Kipcak ve İsmail 2021). Yapılan literatür araştırmasında mikrodalga gücündeki artış ile toplam enerji tüketiminin azaldığı ve arttığı çalışmalar olduğu görülmüş ve bu farklı eğilimlerin mikrodalga gücünün kuruma süresinde yarattığı kısalmaya bağlı olarak gerçekleştiği sonucuna varılmıştır. Örneğin çemen otu yapraklarının 30, 50, 80 ve 100 W mikrodalga güçlerinde kurutulması sırasında enerji tüketimi artan mikrodalga güçleriyle önce artmış ardından azalmıştır (Khan ve diğ. 2021).

Hibrit kurutulan örnekler kendi içerisinde kıyaslandığında; sabit mikrodalga gücünün farklı kurutma sıcaklıkları ile kombine edildiği koşulların enerji tüketimi açısından birbiri ile ayrılmadığı ($p>0,05$), bu koşullardan sadece 60 °C + 180 W koşulunun istatistiksel olarak diğer tüm koşullardan farklı olduğu tespit edilmiştir. Hibrit kurutulan örneklerde sabit sıcaklıkta artan mikrodalga güçlerinde enerji tüketimi azalmaktadır. 50 ve 60 °C sabit sıcaklıklarındaki kurutma havasının artan mikrodalga güçleri ile kombine edildiği koşulların toplam enerji tüketimi üzerine etkisi anlamlıdır ($p<0,05$). Benzer sonuçlar elma örneklerinin hibrit kurutulduğu bir çalışmada raporlanmış ve bu durum artan mikrodalga güçlerinde kuruma süresinde meydana gelen kısalmayla ilişkilendirilmiştir (Horuz ve diğ. 2018)

4.1.5 Rehidrasyon Oranı ve Su Tutma Kapasitesi

Tüketiciler açısından kuru ürünlerin kısa sürede yüksek su emme kapasitesine sahip olmaları bir tercih sebebi olup, kuru ürünlerin rehidrasyon kabiliyetleri son ürün kalitesi açısından önemli bir kalite kriteridir (Šumić ve diğ. 2016). Kuru balkabağı örneklerinin rehidrasyon oranı Denklem 3.25 ve rehidre örneklerin su tutma kapasiteleri Denklem 3.26 kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 4.4'te sunulmuştur. Tüm kurutma yöntemleri ve koşulları içinde en düşük ve en yüksek rehidrasyon oranına sırasıyla 360 W (4,65) ve 50 °C + 90 W (6,64) koşullarında ulaşılmıştır.

Tablo 4.4: Farklı kurutma yöntemleri ve koşullarında kurutulan balkabağı örneklerine ait rehidrasyon oranı ve su tutma kapasitesi değerleri

Kurutma Yöntemi	Kurutma Koşulları	Rehidrasyon oranı ¹ (RO)	Su tutma kapasitesi ¹ (STK)
Mikrodalga	90 W	6,45±0,18 ^{gh}	64,08±1,48 ^{bc}
	180 W	4,73±0,17 ^{ab}	59,74±1,20 ^a
	360 W	4,65±0,14 ^a	58,56±0,56 ^a
Sıcak hava	50 °C	6,30±0,10 ^{gh}	65,97±1,50 ^c
	60 °C	5,84±0,15 ^{ef}	69,63±1,30 ^{de}
	70 °C	5,71±0,14 ^e	74,73±0,36 ^f
Hibrit	50 °C + 90 W	6,64±0,26 ^h	61,21±0,94 ^{ab}
	50 °C + 180 W	4,91±0,07 ^{abc}	66,92±1,33 ^{cd}
	50 °C + 360 W	4,69±0,16 ^a	58,98±1,03 ^a
	60 °C + 90 W	6,14±0,07 ^{fg}	64,91±2,16 ^c
	60 °C + 180 W	5,25±0,04 ^{cd}	71,15±0,46 ^e
	60 °C + 360 W	5,07±0,07 ^{bc}	61,45±0,55 ^{ab}
	70 °C + 90 W	6,46±0,13 ^{gh}	61,02±0,26 ^a
	70 °C + 180 W	5,59±0,09 ^{de}	72,24±1,24 ^{ef}
	70 °C + 360 W	5,10±0,15 ^c	58,89±1,22 ^a

¹Aynı sütunda farklı üssel harfler ortalamalar arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermektedir (p<0,05).

Sonuçlar ortalama±standart sapma şeklinde verilmiştir.

Mikrodalga kurutma yöntemi için artan mikrodalga güçlerinde, sıcak hava kurutma yönteminde ise artan kurutma havası sıcaklıklarında rehidrasyon oranı azalmaktadır. Ancak solo mikrodalga koşullarında 180 W ile 360 W ve solo sıcak hava koşullarından 60 °C ile 70 °C arasında istatistiksel olarak fark yoktur (p>0,05). Hibrit kurutma koşullarında sabit sıcaklıkta artan mikrodalga güçlerinde rehidrasyon oranı azalmaktadır. Kumar ve diğ. (2014), bamyanın mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutulması üzerine yaptıkları çalışmalarında literatürdeki pek çok kaynak tarafından desteklenir şekilde artan mikrodalga güçleri ile rehidrasyon oranının arttığını ve bu durumun mikrodalga iç ısıyı arttırarak buhar çıkışını hızlandırmasına bağlı olarak gıdanın yapısında gerçekleşen gözenek oluşumundan kaynaklandığını raporlamışlardır. Bu tez çalışmasında ise bu olgu tam tersi şekilde gerçekleşmiş ve artan mikrodalga gücünde rehidrasyon oranının düşmesinin örnek yüzeyinde gerçekleşen kabuk oluşumu sebebiyle olduğu düşünülmüştür. Bu görüşü destekler nitelikte bamyanın mikrodalga ile kurutulduğu bir çalışmada kurutmanın ilk evrelerinde ürünlerdeki sertliğin aniden arttığı ve sertliği artan ürünlerde kabuk benzeri

yapı oluşumunun meydana geldiği bildirilmiştir (Aamir ve Boonsupthip 2017). Ek olarak Askari ve diğ. (2009) elma, çilek, domates ve mantarın hibrit (mikrodalga-sıcak hava) kurutulduğu çalışmalarında özellikle çilek örneklerinde suyun gıdanın iç yüzeyinden dışına doğru ani hareketi ile çözünenlerin migrasyonuna bağlı olarak yüzeyde kabuk tabakası oluşumu gözlemlediklerini bildirmişlerdir.

Mikrodalga ve hibrit kurutma yöntemleri kıyaslandığında; aynı mikrodalga gücünde 50 °C sıcak hava ile kurutulan örnekler daha yüksek rehidrasyon oranı ulaşmış fakat bu artış istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p>0,05$). Öte yandan 60 ve 70 °C sıcak havanın 180 W ve 360 W mikrodalga gücü ile kombine edildiği koşullarda rehidrasyon oranı solo mikrodalga kurutma koşullarından yüksektir ($p<0,05$). Hibrit kurutma koşulları kendi içinde kıyaslandığında; sıcak havanın 90 W gücünde mikrodalga enerjisi ile kombine edildiği koşulların, aynı sıcaklıkta 180 ve 360 W ile kombine edilen koşullara göre daha yüksek rehidrasyon oranına sahip olduğu tespit edilmiştir ($p<0,05$). Örneğin 60 °C sıcak havanın 90, 180 ve 360 W mikrodalga gücü ile kombine edildiği koşullarda rehidrasyon oranı sırasıyla 6,14, 5,24 ve 5,07 olarak gerçekleşmiştir. Ayrıca hibrit koşullarda 180 W ve 360 W mikrodalga güçlerinin sıcak hava ile kombinasyonunda, artan kuruma havası sıcaklıkları ile rehidrasyon oranı yükselmiştir ancak bu davranışın aksine sadece sıcak hava ile kurutma yönteminde artan kuruma havası sıcaklığına bağlı olarak rehidrasyon oranında azalma gerçekleşmiştir. Benzer sonuçlar balkabağının mikrodalga, sıcak hava ve kesikli mikrodalga-sıcak hava yöntemleri ile kurutulduğu çalışmada rehidrasyon oranının kurutma yöntemleri arasında istatistiksel olarak fark gösterdiği ($p<0,05$) ve hibrit koşullarda kurutma sıcaklığındaki artış ile rehidrasyon oranının arttığı şeklinde raporlanmıştır (Junqueira ve diğ. 2017). Literatürdeki diğer çalışmalar da artan hava hızı ve mikrodalga güçlerinde dokuda meydana gelen zarar bağlı olarak mikrodalga ve sıcak havanın eş zamanlı kullanıldığı hibrit sistemlerde rehidrasyon oranının yüksek olduğu göstermiştir (Horuz ve ark, 2017). Bu açıdan yüksek mikrodalga güçleri ile sıcak havanın kombine edildiği hibrit koşullarda daha kısa sürede daha az enerji sarfıyatı ile daha yüksek rehidrasyon yeteneğine sahip ürünler elde edilebileceği düşünülmektedir.

Tüm kurutma yöntemleri ve koşulları içinde rehidre balkabağı örneklerinin sahip olduğu en düşük ve en yüksek su tutma kapasitelerine sırasıyla 360 W (58,56)

ve 70 °C (74,73) koşullarında ulaşılmıştır. Balkabağı örneklerinin su tutma kapasitelerinin solo yöntemlerde mikrodalga gücündeki artışla azaldığı ve bu azalmanın artan mikrodalga güçlerinde (180 – 360 W) önemli bir fark yaratmadığı ($p>0,05$), diğer yandan artan kurutma sıcaklığı ile su tutma kapasitesinin arttığı tespit edilmiştir ($p<0,05$). Sıcak hava ile mikrodalga enerjisinin eş zamanlı uygulamasında örneklerin su tutma kapasitelerinin sabit sıcaklıkta mikrodalga gücünün 90 W'tan 180 W'a yükseltilmesi ile arttığı, ancak 360 W'a yükseltilmesi ile azaldığı görülmüştür. 60 °C sıcak havanın farklı mikrodalga güçleri ile kombine edildiği koşullar hibrit koşullar içinde en yüksek su tutma kapasitesine (66,92-72,24) sahip olmuştur. 360 W'ın solo ve sıcak hava ile eş zamanlı uygulandığı koşulların su tutma kapasitesi arasında fark olmadığı görülmüştür ($p>0,05$).

4.1.6 Renk Değişimi

Farklı kurutma yöntemleri ve koşullarına tabi tutulmuş taze ve kuru balkabağı örneklerinin L^* , a^* ve b^* değerleri ve bu değerlerin yüzde değişimi oranları Tablo 4.5'te sunulmuştur.

Taze balkabağına ait L değerleri 67,93-68,75 arasında değişmektedir. Tüm kurutma yöntemlerinde kurutma sonunda L^* değerinde düşmüş meydana gelmiş ve değerler 51,33-66,73 arasında değişiklik göstermiştir. Mikrodalga, sıcak hava ve hibrit kurutma yöntemleri ile kurutma sonucunda L^* değerinde meydana gelen düşüş sırasıyla %2,48-5,18, %6,33-10,82 ve %4,54-24,56 oranlarında gerçekleşmiştir. Balkabağının mikrodalga, sıcak hava ve hibrit yöntemleri ile kurutulduğu benzer çalışmada da L^* değeri tüm kurutma yöntemlerinde %8,06-24,53 oranlarında düşüş göstermiştir (Alibas 2007). Mikrodalga gücü arttıkça L^* değerindeki düşüş artmıştır ($p<0,05$). Yalnızca sıcak hava ile kurutulan örneklerde kurutma sıcaklığındaki artış ile L^* değerinde düşüş görülse de 60 ve 70 °C kurutma sıcaklıklarındaki düşüş istatistiksel olarak anlamlı değildir ($p>0,05$). Hibrit kurutma koşullarında sabit kurutma sıcaklığında artan mikrodalga güçlerinde ve sabit mikrodalga gücünde artan kurutma sıcaklıklarında L^* değerindeki düşüş anlamlı şekilde artmaktadır ($p<0,05$). Sıcak havanın 360 W mikrodalga gücü ile kombine edildiği koşullarda L^* değerindeki en yüksek düşüşler yaşanmıştır.

Tablo 4.5: Tablo 4.5 Taze ve kuru balkabağı örneklerine ait L*, a*, b* değerleri ve yüzde değişimleri

Kurutma Yöntem	Kurutma Koşulları	L* değeri			a* değeri			b* değeri		
		Taze	Kuru	% Değişim ^{1,2}	Taze	Kuru	% Değişim ^{1,2}	Taze	Kuru	% Değişim ^{1,2}
Mikrodalga	90 W	68,42	66,73	-2,48±0,53 ^h	33,75	40,74	20,71±0,81 ^f	54,46	53,59	-1,59±0,16 ^{gh}
	180 W	68,36	64,82	-5,18±0,89 ^g	33,30	43,66	31,09±1,04 ^g	54,92	53,30	-2,94±0,38 ^f
	360 W	68,64	58,17	-15,25±0,76 ^{de}	33,37	59,22	77,48±1,79 ^h	55,08	49,73	-9,72±0,48 ^c
Sıcak hava	50 °C	68,46	64,12	-6,33±0,63 ^{gh}	33,56	37,37	11,38±0,58 ^{abc}	55,22	54,69	-0,95±0,10 ^h
	60 °C	68,16	62,00	-9,04±0,79 ^f	33,84	38,03	12,38±0,74 ^{bcd}	55,10	53,89	-2,21±0,39 ^{fg}
	70 °C	68,53	61,12	-10,82±0,61 ^f	33,50	37,23	11,14±0,46 ^{ab}	54,63	51,88	-5,01±0,36 ^e
Hibrit	50 °C + 90 W	68,75	65,63	-4,54±0,78 ^g	34,15	37,34	9,34±0,49 ^a	55,16	52,20	-5,37±0,82 ^{de}
	50 °C + 180 W	68,19	61,63	-9,61±1,46 ^f	33,75	37,97	12,47±0,70 ^{bcd}	54,68	51,21	-6,36±0,54 ^d
	50 °C + 360 W	68,28	55,40	-18,85±0,67 ^c	33,34	61,28	83,82±1,44 ^j	54,89	48,07	-12,42±0,83 ^b
	60 °C + 90 W	68,15	60,44	-11,30±1,44 ^f	33,49	38,13	13,88±1,16 ^d	54,58	51,79	-5,11±0,59 ^e
	60 °C + 180 W	67,93	57,75	-14,97±1,28 ^e	34,07	39,64	16,36±1,02 ^e	54,84	51,80	-5,55±0,46 ^{de}
	60 °C + 360 W	68,20	53,08	-22,16±1,20 ^b	33,63	60,81	80,82±2,07 ⁱ	55,04	46,41	-15,68±0,66 ^a
	70 °C + 90 W	68,48	58,32	-14,84±0,80 ^e	33,46	37,96	13,47±0,54 ^{cd}	54,57	53,93	-1,16±0,11 ^h
	70 °C + 180 W	68,75	56,91	-17,22±1,15 ^d	33,61	40,15	19,46±1,31 ^f	54,06	53,82	-1,54±0,17 ^{gh}
	70 °C + 360W	68,04	51,33	-24,56±1,02 ^a	33,72	60,61	79,76±1,55 ⁱ	55,08	46,63	-15,34±0,80 ^a

¹Aynı sütunda farklı üssel harfler ortalamalar arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermektedir (p<0,05).²Sonuçlar ortalama±standart sapma şeklinde verilmiştir.

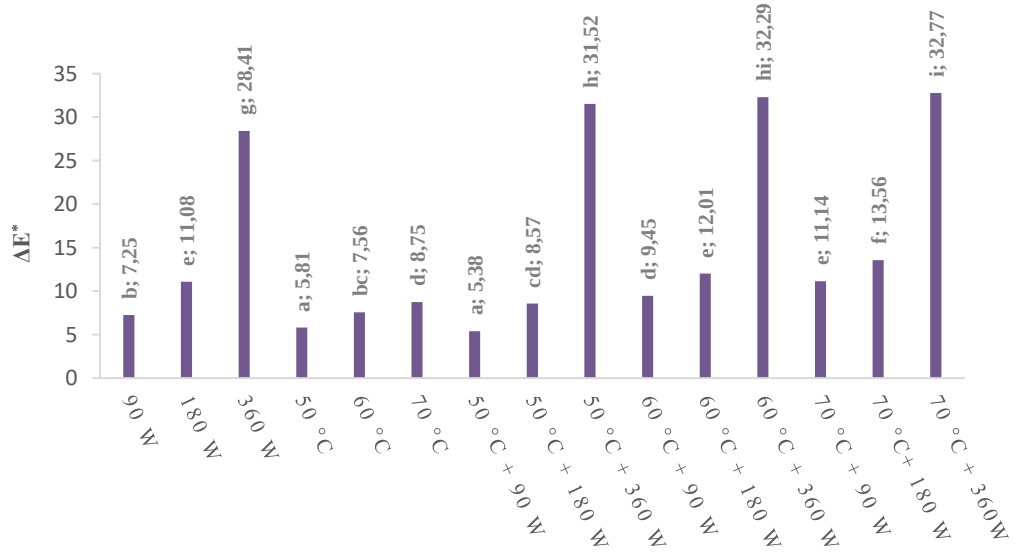
Bu durum Monteiro ve diğ. (2018) tarafından balkabağının farklı kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulduğu çalışmalarında, kurutma sonucunda meydana gelen kahverengileşmenin bir göstergesi olarak tanımlanmıştır. Azalan L^* değeri taze örneğe göre koyu rengi gösterir ve enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları ile ilişkilidir (Salehi ve Kashaninejad, 2018). Proteinler ve amino asitler arasında yüksek ısı sonucu meydana gelen enzimatik olmayan esmerleşme (Maillard reaksiyonu) sonucunda, kahverengi bileşikler meydana gelmektedir (Tian ve diğ. 2016). L^* değeri ürünün kabul edilebilirliği belirlenirken tüketiciler tarafından değerlendirilen ilk kalite özelliklerinden biri olduğundan bu tez çalışmasının sonuçları değerlendirildiğinde balkabağı örnekleri içinde en az düşüş gösteren 90 W ve 50 °C + 90 W koşullarında olduğu gibi düşük mikrodalga güçlerinin ve kurutma sıcaklıklarının kombinasyonlarının kullanıldığı hibrit koşulların duyusal olarak kabul edilebilir örnekler olacağı düşünülmüştür (Tian ve diğ. 2016). Balkabağı örneklerinde parlaklığın kaybının, ısıl kararsız pigmentlerin bozularak parlaklığı azaltan koyu bileşikler oluşturması ve ısı etkisiyle enzimatik olmayan kahverengileşme reaksiyonlarının bir sonucu olduğu düşünülmektedir.

Taze ve kuru balkabağı örneklerine ait a^* değerleri sırasıyla 33,30-34,15 ve 37,23-60,81 olarak belirlenmiştir. Mikrodalga, sıcak hava ve hibrit kurutma yöntemleri ile kurutma sonucunda a^* değeri sırasıyla %20,71-77,48, %11,14-12,38, %9,34-83,82 oranlarında artış göstermiştir. Yalnızca mikrodalga ve hibrit kurutma yöntemlerinde artan mikrodalga güçlerinde a^* değerindeki artış yükselmektedir ($p<0,05$). Yalnız sıcak hava ile kurutma yönteminde kurutma sıcaklığının a^* değeri üzerine etkisi anlamlı değilken ($p>0,05$), 180 W sabit mikrodalga güçlerinde artan kurutma sıcaklığıyla a^* değeri anlamlı şekilde artmaktadır ($p<0,05$). Henriques ve diğ. (2012), balkabağını sıcak hava ve dondurularak kurutma yöntemleri ile kuruttukları çalışmalarında benzer şekilde a^* değerinin kurutma sıcaklığındaki artış ile arttığını ancak 40 ve 60 °C kurutma sıcaklıkları arasında istatistiksel olarak fark bulunmadığını raporlamışlardır ($p>0,05$). 360 W mikrodalga gücünün kullanıldığı solo ve hibrit koşullarda a^* değerindeki en yüksek artış oranlarına (%79,76-83,82) ulaşılmış ve ürünlerde kararına meydana gelmiştir. Kayısının sıcak hava ve mikrodalga yöntemleri ile kurutulduğu bir çalışmada, bu tez çalışmasındaki balkabağı örneklerine benzer şekilde a^* değeri artmıştır. Bu artışın yüksek sıcaklık ve mikrodalga güçlerine bağlı

olarak yaşanan pigment bozulması, askorbik asit kahverengileşmesi, enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları sonucu gerçekleştiği düşünülmüştür (Albanese ve diğ. 2013). Aronya meyvesinin kurutulması sırasında da 360 W mikrodalga gücünün solo ve sıcak hava ile kombinasyonlarının kullanıldığı tüm koşullarda tamamen renk kararması gerçekleştiği ve bu durumun meyvede bolca bulunan flavonoidlerin bozulmasından kaynaklandığı bildirilmiştir (Fidan 2022). a^* değerindeki artışın hibrit koşullarda, aynı mikrodalga gücü ve kurutma sıcaklığında solo yöntemle göre daha düşük olduğu ve kahverengileşmenin daha sınırlı kaldığı görülmüştür. Örneğin 90 W, 50 °C ve 50 ° + 90 W koşullarında artış sırasıyla %20,71, %11,38 ve %9,34 olarak gerçekleşmiştir. Bu durumun kurutma süresinde yani ısıya ve mikrodalgaya maruz kalma süresinin azalmasına bağlı olarak koyu pigment oluşumunun sınırlandırılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Macedo ve diğ. 2020).

Taze ve kuru balkabağı örneklerinin b^* değerleri sırasıyla 54,56-55,22 ve 46,41-53,93 olarak belirlenmiştir. Mikrodalga, sıcak hava ve hibrit kurutma yöntemlerinin tümünde b^* değerinde sırasıyla, %1,59-9,72, %0,95-5,01, %1,16-15,68 oranlarında azalma meydana gelmiştir. b^* değerindeki azalma, eğilimi solo kurutma yöntemlerinde artan mikrodalga gücü ve kurutma sıcaklıklarında artmaktadır. Hibrit kurutma koşullarında ise sabit kurutma sıcaklığında 90 ve 180 W mikrodalga güçlerinin b^* değeri üzerine etkisi önemli bulunmazken ($p>0,05$), 360 W mikrodalga gücünün kombinasyonları anlamlı bir fark yaratmıştır ($p<0,05$). Uysal (2019) portakal kabuklarının mikrodalga, sıcak hava ve hibrit kurutma yöntemleri kurutulduğu çalışmasında örneklerin b^* değerinin artan mikrodalga güç ve kurutma sıcaklıklarında azaldığı ama sarılık değerindeki bu düşüşün 360 W mikrodalga gücü ve kombinasyonlarında daha önemli ölçüde gerçekleştiğini bildirmiştir.

Farklı kurutma yöntemleri ve koşullarında balkabağı örneklerinde meydana gelen toplam renk değişimi (ΔE^*) değerleri Şekil 4.6'da verilmiştir. Tüm kurutma yöntemlerinde artan mikrodalga gücü ve kurutma havası sıcaklıklarında ΔE^* değerleri artmıştır ($p<0,05$).



Şekil 4.6: Balkabağı örneklerine ait toplam renk değişimi (ΔE^*) değerleri

Bu çalışma sonuçlarına benzer şekilde kayısı ve nektarinin mikrodalga hibrit kurutulması sırasında artan mikrodalga güç ve kurutma sıcaklıklarında toplam renk değişimi değerleri artmıştır. Bu durumu yüksek mikrodalga gücü ve sıcaklıkları ile yükselen enerjinin ürünün sıcaklığını arttırmasına bağlı olarak renk bozulmasını hızlandırması ile ilişkilendirmek mümkündür (Miraei ve diğ. 2018, Horuz 2018).

En yüksek renk değişimi 360 W mikrodalga gücünün solo ve sıcak hava ile kombinasyonlarında gerçekleşmiştir ve bu durum daha önce değinildiği gibi örnekteki kararmalardan kaynaklanmıştır. Öte yandan hibrit kurutma ile kuruma süresi kısılırken aynı koşullardaki solo yönteme göre renk değişiminde istatistiksel olarak fark olmayan veya daha sınırlı kaldığı koşullar bulunmaktadır. Örneğin 180 W ve 60 °C + 180 W koşullarında ΔE^* değerleri arasında istatistiksel olarak fark bulunmazken bu koşullar arasında mikrodalga gücü ilavesi ile kuruma süresinde % 31,92 oranında azalma sağlanmıştır. Aynı durum 50 °C ve 50 °C + 90 W koşullarında gerçekleşmiş ve bu durumdaki kuruma süresi tasarrufu % 64,08 ile daha dramatiktir. Bu açıdan bakıldığında hibrit kurutma yöntemi ile daha kısa sürede daha az enerji sarfiyatı ile aynı renk özelliklerine sahip kuru ürünler elde etmek mümkündür.

4.1.7 Antioksidan Aktivite ve Toplam Fenolik Madde İçeriği Değişimi

Taze ve kuru balkabağı örneklerinin antioksidan aktivite ve toplam fenolik madde miktarları ile bu değerlerde farklı kurutma yöntemleri ve koşullarında gerçekleşen değişim oranları Tablo 4.6’da verilmiştir.

Taze balkabağının antioksidan aktivite değeri 13,06-13,61 $\mu\text{mol TE/g}$ kuru madde arasında değişmektedir. İzli ve diğ. (2022) balkabağı tozu üretimi üzerine yaptıkları çalışmalarında taze balkabağının antioksidan aktivitesini DPPH ve ABTS yöntemleri ile sırasıyla 14,4 ve 47,65 $\mu\text{mol TE/g}$ kuru madde olarak bildirmişlerdir. Dini ve diğ. (2013) balkabağının antioksidan aktivitesini DPPH ve FRAP yöntemleri ile belirlemiş ve sırasıyla 36,2 ve 41,3 $\mu\text{mol TE/g}$ kuru madde olarak belirlemiş ve bu iki yöntemin eğiliminin benzer olduğu raporlamışlardır. 14 farklı balkabağı çeşidinin antioksidan aktivitesinin incelendiği bir diğer çalışmada, antioksidan kapasitesinin balkabağının çeşidi ve türüne göre geniş bir aralıkta değiştiğini ve DPPH ve ABTS metotlarıyla belirlenen ortalama antioksidan aktivite değerlerini sırasıyla 5,8 ve 11,1 $\mu\text{mol TE/g}$ kuru madde bildirmişlerdir (Kulczyński ve diğ. 2020).

Kurutma yöntemlerinin balkabağının antioksidan aktivitesi üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$). Tüm kurutma yöntem ve koşullarında balkabağı örneklerinin antioksidan aktivite değeri kurutma sonunda artmıştır ve kuru balkabağı örneklerinin antioksidan aktivite değerleri 16,01-36,42 $\mu\text{mol TE/g}$ kuru madde arasında değişmiştir.

Tüm kurutma yöntemlerinde kurutma sıcaklığı ve mikrodalga gücündeki artış ile antioksidan aktivite değişimi artmaktadır ($p<0,05$). Kişniş yapraklarının sıcak hava ve mikrodalga yöntemleri kurulduğu bir çalışmada özellikle mikrodalga uygulaması ile DPPH ve ABTS yöntemleri ile belirlenen antioksidan aktivite değerleri artmıştır (Hihat ve diğ. 2017). Mavi hanımeli meyvesinin 40-65 °C sıcak hava ile kurutulduğu bir başka çalışmada, bazı kurutma koşullarında antioksidan aktivitenin arttığını bildirmişlerdir. Örneğin 45 °C’de kurutulan mavi hanım eli meyvesinin antioksidan kapasitesi (797 $\mu\text{mol TE/g}$ örnek) taze örneğin antioksidan kapasitesini (278,72 $\mu\text{mol TE/g}$ örnek) neredeyse 3 katıdır. Domatesin antioksidan aktivitesinin kurutma sıcaklığı ile arttığı bir çalışmada bu eğilim ısı işlem ile kısmen oksitlenmiş polifenollerin, oksitlenmemişlere göre daha yüksek antioksidan aktiviteye sahip

Tablo 4.6: Balkabağı örneklerine ait antioksidan aktivite ve toplam fenolik madde içeriği değerlerinin farklı kurutma yöntemleri ve koşullarına bağlı değişimi

Kurutma Yöntemi	Kurutma Koşulları	Antioksidan Aktivite ($\mu\text{mol TE/g}$ kuru madde)			Toplam Fenolik Madde (mg GAE/g kuru madde)		
		Taze	Kuru	% Değişim	Taze	Kuru	% Değişim
Mikrodalga	90 W	13,21 $\pm$ 0,72	17,12 $\pm$ 1,00	29,64 $\pm$ 1,17 ^b	8,14 $\pm$ 0,53	3,04 $\pm$ 0,26	-62,67 $\pm$ 0,88 ^b
	180 W	13,43 $\pm$ 0,25	22,41 $\pm$ 0,32	66,82 $\pm$ 2,01 ^{de}	8,12 $\pm$ 0,27	3,09 $\pm$ 0,14	-61,96 $\pm$ 0,62 ^b
	360 W	13,23 $\pm$ 0,42	22,86 $\pm$ 0,82	72,74 $\pm$ 1,72 ^f	7,86 $\pm$ 0,63	3,74 $\pm$ 0,32	-52,46 $\pm$ 0,72 ^d
Sıcak hava	50 °C	13,06 $\pm$ 0,21	16,01 $\pm$ 0,31	22,56 $\pm$ 1,56 ^a	8,28 $\pm$ 0,14	2,56 $\pm$ 0,08	-69,13 $\pm$ 0,59 ^a
	60 °C	13,11 $\pm$ 0,18	20,67 $\pm$ 0,40	57,59 $\pm$ 1,68 ^c	8,17 $\pm$ 0,44	3,00 $\pm$ 0,19	-63,31 $\pm$ 0,61 ^b
	70 °C	13,51 $\pm$ 0,37	22,16 $\pm$ 0,62	64,03 $\pm$ 1,31 ^d	7,92 $\pm$ 0,34	3,33 $\pm$ 0,15	-57,93 $\pm$ 0,72 ^c
Hibrit	50 °C + 90 W	13,08 $\pm$ 0,32	22,27 $\pm$ 0,52	70,32 $\pm$ 1,33 ^{ef}	8,18 $\pm$ 0,22	4,23 $\pm$ 0,14	-48,32 $\pm$ 0,71 ^e
	50 °C + 180 W	13,24 $\pm$ 0,38	25,37 $\pm$ 0,47	91,59 $\pm$ 2,20 ^g	8,29 $\pm$ 0,44	5,52 $\pm$ 0,29	-33,39 $\pm$ 0,87 ^g
	50 °C + 360 W	13,61 $\pm$ 0,35	29,70 $\pm$ 0,75	118,34 $\pm$ 2,29 ⁱ	8,01 $\pm$ 0,54	5,94 $\pm$ 0,39	-25,84 $\pm$ 0,54 ⁱ
	60 °C + 90 W	13,55 $\pm$ 0,39	27,36 $\pm$ 0,99	101,90 $\pm$ 2,31 ^h	8,12 $\pm$ 0,63	4,82 $\pm$ 0,37	-40,68 $\pm$ 0,67 ^f
	60 °C + 180 W	13,31 $\pm$ 0,39	31,22 $\pm$ 1,04	134,62 $\pm$ 1,32 ^j	8,32 $\pm$ 0,26	5,87 $\pm$ 0,19	-29,47 $\pm$ 0,7 ^h
	60 °C + 360 W	13,45 $\pm$ 0,42	33,73 $\pm$ 1,16	150,75 $\pm$ 2,16 ^l	8,00 $\pm$ 0,25	6,35 $\pm$ 0,18	-20,59 $\pm$ 0,53 ^k
	70 °C + 90 W	13,27 $\pm$ 0,25	26,72 $\pm$ 0,38	101,42 $\pm$ 3,18 ^h	8,45 $\pm$ 0,43	5,67 $\pm$ 0,28	-32,87 $\pm$ 0,66 ^g
	70 °C + 180 W	13,14 $\pm$ 0,52	32,00 $\pm$ 1,40	143,93 $\pm$ 2,84 ^k	8,15 $\pm$ 0,24	6,25 $\pm$ 0,22	-23,35 $\pm$ 0,95 ^j
	70 °C + 360W	13,21 $\pm$ 0,72	36,42 $\pm$ 0,70	175,62 $\pm$ 4,12 ^m	8,11 $\pm$ 0,42	6,46 $\pm$ 0,38	-20,37 $\pm$ 0,71 ^k

¹Aynı sütunda farklı üssel harfler ortalamalar arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermektedir (p<0,05).

Sonuçlar ortalama $\pm$ standart sapma şeklinde verilmiştir.

olması ile açıklanmıştır (Azeez ve diğ. 2019). Kurutma işlemi ile antioksidan kapasitenin korunması ve hatta yükselmesi literatürdeki çalışmalarda Maillard reaksiyonu ile ilişkilendirilmiştir (Anese ve diğ. 1999). Maillard reaksiyonu ürünlerinin antioksidan özelliğe sahip olduğu görüşünün yanında, bazı araştırmacılar reaksiyon ürünlerinin pro-oksidatif özellikte olabileceği yönünde görüşler ortaya atmışlardır (Ahmad ve Langrish 2012). Maillard reaksiyonu ürünlerini farklı gruplara ayıran Liu ve diğ. (2008), reaksiyonun erken aşamalarında oluşan glioksil, metiloksil ve diğer dikarboniller gibi küçük moleküllerin oksidatif potansiyele sahip olabileceğini; ancak yüksek kimyasal aktiviteye sahip olan bu ilk aşama ürünlerinin bir dizi polimerizasyon ve kondensasyon reaksiyonu sonrasında daha yüksek molekül ağırlığına, kahverengi renge ve antioksidatif özelliğe sahip bileşikler meydana getirdiğini bildirmişlerdir. Maillard reaksiyonun ileri evrelerinde oluşan bu ürünler melanoidinler olarak adlandırılmaktadır (Wang ve diğ. 2011).

Hibrit kurutma koşullarında sabit sıcaklıkta artan mikrodalga güçlerinde antioksidan aktivite anlamlı şekilde yükselmektedir ($p < 0,05$). Hibrit koşullar içerisinde sadece $60\text{ }^{\circ}\text{C} + 90\text{ W}$ ve $70\text{ }^{\circ}\text{C} + 90\text{ W}$ koşulları arasında istatistiksel olarak fark bulunmamıştır ($p > 0,05$). Hibrit koşullar içinde Antioksidan aktivite değerlerindeki en antioksidan aktivite değerindeki en küçük ve en büyük artışlar sırasıyla $50\text{ }^{\circ}\text{C} + 90\text{ W}$ (%70,32) ve $70\text{ }^{\circ}\text{C} + 360\text{ W}$ (&175,62) koşullarında gerçekleşmiştir. Hibrit kurutma yöntemi ile kurutulan örneklerin solo kurutma yöntemlerine göre daha yüksek antioksidan aktiviteye sahip olduğu olgusu benzer çalışmalarda da görülmüştür. Sıcak hava, mikrodalga ve hibrit (sıcak hava-mikrodalga) yöntemlerle kurutulan kivi örneklerinden en yüksek antioksidan kapasiteye sahip olan örnekler DPPH ve FRAP metotlarının ikisinde de hibrit koşullarda kurutulan örnekler olmuştur (Bhat ve diğ. 2022). Sıcak hava ve hibrit yöntem ile kurutulan vişne örneklerinin antioksidan kapasite değerleri kıyaslandığında da hibrit kurutulan örneklerin daha yüksek içeriğe sahip olduğu ve bu durumun kuruma süresinde kısalmaya ek olarak enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonu ürünlerinden kaynaklandığı bildirilmiştir (Horuz ve diğ. 2017).

Taze balkabağının toplam fenolik madde içeriği 7,86-8,32 mg GAE/g kuru madde olarak tespit edilmiştir. Tüm kurutma yöntem ve koşullarında balkabağının toplam fenolik madde içeriğinde düşüş meydana gelmiştir ve bu düşüş kurutma

yöntemleri kıyaslandığında istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0,05$). Uysal (2019) limon kabuğunu, Köprüalan ve diğ. (2021) balkabağını, Choo ve diğ. (2020) köri ağacı yapraklarını sıcak hava ve mikrodalga enerjileri ile solo ve/veya hibrit yöntemlerle kuruttukları çalışmalarında kurutma işlemi ile ürünün toplam fenolik madde içeriğinin düştüğünü raporlamışlardır. Kurutma işlemi ile toplam fenolik madde içeriğinde yaşanan kayıp, uzun süreli sıcaklık maruziyetine bağlı ısıl parçalanma ve geri dönüşümsüz olarak gerçekleşen oksidasyondan kaynaklanmaktadır (Wojdyło ve diğ. 2014). Kuru balkabağı örneklerinin toplam fenolik madde içeriği değerleri 2,56-6,46 mg GAE/g kuru madde arasında değişmektedir.

Mikrodalga kurutma yönteminde artan mikrodalga güçlerinde toplam fenolik madde kaybı azalmaktadır. 90, 180 ve 360 W mikrodalga güç seviyelerinde sırasıyla %62,67, %61,96 ve %52,46 oranlarında kayıp yaşanmıştır. Bu durum artan mikrodalga güçlerinde kuruma süresinin kısalması ısı ve oksijen maruziyetinin azalmasının yanında; mikrodalga enerjisi ile hücre yapısı zararı gören gıda matrisinde daha fazla fenolik madde ekstrakte edilebilmesi ile doğrudan ilişkilidir (Szadzińska ve Mierzwa 2021). Zhou ve diğ (2022) şeftali püresinin mikrodalga enerji kullanılarak pişirilmesi üzerine yaptıkları çalışmalarında artan mikrodalga güç seviyelerinde toplam fenolik kaybının azaldığını ve bu etkinin polifenol oksidaz ve pektin metil esteraz enzimlerinin inaktivasyonuna bağlı olduğunu bildirmişlerdir.

Sıcak hava ile kurutulan örneklerde de kurutma sıcaklığındaki artış ile kayıp oranları istatistiksel olarak anlamlı şekilde azalmaktadır ($p<0,05$). Benzer eğilim hibrit kurutulan örnekler için de geçerli olmuştur. Sabit kurutma sıcaklığı artan mikrodalga güçlerinde kayıp oranı düşmektedir ($p<0,05$). 90 ve 180 W sabit mikrodalga gücünde artan kurutma sıcaklığı ile toplam fenolik kaybında anlamlı bir düşüş meydana gelmiştir ($p>0,05$). Tüm kurutma yöntemlerinde artan kurutma koşul faktör seviyeleri ile toplam fenolik madde kaybında gözlemlenen düşüş, kuruma süresi ile toplam fenolik madde kaybının ters orantılı olduğunu göstermiştir.

4.1.8 Beta karoten İçeriği Değişimi

Isı, ışık ve oksijene duyarlı bir pigment olan beta karotenin taze ve kuru balkabağı örneklerinde bulunan miktarı ile farklı kurutma yöntemleri ve koşullarında bu içerikte meydana gelen değişim Tablo 4.7’de sunulmuştur. Lipoproteinlerin oksidasyonunu engellemesi ile kalp-damar hastalıklarının, antioksidan özelliği ile kanserin önlenmesindeki etkisi göz önüne alındığında bu içerikte kurutma işlemi sonucu meydana gelen değişim, son ürünün fonksiyonel özelliğini ve besin kalitesini belirlemek açısından önemlidir (Mezzomo ve Ferreira 2016, Osganian ve diğ. 2003).

Tablo 4.7: Balkabağı örneklerine ait beta karoten içeriği değerlerinin farklı kurutma yöntemleri ve koşullarına bağlı olarak değişimi

Kurutma Yöntemi	Kurutma Koşulları	Beta karoten içeriği (µg/g kuru madde)		
		Taze	Kuru	% Değişim
Mikrodalga	90 W	454,88±12,64	187,34±9,72	-59,85±1,04 ^{gh}
	180 W	439,24±14,90	165,54±5,68	-62,36±0,92 ^{fg}
	360 W	446,79±16,97	153,77±5,83	-65,57±0,7 ^{de}
Sıcak hava	50 °C	456,32±17,76	191,59±7,35	-57,90±1,62 ^{hi}
	60 °C	458,40±16,69	162,72±6,11	-64,72±1,11 ^{ef}
	70 °C	439,46±15,33	138,27±5,74	-68,57±1,31 ^{cd}
Hibrit	50 °C + 90 W	432,32±13,74	195,81±10,54	-54,73±1,03 ⁱ
	50 °C + 180 W	432,67±10,04	161,39±7,13	-62,75±1,27 ^{efg}
	50 °C + 360 W	451,04±16,00	136,26±5,82	-69,78±0,34 ^c
	60 °C + 90 W	451,32±13,39	131,95±3,47	-70,62±2,29 ^c
	60 °C + 180 W	446,77±10,18	132,06±7,71	-70,44±1,25 ^c
	60 °C + 360 W	465,81±12,31	90,58±3,21	-80,57±2,18 ^a
	70 °C + 90 W	440,70±18,19	105,32±5,43	-76,15±0,44 ^b
	70 °C + 180 W	464,72±20,24	84,13±3,47	-81,90±0,36 ^a
	70 °C + 360W	449,16±13,98	85,14±3,16	-80,98±0,53 ^a

¹Aynı sütunda farklı üssel harfler ortalamalar arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermektedir (p<0,05).

Sonuçlar ortalama±standart sapma şeklinde verilmiştir.

Taze balkabağı örneklerinin beta karoten içeriği 432,32-464,72 µg/g kuru madde arasında değişmiştir. Bu değerler Ulusal Gıda Kompozisyonu Veri Tabanı'nda *Cucurbita maxima* türü kabak için raporlanan ortalama değer (423,71 µg/g kuru madde) ile uyumludur. *C.maxima* türü kabağın farklı çeşitlerinin beta karoten içeriğini tespit ettikleri çalışmalarında Seleim ve diğ (2015) en yüksek beta karoten içeriğine sahip çeşidi 313,35 µg/g kuru madde ile “Kafr El-Battikh-2” olarak raporlamışlardır. Ayrıca Hagos ve diğ. (2022) aynı tür kabağın beta karoten içeriğini HPLC yöntemine alternatif yöntemlerle belirlemeye çalıştıkları çalışmalarında, balkabağının beta karoten içeriğini UV-VIS, NIR ve FTIR yöntemleri ile sırasıyla 317-341, 289-313, 102-210 µg/g olarak tespit etmişlerdir.

Tüm yöntem ve koşullarda kurutma işlemi sonucunda balkabağı örneklerinin beta karoten içeriğinde kayıp gerçekleştiği belirlenmiştir. Kuru balkabağı örneklerinin beta karoten içeriği 84,13-195,81 µg/g kuru madde arasında değişmiştir Mikrodalga, sıcak hava ve hibrit kurutma yöntemlerinde beta karoten içeriğinde meydana gelen kayıp sırasıyla %59,85-65,57, %57,90-68,57 ve %54,73-81,90 oranlarında gerçekleşmiştir.

Yalnız mikrodalga ve sıcak hava kurutma yöntemlerinde kurutma sonucu meydana gelen beta karoten kaybı artan mikrodalga güç ve kurutma sıcaklıklarında artmaktadır ($p<0,05$). Demiray ve Tülek (2017) havucun sıcak hava ile kurutulduğu çalışmalarında, 45 °C'de kurutulan örneklerde beta karoten kaybı %79,10 iken, kurutma sıcaklığının 65 °C'ye yükselmesi ile bu kaybın %84,07'ye yükseldiğini raporlamışlardır. Havucun 50, 60, 70 ve 80 °C sıcak hava ile kurutulduğu bir diğer çalışmada da kurutma sıcaklığındaki artış ile beta karoten kaybının arttığı bildirilmiştir (Goula ve diğ. 2010). Kurutma sıcaklığındaki artış ile beta karoten kaybının artması davranışı sıcak hava ile kurutulan domates (Azeez ve diğ. 2019), havuç (Goula ve diğ. 2010), papaya (Udomkun ve diğ. 2015) ve mango (Pott ve diğ. 2003) için de gözlemlenmiştir. Bu durum sıcaklığın yükselmesi ile izomerizasyon ve oksidasyonun artmasından kaynaklanmaktadır (Mbondo ve diğ. 2018). Kurutma sıcaklığındaki artışa benzer şekilde mikrodalga gücünün 1,0 W/g'dan 2,0 W/g'a yükseltilmesiyle havuç örneklerinin beta karoten içeriği kaybı %6,6'dan %41,9'a yükselmiştir (Béttega ve ark. 2014) Song ve diğ. (2017) balkabağının vakum-mikrodalga kurutma yöntemi ile kurutulduğu çalışmalarında mikrodalga gücü arttıkça toplam karotenoid içeriğinin

azaldığını bildirmişlerdir. Bu durum mikrodalga gücündeki artış ile ürün sıcaklığında meydana gelen hızlı yükselişin bozulmanın artmasına neden olması ile açıklanmıştır. Kurutma sıcaklığı ve mikrodalga gücünün artışıyla oksidasyon reaksiyonlarının hızlanması kararsız kimyasal yapıdaki beta karotenin kaybını arttırmaktadır (Oliveira ve diğ. 2015, Prakash ve diğ. 2004).

Hibrit koşullarda sabit mikrodalga gücünde artan kurutma havası sıcaklıklarında kayıp oranı artmaktadır ($p < 0,05$), bu durum solo sıcak hava ile kurutmadaki eğilim ile benzerdir. Ancak artan kurutma havası sıcaklıklarında mikrodalga gücündeki artışın beta karoten kaybı üzerine etkisinin azaldığı görülmüştür. Örneğin $60\text{ }^{\circ}\text{C} + 90\text{ W}$ ile $60\text{ }^{\circ}\text{C} + 180\text{ W}$ ve $70\text{ }^{\circ}\text{C} + 180\text{ W}$ ile $70\text{ }^{\circ}\text{C} + 360\text{ W}$ koşulları arasında beta karoten kaybı açısından istatistiksel olarak fark yoktur ($p > 0,05$). Benzer sonuçlar mikrodalga-sıcak hava ile hibrit kurutulan havuç örnekleri için de raporlanmıştır. Başlangıç beta karoten içeriği $147,38\text{ }\mu\text{g/g}$ kuru madde olan havucun $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de sıcak havanın $55,7$, $167,9$ ve $336,9\text{ W}$ mikrodalga güçleri ile kombine edilerek kurutulması sonucunda örneklerin beta karoten içerikleri sırasıyla, $75,86$, $77,95$, $69,88\text{ }\mu\text{g/g}$ kuru madde olarak bulunmuş ve bu değerler arasındaki fark önemsiz olarak bildirilmiştir ($p > 0,05$) (de Souza ve diğ. 2022).

Tüm kurutma koşul ve yöntemleri içerisinde en düşük kayıp oranı $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ kurutma havasının 90 W mikrodalga gücü ile kombine edildiği yani kurutma koşul faktörlerinin en düşük seviyede kullanıldığı hibrit koşulda gerçekleşmiştir. Bu durum yukarıda detaylı şekilde açıklanan nedenlerle kurutma sıcaklığı ve mikrodalga gücünün en düşük seviyelerinde kaybın azalmasının yanı sıra, bu kombinasyonda kurutma süresinin solo yöntemlere göre önemli ölçüde kısılmasına bağlı olarak ürünün ısıya, ışığa ve oksijene maruziyet süresinin kısılmasına ve dolayısıyla oksidasyonun önlenmesi ile ilişkilidir (Onwude ve diğ. 2017). Bu açıdan düşük sıcaklık ve mikrodalga güç seviyelerinin kombinasyonunu içeren hibrit kurutma koşullarının beta karoten içeriğinin korunması açısından avantaj sağladığını söylemek mümkündür.

4.2 Balkabağının Hibrit Kurutulmasının Yanıt Yüzey Yöntemi ile Optimizasyonu

5 adet tekrarlanan merkezi nokta ve 13 adet deneme koşulu içeren deney deseni ve bu koşullarda elde edilen deneysel (DD) ve tahmini (TD) değerler balkabağı örnekleri için Tablo 4.8’de sunulmuştur.

Bu bölümde her bir yanıt için model seçimi, seçilen modele ait varyans analizi, tahmini değerlerin hesaplanabilmesi için gerçek ve kodlanmış değerlere ait denklemler ve yanıt yüzey grafikleri bulunmaktadır. Bölüm sonunda tüm yanıtlar için belirlenen hedefler doğrultusunda sayısal optimizasyon gerçekleştirilmiş ve balkabağının hibrit kurutulması için optimum koşulları oluşturan bağımsız değişkenler ile bu koşullarda anıtların alacağı değerler verilmiştir.

Tablo 4.8: FCCD Deney deseni ve tatlı patatesin hibrid kurutulması sonucunda yanıtlar için elde edilen deneysel ve tahmini değerler

Bağımsız değişkenler			Yanıtlar															
Deneme No	Kurutma sıcaklığı (°C)	Mikrodalga gücü (W)	Dt (dakika)		ET		RO		STK		ΔE*		AA (%)		TFM (%)		BK (%)	
			DD	TD	DD	TD	DD	TD	DD	TD	DD	TD	DD	TD	DD	TD	DD	TD
4	50	0	362	337	2,68	2,54	6,30	6,37	65,97	66,21	5,81	4,95	22,56	24,69	-69,13	-69,79	-57,90	-55,96
13	50	90	130	149	1,17	1,29	6,64	6,45	61,21	59,96	5,38	6,96	70,32	65,20	-48,32	-46,57	-54,73	-59,94
7	50	180	70	68	0,73	0,71	4,91	5,03	66,92	67,93	8,57	8,96	91,59	94,58	-33,39	-34,49	-62,75	-63,92
9	60	0	202	221	2,07	2,19	5,84	5,78	69,63	71,56	7,56	7,24	57,59	58,59	-63,31	-63,61	-64,72	-64,50
1	60	90	101	103	1,19	1,22	6,08	6,18	63,45	64,45	8,79	9,24	100,02	101,82	-40,76	-40,67	-69,32	-68,48
2	60	90	102	103	1,20	1,22	6,25	6,18	67,58	64,45	8,27	9,24	98,58	101,82	-41,42	-40,67	-70,10	-68,48
3	60	90	107	103	1,25	1,22	6,15	6,18	62,09	64,45	10,38	9,24	102,24	101,82	-39,64	-40,67	-74,04	-68,48
5	60	90	106	103	1,24	1,22	6,06	6,18	65,92	64,45	10,49	9,24	104,85	101,82	-40,12	-40,67	-68,38	-68,48
6	60	90	105	103	1,23	1,22	6,14	6,18	65,52	64,45	9,40	9,24	103,69	101,82	-41,14	-40,67	-71,23	-68,48
12	60	180	64	58	0,85	0,80	5,25	5,08	71,15	71,55	12,01	11,24	134,62	133,91	-29,47	-28,89	-70,44	-72,46
8	70	0	137	137	1,76	1,77	5,71	5,70	74,73	72,56	8,75	9,52	64,03	60,89	-57,93	-56,98	-68,57	-73,04
11	70	90	81	72	1,15	1,06	6,46	6,42	61,02	64,59	11,14	11,52	101,42	106,84	-32,87	-34,34	-75,15	-77,02
10	70	180	47	54	0,74	0,81	5,59	5,64	72,24	70,84	13,56	13,52	143,93	141,65	-23,35	-22,84	-81,90	-81,00

4.2.1 Toplam Kuruma Süresi

Balkabağına örneklerine ait Tablo 4.8’de sunulmuş en büyük ve en küçük toplam kuruma süresi değerleri arasındaki oranın (7,70) yüksek olması göz önüne alınarak daha anlamlı sonuçlar elde etmek üzere deneysel değerler matematiksel olarak karekök haline dönüştürülerek kullanılmıştır. Toplam kuruma süresi yanıtı için 4 ayrı modelin uygunluğu araştırılmış ve balkabağı örneklerinin kurutulması işleminde toplam kuruma süresi (D_t) yanıtının optimizasyonu için en uygun model olarak kuadratik model ($R^2=0,9799$) seçilmiştir (Tablo 4.9).

Tablo 4.9: Balkabağı örneklerinin D_t yanıtı için model seçimi

Model	Standart sapma	p-değeri	Uyum eksikliğine ait p-değeri	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini R^2
Lineer	1,2300	< 0,0001	0,0001	0,8680	0,8416	0,6647
2FI	0,8640	0,0084	0,0004	0,9415	0,9220	0,7267
Kuadratik	0,5749	< 0,0001	0,0014	0,9799	0,9655	0,8028
Kübik	0,1836	0,0014	0,0640	0,9985	0,9965	0,8940

D_t yanıtı için varyans analizi sonucunda elde edilen F-değeri, p-değeri, uyum eksikliği gibi istatistiksel veriler ve kurutma koşullarının etkilerinin istatistikse anlamları Tablo 4.10’da sunulmuştur.

Tablo 4.10: Balkabağı örneklerinin D_t yanıtı için kuadratik model analizi

Model	Kareler Toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F-değeri	p- değeri
Model	112,52	5	22,50	68,09	< 0,0001**
A-Kurutma Sıcaklığı	21,03	1	21,03	63,65	< 0,0001**
B-Mikroalga Gücü	78,64	1	78,64	237,93	< 0,0001**
AB	8,44	1	8,44	25,54	0,0015**
A^2	0,0906	1	0,0906	0,2742	0,6167
B^2	3,26	1	3,26	9,87	0,0164*
Artık	2,31	7	0,3305		
Uyum eksikliği	2,25	3	0,7497	46,50	0,0014
Net hata	0,0645	4	0,0161		
Genel Toplam	114,83	12			

* p < 0,05, ** p < 0,01. **Matematiksel dönüşüm: Karekök**

Yüksek F değeri (68,09) ve Düzeltilmiş- R^2 (0,9655) ile Tahmini- R^2 (0,8028) arasındaki farkın 0,2'den az olması kurutma koşul faktörleri ile D_t yanıtı arasında iyi bir kuadratik ilişki olduğunu göstermektedir. Ayrıca 0,05 anlamlılık düzeyinde modele ait p değerinin anlamlı, uyum eksikliğine ait p değerinin ise anlamsız olması modelin tahminleme gücünü arttırmaktadır.

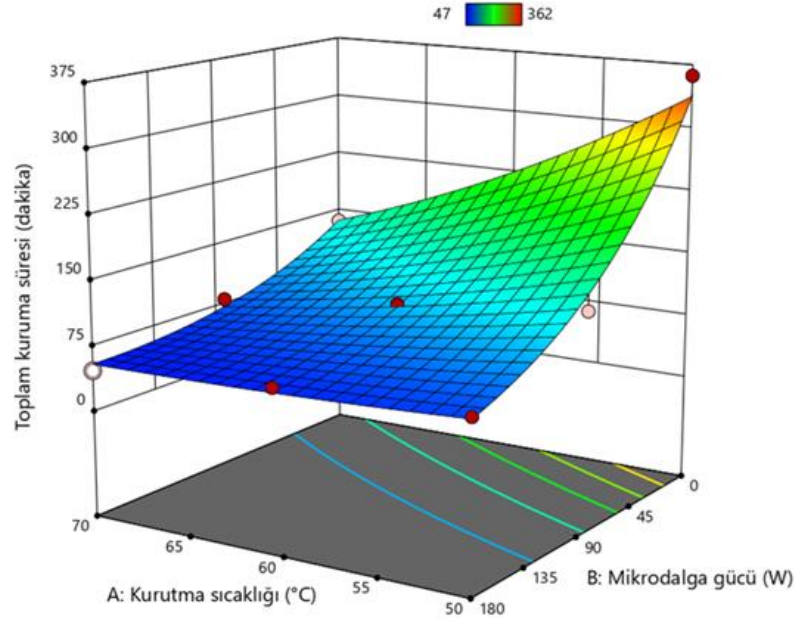
Kurutma sıcaklığı (A), mikrodalga gücü (B), kurutma sıcaklığı-mikrodalga gücünün ortak etkisi (AB) ve mikrodalga gücünün üssel etkisi (B^2); toplam kuruma süresi üzerine anlamlı bir etkiye sahipken ($p < 0,05$), kurutma sıcaklığının üssel etkisi (A^2) istatistiksel olarak anlamlı değildir ($p > 0,05$). Kuruma süresi referans alındığında kurutma sıcaklığı lineer, mikrodalga gücü ise lineer ve kuadratik olarak kurutma performansını etkilemektedir. Ayrıca AB değerinin anlamlı olması sıcak havanın mikrodalga gücü ile kombine edildiği hibrit kurutma yönteminin kuruma süresi açısından kurutma performansı üzerine etkisinin olduğunu göstermiştir.

Balkabağı örnekleri için tahmini toplam kuruma süresi (D_t), bağımsız değişkenlerin gerçek ve kodlanmış seviyeleri için sırasıyla Denklem 4.1 ve Denklem 4.2'den hesaplanabilir.

$$\sqrt{D_t} = 41,33137 - 0,549859A - 0,161215B + 0,001614AB + 0,001811A^2 + 0,000134B^2 \quad (4.1)$$

$$\sqrt{D_t} = 10,15 - 1,87A - 3,62B + 1,45AB + 0,1811A^2 + 1,09B^2 \quad (4.2)$$

Balkabağının mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutulmasında, kurutma sıcaklığı ve mikrodalga gücünün toplam kuruma süresi üzerine etkisi Şekil 4.7'deki yanıt yüzey grafiğinde gösterilmiştir. Grafiğe göre, toplam kuruma süresi üzerine her iki kurutma koşul faktörü de etkilidir. Artan kurutma sıcaklığı ve mikrodalga gücü ile kuruma süresi kısalmaktadır. Yanıt yüzey grafiğinden de kurutma süresinin kurutma sıcaklığı tarafından lineer, mikrodalga gücü tarafından sa kuadratik olarak etkilendiği görülmektedir.



Şekil 4.7: Balkabağı örneklerinin D_t yanıtına ait yüzey grafiği

4.2.2 Toplam Enerji Tüketimi

Tablo 4.8’de verilen balkabağına ait deneysel veriler ile hesaplanmış toplam enerji tüketimi değerleri, model analizinde daha anlamlı sonuçlar elde etmek üzere matematiksel olarak tersine dönüştürülerek kullanılmıştır. Toplam enerji tüketimi (ET) yanıtının tahminlenmesi için uygunluğu araştırılan 4 modelden, kuadratik model en uygun model seçilmiştir. Bu modelin yüksek R^2 (0,9807) değeri yanında; düzeltilmiş R^2 (0,9669) ile tahmini R^2 (0,8125) değerleri arasındaki farkın 0,2’den az olması ile 0,05 anlamlılık düzeyinde modele ait p değerinin anlamlı, uyum eksikliğine ait p değerinin ise anlamsız olması nedenleriyle yüksek tahminleme gücüne sahiptir (Tablo 4.11).

Tablo 4.11: 4Balkabağı örneklerinin ET yanıtı için model seçimi

Model	Standart sapma	p-değeri	Uyum eksikliğine ait p-değeri	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini R^2
Lineer	0,0749	< 0,0001	0,0006	0,9052	0,8862	0,7734
2FI	0,0588	0,0249	0,0013	0,9474	0,9299	0,8056
Kuadratik	0,0404	< 0,0001	0,0043	0,9807	0,9669	0,8125
Kübik	0,0124	0,0011	0,2804	0,9987	0,9969	0,9567

ET için varyans analizi sonucunda elde istatistiksel veriler ve kurutma koşullarının etkilerinin istatistikse anlamları Tablo 4.12’te sunulmuştur. Kurutma koşul faktörleri ile ET yanıtı arasında, modele ait yüksek F değeri (71,02) nedenleriyle iyi bir kuadratik ilişki olduğu belirlenmiştir. A, B, AB ve B² toplam enerji tüketimi üzerine anlamlı bir etkiye sahipken (p<0,05), A² istatistiksel olarak anlamlı değildir (p>0,05). Bu durumda toplam enerji tüketimi referans alındığında kurutma performansı, kurutma sıcaklığı tarafından lineer ve mikrodalga gücü tarafından lineer ve kuadratik olarak etkilenmektedir. Toplam kuruma süresi yanıtında olduğu gibi kurutma sıcaklığı ve mikrodalga gücünün ikili etkisinin anlamlı olması enerji sarfiyatı açısından hibrit kurutma yönteminin anlamlı bir fark yarattığını göstermektedir.

Tablo 4.12: Balkabağı örneklerinin ET yanıtı için kuadratik model analizi

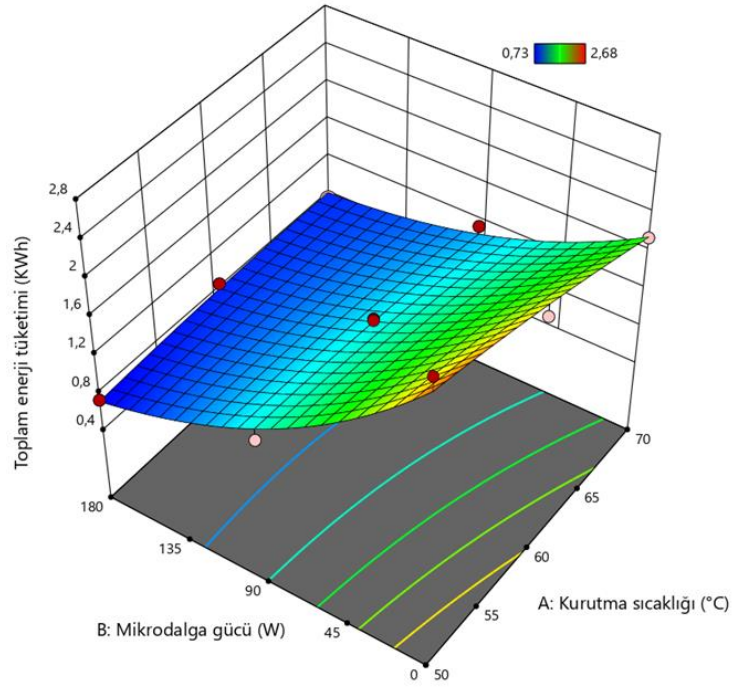
	Kareler Toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F-değeri	p- değeri
Model	0,5808	5	0,1162	71,02	< 0,0001**
A-Kurutma Sıcaklığı	0,0164	1	0,0164	10,04	0,0157*
B-Mikrodalga Gücü	0,5197	1	0,5197	317,72	< 0,0001**
AB	0,0250	1	0,0250	15,29	0,0058**
A ²	0,0011	1	0,0011	0,6666	0,4411
B ²	0,0192	1	0,0192	11,76	0,0110*
Artık	0,0115	7	0,0016		
Uyum eksikliği	0,0109	3	0,0036	26,44	0,0043
Net hata	0,0005	4	0,0001		
Genel Toplam	0,5923	12			
* p < 0,05, ** p < 0,01.				Matematiksel dönüşüm: Karekök	

Balkabağı örnekleri için tahmini ET değerleri, bağımsız değişkenlerin gerçek ve kodlanmış seviyeleri için sırasıyla Denklem 4.3 ve Denklem 4.4’ten hesaplanabilir.

$$\sqrt{ET} = 1,55369 + 0,010706A - 0,010396B + 0,000088AB - 0,000199A^2 + 0,000010B^2 \quad (4.3)$$

$$\sqrt{ET} = 1,10 - 0,0523A - 0,2943B + 0,0791AB - 0,01998A^2 + 0,0835B^2 \quad (4.4)$$

Balkabağının mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutulmasında, kurutma sıcaklığı ve mikrodalga gücünün toplam enerji tüketimi üzerine etkisi yanıt yüzey grafiğinde gösterilmiştir (Şekil 4.8). Üç boyutlu yanıt yüzey grafiği incelendiğinde artan kurutma sıcaklığı ve mikrodalga güçlerinde toplam enerji tüketiminin azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.8: Balkabağı örneklerinin ET yanıtına ait yüzey grafiği

4.2.3 Rehidrasyon oranı

Rehidrasyon oranı (RO) yanıtı için uygunluğu araştırılan 4 modele ait seçim kriterlerini oluşturan istatistiki veriler Tablo 4.13'te verilmiştir. Kuadratik model, yüksek R^2 (0,9562) ve 0,05 anlamlılık düzeyinde modele ait p değerinin anlamlı, uyum eksikliğine ait p değerinin ise anlamsız olması kriterlerini sağlaması nedeniyle balkabağının rehidrasyon oranını tanımlamak için en uygun model olarak seçilmiştir. Kuadratik modelin düzeltilmiş R^2 (0,9248) ile tahmini R^2 (0,7122) değerleri arasındaki farkın 0,2'den yüksek olması modelin tahminleme gücünü bir miktar zayıflatırken, uygunluğu araştırılan diğer modellerin tahmini R^2 değerlerinin negatif olması sebebiyle model seçiminde değişikliğe sebep olmamıştır.

Tablo 4.13: Balkabağı örneklerinin RO yanıtı için model seçimi

Model	Standart sapma	p-değeri	Uyum eksikliğine ait p-değeri	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini R^2
Lineer	0,4570	0,2209	0,0007	0,2607	0,1128	-0,5862
2FI	0,4327	0,1763	0,0007	0,4034	0,2046	-1,0583
Kuadratik	0,1330	0,0001	0,0561	0,9562	0,9248	0,7122
Kübik	0,1399	0,5556	0,0208	0,9653	0,9168	-2,1292

RO için varyans analizi sonucunda elde edilen istatistiksel verilerin sunulduğu Tablo 4.14’te modele ait yüksek F değeri (30,53) ve uyum eksikliğine ait F değerinin 10’dan küçük olması nedenleriyle kurutma koşul faktörleri ile RO yanıtı arasında iyi bir kuadratik ilişki vardır. B, AB, A² ve B² rehidrasyon oranı üzerine anlamlı bir etkiye sahipken (p<0,05), A istatistiksel olarak anlamlı değildirler (p>0,05). Rehidrasyon oranı referans alındığında kurutma performansı, kurutma sıcaklığı tarafından kuadratik ve mikrodalga gücü tarafından ise lineer ve kuadratik olarak etkilenmektedir. Ayrıca AB etkisinin anlamlı olması hibrit kurutmanın rehidrasyon oranı üzerine etkisinin önemli olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.14: Balkabağı örneklerinin RO yanıtı için kuadratik model analizi

	Kareler Toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F-değeri	p- değeri
Model	2,70	5	0,5402	30,53	0,0001**
A-Kurutma Sıcaklığı	0,0013	1	0,0013	0,0763	0,7904
B-Mikrodalga Gücü	0,7350	1	0,7350	41,54	0,0004**
AB	0,4032	1	0,4032	22,79	0,0020**
A ²	0,1781	1	0,1781	10,07	0,0156*
B ²	1,56	1	1,56	88,04	< 0,0001**
Artık	0,1239	7	0,0177		
Uyum eksikliği	0,1017	3	0,0339	6,13	0,0561
Net hata	0,0221	4	0,0055		
Genel Toplam	2,82	12			

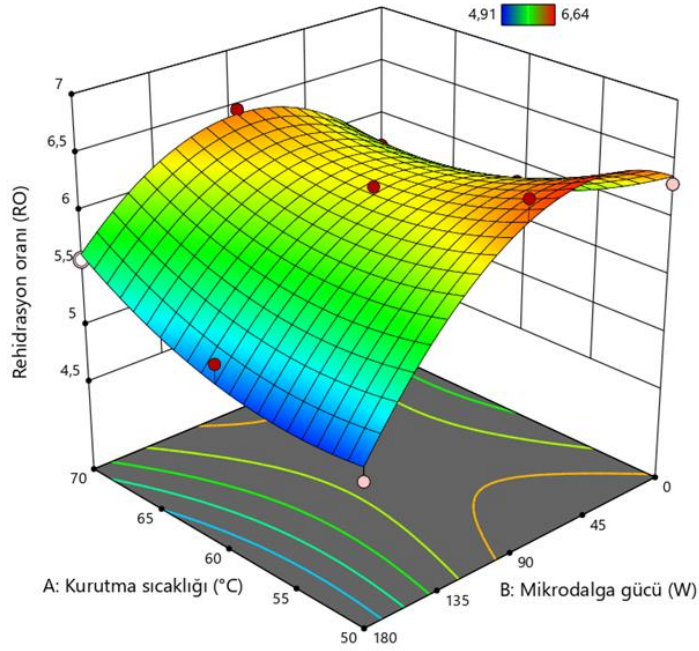
* p < 0,05, ** p < 0,01.

Balkabağı örnekleri için tahmini RO değerleri, bağımsız değişkenlerin gerçek ve kodlanmış seviyeleri için sırasıyla Denklem 4.5 ve Denklem 4.6’dan hesaplanabilir.

$$RO = 16,91845 - 0,338009A - 0,008366B + 0,000353AB + 0,002540A^2 - 0,0000938B^2 \quad (4.5)$$

$$RO = 6,18 - 0,0150A - 0,3500B + 0,3175AB + 0,2540A^2 - 0,7510B^2 \quad (4.6)$$

Balkabağının mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutulmasında rehidrasyon oranı üzerine kurutma sıcaklığı ve mikrodalga gücünün etkisi grafiksel olarak sunulmuştur (Şekil 4.9). Yanıt yüzey grafiğinin eğri şeklinden de görüleceği üzere mikrodalga gücü arttıkça rehidrasyon oranı önce artmakta ardından azalmaktadır. Kurutma sıcaklığı arttıkça rehidrasyon oranı azalmaktadır ama bu etki mikrodalga gücü kadar belirgin değildir.



Şekil 4.9: Balkabağı örneklerinin RO yanıtına ait yüzey grafiği

4.2.4 Su tutma kapasitesi

Su tutma kapasitesi (STK) yanıtını için uygunluğu araştırılan 4 modele içinde en uygun model kuadratik model olarak belirlenmiştir. Kuadratik model, 0,05 anlamlılık düzeyinde modele ait p değerinin anlamlı, uyum eksikliğine ait p değerinin ise anlamsız olması kriterini sağlamaktadır. Ancak model uygunluğunun bir diğer ölçücü olan tahmini R^2 (0,6463) ve düzeltilmiş R^2 (-0,2473) değerleri arasındaki farkın en fazla 0,2 olması kriterini sağlanamamıştır. Ayrıca tahmini R^2 değerinin negatif olması model güvenilirliğini azaltan bir başka husustur, bu durumda önerilen deneysel verinin matematiksel olarak dönüştürülmesi işlemi denenmiş fakat tüm matematiksel dönüşümlü çözümlerde de negatif değerlere ulaşılmıştır. Ve bir başka öneri olan model genel ortalamanın kullanımının deneysel değerleri tahminlemede kuadratik modelden zayıf kalması nedenleriyle STK yanıtı için kuadratik modelin kullanımında karar kılınmıştır (Tablo 4.15).

Tablo 4.15:Balkabağı örneklerinin STK yanıtı için model seçimi

Model	Standart sapma	p-değeri	Uyum eksikliğine ait p-değeri	R ²	Düzeltilmiş R ²	Tahmini R ²
Lineer	4,35	0,4558	0,0508	0,1454	-0,0255	-0,6643
2FI	4,55	0,7139	0,0395	0,1588	-0,1216	-1,8921
Kuadratik	2,55	0,0238	0,2656	0,7937	0,6463	-0,2473
Kübik	2,30	0,2559	0,2639	0,8804	0,7130	-3,2436

Su tutma kapasitesi için varyans analizi sonucunda elde edilen istatistiksel veriler Tablo 4.16’da sunulmuştur. Yalnızca B² su tutma kapasitesi üzerine anlamlı etkiye sahiptir (p<0,05). A, B, AB ve A² istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (p>0,05). Sonuç olarak su tutma kapasitesi referans alındığında kurutma performansı mikrodalga gücü tarafından kuadratik olarak etkilenmektedir.

Tablo 4.16: Balkabağı örneklerinin kurutulmasında STK yanıtı için kuadratik model analizi

Model	Kareler Toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F-değeri	p- değeri
Model	175,51	5	35,10	5,39	0,0238**
A-Kuruma Sıcaklığı	32,16	1	32,16	4,93	0,0618
B-Mikrodalga Gücü	0,0001	1	0,0001	0,0000	0,9975
AB	2,96	1	2,96	0,4540	0,5221
A ²	13,00	1	13,00	1,99	0,2008
B ²	139,46	1	139,46	21,40	0,0024*
Artık	45,62	7	6,52		
Uyum eksikliği	27,01	3	9,00	1,94	0,2656
Net hata	18,61	4	4,65		
Genel Toplam	221,13	12			

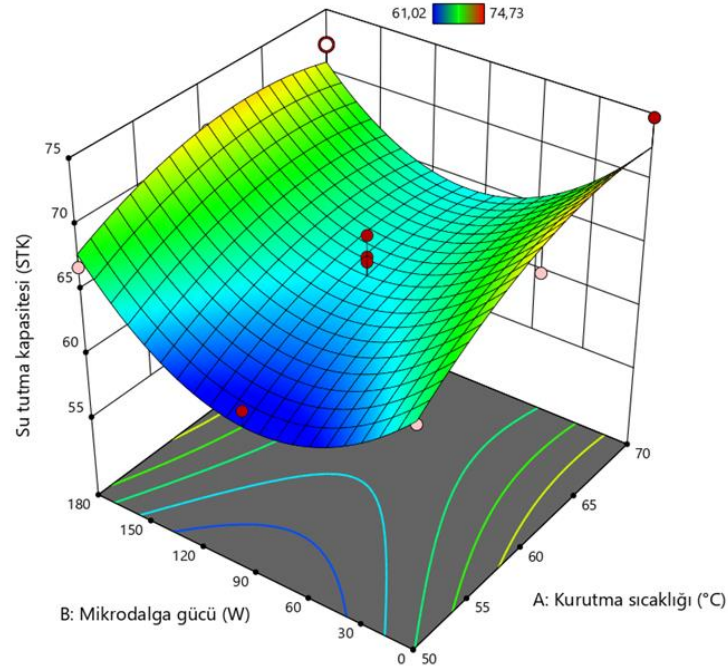
* p < 0,05, ** p < 0,01.

Balkabağı örnekleri için tahmini STK değerleri, bağımsız değişkenlerin gerçek ve kodlanmış seviyeleri için sırasıyla Denklem 4.7 ve Denklem 4.8’den hesaplanabilir.

$$STK = -25,58287 + 2,92047A - 0,100612B - 0,000956AB - 0,021691A^2 + 0,000877B^2 \quad (4.7)$$

$$STK = 64,45 + 2,31A - 0,0033B - 0,8600AB - 2,17A^2 + 7,11B^2 \quad (4.8)$$

Balkabağının mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutulmasında, kurutma sıcaklığı ve mikrodalga gücünün su tutma kapasitesi üzerine etkisi yanıt yüzey grafiğinde gösterilmiştir (Şekil 4.10). Üç boyutlu yanıt yüzey grafiği incelendiğinde su tutma kapasitesinin artan kurutma havası sıcaklıklarında arttığı, mikrodalga gücündeki artış ile bu değerde önce artış ardından azalma gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 4.10:Balkabağı örneklerinin STK yanıtına ait yüzey grafiği

4.2.5 Toplam renk değişimi

Balkabağının toplam renk değişimi (ΔE^*) yanıtının tahminlenmesi için uygunluğu araştırılan 4 modelden, lineer model en uygun model seçilmiştir. Bu model düzeltilmiş R^2 (0,8347) ile tahmini R^2 (0,7694) değerleri arasındaki farkın 0,2'den az olması ile 0,05 anlamlılık düzeyinde modele ait p değerinin anlamlı, uyum eksikliğine ait p değerinin ise anlamsız olması nedenleriyle seçilmiştir (Tablo 4.17).

Tablo 4.17: Balkabağı örneklerinin ΔE^* yanıtı için model seçimi

Model	Standart sapma	p-değeri	Uyum eksikliğine ait p-değeri	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini R^2
Lineer	0,9400	< 0,0001	0,5714	0,8623	0,8347	0,7694
2FI	0,9301	0,2990	0,5788	0,8786	0,8382	0,7782
Kuadratik	0,8652	0,2501	0,6926	0,9183	0,8600	0,6944
Kübik	0,8965	0,5151	0,6386	0,9374	0,8497	0,4740

ΔE^* için varyans analizi sonucunda elde edilen F-değeri, p-değeri, uyum eksikliği gibi istatistiksel veriler ve kurutma koşullarının etkilerinin istatistiksel anlamları Tablo 4.18’de sunulmuştur. Modele atı yüksek F değerinin (31,30) yüksek, uyum eksikliğine ait F değerinin (0,8935) ise küçük olması lineer modelin ΔE^* yanıtının tahminlenmesi için uygun olduğunu bir diğer göstergesidir. A ve B istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0,05$). ΔE^* referans alındığında her iki kurutma koşul faktörü de kurutma performansını lineer olarak etkilemektedir.

Tablo 4.18: Balkabağı örneklerinin ΔE^* yanıtı için lineer model analizi

	Kareler Toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F-değeri	p- değeri
Model	55,32	2	27,66	31,30	< 0,0001**
A-Kurutma Sıcaklığı	31,24	1	31,24	35,35	0,0001**
B-Mikrodalga Gücü	24,08	1	24,08	27,25	0,0004**
Artık	8,84	10	0,8836		
Uyum eksikliği	5,06	6	0,8434	0,8935	0,5714
Net hata	3,78	4	0,9439		
Genel Toplam	64,15	12			

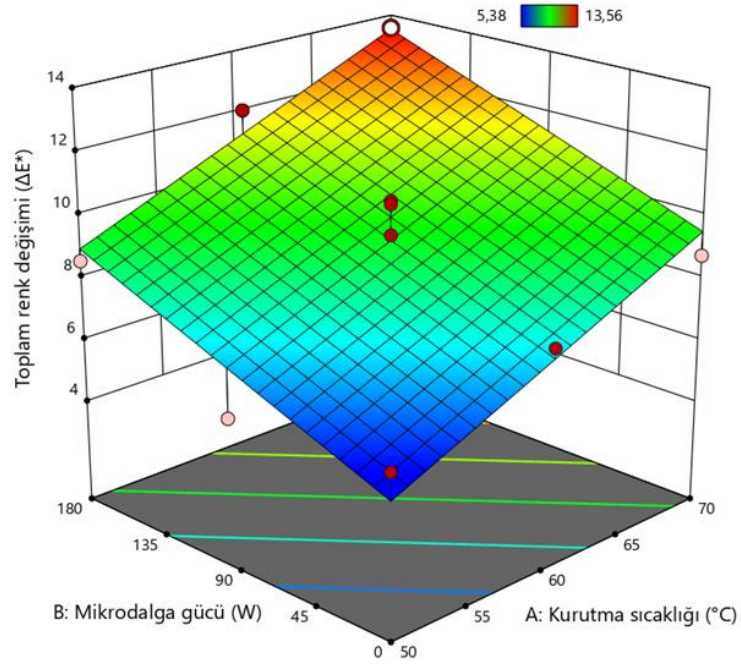
* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$.

Balkabağı örnekleri için tahmini ΔE^* değerleri, bağımsız değişkenlerin gerçek ve kodlanmış seviyeleri için sırasıyla Denklem 4.9 ve Denklem 4.10’dan hesaplanabilir.

$$\Delta E^* = -6,45410 + 0,228167A + 0,022259B \quad (4.1)$$

$$\Delta E^* = 9,24 + 2,28A + 2,00B \quad (4.2)$$

Kurutma sıcaklığı ve mikrodalga gücünün toplam renk değişimi üzerine etkisini gösteren yanıt yüzey grafiği incelendiğinde, toplam renk değişimi kurutma sıcaklığı ve mikrodalga gücündeki artışla artmaktadır. Bu iki faktörün lineer etkileri grafiksel olarak da görülebilmektedir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11: Balkabağı örneklerinin ΔE^* yanıtına ait yüzey grafiği

4.2.6 Antioksidan aktivite değişimi

Antioksidan aktivite değişimi (AA (%)) yanıtı için uygunluğu araştırılan 4 modele ait model seçim kriterlerini oluşturan istatistiki veriler Tablo 4.19’da verilmiştir. Kuadratik model, yüksek R^2 (0,9909), düzeltilmiş R^2 (0,9845) ile tahmini R^2 (0,9265) değerleri arasındaki 0,2’den az fark olması ve 0,05 anlamlılık düzeyinde modele ait p değerinin anlamlı, uyum eksikliğine ait p değerinin ise anlamsız olması kriterlerini sağlaması nedeniyle antioksidan aktivite değişimi için en uygun model olarak seçilmiştir.

Tablo 4.19: Balkabağı örneklerinin AA (%) yanıtı için model seçimi

Kaynak	Standart sapma	p-değeri	Uyum eksikliğine ait p-değeri	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini R^2
Lineer	11,25	< 0,0001	0,0026	0,8978	0,8774	0,7926
2FI	11,71	0,6537	0,0020	0,9002	0,8669	0,5417
Kuadratik	4,00	< 0,0001	0,0965	0,9909	0,9845	0,9265
Kübik	2,31	0,0277	0,8969	0,9978	0,9948	0,9957

AA (%) için varyans analizi sonucunda elde edilen modele ait yüksek F değeri (153,06) ve uyum eksikliğine ait düşük F değeri (4,29) kuadratik modelin bu yanıtın tahminlenmesi için uygun olduğunu gösteren diğer istatistiki verilerdir. A, B, A² antioksidan aktivite değişimi üzerine anlamlı etkiye sahipken (p<0,05), AB ve B² etkisi istatistiki olarak önemli değildir (p>0,05). Antioksidan aktivite değişimi referans alındığında kurutma performansı kurutma sıcaklığı tarafından lineer ve kuadratik, mikrodalga gücü tarafından lineer olarak etkilenmektedir (Tablo 4.20).

Tablo 4.20: Balkabağı örneklerinin AA (%) yanıtı için kuadratik model analizi

	Kareler Toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F-değeri	p- değeri
Model	12262,47	5	2452,49	153,06	< 0,0001**
A-Kurutma Sıcaklığı	2600,42	1	2600,42	162,29	< 0,0001**
B-Mikrodalga Gücü	8509,65	1	8509,65	531,09	< 0,0001**
AB	29,54	1	29,54	1,84	0,2167
A ²	689,41	1	689,41	43,03	0,0003**
B ²	85,51	1	85,51	5,34	0,0542
Artık	112,16	7	16,02		
Uyum eksikliği	85,59	3	28,53	4,29	0,0965
Net hata	26,58	4	6,64		
Genel Toplam	12374,63	12			

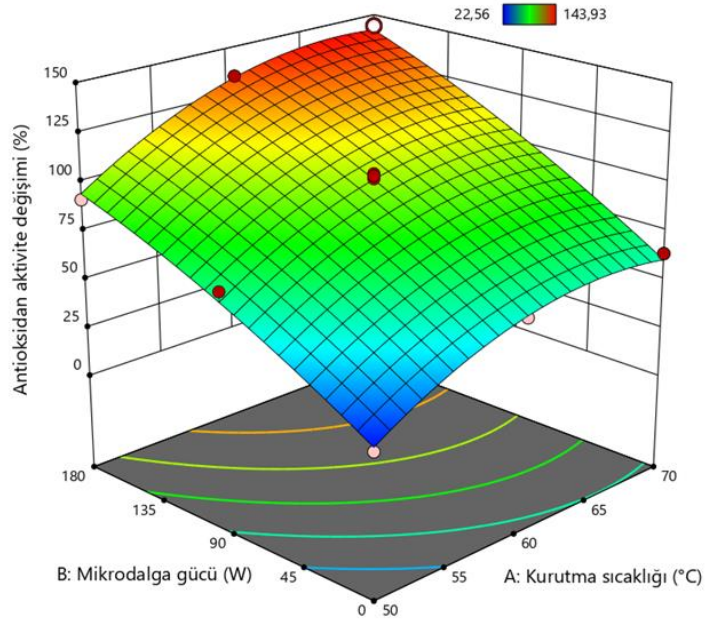
* p < 0,05, ** p < 0,01.

Balkabağı örnekleri için tahmini AA (%) değerleri, bağımsız değişkenlerin gerçek ve kodlanmış seviyeleri için sırasıyla Denklem 4.11 ve Denklem 4.12'den hesaplanabilir.

$$AA (\%) = -618,78121 + 20,76905A + 0,360925B + 0,003019AB - 0,157991A^2 - 0,000687B^2 \quad (4.11)$$

$$AA (\%) = 101,82 + 20,82A + 37,66B + 2,72AB - 15,80A^2 - 5,56B^2 \quad (4.12)$$

Balkabağının mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutulmasında, kurutma sıcaklığı ve mikrodalga gücünün antioksidan aktivite değişimi üzerine etkisi Şekil 4.12'de grafiksel olarak sunulmuştur. Yanıt yüzey grafiğine göre, artan mikrodalga güçlerinde antioksidan aktivite değişimi artış yönünde yüzdesel olarak artmakta, artan kurutma sıcaklıklarında ise yüzdesel artış hızı azalmaktadır.



Şekil 4.12: Balkabağı örneklerinin AA (%) yanıtına ait yüzey grafiği

4.2.7 Toplam fenolik madde içeriği değişimi

Toplam fenolik madde içeriği değişimi (TFM (%)) yanıtı için uygunluğu araştırılan 4 ayrı modele ait istatistiki veriler Tablo 4.21’de sunulmuştur. Kuadratik model, yüksek R^2 (0,9950), uyumlu düzeltilmiş R^2 (0,9915) ile tahmini R^2 (0,9584) değerleri ve 0,05 anlamlılık düzeyinde modele ait p değerinin anlamlı, uyum eksikliğine ait p değerinin ise anlamsız olması kriterlerini sağlaması nedeniyle toplam fenolik madde içeriği değişimi için en uygun model olarak seçilmiştir.

Tablo 4.21: Balkabağı örneklerinin TFM (%) yanıtı için model seçimi

Model	Standart sapma	p-değeri	Uyum eksikliğine ait p-değeri	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini R^2
Lineer	3,29	< 0,0001	0,0023	0,9494	0,9393	0,9024
2FI	3,46	0,8707	0,0017	0,9495	0,9327	0,8101
Kuadratik	1,23	< 0,0001	0,0708	0,9950	0,9915	0,9584
Kübik	0,6725	0,0209	0,6591	0,9989	0,9975	0,9920

TFM (%) için varyans analizi sonucunda elde edilen modele ait yüksek F değeri (280,87) ve uyum eksikliğine ait düşük F değeri (5,28) kuadratik modelin bu yanıtın tahminlenmesi için uygun olduğunu göstermektedir. A, B ve B² toplam fenolik

madde içeriği değişimi üzerine anlamlı etkiye sahipken ($p < 0,05$), A^2 ve AB etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p > 0,05$). TFM (%) referans alındığında kurutma performansı üzerine kurutma sıcaklığı lineer; mikrodalga gücü lineer ve kuadratik olarak etkilidir (Tablo 4.22).

Tablo 4.22: Balkabağı örneklerinin TFM (%) yanıtı için kuadratik model analizi

	Kareler Toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F-değeri	p- değeri
Model	2130,31	5	426,06	280,87	< 0,0001**
A-Kurutma Sıcaklığı	224,36	1	224,36	147,90	< 0,0001**
B-Mikrodalga Gücü	1808,22	1	1808,22	1192,03	< 0,0001**
AB	0,3364	1	0,3364	0,2218	0,6520
A^2	0,1377	1	0,1377	0,0908	0,7720
B^2	85,74	1	85,74	56,52	0,0001**
Artık	10,62	7	1,52		
Uyum eksikliği	8,48	3	2,83	5,28	0,0708
Net hata	2,14	4	0,5351		
Genel Toplam	2140,93	12			

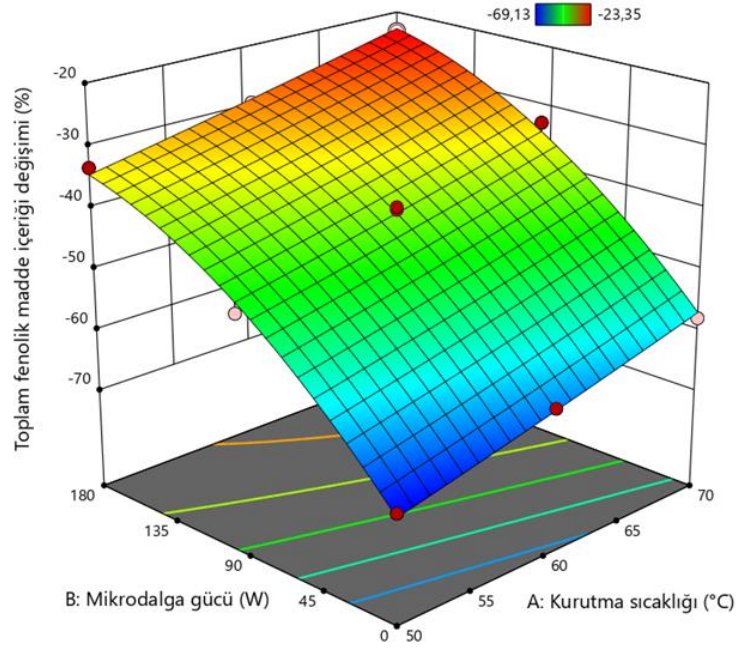
* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$.

Balkabağı örnekleri için tahmini TFM (%) değerleri, bağımsız değişkenlerin gerçek ve kodlanmış seviyeleri için sırasıyla Denklem 4.13 ve Denklem 4.14'ten hesaplanabilir.

$$\text{TFM (\%)} = -93,99759 + 0,372569A + 0,336038B - 0,000322AB + 0,002233A^2 - 0,0006888B^2 \quad (4.13)$$

$$\text{TFM (\%)} = -40,67 + 6,12A + 17,36B - 0,2900AB + 0,2233A^2 - 5,57B^2 \quad (4.14)$$

Kurutma koşul faktörlerinin, balkabağının toplam fenolik madde içeriği değişimi üzerine etkisini gösteren yanıt yüzey grafiği incelendiğinde, kurutma sıcaklığındaki artış ile de toplam fenolik madde kayıp oranlarında azalma meydana geldiği görülmekte ancak mikrodalga gücünün etkisinin kurutma sıcaklığına göre daha belirgin olduğu ve artan mikrodalga güçlerinde toplam fenolik madde içeriğindeki kaybın yüzdesel olarak azaldığı görülmektedir. Sıcak havanın mikrodalga gücü ile kombine edilmesi neticesinde de toplam fenolik madde kaybı azalmaktadır (Şekil 4.13).



Şekil 4.13: Balkabağı örneklerinin TFM (%) yanıtına ait yüzey grafiği

4.2.8 Beta karoten İçeriği Değişimi

Beta karoten içeriği değişimi (BK (%)) yanıtı için uygunluğu araştırılan 4 modele içerisinde yüksek R^2 (0,8423), düzeltilmiş R^2 (0,8107) ile tahmini R^2 (0,7161) değerleri arasındaki 0,2'den az fark olması ve 0,05 anlamlılık düzeyinde modele ait p değerinin anlamlı, uyum eksikliğine ait p değerinin ise anlamsız olması kriterlerini sağlaması nedeniyle lineer model beta karoten içeriği değişimini tanımlamak için en uygun model olarak seçilmiştir (Tablo 4.23).

Tablo 4.23: Balkabağı örneklerinin BK (%) yanıtı için model seçimi

Model	Standart sapma	p-değeri	Uyum eksikliğine ait p-değeri	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini R^2
Lineer	3,16	< 0,0001	0,1670	0,8423	0,8107	0,7161
2FI	3,01	0,1932	0,1845	0,8707	0,8276	0,7253
Kuadratik	2,85	0,2804	0,1851	0,9101	0,8459	0,4531
Kübik	2,79	0,3884	0,1103	0,9384	0,8522	-2,7027

BK (%) için lineer modele ait varyans analizi sonuçları Tablo 4.24'te sunulmuştur. Modele ait yüksek F değeri (26,70) ve uyum eksikliğine ait düşük F değeri (2,83) kurutma koşul faktörleri ile BK (%) arasında iyi bir lineer ilişki olduğunu

göstermektedir. A ve B, beta karoten içeriği değişimi üzerine anlamlı etkiye sahipken ($p < 0,05$), A ve AB etkisi anlamlı değildir ($p > 0,05$). Beta karoten içeriği değişimi referans alındığında kurutma performansı üzerine kurutma sıcaklığı ve mikrodalga gücü lineer olarak etkilidir. Hibrit kurutma yönteminin beta karoten içeriği değişimi üzerine etkisi, diğer biyoaktif bileşenlerde (AA ve TFM) olduğu gibi anlamlı bulunmamıştır.

Tablo 4.24: Balkabağı örneklerinin BK (%) yanıtı için model analizi

	Kareler Toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F-değeri	p- değeri
Model	532,79	2	266,40	26,70	< 0,0001**
A-Kurutma Sıcaklığı	437,59	1	437,59	43,86	< 0,0001**
B-Mikrodalga Gücü	95,20	1	95,20	9,54	0,0115*
Artık	99,77	10	9,98		
Uyum eksikliği	80,72	6	13,45	2,83	0,1670
Net hata	19,05	4	4,76		
Genel Toplam	632,56	12			

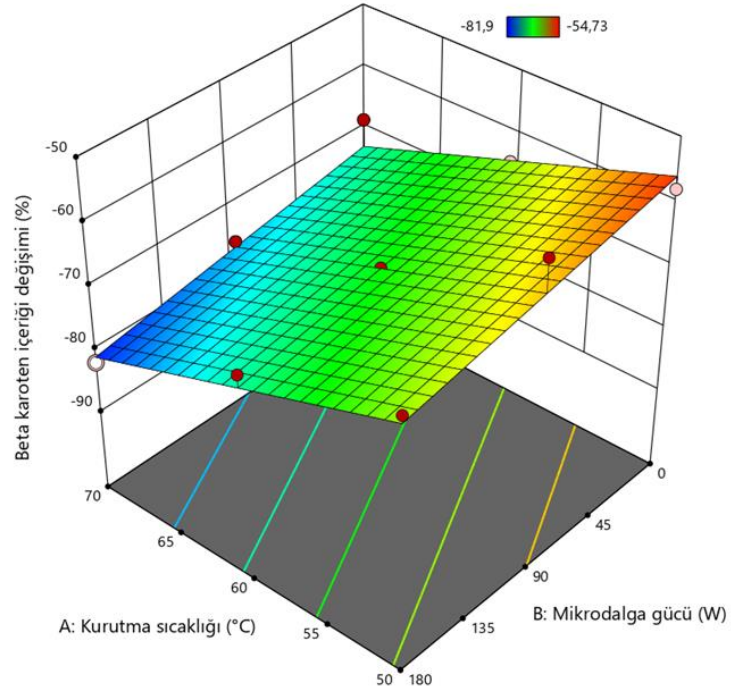
* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$.

Balkabağı örnekleri için tahmini BK (%) değerleri, bağımsız değişkenlerin gerçek ve kodlanmış seviyeleri için sırasıyla Denklem 4.15 ve Denklem 4.16'den hesaplanabilir.

$$BK (\%) = -13,25590 - 0,854000A - 0,044259B \quad (4.15)$$

$$BK (\%) = -68,48 - 8,54A - 3,98B \quad (4.16)$$

Kurutma koşul faktörlerinin beta karoten içeriği değişimi üzerine etkisini gösteren yanıt yüzey grafiği Şekil 4.14'te sunulmuştur. Kurutma sıcaklığı ve mikrodalga gücünün lineer etkisi ve bu koşul faktörlerindeki artış ile beta karoten kaybı yüzde oranındaki artış yanıt yüzey grafiğinden görülmektedir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14: Balkabağı örneklerinin BK (%) yanıtına ait yüzey grafiği

4.2.9 Sayısal Optimizasyon

Sayısal optimizasyonu için her bağımsız değişken ve yanıt için hedefler belirlenmiştir. Bağımsız değişkenler için hedef, deney deseni içinde belirlenen alt ve üst limitler içinde kalması iken yanıtlar için hedefler belirlenirken temel kriter; rehidrasyon kabiliyeti ve biyoaktif bileşen içeriği yüksek (en az kayıp), en az renk değişimine uğramış kuru ürünleri kısa kuruma süresinde en az enerji sarfıyatı ile elde etmektir. Bu hedefler doğrultusunda elde edilen optimum koşul ve bu koşulda yanıtların alacağı tahmini değerler Tablo 4.25'te sunulmuştur. Balkabağının hibrit kurutulmasında istenebilirlik fonksiyonu (0,601) en yüksek olan yani optimum koşul değerleri 56,55 °C kurutma sıcaklığı ve 148,52 W mikrodalga gücü olmuştur.

Tablo 4.25: Balkabağının hibrit kurutulması için yanıt yüzey yöntemi ile belirlenen optimum koşul ve bu koşulda yanıtların alacağı tahmini değerler

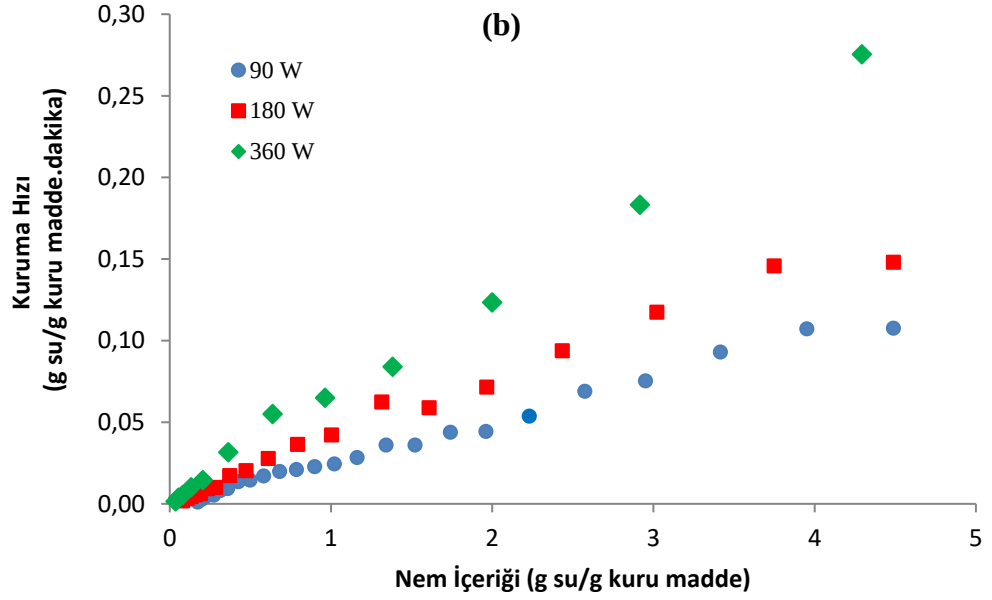
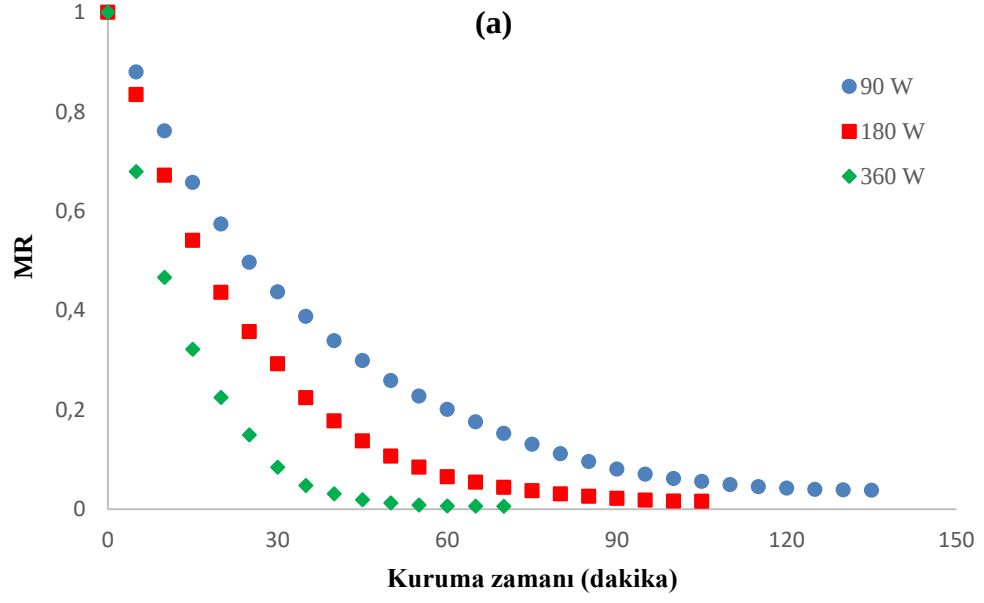
	Alt limit	Üst limit	Optimum koşuldaki tahmini değerler
A-Kurutma sıcaklığı	50	70	56,55 °C
B- Mikrodalga gücü	0	180	148,52 W
D _t	47	362	73,97 dakika
ET	0,73	2,68	0,89 kWh
RO	4,91	6,64	5,60
STK	61,02	74,73	66,59
ΔE*	5,38	13,56	9,76
AA (%)	22,56	143,93	114,23
TFM (%)	-69,13	-23,35	-33,76
BK (%)	-81,9	-54,73	-68,12
İstenebilirlik fonksiyonu			0,601

4.3 Sıcak Hava, Mikrodalga ve Sıcak Hava-Mikrodalga (Hibrit) Kurutma Yöntemlerinin Tatlı Patates Örnekleri Üzerine Etkisi

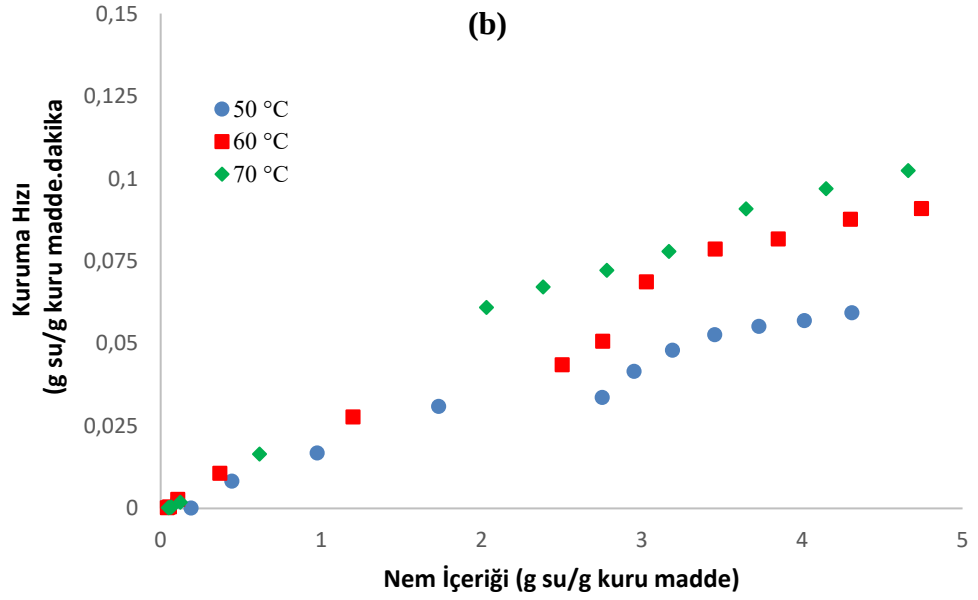
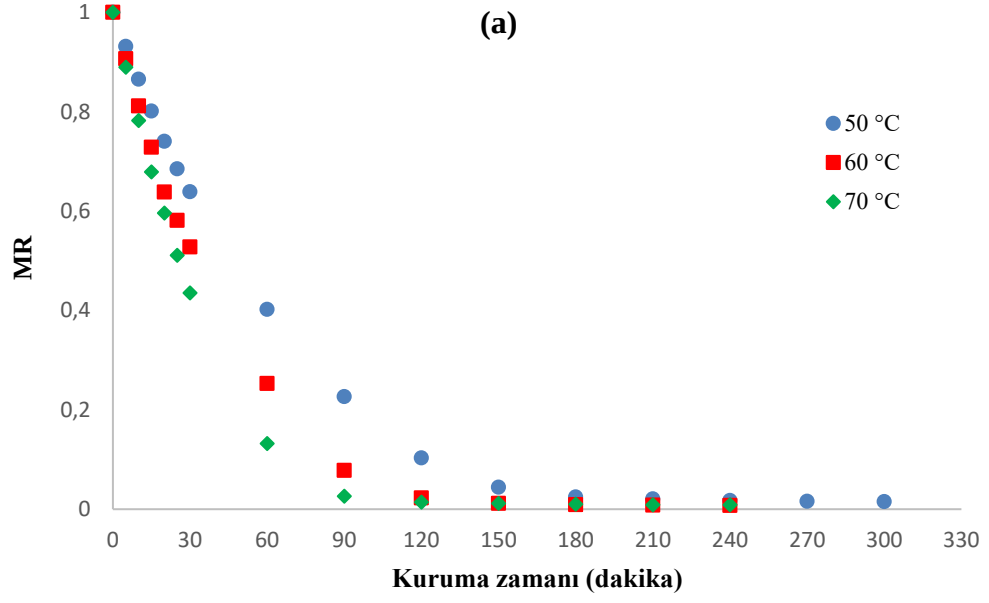
4.3.1 Kuruma Davranışı ve Karakteristikleri

Kurutma denemelerinde kullanılan tatlı patates örneklerinin başlangıç nem içeriği $M_0 = 4,49 \pm 0,19$ g su/g kurumadde olarak tespit edilmiştir. Farklı kurutma yöntemleri (sıcak hava, mikrodalga ve hibrit kurutma) ve koşullarında (hava sıcaklığı ve mikrodalga gücü) kurutulan balkabağı örneklerine ait nem oranı ve kuruma hızı değişimlerini içeren kuruma eğrileri Şekil 4.15-4.19’da grafiksel olarak sunulmuştur. Sıcak hava ile mikrodalga’nın bir arada uygulandığı hibrit kurutma koşullarında tatlı patates örneklerinin artan mikrodalga gücü ve kurutma sıcaklığı ile daha düşük nem içeriklerine daha kısa sürede ulaşabildikleri tespit edilmiştir. Buna ek olarak hibrit koşullarda artan mikrodalga güçlerinde kurutma sıcaklığının kuruma hızı üzerine etkisinin azaldığı görülmüştür.

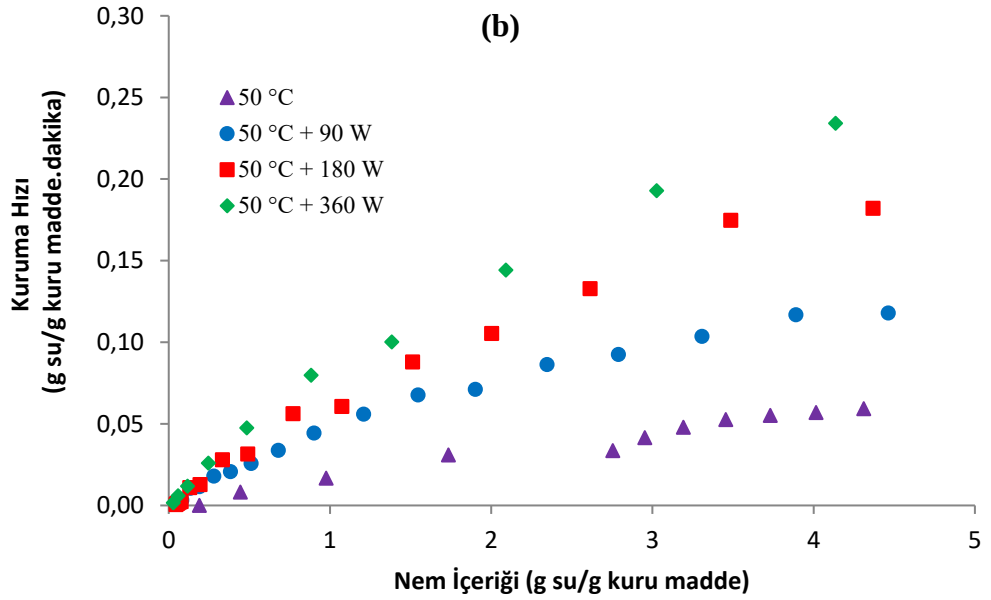
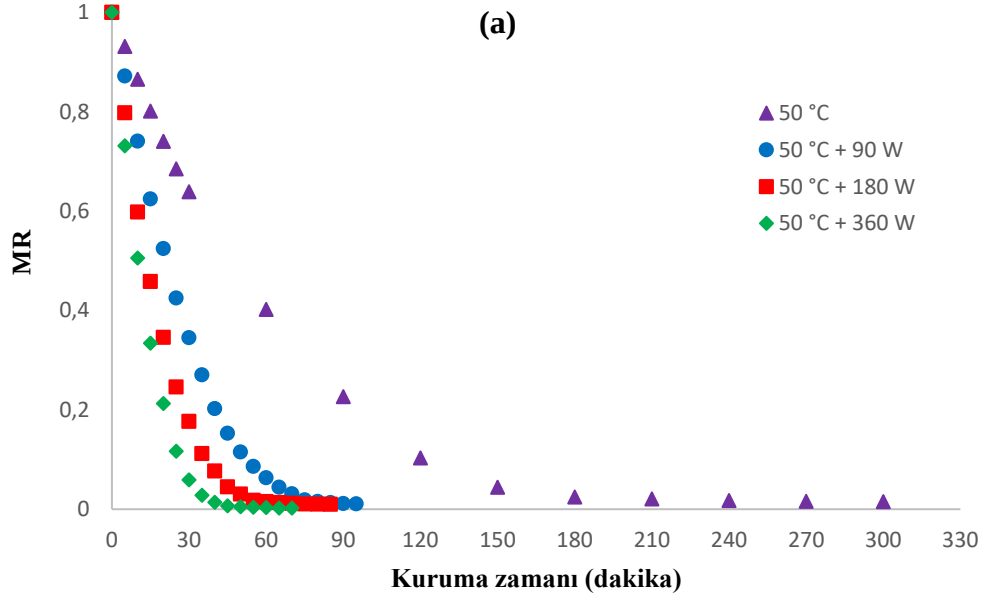
Mikrodalga enerjisinin, kuruma hızı üzerine etkisini incelemek için farklı mikrodalga güçleri ve kurutma sıcaklıklarında kurutulan tatlı patates örneklerinin kuruma hızı Denklem 3.3’ten hesaplanmış ve bu değerler Şekil 4.6b-4.10b’de grafiksel olarak verilmiştir. Artan kurutma sıcaklığı ve mikrodalga güçlerinde kuruma hızının arttığı ancak azalan nem içeriğine bağlı olarak kurutma hızları arasındaki farkın kurutmanın son evrelerinde giderek azaldığı tespit edilmiştir. Üç kurutma yöntemi içinden en yüksek kuruma hızları sırasıyla hibrit kurutma, mikrodalga kurutma ve sıcak hava ile kurutma yöntemleri ile kurutulan örneklerde gözlemlenmiştir. En yüksek kuruma hızlarına 60°C ve 70 °C’de sıcak havanın 360 W mikrodalga gücü ile kombine edildiği koşullarda ulaşılmıştır. Domatesin hibrit kurutulması (sıcak hava-mikrodalga) sırasında da en yüksek kuruma hızına, sıcak hava ve mikrodalga gücü değerlerinin en yüksek seviyelerinin uygulandığı 60°C + 180 W koşulunda ulaşılmıştır (Horuz ve diğ. 2017).



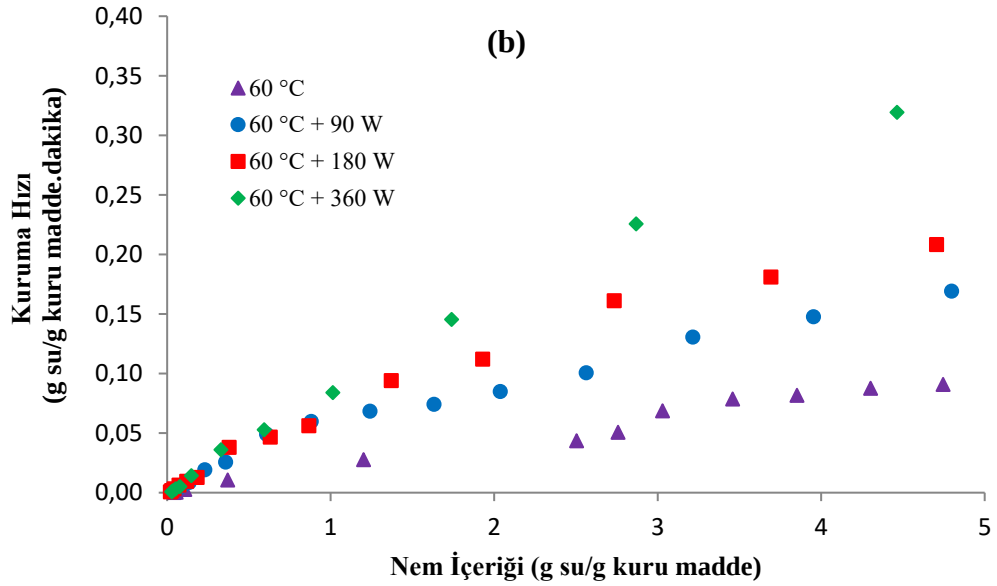
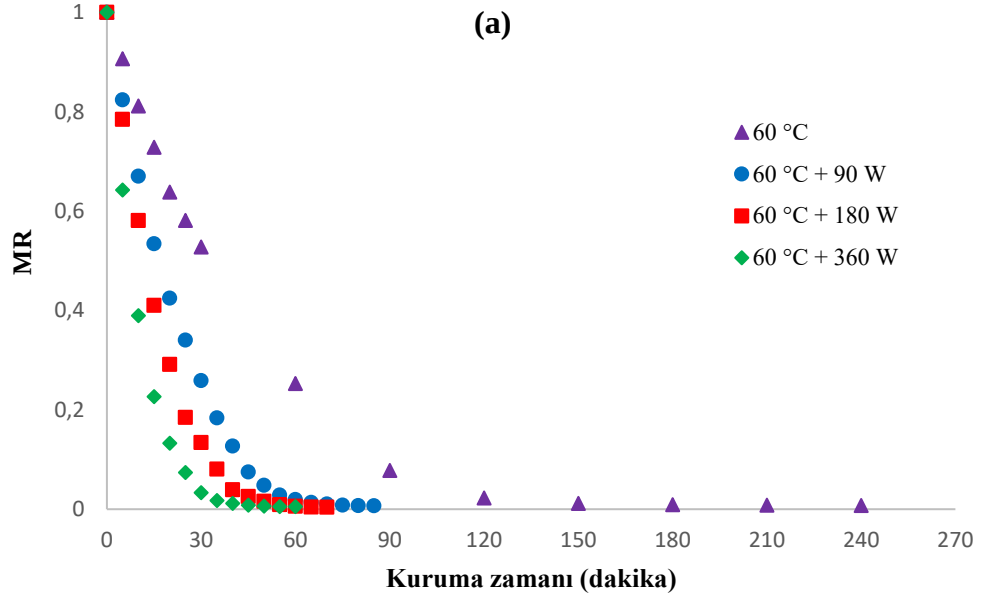
Şekil 4.15: Farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan tatlı patates örneklerine ait kuruma eğrileri a) Nem oranının kuruma zamanı ile değişimi b) Kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi



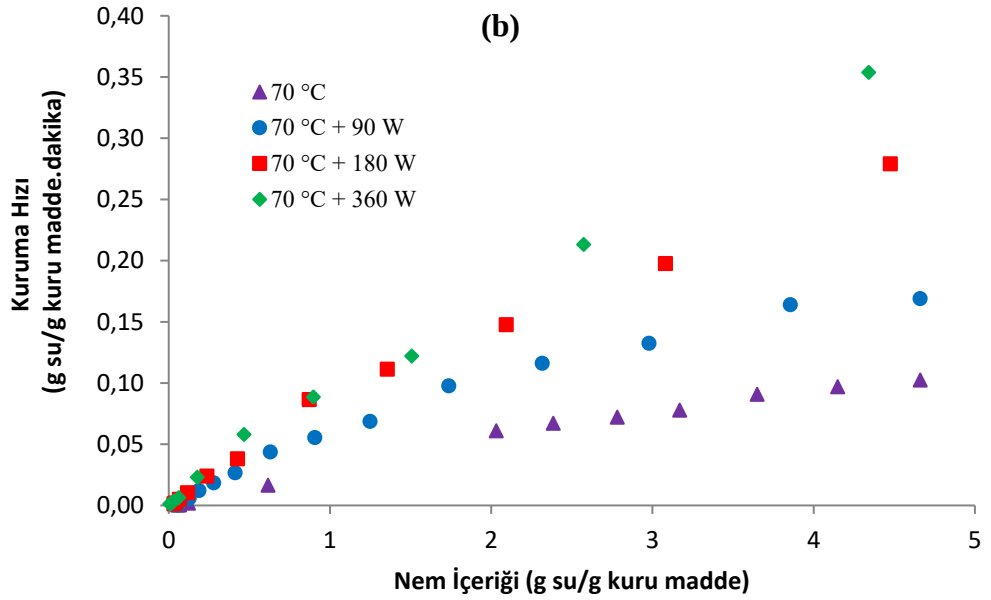
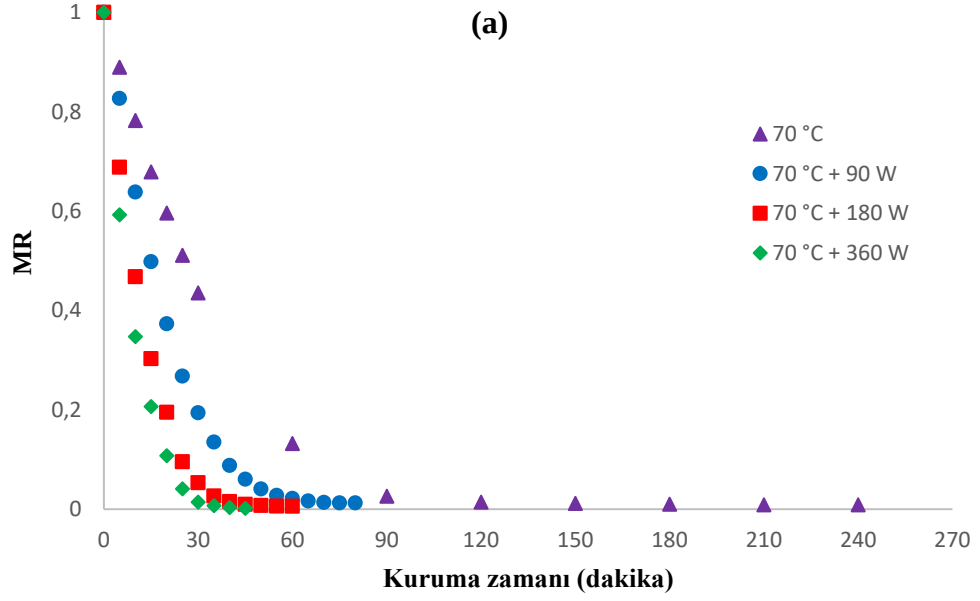
Şekil 4.16: Farklı sıcaklık derecelerinde hava ile kurutulan tatlı patates örneklerine ait kuruma eğrileri a) Nem oranının kuruma zamanı ile değişimi b) Kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi



Şekil 4.17: 50 °C sıcak hava ve farklı mikrodalga güçlerinin kombinasyonu ile hibrit kurutulan tatlı patates örneklerine ait kuruma eğrileri a) Nem oranının kuruma zamanı ile değişimi b) Kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi



Şekil 4.18: 60 °C sıcak hava ve farklı mikrodalga güçlerinin kombinasyonu ile hibrit kurutulan tatlı patates örneklerine ait kuruma eğrileri a) Nem oranının kuruma zamanı ile değişimi b) Kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi



Şekil 4.19: 70 °C sıcak hava ve farklı mikrodalga güçlerinin kombinasyonu ile hibrit kurutulan tatlı patates örneklerine ait kuruma eğrileri a) Nem oranının kuruma zamanı ile değişimi b) Kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi

Sıcak hava ve hibrit kurutma ile kurutulan tatlı patates örneklerinin kurutulması yalnızca azalan hızda kuruma periyodunda gerçekleşmiştir. Ancak yüksek nem içeriğine sahip biyolojik materyallerin kurutulması sırasında gözlemlenmesi beklenen sabit hızda kuruma periyodu tatlı patates örneklerinde de gözlemlenmemiştir. Bu durum örneğin ince tabaka dizilişine bağlı olarak dış yüzeyine sürekli olarak yeterli miktarda su sağlayamaması ve suyun uzaklaştırılmasındaki baskın mekanizmanın difüzyon olmasından kaynaklanmaktadır (Ponkham ve diğ. 2012). Balkabağı örneklerine benzer şekilde 90 W ve 180 W mikrodalga güçlerinde kurutulan tatlı patates örneklerinde kısa süreli artan hız periyodunu azalan hız periyodu takip etmiştir. Bu kuruma davranışlarına neden olan olgular Bölüm 4.1.1.'de ayrıntılı olarak balkabağı örnekleri için tartışılmış ve aynı nedenlerin tatlı patates örnekleri için de geçerli olduğu düşünülmüştür. Artan hız veya ısınma periyodu olarak adlandırılabilir bu kurutma evresi, elmaların mikrodalga ve sıcak hava ile kurutulduğu bir çalışmada 120, 350 ve 460 W mikrodalga güçlerinde kurutulan örneklerde gözlemlenmiştir (Tepe ve Tepe 2020).

Tatlı patates örneklerinin 0,1 g su/g kuru madde nem içeriğine ulaşmaları için geçen toplam kuruma süresi Tablo 4.26'da verilmiştir. En uzun ve en kısa kuruma süresi sırasıyla 177 dakika ile 50 °C sıcak havayla ve 25 dakika ile 70 °C + 360 W koşulunda hibrit kurutulan tatlı patates örneklerine aittir. Tatlı patates örnekleri için artan kurutma havası sıcaklıkları ve mikrodalga güçlerinde kuruma süresi tüm kurutma yöntemleri için balkabağı örneklerinde olduğu gibi kısalmıştır. Kurutma süresindeki benzer trend mikrodalga-sıcak hava ile hibrit kurutulan mantar (Omari ve diğ. 2018) ve ozmotik ön işleme tabi tutulmuş muz (Pereira ve diğ. 2007) için de bildirilmiştir.

Hibrit kurutmada mikrodalga gücündeki artış ile kuruma süresinde ciddi kısaltmalar gerçekleşmiştir. 70 °C + 360 W kodlu hibrit koşullarda kurutulan örnek aynı sıcaklık ve mikrodalga güçlerindeki solo kurutma teknikleri ile kurutulan örneklere göre sırasıyla 4 ve 1,75 kat daha kısa sürede kurumuştur. Kurutma sıcaklığındaki artış ile yalnız sıcak hava ile kurutulan örneklerin kuruma süresinde %31,07-43,54 oranında kısalma gerçekleşirken bu oran mikrodalga gücündeki artış ile yalnızca mikrodalga ile kurutulan örnekler için %51,61-71,61 olmuştur. Öte yandan hibrit koşullarda kurutma sıcaklığı arttıkça mikrodalga gücünün kuruma süresini

kısaltma oranında meydana gelen azalma olgusu tatlı patates örnekleri için de tekrar etmiştir.

Tablo 4.26: Tatlı patates örneklerinin 0,1 g su/g kuru madde nem içeriğine ulaşma süreleri

Kurutma Yöntemi	Kurutma Koşulları	Kuruma süresi (dakika)
		(0,1 g su/g kuru madde nem içeriğine kadar geçen süre)
Mikrodalga	90 W	155±0,82
	180 W	75±0,01
	360 W	44±0,82
Sıcak hava	50 °C	177±1,00
	60 °C	122±1,00
	70 °C	100±1,73
Hibrit	50 °C + 90 W	71±0,80
	50 °C + 180 W	51±1,41
	50 °C + 360 W	39±1,64
	60 °C + 90 W	59±0,71
	60 °C + 180 W	42±0,01
	60 °C + 360 W	30±1,00
	70 °C + 90 W	56±1,00
	70 °C + 180 W	37±0,82
	70 °C + 360 W	25±0,96

Sonuçlar ortalama±standart sapma şeklinde verilmiştir.

4.3.2 Kuruma Kinetiğinin Modellenmesi

Farklı kurutma yöntemleri ve koşullarında kurutulan tatlı patates örneklerinin kurutulması sırasında elde edilen nem oranı değerlerinin kuruma zamanı ile değişimini içeren deneysel veriler Tablo 3.2’de bilgileri sunulan on iki ayrı ince tabaka kurutma modeli ile modellenmiştir. Her kurutma koşulu için matematiksel modellere ait katsayı ve sabitler ile istatistiksel veriler Tablo 4.27’de verilmiştir.

Tablo 4.27: Farklı kurutma yöntemleri ve koşullarında kurutulan tatlı patates örnekleri için model katsayıları, sabitleri ve istatistiksel parametreler

Model No	Model katsayıları ve sabitleri			R ²	RMSE	χ ²
Örnek kodu: 90W						
1	k= 0,0272			0,9996	0,0053	0,000029
2	k= 0,0272	a= 0,9984		0,9996	0,0053	0,000030
3	k= 0,0283	n= 0,9900		0,9997	0,0051	0,000028
4	k= 0,0273	n= 0,9900		0,9997	0,0051	0,000028
5	k= 0,0288	n= 0,9856	a= 1,0035	0,9997	0,0050	0,000028
6	k= 0,0307	a= 0,9800	c= 0,0381	0,9972	0,0144	0,000231
7	k= 0,0336 n= 0,9877	a= 1,0035	b= 0,0048	0,9997	0,0050	0,000029
8	a= -0,0191	b= 0,0001		0,9707	0,0465	0,002328
9	k= 0,0275	a= 0,9953	g= 0,0001	0,9997	0,0049	0,000027
10	a= 0,9100	b= -0,0164	c= 0,00008	0,9847	0,0336	0,001262
11	k= 0,0281 n= 0,9948	a= 0,0037	b= -0,9985	0,9997	0,0049	0,000028
12	k= 0,0326 n= 0,9955	a= 0,9985 g= 0,0037	b= 0,0045	0,9997	0,0049	0,000029
Örnek kodu: 180W						
1	k= 0,0422			0,9987	0,0102	0,000110
2	k= 0,0430	a= 1,0198		0,9991	0,0086	0,000081
3	k= 0,0337	n= 1,0662		0,9997	0,0048	0,000025
4	k= 0,0416	n= 1,0662		0,9997	0,0048	0,000025
5	k= 0,0340	n= 1,0642	a= 1,0015	0,9997	0,0048	0,000027
6	k= 0,0452	a= 1,0115	c= 0,0158	0,9977	0,0136	0,000214
7	k= 0,0364 n= 1,0608	a= 1,0015	b= 0,0024	0,9997	0,0048	0,000028
8	a= -0,0262	b= 0,0002		0,9527	0,0614	0,004147
9	k= 0,0333	a= 5,9832	g= 0,0318	0,9993	0,0077	0,000068
10	a= 0,8929	b= -0,0228	c= 0,00015	0,9743	0,0452	0,002365
11	k= 0,0324 n= 1,0834	a= 0,0059	b= -0,9935	0,9998	0,0042	0,000022
12	k= 0,0001 n= 2,0099	a= 0,9904 g= 0,0127	b= -0,0387	0,9997	0,0038	0,000019
Örnek kodu: 360W						
1	k= 0,0774			0,9990	0,0093	0,000092
2	k= 0,0777	a= 1,0041		0,9990	0,0092	0,000097
3	k= 0,0696	n= 1,0378		0,9992	0,0080	0,000074
4	k= 0,0767	n= 1,0378		0,9992	0,0080	0,000074
5	k= 0,0685	n= 1,0421	a= 0,9961	0,9992	0,0079	0,000079
6	k= 0,0791	a= 1,0005	c= 0,0057	0,9984	0,0114	0,000163
7	k= 0,0000 n= 3,3646	a= 0,9957	b= -0,0744	0,9996	0,0054	0,000036
8	a= -0,0408	b= 0,0004		0,8855	0,0974	0,010939
9	k= 0,0613	a= 8,6200	g= 0,0595	0,9995	0,0065	0,000053
10	a= 0,8311	b= -0,0326	c= 0,00032	0,9411	0,0698	0,006094
11	k= 0,0705 n= 1,0285	a= -0,0038	b= -1,0009	0,9993	0,0074	0,000075
12	k= 0,0748 n= 1,0206	a= 1,0039 g= -0,0065	b= 0,0034	0,9994	0,0073	0,000080

Tablo 4.27 (devam)

Model No	Model katsayıları			R ²	RMSE	χ ²
Örnek kodu: 50 °C						
1	k=	0,0162		0,9969	0,0210	0,000471
2	k=	0,0167	a= 1,0227	0,9975	0,0186	0,000397
3	k=	0,0106	n= 1,1047	0,9989	0,0123	0,000174
4	k=	0,0164	n= 1,1047	0,9989	0,0123	0,000174
5	k=	0,0095	n= 1,1285 a= 0,9888	0,9990	0,0119	0,000173
6	k=	0,0174	a= 1,0120 c= 0,0152	0,9964	0,0226	0,000629
7	k=	0,000001	a= 0,9991 b= -0,0145	0,9994	0,0089	0,000106
	n=	2,7789				
8	a=	-0,0094	b= 0,000022	0,9592	0,0757	0,006551
9	k=	0,0123	a= 15,3664 g= 0,0121	0,9980	0,0166	0,000338
10	a=	0,9141	b= -0,0083 c= 0,00002	0,9771	0,0567	0,003953
11	k=	0,0094	a= 0,0017 b= -0,9866	0,9990	0,0118	0,000187
	n=	1,1329				
12	k=	0,0000003	a= 0,9810 b= -0,0147	0,9999	0,0044	0,000028
	n=	3,0458	g= 0,0161			
Örnek kodu: 60 °C						
1	k=	0,0228		0,9966	0,0214	0,000494
2	k=	0,0237	a= 1,0235	0,9972	0,0193	0,000432
3	k=	0,0151	n= 1,1172	0,9989	0,0122	0,000173
4	k=	0,0234	n= 1,1172	0,9989	0,0122	0,000173
5	k=	0,0140	n= 1,1345 a= 0,9911	0,9990	0,0119	0,000179
6	k=	0,0241	a= 1,0182 c= 0,0074	0,9966	0,0213	0,000575
7	k=	0,0000002	a= 1,0002 b= -0,0212	0,9996	0,0074	0,000077
	n=	3,2637				
8	a=	-0,0122	b= 0,000037	0,9203	0,1035	0,012488
9	k=	0,0184	a= 9,1033 g= 0,0179	0,9976	0,0178	0,000402
10	a=	0,8815	b= -0,0106 c= 0,00003	0,9570	0,0760	0,007353
11	k=	0,0142	a= -0,0026 b= -0,9944	0,9990	0,0118	0,000195
	n=	1,1280				
12	k=	1,0817	a= 0,9969 b= 1,0685	0,9989	0,0122	0,000233
	n=	1,0024	g= -0,0043			
Örnek kodu: 70 °C						
1	k=	0,0281		0,9951	0,0252	0,000684
2	k=	0,0294	a= 1,0319	0,9962	0,0222	0,000575
3	k=	0,0152	n= 1,1860	0,9993	0,0096	0,000106
4	k=	0,0293	n= 1,1860	0,9993	0,0096	0,000106
5	k=	0,0138	n= 1,2087 a= 0,9897	0,9994	0,0090	0,000104
6	k=	0,0300	a= 1,0254 c= 0,0085	0,9956	0,0239	0,000729
7	k=	0,0000	a= 0,9853 b= -0,0240	0,9988	0,0123	0,000213
	n=	3,3390				
8	a=	-0,0123	b= 0,0000	0,8330	0,1477	0,025442
9	k=	0,0236	a= 16,7362 g= 0,0234	0,9959	0,0232	0,000687
10	a=	0,8290	b= -0,0101 c= 0,00003	0,9152	0,1052	0,014086
11	k=	0,0133	a= 0,0051 b= -0,9833	0,9994	0,0085	0,000102
	n=	1,2226				
12	k=	1,0876	a= 0,9866 b= 1,0778	0,9992	0,0103	0,000164
	n=	1,0050	g= 0,0030			

Tablo 4.27 (devam)

Model No	Model katsayıları			R ²	RMSE	χ ²
Örnek kodu: 50 °C + 90 W						
1	k=	0,0378		0,9860	0,0363	0,001390
2	k=	0,0398	a= 1,0603	0,9897	0,0311	0,001078
3	k=	0,0152	n= 1,2610	0,9991	0,0092	0,000095
4	k=	0,0362	n= 1,2610	0,9991	0,0092	0,000095
5	k=	0,0136	n= 1,2889	a= 0,9851	0,9992	0,000084
6	k=	0,0410	a= 1,0532	c= 0,0106	0,9873	0,0347
7	k=	0,0002	a= 0,9999	b= -0,0266	0,9999	0,0035
	n=	2,0790				0,000015
8	a=	-0,0264	b= 0,0002		0,9956	0,0205
9	k=	0,0223	a= 5,2778	g= 0,0197	0,9961	0,0192
10	a=	0,9766	b= -0,0254	c= 0,00017	0,9964	0,0185
11	k=	0,0151	a= -0,0109	b= -1,0002	0,9994	0,0075
	n=	1,2510				0,000071
12	k=	0,0001	a= 0,9937	b= -0,0279	0,9999	0,0025
	n=	2,3109	g= 0,0070			0,000009
Örnek kodu: 50 °C + 180 W						
1	k=	0,0563		0,9942	0,0224	0,000531
2	k=	0,0581	a= 1,0349	0,9954	0,0200	0,000449
3	k=	0,0333	n= 1,1690	0,9993	0,0080	0,000072
4	k=	0,0545	n= 1,1690	0,9993	0,0080	0,000072
5	k=	0,0324	n= 1,1762	a= 0,9952	0,9993	0,0079
6	k=	0,0597	a= 1,0289	c= 0,0095	0,9937	0,0233
7	k=	0,0004	a= 1,0014	b= -0,0454	0,9996	0,0062
	n=	2,0450				0,000049
8	a=	-0,0328	b= 0,0003		0,9419	0,0710
9	k=	0,0422	a= 14,7864	g= 0,0414	0,9968	0,0166
10	a=	0,8850	b= -0,0284	c= 0,00023	0,9664	0,0540
11	k=	0,0327	a= -0,0008	b= -0,9962	0,9993	0,0079
	n=	1,1735				0,000080
12	k=	0,0000325	a= 0,9940	b= -0,0490	0,9998	0,0045
	n=	2,7269	g= 0,0096			0,000027
Örnek kodu: 50 °C + 360 W						
1	k=	0,0769		0,9944	0,0270	0,000779
2	k=	0,0793	a= 1,0348	0,9953	0,0249	0,000717
3	k=	0,0404	n= 1,2306	0,9995	0,0079	0,000073
4	k=	0,0737	n= 1,2306	0,9995	0,0079	0,000073
5	k=	0,0392	n= 1,2392	a= 0,9944	0,9995	0,0078
6	k=	0,0798	a= 1,0332	c= 0,0023	0,9949	0,0257
7	k=	0,0003	a= 1,0006	b= -0,0608	0,9999	0,0027
	n=	2,4060				0,000010
8	a=	-0,0409	b= 0,0004		0,9313	0,0949
9	k=	0,0601	a= 15,5559	g= 0,0591	0,9962	0,0223
10	a=	0,8540	b= -0,0339	c= 0,00034	0,9576	0,0746
11	k=	0,0394	a= -0,0005	b= -0,9951	0,9995	0,0077
	n=	1,2364				0,000081
12	k=	0,0001	a= 0,9982	b= -0,0623	1,0000	0,0022
	n=	2,6040	g= 0,0029			0,000007

Tablo 4.27 (devam)

Model No	Model katsayıları			R ²	RMSE	χ ²
Örnek kodu: 60 °C + 90 W						
1	k=	0,0470		0,9888	0,0323	0,001102
2	k=	0,0488	a= 1,0437	0,9907	0,0294	0,000969
3	k=	0,0230	n= 1,2167	0,9977	0,0146	0,000241
4	k=	0,0451	n= 1,2167	0,9977	0,0146	0,000241
5	k=	0,0205	n= 1,2466 a= 0,9828	0,9979	0,0140	0,000235
6	k=	0,0497	a= 1,0393 c= 0,0066	0,9892	0,0317	0,001206
7	k=	0,000004	a= 1,0008 b= -0,0396	0,9997	0,0052	0,000035
	n=	3,1792				
8	a=	-0,0310	b= 0,0002	0,9858	0,0363	0,001483
9	k=	0,0320	a= 15,3115 g= 0,0312	0,9952	0,0211	0,000536
10	a=	0,9422	b= -0,0285 c= 0,00022	0,9911	0,0287	0,000989
11	k=	0,0223	a= -0,0071 b= -0,9935	0,9982	0,0129	0,000213
	n=	1,2154				
12	k=	0,000002	a= 0,9724 b= -0,0356	0,9984	0,0122	0,000205
	n=	3,4575	g= 0,0036			
Örnek kodu: 60 °C + 180 W						
1	k=	0,0632		0,9915	0,0284	0,000865
2	k=	0,0656	a= 1,0420	0,9932	0,0253	0,000737
3	k=	0,0325	n= 1,2235	0,9996	0,0059	0,000041
4	k=	0,0607	n= 1,2235	0,9996	0,0059	0,000041
5	k=	0,0318	n= 1,2291 a= 0,9964	0,9996	0,0059	0,000043
6	k=	0,0662	a= 1,0394 c= 0,0037	0,9925	0,0266	0,000885
7	k=	0,0027	a= 1,0005 b= -0,0409	0,9998	0,0045	0,000028
	n=	1,6981				
8	a=	-0,0386	b= 0,0004	0,9651	0,0574	0,003801
9	k=	0,0456	a= 15,8748 g= 0,0446	0,9956	0,0204	0,000522
10	a=	0,9199	b= -0,0351 c= 0,00033	0,9768	0,0468	0,002737
11	k=	0,0327	a= -0,0032 b= -1,0005	0,9997	0,0054	0,000040
	n=	1,2171				
12	k=	0,0027	a= 1,0006 b= -0,0408	0,9998	0,0045	0,000031
	n=	1,6938	g= -0,0001			
Örnek kodu: 60 °C + 360 W						
1	k=	0,0975		0,9982	0,0125	0,000170
2	k=	0,0988	a= 1,0141	0,9984	0,0118	0,000164
3	k=	0,0734	n= 1,1109	0,9999	0,0032	0,000012
4	k=	0,0953	n= 1,1109	0,9999	0,0032	0,000012
5	k=	0,0732	n= 1,1116 a= 0,9994	0,9999	0,0032	0,000014
6	k=	0,1003	a= 1,0106 c= 0,0050	0,9979	0,0136	0,000240
7	k=	0,0061	a= 1,0000 b= -0,0749	0,9999	0,0029	0,000012
	n=	1,5022				
8	a=	-0,0472	b= 0,0006	0,8621	0,1100	0,014295
9	k=	0,0786	a= 13,3057 g= 0,0773	0,9990	0,0092	0,000110
10	a=	0,8272	b= -0,0391 c= 0,00046	0,9215	0,0830	0,008952
11	k=	0,0728	a= 0,0009 b= -0,9984	0,9999	0,0032	0,000015
	n=	1,1147				
12	k=	0,0001	a= 0,9960 b= -0,0899	0,9999	0,0031	0,000015
	n=	2,6313	g= 0,0062			

Tablo 4.27 (devam)

Model No	Model katsayıları			R ²	RMSE	χ ²
Örnek kodu: 70 °C + 90 W						
1	k=	0,0523		0,9937	0,0284	0,000858
2	k=	0,0545	a= 1,0476	0,9953	0,0245	0,000678
3	k=	0,0262	n= 1,2189	0,9998	0,0054	0,000033
4	k=	0,0504	n= 1,2189	0,9998	0,0054	0,000033
5	k=	0,0257	n= 1,2236 a= 0,9971	0,9998	0,0054	0,000035
6	k=	0,0564	a= 1,0393 c= 0,0125	0,9936	0,0286	0,000993
7	k=	-0,5950	a= 0,9960 b= -0,6122	0,9997	0,0066	0,000058
	n=	0,9807				
8	a=	-0,0338	b= 0,0003	0,9770	0,0461	0,002406
9	k=	0,0367	a= 15,5209 g= 0,0359	0,9968	0,0203	0,000502
10	a=	0,9353	b= -0,0308 c= 0,00025	0,9884	0,0386	0,001806
11	k=	0,0252	a= 0,0022 b= -0,9941	0,9998	0,0053	0,000036
	n=	1,2316				
12	k=	-0,9114	a= 0,9982 b= -0,9297	0,9997	0,0065	0,000061
	n=	0,9880	g= -0,0019			
Örnek kodu: 70 °C + 180 W						
1	k=	0,0826		0,9955	0,0203	0,000446
2	k=	0,0841	a= 1,0204	0,9960	0,0193	0,000439
3	k=	0,0550	n= 1,1489	0,9990	0,0097	0,000112
4	k=	0,0801	n= 1,1490	0,9990	0,0097	0,000112
5	k=	0,0537	n= 1,1558 a= 0,9948	0,9990	0,0096	0,000121
6	k=	0,0856	a= 1,0162 c= 0,0059	0,9950	0,0215	0,000600
7	k=	0,0000	a= 0,9991 b= -0,0729	0,9997	0,0052	0,000040
	n=	2,8387				
8	a=	-0,0472	b= 0,0006	0,9336	0,0783	0,007245
9	k=	0,0628	a= 13,6124 g= 0,0615	0,9977	0,0146	0,000279
10	a=	0,8795	b= -0,0402 c= 0,00046	0,9591	0,0614	0,004904
11	k=	0,0548	a= -0,0025 b= -0,9980	0,9991	0,0094	0,000127
	n=	1,1459				
12	k=	0,0000	a= 0,9906 b= -0,0741	0,9998	0,0037	0,000023
	n=	3,1617	g= 0,0081			
Örnek kodu: 70 °C + 360 W						
1	k=	0,1088		0,9980	0,0140	0,000219
2	k=	0,1095	a= 1,0077	0,9981	0,0138	0,000238
3	k=	0,0886	n= 1,0826	0,9990	0,0099	0,000123
4	k=	0,1066	n= 1,0826	0,9990	0,0099	0,000123
5	k=	0,0878	n= 1,0852 a= 0,9975	0,9990	0,0099	0,000140
6	k=	0,1100	a= 1,0065 c= 0,0016	0,9979	0,0145	0,000299
7	k=	0,0000	a= 0,9987 b= -0,1043	0,9999	0,0033	0,000018
	n=	4,9275				
8	a=	-0,0619	b= 0,0010	0,9382	0,0782	0,007647
9	k=	0,0824	a= 12,0250 g= 0,0805	0,9993	0,0081	0,000094
10	a=	0,8879	b= -0,0537 c= 0,00081	0,9602	0,0627	0,005620
11	k=	0,0914	a= -0,0054 b= -1,0037	0,9993	0,0086	0,000123
	n=	1,0626				
12	k=	0,0000	a= 0,9956 b= -0,1053	0,9999	0,0023	0,000011
	n=	5,6606	g= 0,0042			

Kurumayı en iyi tanımlayan modelin belirlenmesinde kriterler yüksek R^2 ile düşük χ^2 ve RMSE olarak belirlenmiş ve bu kriterlere göre tatlı patates örneklerinin kuruma kinetiğini açıklayan en iyi modeller; farklı kurutma yöntemi ve koşullarında değişiklik göstermiştir. Mikrodalga kurutma yöntemi ile kurutulan tatlı patates örneklerinin kuruma kinetiğini en iyi açıklayan model Weibull model olmuştur. Sıcak hava kurutma ve hibrit kurutma yöntemleri için en yüksek uyumu gösteren model kurutma koşullarına göre farklılık göstermiştir. 50 °C sıcak hava ve 50 °C sıcak havanın 90, 180, 360 W mikrodalga gücü ile kombine edildiği hibrit kurutma koşullarında kurutulan tatlı patates örneklerinin kuruma kinetiğini en iyi açıklayan model Alibas model olurken, 60 °C sıcak hava ve 60 °C sıcak havanın 90, 180, 360 W mikrodalga gücü ile kombine edildiği hibrit kurutma koşullarındaki kuruma kinetiği Midilli-Küçük model ile uyum göstermiştir. Bunun yanında 70 °C ve 70 °C sıcak havanın 90 W mikrodalga gücü ile kombine edildiği koşullar Weibull modele, 70 °C sıcak havanın 180 W ve 360 W mikrodalga gücü ile kombine edildiği koşullar ise Alibas modele uyum göstermiştir.

Tez çalışmasında farklı kurutma havası sıcaklıklarında kuruma kinetiğini en iyi açıklayan modelin değişmesine benzer olarak cherry domatesin 60, 70 ve 90 °C sıcaklıkta farklı dilim kalınlıklarında kurutulduğu bir çalışmada kuruma kinetiğini Midilli-Küçük, Jena ve Das ve Hii model olmak üzere üç farklı ince tabaka kurutma modelinin tanımlandığı bildirilmiştir (Kipçak ve Doymaz 2020^b). Sultani üzümün farklı mikrodalga güç seviyelerinin (180, 360, 540 W) sıcak hava (100, 150, 200 °C) kombine edilerek kurutulduğu diğer bir çalışmada kurutma kinetiğini en iyi açıklayan model Weibull model olmuş yalnızca 540 W-100°C koşulu Alibas model ile uyum göstermiştir (Karaaslan ve diğ. 2017). Alıç meyvesinin mikrodalga-sıcak hava hibrit kurutulmasının 12 farklı ince tabaka kurutma modeli ile uyumunun incelendiği çalışmada Weibull dağılımının deneysel değerin tanımlanmasında en başarılı model olduğu raporlanmıştır (Yu ve diğ. 2015).

Sonuç olarak tatlı patatesin mikrodalga, sıcak hava ve hibrit kurutulmasını en iyi tanımlayan Weibull, Midilli-Küçük ve Alibas modeller kurutucu tasarımına, enerji verimliliği hesaplarına, kurutma işleminin simülasyonu ve optimizasyonuna yardımcı olacaktır.

4.3.3 Etkin Difüzyon Katsayısı

Dilim kabulü yapılan tatlı patates örnekleri için etkin difüzyon katsayıları Denklem 3.6'nın eğiminden hesaplanmıştır (Tablo 4.28). Tatlı patates örnekleri için artan kurutma havası sıcaklıkları ve mikrodalga güçlerinde etkin difüzyon katsayısı artmıştır. Tatlı patates örnekleri için en düşük etkin difüzyon katsayısı; 50°C'de kurutulan örnek için $4,86 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak bulunurken, en yüksek değer 70°C kuruma havası ile 360 W mikrodalga gücü kombin edilerek hibrit kurutulan örnek için $38,91 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak bulunmuştur. Bu değerler hem gıdalar için literatürde pek araştırmacı tarafından raporlanan referans aralıklı (10^{-11} - $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$) (Zogzas ve diğ. 1996); hem de daha önce tatlı patatesin sıcak hava ($3,52$ - $6,76 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$), mikrodalga ($5,70 \times 10^{-10}$ - $5,218 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$) ve sıcak hava-mikrodalga hibrit ($1,22 \times 10^{-10}$ - $1,09 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$) kurutma yöntemleri ile kurutulduğu çalışmalarda raporlanan değerler ile uyumludur (Onu Chijioke ve diğ. 2017, Junqueira ve diğ. 2022, Sobowale ve diğ. 2022).

Mikrodalga, sıcak hava ve hibrit kurutma uygulanan örneklerde artan mikrodalga güç ve sıcaklıklarında etkin difüzyon katsayısı artmıştır. Mısırın mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutulduğu benzer bir çalışmada da artan mikrodalga güç ($1,2$ - $3,6 \text{ kW}$) ve kurutma havası sıcaklıklarında (35 - $55 \text{ }^\circ\text{C}$) etkin difüzyon katsayısının arttığı; bu durumun mikrodalga uygulaması ile su moleküllerinin titreşimi ve mobilitesinin artarak, çevresini saran materyalden ayrışmasının ve serbest hale geçmesinin kolaylaşmasına bağlı olarak suyun difüzyonun artmasının bir sonucu olduğu raporlanmıştır (An ve diğ. 2024). Ayrıca kurutma sıcaklığındaki artış ile ortaya çıkan ısı enerjisi, nemin gıdanın iç kısmından yüzeyine hareketini desteklemektedir (Obajemihi ve diğ. 2021).

Farklı seviyelerde mikrodalga güç ilavesi ile yalnızca 50, 60, 70 °C sıcak hava ile kurutulan örneklerle kıyasla etkin difüzyon katsayısı sırasıyla %166,87-433,74, %150,15-325,31, %99,88-379,78 oranlarında artmıştır. Sharma ve Prasad (2004), sarımsağın mikrodalga- sıcak hava ile hibrit kurutulduğu çalışmalarında uygulanan mikrodalga gücü arttıkça (10-40 W) aynı kurutma sıcaklığı ve hızı değerleri için etkin difüzyon katsayısı artmıştır.

Tablo 4.28: Farklı kurutma yöntemleri ve koşullarında kurutulan tatlı patates örneklerinin etkin difüzyon katsayısı ve toplam enerji tüketimi değerleri

Kurutma Yöntemi	Kurutma Koşulları	Deff × 10 ¹⁰ (m ² /s)	Toplam enerji tüketimi ¹ (kWh)
Mikrodalga	90 W	8,11	0,23±0,01 ^{ab}
	180 W	12,97	0,23±0,00 ^a
	360 W	22,70	0,26±0,01 ^b
Sıcak hava	50 °C	4,86	1,34±0,01 ^j
	60 °C	6,48	1,25±0,01 ⁱ
	70 °C	8,11	1,28±0,00 ⁱ
Hibrit	50 °C + 90 W	12,97	0,64±0,01 ^f
	50 °C + 180 W	16,21	0,54±0,02 ^d
	50 °C + 360 W	25,94	0,53±0,01 ^d
	60 °C + 90 W	16,21	0,69±0,02 ^g
	60 °C + 180 W	22,70	0,56±0,01 ^{de}
	60 °C + 360 W	27,56	0,49±0,01 ^c
	70 °C + 90 W	16,21	0,80±0,01 ^h
	70 °C + 180 W	27,56	0,59±0,01 ^e
	70 °C + 360 W	38,91	0,47±0,02 ^c

¹Aynı sütunda farklı üssel harfler ortalamalar arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermektedir (p<0,05).
Sonuçlar ortalama±standart sapma şeklinde verilmiştir.

4.3.4 Toplam Enerji Tüketimi

Tatlı patates örneklerinin 0,1 g su/g kuru madde nem içeriğine kadar kurutulması esnasında gerçekleşen toplam enerji tüketimi Denklem 3.22-3.24'ten hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 4.28'de sunulmuştur.

Tatlı patates örneklerinin sıcak hava, mikrodalga ve hibrit kurutma yöntemleri ile 0,1 g su/g kuru madde nem içeriğine kadar kurutulması için harcanan toplam enerji miktarları sırasıyla 0,23-0,26 kWh, 1,25-1,34 kWh ve 0,47-0,80 kWh olarak belirlenmiştir. En yüksek enerji sarfiyatı 1,34 kWh ile 50 °C sıcak hava ile kurutulan örnek için gerçekleşirken, en düşük sarfiyata 0,23 kWh ile 90 ve 180 W mikrodalga gücünde kurutulan örnekler sahip olmuştur. Balkabağı örneklerinde olduğu gibi sıcak hava ile kurutma ve mikrodalga kurutma yöntemleri ile hibrit koşullarda kurutulan örnekler toplam enerji tüketimi açısından kıyaslandığında kurutma yöntemleri arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğu tespit edilmiştir (p<0,05). Sıcak

havanın mikrodalga enerjisi ile kombinasyonu ile yalnızca sıcak hava ile kurutma yöntemine göre daha az enerji sarfiyatı ile daha kısa sürede hedeflenen son nem içeriğine ulaşmak mümkündür. 70 °C’de kurutulan balkabağı örneği için toplam kuruma süresi 100 dakika, toplam enerji tüketimi ise 1,28 kWh iken bu sıcaklığın 90, 180 ve 360 W mikrodalga gücü ile kombine edildiği hibrit koşullarda sırasıyla kuruma süresi %44, %63 ve %75, toplam enerji tüketimi ise %37,50, %53,91 ve %63,28 oranında azalmıştır. (Tablo 4.26, Tablo 4.28).

Mikrodalga kurutma yönteminde 180 W ve 360 W koşulları enerji tüketimi açısından kıyaslandığında istatistiksel açıdan farklı bulunurken, yalnızca sıcak hava ile kurutulan örnekler içerisinde 50 °C diğer koşullardan farklı olmuştur ($p<0,05$). Soğanın sıcak hava ve hibrit kurulduğu bir çalışmada, örneklerin son nem düzeyinin %13-14’e indirmek için gerekli enerji miktarları 50, 60 ve 70 °C’de sırasıyla, 60,74, 52,57 ve 51,31 kWh olmuş ve benzer şekilde 50 °C’ sıcak hava koşulu enerji tüketimi açısından istatistiksel olarak farklı bulunmuştur. Ayrıca bu çalışmada hibrit kurutulan örnekler için mikrodalga gücünün 100 W’dan 150 W’a yükseltilmesinin enerji tüketiminde azalmaya neden olsa da istatistiksel olarak fark yaratmadığı raporlanmıştır (Maftoonazad ve diğ. 2022). Tez çalışmasında da hibrit yöntemle kurutulan örneklerde sabit kurutma sıcaklığında artan mikrodalga güçlerinde enerji tüketimi azalmıştır ancak 50 °C’de mikrodalga gücünün 180’den 360 W’a yükseltilmesi ile toplam enerji tüketiminde istatistiksel olarak anlamlı bir fark elde edilmemiştir ($p>0,05$). Hibrit yöntemle kurutulan örnekler içinde en düşük enerji sarfiyatı 70 °C + 360 W kodlu balkabağı örneğine aittir. Hibrit kurutulan örnekler kendi içerisinde kıyaslandığında; sabit mikrodalga gücünün farklı kurutma sıcaklıkları ile kombine edildiği koşullardan sadece 90 W mikrodalga gücünün farklı sıcaklıklarla kombine edildiği koşullar enerji tüketimi açısından istatistiksel olarak farklı bulunmuştur ($p<0,05$). Patatesin kurutulduğu benzer çalışmada 300, 600 ve 900 W mikrodalga güçlerinden enerji tüketimi açısından 300 W’ın anlamlı bir fark yarattığı, yükselen mikrodalga güçlerinde enerji tüketiminde düşüş gerçekleşse de farkın anlamlı olmadığı görülmüştür (Dehghannya ve diğ. 2019).

4.3.5 Rehidrasyon Oranı ve Su Tutma Kapasitesi

Kuru tatlı patates örneklerinin rehidrasyon oranı Denklem 3.25 ve rehidre örneklerin su tutma kapasiteleri Denklem 3.26 kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 4.29’da sunulmuştur. Tüm kurutma yöntemleri ve koşulları içinde en düşük ve en yüksek rehidrasyon oranına sırasıyla 360 W (2,875) ve 90 W (3,37) koşullarında ulaşılmıştır.

Tablo 4.29: Farklı kurutma yöntemleri ve koşullarında kurutulan tatlı patates örneklerine ait rehidrasyon oranı ve su tutma kapasitesi değerleri

Kurutma Yöntemi	Kurutma Koşulları	Rehidrasyon oranı ¹ (RO)	Su tutma kapasitesi ¹ (STK)
Mikrodalga	90 W	3,37±0,02 ^g	35,33±1,61 ^{de}
	180 W	3,21±0,03 ^{defg}	26,67±1,70 ^a
	360 W	2,87±0,07 ^a	26,29±1,85 ^a
Sıcak hava	50 °C	3,14±0,04 ^{def}	35,01±1,32 ^{de}
	60 °C	3,09±0,01 ^{cde}	40,06±0,23 ^{fg}
	70 °C	3,18±0,12 ^{def}	41,84±1,12 ^g
Hibrit	50 °C + 90 W	3,30±0,12 ^{fg}	34,50±1,84 ^{de}
	50 °C + 180 W	3,35±0,11 ^g	32,90±2,09 ^{cd}
	50 °C + 360 W	3,12±0,04 ^{cde}	29,04±1,22 ^{abc}
	60 °C + 90 W	3,23±0,04 ^{efg}	37,73±1,58 ^{ef}
	60 °C + 180 W	3,15±0,11 ^{def}	32,18±0,66 ^{bcd}
	60 °C + 360 W	3,06±0,05 ^{bcd}	29,80±1,03 ^{abc}
	70 °C + 90 W	3,17±0,10 ^{def}	41,65±0,68 ^g
	70 °C + 180 W	2,95±0,07 ^{abc}	28,44±0,80 ^{ab}
	70 °C + 360 W	2,92±0,03 ^{ab}	27,66±1,42 ^a

¹Aynı sütunda farklı üssel harfler ortalamalar arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermektedir (p<0,05).

Sonuçlar ortalama±standart sapma şeklinde verilmiştir.

Mikrodalga kurutma yöntemi için artan mikrodalga güçlerinde rehidrasyon oranı azalmaktadır (p<0,05). Benzer sonuçları nar tanelerinin mikrodalga kurutulması sırasında gözlemlenmiş mikrodalga gücünün 210 W’dan 490 W’a yükseltilmesiyle rehidrasyon oranı 1,5 kat azalmış ve bu durum yüksek mikrodalga güçlerinde kurutma sırasında geri dönüşü olmayan hücresel kopma ve yer değiştirmelerin meydana gelerek kayıplara yol açması ile açıklanmıştır. Doku bütünlüğü azalan yapı suyun emilmesine izin vermemektedir (Horuz ve Maskan 2015).

Sıcak hava ile kurutma yönteminde ise kurutma sıcaklığının rehidrasyon oranı üzerine etkisi anlamlı değildir ($p>0,05$). Hibrit koşullarda kurutulan örneklerde ise 60 ve 70 °C sıcaklıklarda artan mikrodalga güçlerinde ve sabit mikrodalga gücünde artan sıcaklıklarda rehidrasyon oranı azalmaktadır. Ancak 50 °C de kurutulan hibrit örneklerin rehidrasyon oranı mikrodalga gücünün 90 W'dan 180 W'a yükseltilmesi ile artmış, 360 W ile kombine edildiği koşulda tekrar azalmıştır. Benzer sonuçlar mor lahananın hibrit (mikrodalga-sıcak hava) kurutulması sırasında, mikrodalga gücünün 0,75'ten 4,75 W/g'a kadar kademeli olarak çıkarılması ile rehidrasyon oranının artması ardından azalması şeklinde gerçekleşmiştir (Liu ve diğ. 2021).

Rehidre tatlı patates örneklerinden ulaştığı en yüksek su tutma kapasitesi değerleri 70 °C ve 70 °C + 90 W koşullarında sırasıyla 41,84 ve 41,65 olarak gerçekleşmiştir ($p>0,05$). En düşük su tutma kapasitesine (26,29-26,67) sahip olan örnekler ise yine aralarında istatistiksel olarak fark bulunmayan 180 W ve 360 W solo mikrodalga kurutma koşulları olmuştur ($p>0,05$). Su tutma kapasitesi açısından incelendiğinde üç farklı kurutma yöntemi için bulunan değerler birbirine yakın olmuştur. Kurutma yönteminin tatlı patateslerin su tutma kapasitesi üzerine etkisi belirgin değildir. Solo yöntemler incelendiğinde mikrodalga gücü arttıkça su tutma kapasitesi düşerken, artan kurutma sıcaklığı ile yükselmektedir. Hibrit koşullarda mikrodalga sabit sıcaklıkta aynı düşüşü sağlasa da, sıcaklıkla birlikte artan su tutma kapasitesi sadece 90 W mikrodalga gücü ile kombine edilen hibrit koşullarda görülmüştür.

Kurutulmuş ürünlerin rehidrasyonu sırasında gerçekleşen su emilim miktarı ve emilen suyu dokuda tutabilme kapasitesi ürünün hazırlanma süresi ve duyu kalitesini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenlerle bir kalite kriteri olarak kabul edilen rehidrasyon özellikleri kurutma koşullarının ürünün fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerinde yaptığı değişiklikler hakkında fikir verir (Maskan 2001).

4.3.6 Renk Değişimi

Farklı kurutma yöntemleri ve koşullarına tabi tutulmuş taze ve kuru tatlı patates örneklerinin L^* , a^* ve b^* değerleri ve bu değerlerin yüzde değişimi oranları Tablo 4.30'da sunulmuştur.

Taze ve kuru tatlı patatese ait L^* değerleri sırasıyla 72,72-74,19 ve 67,28-78,75 olarak belirlenmiştir. Sıcak hava ile kurutma yönteminde kurutma sonunda L^* değeri % 3,04-4,84 oranlarında artmıştır. L^* değerindeki artış 90 ve 180 W mikrodalga güçlerinin solo ve sıcak hava ile kombinasyonlarının kullanıldığı koşullarda da devam etmiştir. Tatlı patatesin mikrodalga-vakum kurutma yöntemi ile kurutulduğu bir çalışmada da L^* değerleri artış göstermiştir (Lagnika ve diğ. 2019). Benzer sonuçlar mango (de Medeiros ve diğ. 2016) ve havucun (Wu ve diğ. 2014) farklı yöntemlerle kurutulduğu çalışmalarda da bildirilmiş ve parlaklık değerindeki artış dilimlerin yüzeyindeki nemin azalmasından kaynaklı yansıtıcılığının artması ile ilişkilendirilmiştir. Farklı ön işlemler sonrasında kurutulan tatlı patates unlarının L^* değerinde kurutma sıcaklığının artışıyla meydana gelen artışın ise polifenol oksidaz enziminin inaktivasyonundan kaynaklandığı raporlanmıştır (Ahmed ve diğ. 2010).

Tatlı patates örneklerinin a^* değerleri ise kurutma öncesinde 23,89-24,92 arasında değişirken, kurutma sonunda bu değerler 18,70-25,44 olarak belirlenmiştir. L^* değerlerinde olduğu gibi a^* değerleri için tek yönde bir değişiminden söz etmek mümkün değildir. 360 W ve kombinasyonlarını içeren koşullarda a^* değerinde artış meydana gelirken diğer tüm koşullarda a^* değeri düşmüştür. Sıcak hava ile kurutmada artan kurutma sıcaklığını ile a^* değerindeki düşüş artmaktadır ($p<0,05$). 90 ve 180 W mikrodalga gücü ve kombinasyonlarını içeren kurutma koşullarından artan mikrodalga gücü ile a^* değerindeki düşüş azalmaktadır ($p<0,05$). a^* değerindeki kayıpların yüksek sıcaklık ve uzun kuruma sürelerinde kırmızı pigmentlerdeki bozulma ve karotenoid kaybı ile ilişkili olduğu düşünülmektedir ve benzer eğilim sıcak hava ile kurutulan domates ve mikrodalga ile kurutulan çilek örnekleri için bildirilmiştir (Abano ve diğ. 2011, Contreras ve diğ. 2008).

Tablo 4.30: Taze ve kuru tatlı patates örneklerine ait L^{*}, a^{*}, b^{*} değerleri ve yüzde değişimleri

Kurutma Yöntem	Kurutma Koşulları	L [*] değeri			a [*] değeri			b [*] değeri		
		Taze	Kuru	% Değişim ^{1,2}	Taze	Kuru	% Değişim ^{1,2}	Taze	Kuru	% Değişim ^{1,2}
Mikrodalga	90 W	72,73	75,44	3,73±1,09 ^{ghi}	24,47	20,48	-16,28±0,99 ^b	40,46	36,02	-10,97±0,71 ^d
	180 W	73,62	75,47	2,51±0,53 ^{efg}	23,96	20,83	-13,09±0,61 ^{cd}	39,93	33,91	-15,08±0,95 ^c
	360 W	73,24	71,03	-3,01±0,45 ^c	24,52	25,44	3,75±0,38 ^{fg}	40,38	30,87	-23,55±1,24 ^b
Sıcak hava	50 °C	73,31	76,86	4,84±1,11 ^{ij}	23,99	21,47	-10,52±0,88 ^{de}	41,02	37,52	-8,53±0,49 ^{efg}
	60 °C	73,61	76,82	4,38±1,45 ^{hij}	24,31	21,09	-13,22±2,12 ^c	40,04	36,81	-8,07±0,46 ^{efg}
	70 °C	73,59	75,83	3,04±0,93 ^{efgh}	24,92	19,09	-23,39±1,80 ^a	40,82	36,47	-10,65±0,70 ^d
Hibrit	50 °C + 90 W	73,3	77,60	5,87±1,19 ^{jk}	24,75	18,70	-24,45±0,91 ^a	41,16	37,39	-9,09±0,60 ^{def}
	50 °C + 180 W	74,19	76,58	3,23±1,31 ^{fghi}	24,14	20,54	-14,93±0,54 ^{bc}	40,16	37,37	-6,91±0,48 ^g
	50 °C + 360 W	73,49	71,53	-2,66±0,37 ^c	24,85	25,09	0,95±0,15 ^f	40,09	28,07	-29,96±1,52 ^a
	60 °C + 90 W	73,6	78,75	6,99±0,60 ^k	24,68	19,01	-22,97±1,39 ^a	40,02	36,56	-8,66±0,65 ^{efg}
	60 °C + 180 W	73,96	75,06	1,49±0,16 ^{de}	24,21	21,47	-11,33±0,42 ^{de}	39,92	36,78	-7,86±0,58 ^{efg}
	60 °C + 360 W	73,61	69,75	-5,24±0,47 ^b	24,26	24,93	2,78±0,66 ^{fg}	40,31	28,02	-30,46±1,89 ^a
	70 °C + 90 W	73,52	74,89	1,87±0,43 ^{def}	24,13	20,63	-14,51±0,96 ^{bc}	40,15	37,24	-7,25±0,78 ^{fg}
	70 °C + 180 W	73,69	74,27	0,79±0,06 ^d	23,89	21,62	-9,51±0,51 ^e	40,8	37,06	-9,16±0,41 ^{de}
	70 °C + 360W	73,63	67,28	-8,63±0,25 ^a	24,26	25,22	3,93±0,27 ^g	40,41	27,94	-30,85±1,13 ^a

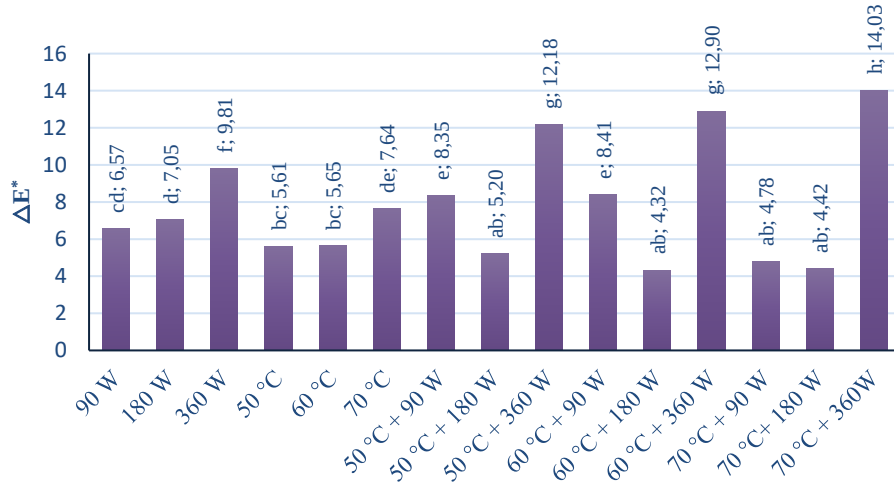
¹Aynı sütunda farklı üssel harfler ortalamalar arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermektedir (p<0,05).

²Sonuçlar ortalama±standart sapma şeklinde verilmiştir.

360 W mikrodalga gücü ve sıcak hava ile kombinasyonlarını içeren koşullarda L^* değeri % 2,66-8,63 oranlarında düşerken; a^* değeri ise % 0,95-3,93 oranlarında artmaktadır. Diğer kurutma koşullarında ilgili parametrelerin değişim yönünün tersinde gerçekleşen bu durumunun Bölüm 4.1.6'da balkabağı örnekleri içinde raporlandığı gibi bu koşullarda üründe meydana gelen kararmadan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Taze tatlı patates örneklerine ait b^* değerleri 39,92-41,16 arasında değişmektedir. Tüm kurutma yöntemlerinde kurutma sonunda b^* değerinde düşmüş meydana gelmiş ve değerler 27,94-37,39 arasında değişiklik göstermiştir. Mikrodalga, sıcak hava ve hibrit kurutma yöntemleri ile kurutma sonucunda b^* değerinde meydana gelen düşüş sırasıyla % 10,97-23,55, % 8,53-10,65 ve % 6,91-30,83 oranlarında gerçekleşmiştir. Mikrodalga kurutma yönteminde artan mikrodalga güçlerinde b^* değerinin değişimi anlamlı iken ($p<0,05$), sıcak hava ile kurutma yönteminde sadece 70 °C'de kurutulan örnekler diğer koşullardan farklı bulunmuştur ($p<0,05$). b^* değerindeki en yüksek düşüşler %29,96-30,83 oranlarıyla 360 W mikrodalga gücünün sıcak hava ile kombinasyonunu içeren hibrit koşullarda gerçekleşmiştir ancak bu koşullardaki değişim artan kurutma sıcaklığında anlamlı değildir ($p>0,05$). Bu sebeple yüksek mikrodalga güçlerinde kurutma sıcaklığının b^* değeri üzerine etkisinin sınırlandığını söylemek mümkündür.

Farklı kurutma yöntemleri ve koşullarında tatlı patates örneklerinde meydana gelen toplam renk değişimi (ΔE^*) değerleri Şekil 4.20'de verilmiştir. Mikrodalga kurutma yönteminde artan mikrodalga güçlerinde ΔE^* değerleri artmıştır ($p<0,05$). Yalnızca sıcak hava ile kurutulan örneklerde ise kurutma sıcaklığındaki artış ile ΔE^* değerleri artmış ancak yalnızca 70 °C koşulunda kurutulan örnekler diğer kurutma sıcaklıklarından istatistiksel olarak farklı bulunmuştur. Hibrit koşullar içerisinde en düşük ΔE^* değerlerine sıcak havanın 180 W mikrodalga gücü ile kombine edildiği koşullarda ulaşıldığı ve bu koşullar arasında istatistiksel olarak fark olmadığı görülmüştür ($p>0,05$). En yüksek renk değişiminin 360 W ve kombinasyonlarında gerçekleştiği ve bu durumun daha önce bahsedildiği gibi örnekteki kararmalardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Mantarın hibrit (sıcak hava-mikrodalga) yöntemi ile kurutulduğu bir çalışmada en belirgin renk değişimi en yüksek kurutma sıcaklığı ve



Şekil 4.20: Tatlı patates örneklerinin toplam renk değişimi (ΔE^*) değerleri

mikrodalga gücünün kombinasyonu olan koşulda (50 °C + 200 W) meydana gelmiş ve genel olarak ΔE^* değerleri bu çalışmadaki sonuçlarla benzer şekilde 5.48–14.64 arasında gerçekleşmiştir. Yine bu çalışmada yüksek mikrodalga gücünün sıcak hava ile kombinasyonu sonucu üründe lokal yanıklar oluştuğu ve bu durumun yüksek mikrodalga gücü ile gerçekleşen heterojen ısınmaya bağlı olarak kurutma süresinde ürünün çok yüksek sıcaklıklara ulaşmasından kaynaklandığı bildirilmiştir (Szadzińska ve Mierzwa 2021).

4.3.7 Antioksidan Aktivite ve Toplam Fenolik Madde İçeriği Değişimi

Taze ve kuru tatlı patates örneklerinin antioksidan aktivite ve toplam fenolik madde miktarları ile bu değerlerde farklı kurutma yöntemleri ve koşullarında gerçekleşen değişim oranları Tablo 4.31’de verilmiştir.

Taze tatlı patates örneklerinin antioksidan aktiviteleri 1,87-1,99 $\mu\text{mol TE/g}$ kuru madde arasında değişmektedir. Kim ve diğ. (2019) ve Huang ve diğ. (2006) farklı çeşitlerde tatlı patatesin antioksidan aktivitesini belirledikleri çalışmalarında taze tatlı patatesin antioksidan aktivite değerinin geniş bir aralıkta değiştiğini raporlamışlardır. Balkabağı örneklerinde olduğu gibi tüm kurutma yöntem ve koşullarında antioksidan aktivite değerleri artmıştır. Mikrodalga, sıcak hava ve hibrit kurutma yöntemleri ile antioksidan aktivite değerleri sırasıyla %16,83-43,34, %5,58-27,15, %15,35-53,64 oranlarında artmıştır.

Yalnız mikrodalga ile kurutmada artan mikrodalga güçlerinde antioksidan aktivite değeri artmaktadır ($p<0,05$). Sıcak hava ile kurutmada ise artan kurutma sıcaklıklarında antioksidan aktivite değeri önce artmakta ardından azalmaktadır. 50 ve 70 °C sabit kurutma sıcaklığında farklı mikrodalga güçleri ile kombine edilen hibrit koşullarda artan mikrodalga güçlerinde antioksidan aktivedeki artış istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0,05$). Tatlı patates örneklerinin antioksidan aktivite değerlerinde kurutma ile meydana gelen yükselme balkabağı örnekleri için detaylı şekilde açıklandığı gibi toplam kuruma süresindeki azalma ve Maillard reaksiyonu ürünleri ile ilişkilendirilmiştir (Kamiloğlu ve diğ. 2016, Vega Galvez ve diğ. 2009).

Taze tatlı patates örneklerinin toplam fenolik madde miktarı 5,91-6,47 mg GAE/g kuru madde olarak tespit edilmiştir. Tüm kurutma yöntem ve koşullarında tatlı patatesin toplam fenolik madde içeriğinde kayıplar yaşanmıştır. Solo kurutma yöntemlerinde artan mikrodalga gücü ve kurutma sıcaklıklarında kayıp oranı azalmaktadır ($p<0,05$). Hibrit koşullarda ise sabit kurutma sıcaklığında artan mikrodalga güç seviyelerinde kayıp oranı azalmaktadır. Bu değişim 50 ve 60 °C kurutma sıcaklıklarının farklı güç seviyelerinde mikrodalga enerjisi ile kombine edildiği koşullarda istatistiki olarak anlamlıdır ($p<0,05$).

Tablo 4.31: Tatlı patates örneklerine ait antioksidan aktivite ve toplam fenolik madde içeriği değerlerinin

Kurutma Yöntemi	Kurutma Koşulları	Antioksidan Aktivite ($\mu\text{mol TE/g}$ kuru madde)			Toplam Fenolik Madde (mg GAE/g kuru madde)		
		Taze	Kuru	% Değişim	Taze	Kuru	% Değişim
Mikrodalga	90 W	1,94 $\pm$ 0,07	2,26 $\pm$ 0,08	16,83 $\pm$ 0,55 ^{bc}	5,91 $\pm$ 0,25	2,47 $\pm$ 0,08	-58,11 $\pm$ 0,90 ^a
	180 W	1,93 $\pm$ 0,09	2,65 $\pm$ 0,13	37,59 $\pm$ 0,66 ^g	6,01 $\pm$ 0,20	3,03 $\pm$ 0,12	-49,63 $\pm$ 0,56 ^c
	360 W	1,90 $\pm$ 0,06	2,73 $\pm$ 0,06	43,34 $\pm$ 0,82 ^h	5,95 $\pm$ 0,37	4,16 $\pm$ 0,24	-30,03 $\pm$ 0,76 ^f
Sıcak hava	50 °C	1,89 $\pm$ 0,03	2,00 $\pm$ 0,03	5,58 $\pm$ 0,38 ^a	6,47 $\pm$ 0,04	2,94 $\pm$ 0,07	-54,61 $\pm$ 1,28 ^b
	60 °C	1,94 $\pm$ 0,04	2,46 $\pm$ 0,07	27,15 $\pm$ 0,94 ^d	6,41 $\pm$ 0,35	3,18 $\pm$ 0,18	-50,45 $\pm$ 0,83 ^c
	70 °C	1,97 $\pm$ 0,03	2,32 $\pm$ 0,04	17,72 $\pm$ 0,69 ^c	6,19 $\pm$ 0,36	3,77 $\pm$ 0,26	-39,03 $\pm$ 1,58 ^d
Hibrit	50 °C + 90 W	1,98 $\pm$ 0,04	2,49 $\pm$ 0,05	25,74 $\pm$ 0,76 ^d	6,34 $\pm$ 0,15	4,67 $\pm$ 0,08	-26,27 $\pm$ 1,12 ^g
	50 °C + 180 W	1,99 $\pm$ 0,03	2,99 $\pm$ 0,03	50,59 $\pm$ 0,68 ⁱ	6,39 $\pm$ 0,36	5,01 $\pm$ 0,28	-21,65 $\pm$ 0,58 ^h
	50 °C + 360 W	1,96 $\pm$ 0,05	3,02 $\pm$ 0,07	53,64 $\pm$ 0,70 ^j	6,21 $\pm$ 0,20	4,98 $\pm$ 0,16	-19,71 $\pm$ 0,47 ⁱ
	60 °C + 90 W	1,99 $\pm$ 0,04	2,58 $\pm$ 0,07	29,84 $\pm$ 2,39 ^e	6,17 $\pm$ 0,11	4,10 $\pm$ 0,11	-33,25 $\pm$ 1,17 ^e
	60 °C + 180 W	1,92 $\pm$ 0,04	2,75 $\pm$ 0,06	43,33 $\pm$ 0,94 ^h	6,22 $\pm$ 0,31	4,61 $\pm$ 0,23	-25,82 $\pm$ 0,72 ^g
	60 °C + 360 W	1,94 $\pm$ 0,05	2,80 $\pm$ 0,07	44,59 $\pm$ 0,83 ^h	6,27 $\pm$ 0,38	4,83 $\pm$ 0,28	-22,83 $\pm$ 0,69 ^h
	70 °C + 90 W	1,89 $\pm$ 0,06	2,18 $\pm$ 0,06	15,35 $\pm$ 0,51 ^b	6,23 $\pm$ 0,27	4,41 $\pm$ 0,18	-29,14 $\pm$ 0,54 ^f
	70 °C + 180 W	1,87 $\pm$ 0,05	2,47 $\pm$ 0,07	32,31 $\pm$ 0,86 ^f	6,14 $\pm$ 0,11	4,46 $\pm$ 0,07	-27,28 $\pm$ 0,67 ^g
	70 °C + 360W	1,95 $\pm$ 0,04	2,69 $\pm$ 0,06	38,16 $\pm$ 0,86 ^g	6,02 $\pm$ 0,17	4,39 $\pm$ 0,12	-27,08 $\pm$ 0,57 ^g

¹Aynı sütunda farklı üssel harfler ortalamalar arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli oldu ğunu göstermektedir (p<0,05).

Sonuçlar ortalama $\pm$ standart sapma şeklinde verilmiştir.

Solo kurutma yöntemlerinde toplam fenolik madde kaybı hibrit koşullara göre daha yüksektir, bu durum uzun kuruma süresine bağlı olarak fenoliklerin oksijene ve ısıya maruziyeti sonucu artan oksidasyon ve termal bozulmadan kaynaklanmaktadır (Horuz ve diğ. 2017). Ayrıca hibrit kurutma ile gerçekleşen hızlı ısınma sayesinde oksidatif enzimler inaktive olmakta bu da diğer yöntemlere kıyasla fenolik madde kaybını azaltmaktadır (Samoticha ve diğ. 2016).

4.3.8 Beta-karoten içeriği değişimi

Provitamin A olarak da adlandırılan beta karoten için zengin bir kaynak olan tatlı patates, özellikle A vitamini eksikliği yaşayan bireyler için ucuz ve bitkisel bir temin kaynağı sunar (Islam ve diğ. 2016). Tatlı patates çeşitleri içinde yumrusu koyu turuncu renkte olan türler açık renkli (beyaz, krem, sarı) ve mor tatlı patatese göre daha yüksek beta karoten içeriğine sahiptirler. Aynı atarım arazisinde yetiştirilen beyaz, turuncu ve mor tatlı patateslerin beta karoten içeriği sırasıyla 7,8, 107,6, 0,60 mg/kg taze ürün olarak bildirilmiştir (Wu ve diğ. 2008).

Taze ve kuru tatlı patates örneklerinin beta-karoten içerikleri ile farklı kurutma koşul ve yöntemleri sonucunda bu içerikte meydana gelen değişim Tablo 4,32’de sunulmuştur.

Taze tatlı patates örneklerinin beta karoten içeriği 102,27-117,92 µg/g kuru madde arasında değişmiştir. 2 çeşit açık turuncu ve 4 çeşit koyu turuncu tatlı patates çeşidinin beta karoten içeriğinin belirlendiği bir çalışmada; beta karoten içeriğinin açık turuncu örnekler için 65,01-79,13 µg/g kuru madde, koyu turuncu örnekler için 168,72-308,82 µg/g kuru madde arasında değiştiği raporlanmıştır (Hagenimana ve diğ. 1998). Benzer şekilde tatlı patatesin besin içeriğinin patates, yer elması ve manyok (cassava) ile karşılaştırıldığı çalışmada, bu dört tarım ürünü içinde en yüksek içeriğe sahip tatlı patatesin beta karoten miktarının 0-300 µg/g kuru madde arasında değiştiği, bu değerlerin patates, yer elması ve manyok için sırasıyla 20-35, 21-40 ve 30-40 µg/100 g kuru madde olarak tespit edildiği bildirilmiştir (Mourtala ve diğ. 2023).

Tablo 4.32: Tatlı patates örneklerine ait β -Karoten içeriği değerlerinin farklı kurutma yöntemleri ve koşullarına bağlı olarak değişimi

Kurutma Yöntemi	Kurutma Koşulları	β -Karoten içeriği ($\mu\text{g/g}$ kuru madde)		
		Taze	Kuru	% Değişim
Mikrodalga	90 W	106,19 $\pm$ 3,77	21,20 $\pm$ 1,12	-80,00 $\pm$ 0,95 ^{fg}
	180 W	104,74 $\pm$ 1,20	18,41 $\pm$ 0,33	-82,38 $\pm$ 0,96 ^{cde}
	360 W	117,92 $\pm$ 2,93	18,88 $\pm$ 0,51	-84,01 $\pm$ 0,58 ^{bc}
Sıcak hava	50 °C	105,06 $\pm$ 0,67	16,18 $\pm$ 1,45	-84,61 $\pm$ 1,29 ^{bc}
	60 °C	114,31 $\pm$ 1,69	21,96 $\pm$ 0,21	-80,78 $\pm$ 0,29 ^{def}
	70 °C	115,15 $\pm$ 3,16	19,81 $\pm$ 0,69	-82,8 $\pm$ 0,61 ^{cd}
Hibrit	50 °C + 90 W	102,39 $\pm$ 2,82	20,01 $\pm$ 0,04	-80,47 $\pm$ 0,40 ^{efg}
	50 °C + 180 W	115,57 $\pm$ 1,40	16,49 $\pm$ 0,42	-85,74 $\pm$ 0,41 ^{ab}
	50 °C + 360 W	114,04 $\pm$ 1,15	14,91 $\pm$ 0,21	-86,90$\pm$1,13^a
	60 °C + 90 W	102,32 $\pm$ 2,16	21,98 $\pm$ 1,24	-78,50$\pm$1,68^g
	60 °C + 180 W	114,38 $\pm$ 0,98	18,50 $\pm$ 0,30	-83,83 $\pm$ 0,16 ^{bc}
	60 °C + 360 W	108,96 $\pm$ 1,48	16,26 $\pm$ 0,77	-85,09 $\pm$ 0,89 ^{ab}
	70 °C + 90 W	102,27 $\pm$ 0,23	20,13 $\pm$ 0,22	-80,25 $\pm$ 0,29 ^{efg}
	70 °C + 180 W	103,14 $\pm$ 0,99	15,02 $\pm$ 1,72	-85,59 $\pm$ 0,60 ^{ab}
	70 °C + 360W	109,10 $\pm$ 3,98	17,13 $\pm$ 0,96	-84,31 $\pm$ 0,70 ^{bc}

¹Aynı sütunda farklı üssel harfler ortalamalar arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermektedir (p<0,05).

Sonuçlar ortalama $\pm$ standart sapma şeklinde verilmiştir.

Kurutma sonucunda tatlı patates örneklerinin beta karoten içeriği tüm yöntem ve koşullarda yüksek oranlarda azalmıştır ve kuru tatlı patates örneklerinin beta karoten içeriği 15,02-21,98 $\mu\text{g/g}$ kuru madde arasında değişmiştir. Mikrodalga, sıcak hava ve hibrit kurutma yöntemlerinde beta karoten içeriğinde meydana gelen kayıp oranları birbirine yakın olmakla beraber sırasıyla % 80,00-84,01, % 80,78-84,61, % 78,50-86,90 olarak gerçekleşmiştir.

Mikrodalga kurutma yöntemi ile kurutulan tatlı patates örneklerin kayıp oranı, balkabağı örneklerinde olduğu gibi artan mikrodalga güçleri ile artmıştır (p<0,05). Bu durumu daha düşük mikrodalga güçlerinde ürün sıcaklığının yükselmesinin sınırlı kalması nedeniyle peroksidaz ve lipoksigenaz enzimlerinin etkisinin sınırlı kalması açıklamaktadır (Suvarnakut ve diğ. 2005). Yalnız sıcak hava ile kurutulan örnekler beta karoten kaybı açısından kıyaslandığında en yüksek kayıp oranına sahip olan 50

°C’de kurutulan örnekler aynı zamanda % 10 nem içeriğine ulaşmak için en uzun sürede kurutulan örneklerdir. Benzer durum Scarlet patlıcanı (*Solanum aethiopicum* L.) için artan kuruma süresine bağlı olarak beta-karoten tutulumun 50 °C’de kurutulan örneklerde daha yüksek sıcaklıklarda kurutulan örneklere göre daha düşük olduğu şeklinde raporlanmıştır. Düşük kurutma sıcaklığında uzayan kuruma sürelerine bağlı olarak ısı, ışık ve oksijene maruz kalma süresi uzamakta ve oksidasyona artmaktadır (Mbondo ve diğ. 2018). Kayısının 50, 60, 70 ve 80 °C sıcak hava ile kurutulduğu çalışmada da kurutma sıcaklığı arttıkça kurutma süresindeki kısalmaya bağlı olarak beta karoten kaybı azalmıştır (Karabulut ve diğ. 2007). Kuruma süresindeki kısalma ve kurutma hızındaki artış ile karotenoidlerin enzimatik kaybına lipoksigenaz aktivitesi düşmektedir. Bunlara ek olarak yüksek sıcaklıklarda gazların çözünürlüğünün azalması ve dolayısıyla oksijenin çözünürlüğünün azalması ile oksijene maruziyet ve oksidasyonda azalmıştır (Cui ve diğ. 2004).

Hibrit koşullarda kurutulan örnekler içinde en düşük ve en yüksek beta-karoten kayıpları sırasıyla 60 °C + 90 W (%78,50) ve 50 °C + 360 W (% 86,90) koşullarında gerçekleşmiştir. 90 W ve 180 W mikrodalga güçlerinin sabit tutulduğu ve kurutma sıcaklığının arttığı koşullarda beta-karoten kaybı oranları arasındaki fark önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$). Hibrit kurutma yöntemi ile kurutulan tatlı patates örneklerinin beta karoten içeriği kaybı belirli koşullarda, solo yöntemlerdeki kayıp oranlarına kıyasla daha düşük olsa da kurutma koşul faktörlerinin artan seviyelerinde daha yüksek kayıp oranlarına ulaşıldığı görülmüştür. Sıcak hava ve mikrodalga'nın eş zamanlı uygulaması ile ürün sıcaklığının kısa sürede yükselmesi ile lipoksigenaz ve peroksidaz enzimleri inaktivasyonun hızla gerçekleşmesi bazı hibrit koşullarda daha düşük oranlarda beta karoten kaybının yaşanmasına neden olmuştur. Ancak üründe gerçekleşen bu hızlı sıcaklık yükselmesi ile doymamış yapıda olan beta karoten daha hızlı oksidasyona uğramış ve ısıl parçalanması artmıştır. Kavun meyvesinin sıcak hava, mikrodalga ve hibrit (sıcak hava-mikrodalga) olmak üzere üç farklı kurutma yöntemi ile kurutulduğu bir çalışmada, bu çalışmanın sonuçlarına benzer şekilde yüksek sıcaklık ve mikrodalga güçlerinin kombinasyonu (70 ve 80 °C / 100 ve 200 W) hibrit koşullarda kurutulan örneklerin beta karoten kaybı ürün sıcaklığının hızla yükselmesine bağlı olarak diğer yöntemlerden daha yüksek oranda gerçekleşmiştir. 60 °C sıcak havanın 100 W mikrodalga gücü ile kombine edildiği hibrit koşulun kurutma sonundaki beta karoten içeriği; tüm hibrit koşullar ve aynı koşullarının solo

uygulandığı örneklerden daha yüksek olmuştur (Tepe 2020). Sonuç olarak daha ılımlı kurutma sıcaklığı ve mikrodalga güç kombinasyonları ile solo yöntemlere kıyasla beta karoten kaybını azaltmak mümkündür.

4.4 Tatl Patatesin Hibrit Kurutulmasının Yanıt Yüzey Yöntemi ile Optimizasyonu

5 adet tekrarlanan merkezi nokta ve 13 adet deneme koşulu içeren deney deseni ve bu koşullarda elde edilen deneysel ve tahmini değerler balkabağı örnekleri için Tablo 4.33'de sunulmuştur.

Bu bölümde her bir yanıt için model seçimi, seçilen modele ait varyans analizi, tahmini değerlerin hesaplanabilmesi için gerçek ve kodlanmış değerlere ait denklemler ve yanıt yüzey grafikleri bulunmaktadır. Bölüm sonunda tüm yanıtlar için belirlenen hedefler doğrultusunda sayısal optimizasyon gerçekleştirilmiş ve balkabağının hibrit kurutulması için optimum koşulları oluşturan bağımsız değişkenler ile bu koşullarda anıtların alacağı değerler verilmiştir.

Tablo 4.33: FCCD Deney deseni ve tatlı patatesin hibrid kurutulması sonucunda yanıtlar için elde edilen deneysel ve tahmini değerler

Bağımsız değişkenler			Yanıtlar															
Deneme No	Kuruma havası sıcaklığı (°C)	Mikrodalga gücü (W)	Dt (dakika)		ET (kWh)		RO		STK		ΔE^*		AA (%)		TFM (%)		BK (%)	
			Deneysel değer	Tahmini değer	Deneysel değer	Tahmini değer	Deneysel değer	Tahmini değer	Deneysel değer	Tahmini değer	Deneysel değer	Tahmini değer	Deneysel değer	Tahmini değer	Deneysel değer	Tahmini değer	Deneysel değer	Tahmini değer
4	50	0	177	170,19	1,34	1,30	3,14	3,12	35,01	34,36	5,61	5,75	5,58	8,98	-54,61	-53,12	-84,61	-84,18
13	50	90	71	73,57	0,64	0,70	3,30	3,33	34,50	35,83	8,35	7,78	25,74	23,54	-26,27	-30,00	-80,47	-80,97
7	50	180	51	50,32	0,54	0,52	3,35	3,35	32,90	32,22	5,20	5,32	50,59	49,38	-21,65	-19,41	-85,74	-85,67
9	60	0	122	118,36	1,25	1,27	3,09	3,13	40,06	39,35	5,65	6,51	27,15	22,72	-50,45	-50,81	-80,78	-81,39
1	60	90	58	59,06	0,68	0,69	3,20	3,23	38,75	37,99	7,77	7,78	26,49	29,78	-34,47	-32,99	-79,89	-78,60
2	60	90	61	59,06	0,67	0,69	3,30	3,23	35,52	37,99	8,82	7,78	26,68	29,78	-32,86	-32,99	-79,84	-78,60
3	60	90	57	59,06	0,71	0,69	3,19	3,23	39,58	37,99	8,28	7,78	31,49	29,78	-33,81	-32,99	-78,49	-78,60
5	60	90	60	59,06	0,72	0,69	3,24	3,23	36,91	37,99	8,76	7,78	33,67	29,78	-34,91	-32,99	-76,75	-78,60
6	60	90	58	59,06	0,67	0,69	3,24	3,23	37,90	37,99	8,43	7,78	30,92	29,78	-31,11	-32,99	-78,51	-78,60
12	60	180	42	41,70	0,56	0,54	3,15	3,14	32,18	31,56	4,32	4,80	43,33	48,11	-25,82	-27,69	-83,83	-83,71
8	70	0	100	105,02	1,28	1,30	3,18	3,17	41,84	43,19	7,64	6,30	17,72	18,35	-39,03	-40,16	-82,80	-82,62
11	70	90	56	53,27	0,80	0,75	3,17	3,16	41,65	39,00	4,78	6,50	15,35	17,90	-29,14	-27,64	-80,25	-80,24
10	70	180	37	37,61	0,59	0,63	2,95	2,96	28,44	29,74	4,42	3,94	32,31	28,73	-27,28	-27,65	-85,59	-85,77

4.4.1 Toplam Kuruma Süresi

Tablo 4.33’te verilen tatlı patatese ait deneysel kuruma süresi değerleri, model analizi için en büyük ve en küçük değerler arasındaki oranın (4,78) yüksek olması göz önüne alınarak daha anlamlı sonuçlar elde etmek üzere matematiksel olarak tersine dönüştürülerek kullanılmıştır. Toplam kuruma süresi yanıtı için 4 ayrı modelin uygunluğu araştırılmıştır. Tatlı patates örneklerinin kurutulması işleminde toplam kuruma süresi (D_t) yanıtının optimizasyonu için en uygun model olarak kuadratik model ($R^2=0,9936$) seçilmiştir. (Tablo 4.34).

Tablo 4.34:Tatlı patates örneklerinin D_t yanıtı için model seçimi

Model	Standart sapma	p-değeri	Uyum eksikliğine ait p-değeri	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini R^2
Lineer	0,0010	< 0,0001	0,0437	0,9762	0,9715	0,9508
2FI	0,0009	0,1259	0,0552	0,9819	0,9759	0,9339
Kuadratik	0,0006	0,0266	0,1870	0,9936	0,9890	0,9557
Kübik	0,0005	0,1251	0,3401	0,9972	0,9933	0,9234

Toplam kuruma süresi için varyans analizi sonucunda elde edilen F-değeri, p-değeri, uyum eksikliği gibi istatistiksel veriler ve kurutma koşullarının etkilerinin istatistikse anlamları Tablo 4.35’te sunulmuştur.

Tablo 4.35:Tatlı patates örneklerinin D_t yanıtı için kuadratik model analizi

	Kareler Toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F-değeri	p- değeri
Model	0,0004	5	0,0001	216,89	0,0266*
A-Kurutma Sıcaklığı	0,0000	1	0,0000	106,66	< 0,0001**
B-Mikrodalga Gücü	0,0004	1	0,0004	958,81	< 0,0001**
AB	2,355E-06	1	2,355E-06	6,24	0,0411*
A^2	1,553E-06	1	1,553E-06	4,11	0,0821
B^2	1,422E-06	1	1,422E-06	3,77	0,0934
Artık	2,642E-06	7	3,774E-07		
Uyum eksikliği	1,752E-06	3	5,841E-07	2,63	0,1870
Net hata	8,898E-07	4	2,225E-07		
Genel Toplam	0,0004	12			
* p < 0,05, ** p < 0,01.					Matematiksel dönüşüm: Tersine çevrilmiş

Tablo 4.34 ve 4.35 incelendiğinde, kurutma koşul faktörleri ile D_t yanıtı arasında yüksek F değeri (216,89) ve anlamsız uyum eksikliği ($p>0,05$) ile iyi bir kuadratik ilişki olduğu görülmektedir. Ayrıca düzeltilmiş R^2 (0,9890) ile tahmini R^2

(0, 9557) arasındaki farkın 0,2'den az olması sebebiyle modelin kuruma süresini tahmin etme gücü artmaktadır.

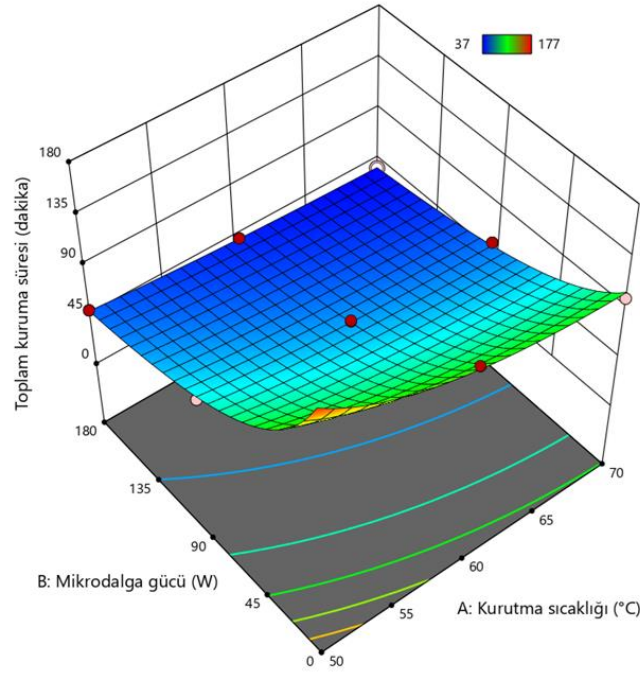
Tablo 4.35'ten görüleceği üzere kurutma sıcaklığı (A), mikrodalga gücü (B), kurutma sıcaklığı-mikrodalga gücünün ortak etkisi (AB); toplam kuruma süresi üzerine anlamlı bir etkiye sahiptir ($p < 0,05$). AB değerinin istatistiksel olarak anlamlı olması ve diğer istatistiki veriler doğrultusunda sıcak hava ve mikrodalga gücünün kombine edilmesinin yani hibrit kurutma yönteminin kuruma süresinin kısaltılması bakımından anlamlılık gösterdiği, hibrit kurutma yönteminin gıdaların kurutulmasında zaman tasarrufu bakımından faydalı bir yöntem olduğunu göstermiştir. Kurutma sıcaklığı ve mikrodalga gücünün üssel etkileri (A^2 ve B^2) istatistiksel olarak anlamlı değildirler ($p > 0,05$). Bu durumda kuruma süresi referans alındığında kurutma sıcaklığı ve mikrodalga gücü kurutma performansını lineer olarak etkilemektedir.

Tatlı patates örnekleri için tahmini D_t değerleri, bağımsız değişkenlerin gerçek ve kodlanmış seviyeleri için sırasıyla Denklem 4.17 ve Denklem 4.18'den hesaplanabilir.

$$\frac{1}{D_t} = -0,029484 + 0,001082A + 0,000051B + 0,000000852473AB - 0,00000749844A^2 - 0,0000000885859B^2 \quad (4.17)$$

$$\frac{1}{D_t} = 0.0169 + 0.0026A + 0,0078B + 0.0008AB - 0.0007A^2 - 0.0007B^2 \quad (4.18)$$

Tatlı patatesin mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutulmasında, kurutma sıcaklığı ve mikrodalga gücünün toplam kuruma süresi üzerine etkisi Şekil 4.21'deki yanıt yüzey grafiğinde gösterilmiştir. Artan mikrodalga güç ve kurutma sıcaklıklarında kuruma süresinin kısaldığı üç boyutlu grafikten de görülebilmektedir.



Şekil 4.21: Tatlı patates örneklerinin toplam kuruma süresi yanıtına ait yüzey grafiği

4.4.2 Toplam Enerji Tüketimi

Tablo 4.33’te verilen tatlı patatese ait deneysel veriler ile hesaplanmış toplam enerji tüketimi değerleri, model analizinde daha anlamlı sonuçlar elde etmek üzere matematiksel olarak tersine dönüştürülerek kullanılmıştır. Toplam enerji tüketimi (ET) yanıtının tahminlenmesi için uygunluğu araştırılan 4 modelden, kuadratik model ($R^2=0,9813$) en uygun model seçilmiştir. Bu modelin yüksek R^2 değeri yanında; düzeltilmiş R^2 ile tahmini R^2 değerleri arasındaki farkın 0,2’den az olması ile 0,05 anlamlılık düzeyinde modele ait p değerinin anlamlı, uyum eksikliğine ait p değerinin ise anlamsız olması nedenleriyle de yüksek tahminleme gücüne sahip olduğu Tablo 4.36’dan görülebilmektedir.

Tablo 4.36: Tatlı patates örneklerinin ET yanıtı için model seçimi

Model	Standart sapma	p-değeri	Uyum eksikliğine ait p-değeri	R ²	Düzeltilmiş R ²	Tahmini R ²
Lineer	0,1130	< 0,0001	0,0301	0,9233	0,9080	0,8469
2FI	0,1147	0,4244	0,0260	0,9289	0,9051	0,7127
Kuadratik	0,0666	0,0092	0,1564	0,9813	0,9680	0,8603
Kübik	0,0442	0,0556	0,7496	0,9941	0,9859	0,9723

Toplam enerji tüketimi için varyans analizi sonucunda elde edilen F-değeri, p-değeri, uyum eksikliği gibi istatistiksel veriler ve kurutma koşullarının etkilerinin istatistikse anlamları Tablo 4.37’te sunulmuştur. Tablo 4.36’te belirtilen hususlara ek olarak kurutma koşul faktörleri ile ET yanıtı arasında, modele ait yüksek F değeri (73,61) ve uyum eksikliğine ait F değerinin 10’dan küçük olması nedenleriyle iyi bir kuadratik ilişki olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.37: Tatlı patates örneklerinin ET yanıtı için kuadratik model analizi

	Kareler Toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F-değeri	p- değeri
Model	1,63	5	0,3266	73,61	0,0092**
A-Kurutma Sıcaklığı	0,0315	1	0,0315	7,09	0,0323*
B-Mikrodalga Gücü	1,50	1	1,50	339,20	< 0,0001**
AB	0,0092	1	0,0092	2,08	0,1929
A ²	0,0033	1	0,0033	0,7480	0,4158
B ²	0,0605	1	0,0605	13,65	0,0077**
Artık	0,0311	7	0,0044		
Uyum eksikliği	0,0216	3	0,0072	3,02	0,1564
Net hata	0,0095	4	0,0024		
Genel Toplam	1,66	12			

* p < 0,05, ** p < 0,01. Matematiksel dönüşüm: Tersine çevrilmiş

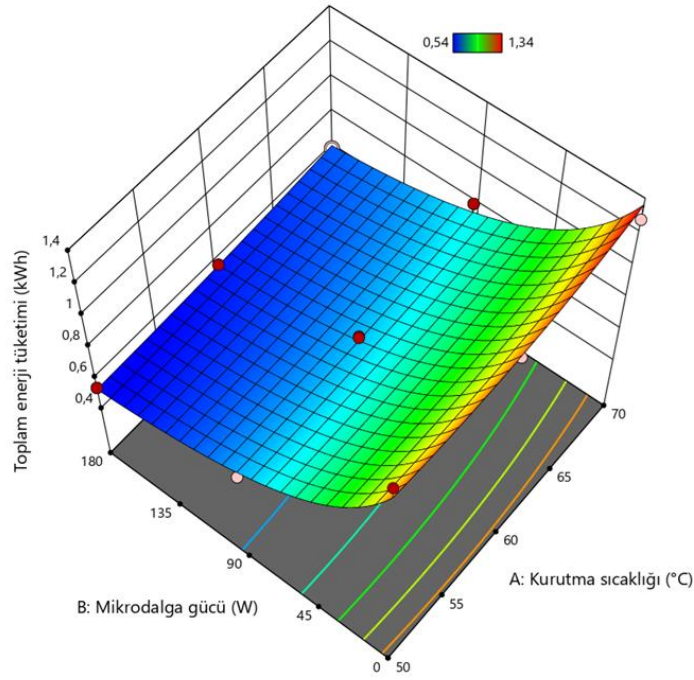
A, B ve B² toplam enerji tüketimi üzerine anlamlı bir etkiye sahipken (p<0,05), AB ve A² istatistiksel olarak anlamlı değildirler (p>0,05). Bu durumda toplam enerji tüketimi referans alındığında kurutma performansı, kurutma sıcaklığı tarafından lineer ve mikrodalga gücü tarafından lineer ve kuadratik olarak etkilenmektedir.

Tatlı patates örnekleri için tahmini ET değerleri, bağımsız değişkenlerin gerçek ve kodlanmış seviyeleri için sırasıyla Denklem 4.19 ve Denklem 4.20’den hesaplanabilir.

$$\frac{1}{ET} = -0,302378 + 0,039154A + 0,012054B - 0,000053AB - 0,000347A^2 - 0,000018B^2 \quad (4.19)$$

$$\frac{1}{ET} = 1,45 - 0,0724A + 0,5008B - 0,0480AB - 0,0347A^2 - 0,1481B^2 \quad (4.20)$$

Tatlı patatesin mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutulmasında, kurutma sıcaklığı ve mikrodalga gücünün toplam enerji tüketimi üzerine etkisi Şekil 4.22’deki yanıt yüzey grafiğinde gösterilmiştir. Üç boyutlu yanıt yüzey grafiği incelendiğinde artan mikrodalga güçlerinde, toplam enerji tüketiminin azaldığı ve mikrodalga gücünün enerji tüketimim üzerine etkisinin kurutma sıcaklığına kıyasla daha belirgin olduğu görülmektedir.



Şekil 4.22: Tatlı patates örneklerinin ET yanıtına ait yüzey grafiği

4.4.3 Rehidrasyon Oranı

Rehidrasyon oranı (RO) yanıtı için uygunluğu araştırılan 4 modele ait model seçim kriterlerini oluşturan istatistiki veriler Tablo 4.38’de verilmiştir. Kuadratik model, yüksek R^2 (0,9218), düzeltilmiş R^2 (0,8659) ile tahmini R^2 (0,7402) değerleri arasındaki 0,2’den az fark olması ve 0,05 anlamlılık düzeyinde modele ait p değerinin anlamlı, uyum eksikliğine ait p değerinin ise anlamsız olması kriterlerini sağlaması nedeniyle rehidrasyon oranı için en uygun model olarak seçilmiştir.

Tablo 4.38: Tatlı patates örneklerinin RO yanıtı için model seçimi

Model	Standart sapma	p-değeri	Uyum eksikliğine ait p-değeri	R ²	Düzeltilmiş R ²	Tahmini R ²
Lineer	0,0924	0,1399	0,0415	0,3252	0,1902	-0,6006
2FI	0,0634	0,0068	0,1520	0,7139	0,6185	0,2396
Kuadratik	0,0376	0,0009	0,7519	0,9218	0,8659	0,7402
Kübik	0,0404	0,6179	0,5981	0,9355	0,8452	0,3467

Rehidrasyon oranı için varyans analizi sonucunda elde edilen istatistiksel verilerin sunulduğu Tablo 4.39’da modele ait yüksek F değeri ve uyum eksikliğine ait F değerinin küçük olması nedenleriyle kurutma koşul faktörleri ile RO yanıtı arasında iyi bir kuadratik ilişki olduğu görülmektedir.

Tablo 4.39: Tatlı patates örneklerinin RO yanıtı için kuadratik model analizi

Model	Kareler Toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F-değeri	p- değeri
Model	0,1166	5	0,0233	16,50	0,0009**
A-Kurutma Sıcaklığı	0,0408	1	0,0408	28,90	0,0010**
B-Mikrodalga Gücü	0,0003	1	0,0003	0,2002	0,6681
AB	0,0492	1	0,0492	34,79	0,0006**
A ²	0,0008	1	0,0008	0,5643	0,4770
B ²	0,0251	1	0,0251	17,76	0,0040**
Artık	0,0099	7	0,0014		
Uyum eksikliği	0,0023	3	0,0008	0,4152	0,7519
Net hata	0,0075	4	0,0019		
Genel Toplam	0,1265	12			

* p < 0,05, ** p < 0,01.

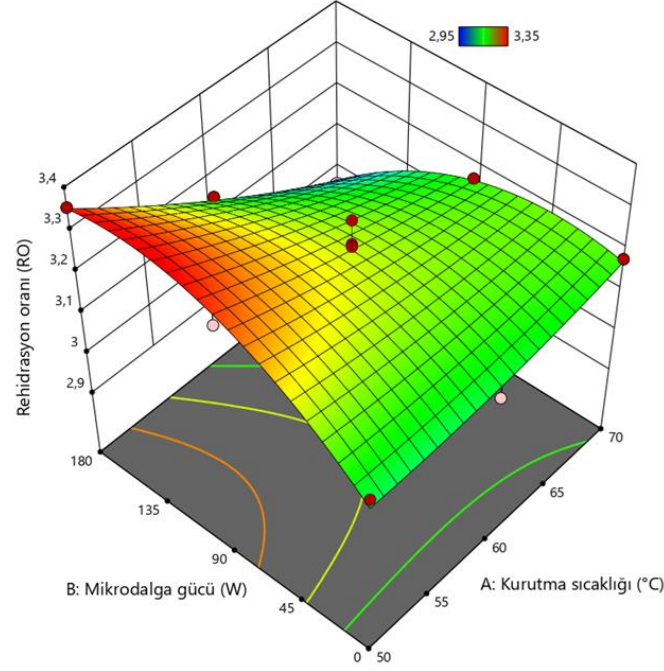
A, AB ve B² rehidrasyon oranı üzerine anlamlı etkiye sahipken (p<0,05), B ve A² istatistiksel olarak anlamlı değildir (p>0,05). Rehidrasyon oranı referans alındığında kurutma performansı, kurutma sıcaklığı tarafından lineer ve mikrodalga gücü tarafından ise kuadratik olarak etkilenmektedir. Ayrıca AB etkisinin anlamlı olması hibrit kurutmanın rehidrasyon oranı üzerine etkisinin önemli olduğunu göstermektedir.

Tatlı patates örnekleri için tahmini RO değerleri, bağımsız değişkenlerin gerçek ve kodlanmış seviyeleri için sırasıyla Denklem 4.21 ve Denklem 4.22’den hesaplanabilir.

$$RO = 3,56877 - 0,017553A + 0,009584B - 0,000123AB + 0,000170A^2 - 0,000012B^2 \quad (4.21)$$

$$RO = 3,23 - 0,0825A + 0,0069B - 0,1108AB + 0,0170A^2 - 0,0953B^2 \quad (4.22)$$

Tatlı patatesin mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutulmasında rehidrasyon oranı üzerine kurutma sıcaklığının lineer ve mikrodalga gücünün üssel etkisi yanıt yüzey grafiğinde gösterilmiştir (Şekil 4.23).



Şekil 4.23: Tatlı patates örneklerinin RO yanıtına ait yüzey grafiği

4.4.4 Su Tutma Kapasitesi

Su tutma kapasitesi (STK) yanıtını için uygunluğu araştırılan 4 modele içinde en uygun model kuadratik model olarak belirlenmiştir (Tablo 4.40). Kuadratik model, 0,05 anlamlılık düzeyinde modele ait p değerinin anlamlı, uyum eksikliğine ait p değerinin ise anlamsız olması kriterini sağlamaktadır. Ancak model uygunluğunun bir diğer ölçücü olan tahmini R^2 ve düzeltilmiş R^2 değerleri arasındaki farkın en fazla 0,2 olması kriteri sağlanamamıştır. Bu duruma rağmen Tablo 4.33'te verilen deneysel ve tahmini değerler birbirine yakındır.

Tablo 4.40: Tatlı patates örneklerinin STK yanıtı için model seçimi

Model	Standart sapma	p-değeri	Uyum eksikliğine ait p-değeri	R ²	Düzeltilmiş R ²	Tahmini R ²
Lineer	2,86	0,0156	0,0759	0,5649	0,4779	-0,0206
2FI	2,36	0,0400	0,1422	0,7346	0,6462	-0,1507
Kuadratik	1,87	0,0052	0,2684	0,8702	0,7775	0,1880
Kübik	1,58	0,1893	0,3717	0,9333	0,8399	-0,6405

Su tutma kapasitesi için varyans analizi sonucunda elde edilen istatistiksel veriler Tablo 4.41’de sunulmuştur. B, AB su tutma kapasitesi üzerine anlamlı etkiye sahiptir ($p < 0,05$). Rehidrasyon oranında olduğu gibi kurutma sıcaklığı ve mikrodalga gücünün ortak etkisinin su tutma kapasitesi için de anlamlı olması, hibrit kurutma yönteminin tatlı patatesin rehidrasyon özellikleri üzerine etkisinin anlamlı olduğunu göstermiştir. A, A² ve B² ise istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p > 0,05$). Sonuç olarak su tutma kapasitesi referans alındığında kurutma performansı mikrodalga gücü tarafından lineer, kurutma sıcaklığının ise lineer veya kuadratik etkisi olmadığı ancak mikrodalga gücü ile kombine edildiği zaman anlamlı bir etki yarattığı görülmüştür.

Tablo 4.41: Tatlı patates örneklerinin STK yanıtı için kuadratik model analizi

	Kareler Toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F-değeri	p- değeri
Model	163,74	5	32,75	9,38	0,0052**
A-Kuruma Sıcaklığı	15,12	1	15,12	4,33	0,0759
B-Mikrodalga Gücü	91,17	1	91,17	26,13	0,0014**
AB	31,94	1	31,94	9,15	0,0192*
A ²	0,9237	1	0,9237	0,2647	0,6228
B ²	17,79	1	17,79	5,10	0,0585
Artık	24,43	7	3,49		
Uyum eksikliği	14,41	3	4,80	1,92	0,2684
Net hata	10,02	4	2,51		
Genel Toplam	188,16	12			

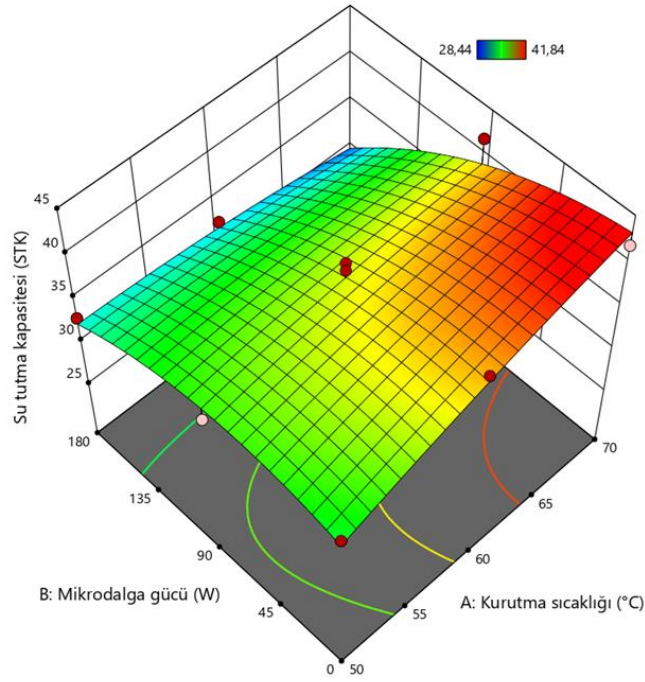
* p < 0,05, ** p < 0,01.

Tatlı patates örnekleri için tahmini STK değerleri, bağımsız değişkenlerin gerçek ve kodlanmış seviyeleri için sırasıyla Denklem 4.23 ve Denklem 4.24’den hesaplanabilir.

$$STK = -7,94199 + 1,13525A + 0,201468B - 0,003140AB - 0,005783A^2 - 0,000313B^2 \quad (4.23)$$

$$STK = 37,99 + 1,59A - 3,90B - 2,83AB - 0,5783A^2 - 2,54B^2 \quad (4.24)$$

Tatlı patatesin mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutulmasında, kurutma sıcaklığı ve mikrodalga gücünün su tutma kapasitesi üzerine etkisi Şekil 4.24'deki yanıt yüzey grafiğinde gösterilmiştir. Üç boyutlu yanıt yüzey grafiği incelendiğinde su tutma kapasitesinin artan kurutma havası sıcaklıklarında arttığı, mikrodalga gücündeki artış ile önce artış ardından azalma gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 4.24: Tatlı patates örneklerinin STK yanıtına ait yüzey grafiği

4.4.5 Toplam Renk Değişimi

Tatlı patatese ait deneysel toplam renk değişimi değerleri, model analizinde daha anlamlı sonuçlar elde etmek üzere matematiksel olarak tersine dönüştürülerek kullanılmıştır. Toplam renk değişimi (ΔE^*) yanıtının tahminlenmesi için uygunluğu araştırılan 4 modelden, kuadratik model ($R^2=0,7394$) en uygun model seçilmiştir. Ancak bu modelin tahmini R^2 değerinin -1,1660 olması modelin tahminleme gücünün düşük olacağını göstermektedir. Bunun yanında 0,05 anlamlılık düzeyinde modele ait p değerinin anlamlı olsa da uyum eksikliğine ait p değerinin de beklenenin tersine anlamlı olması modelin tahminleme gücü ile olmuş bir başka veridir. Özetle Tablo 4.42'de sunulan verilerden uyum eksikliğine ait p değeri ve tahmini R^2 değerleri

toplam renk değişiminin tahminlenmesinde modelin zayıf kalabileceğine işaret etmiştir.

Tablo 4.42: Tatlı patates örneklerinin ΔE^* yanıtı için model seçimi

Model	Standart sapma	p-değeri	Uyum eksikliğine ait p-değeri	R ²	Düzeltilmiş R ²	Tahmini R ²
Lineer	0,0437	0,2854	0,0004	0,2218	0,0662	-0,3988
2FI	0,0440	0,3798	0,0003	0,2892	0,0522	-0,9646
Kuadratik	0,0302	0,0500	0,0011	0,7394	0,5532	-1,1660
Kübik	0,0257	0,1930	0,0008	0,8650	0,6761	-13,9698

Toplam renk değişimi için varyans analizi sonucunda elde edilen modele ait F değeri modelin anlamlı olduğu göstermiştir ancak uyum eksikliğine ait F değeri (54,61) de anlamlı olması modelin uyumu açısından olumsuzdur. Kurutma koşul etki faktörlerinden yalnız B² istatistiksel açıdan anlamlıdır (p<0,05). Toplam renk değişimi referans alındığında mikrodalga gücü kurutma performansını kuadratik olarak etkilemektedir (Tablo 4.43)

Tablo 4.43: Tatlı patates örneklerinin ΔE^* yanıtı için kuadratik model analizi

Model	Kareler Toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F-değeri	p- değeri
A-Kuruma Sıcaklığı	0,0181	5	0,0036	3,97	0,0500*
B-Mikrodalga Gücü	0,0010	1	0,0010	1,05	0,3386
AB	0,0045	1	0,0045	4,90	0,0624
A ²	0,0017	1	0,0017	1,81	0,2205
B ²	0,0004	1	0,0004	0,4869	0,5078
Artık	0,0076	1	0,0076	8,32	0,0235*
Uyum eksikliği	0,0064	7	0,0009		
Net hata	0,0062	3	0,0021	54,61	0,0011
Net hata	0,0002	4	0,0000		
Genel Toplam	0,0245	12			

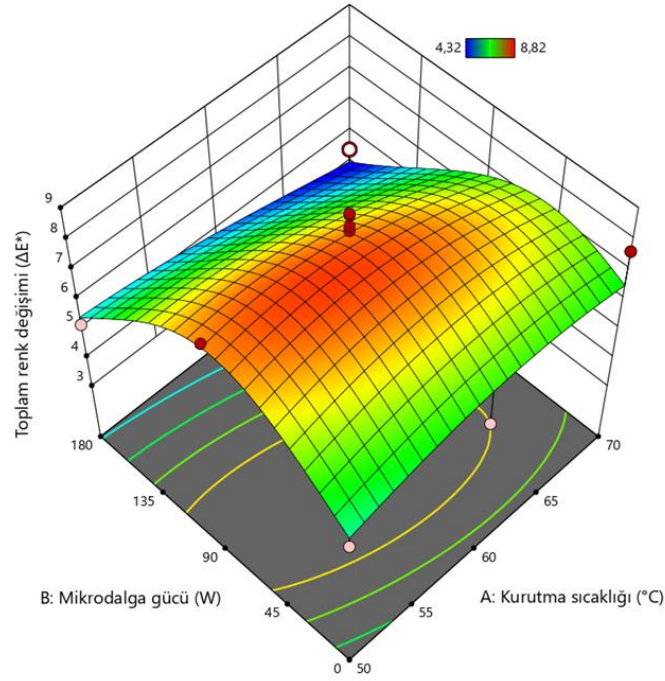
* p < 0,05, ** p < 0,01. **Matematiksel dönüşüm:** Tersine çevrilmiş

Tatlı patates örnekleri için tahmini ΔE^* değerleri, bağımsız değişkenlerin gerçek ve kodlanmış seviyeleri için sırasıyla Denklem 4.25 ve Denklem 4.26'den hesaplanabilir.

$$\frac{1}{\Delta E^*} = 0,656311 - 0,015992A - 0,002217B + 0,000023B + 0,000127A^2 - 0,000000647436B^2 \quad (4.25)$$

$$\frac{1}{\Delta E^*} = 0,1285 + 0,0127A + 0,0273B + 0,0203AB + 0,0127A^2 + 0,0524B^2 \quad (4.26)$$

Kurutma sıcaklığı ve mikrodalga gücünün toplam renk değişimi üzerine etkisini gösteren yanıt yüzey grafiği incelendiğinde, toplam renk değişimi mikrodalga gücündeki artışla azalmakta, bu azalış artan kurutma havası sıcaklıklarında azalmaktadır. Kurutma sıcaklığındaki artış ile toplam renk değişimi artmaktadır (Şekil 4.26).



Şekil 4.25: Tatlı patates örneklerinin ΔE^* yanıtına ait yüzey grafiği

4.4.6 Antioksidan Aktivite Değişimi

Antioksidan aktivite değişimi (AA (%)) yanıtı için uygunluğu araştırılan 4 modele ait model seçim kriterlerini oluşturan istatistiki veriler Tablo 4.44’te verilmiştir. Kuadratik model, yüksek R^2 (0,9705), düzeltilmiş R^2 (0,9495) ile tahmini R^2 (0,9195) değerleri arasındaki 0,2’den az fark olması ve 0,05 anlamlılık düzeyinde modele ait p değerinin anlamlı, uyum eksikliğine ait p değerinin ise anlamsız olması kriterlerini sağlaması nedeniyle antioksidan aktivite değişimi için en uygun model olarak seçilmiştir.

Tablo 4.44: Tatlı patates örneklerinin AA (%) yanıtı için model seçimi

Model	Standart sapma	p-değeri	Uyum eksikliğine ait p-değeri	R ²	Düzeltilmiş R ²	Tahmini R ²
Lineer	11,06	0,2653	0,0061	0,2331	0,0797	-1,0165
2FI	5,40	0,0003	0,0856	0,8353	0,7804	0,6323
Kuadratik	2,59	0,0024	0,8636	0,9705	0,9495	0,9195
Kübik	2,85	0,6988	0,7747	0,9745	0,9387	0,8957

Antioksidan aktivite değişimi için varyans analizi sonucunda elde edilen modele ait yüksek F değeri (46,12) ve uyum eksikliğine ait düşük F değeri (0,2416) kuadratik modelin bu yanıtın tahminlenmesi için uygun olduğunu göstermektedir. A, B, AB, A², B² antioksidan aktivite değişimi üzerine anlamlı bir etkiye sahiptir (p<0,05). Antioksidan aktivite değişimi referans alındığında kurutma sıcaklığı ve mikrodalga gücü kurutma performansını lineer ve kuadratik olarak etkilemektedir. Kurutma koşul faktörlerinin ortak etkisinin (AB) antioksidan aktivite üzerine anlamlı etkiye sahip olması hibrit kurutma yönteminin bu parametrede anlamlı bir etkiye sebep olduğunu istatistiksel olarak kanıtlaması açısından önemlidir (Tablo 4.45).

Tablo 4.45: Tatlı patates örneklerinin AA (%) yanıtı için kuadratik model analizi

	Kareler Toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F-değeri	p- değeri
Model	1547,29	5	309,46	46,12	0,0024**
A-Kurutma Sıcaklığı	45,54	1	45,54	6,79	0,0352*
B-Mikrodalga Gücü	326,05	1	326,05	48,59	0,0002**
AB	960,07	1	960,07	143,08	< 0,0001**
A ²	208,15	1	208,15	31,02	0,0008**
B ²	64,40	1	64,40	9,60	0,0174*
Artık	46,97	7	6,71		
Uyum eksikliği	7,21	3	2,40	0,2416	0,8636
Net hata	39,77	4	9,94		
Genel Toplam	1594,26	12			

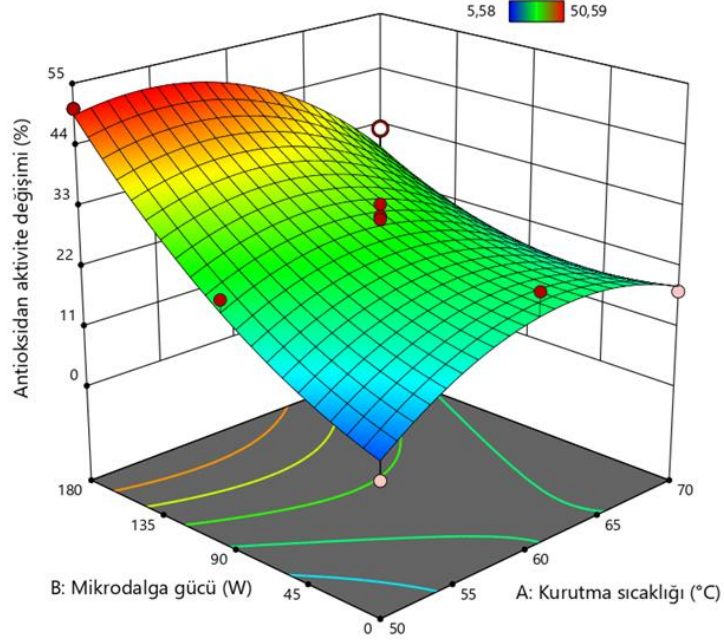
* p < 0,05, ** p < 0,01.

Tatlı patates örnekleri için tahmini AA (%) değerleri, bağımsız değişkenlerin gerçek ve kodlanmış seviyeleri için sırasıyla Denklem 4.27 ve Denklem 4.28'den hesaplanabilir.

$$AA (\%) = -361,48098 + 11,69120A + 1,00743B - 0,017214AB - 0,086812A^2 + 0,000596B^2 \quad (4.27)$$

$$AA (\%) = 30,01 - 2,76A + 7,37B - 15,49B - 8,68A^2 + 4,83B^2 \quad (4.28)$$

Tatlı patatesin mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutulmasında, kurutma sıcaklığı ve mikrodalga gücünün antioksidan aktivite değişimi üzerine etkisi Şekil 4.27'deki yanıt yüzey grafiğinde gösterilmiştir. Grafiğe göre, artan mikrodalga güçlerinde antioksidan aktivite değişimi artış yönünde yüzdesel olarak artmakta, artan kurutma sıcaklıklarında ise yüzdesel artış azalmaktadır.



Şekil 4.26: Tatlı patates örneklerinin AA (%) yanıtına ait yüzey grafiği

4.4.7 Fenolik Madde İçeriği Değişimi

Toplam fenolik madde içeriği değişimi (TFM (%)) yanıtı için 4 ayrı modelin uygunluğu araştırılmış ve modellere ait istatistiki veriler Tablo 4.46'da sunulmuştur. Kuadratik model, yüksek R^2 (0,9643), uyumlu düzeltilmiş R^2 (0,9387) ile tahmini R^2 (0,7323) değerleri ve 0,05 anlamlılık düzeyinde modele ait p değerinin anlamlı, uyum eksikliğine ait p değerinin ise anlamsız olması kriterlerini sağlaması nedeniyle toplam fenolik madde içeriği değişimi için en uygun model olarak seçilmiştir.

Tablo 4.46: Tatlı patates örneklerinin TFM (%) yanıtı için model seçimi

Model	Standart sapma	p-değeri	Uyum eksikliğine ait p-değeri	R ²	Düzeltilmiş R ²	Tahmini R ²
Lineer	5,19	0,0010	0,0066	0,7502	0,7002	0,4318
2FI	4,18	0,0318	0,0139	0,8544	0,8058	0,6305
Kuadratik	2,35	0,0073	0,0962	0,9643	0,9387	0,7323
Kübik	1,81	0,1167	0,1499	0,9849	0,9637	0,2109

Toplam fenolik madde içeriği değişimi için varyans analizi sonucunda elde edilen modele ait yüksek F değeri (37,77) ve uyum eksikliğine ait düşük F değeri (4,30) kuadratik modelin bu yanıtın tahminlenmesi için uygun olduğunu göstermektedir. B, AB, A², B² toplam fenolik madde içeriği değişimi üzerine anlamlı etkiye sahipken (p<0,05). Toplam fenolik madde içeriği değişimi referans alındığında kurutma performansı üzerine kurutma sıcaklığı kuadratik; mikrodalga gücü lineer ve kuadratik olarak etkilidir. Kurutma sıcaklığı ve mikrodalga gücünün ortak etkisinin (AB) istatistiksel olarak anlamlı olması hibrit kurutma yönteminin fenolik madde içeriği üzerine etkisinin önemli olduğunu göstermektedir (Tablo 4.47).

Tablo 4.47: Tatlı patates örneklerinin TFM (%) yanıtı için kuadratik model analizi

	Kareler Toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F-değeri	p- değeri
Model	1040,77	5	208,15	37,77	0,0073**
A-Kurutma Sıcaklığı	8,35	1	8,35	1,52	0,2580
B-Mikrodalga Gücü	801,34	1	801,34	145,40	< 0,0001**
AB	112,47	1	112,47	20,41	0,0027**
A ²	47,92	1	47,92	8,70	0,0214*
B ²	108,39	1	108,39	19,67	0,0030**
Artık	38,58	7	5,51		
Uyum eksikliği	29,46	3	9,82	4,30	0,0962
Net hata	9,12	4	2,28		
Genel Toplam	1079,35	12			

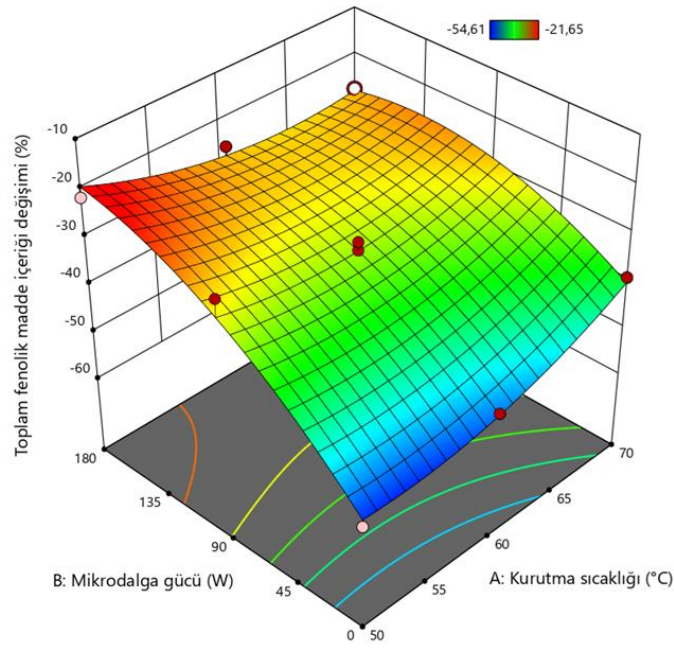
* p < 0,05, ** p < 0,01.

Tatlı patates örnekleri için tahmini TFM (%) değerleri, bağımsız değişkenlerin gerçek ve kodlanmış seviyeleri için sırasıyla Denklem 4.29 ve Denklem 4.30'dan hesaplanabilir.

$$TFM (\%) = 60,25661 - 4,35037A + 0,621118B - 0,005892AB + 0,041655A^2 - 0,000773B^2 \quad (4.29)$$

$$TFM (\%) = -32,99 + 1,18 + 11,56B - 5,30AB + 4,17A^2 - 6,26B^2 \quad (4.30)$$

Kurutma koşul faktörlerinin toplam fenolik madde içeriği değişimi üzerine etkisini gösteren yanıt yüzey grafiği incelendiğinde, mikrodalga gücünün etkisinin kurutma sıcaklığına göre daha belirgin olduğu ve artan mikrodalga güçlerinde toplam fenolik madde içeriğindeki kaybın yüzdesel olarak azaldığı görülmektedir. Ayrıca sıcak havanın mikrodalga gücü ile kombine edilmesi neticesinde de toplam fenolik madde kaybı azalmaktadır (Şekil 4.27).



Şekil 4.27: Tatlı patates örneklerinin TFM (%) yanıtına ait yüzey grafiği

4.4.8 Beta-Karoten İçeriği Değişimi

Beta karoten içeriği değişimi (BK(%)) yanıtı için uygunluğu araştırılan 4 modele ait istatistik veriler Tablo 4.48’de verilmiştir. Yüksek R^2 (0,9248), düzeltilmiş R^2 (0,8711) ile tahmini R^2 (0,8201) değerleri arasındaki 0,2’den az fark olması ve 0,05 anlamlılık düzeyinde modele ait p değerinin anlamlı, uyum eksikliğine ait p değerinin ise anlamsız olması kriterlerini sağlaması nedeniyle kuadratik model beta karoten içeriği değişimini tanımlamak için en uygun model olarak seçilmiştir.

Tablo 4.48: Tatlı patates örneklerinin BK (%) yanıtı için model seçimi

Model	Standart sapma	p-değeri	Uyum eksikliğine ait p-değeri	R ²	Düzeltilmiş R ²	Tahmini R ²
Lineer	3,02	0,6286	0,0284	0,0887	-0,0936	-0,8636
2FI	3,17	0,7996	0,0215	0,0955	-0,2060	-3,4238
Kuadratik	1,04	0,0008	0,8979	0,9248	0,8711	0,8201
Kübik	1,18	0,8161	0,6675	0,9307	0,8336	0,4941

Beta karoten içeriği değişimi için kuadratik modele ait varyans analizi sonuçları Tablo 4.49’da sunulmuştur. Modele ait yüksek F değeri (37,77) ve uyum eksikliğine ait düşük F değeri (4,30) kurutma koşul faktörleri ile beta karoten içeriği değişimi arasında iyi bir kuadratik ilişki olduğunu göstermektedir. B, A², B² beta karoten içeriği değişimi üzerine anlamlı etkiye sahipken (p<0,05), A ve AB etkisi anlamlı değildir (p>0,05). Beta karoten içeriği değişimi referans alındığında kurutma performansı üzerine kurutma sıcaklığı kuadratik; mikrodalga gücü lineer ve kuadratik olarak etkilidir. Hibrit kurutma yönteminin beta karoten içeriği değişimi üzerine etkisi, diğer biyoaktif bileşenlerde (AA ve TFM) olduğu gibi anlamlı bulunmamıştır.

Tablo 4.49: Tatlı patates örneklerinin BK (%) için kuadratik model analizi

	Kareler Toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F-değeri	p- değeri
Model	92,72	5	18,54	17,21	0,0008**
A-Kuruma Sıcaklığı	0,7921	1	0,7921	0,7353	0,4196
B-Mikrodalga Gücü	8,10	1	8,10	7,52	0,0289*
AB	0,6889	1	0,6889	0,6395	0,4502
A ²	11,15	1	11,15	10,36	0,0147*
B ²	43,19	1	43,19	40,10	0,0004**
Artık	7,54	7	1,08		
Uyum eksikliği	0,9421	3	0,3140	0,1904	0,8979
Net hata	6,60	4	1,65		
Genel Toplam	100,26	12			

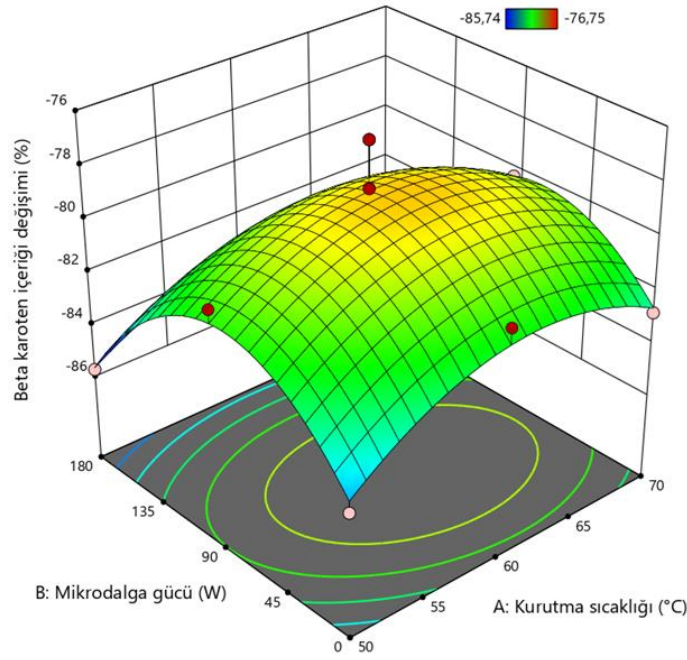
* p < 0,05, ** p < 0,01.

Tatlı patates örnekleri için tahmini BK (%) değerleri, bağımsız değişkenlerin gerçek ve kodlanmış seviyeleri için sırasıyla Denklem 4.31 ve Denklem 4.32’den hesaplanabilir.

$$BK (\%) = -158,40782 + 2,48942A + 0,102640B - 0,000461AB - 0,020097A^2 - 0,000488B^2 \quad (4.31)$$

$$BK (\%) = - 78,60 + 0.3633A - 1,16B - 0,4150AB - 2,01A^2 - 3,95B^2 \quad (4.32)$$

Kurutma koşul faktörlerinin beta karoten içeriği değişimi üzerine etkisini gösteren yanıt yüzey grafiği incelendiğinde, kurutma sıcaklığı ve mikrodalga gücünün kuadratik etkisi ve bu koşul faktörlerindeki artış ile beta karoten kaybı yüzde oranının önce arttığı ardından azaldığı görülmektedir (Şekil 4.28).



Şekil 4.28: Tatlı patates örneklerinin BK (%) yanıtına ait yüzey grafiği

4.4.9 Sayısal Optimizasyon

Tatlı patatesin hibrit kurutulmasının optimizasyonunda yanıtların üst ve alt deneysel değerleri, belirlenen optimum koşullar ve bu koşullarda yanıtların alacağı tahmini değerler Tablo 4.50’de sunulmuştur.

Sayısal optimizasyonu için her bağımsız değişken ve yanıt için hedefler belirlenmiştir. Bağımsız değişkenler için hedef, deney deseni içinde belirlenen alt ve üst limitler içinde kalmasıdır. Yanıtlar için hedefler belirlenirken temel kriter; rehidrasyon kabiliyeti ve biyoaktif bileşen içeriği yüksek (en az kayıp), en az renk değişimine uğramış kuru ürünleri kısa kuruma süresinde en az enerji sarfıyatı ile elde etmek olmuştur. Bu hedefler doğrultusunda tatlı patatesin hibrit kurutulmasında

istenebilirlik fonksiyonu (0,640) en yüksek olan yani optimum koşul değerleri 62,43 °C kurutma sıcaklığı ve 53,48 W mikrodalga gücü olmuştur.

Tablo 4.50: Tatlı patatesin hibrit kurutulması için yanıt yüzey yöntemi ile belirlenen optimum koşul ve bu koşulda yanıtların alacağı tahmini değerler

	Alt limit	Üst limit	Optimum koşuldaki tahmini değerler
A-Kurutma sıcaklığı	50	70	62,43 °C
B- Mikrodalga gücü	0	180	53,48 W
D _t	177	37	70,56 dakika
ET	1,34	0,54	0,83 kWh
RO	2,95	3,35	3,20
STK	28,44	41,84	39,79
ΔE*	8,82	4,32	7,82
AA (%)	5,58	50,59	25,12
TFM (%)	-54,61	-21,65	-37,65
BK (%)	-85,74	-76,75	-78,77
İstenebilirlik fonksiyonu			0,640

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında örneklerinin mikrodalga, sıcak hava ve hibrit (mikrodalga-sıcak hava) kurutma yöntemleri balkabağı ve tatlı patates örnekleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Üç farklı kurutma sıcaklığı (50, 60 ve 70 °C) ve mikrodalga güç seviyesinin (90, 180 ve 360 W), solo ve kombinasyonunu içeren 15 farklı kurutma koşulunda kurutulan örneklerin, kurutma karakteristikleri ve kalite parametreleri incelenmiş, kuruma kinetiği için modelleme ve tüm kurutma prosesi için yanıt yüzey yöntemi ile optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmadan elde edilen balkabağı ve tatlı patatesin kurutulması ve bu süreçte meydana gelen değişimlerin öngörülebilmesi noktasında literatüre önemli derecede katkı yapacağı düşünülmektedir.

Balkabağı ve tatlı patates örnekleri için; artan kurutma sıcaklığı ve mikrodalga güçlerinde kuruma hızının artmış, kuruma süresi kısalmıştır. En kısa kuruma sürelerine hibrit koşullarda kurutulan örneklerde ulaşılmıştır. Üç kurutma yönteminde de belirgin bir sabit hızda periyodu gözlemlenememiş, kuruma azalan hızda kuruma periyodunda geçekleşmiştir. Yalnız mikrodalga ve bazı hibrit koşullarda ile kurutulan örneklerde kısa süreli bir ısınma periyodu gözlemlenmiştir.

Örneklerin kurutma kinetiğini incelemek için 12 farklı ince tabaka kurutma modelinin uygunluğu araştırılmış ve kurutma yöntemindeki değişikliklerle birlikte kurutma kinetiğini en iyi tanımlayan modeller değişmiştir. Balkabağı örneklerinin kuruma kinetiğini açıklayan en iyi modeller; yalnızca sıcak hava ve hibrit yöntemle kurutulan örnekler için Alibas model olurken; yalnız mikrodalga yöntemi uygulanan örnekler için Weibull Dağılımı ve Midilli-Küçük model olurken, tatlı patatesin kuruma kinetiği yalnız mikrodalga kurutma yöntemi ile kurutulan örnekler için Weibull model, sıcak hava kurutma ve hibrit kurutma yöntemleri için ise Alibas, Midilli-Küçük ve Weibull modeller olmuştur.

Balkabağı ve tatlı patates örneklerine ait etkin difüzyon katsayısı değerleri sırasıyla; $4,86-29,72 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, $4,86-38,91 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değişirken, bu değer hibrit kurutma ile önemli ölçüde artmıştır.

Balkabağı örneklerinin sıcak hava, mikrodalga ve hibrit kurutma yöntemleri ile 0,1 g su/g kuru madde nem içeriğine kadar kurutulması için harcanan toplam enerji miktarları sırasıyla 0,25-0,40 kWh, 1,76-2,68 kWh ve 0,56-1,23 kWh olarak belirlenmiştir. Bu değerler tatlı patates için sırasıyla 0,23-0,26 kWh, 1,25-1,34 kWh ve 0,47-0,80 kWh olarak tespit edilmiştir, Hibrit kurutma ile sıcak hava kurutma yöntemine göre daha az enerji sarfıyatı ile daha kısa sürede hedeflenen son nem içeriğine ulaşmak mümkündür.

Mikrodalga kurutma yöntemi için artan mikrodalga güçlerinde, sıcak hava kurutma yönteminde ise artan kurutma havası sıcaklıklarında balkabağının rehidrasyon oranı azalmaktadır. Hibrit kurutma koşullarında sabit sıcaklıkta artan mikrodalga güçlerinde rehidrasyon oranı azalmaktadır. Hibrit kurutma koşulları kendi içinde kıyaslandığında; sıcak havanın 90 W gücünde mikrodalga enerjisi ile kombine edildiği koşullar, aynı sıcaklıkta 180 ve 360 W ile kombine edilen koşullara göre daha yüksek rehidrasyon oranına sahiptir. Balkabağı örneklerinin su tutma kapasitelerinin solo yöntemlerde mikrodalga gücündeki artışla azaldığı, diğer yandan artan kurutma sıcaklığı ile arttığı tespit edilmiştir. Sıcak hava ile mikrodalga enerjisinin eş zamanlı uygulamasında örneklerin su tutma kapasitelerinin sabit sıcaklıkta mikrodalga gücünün artışıyla önce arttığı ardından azaldığı görülmüştür.

Tatlı Patates örnekleri için rehidrasyon oranı ve su tutma kapasitesi özellikleri incelendiğinde; mikrodalga kurutma yöntemi için artan mikrodalga güçlerinde rehidrasyon oranı azalmaktadır. Sıcak hava ile kurutma yönteminde ise kurutma sıcaklığının rehidrasyon oranı üzerine etkisi anlamlı değildir. Hibrit koşullarda kurutulan örneklerde ise 60 ve 70 °C sıcaklıklarda artan mikrodalga güçlerinde ve sabit mikrodalga gücünde artan sıcaklıklarda rehidrasyon oranı azalmaktadır. Kurutma yöntemindeki değişimin tatlı patateslerin su tutma kapasitesi üzerine etkisi belirgin değildir. Solo yöntemler incelendiğinde mikrodalga gücü arttıkça su tutma kapasitesi düşerken, artan kurutma sıcaklığı ile yükselmektedir. Hibrit koşullarda en yüksek su tutma kapasitesine 90 W mikrodalga gücünün sıcak hava ile kombine edildiği koşullarda ulaşılmıştır ve bu koşullarda sıcaklık artışı ile su tutma kapasitesi artmıştır.

Balkabağı örnekleri her üç yöntemle kurtulması sırasında L^* ve b^* değerleri azalırken, a^* değeri artmıştır. Tatlı patates için b^* değerleri azalırken, 360 W ve bu mikrodalga gücünün sıcak hava ile kombinasyonunu içeren koşullar dışında L^* değeri

artmış, a^* değeri ise azalmıştır. Söz konusu koşullarda her iki örnekte de kararmalar meydana gelmiştir.

Balkabağı ve tatlı patates örnekleri için tüm kurutma yöntem ve koşullarında antioksidan aktivite değeri artarken, toplam fenolik madde içeriği azalmıştır. Balkabağı örnekleri için artan kurutma sıcaklığı ve mikrodalga gücündeki artış ile antioksidan aktivitedeki artış yükselirken, fenolik madde kayıpları azalmaktadır. Tatlı patates için kurutma sıcaklığındaki artış ile antioksidan aktivite önce artıp sonra azalmıştır. Hibrit koşullarda kurutulan balkabağı ve tatlı patates örneklerinin toplam fenolik madde kaybı artan kurutma sıcaklığı ve mikrodalga güç seviyelerinde azalmaktadır. Bu açıdan toplam fenolik madde kaybının solo kurutma yöntemlerine kıyasla hibrit kurutma ile en aza indirmek optimum kurutma koşullarının seçimi ile mümkündür.

Balkabağı ve tatlı patates örnekleri için tüm kurutma yöntem ve koşullarında beta karoten içeriği azalmıştır. Artan mikrodalga güçlerinde beta karoten kaybı artmıştır. En düşük beta karoten içeriği kayıp oranı balkabağı için $50\text{ }^{\circ}\text{C} + 90\text{ W}$, tatlı patates için $60\text{ }^{\circ}\text{C} + 90\text{ W}$ hibrit koşullarında kurutulan örneklerde gerçekleşmiştir. Buradan hareketle ılımlı kurutma sıcaklığı ve mikrodalga güç kombinasyonları gerçekleştirilecek hibrit kurutma işleminde ile solo yöntemlere kıyasla beta karoten kaybının azaltılabileceği sonucuna varılmıştır.

Kurutma sıcaklığı ve mikrodalga gücünün bağımsız değişkenler olarak seçildiği optimizasyon çalışmasında; tatlı patates örnekleri için tüm yanıtlar kuadratik model; balkabağı örnekleri için ise toplam renk ve beta karoten içeriği değişimi yanıtları lineer, diğer yanıtlar ise kuadratik modele uyum göstermiştir.

Balkabağının hibrit kurutulması işlemi için optimum koşullar $56,55\text{ }^{\circ}\text{C}$ kurutma sıcaklığı ve $148,52\text{ W}$ mikrodalga gücü olarak belirlenmiş ve bu koşullarda kuruma süresi, enerji sarfıyatı, rehidrasyon oranı, su tutma kapasitesi, toplam renk değişimi, antioksidan aktivite değişimi, toplam fenolik madde içeriği değişimi, beta karoten içeriği değişimi sırasıyla; 73,97 dakika, 0,89 kWh, 5,60, 66,59, 9,76, %114,13, %-33,76, %-68,12 olarak tahminlenmiştir.

Tatlı patatesin hibrit kurutulması işlemi için optimum koşullar 62,43 °C kurutma sıcaklığı ve 53,48 W mikrodalga gücü olarak belirlenmiş ve bu koşullarda kuruma süresi, enerji sarfıyatı, rehidrasyon oranı, su tutma kapasitesi, toplam renk değişimi, antioksidan aktivite değişimi, toplam fenolik madde içeriği değişimi, beta karoten içeriği değişimi sırasıyla; 70,56 dakika, 0,83 kWh, 3,20, 39,79, 7,82, %25,12, %-37,65, %-78,77 olarak tahminlenmiştir.

Bu tez çalışmasının sonucunda hibrit kurutma (mikrodalga-sıcak hava) yönteminin uygun kurutma koşullarının kombinasyonu ile tüketici ve ticari beklentileri karşılayabilecek iyi kalitede kuru ürünlerin üretimi için umut veren bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

6. KAYNAKLAR

Aamir, M. And Boonsupthip, W., “Effect of microwave drying on quality kinetics of okra”, *Journal of Food Science and Technology*, 54(5), 1239-1247, (2017).

Abano, E. E., Ma, H., and Qu, W., “Influence of air temperature on the drying kinetics and quality of tomato slices”, *Journal of Food Processing & Technology*, 2(5), 2-9, (2011).

Adeleye, S. A., Salami, J., Oluwaleye, I. O., Oni, T. O., Akindele, D. O., Olukayode, N. E., “Evaluation of the convective drying of banana”, *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 2(8), 1017-1026, (2020).

Aghilinategh, N., Rafiee, S., Hosseinpour, S., Omid, M., and Mohtasebi, S. S., “Optimization of intermittent microwave–convective drying using response surface methodology”, *Food Science & Nutrition*, 3(4), 331-341, (2015).

Ahmad, J. and Langrish, T. A. G., "Optimisation of total phenolic acids extraction from mandarin peels using microwave energy: The importance of the Maillard reaction", *Journal of Food Engineering*, 109(1), 162-174, (2012).

Ahmed, M., Sorifa, A. M., and Eun, J. B., “Effect of pretreatments and drying temperatures on sweet potato flour.” *International journal of food science & technology*, 45(4), 726-732, (2010).

Akyüz, İ., “Mikrodalga ve ultrases ön işlemlili kurutma yöntemlerinin antosiyanince zengin bazı meyvelerin kurutma kinetiği ve kalite özelliklerine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2023).

Alam, M. K., “A comprehensive review of sweet potato (*Ipomoea batatas* [L.] Lam): Revisiting the associated health benefits”, *Trends in Food Science & Technology*, 115, 512-529, (2021).

Alam, M.K., Sams, S., Rana, Z.H., Akhtaruzzaman, M., Islam, S.N., “Minerals, Vitamin C, and Effect of Thermal Processing on Carotenoids Composition in Nine Varieties Orange-Fleshed Sweet Potato (*Ipomoea batatas* L.)”, *J. Food Compos. Anal.*, 92, 103582, (2020).

Albanese, D., Cinquanta, L., Cuccurullo, G., & Di Matteo, M., “Effects of microwave and hot-air drying methods on colour, β -carotene and radical scavenging activity of

apricots”, *International Journal of Food Science & Technology*, 48(6), 1327-1333, (2013).

Alibas, İ., “Microwave drying of grapevine (*Vitis vinifera* L.) leaves and determination of some quality parameters”, *Journal of Agricultural Sciences*, 18(1), 43-53, (2012).

Alibas, I., “Microwave, air and combined microwave–air-drying parameters of pumpkin slices”, *LWT-food science and technology*, 40(8), 1445-1451, (2013).

Alibas, I., “Characteristics of chard leaves during microwave, convective, and combined microwave-convective drying”, *Drying Technology*, 24(11), 1425-1435, (2006).

Altay, K., “Mikrodalga Destekli Köpük Kurutma Yöntemi ile Kurutulan Ejder Meyvesi Tozlarının Kuruma Kinetiği ve Toz Ürün Özelliklerinin İncelenmesi”, *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 10(9), 1627-1637, (2022).

Amiripour, M., Habibi-Najafi, M.B., Mohebbi, M., Emadi, B., “Optimization of Osmo-Vacuum Drying of Pear (*Pyrus communis* L.) Using Response Surface Methodology”, *J. Food Meas. Charact*, 9, 269–280, (2015).

An, N. N., Sun, W., Li, D., Wang, L. J., & Wang, Y., “Effect of microwave-assisted hot air drying on drying kinetics, water migration, dielectric properties, and microstructure of corn”, *Food Chemistry*, 139913, (2024).

Anese, M., Nicoli, M. C., Massini, R., & Lerici, C. R., “Effects of drying processing on the Maillard reaction in pasta”, *Food Research International*, 32(3), 193-199, (1999).

An, K., Ding, S., HongyanTao, Zhao, D., Wang, X., Wang, Z., Hu, X., “Response surface optimisation of osmotic dehydration of Chinese ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) slices”, *International journal of food science & technology*, 48(1), 28-34, (2013).

Anonim 2022^a Bitkisel Üretim İstatistikleri 2022
<https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Uretim-Istatistikleri-2022-45504>
Erişim tarihi:05.12.2023

Anonim 2022^b Ulusal Gıda Kompozisyonu Veri Tabanı, Kabak, Kışlık, Kestane
<https://turkomp.tarimorman.gov.tr/food-201> Erişim tarihi: 15.01.2024

Anonim 2022^c USDA, Sweet potato, raw, unprepared <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/168482/nutrients> Erişim tarihi: 17.01.2024

Anonim, Pharmaceutical and Chemical Process Technology Laboratory Manual, Dublin Institute of Technology. (2008).

Arslan, D., & Özcan, M. M., “Study the effect of sun, oven and microwave drying on quality of onion slices”, *LWT-Food Science and Technology*, 43(7), 1121-1127, (2010).

Askari, G. R., Emam-Djomeh, Z., & Mousavi, S. M., “An investigation of the effects of drying methods and conditions on drying characteristics and quality attributes of agricultural products during hot air and hot air/microwave-assisted dehydration”, *Drying Technology*, 27(7-8), 831-841, (2009).

Aslan, İ., Balkaya, A., Karaağaç, O., Sarıbaş, Ş., Kurtar, E. S., “Yerel kestane kabağı (*Cucurbita maxima* Duch.) çeşit adaylarının Samsun ilinde farklı lokasyonlarda verim unsurları ve meyve kalite özellikleri yönünden performanslarının incelenmesi”, *Yüzüncü Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 29(2), 318-329, (2019).

Ayeleso, T. B., Ramachela, K., Mukwevho, E., “A review of therapeutic potentials of sweet potato: Pharmacological activities and influence of the cultivar”, *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 15(12), 2751-2761, (2016).

Azeez, L., Adebisi, S. A., Oyedepi, A. O., Adetoro, R. O., & Tijani, K. O., “Bioactive compounds’ contents, drying kinetics and mathematical modelling of tomato slices influenced by drying temperatures and time”, *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(2), 120-126, (2019).

Azzahra, S.; Julianti, E.; Karo-Karo, T., “The Effect of Pre-Treatment in Orange-Fleshed Sweet Potato (OFSP) Flour Manufacturing Process on Cake’s Quality”, *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, 260, 012092, (2019).

Bantle, M., Käfer, T., & Eikevik, T. M., “Model and process simulation of microwave assisted convective drying of clipfish”, *Applied Thermal Engineering*, 59(1-2), 675-682., (2013).

Baş, C., “Cevap Yüzeyi Tasarımları Ve Sinir Ağları Yaklaşımı.”, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstatistik Anabilim Dalı., Ankara, (2010).

Bello, I.; Adeniyi, A.; Mukaila, T.; Hammed, A., “Optimization of Soybean Protein Extraction with Ammonium Hydroxide (NH₄OH) Using Response Surface Methodology”, *Foods*, 12, 1515, (2023).

Béttega, R., Rosa, J. G., Corrêa, R. G., & Freire, J. T., “Comparison of carrot (*Daucus carota*) drying in microwave and in vacuum microwave”, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 31, 403-412, (2014).

Bhat, T. A., Hussain, S. Z., Wani, S. M., Rather, M. A., Reshi, M., Naseer, B., Khalil, A., “The impact of different drying methods on antioxidant activity, polyphenols, vitamin C and rehydration characteristics of Kiwifruit”, *Food Bioscience*, 48, 101821, (2022).

Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. L. W. T., “Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity”, *LWT-Food science and Technology*, 28(1), 25-30, (1995).

Bruce, D. M., “Exposed-layer barley drying: three models fitted to new data up to 150 C”, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 32(4), 337-348, (1985).

Cao, M., Lan, P., Li, F., Abad, J., Zhou, C., Li, R., “Genome Characterization of Sweet Potato Symptomless Virus 1: A Mastrevirus with an Unusual Nonanucleotide”, *Sequence. Arch. Virol*, 162, 2881–2884, (2017).

Cemeroğlu, B., Özkan, M., Meyve Sebze İşleme Teknolojisi, Bölüm: Kurutma Teknolojisi. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, No: 39, 479-626, (2009).

Choo, C. O., Chua, B. L., Figiel, A., Jałoszyński, K., Wojdyło, A., Szumny, A., Chong, C. H., “Hybrid drying of *Murraya koenigii* leaves: Energy consumption, antioxidant capacity, profiling of volatile compounds and quality studies”, *Processes*, 8(2), 240, (2020).

Chou, S.K., Chua, K.J., “New Hybrid Drying Technologies for Heat Sensitive Foodstuffs”, *Trends Food Sci. Technol*, 12, 359–369, (2001).

Contreras, C., Martín-Esparza, M. E., Chiralt, A., & Martínez-Navarrete, N., “Influence of microwave application on convective drying: Effects on drying kinetics, and optical and mechanical properties of apple and strawberry”, *Journal of Food Engineering*, 88(1), 55-64, (2008).

Cui, Z. W., Xu, S. Y., and Sun, D. W., “Effect of microwave-vacuum drying on the carotenoids retention of carrot slices and chlorophyll retention of Chinese chive leaves”, *Drying Technol.*, 22 (3), 563-575, (2004).

Çınar, İ., Gıda kurutma teknolojisinde matematik modellerin kullanımı, Türkiye 9. Gıda Kongresi, 24-26 Mayıs 2006, Bolu, 805-806, (2006).

Çiftçi, E., “Yüksek Dereceden Yanıt Yüzey Modelleri Üzerine Bir Araştırma”, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstatistik Anabilim Dalı, Ankara (2010).

Dai, J. W., Xiao, H. W., Zhang, L. H., Chu, M. Y., Qin, W., Wu, Z. J., Yin, P. F., “Drying characteristics and modeling of apple slices during microwave intermittent drying”, *Journal of Food Process Engineering*, 42(6), e13212, (2019).

Dalvand, M. J., Mohtasebi, S. S., Rafiee, S., “Modeling of electrohydrodynamic drying process using response surface methodology”, *Food science & nutrition*, 2(3), 200-209, (2014).

Darvishi, H., “Energy consumption and mathematical modeling of microwave drying of potato slices”, *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 14(1), 94-102, (2012).

de Medeiros, R. A. B., Barros, Z. M. P., de Carvalho, C. B. O., Neta, E. G. F., Maciel, M. I. S., Azoubel, P. M., “Influence of dual-stage sugar substitution pretreatment on drying kinetics and quality parameters of mango”, *LWT-Food Science and Technology*, 67, 167-173, (2016).

de Souza, A. U., Corrêa, J. L. G., Tanikawa, D. H., Abrahão, F. R., de Jesus Junqueira, J. R., Jiménez, E. C., “Hybrid microwave-hot air drying of the osmotically treated carrots”, *Lwt*, 156, 113046, (2022).

Dehghannya, J., Kadkhodaei, S., Heshmati, M. K., & Ghanbarzadeh, B., “Ultrasound-assisted intensification of a hybrid intermittent microwave-hot air drying process of potato: Quality aspects and energy consumption”, *Ultrasonics*, 96, 104-122, (2022).

Dehghannya, J., Kadkhodaei, S., Heshmati, M. K., Ghanbarzadeh, B., “Ultrasound-assisted intensification of a hybrid intermittent microwave-hot air drying process of potato: Quality aspects and energy consumption”, *Ultrasonics*, 96, 104-122, (2019).

Dehghannya, J., Farshad, P., Khakbaz Heshmati, M., “Three-Stage Hybrid Osmotic–Intermittent Microwave–Convective Drying of Apple at Low Temperature and Short Time”, *Dry. Technol*, 36, 1982–2005, (2018).

Demir, V., Gunhan, T., Yağcıoğlu, A. K. and Değirmencioglu, A., “Mathematical modelling and the determination of some quality parameters of air-dried bay leaves”, *Biosystems engineering*, 88(3), 325-335, (2004).

Demiray, E., Tülek, Y., “Degradation kinetics of β -carotene in carrot slices during convective drying”, *International Journal of Food Properties*, 20(1), 151-156, (2017).

Demirel, M.; Kayan, B., “Application of Response Surface Methodology and Central Composite Design for the Optimization of Textile Dye Degradation by Wet Air Oxidation”. *Int. J. Ind. Chem.*, 3, 24, (2012).

Deng, Y., & Zhao, Y., “Effect of pulsed vacuum and ultrasound osmopretreatments on glass transition temperature, texture, microstructure and calcium penetration of dried apples (Fuji)”, *LWT-Food Science and Technology*, 41(9), 1575-1585, (2008).

Dini, I., Tenore, G. C., Dini, A., “Effect of industrial and domestic processing on antioxidant properties of pumpkin pulp”, *LWT-Food Science and Technology*, 53(1), 382-385, (2013).

Doymaz, I., “The kinetics of forced convective air-drying of pumpkin slices”, *Journal of Food Engineering*, 79(1), 243-248, (2007).

Ertekin Kaymak, F., İçier, f., Kumcuoğlu, S., Sakin, M., “Unit Operations Laboratory Manuel”, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, 47: 73-78, (2006).

Fidan, M., “Sıcak hava-mikrodalga kombinasyonu ile kurutulan aronya meyvesinin kuruma karakteristiklerinin belirlenmesi ve optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, (2022).

Gao, Z., Han, M., Hu, Y., Li, Z., Liu, C., Wang, X., Tian, Q., Jiao, W., Hu, J., Liu, L., “ Effects of Continuous Cropping of Sweet Potato on the Fungal Community Structure in Rhizospheric Soil”, *Front. Microbiol*, 10, 2269, (2019).

Geankoplis, C. J., Transport Processes and Separation Process Principles (includes unit operations) (fourth ed.). Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall PTR, 559-611, (2003).

Gedik, N. T., “Amino reçineleri içeren odun esaslı kompozit atıkların mikrodalga destekli katalitik pirolizi”, Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Karabük, (2023).

Geng, Z., Wang, H., Torki, M., Beigi, M., Zhu, L., Huang, X., ... & Hu, B., “Thermodynamically analysis and optimization of potato drying in a combined infrared/convective dryer”, *Case Studies in Thermal Engineering*, 42, 102671, (2023).

Golpour, I., Kaveh, M., Blanco-Marigorta, A. M., Marcos, J. D., Guiné, R. P., Chayjan, R. A., Karami, H., “Multi-response design optimisation of a combined fluidised bed-infrared dryer for terebinth (*Pistacia atlantica* L.) fruit drying process based on energy and exergy assessments by applying RSM-CCD modelling”, *Sustainability*, 14(22), 15220, (2022).

Goula, A. M., Adamopoulos, K. G., “Kinetic models of β -carotene degradation during air drying of carrots”, *Drying Technology*, 28(6), 752-761, (2010).

Göztepe, B., Kayacan, S., Bozkurt, F., Tomas, M., Sagdic, O., Karasu, S., “Drying kinetics, total bioactive compounds, antioxidant activity, phenolic profile, lycopene and β -carotene content and color quality of Rosehip dehydrated by different methods”, *LWT*, 153, 112476, (2022).

Gu, C.; Ma, H.; Tuly, J.A.; Guo, L.; Zhang, X.; Liu, D.; Ouyang, N.; Luo, X.; Shan, Y., “Effects of Catalytic Infrared Drying in Combination with Hot Air Drying and Freeze Drying on the Drying Characteristics and Product Quality of Chives”, *LWT*, 161, 113363, (2022).

Gowen, A., Abu-Ghannam, N., Frias, J., Oliveira, J., “Optimisation of Dehydration and Rehydration Properties of Cooked Chickpeas (*Cicer arietinum* L.) Undergoing Microwave–Hot Air Combination Drying. Trends”, *Food Sci. Technol*, 17, 177–183, (2006).

Guiné, R. P., Pinho, S., & Barroca, M. J., “Study of the convective drying of pumpkin (*Cucurbita maxima*)”, *Food and bioproducts processing*, 89(4), 422-428, (2011).

Hagenimana, V., Carey, E. E., Gichuki, S. T., Oyunga, M. A., & Imungi, J. K., “Carotenoid contents in fresh, dried and processed sweetpotato products”, *Ecology of Food and Nutrition*, 37(5), 455-473, (1998).

Hadree, J., Shahidi, F., Mohebbi, M., Abbaspour, M., “Evaluation of Effects of Spray Drying Conditions on Physicochemical Properties of Pomegranate Juice Powder Enriched with Pomegranate Peel Phenolic Compounds: Modeling and Optimization by RSM”, *Foods*, 12(10), 2066, (2023).

Hagos, M., Redi-Abshiro, M., Chandravanshi, B. S., & Yaya, E. E., “Development of Analytical Methods for Determination of β -Carotene in Pumpkin (*Cucurbita maxima*) Flesh, Peel, and Seed Powder Samples”, *International journal of analytical chemistry*, 1, 9363692, (2022).

Hasan, M.U.; Malik, A.U.; Ali, S.; Imtiaz, A.; Munir, A.; Amjad, W.; Anwar, R., “Modern Drying Techniques in Fruits and Vegetables to Overcome Postharvest Losses: A Review”, *J. Food Process. Preserv.* 43, e14280, (2019).

Henderson, S. M., “Grain drying theory, I. Temperature effect on drying coefficient”, *J. Agr. Eng. Res.*, 6(3), 169-173, (1961).

Henriques, F., Guiné, R. P., & Barroca, M. J., “Influence of drying treatment on physical properties of pumpkin”, *Hrvatski časopis za prehrambenu tehnologiju, biotehnologiju i nutricionizam*, 7(SPECIAL ISSUE-7th), 53-58, 82012).

Hihat, S., Remini, H., Madani, K., “Effect of oven and microwave drying on phenolic compounds and antioxidant capacity of coriander leaves”, *International Food Research Journal*, 24(2), (2017).

Hirun, S., Utama-Ang, N., & Roach, P. D., “Turmeric (*Curcuma longa* L.) drying: an optimization approach using microwave-vacuum drying”, *Journal of food science and technology*, 51, 2127-2133, (2014).

Horuz, E., “Investigation of Drying and Quality Parameters of Some Fruits and Vegetables in Home Type Hybrid (Convective-Microwave) Oven”, Ph.D. Thesis, Gaziantep University, Gaziantep, (2018).

Horuz, E., Bozkurt, H., Karataş, H. and Maskan, M., “Simultaneous application of microwave energy and hot air to whole drying process of apple slices: drying kinetics, modeling, temperature profile and energy aspect”, *Heat and Mass Transfer*, 54, 425-436, (2018).

Horuz, E., Bozkurt, H., Karataş, H., & Maskan, M., “Effects of hybrid (microwave-convective) and convective drying on drying kinetics, total phenolics, antioxidant capacity, vitamin C, color and rehydration capacity of sour cherries”, *Food chemistry*, 230, 295-305, (2017).

Horuz, E., Jaafar, H. J., Maskan, M. “Ultrasonication as pretreatment for drying of tomato slices in a hot air–microwave hybrid oven”, *Drying Technology*, 35(7), 849-859, (2017).

Horuz, E., Maskan, M., “Hot air and microwave drying of pomegranate (*Punica granatum* L.) arils.”, *Journal of Food Science and Technology*, 52, 285-293, (2015).

Hosen, M., Rafii, M. Y., Mazlan, N., Jusoh, M., Oladosu, Y., Chowdhury, M. F. N., Khan, M. M. H., “Pumpkin (*Cucurbita* spp.): a crop to mitigate food and nutritional challenges”, *Horticulturae*, 7(10), 352, (2021).

Huang, Y. C., Chang, Y. H., & Shao, Y. Y., “Effects of genotype and treatment on the antioxidant activity of sweet potato in Taiwan”, *Food Chemistry*, 98(3), 529-538, (2006).

Islam, S. N., Nusrat, T., Begum, P., & Ahsan, M., “Carotenoids and β -carotene in orange fleshed sweet potato: A possible solution to vitamin A deficiency. *Food Chemistry*”, 199, 628-631, (2016).

İzli, G., Yildiz, G., Berk, S. E., “Quality retention in pumpkin powder dried by combined microwave-convective drying”, *Journal of Food Science and Technology*, 59(4), 1558-1569, (2022).

İzli, G., Taskin, O., İzli, N., “Convective, microwave and combined microwave-convective drying of pepino”, *Erwerbs-Obstbau*, 63(2), 175-184, (2021).

İzli, N., Isik, E., “Color and microstructure properties of tomatoes dried by microwave, convective, and microwave-convective methods”, *International journal of food properties*, 18(2), 241-248, (2015).

Jia, Y., Khalifa, I., Hu, L., Zhu, W., Li, J., Li, K., Li, C., “Influence of three different drying techniques on persimmon chips’ characteristics: A comparison study among hot-air, combined hot-air-microwave, and vacuum-freeze drying techniques”, *Food and Bioproducts Processing*, 118, 67-76, (2019).

Junqueira, J. R. D. J., Corrêa, J. L. G., Petri, I., Gatti, I. P., de Mendonça, K. S., “Microwave drying of sweet potato: Drying kinetics and energetic analysis”, *Australian Journal of Crop Science*, 16(10), 1185-1192, (2022).

Junqueira, J. R. D. J., Corrêa, J. L. G., Ernesto, D. B., “Microwave, convective, and intermittent microwave-convective drying of pulsed vacuum osmodehydrated pumpkin slices”, *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(6), e13250, (2017).

Kamali, R., Dadashi, S., Dehghannya, J., Ghaffari, H., “Production of green banana powder using foam-mat drying as influenced by drying air temperature: Experimental and 3D numerical study”, *Journal of Food Process Engineering*, 44(6), 13703, (2021).

Kamiloglu, S.; Toydemir, G.; Boyacioglu, D.; Beekwilder, J.; Hall, R.D.; Capanoglu, E. A “Review on the Effect of Drying on Antioxidant Potential of Fruits and Vegetables”, *Crit. Rev. Food Sci. Nutr*, 56, 110–S129, (2016).

Karaaslan, S., Ekinçi, K., Akbolat, D., “Drying characteristics of sultana grape fruit in microwave dryer”, *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, (IV/1), 1317-1327, (2017).

Karaaslan, S., Havuz, M., “Selection and Evaluation of Thin Layer Drying Models for Microwave Drying of Mushroom”, *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1(Özel Sayı-2), 2057-2061, (2014).

Karabulut, I., Topcu, A., Duran, A., Turan, S., Ozturk, B., “Effect of hot air drying and sun drying on color values and β -carotene content of apricot (*Prunus armenica* L.)”, *LWT-Food Sci. Technol.*, 40 (5), 753-758, (2007).

Karacabey, E., Baltacioglu, C., Cevik, M., Kalkan, H., “Optimization of microwave-assisted drying of Jerusalem artichokes (*Helianthus tuberosus* L.) by response surface methodology and genetic algorithm”, *Italian Journal of Food Science*, 28(1), 121-130, (2016).

Karami, H., Lorestani, A. N. and Tahvilian, R., “Assessment of kinetics, effective moisture diffusivity, specific energy consumption, and percentage of thyme oil extracted in a hybrid solar-electric dryer”, *Journal of Food Process Engineering*, 44(1), 1-12, (2021).

Kaur Dhillon, G., Kour, A., & Gupta, N., “Optimization of low-cost drying technology for preservation of peach (*Prunus Persica*) using RSM”, *International Journal of Fruit Science*, 22(1), 525-538, (2022).

Khan, M. K. I., Ghauri, Y. M., Alvi, T., Amin, U., Khan, M. I., Nazir, A., Maan, A. A., “Microwave assisted drying and extraction technique; kinetic modelling, energy consumption and influence on antioxidant compounds of fenugreek leaves”. *Food Science and Technology*, 42, e56020, (2021).

Kılıç, F., “Köpük ve Konvektif Kurutma Yöntemleri ile Elde Edilen Balkabağı (*Cucurbita moschata*) Tozlarının Bisküvi ve Kek Üretiminde Kullanım Olanaklarının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, (2022).

Kim, M.Y., Lee, B.W., Lee, H.-U., Lee, Y.Y., Kim, M.H., Lee, J.Y., Lee, B.K., Woo, K.S., Kim, H.-J, “Phenolic Compounds and Antioxidant Activity in Sweet Potato after Heat Treatment”, *J. Sci. Food Agric*, 99, 6833–6840, (2019).

Kipcak, A. S., Ismail, O., “Microwave drying of fish, chicken and beef samples”, *Journal of food science and technology*, 58, 281-291, (2021).

Kipcak, A. S., Doymaz, I., “Mathematical modeling and drying characteristics investigation of black mulberry dried by microwave method”, *International Journal of Fruit Science*, 20(sup3), 1222-1233, (2020^a).

Kipcak, A., and Doymaz, İ., "Microwave and infrared drying kinetics and energy consumption of cherry tomatoes", *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, 26(2), 203-212, (2020^b).

Koç, B., Kaymak-Ertekin, F., “Yanıt Yüzey Yöntemi ve Gıda İşleme Uygulamaları”, *Gıda*, 35(1), 1-8, (2010).

Kong, K. W., Ismail, A., Tan, C. P., & Rajab, N. F., “Optimization of oven drying conditions for lycopene content and lipophilic antioxidant capacity in a by-product of the pink guava puree industry using response surface methodology”, *LWT-Food Science and Technology*, 43(5), 729-735, (2010).

Köprüalan, Ö., Altay, Ö., Bodruk, A., Kaymak-Ertekin, F., “Effect of hybrid drying method on physical, textural and antioxidant properties of pumpkin chips”, *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15, 2995-3004, (2021).

Kulczyński, B., Gramza-Michałowska, A., Królczyk, J. B., “Optimization of extraction conditions for the antioxidant potential of different pumpkin varieties (*Cucurbita maxima*). *Sustainability*, 12(4), 1305, (2020).

Kumar, G., Kumar, N., Prabhakar, P. K., & Kishore, A., “Foam mat drying: Recent advances on foam dynamics, mechanistic modeling and hybrid drying approach”, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-17, (2022).

Kumar, D., Prasad, S., Murthy, G. S., “Optimization of microwave-assisted hot air drying conditions of okra using response surface methodology”, *Journal of Food Science and Technology*, 51, 221-232, (2014).

Lagnika, C., Jiang, N., Song, J., Li, D., Liu, C., Huang, J., Zhang, M., “Effects of pretreatments on properties of microwave-vacuum drying of sweet potato slices”, *Drying Technology*, 37(15), 1901-1914, (2019).

Lahsasni, S., Kouhila, M., Mahrouz, M., Idlimam, A. and Jamali, A., “Thin layer convective solar drying and mathematical modeling of prickly pear peel (*Opuntia ficus indica*)”, *Energy*, 29(2), 211-224, (2004).

Liu, J., Li, X., Yang, Y., Wei, H., Xue, L., Zhao, M., Cai, J., “Optimization of combined microwave and hot air drying technology for purple cabbage by Response Surface Methodology (RSM)”, *Food Science & Nutrition*, 9(8), 4568-457, (2021).

Liu, S. C., Yang, D. J., Jin, S. Y., Hsu, C. H., Chen, S. L., “Kinetics of color development, pH decreasing, and anti-oxidative activity reduction of Maillard reaction in galactose/glycine model systems”, *Food Chemistry*, 108(2), 533-541, (2008).

Macedo, L. L., Vimercati, W. C., da Silva Araújo, C., Saraiva, S. H., Teixeira, L. J. Q., “Effect of drying air temperature on drying kinetics and physicochemical characteristics of dried banana”, *Journal of Food Process Engineering*, 43(9), e13451, (2020).

Maftoonazad, N., Dehghani, M. R., & Ramaswamy, H. S., “Hybrid microwave-hot air tunnel drying of onion slices: Drying kinetics, energy efficiency, product rehydration, color, and flavor characteristics”, *Drying Technology*, 40(5), 966-986, (2022).

Mahdad, A., Laidi, M., Hanini, S., Hentabli, M. and Benhelal, M., “Modeliranje kinetike sušenja jabuke (sorta Golab): Frakcijski račun u odnosu na poluempirijske

modele”, *Kemija u industriji: Časopis kemičara i kemijskih inženjera Hrvatske*, 70(5-6), 251-262, (2021).

Makori, S.I., Mu, T.-H., Sun, H.-N., “Total Polyphenol Content, Antioxidant Activity, and Individual Phenolic Composition of Different Edible Parts of 4 Sweet Potato Cultivars”, *Nat. Prod. Commun*, 15, 1934578X2093693, (2020).

Marengo, M., Amoah, I., Carpen, A., Benedetti, S., Zanoletti, M., Buratti, S., Lutterodt, H.E., Johnson, P.-N.T., Manful, J., Marti, A., “Enriching Gluten-Free Rice Pasta with Soybean and Sweet Potato Flours”, *J. Food Sci. Technol*, 55, 2641–2648, (2018).

Maskan, M., “Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying”, *Journal of food engineering*, 48(2), 177-182, (2001).

Mbondo, N. N., Owino, W. O., Ambuko, J., & Sila, D. N., “Effect of drying methods on the retention of bioactive compounds in African eggplant”, *Food science & nutrition*, 6(4), 814-823, (2018).

Mezzomo, N., & Ferreira, S. R., “Carotenoids functionality, sources, and processing by supercritical technology: a review.”, *Journal of chemistry*, 2016(1), 3164312, (2016).

Midilli, A., Küçük, H. and Yapar, Z., “A new model for single-layer drying”, *Drying technology*, 20(7), 1503-1513, (2002).

Motevali, A., Minaei, S., Banakar, A., Ghobadian, B. and Darvishi, H., “Energy analyses and drying kinetics of chamomile leaves in microwave-convective dryer”, *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 15(2), 179-187, (2016).

Miraei Ashtiani, S. H., Sturm, B., & Nasirahmadi, A., “Effects of hot-air and hybrid hot air-microwave drying on drying kinetics and textural quality of nectarine slices”. *Heat and Mass Transfer*, 54, 915-927, (2018).

Monteiro, R.L., de Moraes, J.O., Domingos, J.D., Carciofi, B.A.M., Laurindo, J.B., “Evolution of the Physicochemical Properties of Oil-Free Sweet Potato Chips during Microwave Vacuum Drying”, *Innov. Food Sci. Emerg. Technol*, 63, 102317, (2020).

Monteiro, R. L., Link, J. V., Tribuzi, G., Carciofi, B. A. M., Laurindo, J. B., “Effect of multi-flash drying and microwave vacuum drying on the microstructure and texture of pumpkin slices”, *LWT* 96, 612–619, (2018).

Mourtala, I. Z. M., Innocent, N. M., Habibou, M., Oselebe, H., “Recent progress in breeding for beta-carotene, dry matter content and sugar in sweet potato [*Ipomoea*

Batatas (L.) Lam]-A review”, *European Journal of Agriculture and Food Sciences*, 5(1), 6-13, (2023).

Nkama, I.; Badau, M.; Ukwungwu, M.; Maji, A.; Abo, M.; Fati, K.; Oko, A., “Optimization of Rice Parboiling Process for Optimum Head Rice Yield: A Response Surface Methodology (RSM) Approach”. *Int. J. Agric. For*, 2014, 154–165, (2014).

Obajemihi, O. I., Olaoye, J. O., Cheng, J. H., Ojediran, J. O., & Sun, D. W., “Optimization of process conditions for moisture ratio and effective moisture diffusivity of tomato during convective hot-air drying using response surface methodology”, *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(4), e15287, (2021).

Oliveira, S. M., Brandao, T. R., Silva, C. L., “Influence of drying processes and pretreatments on nutritional and bioactive characteristics of dried vegetables: A review”, *Food Engineering Reviews*, 8(2), 134-163, (2016).

Oluniyo, R.O., Omoba, O.S., Awolu, O.O., Olagunju, A.I., “Orange-fleshed Sweet Potatoes Composite Bread: A Good Carrier of Beta (β)-carotene and Antioxidant Properties”, *J. Food Biochem*, 45, 13423, (2021).

Omari, A., Behrooz-Khazaei, N., Sharifian, F., “Drying kinetic and artificial neural network modeling of mushroom drying process in microwave-hot air dryer”, *Journal of Food Process Engineering*, 41(7), e12849, (2018).

Omolola, A.O., Jideani, A.I.O., Kapila, P.F., Jideani, V.A., “Optimization of Microwave Drying Conditions of Two Banana Varieties Using Response Surface Methodology”, *Food Sci. Technol*, 2015, 35, 438–444, (2015).

Onabanjo, O.O., Dickson, I., “Nutritional, Functional and Sensory Properties of Biscuit Produced from Wheat-Sweet Potato Composite”, *J. Food Technol. Res.*, 1, 111–121, (2014).

Onu Chijioke, E., Igbokwe Philomena, K., Nwabanne Joseph, T., “Effective moisture diffusivity, activation energy and specific energy consumption in the thin-layer drying of potato”, *Int. J. Nov. Res. Eng. Sci*, 3(2), 10-22, (2017).

Onwude, D.I.; Hashim, N.; Abdan, K.; Janius, R.; Chen, G., “Modelling the Mid-Infrared Drying of Sweet Potato: Kinetics, Mass and Heat Transfer Parameters, and Energy Consumption”, *Heat Mass Transf.*, 54, 2917–2933, (2018).

Onwude, D. I., Hashim, N., Janius, R., Nawi, N. M., Abdan, K., “Color change kinetics and total carotenoid content of pumpkin as affected by drying temperature”, *Italian Journal of Food Science/Rivista Italiana di Scienza degli Alimenti*, 29(1), (2017).

Osganian, S. K., Stampfer, M. J., Rimm, E., Spiegelman, D., Manson, J. E., & Willett, W. C., “Dietary carotenoids and risk of coronary artery disease in women”, *The American journal of clinical nutrition*, 77(6), 1390-1399, (2003).

Özdemir, M., Ozen, B. F., Dock, L. L., Floros, J. D., “Optimization of osmotic dehydration of diced green peppers by response surface methodology”, *LWT-Food Science and Technology*, 41(10), 2044-2050, (2008).

Özel, Ö. F., “Balkabağının Farklı Kurutma Şartlarındaki Kurutma Karakteristiklerinin Belirlenmesi”, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, (2010).

Özler, C., “Cevap yüzeyi yöntemlerinin süreç iyileştirme amacı ile kullanılması üzerine bir araştırma”, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ekonometri Ana Bilim Dalı, İzmir, (1997).

Page, G. E., “Factors Influencing the Maximum Rates of Air Drying Shelled Corn in Thin Layers”, M. S. Thesis, Department of Mechanical Engineering, Purdue University, Purdue, USA, (1949).

Pagliarussi, R. S., Bastos, J. K., Freitas, L. A. “Fluid bed drying of guarana (Paullinia cupana HBK) extract: effect of process factors on caffeine content”, *Aaps Pharmscitech*, 7, 160-166, (2006).

Parhizi, Z., Karami, H., Golpour, I., Kaveh, M., Szymanek, M., Blanco-Marigorta, A. M., Darvishi, Y., “Modeling and optimization of energy and exergy parameters of a hybrid-solar dryer for basil leaf drying using RSM”, *Sustainability*, 14(14), 8839, (2022).

Pereira, N. R., Marsaioli Jr, A., Ahrné, L. M., “Effect of microwave power, air velocity and temperature on the final drying of osmotically dehydrated bananas”. *Journal of Food Engineering*, 81(1), 79-87, (2007).

Ponkham, K., Meeso, N., Soponronnarit, S., Siriamornpun, S., “Modeling of combined far-infrared radiation and air drying of a ring shaped-pineapple with/without shrinkage. *Food and Bioproducts Processing*, 90(2), 155-164, (2012).

Pott, I., Marx, M., Neidhart, S., Mühlbauer, W., Carle, R., “Quantitative determination of β -carotene stereoisomers in fresh, dried, and solar-dried mangoes (*Mangifera indica* L.)”, *Journal of agricultural and food chemistry*, 51(16), 4527-4531, (2013).

Prakash, S., Jha, S. K., Datta, N., “Performance evaluation of blanched carrots dried by three different driers, *Journal of food engineering*, 62(3), 305-313, (2004).

Qadri, O. S., Srivastava, A. K., Yousuf, B., “Trends in foam mat drying of foods: Special emphasis on hybrid foam mat drying technology”, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(10), 1667-1676, (2020).

Rani, P. and Tripathy, P. P., “Drying characteristics and performance acceleration of a mixed-mode solar dryer using finned collector for pineapple slice drying”, *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-15, (2023).

Rigi, M., Salehi, E. A., Ghahremani, H., “Determination of optimum osmotic dehydration as a pretreatment in hot air drying of turnip slices by response surface methodology (RSM)”, *Research and Innovation in Food Science and Technology*, 8(4), 325-340, (2020).

Ropelewska, E., Popińska, W., Sabanci, K., & Aslan, M. F., “Flesh of pumpkin from ecological farming as part of fruit suitable for non-destructive cultivar classification using computer vision”, *European Food Research and Technology*, 248(3), 893-898, (2022).

Sadeghi, M., Mirzabeigi Kesbi, O., & Mireei, S. A., “Mass transfer characteristics during convective, microwave and combined microwave–convective drying of lemon slices”, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(3), 471-478, (2013)

Salama, M., Mu, T., Sun, H., “Influence of Sweet Potato Flour on the Microstructure and Nutritional Quality of Gluten-Free Fresh Noodles”, *Int. J. Food Sci. Technol*, 56, 3938–3947, (2021).

Salehi, F., & Kashaninejad, M., “Modeling of moisture loss kinetics and color changes in the surface of lemon slice during the combined infrared-vacuum drying”, *Information processing in Agriculture*, 5(4), 516-523, (2018).

Samoticha, J.;Wojdyło, A.; Lech, K., “The Influence of Different the Drying Methods on Chemical Composition and Antioxidant Activity in Chokeberries”, *LWT–Food Sci. Technol.*, 66, 484–489, (2016).

Sangamithra, A., Sivakumar, V., John, S. G., Kannan, K., “Foam mat drying of food materials: A review”, *Journal of food processing and preservation*, 39(6), 3165-3174, (2015).

Seerangurayar, T., Al-Ismaili, A. M., Jeewantha, L. J., Al-Habsi, N. A., “Effect of solar drying methods on color kinetics and texture of dates”, *Food and Bioproducts Processing*, 116, 227-239, (2019).

Seleim, M. A. A., Ali, H. M., & Hassan, M. A., “Comparative study of the beta-carotene, alpha-Tocopherol and pectin values from three cultivars of pumpkin (*Cucurbita maxima*), *World J. Dairy Food. Sci*, 10, 132-140, (2015).

Senevirathna, S. S. J., Ramli, N. S., Azman, E. M., Juhari, N. H., Karim, R., “Optimization of the drum drying parameters and citric acid level to produce purple sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) powder using response surface methodology”, *Foods*, 10(6), 1378, (2021).

Sharma, G. P. and Prasad, S., “Effective moisture diffusivity of garlic cloves undergoing microwave-convective drying”, *Journal of Food Engineering*, 65(4), 609-617, (2004).

Shi, Q.; Zheng, Y.; Zhao, Y., “Optimization of Combined Heat Pump and Microwave Drying of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) Using Response Surface Methodology”, *J. Food Process. Preserv*, 38, 2090–2098, (2014).

Shrivastava, V. and Kumar, A., “Experimental investigation on the comparison of fenugreek drying in an indirect solar dryer and under open sun”, *Heat and Mass Transfer*, 52, 1963-1972, (2016).

Singleton, V. L., Orthofer, R., Lamuela-Raventós, R. M., “Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent”, In *Methods in enzymology* (Vol. 299, pp. 152-178). Academic press (1999)

Sobowale, S. S., Agbawodike, J. I., Kewuyemi, Y. O., Adebo, O. A., “Response surface methodology approach for predicting microwave-convective drying characteristics of sweet potato slices”, *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(7), e16683, (2022).

Song, J., Wang, X., Li, D., Meng, L., Liu, C., “Degradation of carotenoids in pumpkin (*Cucurbita maxima* L.) slices as influenced by microwave vacuum drying”, *International Journal of Food Properties*, 20(7), 1479-1487, (2017)

Šumić, Z.; Tepić, A.; Vidović, S.; Vladić, J.; Pavlić, B., “Drying of Shiitake Mushrooms in a Vacuum Dryer and Optimization of the Process by Response Surface Methodology (RSM)”, *J. Food Meas. Charact*, 10, 425–433, (2016^a).

Šumić, Z., Vakula, A., Tepić, A., Čakarević, J., Vitas, J., Pavlić, B., “Modeling and optimization of red currants vacuum drying process by response surface methodology (RSM)”, *Food chemistry*, 203, 465-475, (2016^b).

Suvarnakuta, P., Devahastin, S., Mujumdar, A. S., “Drying kinetics and β -carotene degradation in carrot undergoing different drying processes”, *Journal of Food Science*, 70(8), 520-526, (2005).

Szadzińska, J., Mierzwa, D., “The influence of hybrid drying (microwave-convective) on drying kinetics and quality of white mushrooms”, *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, 167, 108532, (2021).

Taghinezhad, E.; Kaveh, M.; Jahanbakhshi, A.; Golpour, I., “Use of Artificial Intelligence for the Estimation of Effective Moisture Diffusivity, Specific Energy Consumption, Color and Shrinkage in Quince Drying”, *J. Food Process Eng.*, 43, 13358, (2020).

Tepe, T. K., “Kavun ve karpuz cipsi üretiminde farklı kurutma yöntemleri ve ön işlemlerin bazı kuruma ve kalite parametreleri üzerine etkisi”, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, (2023).

Tepe, T. K., & Tepe, B., “The comparison of drying and rehydration characteristics of intermittent-microwave and hot-air dried-apple slices”, *Heat and Mass Transfer*, 56(11), 3047-3057, (2020).

Thaipong, K., Boonprakob, U., Crosby, K., Cisneros-Zevallos, L., & Byrne, D. H., “Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts”, *Journal of food composition and analysis*, 19(6-7), 669-675, (2006).

Thompson, D., “Response Surface Experimentation”. *J Food Process Preservation*, 6: 155-188, (1982).

Tian, Y., Zhao, Y., Huang, J., Zeng, H., & Zheng, B., “Effects of different drying methods on the product quality and volatile compounds of whole shiitake mushrooms”, *Food chemistry*, 197, 714-722, (2016).

Toğrul, İ. T., Pehlivan, D., “Mathematical modelling of solar drying of apricots in thin layers”, *Journal of Food Engineering*, 55(3), 209-216, (2002).

Torki-Harchegani, M., Ghasemi-Varnamkhasti, M., Ghanbarian, D., Sadeghi, M., Tohidi, M., “Dehydration characteristics and mathematical modelling of lemon slices drying undergoing oven treatment”, *Heat and Mass Transfer*, 52, 281-289, (2016).

Truong, V.D.; Avula, R.Y.; Pecota, K.V.; Yencho, G.C. Sweetpotato Production, Processing, and Nutritional Quality. In Handbook of Vegetables and Vegetable

Processing; John Wiley & Sons, Ltd.: Hoboken, NJ, USA, 2018; pp. 811–838, ISBN 978-1-119-09893-5.

Tunde-Akintunde, T. Y., Ogunlakin, G. O., “Influence of drying conditions on the effective moisture diffusivity and energy requirements during the drying of pretreated and untreated pumpkin”, *Energy Conversion and Management*, 52(2), 1107-1113, (2011).

Tüfekçi, S., Özkal, S. G., “The optimization of hybrid (Microwave–Conventional) drying of sweet potato using response surface methodology (RSM)”, *Foods*, 12(16), 3003, (2023).

Tüfekçi, S., “Ultras ses ön işleminin bamy ve elma örneklerinin kurutma performansları üzerine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, (2014).

Udomkun, P., Nagle, M., Mahayothee, B., Nohr, D., Koza, A., Müller, J., “Influence of air drying properties on non-enzymatic browning, major bio-active compounds and antioxidant capacity of osmotically pretreated papaya”, *LWT-Food Science and Technology*, 60(2), 914-922, (2015).

Uysal, M. B., “Limon ve portakal kabuklarının sıcak hava, mikrodalga ve sıcak hava-mikrodalga kombinasyonu ile kurutulması”, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, (2019).

Yoğurtçu, H., “Optimization of microwave apple drying using response surface method”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, Accepted Manuscript*, 34(3), 1365-1376, (2019).

Vega-Gálvez, A., Di Scala, K., Rodríguez, K., Lemus-Mondaca, R., Miranda, M., López, J., Perez-Won, M., “Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annuum*, L. var. *Hungarian*)”, *Food chemistry*, 117(4), 647-653, (2009).

Verma, L. R., Bucklin, R. A., Endan, J. B. and Wratten, F. T., “Effects of drying air parameters on rice drying models”, *Transactions of the ASAE*, 28(1), 296-0301, (1985).

Wang, S., Nie, S., Zhu, F., “Chemical Constituents and Health Effects of Sweet Potato”, *Food Res. Int*, 89, 90–116, (2016).

Wang, H. Y., Qian, H., Yao, W. R., “Melanoidins produced by the Maillard reaction: Structure and biological activity”, *Food chemistry*, 128(3), 573-584, (2011).

Wang, C. Y. and Singh, R. P., “Use of variable equilibrium moisture content in modeling rice drying”, *Transactions of American Society of Agricultural Engineers*, 11(6), 668-672, (1978).

Wojdyło, A., Figiel, A., Lech, K., Nowicka, P., Oszmiański, J., “Effect of convective and vacuum–microwave drying on the bioactive compounds, color, and antioxidant capacity of sour cherries”, *Food and Bioprocess Technology*, 7, 829-841, (2014).

Wu, B., Pan, Z., Qu, W., Wang, B., Wang, J., & Ma, H., “Effect of simultaneous infrared dry-blanching and dehydration on quality characteristics of carrot slices”, *LWT-Food Science and Technology*, 57(1), 90-98, (2014).

Wu, X., Sun, C., Yang, L., Zeng, G., Liu, Z., & Li, Y., “ β -carotene content in sweet potato varieties from China and the effect of preparation on β -carotene retention in the Yanshu No. 5.”, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 9(4), 581-586, (2008).

Ye, L., EL-Mesery, H. S., Ashfaq, M. M., Shi, Y., Zicheng, H. and Alshaer, W. G., “Analysis of energy and specific energy requirements in various drying process of mint leaves”, *Case Studies in Thermal Engineering*, 26, 101113, (2021).

Yildiz, G., İzli, G., “Influence of microwave and microwave-convective drying on the drying kinetics and quality characteristics of pomelo”, *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(6), e13812, (2019).

Yolmeh, M., Jafari, S.M., “Applications of Response Surface Methodology in the Food Industry Processes”, *Food Bioprocess Technol*, 10, 413–433, (2017).

Yu, M., Wang, B., Huang, Z., Lv, J., Teng, Y., Li, T., Zhu, C., “Evaluation of blue honeysuckle berries (*Lonicera caerulea* L.) dried at different temperatures: Basic quality, sensory attributes, bioactive compounds, and in vitro antioxidant activity”, *Foods*, 13(8), 1240, (2024).

Yu, H. M., Zuo, C. C., Xie, Q. J., “Drying characteristics and model of chinese hawthorn using microwave coupled with hot air”, *Mathematical Problems in Engineering*, 1, 480752, (2015).

Yuan, Y.; Tan, L.; Xu, Y.; Yuan, Y.; Dong, J., “Optimization of Combined Drying for Lettuce Using Response Surface Methodology”, *J. Food Process. Preserv*, 40, 1027–1037, (2016).

Zarein, M., Samadi, S. H., Ghobadian, B., “Investigation of microwave dryer effect on energy efficiency during drying of apple slices”. *Journal of the Saudi society of agricultural sciences*, 14(1), 41-47, (2015).

Zhang, J., Li, M., Ding, Z. Cheng, J., Yang, S., Liu, X., “Microwave Airflow Drying of Pecans at Variable Microwave Power”, *J. Food Process Eng.*, 42, 12946, (2019).

Zhou, L., Tey, C. Y., Bingol, G., Balaban, M. O., Cai, S., “Effect of different microwave power levels on inactivation of PPO and PME and also on quality changes of peach puree”, *Current Research in Food Science*, 5, 41-48, (2022).

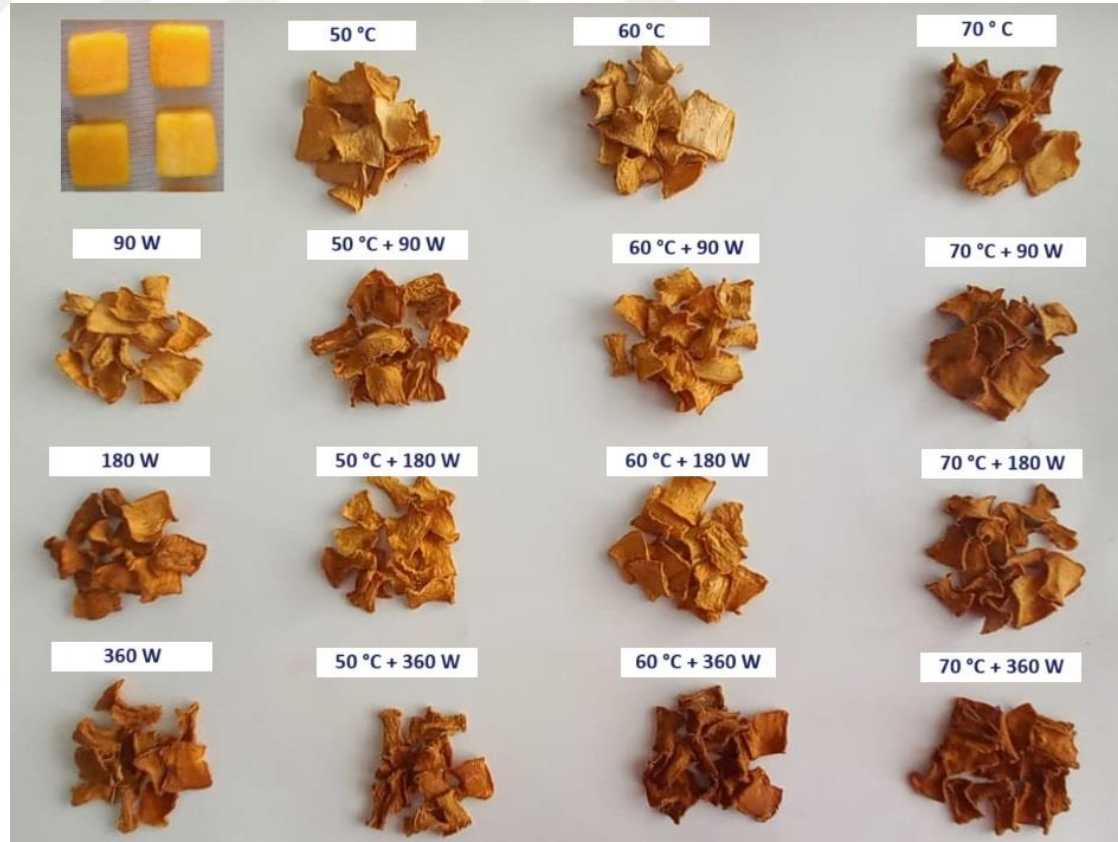
Zogzas, N. P., Maroulis, Z. B., & Marinos-Kouris, D., “Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs”, *Drying technology*, 14(10), 2225-2253, (1996).





EKLER

7. EKLER



Şekil A.1. Farklı kurutma yöntem ve koşullarında kurutulan balkabağı örnekleri



Şekil A.2: Farklı kurutma yöntem ve koşullarında kurutulan tatlı patates örnekleri