

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİBERLERİN KURUTULMASINDA KALİTE ÖZELLİKLERİNİN
İYİLEŞTİRİLMESİ AMACIYLA ULTRASON DESTEKLİ VAKUM
KURUTMA YÖNTEMİNİN UYGULANMASI**

ZEYNEP HAZAL TEKİN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
GIDA MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. MEHMET BAŞLAR**

İSTANBUL, 2015

ÖNSÖZ

Hayatım boyunca hep yanımda olan annem Mürüvvet ve babam İbrahim TEKİN'e teşekkür ederim. Hayatımın her anında yanımda olmaya çalışan teyzem Meral ve beni çok seven oğlu Aral DİNÇER'e teşekkür ederim. Yüksek Lisans eğitimim boyunca İstanbul'da beni yalnız bırakmayan teyzem Gülsüm, eniştem Hakkı ve kuzenlerim Dilara ve Melisa YALÇINKAYA'ya teşekkür ederim.

Yüksek Lisans eğitim sürecimde bana elinden gelen bütün imkânları tanıyan, laboratuvarında çalışmama destek olan, ihtiyacım olan her türlü bilgi ve deneyimini benimle paylaşan danışman hocam, Sayın Doç. Dr. Mehmet BAŞLAR' a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Kasım, 2015

Zeynep Hazal TEKİN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT.....	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	2
1.2 Tezin Amacı.....	7
1.3 Hipotez.....	8
BÖLÜM 2	
KURAMSAL TEMELLER	9
2.1 Kurutma Yöntemleri	9
2.1.1 Vakum Kurutma	9
2.1.2 Ultrason Destekli Kurutma.....	11
2.1.3 Ultrason Destekli Vakum Kurutma	13
2.2 Hammadde	16
2.2.1. Kırmızıbiber	16
BÖLÜM 3	
MATERYAL VE YÖNTEM.....	18
3.1 Materyal	18
3.2 Yöntem.....	19
3.2.1 Kırmızı Biberlerin Kurutulma Metotları.....	19
3.3 Matematiksel Modelleme ve İstatistiksel Değerlendirme	21
3.3.1 İstatistiksel Değerlendirilmesi.....	23
3.4 Uygulanan Analizler	23
3.4.1 Toplam Nem Tayini	24
3.4.2 Rehidrasyon Oranının Saptanması	24
3.4.3 Renk Ölçümü	25

3.4.4	Toplam Maya ve Küf Sayımı.....	25
3.4.5	Ekstraksiyon İşlemi.....	26
3.4.6	Toplam Fenolik Madde Analizi	27
3.4.7	DPPH Serbest Radikal Yakalama Aktivitesi Tayini.....	28
BÖLÜM 4		
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA		29
4.1	Kurutma Kinetiği	29
4.2	Modelleme	31
4.3	Kurutma Sistemlerindeki Etkin Nem Difüzyonu, Aktivasyon Enerjisi ve Kuruma Hızı.....	40
4.4	Rehidrasyon Oranı	44
4.5	Toplam Maya ve Küf Yükündeki Değişim.....	48
4.6	Toplam Fenolik Madde Miktarındaki Değişim	49
4.7	DPPH Serbest Radikal Yakalama Aktivitesi Tayini.....	50
4.8	Renk Değişimi	52
BÖLÜM 5		
SONUÇ VE ÖNERİLER.....		54
KAYNAKLAR		57
ÖZGEÇMİŞ		66

SİMGE LİSTESİ

a^*	Kırmızı ve yeşil renk değeri
A	Kurutma işlemine maruz kalan yüzey alanı (m^2)
A_k	Kontrol örnek absorbans değeri
$A_{\text{ö}}$	Örnek absorbans değeri
b^*	Sarı ve mavi renk değeri
C^*	Chroma değeri
D	Difüzyon katsayısı
D_0	Arrhenius denklemindeki üstel faktör (m^2/s)
D_{eff}	Etkin nem difüzyon katsayısı (m^2/dak)
DR	Kurutma hızı ($kg/m^2.sa$)
E_a	Aktivasyon enerjisi (J/mol)
ΔE	Toplam renk farkı
H^*	Hue açısı renk değeri
i	Gözlem numarası
L^*	Beyaz ve siyah renk değeri
L_s	Kullanılan kuru katı (kg)
m_1	Kurutulmuş boş kurutma kabı ağırlığı (g)
m_2	Örnek ağırlığı + kurutma kabı ağırlığı (g)
m_3	İçinde analiz örneği bulunan kurutma kabının kurutma işleminden sonraki ağırlığı (g)
N	Gözlem sayısı
P	İstatistikte anlamlılık seviyesi
R	İdeal gaz sabiti ($8,3145 J/mol.K$)
RO	Rehidrasyon oranı
R^2	Regresyon katsayısı
t	Kurutma süresi (dak, sa)
T	Kurutma sıcaklığı ($K, ^\circ C$)
χ^2	Ki-kare
X	Herhangi bir t anındaki bütün lokasyonlardaki (x, y, z) nem içeriği
X_t	t anındaki nem içeriği
X_e	Dengedeki nem içeriği
X_0	İlk andaki nem içeriği
Y	Nem oranı (kuru bazda)
$Y_{\text{exp},i}$	DeneySEL nem oranı
$Y_{\text{pre},i}$	Tahmini nem oranı
Z	Sabitlerin sayısı

KISALTMA LİSTESİ

ARA	Antiradikal aktivite
DPPH	2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl
GAE	Gallik asit eşdeğeri
RMSE	Ortalama hata karenin karekökü
TFM	Toplam fenolik madde
USV	Ultrason destekli vakum
W	Watt
χ^2	Ki kare

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1	Ultrason destekli vakum kurutma sisteminin şematik gösterimi 15
Şekil 2. 2	Türkiye’ de üretilen kırmızıbiberlerin üretim miktarının (ton) yıllara göre gösterimi 17
Şekil 2. 3	Yalova ilinde yetiştirilen kırmızıbiberler 17
Şekil 3. 1	Taze kırmızı biberlerin kurutmaya hazırlanmış halleri..... 18
Şekil 3. 2	Vakum kurutma sistemi (sol) ve kabin fırını kurutma sistemi (sağ) 19
Şekil 3. 3	Ultrason destekli vakum kurutma sistemi..... 20
Şekil 3. 4	Ultrason destekli vakum kurutmanın kontrol sistemi 20
Şekil 3. 5	Rehidrasyon sonrası biberlerin görünümü 24
Şekil 3. 6	Homojen çözeltilerin 2 saat boyunca oda sıcaklığında çalkalanarak inkübasyona bırakılması 26
Şekil 3. 7	Adi filtre kağıdı yardımı ile süzülen çözeltiler 27
Şekil 4. 1	Kurutma işleminden önce kırmızıbiberlerin görünümü..... 30
Şekil 4. 2	Kurutma işleminden sonra kırmızıbiberlerin görünümü..... 30
Şekil 4. 3	USV kontrol yöntemi ve kontrol uygulaması ile 45 °C’de kurutulan kırmızıbiberlerin nem oranlarının zamana bağlı değişimi 32
Şekil 4. 4	USV kontrol yöntemi ve kontrol uygulaması ile 55 °C’de kurutulan kırmızıbiberlerin nem oranlarının zamana bağlı değişimi 32
Şekil 4. 5	USV kontrol yöntemi ve kontrol uygulaması ile 65 °C’de kurutulan kırmızıbiberlerin nem oranlarının zamana bağlı değişimi 33
Şekil 4. 6	USV kontrol yöntemi ve kontrol uygulaması ile 75 °C’de kurutulan kırmızıbiberlerin nem oranlarının zamana bağlı değişimi 33
Şekil 4. 7	Kabin ve vakum kurutma yöntemleri ile farklı sıcaklıklarda kurutulan kırmızıbiberlerin nem oranlarının zamana bağlı değişimi 34
Şekil 4.8	USV kurutma yöntemi ve kontrol uygulaması ile 45 °C’de kurutulan kırmızıbiberlerin kuruma hızlarının zamana bağlı değişimi 42
Şekil 4.9	USV kurutma yöntemi ve kontrol uygulaması ile 55 °C’de kurutulan kırmızıbiberlerin kuruma hızlarının zamana bağlı değişimi 42
Şekil 4.10	USV kurutma yöntemi ve kontrol uygulaması ile 65 °C’de kurutulan kırmızıbiberlerin kuruma hızlarının zamana bağlı değişimi 43
Şekil. 4.11	USV kurutma yöntemi ve kontrol uygulaması ile 75 °C’de kurutulan kırmızıbiberlerin kuruma hızlarının zamana bağlı değişimi..... 43
Şekil 4.12	USV kurutma yöntemi ve kontrol uygulaması ile 45 °C’de kurutulan kırmızıbiberlerin rehidrasyon oranlarının zamana bağlı değişimi..... 45
Şekil 4.13	USV kurutma yöntemi ve kontrol uygulaması ile 55 °C’de kurutulan kırmızıbiberlerin rehidrasyon oranlarının zamana bağlı değişimi..... 45
Şekil 4.14	USV kurutma yöntemi ve kontrol uygulaması ile 65 °C’de kurutulan kırmızıbiberlerin rehidrasyon oranlarının zamana bağlı değişimi..... 46

Şekil 4.15 USV kurutma yöntemi ve kontrol uygulaması ile 75 °C’de kurutulan kırmızıbiberlerin rehidrasyon oranlarının zamana bağlı değişimi.....	46
Şekil 4.16 Kabin ve vakum kurutma yöntemleri ile farklı sıcaklıklarda kurutulan kırmızıbiberlerin rehidrasyon oranlarının zamana bağlı değişimi.....	47

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3. 1	Kırmızı biberlerin kurutulmasındaki verilerin değerlendirilmesi için kullanılan ince tabaka kurutma kinetik modelleri 22
Çizelge 4. 1	Ultrason destekli vakum kurutma yöntemine göre hesaplanan parametreler ve istatistiksel model parametreleri 35
Çizelge 4. 2	Ultrason destekli vakum kurutma yönteminin kontrol uygulamasına göre hesaplanan parametreler ve istatistiksel model parametreleri..... 36
Çizelge 4. 3	Kabin fırınında kurutma yöntemine göre hesaplanan parametreler ve istatistiksel model parametreleri 37
Çizelge 4. 4	Vakum fırınında kurutma yöntemine göre hesaplanan parametreler ve istatistiksel model parametreleri 38
Çizelge 4. 5	Kırmızıbiberlerin 4 farklı kurutma metodu ile 4 farklı sıcaklıkta kurutulmasıyla elde edilen etkili nem difüzyon (Deff) değerleri ve aktivasyon enerjileri (Ea) 40
Çizelge 4. 6	USV kurutma yöntemi ve kontrol uygulaması ile kurutmanın numunelerin mikrobiyal yüklerine etkileri..... 48
Çizelge 4. 7	Taze ve kuru kırmızıbiberlerin toplam fenolik madde (TFM) miktarı (mg/kg GAE).....50
Çizelge 4. 8	Taze ve kuru kırmızıbiberlerin antioksidan aktiviteleri (mg/L)..... 51
Çizelge 4. 9	Dört farklı kurutma metoduyla kurutulan kırmızı biberlerin yüzeylerindeki renk değişimi 53

**BİBERLERİN KURUTULMASINDA KALİTE ÖZELLİKLERİNİN
İYİLEŞTİRİLMESİ AMACIYLA ULTRASON DESTEKLİ VAKUM
KURUTMA YÖNTEMİNİN UYGULANMASI**

Zeynep Hazal TEKİN

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mehmet BAŞLAR

Gıdaların kurutulmasında ürünlerin kalite özelliklerinin iyileştirilmesi ve besin değerlerinin yüksek seviyede korunması için çeşitli ön işlem uygulamaları ve yeni tekniklerin kullanılması son zamanlarda önem arz eden konuların başında gelmektedir. Bu amaçla ısı ve kütle transferlerinin hızlandırılmasında kullanılan ultrason uygulaması vakum kurutma yöntemiyle kombine edilerek “ultrason destekli vakum (USV) kurutma” yöntemi geliştirilmiş olup gıdaların kurutulmasında bazı uygulamaları mevcuttur. Kurutulmuş biber geleneksel olarak sofralarımızda yer alan önemli bir baharatımızdır ve kurutulmasında kalite özelliklerinin iyileştirilmesi için USV kurutma yönteminin kullanılması bu çalışmanın konusunu oluşturmaktadır. Bu tez çalışmasında, kırmızıbiberler 45, 55, 65 ve 75 °C sıcaklıklarında USV kurutma yöntemi kullanılarak kurutulmuş ve biberlerin kurutma kinetiği, toplam maya ve küf yükü, renk değerleri, rehidrasyon oranı ve biyoaktif bileşenlerindeki değişim incelenmiştir. USV kurutma yönteminin gerçek etkisinin tespit edilebilmesi için, aynı özellikteki sistemde ultrason uygulamasının yapılmadığı kontrol işlemleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca biberler vakum kurutma ve kabin kurutma yöntemleriyle de kurutularak aynı kalite özellikleri incelenmiştir. USV kurutma yönteminin 45 °C’de kontrol uygulamasına göre kurutma süresini yaklaşık 180 dakika (%25) azalttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, USV kurutma yöntemiyle, etkin nem difüzyonu %9 ile %89 arasında artış sağlamaktadır. Biberin toplam maya ve küf içerikleri USV kurutma yöntemi ile daha fazla inaktive edilmesine

karşın biberlerin antioksidan kapasitesi daha fazla zarar gördüğü belirlenmiştir. Bununla birlikte, rehidrasyon oranları, USV kurutma yöntemi ile genellikle benzer özellik gösterirken bazen daha az rehidrasyon oranı da elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kırmızıbiber, ultrason uygulaması, vakum kurutma, USV, biyoaktif özellikler, kurutma kinetiği

ABSTRACT

APPLICATION OF ULTRASOUND ASSISTED VACUUM DRYING FOR IMPROVING QUALITY PROPERTIES DURING PEPPERS DEHYDRATION

Zeynep Hazal TEKİN

Department of Food Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Mehmet BAŞLAR

The use of various pretreatment applications and novel drying techniques have been recently considered very crucial for drying of food to improve the quality properties of the products and preserve nutritional values at maximum. For this purpose, ultrasound treatment which has been used to increase heat and mass transfer was combined with vacuum drying method so that ultrasound assisted vacuum (USV) drying method could be obtained and it was used to dry some food products. Dried red peppers are important spices consumed traditionally. USV drying method was used to dry them in the thesis study. In this thesis study, red peppers were dried at 45, 55, 65 and 75 °C by applying USV drying method to examine drying kinetics, rehydration ratio and effects of drying methods on bioactive compounds such as total phenolic content and antiradical activity under these conditions, total yeast and mold count and color changing values. USV control treatments not included ultrasound waves were applied under the system in the same property to determine real effect of USV drying method. In addition, vacuum drying and oven drying methods were used to examine these drying, quality and microbial parameters. USV drying method could provide 25 % shorter drying period (180 min shorter at 45 °C) and the increasing effective moisture diffusivity (D_{eff}) (between 9% and 89%) as compared to USV control technique. Total yeast and mold count of peppers were more inactivated with USV drying method as compared to control treatment. Rehydration

properties of red peppers dried by USV drying method were mostly similar or slightly decreased. However, the antioxidant capacities of red peppers dried by USV drying method were generally affected more than USV control method.

Keywords: Red pepper, vacuum drying, ultrasound treatment, USV, bioactive properties, drying kinetics.

Gıdaların kurutulması; içerdiği su seviyesinin, mikroorganizmaların gelişimini engelleyecek ve kimyasal bozulma reaksiyonlarını azaltacak seviyeye kadar düşürülmesidir [1]. Bu nedenle kurutma azalan su içeriği ile su aktivitesinin azalması prensibine dayandığından dolayı proses boyunca uzun depolama sürecinde muhtemel bozulmaları engelleyen önemli bir muhafaza yöntemidir [2]. Kurutma; sağladığı birçok avantajla en çok tercih edilen muhafaza yöntemlerinden birisidir. Enerji tasarrufu sağlaması, hacimsel küçülmeye bağlı olarak taşıma masrafların azalması, raf ömrünün daha çok uzaması ve su içeriğinin azalmasından dolayı daha yoğun besin içeriği bulunması kurutmayı diğer muhafaza yöntemlerinden ayıran özelliklerdir [1]. Tüketicilerin son yıllarda, doğal ve organik gıdaların tüketimine ilgisi gün geçtikçe artmaktadır. İnsanlar, doğal ve organik gıdalara taze olarak ulaşamadığı dönemlerin dışında kalan zamanlarda, minimum besinsel kaybı olan ve uzun raf ömrüne sahip gıdalara yönelmektedir. Bu nedenlerden dolayı, gıdalara uygulanan işlemlerin en aza indirilmesi veya en az kayba neden olacak işlemlerin tercih edilmesi gerekmektedir. Bu sayede yüksek kalitede gıdalar elde edilebilir [3]. Yüksek kaliteli, uzun raf ömürlü kuru meyve ve sebzelerin elde edilmesi için hem prosesin etkinliğini arttırmak hem de son ürün kalitesini arttırmak için kurutma proseslerinin optimizasyonu ve simülasyonu üzerine çalışmalar yapılmaktadır [4,5].

Kırmızıbiberler (*Capsicum annuum* L.), insanların beslenmesinde önemli bir üründür. Diğer birçok sebze gibi karoteneid, E vitamini ve C (askorbik asit) vitamini içerdiği için önemli bir antioksidan kaynağıdır. Aynı zamanda antioksidan etkisi olan birçok fenolik ve flavonoid bileşikler içerir. Antioksidanlar, serbest radikal oksitlenmesini azalttığı için oksitlenmenin neden olduğu kanser, kalp ve damar hastalıkları, sinir hastalıkları vb. birçok hastalığa karşı koruma sağlamaktadır. Kanserojenik maddelere karşı koruyucudur ve yaşlılığı geciktirir. Kırmızıbiberler taze, kurutulmuş veya işlem

görmüş olarak tüketilebilirler. Gıda endüstrisinde, aromasından, renginden ve lezzetinden dolayı ticari talebi yüksektir. Kurutulmuş olarak kullanılan kırmızıbiber, gıda endüstrisinde baharat kategorisinde yer almaktadır [6, 7, 8, 9, 10].

Kırmızıbiberlerin muhafazasında, uzun raf ömrü sağlaması, ürün çeşitliliği oluşturması ve kapladığı hacmi oldukça azaltmasından dolayı kurutma önemli bir yer taşımaktadır. Etkili bir kurutma sağlayabilmek amacıyla kullanılacak kurutucunun bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir. Makul bir zaman içerisinde gerekli kurutma miktarına ulaşılmalı, son ürün kabul edilebilir kalite özelliklerine sahip olmalı, minimum operasyon masrafı olmalıdır [8, 11, 12]. Genellikle, kırmızıbiberler güneş kolektörlü kurutucularda veya direk güneş ışınlarına maruz bırakılarak açık havada kurutulurlar. Fakat açık havada kurutmanın bazı dezavantajları vardır. Bunlardan birkaçı; kurutma operasyon koşullarının kontrolünün yeterli olmaması, uzun kurutma süreleri, olumsuz hava şartlarıyla karşılaşma ihtimali, küf gelişimine bağlı olarak mikotoksin oluşumu, büyük alan ihtiyacı, haşere istilasası, toz ve yabancı madde bulaşmasıdır [8].

Kurutma prosesi esnasında, gıdaların besinsel içeriğinde meydana gelen kayıplar en aza indirilip, kurutma süresi kısaltılarak daha etkili sonuçlar elde edebilmek adına ısı veya ısı olmayan yeni yöntemler araştırılmakta veya var olan yöntemlerin birlikte kullanılması veya ön işlem olarak kullanılması denlenmektedir. Birlikte kullanılan ısı olmayan yöntemlerden birisi de ultrason destekli vakum kurutmadır. Ultrason destekli vakum kurutma (USV) ile ultrasonik dalgalar ve vakum kurutma yöntemi bir arada kullanılarak hem kurutma hızını arttırarak kurutma süresinin kısaltılması hem de oksidasyonun önlenmesi amaçlanmaktadır. Yüksek kalitede ve makul fiyatlarda ürün elde edebilmek için kurutma mümkün olduğunca hızlı olmalıdır. Modern kurutma yöntemi olan USV kurutma yönteminin, daha kısa dehidrasyon süresine, kurutulmuş gıdalarda aranan duyu özelliklere, yüksek besin maddeleri yoğunluğuna sahip ürünler elde etmek ve gıdanın kalitesini ve dış görünüşünü iyileştirmek için kullanımı tercih edilmeye başlanmıştır [13, 14, 15, 16].

1.1 Literatür Özeti

İlk defa, kereste ultrases enerjisi destekli vakum kurutma ile He vd. [15] tarafından 60 °C de, 0,05 MPa ile 0,08 MPa basınçlarla 100 W ultrasonik güç ve 28 kHz ultrasonik frekans ile kurutulmuştur. Bu çalışma ile kurutulan numunelerin etkin su difüzyonu;

vakum ile kurutulan numunelerden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. USV kurutma yönteminin kuruma hızının, vakum kurutma yönteminkinden daha fazla olduğu ve düşük basınçta (0,05 MPa) daha hızlı kurutma meydana geldiği tespit edilmiştir. Ayrıca, serbest suyun uzaklaştırılmasında USV kurutma yönteminin daha faydalı olduğu belirlenmiştir. Bu yöntemin tahta kurutma endüstrisinde kullanılmasıyla enerji tasarrufu sağlanabilmesi ve kalite kayıplarının azalabilmesi ihtimalinin olduğu düşünülmektedir.

He vd. [16] tarafından USV kurutma yöntemi ile tahta kurutulması üzerine yapılan diğer bir çalışmada mutlak basınçta 25 °C’ de USV kurutma yönteminin kurutma özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Yapılan mikroskobik inceleme ile mikro kanalların oluşumu ve tahta yapısında meydana gelen diğer değişiklikler gözlenmiştir. Sonuçlara bakıldığında, ultrasesin kurutma süreci boyunca ağaç sıcaklığına katkı sağladığı ve son sıcaklığın mutlak basınç düşüşü ile arttığı gözlemlenmiştir. Sıcaklığın ultrasesin ilerleme mesafesinin artışı ile azaldığı tespit edilmiştir. Ultrasonik dalgaların ağaç numunelerinin dokularında mikro kanalların oluşmasını sağladığı gözlenmiştir. Yapılan mikroskobik incelemelerde, USV kurutma yöntemiyle kurutulan ağaçlarda bazı kırılmaların meydana geldiği, kanal duvarlarında küçük delikler oluştuğu ve oyukların yok olduğu ve tahtaların ray hücrelerindeki özütlerin uzaklaştığı tespit edilmiştir. Bu değişimlerin sonucu olarak, kurutma hızı arttığını ve kurutma süresinin düştüğünü belirtmişlerdir. Sonuçlara bakıldığında, USV kurutma yönteminin, kurutma prosesi boyunca örneğin sıcaklığını arttırdığı, tahta dokusunda mikro yapılar oluşturduğu ve böylece bu kurutma metodu ile prosesin genel olarak zamanı azalttığı ve kütle transfer hızını arttırdığı, tahtanın spesifik geçirgenlik katsayısını ve etkin difüzyonunu arttırdığı gözlenmiştir.

Başlar vd. [13] tarafından yapılan bir çalışmada sığır ve tavuk etinin kurutulma süresini kısaltmak amacıyla USV kurutma yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada etler üç farklı yöntem (USV, kabin fırını ve vakum fırını) ile 55, 65 ve 75 °C’de kurutulmuştur. USV kurutma yöntemiyle etlerin daha kısa sürede kuruduğu, enerji tüketimi daha düşük olduğu ve etkin nem difüzyonunun (D_{eff}) daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Kurutma işlemleri 10 farklı matematiksel modelle yüksek uyumda (R^2 : 0,9572- 0,9982) modellendiği ve en kötü uyumun Thompson modelinin sağladığı ve her kurutma için farklı modelin en iyi uyum gösterdiği belirlenmiştir.

Başlar vd. [14] tarafından somon ve alabalık filetolarının USV kurutma yöntemiyle kurutulması üzerine yapılan bir araştırmada, USV kurutma yönteminin balıkların

kurutma süresini vakum ve kabin fırınında kurutma tekniklerine göre kısalttığı belirlenmiştir. Kurutma işlemleri 55, 65 ve 75 °C’lerde yapılmış ve USV kurutma yöntemiyle kurutulan balıkların kurutulma süresi vakum kurutmaya göre %7,4 ile % 27,4 arasında kısaldığı tespit edilmiştir. En yüksek etkin su difüzyonu ve kurutma hızı, USV kurutma yöntemi ile elde edilmiş ve sıcaklık arttıkça bu değerlerin arttığı gözlemlenmiştir. Filetoların kurutma kinetiği 7 farklı kurutma modeli kullanılarak yüksek uyumlulukta (R^2 : 0,944-1,00) arasında belirlenmiş ve en uygun model olarak Page modeli tespit edilmiştir.

Kırmızıbiberlerin sıcak havalı kurutma koşullarında ve farklı ön işlemler (etil oleate’ın alkalın emülsiyonunun (AEEO) çeşitli solüsyonları) altında teorik ve deneysel incelenmesi üzerine yapılan çalışmada ön işlem görmüş olan biberlerin daha hızlı kuruduğu ve daha yüksek Hunter L (aydınlık), +a (kırmızılık) ve +b (sarılık) değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. % 2 etil oleate ve % 5 K₂CO₃ solüsyonlarının birlikte kullanımı ile en etkili daldırma solüsyonu elde edildiği ve bu sayede 50 °C’de bütün biberler kuruduğu ve en iyi renk değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Kurutma kinetiği eğrileri, Page ve exponential denklemleri kullanılarak elde edilen verilere göre çizildiğinde, en iyi R^2 değerleri Page denklemiyle elde edilmiştir [17].

Nasıroğlu ve Kocabıyık [8] tarafından kırmızıbiberlerin kızılötesi radyasyon kurutulması ile kurutma karakterlerinin (kurutma karakteri, süresi, spesifik enerji tüketimi, rehidrasyon ve renk) ve kalite parametrelerinin, 9 farklı kurutma koşulunun (3 kızılötesi gücü×3 hava hızı) etkisinde incelenmesi üzerine yapılan çalışmada en kısa kurutma süresi ve en yüksek kurutma oranı 1,0 m/s hava hızında ve 500 W kızılötesi gücünde elde edilmiştir. Spesifik enerji tüketimi değerleri, bütün kurutma koşullarında 4,62 ile 7,59 kW*h/kg arasında değişmektedir. En yüksek rehidrasyon oranı ise 500 W kızılötesi gücünde iken en iyi renk değeri 300 W’da elde edilmiştir.

Vega vd. [2] tarafından yapılan çalışmada kırmızı dolmalık biberlerin (var. Lamuyo) sıcak havalı kurutma ile farklı sıcaklıklarda (50, 60, 70 ve 80 °C’ de) ve 2,5 m/s hava hızında matematiksel modellemesi yapılmıştır ve kurutma kinetiği incelenmiştir. Bu deney esnasında sadece azalan hız dönemi gözlenirken sabit hız dönemi hiç olmamıştır. Etkili nem difüzyonu, bu sıcaklık değerlerinde $3,2 \times 10^{-9}$ ile $11,2 \times 10^{-9}$ m²/s arasındadır. Arrhenius denklemi ile yayılma gücüne (diffüsivite) sıcaklığın etkisi tanımlandı ve aktivasyon enerjisi 39,70 kJ/mol elde edilmiştir. Bu kurutma prosesinin tanımlanmasında kullanılacak en uygun model Page modified modeli olarak

belirlenmiştir. Denge nemine (%10) ulaşana kadar kurutma zamanı 250 ile 450 dakika arasında değişmektedir.

Kırmızıbiberlerin sıcak havalı kurutulmasının fiziko-kimyasal özelliklerine, rehidrasyona, antioksidan kapasitesine, toplam fenolik madde miktarına ve renk değerlerine etkisinin incelendiği bu çalışma 50 ile 90 °C arasında yapılmıştır. Rehidrasyon oranı sıcaklıkla azalırken en yüksek su tutma kapasitesine ($47,4 \pm 2,8$ g tutulan su/100 g su) 50 °C’de ulaşılmıştır. Sıcaklığın azalmasıyla hem C vitamini miktarı hem de toplam fenolik madde miktarı azalmıştır. En yüksek sıcaklıklarda (80-90 °C), radikal temizleyici aktivitesi, en yüksek antioksidan aktivitesi değerlerini göstermiştir. Kromatik parametrelerin (L^* , a^* , b^* , C^* ve H°) ve enzimatik olmayan esmerleşme bileşiklerinin kurutma sıcaklığından etkilendiği gözlemlenmiştir [4].

Arslan ve Özcan [5] tarafından güneş ışığının, etüv fırının (50 ve 70°C) ve mikrodalga fırının (210 ve 700W) kırmızı dolmalık biberlerin kurutulma davranışlarına (renk ve antioksidan) etkileri üzerine çalışılmıştır. “Midilli ve Küçük” modeli, bu çalışmada kullanılan bütün kurutma metotları için en yüksek R^2 (0,994–0,999) değerini gösterdiğinden dolayı en uygun model olarak seçilirken, etüvde 70°C’de kurutma için en uygun modeller “Page” ve “Modified Page” seçilmiştir. Kırmızıbiberlerin kurutma prosesi boyunca, etkili difüzyon hızı değeri (D_{eff}) 0,31 ile $87,39 \times 10^{-9}$ m²/s arasında hesaplanmıştır. Güneş ışığında ve mikrodalga fırında (700 W) kurutulan biberlerin en yüksek L^* , a^* ve b^* renk değerlerine sahip olduğu ve mikrodalga fırında (210 W) ve etüvde (70°C) kurutulan numunelerin diğer metotlar arasında en düşük TEAC ve DPPH radikal temizleyici aktivitesine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Konvansiyonel sıcak hava ile kurutma sıcaklığının, rehidre olmuş dokuların kalite ve mikroyapısal özelliklerine etkisinin çalışılması amacıyla kırmızıbiberler 4 farklı sıcaklıkta 50-80 °C arasında kurutulmuş ve 30 °C sıcaklıkta rehidre edilmiştir. Önişlemlerin kurutma prosesine etkisi üzerine çalışma yapılması için numuneler kurutulmadan önce 70 °C’de NaCl, CaCl₂ ve Na₂S₂O₅ solüsyonlarına daldırılmıştır. Rehidrasyon prosesi sonunda 7 kalite parametresi (rehidrasyon oranı, su tutma kapasitesi, renk, sıklık, C vitamini miktarı ve mikroyapı) üzerine analiz edilmiştir. Çalışmalar sonucunda elde edilen en kaliteli ürünün kurutmadan önce önişleme tabii tutulmuş ürün olduğu sonucuna varılmıştır. Rehidre olmuş kırmızıbiber numunelerinin mikroskopik incelenmesi, hücresel yapıdaki zararın önişleme minimize edildiğini ve rehidre olmuş biberler C vitamince daha zengin, renk ve sıklık özelliklerinin gelişmiş

olduğunu göstermektedir. Konvansiyonel sıcak hava ile kurutmayla rehidre olmuş kırmızıbiberlerin besinsel ve ticari kayıplarının azaldığı tespit edilmiştir. Biberlerin sıklığı ve renklerin stabilitesi, ürünlerin kurutulması için kullanılan havanın sıcaklığına son derece bağlı olduğu; daha yüksek hava sıcaklığında rehidre olmuş numunelerin daha yumuşak olduğu ve daha fazla renk kaybının meydana geldiği tespit edilmiştir. Biberlerin kalsiyum tuzları ve sodyum metabisülfite içeren solüsyonlarla ön işleme tabi tutulması, rehidre olmuş biberlerin kalite özelliklerini geliştirmiştir. Ön işleme tabi tutulan biberlerde daha fazla askorbik asit tutunumu sağlanmış, daha sıkı ve renk kalitesi en iyi ürünler elde edilmiştir. Elektron mikroskobu kullanılarak yapılan hücre yapısı çalışmalarında ön işlem görmüş numunelerin mikro yapılarının daha iyi korunduğu gözlemlenmiştir. Kalsiyum tuzları ve sodyum metabisülfite içeren solüsyonlarla ön işleme tabi tutulmuş biberler, ön işleme tabii tutulmamışlara göre daha yavaş kurumuşlardır. Bu durum solüsyona daldırılmış biberlerin hidroscopik niteliklerinin daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır [9].

Bu çalışmada, proses esnasındaki kalite kayıplarını göz önüne alarak kırmızıbiberlerin hava ile kurutulması için bir model simülasyonun geliştirilmesi ve Matlab programıyla nümerik çözümü amaçlanmaktadır. Bu amaç için, kurutma boyunca sorpsiyon (soğurma) davranışları, kurutma kinetikleri, askorbik asit ve karotenoid bozunumu ürün nem içeriği ve sıcaklık fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Bu model, dehidrasyon sürecinde katı büzülmesinden, sıcaklıktan ve su içeriğinden dolayı termo-fiziksel özelliklerin ve taşıma katsayıların değişimini içermektedir. Kurutma boyunca meydana gelen besinsel değer ve renk kaybı, askorbik asit ve karotenoidin yıkımının kaydırılmış birinci mertebe kinetiği ile temsil edilerek, reaksiyon oranı sabiti nem içeriğine ve ürün sıcaklığına bağlı olması ile değerlendirilmiştir. 20 ile 50 °C arasındaki sıcaklıklarda, sıcaklığın kırmızıbiberin su sorpsiyonunda (yüzeye soğurma) etkisi yok denecek kadar azdır ve izoterm (eş sıcaklık) eğrisi GAB ve CR modelleriyle tanımlanmıştır. Kırmızıbiberlerin kurutma kinetikleri “simple diffusive” problem olarak modellenebilir ve sıcaklığın etkin difüzyon katsayılarına etkisi bir Arrhenius tip denklemlerle belirlenir. Farklı kurutma sıcaklıklarında, model tahminleri ile deneyler arasında iyi bir anlaşma elde edildi. Sonuçlar gösteriyor ki, önerilen model kurutma prosesinde daha yüksek kalitede (besinsel ve duyuşal görüşte) kuru kırmızıbiber elde etmek için kullanılabilir [6].

Alves-Filho vd. [18] tarafından kırmızıbiber numunelerinin farklı sıcaklıklarda akışkan yatakta ısı pompası ile kurutulması üzerine yapılmıştır. Difüzyon denkleminin kısmen değiştirilmiş solüsyonu kullanılarak kırmızıbiberin kurutma kinetiği ve kurutma oranları tanımlanmıştır. Düşük ve orta sıcaklıkta kurutma prosesini iyi tanımlayan model belirlenmiştir. Belirlenen etkin kütle difüzivitesi (yayınımı) $0,7831 \times 10^{-9}$ ile $4,0201 \times 10^{-9}$ m²/s arasında değiştiği ve kurutma hava sıcaklığı ile sürekli olarak arttığı tespit edilmiştir. Etkin kütle yayınımını ile sıcaklık arasındaki ilişki bütün testler için yüksek determinasyon katsayısı (0,999 ve standart hata önemsiz) ile kurulmuştur. Elde edilen korelasyonlar (bağıntılar) kurutma süresinin nem içeriği ile iyi bir şekilde tanımlanmıştır. Kurutma oranları ile birikmiş su uzaklaşmasının elde edilen test verileri ile iyi bir ilişkide oldukları belirlenmiştir. Bu parametreler sayesinde kurutma prosesinin durdurulması için en iyi süreye ilişkin başlıca bilgiler sağlanmaktadır. Bu sayede endüstride işletme masrafı ve enerji tasarrufu için büyük bir etki sağlayabileceği düşünülmektedir.

Zura-Bravo vd. [19] tarafından kırmızıbiberin rehidrasyon kinetiğine, fonksiyonel özelliklerine, tekstürüne ve antioksidan aktivitesine sıcaklığın etkisini incelemek amacıyla yapılan çalışmada 60 °C’de kurutulan biberlerin üç farklı sıcaklıkta (20, 40 ve 60 °C) rehidre edilmesinin etkileri incelenmiştir. Bu amaçla, rehidrasyon kinetiğinin simülasyonu için çeşitli deneysel ve yayımsal modeller uygulanmıştır. İstatistik sonuçlarına (kareler toplamı hatası, kök ortalama kare hatası ve ki kare) bağlı olarak, “Weibull” ve “exponential” modelleri deneysel veriler için en uygun modeller seçilmiştir. 40 °C’de, sıcaklık prosesi ile biberdeki yapısal değişimlerden dolayı, su tutma kapasitesi en yüksek ve rehidrasyon oranı en düşük değerini göstermektedir. Kuru numunelerin camsı geçiş sıcaklığına bağlı olarak, rehidrasyon prosesi boyunca çalışılan üç sıcaklıkta da biberlerin yapısal bozunuma yatkın olduğu kanısına varılmıştır. Rehidrasyon sıcaklığının artması biberlerin sıklığının azalmasına neden olmaktadır. Radikal temizleyici aktivitesinin en yüksek antioksidan aktivitesini en yüksek sıcaklıkta (60 °C) gösterdiği tespit edilmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Kırmızıbiberlerin muhafazasında kurutma önemli bir yer taşımaktadır. Genellikle, kırmızıbiberler güneş kolektörlü kurutucularda veya direk güneş ışınlarına maruz bırakılarak kurutulur. Ancak, açık havada kurutmanın ve diğer geleneksel kurutma yöntemlerinin birçok dezavantajı vardır. Bu çalışma bazı dezavantajların önlenmesi

ve kalite özelliklerinin iyileştirilmesi için yeni bir modern kurutma metodu olan USV kurutma yönteminin kullanılmasıyla kurutma kinetiğinin, biyoaktif maddelerdeki (toplam fenolik madde, antioksidan kapasitesi) değişimlerin incelenmesinin, renk değişiminin, mikrobiyolojik etkisinin belirlenmesi, rehidrasyon oranının tespiti ve diğer yöntemlerle karşılaştırılması amacıyla yapılmıştır.

1.3 Hipotez

Ultrason uygulamasının ısı ve kütle transferini hızlandırıcı etkisi bilinmekte olup, ultrases işleminin vakum kurutma işleminin geliştirilmesinde kullanımı ile kurutma süresinin daha da kısılacağı beklenmektedir. Vakum kurutma ile kurutulan numunelerin oksijenden etkilenmeleri söz konusu olmayacağı için kurutma kusurlarının azalması beklenmektedir. Renk, kurutulmuş kırmızıbiber için önemli bir kalite parametresidir ve daha az renk değişimlerinin olması beklenmektedir. Ultrasonun mikrobiyal inaktivasyon üzerine etkisi bilindiği için kırmızıbiberlerin mikroorganizma yükünü azaltacağı düşünülmektedir.

2.1 Kurutma Yöntemleri**2.1.1 Vakum Kurutma**

Vakum kurutma, nemli gıdaların negatif basınç altında dehidrasyonu için kullanılan etkili bir kurutma yöntemidir. Vakum kurutma geleneksel atmosferik kurutma yöntemleri ile karşılaştırıldığında daha yüksek kurutma hızı, daha düşük kurutma sıcaklığı ve oksijensiz proses ortamı sağlamaktadır ve bu özellikler sayesinde kurutulan gıdaların kalitesinde ve besin değerinde daha az kayıp olmaktadır [20, 21, 22, 23, 24, 25]. Basınç düştükçe gıdanın içerdiği suyun kaynama noktasının da düşmesi yüzeydeki buharlaşma hızının artmasıyla sonuçlanır ve daha düşük sıcaklıklarda kurutma sağlanır. Düşük sıcaklıklarda kurutma ile sıcaklığın verdiği zarar da azaltılmış olur.

Vakum kurutmayı, geleneksel atmosferik kurutma yöntemlerinden ayıran önemli özelliklerin başında kurutulacak numunelerin hava ile temas etmemesinden dolayı oksidasyonun önlenmesi gelmektedir [26, 27, 28]. Vakum altında gerçekleşen kurutma prosesi, basıncın düşürülmesiyle kaynama noktasının düşürülmesinden dolayı daha düşük sıcaklıklarda etkili bir kurutma gerçekleştirilebildiği için ve ortamda oksijen bulunmasını engellediği için çözünebilir kahve gibi ısıya veya oksijene hassas olan gıdaların üretimi vakum altında kurutulma ile mümkündür [29]. Aynı zamanda, vakum altında kurutulmuş gıdalarda renk, tekstür ve aroma iyi bir şekilde korunabilmektedir [30]. Vakum altında oksijen yok denecek kadar az olduğu için yangın ve patlama tehlikesi gibi mesleki kaza riski vakum kurutma kullanımı ile azaltılır [31].

Vakum kurutma yöntemi ile dehidrasyon süresi ve kurutma için gereken sıcaklık daha azdır çünkü materyalin etkin hidrolik iletkenliği düşük basınç değerlerinde arttığından

dâhili kütle transferi de artmaktadır ve yüzeyde kütle transferine karşı olan direnç azalmaktadır. Bu sayede kurutma boyunca enerji verimliliği sağlanabilir ve daha az ısı kaybına neden olabilir [29]. Arevalo-Pinedo ve Murr [20] ve Arevalo-Pinedo ve Murr [21] havuç ve balkabağı ile yaptıkları çalışmada, Cui vd. [23] havuç ile ilgili çalışmasında ve Giri ve Prasad [24] mantar ile ilgili çalışmasında kurutma basıncının düşmesiyle kurutma süresinin de azaldığı sonucuna varmışlardır. Kısa kurutma süresi ve/ veya düşük kurutma sıcaklığı sayesinde, gıdanın organoleptik ve besinsel özellikleri etkili bir şekilde korunur [28].

Vakum kurutma, indirekt kurutmanın kullanımı ile kolaylıkla uyum sağlayabilmektedir. Kesikli indirekt kurutucular, genellikle vakum altında kullanılmaya daha uygundur ve vakum kurutucular indirekt kurutucular kullanılarak kolaylıkla kurulur bu sayede toz gıdaların ve ingrediyeentlerin satılması artan hacim ve çeşit artışı ile artırılır [29, 31].

Vakum kurutma, operasyon ve kurulum masraflarından dolayı daha çok ısıya ve oksijene hassas gıdaların kurutulmasında kullanımı için önerilir [35, 36]. Vakum kurutma kullanarak ısıya hassas gıdaların kurutulması için yapılan çalışmalarda yaban mersini [37], küp havuç [38] ve muz parçaları [39] vb. kullanılmıştır ve çalışmalar devam etmektedir.

Vakum kurutmanın bir diğer dezavantajı ise, ısı transferinin vakum altında kolay olmamasıdır [35]. Bu da vakum kurutmanın en önemli eksikliğidir. Düşük basınç altında ürüne ısı transferi genellikle kondüksiyonla olmakta, bazen de radyasyonla olmaktadır. Konveksiyona çok ender rastlanır çünkü vakum altında yok denebilecek kadar az sıvı bulunmaktadır. Bu yüzden ısı transferi katsayıları yüksek vakum altında göz ardı edilebilir. Vakum fırının rafına kurutulacak olan gıda materyali yerleştirilir ve gerekli enerji temas ettiği raftan kondüksiyon ile sağlanırken bir üst rafından da radyasyon ile kısmen ısınmaktadır. Ürün ile temas ettiği raf arasındaki temasın iyi olup olmaması ısı transferindeki en önemli kısıtlayıcı etkindir [40].

Geleneksel kurutma işleminin kusurları, vakum kurutma ile azaltılabilmesine karşın, vakum kurutma numunelerin merkezindeki nemin yüzeye ulaştırılmasına imkân sağlamaz bu yüzden dehidrasyon numunenin yüzeyinde dik nem eğimiyle sonuçlanır [41, 42]. Bu nedenlerden dolayı, vakum kurutma, diğer metotlarla önışlem ya da kombinasyon olarak kullanılarak dehidrasyon verimliliği arttırılır. Vakum kurutma,

mikrodalga, dondurarak kurutma, ohmik ısıtma, kızgın buhar ısıtma, sıcak hava ile kurutma veya ultrason dalgalarıyla kombine olarak kullanılabilir.

2.1.2 Ultrason Destekli Kurutma

Ultrason, kurutma işlemlerinde ön işlem olarak veya bir kurutma yöntemiyle eş zamanlı olarak kullanılan, kurutma hızını materyalin sıcaklığında önemli bir değişime neden olmadan arttırabilen ısıl olmayan alternatif bir uygulamadır [43]. Ultrason veya ultrases, insan kulağının duyabileceği sestten daha yüksek ses şiddetine sahip olan, sonik dalgalar aracılığı ile üretilen enerji çeşidi olarak tanımlanabilir [44].

Sesin mekanik yapısından dolayı, ultrasonik dalgalar girdiği ortamdaki partiküller üzerinde bir seri sıkışma ve gevşeme hareketleri meydana getirir ve bu hareketlerle dışarıdan sıvı girişi ve içeriden sıvı çıkışı sağlanmaktadır. Bu olaya 'sünger etkisi' denilmektedir. Uygulanan ses dalgasının büyüklüğüne ve kullanılan frekansa bağlı olarak çok çeşitli uygulamalara olanak sağlayan bu hareketler sonucunda fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal etkiler gerçekleşebilmektedir [45]. Bu mekanizma, 'düzeltilmiş difüzyon' olarak adlandırılmaktadır ve akustik kurutma için çok önemlidir. Bu mekanizmada yer alan kuvvetler, sıvının hareketi için gerekli mikrokanalları oluşturan materyalin kılcal borularının içerisindeki nemi sağlayan yüzey geriliminden fazla olabilir.

Ultrases enerjisi sürekli dalga-tipi bir hareket oluşturarak ortama girer ve girdiği ortamda seri olarak oluşturduğu etkilerle kütle transferine hem iç hem de dış direnç oluşturur. Ultrases, yüksek ve düşük şiddetli olmak üzere ikiye ayrılır. Yüksek şiddetli ultrases sıvıda çalkalanmalar meydana getirir ve iç direnci azaltır. Bu çalkalanmalar ultrasonik dalgaların meydana getirdiği ses dalgalarıyla ilişkilendirilir. Yüksek şiddetli ultrases, sıvıda karıştırma etkisi oluşturarak sıvı içerisindeki yığın kütle transferini artırır ve kütle transferine karşı olan harici direnci azaltır. Yüksek şiddetli ultases tarafından meydana gelen karıştırma etkisi, ultrasonik dalgaların oluşturduğu ses dalgalarının sonucunda oluşmaktadır [46]. Yüksek şiddetli akustik dalgalar katı matriksin içerisinde bulunan su moleküllerinde kavitasyon oluşumunu sağlamaktadır. Düşük basınçlı dalgaların oluşumu esnasında, vakum baloncukları meydana gelmektedir. Bu baloncuklar en fazla enerji absorbasyonu yapacakları boyuta ulaşana kadar büyürler ve absorbe edemeyecekleri hacme ulaştıkları anda içe doğru patlarlar. Bu olaya kavitasyon denilmektedir. Oluşan bu kavitasyon sıkı sıkıya bağlı olan suyun

uzaklaştırılması için etkilidir. Kaviteasyon sonucunda 1000 atm'nin üzerinde basınç ve yaklaşık 5000 K sıcaklık açığa çıkar. Bu enerji kimyasal reaksiyonlara neden olur [47, 48, 49]. Ultrasoniğin temel prensibi, açığa çıkan bu yüksek ısı ve enerjinin kullanılabilirliği üzerinedir [44]. Sistemin özelliklerine bağılı olarak bazen baloncuklar patlamaz ve ultrases uygulandığı andaki aynı frekansla titreşim devam eder. Bu titreşim aynı zamanda sıvıda karıştırmayı da sağlar [45].

Akustik kaviteasyon, kararlı ve geçici kaviteasyon olmak üzere iki çeşittir. Kararlı kaviteasyon, $1-3 \text{ W.cm}^{-2}$ arasında düşük ultrases şiddetinden oluşan ve genellikle gaz ve buhar içeren kimyasal reaksiyonlarda önemli bir etkisi bulunmayan kaviteasyondur. Kabarcıkların doğrusal olmayan salınımları ortamın akustik etkisi ve çevresel faktörlere bağılı olarak büyümeye başlarsa kabarcık geçici kaviteasyona dönüşebilir ve şiddetli bir şekilde patlayabilir. Fakat bu patlamaların şiddeti normal olarak gerçekleşen geçici kaviteasyondan daha düşüktür. Kararlı kaviteasyon, geçici kaviteasyon ile karşılaştırıldığında daha az yapısal değişime neden olur çünkü kararlı kaviteasyon esnasında patlama meydana gelmez. Bu yüzden, vakum altında düşük şiddetli ultrases şiddeti tercih edilir.

Sünger etkisi ve kaviteasyon, iç direnç (sınır katmandaki difüzyonun azaltılması ve konvektif kütle transferinin artırılması) için etkilidir. Ayrıca, porlu katı materyallerde, ultrasonik dalgaların neden olduğu mikrodeformasyon sayesinde mikrokanallar oluşur, uygulanan sıcaklık ve proses zamanı azaltılır çünkü ultrasonik titreşimler gıdada kütle ve ısı transferini artırır ve difüzyonu iyileştirir. Fakat, ultrason destekli kurutma işlemlerinin baskın olan mekanizmasının kesin olarak kanıtı yoktur [45, 52, 53].

Kaviteasyonun, kurutmayı hızlandırmasının yanı sıra mikroorganizmalar ve enzimler üzerine iki farklı etki mekanizması vardır. Ultrasonun hücrelerde meydana getirdiği yıkım etkisi konusunda farklı teoriler mevcuttur. Ultrasonik dalga bir sıvıdan geçtiğinde çok küçük kabarcıklar veya boşluklar meydana getirmektedir, bu kabarcıkların sönmümlendikleri anda ise o noktalarda lokal olarak yüksek sıcaklık (yaklaşık 5000 K) ve basınç (yaklaşık 500 MPa) oluşturmalarından dolayı meydana gelen ani değişimler hücre duvarının yapısının bozulmasına ve hücresel lizis noktasına kadar olan fonksiyonel bileşenlerin zarar görmesine neden olmaktadır [47, 54, 55]. Mikrobiyal inaktivasyonun açıklanmasındaki diğere bir mekanizma ise serbest radikal oluşumdur. Ultrason uygulandığında, önemli bakterisidal etkileri bulunan OH^- radikalleri ve hidrojen peroksit meydana gelmektedir. Mikroorganizmaların hücre duvarlarının parçalanması

ile ultrason mikroorganizmaları öldürebilmektedir ve bu da ilk mekanizma ile açıklanmaktadır. Ancak, her iki mekanizmanın da etkili olduğu düşünülmektedir [47, 50, 56, 57]. Mikroorganizmaların ultrason ile inaktive olmalarını etkileyen, hücrenin büyüklüğü, hücre duvarının kalınlığı, ultrasonik dalgaların büyüklüğü, ultrasonun uygulanma süresi ve sıcaklığı, uygulanan gıdanın hacmi ve bileşimi vb. faktörler bulunmaktadır [56, 57]. Ultrasesin *E.coli*, *S. aureus*, *B. subtilis*, *P. aeruginosa* bakterilerine, *T. Mentogrophytes* küflerine ve *F. Herpesvirus* tipl virüslerine uygulanması çok etkili olmuştur [58]. Ultrasonun etkisini arttırmak için başka işlemlerle kombine olarak da kullanılmaktadır. Örneğin, *E. coli* inaktivasyonu için ultrason ile yüksek basınç işlemi kullanılmış ve etkinin arttığı sonucuna varılmıştır [59].

Ultrasonun enzimlere olan etkisinin ise, kullanılan enzime ve işlem parametrelerine göre değiştiği bilinmektedir. Ayrıca ultrason ile enzimlerin etkisizleştirilmesi farklı mekanizmalarla açıklanmaktadır. Bu mekanizma genelde ultrasonun makromolekülleri depolimerize etmesi şeklindedir. Ultrasonun enzimleri üç mekanizma ile etkisizleştirdiği ileri sürülmektedir; enzimin kaviteasyondan kaynaklanan yüksek sıcaklık ile inaktive olması, sonik dalgaların şoku ile açığa çıkan mekanik güç, suyun sonolize olması ile serbest radikallerin açığa çıkmasıdır [56, 57, 60].

Ultrason destekli kurutma, hem ısıl olmayan bir metot olması hem de kurutma hızını arttırmasından dolayı önemli bir yöntemdir. Kurutma işlemlerinin tek başına yeterli olmadığı durumlarda ultrason ile kombine olarak kullanılması mümkündür. Sıcak hava ile [61], ozmotik dehidrasyon ile [45, 62, 63], akışkan yatak kurutucu ile [64] ultrason kombine sistem olarak kullanılmıştır.

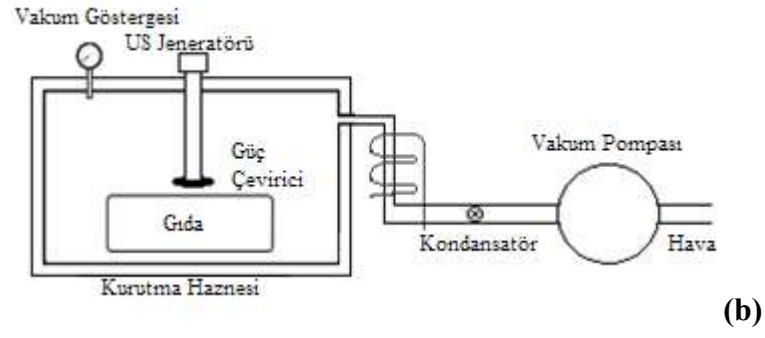
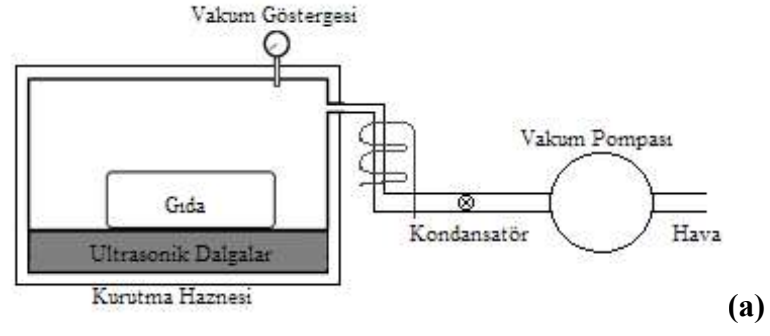
2.1.3 Ultrason Destekli Vakum Kurutma

Ultrason uygulamasının, gıdaların merkezindeki kütle transferini hızlandırarak ve gıda matrisinde mikro kanallar oluşturarak, vakum kurutmanın sadece yüzeydeki suyu hızlı bir şekilde uzaklaştırma özelliğinin neden olduğu eksiklerin giderilmesi ve bu özelliğin iyileştirilmesi potansiyeli bulunmaktadır. Ultrason etkili bir ısıl olmayan uygulama olarak, sünger yapısına benzeyen mikro kanallar oluşturarak sürekli sıkışma ve gevşeme hareketlerine neden olduğu ve kaviteasyon oluşumu sağladığı için hem serbest hem de vakum kurutmanın tamamen uzaklaştıramadığı sıkı sıkıya bağlı suyun kolay bir şekilde uzaklaştırılmasını sağlar. Materyalin sıcaklığının ciddi olarak artışına gerek duyulmadan kurutma hızı arttırılır [43, 63, 65]. Bunlara ek olarak, ultrasonik dalgalar, difüzyonu

iyileştiren ve konveksiyonel kütle transferini arttıran mikro-kanalların oluşumu aracılığıyla gözenekli katı materyallerin mikro deformasyonuna neden olurlar [52, 65, 66]. Bu önemli özellikler, ultrasonun vakum kurutmaya katkı sağladığını ve bu yöntemlerin birlikte ya da ultrasonun ön işlem olarak kullanımının tercih edilmesi daha fazla nem uzaklaştırmak, kütle transferini arttırmak, etkin difüzyon katsayısını arttırmak ve toplam proses zamanını azaltmak amacıyla [42, 63, 65, 67, 68, 69, 70, 71].

Ultrason destekli vakum kurutma, hem vakum dehidrasyonu hem de ultrason uygulamasının avantajlarına sahiptir. Vakum kurutma prosesi düşük basınç (<101.330 kPa) ve sıcaklık altında gerçekleşir. Eğer vakum kurutma esnasında evaporasyon gerçekleşiyorsa (genellikle gerçekleşir), sıcaklık 0.01 °C' den fazla ve basınç 0.612 - 101.330 kPa arasında olmalıdır. Gıdada bulunan su yüzeyden buharlaşmaya başlar ve gıdanın kuru yüzeyinden doğru çıkar. Buharlaşma esnasında, gıdanın sıcaklığını suyun kaynama noktasının üzerinde tutabilmek için sisteme verilen ısı yeterli bir şekilde sağlanmalıdır çünkü ısı transferi, vakum altındaki kurutmada kısıtlayıcı faktördür. Vakum kurutma için gerekli sıcaklık ve basınç koşulları sağlandığında, su kaynamaya başlar ve bu noktada, kurutmanın hızı arttığından kurutma süresi kısalmır. Kaynama esnasında, gıdanın içerisindeki sıvıda baloncuklar oluşmaya başlar [35, 36]. Ultrason destekli vakum kurutma esnasında, akustik kavitasyon sayesinde mikrokanallar oluşur böylece kütle transferi artar. Ultrases kavitasyon oluşmasını da sağlar ve böylece sıkı sıkıya bağlı olan nem bile kolaylıkla uzaklaştırılır [72].

USV kurutma yönteminin şematik gösterimi Şekil 2.1 de gösterilmiştir. USV kurutma yöntemi kullanılan çalışmalarda ultrasonik dalgalar farklı şekillerde uygulanmıştır: Başlar vd. [13, 14] tarafından gıdalara direk temas ile uygulanırken, He vd. [15, 16] tarafından materyallere doğrudan olmayan şekilde veya ön işlem olarak uygulanmıştır.



Şekil 2.1 Ultrason destekli vakum kurutma sisteminin şematik gösterimi:
doğrudan (a) ve doğrudan olmayan (b)

2.2 Hammadde

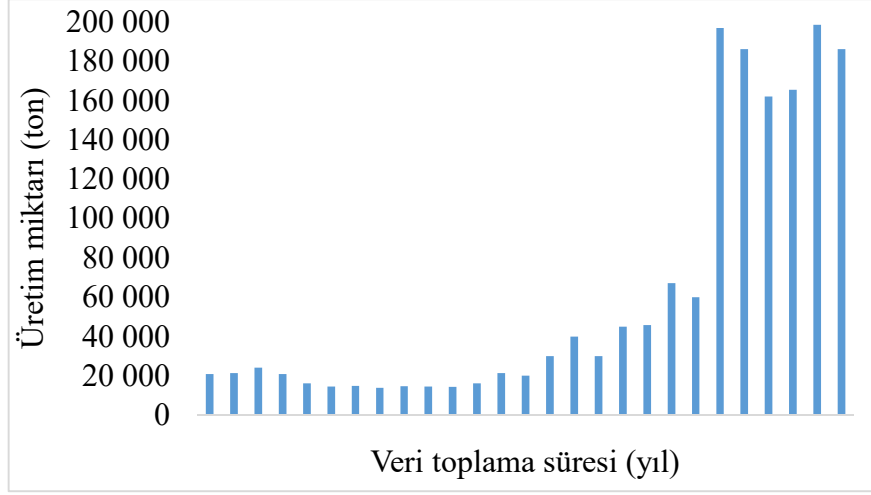
2.2.2 Kırmızıbiber

Kırmızıbiberler (*Capsicum annumm L. var. Lambuyo*), aroması, rengi ve lezzeti ile küresel gıda endüstrisi tarafından yüksek taleple karşılanan, gerek baharat olarak gerekse sofrta tüketiminde geniş kullanım yeri bulan bir sebzedir [73, 74]. Anavatanı Orta ve Güney Amerika olan biber, Amerika'nın keşfedilmesinin ardından tanınmış ve 17. yy'ın başlarında Avrupa'ya geçmiştir [75].

Kırmızıbiber rengini, karotenoidlerden, özellikle kapsantin ve kapsorubin pigmentlerinden almaktadır [74]. Zechmeister ve von Chohnoky [76]'in, kırmızıbiberlerde bulunan karotenoidlerle ilgili birçok çalışmaları bulunmaktadır. Kapsantin ve kapsorubin pigmentlerine ek olarak, β -karoten, kriptoksantin ve zeaksantin içerdiklerini bulmuşlardır [76].

Capsicum annumm L. cinsi kırmızıbiberin yapısında; özellikle A, C ve E vitaminleri, acılık veren etken madde kapsaisin, yağ (tohumlarında % 26.3 sabit yağ), kırmızı karotenoidler, mineraller (kalsiyum, potasyum ve fosfor) ve aromatik bileşikler bulunmaktadır [17, 77]. Kırmızıbiberler (190 mg/yarım kap doğranmış biber) C vitamini kaynağı olarak ünlenmiş portakaldan (69,7 mg/ yarım kap doğranmış portakal) yaklaşık 3 kat daha fazla C vitamini içermektedir [78].

Çeşitli kullanım alanı bulunan kırmızıbiber üretimi son yıllarda hızla artmaktadır. Şekil 2.2 de gösterildiği üzere, üretim miktarı 25 sene öncesine oranla 10 kat daha fazladır [79]. 2013 yılının Türkiye Tarım Sektörü Raporu'na göre, Türkiye, birim alana ve nüfus başına sebze üretimi bakımından dünyada ilk beş ülke arasındadır ve biber üretiminde üçüncü sırada yer almaktadır [80]. Kırmızıbiber, Türkiye'de üretilen başlıca tarım ürünüdür. En çok Kahramanmaraş'ta üretilen kırmızıbiber Türkiye'nin nerdeyse bütün illerinde yetiştirilebilmektedir [81].



Şekil 2.2 Türkiye’ de üretilen kırmızıbiberlerin üretim miktarının (ton) gösterimi [79].

Şekil 2.3’ de Yalova ilinde üretilen kırmızıbiberleri görmek mümkündür. Renklerine ve kullanım şekline göre çeşitlenen biberlerin kırmızı renkli olanı baharat olarak da kullanılmaktadır. Tıbbi ve aromatik bitkilerin, dış satımında önde gelen ülkelerinden biridir. Kırmızıbiber üretiminin artması ile baharat bitkilerinin ihracatının artmasına büyük bir katkı sağlamıştır. 2006 yılında 46.000 ton kırmızıbiber üretimi varken, 2011 yılında üretim miktarı 162.000 tona çıkmıştır [80].



Şekil 2.3 Yalova ilinde yetiştirilen kırmızıbiberler

MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

Bütün salçalık kırmızıbiberler (*Capsicum annum L.*) İstanbul Sebze Halinden alındı ve işlemler hızlı bir şekilde uygulandı. İşlemler uygulanıncaya kadar numune 4°C’ de depolandı ve belirli zaman aralıklarında aynı yerden yenileri tekrar alınarak benzer özelliklere sahip taze biberlerle çalışmalar tekerrürlü olarak yürütüldü. Kurutma işlemine başlamadan önce biberlerin sap kısımları kesilip çekirdekleri ve iç zarları temizlendikten sonra 1,5 cm² lik kare parçalar kesildi (Şekil 3.1). Her kurutma işlemi için 50’şer gramlık numuneler tartıldı. Taze kırmızıbiberlerin içerdiği nem, AOAC [82] da belirtilen metoda göre % 91,623 nem (yaş ağırlık) olarak belirlendi. Kimyasal madde olarak, metanol, folin-ciocelteau fenol, indikatör boya (2,6-dikloroindofenol), Na₂CO₃, AlCl₃, NaOH ve NaNO₂ Merck ürünleri kullanılmıştır.



Şekil 3.1 Taze kırmızıbiberlerin kurutmaya hazırlanmış halleri

3.2 Yöntem

3.2.1 Kırmızıbiberlerin Kurutulma Metotları

Kırmızıbiberler, 45, 55, 65 ve 75 °C’de, USV kurutma yöntemi ile kurutulmuştur. USV kurutma yönteminin gerçek etkisinin tespit edilebilmesi için, aynı özellikteki sistemde ultrason uygulamasının yapılmadığı kontrol işlemleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca biberler vakum kurutma ve kabin kurutma metotlarıyla da kurutulmuştur.

Kırmızıbiberler, vakum fırın (DaihanWOV-30, Gangwondo, South Korea) ve 1,3 m/s sabit hıza sahip kabin fırını (Memmert UF110, Munich, Germany) ile kurutulmuştur. Vakum kurutucu için kullanılan vakum pompası (EVP 2XZ-2C, Zhejiang, China) 60 mbar nihai basınca ve 2 L/s pompa hızına sahiptir (Şekil 3.2). Yaklaşık 50 gram tartılan numuneler cam kaplara konularak kurutulmuştur.



Şekil 3.2 Vakum kurutma sistemi (sol) ve kabin kurutma sistemi (sağ)

İlk defa gıdaların kurutulmasında, Başlar vd. [14] tarafından etlerin kurutulması için kullanılan ve Şekil 3.3’de gösterilen ultrason destekli vakum kurutma; ultrasonik su banyosu (Daihan, WUC-D10H, South Korea) (genlik: 100%, güç: 590W, hacim: 10 L) ve vakum pompasının (KNF N838.3KT.45.18, Germany) (basınç: 15 mbar hız: 22L/min) bir arada kullanılması esasına dayanmaktadır. Nuçe erlenine yaklaşık olarak 50 gram numune konuldu ve tıpa ile ağzı kapatıldı. 40 kHz frekansa sahip ultrasonik banyoya yerleştirilen erlen bir hortum yardımıyla vakum pompasına bağlandı ve kurutma işlemi negatif basınç altında ultrasonik dalgalarla gerçekleştirildi. Ultrasonun etkisinin gözlenebilmesi için karşılaştırma amacıyla kontrol işlemleri su banyosu (Daihan, WSB-30, Gangwondo, South Korea) ve vakum pompası (KNF N838.3KT.45.18, Germany) (basınç: 15 mbar hız: 22L/min) kullanılarak gerçekleştirildi.

(Şekil 3.4). Ultrasonik su banyosunun sıcaklığı, sonikasyonun neden olduğu dalgalanmadan etkilenebileceği için ısıölçer (k-type, Omega Engineering Inc., USA) kullanılarak manuel olarak ölçüldü [14].



Şekil 3.3 Ultrason destekli vakum kurutma sistemi



Şekil 3.4 Ultrason destekli vakum kurutmanın kontrol sistemi

Bütün kurutma metotları için tartılan numuneler, su içeriği yaklaşık olarak %5'e ulaşana kadar kurutma işlemi devam ettirildi ve her 30 dakikada bir tartım yapıldı. Numunelerin sistemden ayrılıp tartım sonrası tekrar sisteme yerleştirilmeleri arasındaki zaman kaybı 15sn olarak tespit edildi. Bu zaman kaybının minimize edilmesi, kurutma eğrilerinin tekrar elde edilebilmesi için çok önemlidir [83].

3.3 Matematiksel Modelleme ve İstatistiksel Değerlendirme

Farklı gıdaların kurutulmasında kullanılan ince tabaka kurutma modellerinin en çok araştırılanı Fick'in 2. Yasası ile çözümlenmektedir (Okos vd. 1992). Nem oranı, Eşitlik 3.1 ile hesaplanabilmektedir [17] :

$$Y = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} \quad (3.1)$$

Y= nem oranı (kuru baz)

X_t = t anındaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde)

X_e = dengedeki nem içeriği (kg su/kg kuru madde)

X_0 = ilk andaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde)

Çizelge 3.1'de yer alan ince tabaka kurutma kinetik modellerinden yedisi (bu modeller için kullanılan sabit terimler: a, b, c, n, k, k_0 , ve k_1) kırmızıbiberlerin kurutma kinetiklerinin tanımlanması için kullanıldı ve SPSS 15.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) yazılımı kullanılarak lineer olmayan regresyon ile hesaplanmıştır. Belirtme (regresyon) katsayısı (R^2) SPSS programı ile elde edilerek, indirgenmiş khi kare (χ^2), ve karekök ortalama hata (RMSE) Eşitlik 3.2-3.3 kullanılıp hesaplanarak, en yüksek R^2 ve en düşük χ^2 değerleri seçilebilecek en uygun model belirlenir [84]:

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_{exp,i} - Y_{pre,i})^2}{N - z} \quad (3.2)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_{pre,i} - Y_{exp,i})^2 \right]^{0.5} \quad (3.3)$$

$Y_{exp,i}$ = deneysel nem oranı

$Y_{pre,i}$ = tahmini nem oranı

i= gözlem numarası

N= gözlem sayısı

z= sabitlerin sayısı [77].

Çizelge 3.1 Kırmızıbiberlerin kurutulmasındaki verilerin değerlendirilmesi için kullanılan ince tabaka kurutma kinetik modelleri

Kinetik Modelleri	Model Denklemi	Model Referansı
Lewis	$Y = \exp(-k.t)$	Lewis [80] , Bruce [81]
Page	$Y = \exp(-k.t^n)$	Page [82], Madamba [83] vd. , Diamante ve Munro [84]
Page Modified	$Y = a \times \exp(-k.t) + (1-a) \times \exp(-k.b.t)$	Yaldız ve Ertekin [85], Midilli [86]
Henderson and Pabis	$Y = a \times \exp(-k.t)$	Henderson ve Pabis [87]
Logarithmic	$Y = a \times \exp(-k.t) + c$	Wang vd. [88]
Two-term	$Y = a \times \exp(-k_1.t) + b \times \exp(-k_2.t)$	Henderson [89]
Wang and Singh	$Y = 1 + a \times t + b \times t^2$	Wang ve Singh [90]

* Y= Nem oranı; a, b, c, n, k, k₀ ve k₁: modeller için kullanılan sabit terimler

Difüzyonla kütle transferi Fick yasası kullanarak tanımlanır. Genel olarak, Fick'in 2. Yasası kullanılarak tarım ürünlerinin kurutma prosesi esnasında difüzyonla nem transferi Eşitlik 3.4 ile tanımlanır [85]:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D * \left[\frac{\partial^2 X}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 X}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 X}{\partial z^2} \right] \quad (3.4)$$

X= herhangi bir t anındaki bütün lokasyonlardaki (x, y, z) nem

D= difüzyon katsayısı (m²/s). Ancak, difüzyon denklemi kurutulan gıdalar için modifiye edilebilir, eğer azalan hız periyodu sabit hız periyodundan daha uzunsa Eşitlik 3.5 kullanılır [36]:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \nabla_z(D_{eff} \nabla_z X) \quad (3.5)$$

D_{eff} = etkin nem diffüzyon katsayısı (m²/s) (uzaysal koordinatlarda z eksenindeki)

Biberler için kurutma oranı eşitlik 3.6 ile hesaplanır [85]:

$$DR = \frac{L_s \Delta X}{A \Delta t} \quad (3.6)$$

DR= kurutma oranı (kg su/m².sa)

L_s= örneğin kuru katı ağırlığı (kg)

A= kurutma işlemine maruz kalan yüzey alanı (m²)

X= örneğin nem içeriği (kg su / kg kuru madde)

t = kurutma süresi (sa).

Biber gibi ince tabaka kurutma modeline uyan gıdalar için nem oranı denklemi Eşitlik 3.7'deki gibidir [36]:

$$Y = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\pi^2 \times \frac{D_{eff} * t}{4 * L^2}\right) \quad (3.7)$$

Etkin difüzyon katsayıları, nem içeriği ve hesaplamak için kullanılan parametreler ile sıcaklık arasındaki ilişkiye göre Eşitlik 3.8'deki Arrhenius denklemi kullanılarak hesaplanmıştır [36]:

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (3.8)$$

D₀ = ön ekponensiyel sabiti (m²/s),

E_a= aktivasyon enerjisi (kJ/mol),

R = ideal gaz sabiti (kJ/mol K),

T = kurutma sıcaklığı (Kelvin).

3.3.1 İstatistiksel Değerlendirilmesi

Elde edilen veriler, SPSS programı kullanılarak faktöriyel deneme planına göre varyans analizleri yapılmıştır. Daha sonra Duncan testi yapılarak %95 güven aralığında değerlendirilmiştir.

3.4 Uygulanan Analizler

Taze kırmızıbiberlerde toplam nem tayini, renk ölçümü, toplam maya ve küf tespiti, toplam fenolik madde ve antioksidan kapasitesi analizleri yapılmıştır. Kırmızıbiberler

kuruduktan sonra rehidrasyon oranının, renk ölçümü, toplam maya ve küf tespiti, toplam fenolik madde ve antioksidan kapasitesi analizleri yapılmıştır.

3.4.1 Toplam Nem Tayini

Önce tartım kapları 105°C’de kurutulup sabit ağırlığa getirilmiş ve desikatörde soğutulmuştur. Daha sonra taze kırmızıbiberlerden 10’ar gram tartılarak bu tartım kaplara konulmuş ve vakum fırınında 70°C’de 24 saat boyunca kurutulmuştur ve böylece içerdiği toplam nem miktarı yüzde olarak belirlenmiştir [82, 98].

3.4.2 Rehidrasyon Oranının Saptanması

Rehidrasyon, materyalin kurutmadan ya da kurutma öncesinde uygulanan işlemlerden gördüğü zararın göstergesi olarak düşünülmektedir [99]. Rehidrasyon oranı, “kurutulmuş materyalin rehidrasyonu sonundaki ağırlığının, başlangıç ağırlığına yüzde oranıdır” olarak ifade edilmektedir [100]. Eşitlik 3.15 kullanılarak kırmızıbiberlerin rehidrasyon oranları hesaplanmıştır.

$$RO(\%) = \left[\frac{\text{Kurutulmuş materyalin rehidrasyon sonundaki ağırlığı}}{\text{kuru materyalin başlangıç ağırlığı}} \right] \times 100 \quad (3.15)$$

Rehidrasyon oranının saptanması, belirli ağırlıktaki kuru materyal üzerine, kurutulmadan önceki ağırlığının 4 katı kadar oda sıcaklığındaki saf su ilave edilip belirli bir süre (5 saat) bekletilmesi ile yapılmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Rehidrasyon sonrası biberlerin görünümü

3.4.3 Renk Ölçümü

Taze ve kuru kırmızıbiberlerin renk parametreleri (L^* , a^* , b^*), renk ölçüm cihazı (CR-400 Konica, Minolta, Tokyo, Japan) kullanılarak elde edilmiştir. Ölçüm işlemi yapılmadan önce cihaz, beyaz plakaya karşı kalibre edilmiştir. L^* değeri beyaz ($L^*=100$) ile siyah ($L^*=0$) arasındaki renkleri tanımlamak için kullanılırken, a^* değeri yeşil ($-a^*$) ve kırmızı ($+a^*$) ve b^* değeri mavi ($-b^*$) ve sarı ($+b^*$) arasındaki renkleri tanımlamak için kullanılmaktadır. Kroma değeri, rengin doygunluğunu göstermektedir. Donuk renklerde (gri, siyah, beyaz) kroma değerleri düşmekte ve canlı renklerde kroma değeri yükselmektedir. Renk değerlendirmesinde α metrik renk tonunu (hue) belirtmektedir. Hue derecesi 0° (kırmızı)'dan 90° (sarı), 180° (yeşil), 270° (mavi)'ye ve tekrar 0° 'ye döner. Herbir numune için 3 paralel ölçüm yapılmıştır ve bu değerlerin ortalaması alınarak ortalama değerler elde edilmiştir [101].

Toplam renk farkı Eşitlik 3.9 kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\Delta E^* = [(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta L^*)^2]^{0,5} \quad (3.9)$$

$$\Delta a^* = a_1^* - a_0^* \quad \Delta b^* = b_1^* - b_0^* \quad \Delta L^* = L_1^* - L_0^*$$

Hue açısı(α) ve chroma(C^*) değerleri sırasıyla Eşitlik 3.10 ve 3.11'de sunulmuştur:

$$\alpha = \arctan(b/a) \quad (3.10)$$

$$C^* = (a^2 + b^2)^{0,5} \quad (3.11)$$

3.4.4 Toplam Maya ve Küf Sayımı

Numuneler filtreli stomaher poşetlerine kolunmuş ve 2 dakika stomaker cihazı çalıştırılarak mikroorganizmalar peptonlu suya aktarılmış ve dilüsyonlar 10^{-5} 'e kadar yapılmıştır. Toplam maya küf sayımlarında DRBC (Dichloran Rose Bengal Chloramphenicol) agar kullanılmıştır. Maya ve küf hücreleri bakterilere göre daha büyük olduğundan çökmeyi en aza indirebilmek adına dilüsyon işlemi hızla yapılmıştır ve her dilüsyon alımından sonra vortekste yeterli miktarda çalkalanmıştır. Toplam maya-küf sayımı, petrilerin ekim sonrası, 25°C 'de 4-5 gün inkübatörde aerobik olarak bekletilmesi sonucu yapılmıştır.

3.4.5 Ekstraksiyon İşlemi

Taze kırmızıbiberlerden 50 gram numune alınarak, ağırlığının 4 katı kadar %80 oranında metanol ile karıştırılıp 1250 rpm de ultratoraks (Daihan, 230 V, 50/60 Hz, 280W, Korea) yardımıyla 5 dakika boyunca homojenize edilmiştir.

Kurutulmuş kırmızıbiber numunelerinde ise, kuru numunelerin kaybettikleri su miktarı kadar su ilave edilip 3 saat kadar bekletilip rehidre olmaları sağlanmıştır. Sonrasında, numunelerin son ağırlığının 4 katı kadar %80 oranında metanol ile karıştırılıp 1250 rpm de ultraturaks (Daihan, 230 V, 50/60 Hz, 280W, Korea) yardımıyla 5 dakika boyunca homojenize edilmiştir. Elde edilen homojen çözeltiler, 2 saat boyunca oda sıcaklığında Şekil 3.6’de gösterilen çalkalayıcıda çalkalanarak inkübasyona bırakılmıştır. Daha sonra, adi filtre kâğıdı yardımıyla Şekil 3.7’de gösterildiği gibi süzülen çözeltiler, 4000 rpm’de 10 dakika boyunca santrifüjlenmiş (Hettich 320R, Almanya) ve eğer çökeltme olmuş ise süpernatant filtre edilerek ekstraksiyon işlemi tamamlanmıştır.



Şekil 3.6 Homojen çözeltilerin 2 saat boyunca oda sıcaklığında çalkalanarak inkübasyona bırakılması



Şekil 3.7 Adi filtre kağıdı yardımı ile süzülen çözeltiler

3.4.6 Toplam Fenolik Madde Analizi

Toplam fenolik madde, Folin Ciocalteu metodu ile Folin ve Ciocalteu [102] tarafından belirlenmiştir. Bu metot, fenolik bileşenlerin tungsten ve molibdenum'un mavi asitlerini üreten, fosfotungstik ve fosfomolibdik asit karışımlarının oksidasyonundan oluşan toplam polifenol miktarının belirlenmesini içermektedir [103].

Singleton ve Rossi [104] tarafından belirlenen yöntemle göre; ekstrakte edilmiş herbir numuneden 0,5 mL alındı ve 3 paralel çalışıldı ve her tübe 15 sn aralıklarla 2,5 mL Folin- Ciocelteau fenol çözeltisi (0,2N) ilave edildi ve 3. dakikada ilk tüpten başlanarak 15 saniye aralıklarla 2 mL Na₂CO₃ (%7,5) ilave edildi ve sonrasında oda sıcaklığında ve karanlıkta inkübasyona bırakıldı. İnkübasyonun 30. dakikasında 760 nm' de UV/VIS spektrofotometre cihazı (Shimadzu UV-1800, Japonya) ile numunelerin absorbans değerleri ölçüldü ve sonuçlar gallik asit eşdeğeri (GAE), gallik asit eşdeğeri/g olarak ifade edildi. Bu çalışma kapsamında toplam fenolik içeriğinin hesaplanmasında kullanılan formül Eşitlik 3.12'de sunulmuştur:

$$\text{TFM (mg/L)} = [\text{Absorbans} - 0,0821]/0,0111 \times \text{Dilüsyon Faktörü} \quad (3.12)$$

3.4.7 DPPH Serbest Radikal Yakalama Aktivitesi Tayini

DPPH (2,2 difenil-1-pikrilhidraliz hidrat) metodu ilk defa Brand- Williams vd. [105] tarafından kararlı DPPH'e karşı bitkilerin ekstraktının radikal temizleme aktivitesini belirlemek için geliştirilmiş ve daha sonra da Sanchez-Moreno vd. [106] tarafından değiştirilip kullanılmaya başlanmıştır [107]. Singh vd. [108]' e göre, numunelerin DPPH serbest radikalini indirgeme esasına dayanılarak yapıldı. DPPH, hidrojeni çıkartan antioksidan bileşiklerle reaksiyona girer ve DPPH indirgenir [107]. Ekstrakte edilmiş herbir numuneden 0,1 mL alındı ve 3 paralel çalışıldı ve kontrol olarak ise örnek yerine metanol konuldu. Her tübe 20 sn aralıklarla metanol ile hazırlanan 4,9 mL DPPH solüsyonu (0,1 mM) eklendi ve 20 dakika oda sıcaklığında ve karanlıkta bekletildikten sonra 517 nm dalga boyunda spektrofotometrede ölçüm yapıldı.

Nispi Antiradikal aktivite (%ARA) değeri hesaplanmasında Eşitlik 3.13 kullanılmıştır:

$$\%ARA = [(A_k - A_ö) / A_k] \times 100 \quad (3.13)$$

A_k: Kontrol örnek absorbans değeri (metanol)

A_ö: Örnek absorbans değeri

Bu çalışma kapsamında elde edilen anti radikal aktivite sonuçlar troloks eşdeğerliliği olarak ifade edilmiş olup, bu değerlerin hesaplanmasında kullanılan formül Eşitlik 3.14'de sunulmuştur:

$$\text{Troloks eşdeğerlilik (mg/L)} = [(5,288 \times \text{ARA}\%) - 6,376] \times \text{Dilüsyon Faktörü} \quad (3.14)$$

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA**4.1 Kurutma Kinetiği**

Taze kırmızıbiberlerin nem içeriği $\% 91,623 \pm 0,852$ (yaş ağırlık) olarak belirlenmiştir ve bu biberler kurutma işlemlerinde $\%10$ (yaş ağırlık) nem içeriğine ulaşana dek kurutulmuştur (Şekil 4.1-4.2). Nasıroğlu [109] tarafından yapılan tez çalışmasında da kırmızıbiberin nem içeriği $\%90$ (yaş ağırlık) olarak bulunmuştur ve $\%12$ nem içeriğine kadar kurutulmuştur. Kaymak-Ertekin [110] tarafından yapılan kurutma işleminde kırmızıbiberin nem içeriği $\%90,5 \pm 0,2$ (yaş ağırlık) olarak belirlenmiştir. Doymaz ve Pala [17] tarafından yapılan çalışmada ise $\%81,9$ (yaş ağırlık) nem içeriği bulunan kırmızıbiberler $\%11$ nem içeriğine kadar kurutulmuştur. Akpınar [111] tarafından yapılan başka bir çalışmada kırmızıbiberler $\%10$ nem içeriğine ulaşana kadar kurutulmuştur.

USV kurutma yöntemi, USV kurutma yönteminin kontrol uygulaması, kabin fırını ve vakum fırınında 45, 55, 65 ve 75°C’ de kurutulan kırmızıbiberlerin, kuruma süreleri sıcaklık artışı ile azalmaktadır. Kurutma süreleri bu sıcaklıklarda sırasıyla, USV kurutma ile 570, 450, 270 ve 240 dakika, USV kurutma yönteminin kontrol uygulaması ile 750, 510, 360 ve 270 dakika, kabin fırını ile 690, 540, 330 ve 270 dakika ve vakum fırını ile 570, 480, 360 ve 270 dakika olarak belirlenmiştir. Kocayiğit [112] tarafından yapılan çalışmada $\% 11$ nem içeriğine kadar 55, 60, 65 ve 70°C’ de ve $2 \pm 0,1$ m/s hava hızında kurutulan kırmızıbiberlerin kuruma süreleri 495-960 dakika arasında değiştiği bulunmuştur. Akpınar vd. [12] tarafından yapılan çalışmada $\% 87,25$ (yaş ağırlık) nem içeriği bulunan kırmızıbiberler $\%10$ nem içeriğine ulaşana kadar 55, 60 ve 70°C kurutma sıcaklığı ve 1,5 m/s kurutma hava hızı olan taşınımlı kurutucuda 160 ile 330 dakika arasında kurutulmuşlardır.



Şekil 4.1 Kurutma işleminden önce kırmızı biberlerin görünümü



Şekil 4.2 Kurutma işleminden sonra kırmızı biberlerin görünümü

Enerji sarfıyatı, kurutma sistemlerinde uygulanan metoda ve sıcaklığa bağlı olarak farklılık göstermektedir. Kurutma yöntemleri ile saatlik enerji tüketimi, kabin fırını kurutma ile yaklaşık olarak 1,2-1,5 kW.saat arasında, vakum fırın kurutma ile 1,7-2,7 kW.saat arasında, USV kurutma ile 1,6-1,9 kW.saat ve USV kurutma yönteminin kontrol uygulaması ile 1,1-1,8 kW.saat olarak bulunmuştur. Sıcaklık artışı ile hem difüzyon hem de kütle transferi hızlanmaktadır. Bu sayede ürünler daha kısa zamanda kurumaktadır ve enerji sarfıyatı azalmaktadır.

USV kurutma yönteminin kontrol uygulaması ile karşılaştırıldığında kurutuma süresini % 11,1 ile 25,0 oranında kısalttığı gözlenmiştir. Kurutma süresinin kısalması ile

harcanan toplam enerji miktarı azalmaktadır. Dolayısıyla, bu süre kısalması kurutma teknolojisi açısından oldukça önemlidir.

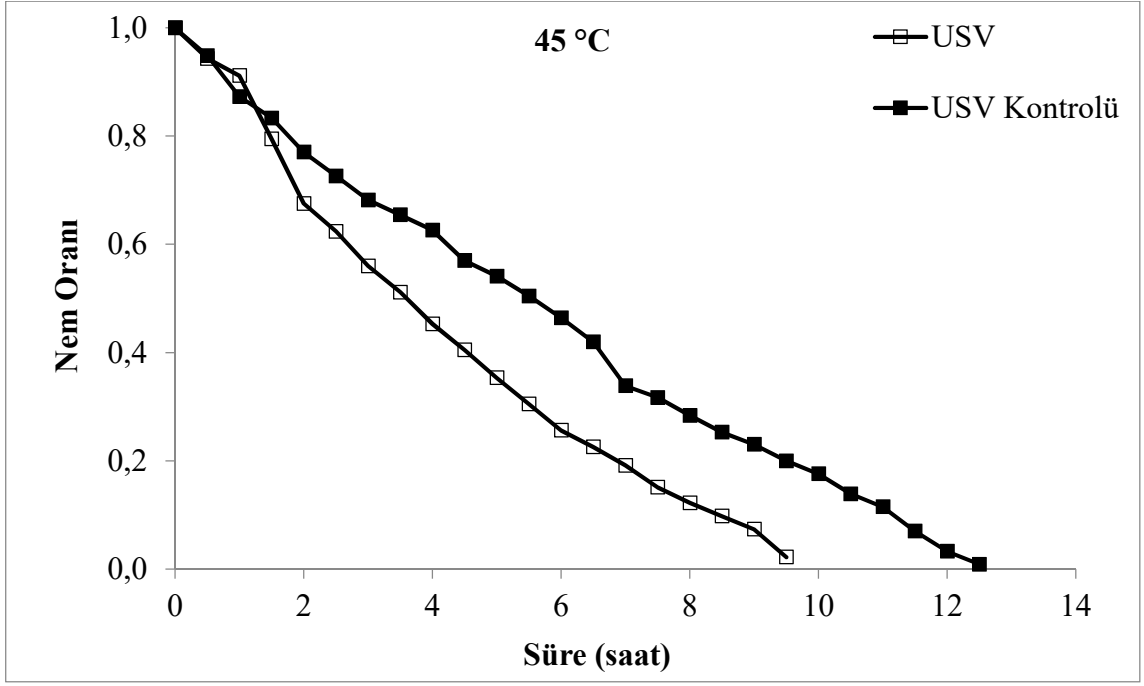
4.2 Modelleme

Kırmızıbiberlerin farklı kurutma yöntemleri (USV, kabin fırını ve vakum fırın) ve USV kurutma yönteminin kontrol uygulaması ile 4 farklı sıcaklıkta (45, 55, 65, 75 °C) kurutulması sonucu zamana bağlı nem oranlarının grafikleri Şekil 4.3 – 4.7’de gösterildiği gibidir. Kurutma eğrileri, ürünlerin nem oranlarının (Y) zamanın fonksiyonu olarak değişimine dayanılarak hazırlanmıştır. Artan kurutma sıcaklığı, işlem süresinin kısalmasına neden olmuştur. Çünkü sıcaklık artışıyla birlikte havanın bağlı nemi nispi olarak düşmüş ve daha fazla nem taşıma gücüne sahip olmuştur. Ayrıca sıcaklığı artan örneklerden suyun buharlaşma hızının da artmasına bağlanabilir.

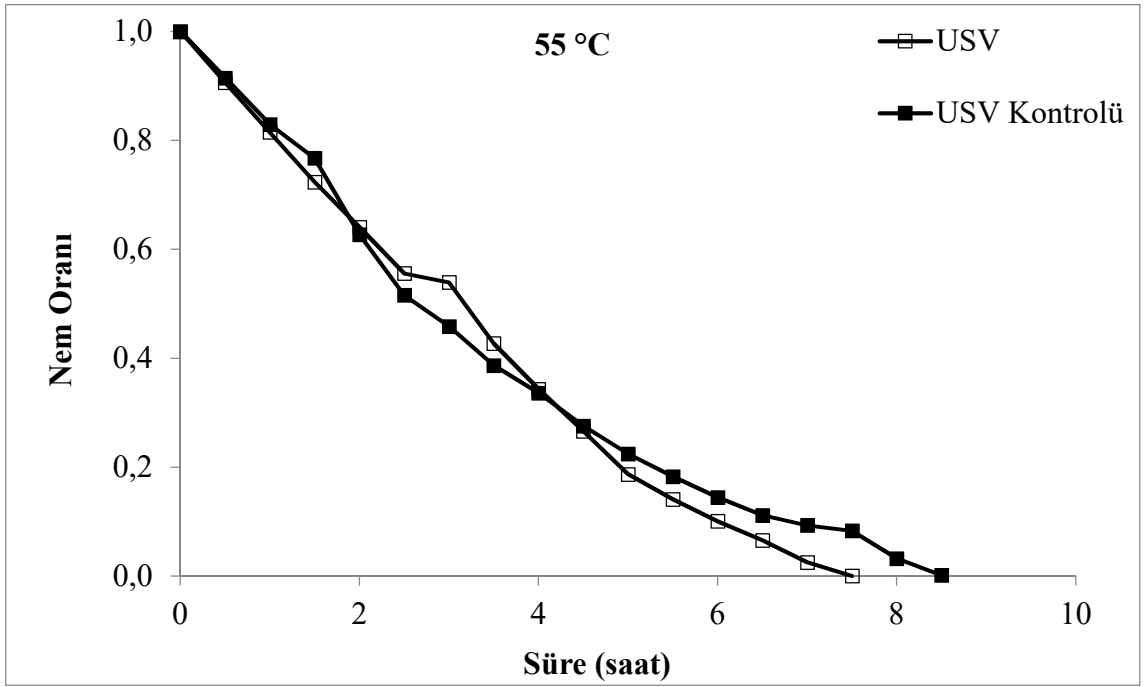
Kuruma hızı eğrileri incelendiğine sabit hız periyoduna rastlanılmamıştır. Kuruma azalan hız periyodunda gerçekleşmiştir ve bu yüzden Eşitlik 3.5’in etkin nem diffüzyon katsayısını hesaplamak için kullanımı uygundur. Vega vd. [2] tarafından yapılan kırmızı dolmalık biberlerin (var. Lamuyo) sıcak havalı kurutma ile farklı sıcaklıklarda kurutması çalışmasında da biberlerin kurutulması sırasında azalan hız periyodu gözlenmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında 45 °C’de en yüksek işlem süresi sunan USV kurutma yönteminin kontrol uygulaması 12,5 saatte kuruma sağlarken aynı biber numuneleri USV kurutma yöntemi ile 9,5 saatte kurumuştur. Fakat sıcaklığın artması ile birlikte bu süre azalmış ve 75°C sıcaklık altında, iki metot arasındaki kurutma süresi farkı yarım saate kadar indiği gözlemlenmiştir. USV kurutma yöntemiyle, et gibi uzun kurutma süreleri olan gıdaların kuruma sürelerinde daha çok kısalma meydana gelmektedir. Yapılan bir çalışmada 75 °C’ de USV kurutma yöntemi ile 5 saatte kuruyan etler vakum fırınla 8 saatte kurumuştur [13]. Bu farklılığın sebebi etlerden suyun uzaklaştırılmasının daha zor olması veya gıda matriksindeki farklılıklar önemli rol oynadığı düşünülmektedir.

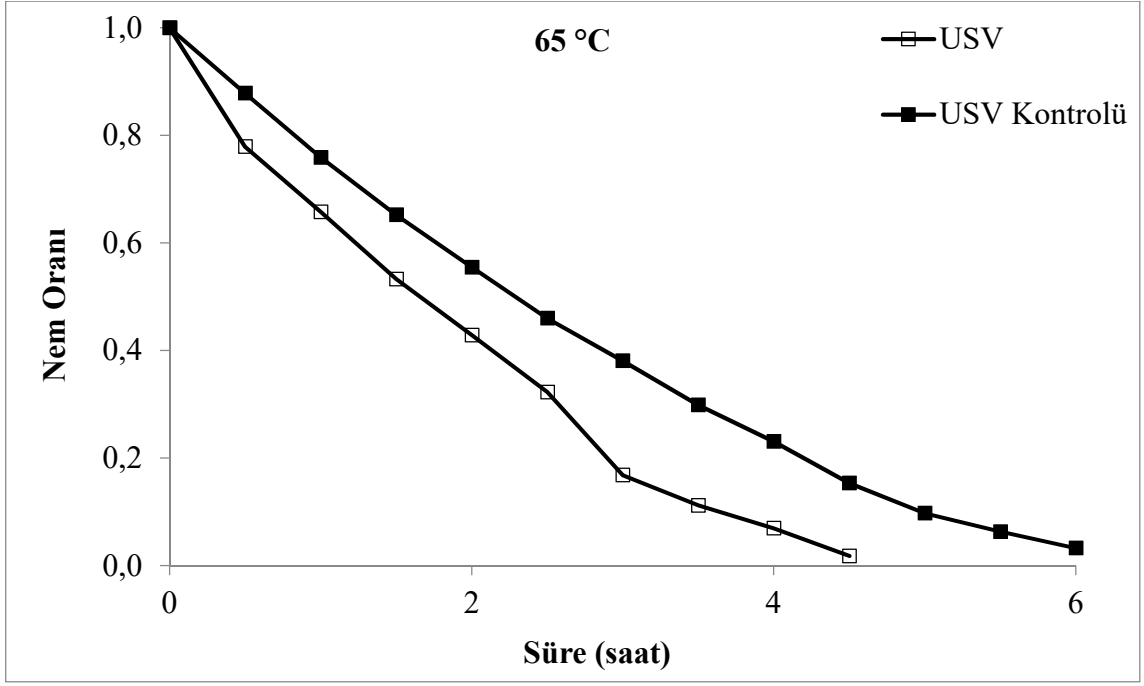
Kurutma işlemleri sonucu elde edilen verilerin Çizelge 3.1’de verilen kurutma kinetiği modellerine göre hesaplanan sabit parametreleri ve SPSS istatistik programı kullanılarak elde edilen istatistiksel parametreleri Çizelge 4.1 - 4.4’de belirtildiği gibidir. Bu çalışmada kinetik modellere uygunluğun belirlenmesinde en yüksek R^2 ve en düşük ki-kare ve RMSE değerleri göz önünde bulundurularak elde edilmiştir.



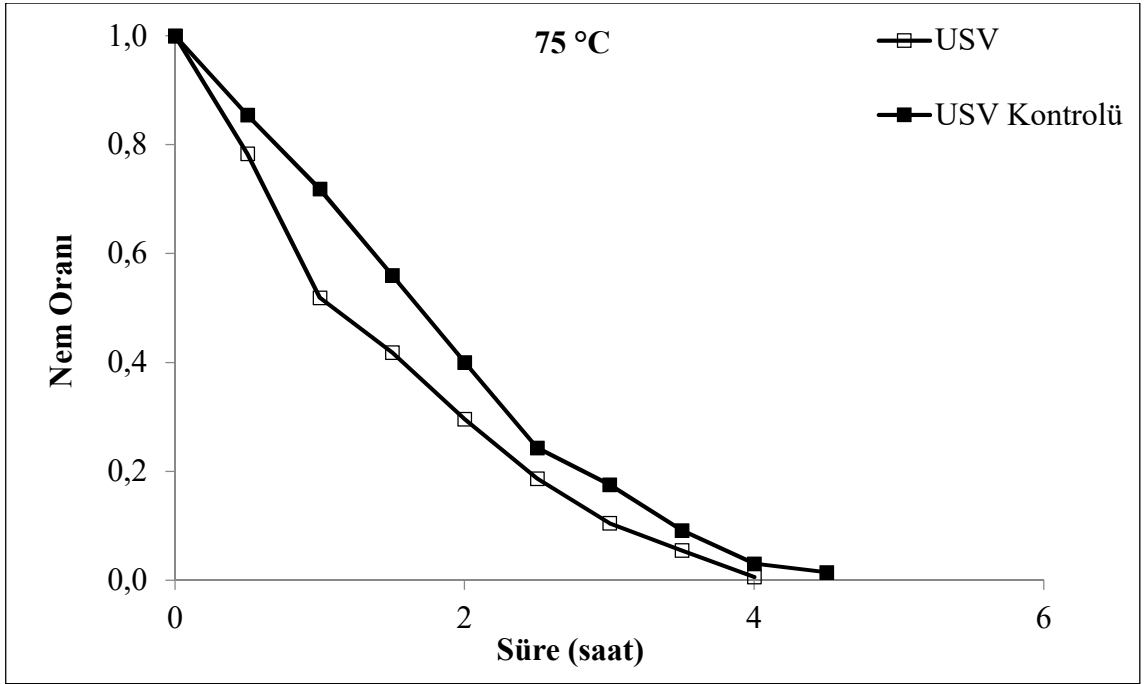
Şekil 4.3 USV kurutma yöntemi ve kontrol uygulaması ile 45 °C’de kurutulan kırmızıbiberlerin nem oranlarının zamana bağlı değişimi



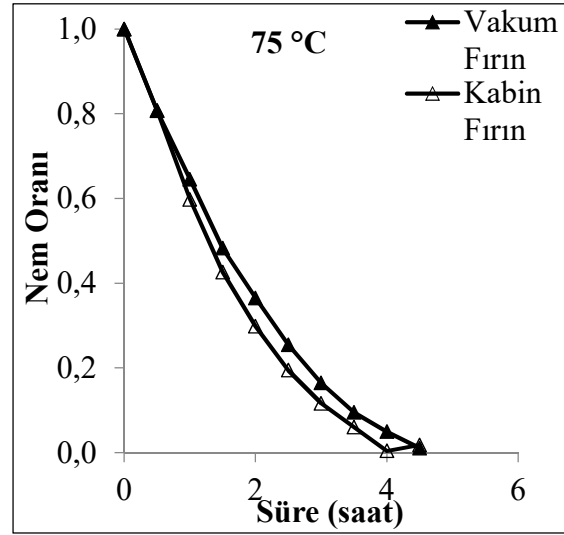
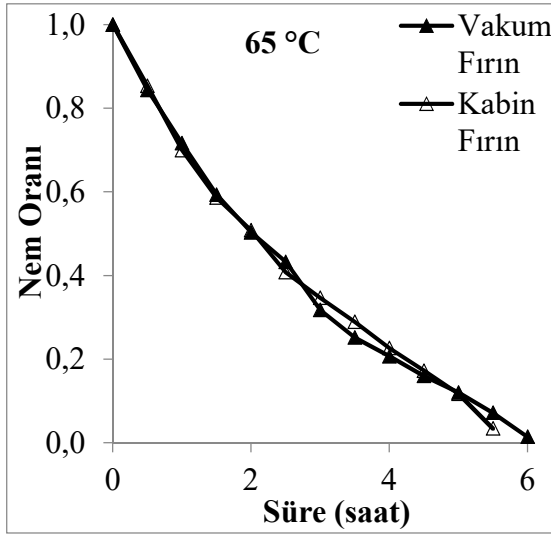
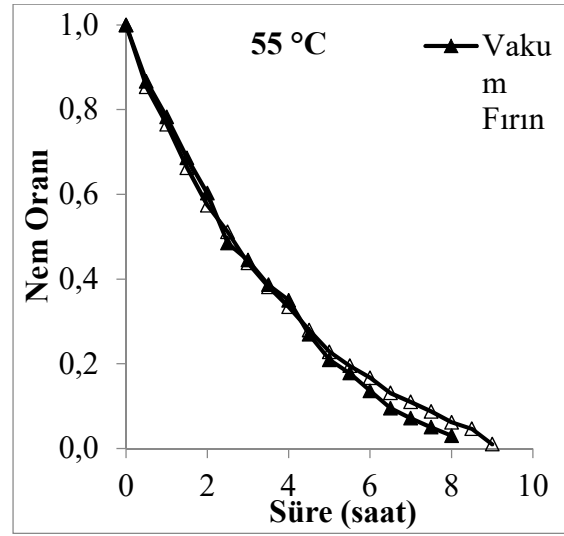
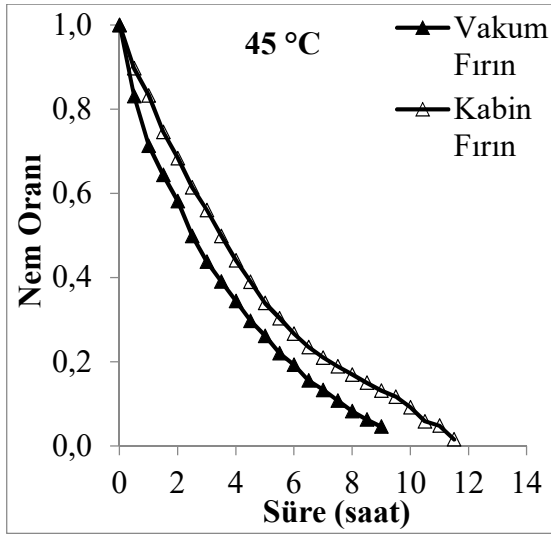
Şekil 4.4 USV kurutma yöntemi ve kontrol uygulaması ile 55 °C’de kurutulan kırmızıbiberlerin nem oranlarının zamana bağlı değişimi



Şekil 4.5 USV kurutma yöntemi ve kontrol uygulaması ile 65 °C’de kurutulan kırmızıbiberlerin nem oranlarının zamana bağlı değişimi



Şekil 4.6 USV kurutma yöntemi ve kontrol uygulaması ile 75 °C’de kurutulan kırmızıbiberlerin nem oranlarının zamana bağlı değişimi



Şekil 4.7 Kabin ve vakum kurutma yöntemleri ile farklı sıcaklıklarda kurutulan kırmızıbiberlerin nem oranlarının zamana bağlı değişimi

Çizelge 4.1 Ultrason destekli vakum kurutma yöntemine göre hesaplanan parametreler ve istatistiksel model parametreleri

Model	Parametreler	Sıcaklık (°C)			
		45	55	65	75
Lewis	k	0,217	0,285	0,502	0,561
	R²	0,971	0,947	0,969	0,987
	RMSE	0,0513	0,0732	0,0549	0,0399
	χ^2	0,0028	0,0057	0,0033	0,0018
Page	k	0,131	0,148	0,398	0,575
	n	1,321	1,484	1,284	1,209
	R²	0,995	0,988	0,985	0,994
	RMSE	0,0213	0,0351	0,0379	0,0253
	χ^2	0,0005	0,0013	0,0016	0,0007
Modified Page	k	66,742	88,648	155,414	145,383
	a	-0,138	-0,158	-0,101	-0,140
	b	0,004	0,004	0,004	0,005
	R²	0,988	0,965	0,975	0,992
	RMSE	0,0412	0,0661	0,0531	0,0375
	χ^2	0,0018	0,0047	0,0031	0,0016
Henderson and Pabis	k	0,236	0,309	0,519	0,672
	a	1,084	1,084	1,035	1,035
	R²	0,981	0,957	0,971	0,986
	RMSE	0,0412	0,0661	0,0531	0,0375
	χ^2	0,0018	0,0046	0,0031	0,0016
Logarithmic	k	0,137	0,118	0,269	0,479
	a	1,369	1,771	1,401	1,171
	c	-0,338	-0,760	-0,415	-0,166
	R²	0,997	0,966	0,995	0,997
	RMSE	0,0171	0,0205	0,0221	0,0177
	χ^2	0,0003	0,0004	0,0005	0,0003
Two-term	k₁	0,236	0,309	0,519	0,672
	a	0,542	0,542	0,517	0,517
	k₂	0,236	0,309	0,519	0,672
	b	0,542	0,542	0,517	0,517
	R²	0,981	0,957	0,971	0,984
	RMSE	0,0412	0,0661	0,0531	0,0375
	χ^2	0,0018	0,0046	0,0031	0,0016
Wang and Singh	a	-0,161	-0,196	-0,488	-0,412
	b	0,006	0,008	0,062	0,043
	R²	0,996	0,996	0,969	0,997
	RMSE	0,0190	0,0189	0,0227	0,0236
	χ^2	0,0004	0,0004	0,0006	0,0006

* *a. b. c. n. k. k₀* ve *k₁*: sabit terimler

Çizelge 4.2 Ultrason destekli vakum kurutma yönteminin kontrol uygulamasına göre hesaplanan parametreler ve istatistiksel model parametreleri

Model	Parametreler	Sıcaklık (°C)			
		45	55	65	75
Lewis	k	0,152	0,282	0,351	0,507
	R²	0,955	0,973	0,969	0,951
	RMSE	0,0621	0,0513	0,0542	0,0754
	χ^2	0,0040	0,0028	0,0032	0,0063
Page	k	0,075	0,178	0,237	0,324
	n	1,371	1,336	1,350	1,570
	R²	0,984	0,997	0,994	0,997
	RMSE	0,0363	0,0173	0,0236	0,0198
	χ^2	0,0014	0,0003	0,0006	0,0005
Modified Page	k	62,293	146,464	107,454	179,696
	a	-0,098	-0,153	-0,137	-0,261
	b	0,003	0,002	0,004	0,004
	R²	0,965	0,989	0,982	0,979
	RMSE	0,0544	0,0333	0,0414	0,0495
	χ^2	0,0030	0,0012	0,0018	0,0027
Henderson and Pabis	k	0,164	0,306	0,374	0,548
	a	1,069	1,082	1,062	1,084
	R²	0,962	0,981	0,975	0,960
	RMSE	0,0567	0,0424	0,0486	0,0676
	χ^2	0,0033	0,0019	0,0026	0,0051
Logarithmic	k	0,209	0,259	0,393	0,272
	a	0,373	1,103	0,747	1,502
	c	0,321	-0,068	0,136	-0,469
	R²	0,546	0,989	0,875	0,992
	RMSE	0,1966	0,0327	0,1093	0,0299
	χ^2	0,0402	0,0011	0,0129	0,0010
Two-term	k1	0, 164	0,306	0,374	0,548
	a	0, 534	0,541	0,531	0,542
	k2	0,164	0,306	0,374	0,548
	b	0,534	0,541	0,531	0,542
	R²	0,962	0,981	0,975	0,960
	RMSE	0,0567	0,0424	0,0486	0,0676
	χ^2	0,0033	0,0019	0,0026	0,0051
Wang and Singh	a	-0,106	-0,209	-0,254	-0,359
	b	0,002	0,011	0,015	0,030
	R²	0,997	0,996	1,000	0,994
	RMSE	0,0150	0,0200	0,0058	0,0271
	χ^2	0,0002	0,0004	0,0001	0,0008

* a. b. c. n. k. k_0 ve k_1 : sabit terimler

Çizelge 4.3 Kabin fırınında kurutma yöntemine göre hesaplanan parametreler ve istatistiksel model parametreleri

Model	Parametreler	Sıcaklık (°C)			
		45	55	65	75
Lewis	k	0,216	0,291	0,372	0,622
	R²	0,992	0,993	0,986	0,979
	RMSE	0,0259	0,0244	0,0335	0,0481
	χ^2	0,0007	0,0006	0,0012	0,0026
Page	k	0,172	0,251	0,322	0,502
	n	1,139	1,107	1,139	1,332
	R²	0,997	0,996	0,992	0,998
	RMSE	0,0147	0,0179	0,0261	0,0145
	χ^2	0,0002	0,0003	0,0007	0,0002
Modified Page	k	77,298	255,803	112,442	179,007
	a	-0,053	-0,034	-0,058	-0,210
	b	0,003	0,001	0,004	0,004
	R²	0,994	0,994	0,989	0,993
	RMSE	0,0217	0,0229	0,0301	0,0277
	χ^2	0,0005	0,0005	0,0010	0,0009
Henderson and Pabis	k	0,224	0,297	0,382	0,653
	a	1,033	1,019	1,025	1,055
	R²	0,993	0,993	0,988	0,983
	RMSE	0,0234	0,0236	0,0321	0,0434
	χ^2	0,0006	0,0006	0,0011	0,0021
Logarithmic	k	0,253	0,229	0,560	0,464
	a	0,780	1,104	0,656	1,189
	c	0,114	-0,117	0,225	-0,166
	R²	0,926	0,999	0,859	0,997
	RMSE	0,0774	0,0069	0,1081	0,0195
	χ^2	0,0063	0,0001	0,0127	0,0004
Two-term	k1	0, 224	0,297	0,382	0,653
	a	0,517	0,509	0,513	0,528
	k2	0, 224	0,297	0,382	0,653
	b	0,517	0,509	0,513	0,528
	R²	0,993	0,993	0,988	0,983
	RMSE	0,0234	0,0236	0,0321	0,0434
	χ^2	0,0006	0,0006	0,0011	0,0021
Wang and Singh	a	-0,166	-0,219	-0,285	-0,452
	b	0,007	0,013	0,021	0,052
	R²	0,995	0,993	0,993	0,999
	RMSE	0,0195	0,0234	0,0236	0,0176
	χ^2	0,0004	0,0006	0,0006	0,0004

* a. b. c. n. k. k_0 ve k_1 : sabit terimler

Çizelge 4.4 Vakum fırınında kurutma metoduna göre hesaplanan parametreler ve istatistiksel model parametreleri

Model	Parametreler	Sıcaklık (°C)			
		45	55	65	75
Lewis	k	0,282	0,295	0,383	0,546
	R²	0,995	0,983	0,985	0,978
	RMSE	0,0154	0,0420	0,0366	0,0473
	χ^2	0,0002	0,0019	0,0015	0,0025
Page	k	0,287	0,224	0,311	0,434
	n	0,988	1,206	1,194	1,307
	R²	0,995	0,994	0,994	0,996
	RMSE	0,0198	0,0229	0,00225	0,0191
	χ^2	0,0004	0,0006	0,0006	0,0004
Modified Page	k	84,116	70,749	119,200	203,184
	a	0,033	-0,076	-0,081	-0,158
	b	0,003	0,004	0,003	0,003
	R²	0,996	0,988	0,989	0,989
	RMSE	0,0179	0,0328	0,0308	0,0335
	χ^2	0,0003	0,0011	0,0010	0,0012
Henderson and Pabis	k	0,277	0,312	0,397	0,571
	a	0,981	1,040	1,035	1,049
	R²	0,995	0,986	0,987	0,982
	RMSE	0,0188	0,0354	0,0341	0,0433
	χ^2	0,0004	0,0013	0,0013	0,0021
Logarithmic	k	0,235	0,386	0,260	0,359
	a	1,031	0,743	1,223	1,264
	c	-0,069	0,160	-0,227	-0,255
	R²	0,997	0,890	0,999	0,999
	RMSE	0,0140	0,0981	0,0108	0,0096
	χ^2	0,0002	0,0102	0,00013	0,0001
Two-term	k1	0, 277	0,307	0,397	0,571
	a	0,491	0,520	0,518	0,524
	k2	0,277	0,307	0,397	0,571
	b	0,491	0,520	0,518	0,524
	R²	0,995	0,986	0,987	0,982
	RMSE	0,0188	0,0354	0,0341	0,0433
	χ^2	0,0004	0,0013	0,0013	0,0021
Wang and Singh	a	-0,219	-0,221	-0,287	-0,399
	b	0,013	0,013	0,021	0,040
	R²	0,983	0,997	0,997	1,000
	RMSE	0,0555	0,0155	0,0173	0,0410
	χ^2	0,0032	0,0002	0,0003	0,0001

* a. b. c. n. k. k_0 ve k_1 : sabit terimler

USV kurutma için, 45, 65 ve 75 °C’de en yüksek R^2 değeri (0,995-0,997) ile en düşük RMSE (0,0171-0,0221) ve χ^2 (0,000308-0,000542) değerlerine sahip olan Logarithmic modeli en uygun model seçilmiştir. 55 °C’de ise en yüksek R^2 değeri (0,995) ile en düşük RMSE (0,0189) ve χ^2 (0,000380) değerlerine sahip olan Wang & Singh modeli, en iyi model seçilmiştir.

USV kurutma yönteminin kontrol uygulaması için, 45 ve 65 °C’de en yüksek R^2 değeri (0,997-1,000) ile en düşük RMSE (0,0058-0,0150) ve χ^2 (0,000037-0,000233) değerlerine sahip olan Wang & Singh modeli en iyi model seçilmiştir. 65 ve 75 °C’de ise en yüksek R^2 değeri (0,997) ile en düşük RMSE (0,0173-0,0198) ve χ^2 (0,000316-0,000506) değerlerine sahip olan Page modeli, en uygun model seçilmiştir.

Kabin fırınında kurutma metodunda, 45 °C’de en yüksek R^2 değeri (0,997) ile en düşük RMSE (0,0147) ve χ^2 (0,000226) değerlerine sahip olan Page modeli en uygun model seçilmiştir. 55 °C’de, Logarithmic model en yüksek R^2 değerine (0,998) ve en düşük RMSE (0,0069) ve χ^2 değerine (0,000050) sahip olduğu için en uygun modeldir. 65 ve 75 °C’de en yüksek R^2 değeri (0,993-0,999) ile en düşük RMSE değerine (0,0176-0,0236) ve en düşük χ^2 değerine (0,000347-0,000609) sahip olan Wang & Singh modeli, en iyi model seçilmiştir.

Vakum fırınında kurutma metodunda, 45 ve 65 °C’de en yüksek R^2 değeri (0,997-0,999) ile en düşük RMSE (0,0108-0,0140) ve χ^2 (0,000127-0,000206) değerlerine sahip olan Logarithmic modeli en iyi model seçilmiştir. 55 ve 75 °C için, Wang & Singh modeli, en yüksek R^2 değerine (0,997-1,000) ve en düşük RMSE (0,0155-0,0410) ve χ^2 (0,000019-0,000254) değerlerine sahip olduğu için en uygun model seçilmiştir.

Çizelge 4.1-4 göstermektedir ki uygulanan bütün modeller yüksek hassasiyetler uyum sağlamıştır. Doymaz ve Pala [17] tarafından sıcak hava ile kurutulan kırmızıbiberlerin nem içeriğinin kurutma zamanına bağlı fonksiyonu için R^2 değeri 0,998-0,999 arasında olduğundan en uygun model Page modeli seçilmiştir. Akpınar vd. [12] tarafından yapılan kırmızıbiberlerin ince katman kurutma davranışının tanımlanması çalışmasında “the approximation of the diffusion” modeli R^2 : 0,9987 değeri ile en uygun model seçilmiştir. Tunde-Akintunde ve Ajala [113] tarafından kırmızıbiberlerin 60°C’de ön işlemleri ve işlemsiz olarak kurutulmasının etkisinin incelendiği bir çalışmada ise, kırmızıbiberlerin ince tabaka kuruma karakteristiklerinin tanımlanması için en yüksek R^2 değeri, en düşük RMSE ve χ^2 değerleri ile Page modeli en uygun model seçilmiştir.

4.3 Kurutma Sistemlerindeki Etkin Nem Difüzyonu, Aktivasyon Enerjisi ve Kuruma Hızı

Etkin nem difüzyonu (D_{eff}), ve aktivasyon enerjisi (E_a) değerleri Eşitlik 3.8’de belirtilen denkleme göre hesaplanmış ve elde edilen veriler Çizelge 4.5’de gösterilmiştir. Kurutma oranlarının zamana bağlı grafikleri de Şekil 4.8 - 4.11’de gösterilmiştir.

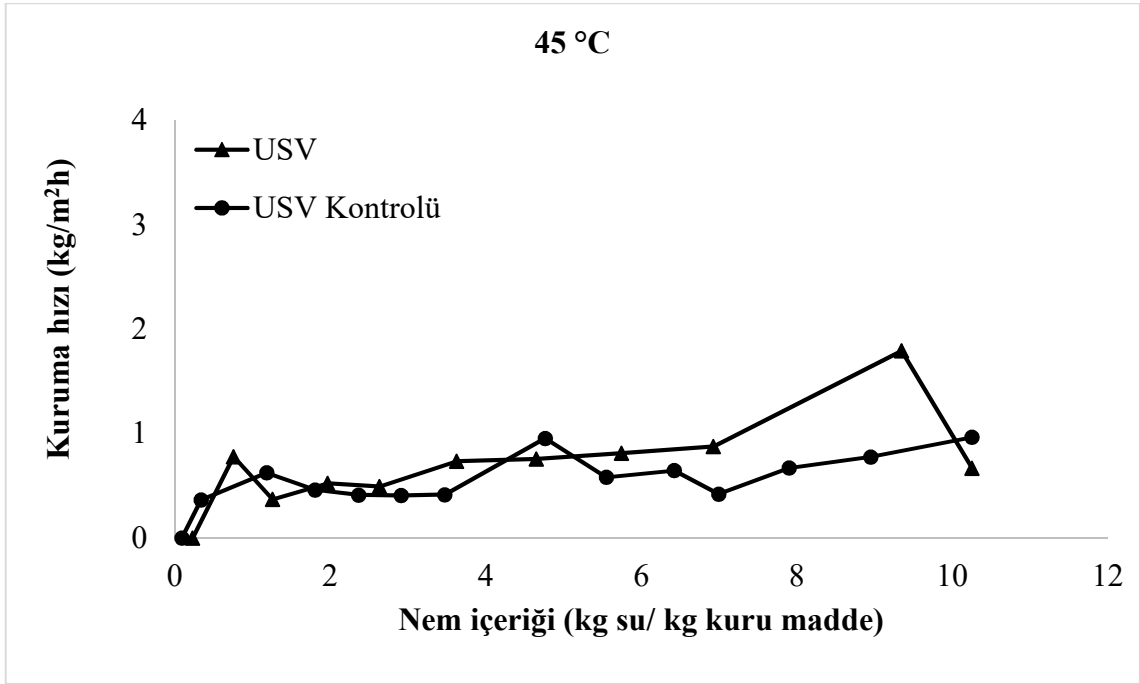
Çizelge 4.5 Kırmızıbiberlerin farklı kurutma metotlarıyla kurutulmasıyla elde edilen etkili nem difüzyon (D_{eff}) değerleri ve aktivasyon enerjileri (E_a)

Kurutma Metotları	Sıcaklık (°C)	Kurutma süresi (dakika)	D_{eff} (m ² /s)	R^2	E_a (kJ/mol)
USV	45	570	$2,62 \times 10^{-9}$	0,866	35,911 ($R^2=0,980$)
	55	450	$3,49 \times 10^{-9}$	0,849	
	65	270	$6,17 \times 10^{-9}$	0,888	
	75	240	$8,10 \times 10^{-9}$	0,910	
USV Kontrol	45	750	$1,82 \times 10^{-9}$	0,866	36,921 ($R^2= 0,975$)
	55	510	$3,48 \times 10^{-9}$	0,882	
	65	360	$4,28 \times 10^{-9}$	0,873	
	75	270	$6,31 \times 10^{-9}$	0,854	
Kabin Fırın	45	690	$2,65 \times 10^{-9}$	0,919	36,744 ($R^2= 0,952$)
	55	540	$3,58 \times 10^{-9}$	0,929	
	65	330	$4,47 \times 10^{-9}$	0,900	
	75	270	$7,82 \times 10^{-9}$	0,902	
Vakum Fırın	45	540	$3,44 \times 10^{-9}$	0,945	24,047 ($R^2=0,922$)
	55	480	$3,62 \times 10^{-9}$	0,904	
	65	360	$4,68 \times 10^{-9}$	0,905	
	75	270	$6,78 \times 10^{-9}$	0,896	

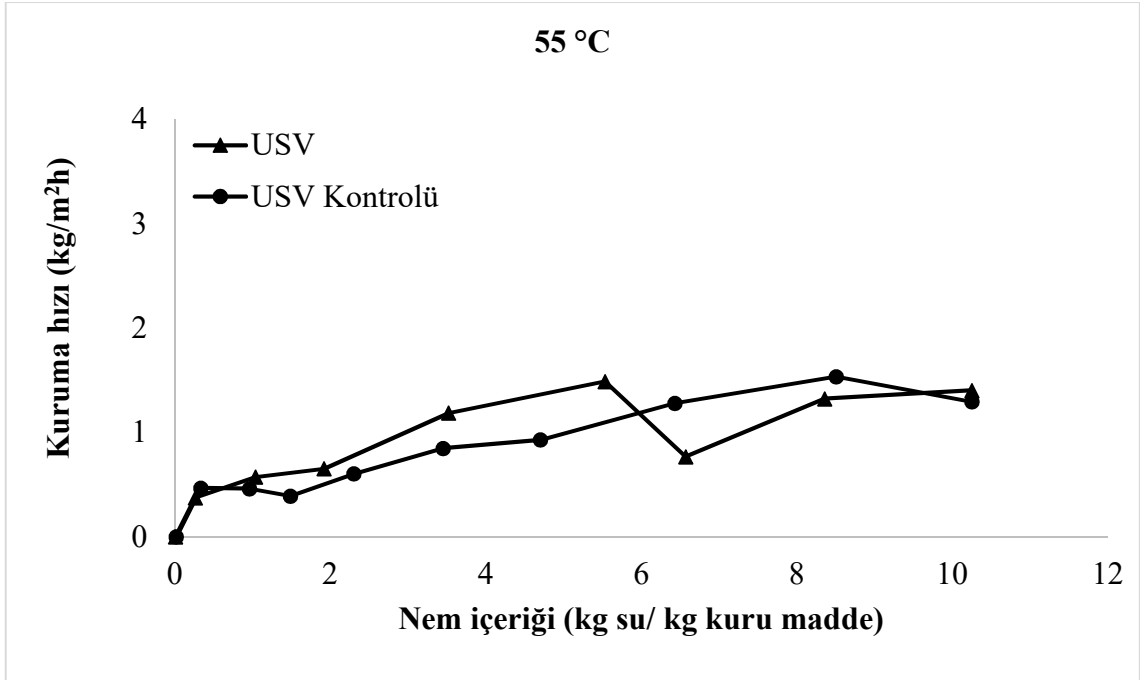
Sıcaklığın artmasıyla genellikle etkin nem difüzyonun da arttığı görülmektedir. USV kurutma yöntemi ile kurutulan kırmızıbiberlerin D_{eff} değerleri $2,62 \times 10^{-9}$ - $8,10 \times 10^{-9}$ m^2/s arasında değiştiği hesaplanırken, kontrol uygulaması ile kurutulanların D_{eff} değerleri $1,82 \times 10^{-9}$ - $6,31 \times 10^{-9}$ m^2/s arasında olduğu belirlenmişti (Çizelge 4.5). USV kurutma yöntemi ile elde edilen D_{eff} değerleri kontrolüne oranla daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Çizelge 4.5’ ten de anlaşılabileceği üzere, yüksek sıcaklıklarda, kırmızıbiberin içerdiği su moleküllerinin daha hızlı buharlaşması sağlanmış böylelikle materyalde yer alan nem içeriği düşerken, etkin nem difüzyonu da artmıştır. Aktivasyon enerjisi (E_a) ile difüzyonun başlayabilmesi için gereken enerji arasında doğru orantı vardır. Aktivasyon enerjisi ne kadar düşük ise difüzyonun başlayabilmesi için gerekli enerji de o kadar azdır. Kırmızıbiberler USV kurutma yöntemiyle kurutulduğunda, kontrol metoduna göre daha düşük E_a değerine ($35,911$ kJ/mol ($R^2= 0,980$)) sahip olmasından dolayı daha düşük sıcaklarda bile kontrol uygulaması kadar etkili olabileceği anlaşılmaktadır. Kabin fırının aktivasyon enerjisiyle USV’nin aktivasyon enerjisi kıyaslandığında USV kurutmanın daha düşük E_a değerine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Fakat bu, USV kurutma yönteminin kontrol uygulamasına ve kabin fırına oranla daha ekonomik bir yöntem olduğu anlamına gelmez. Çünkü USV kurutma yöntemi için vakum sisteminin yanı sıra ultrason işleminin de uygulanması gerektiği için sistemde daha fazla cihaz bulunmakta ve USV kurutmada daha fazla enerji sarfiyatının olduğu daha önceden ifade edilmiştir.

Gupta vd. [114] tarafından ön işlem görmüş ve 55, 60, 65 ve 70°C sıcaklıklarda tepsili kurutucuda kurutulmuş kırmızıbiberlerin aktivasyon enerjisi haşlama ön işlemine tabii tutulanlar için 41,95 kJ/mol iken akasya sakızı çözeltilisine daldırılanlar için 41,06 kJ/mol olarak bulunmuştur. Kaleemullah ve Kailappan [115] tarafından 50, 55, 60 ve 65 °C’ de laboratuvar tipi ince tabaka kurutucu ile kurutulan kırmızıbiberlerin aktivasyon enerjisi 37,76 kJ/mol ve etkin nem difüzyon katsayısı $3,78-7,10 \times 10^{-9}$ m^2/s olarak hesaplanmıştır.

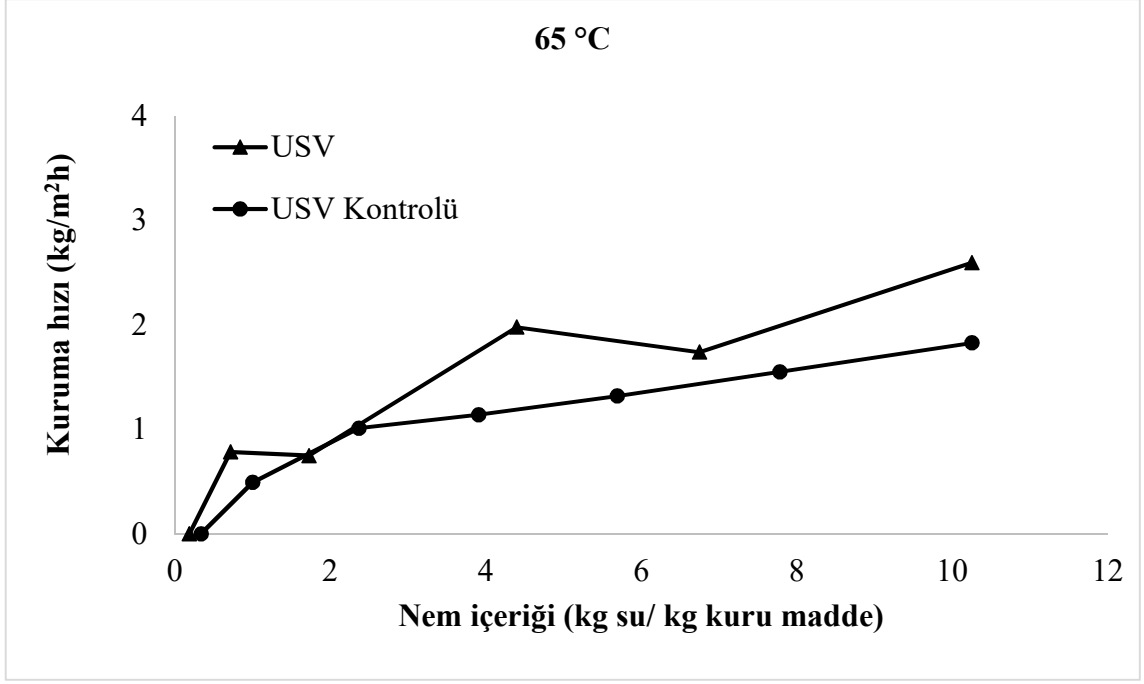
Panagiotou vd. [116] tarafından hazırlanan nem diffüzivitesi için veri derlemesinde, 25-80 °C’ de biberler için nem difüzyon katsayısı $5,86 \times 10^{-11}-1,16 \times 10^{-8}$ m^2/s aralığında olduğu belirtilmiştir. Bu tez çalışmasında elde edilen veriler bu aralıkta olduğu belirlenmiştir. Zogzas vd. [117] tarafından yapılan literatür derlemesinde yer alan E_a değerleri 12,7-110 kJ/mol aralığında olduğu ve bu tez çalışmasında elde edilen E_a değerleri de bu aralıkta olduğu bildirilmiştir.



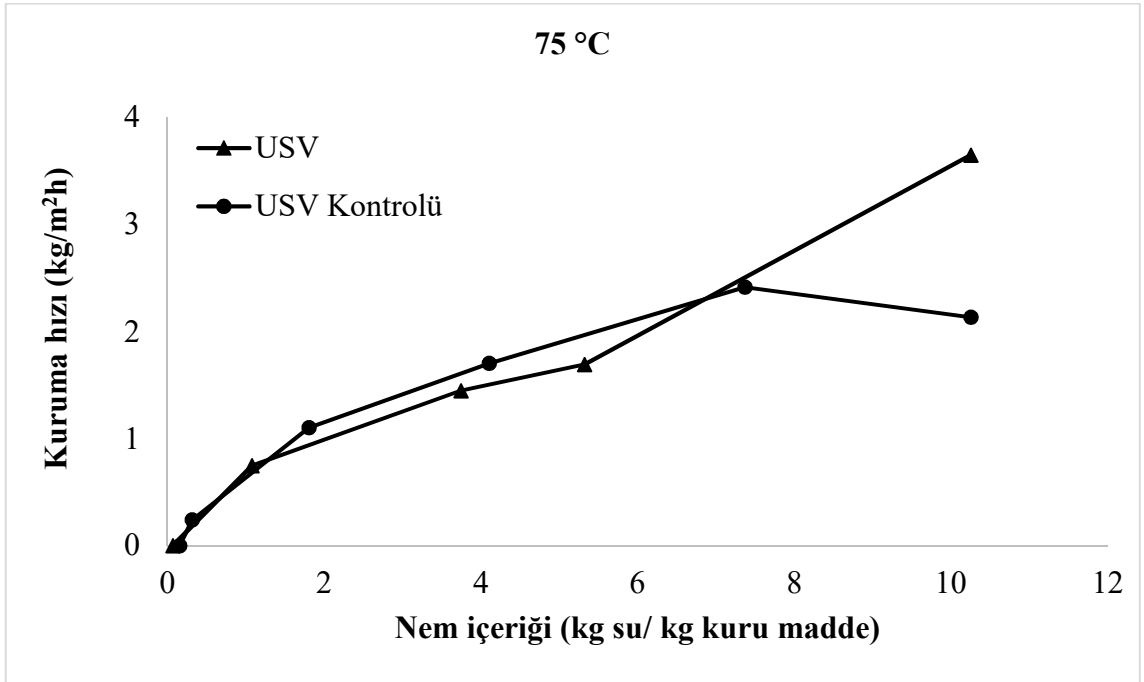
Şekil 4.8 USV kurutma yöntemi ve kontrol uygulaması ile 45 °C’de kurutulan kırmızıbiberlerin kuruma hızlarının nem içeriğine bağlı değişimi



Şekil 4.9 USV kurutma yöntemi ve kontrol uygulaması ile 55 °C’de kurutulan kırmızıbiberlerin kuruma hızlarının nem içeriğine bağlı değişimi



Şekil 4.10 USV kurutma yöntemi ve kontrol uygulaması ile 65 °C’de kurutulan kırmızıbiberlerin kuruma hızlarının nem içeriğine bağlı değişimi



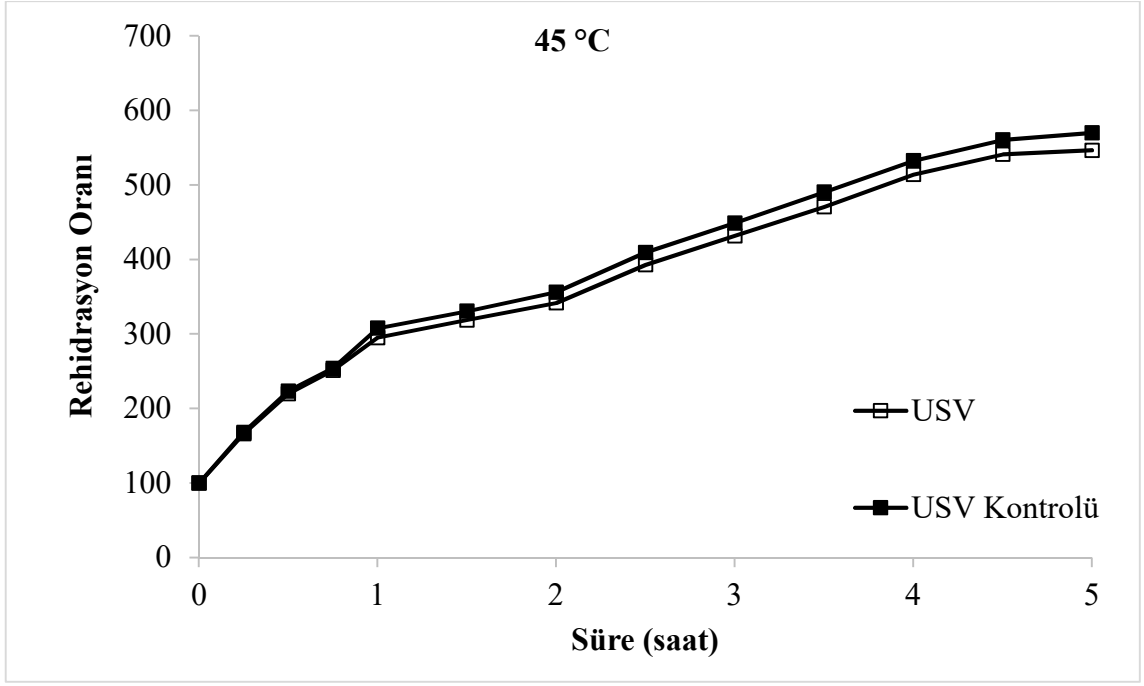
Şekil 4.11 USV kurutma yöntemi ve kontrol uygulaması ile 75 °C’de kurutulan kırmızıbiberlerin kuruma hızlarının nem içeriğine bağlı değişimi

Kuruma hızı ultrason uygulamaları sayesinde gelişim göstermektedir çünkü ultrason, basınç dalgalarının mekanik etkileri ile adsorpsiyon ve zayıflatma sayesinde ısıya pozitif etki sağlamaktadır [118]. Şekil 4.7 - 4.10, USV kurutma yöntemi ve USV kurutma yönteminin kontrol uygulaması yöntemleriyle kurutulan kırmızıbiberlerin kuruma hızının nem içeriğine bağlı olarak değişimi göstermektedir. 45°C’de nem içeriğinin ilk düşmeye başladığı evrelerde sabit bir kuruma evresinin olduğu açıkça görülmesine rağmen sıcaklığın artmasıyla bu evrenin kısmen azaldığı veya kaybolmaya başladığı açıkça görülmektedir. Bu şekillerden USV kurutma yöntemi ile elde edilen kuruma hızı, kontrol uygulamasından daha fazla olduğu görülmektedir. Etüv ve vakum kurutma yöntemiyle yapılan kurutma işlemlerinde de kuruma hızı değerleri aynı zamanda, bütün kurutma metotları için sıcaklık arttıkça artmaktadır (grafik olarak sunulmamıştır).

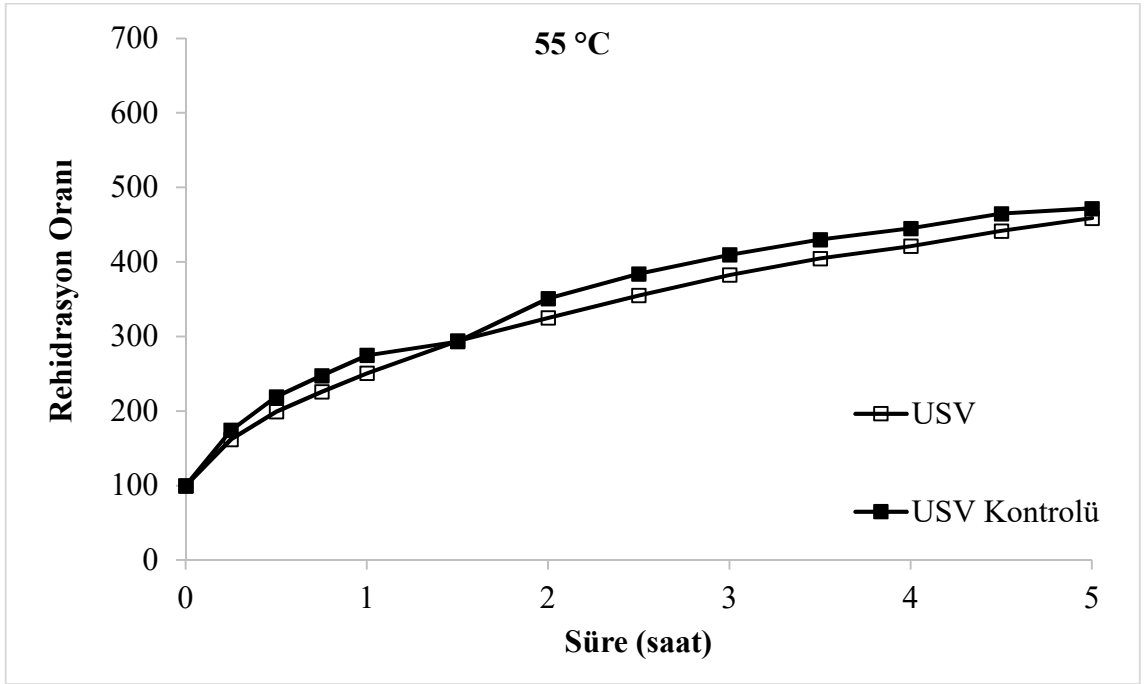
4.4 Rehidrasyon Oranı

Rehidrasyon oranının saptanması amacıyla yaklaşık %10 nem içeriğine sahip kurutulmuş numuneler, 5 saat boyunca oda sıcaklığındaki saf suda bekletilmiştir. İlk bir saat boyunca 15 dakikada bir ve sonraki saatlerde 30 dakikada bir tartım yapılmış ve daha sonra rehidrasyon oranlarının zamana bağlı değişimi Şekil 4.12-4.16’ da gösterilmiştir. Grafiklerden de anlaşılabileceği üzere zaman geçtikçe rehidrasyon oranı artmaktadır. Fakat zamanın sonuna yaklaştıkça artma hızı yavaşlamaktadır. Ultrasonik dalgalarla mikroskobik kanalların oluşumu sayesinde, kurutma oranı artabilir fakat gözenekli katı materyaller deforme olabilir bu yüzden de rehidrasyon oranı USV kurutma yöntemi ile kurutulan biberlerde daha az olmaktadır.

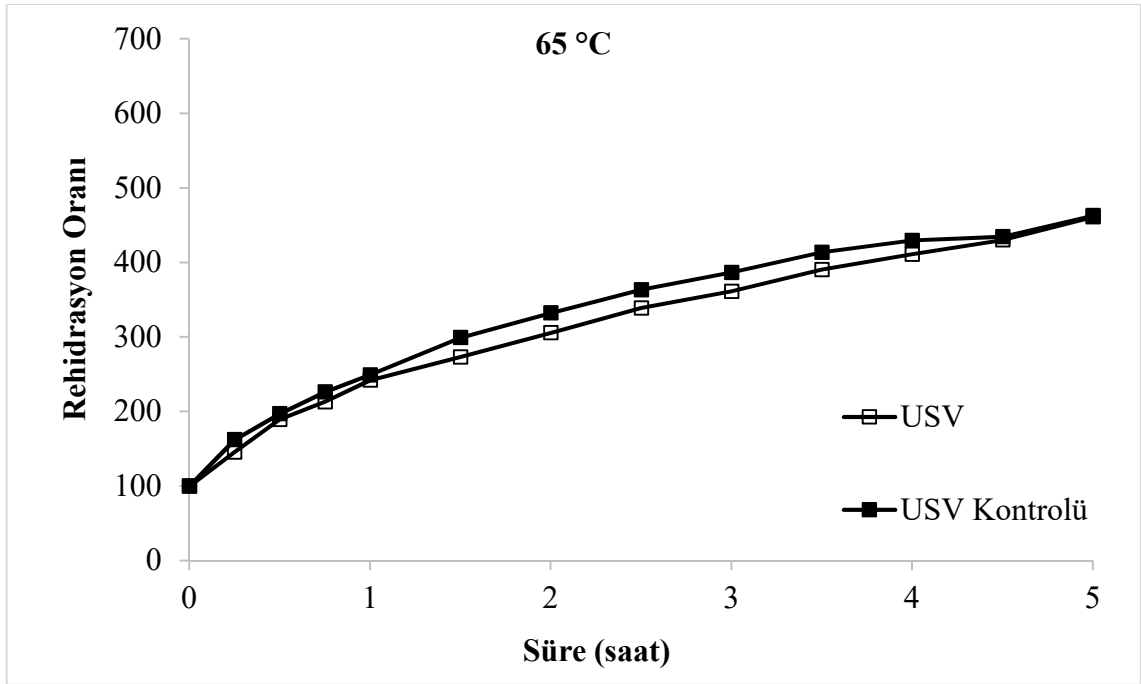
Vega-Ga’lvez vd. [9] kırmızıbiber numunelerini 50, 60, 70 ve 80 °C’de kurutmuşlar ve 30 °C’de rehidre etmişlerdir. Rehidrasyon oranı ile su tutma kapasitesi arasındaki ilişkiyi gösteren şekil incelendiğinde, kuru biberlerin tamamıyla rehidre olması için gerekli suyu ememedikleri sonucuna varılmıştır. Bu şekilden aynı zamanda, maksimum rehidrasyon oranının kurutma esnasında kullanılan havanın sıcaklığının bir fonksiyonu olduğu sonucuna da varılmıştır. Havanın sıcaklığı arttıkça emilen suyun miktarı da artmaktadır.



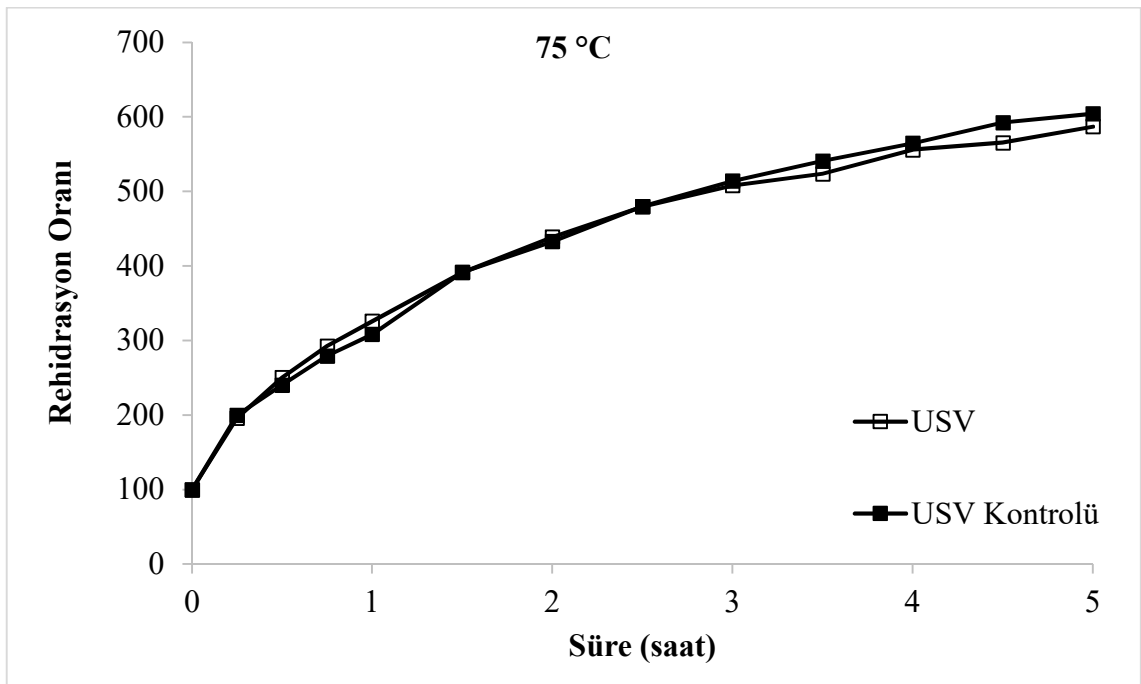
Şekil 4.12 USV kurutma yöntemi ve kontrol uygulaması ile 45 °C’de kurutulan kırmızıbiberlerin rehidrasyon oranlarının zamana bağlı değişimi



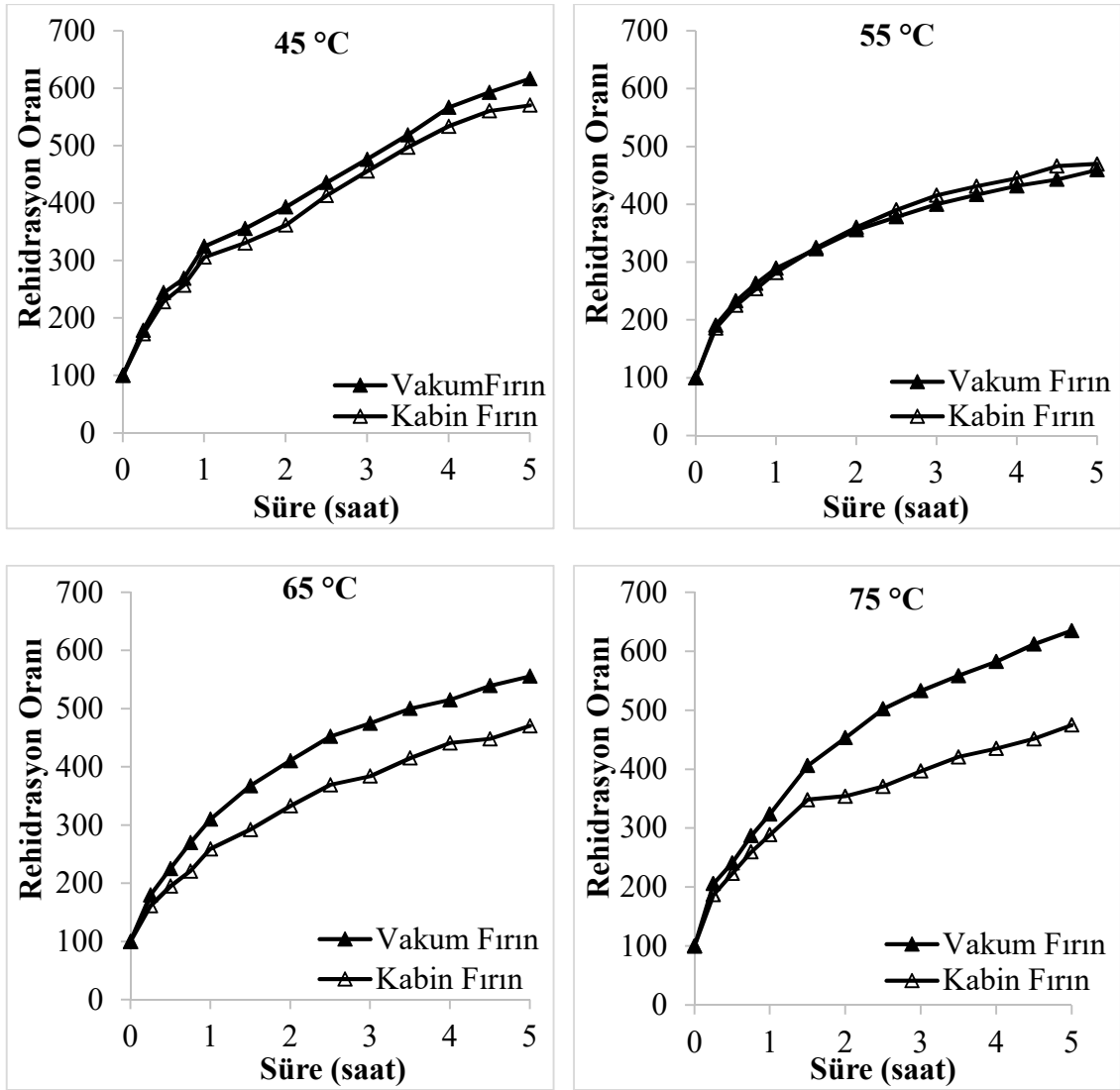
Şekil 4.13 USV kurutma yöntemi ve kontrol uygulaması ile 55 °C’de kurutulan kırmızıbiberlerin rehidrasyon oranlarının zamana bağlı değişimi



Şekil 4.14 USV kurutma yöntemi ve kontrol uygulaması ile 65 °C’de kurutulan kırmızıbiberlerin rehidasyon oranlarının zamana bağlı değişimi



Şekil 4.15 USV kurutma yöntemi ve kontrol uygulaması ile 75 °C’de kurutulan kırmızıbiberlerin rehidasyon oranlarının zamana bağlı değişimi



Şekil 4.16 Kabin ve vakum kurutma yöntemleri ile farklı sıcaklıklarda kurutulan kırmızıbiberlerin rehidasyon oranlarının zamana bağlı değişimi

Zura-Bravo vd. [19] 60 °C’de kuruttukları kırmızıbiberleri, 20, 40 ve 60 °C’de rehidre etmişlerdir ve rehidasyon sıcaklığının kırmızıbiberin suyu absorbe etmesinde çok önemli bir etken olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Rehidasyon boyunca suyun absorpsiyonunun ilk 2 saat içerisinde çok hızlı olduğu daha sonra nem içeriği dengeye ulaştıkça bu hızın azaldığı gözlenmiştir. Kaymak-Ertekin [110] tarafından yapılan çalışmada, 60 °C’de kurutulan kırmızıbiberlerin 25°C’de rehidasyonun ilk 2 saatinde rehidasyon oranının çok önemli bir artış olduğu ama dengeye yaklaşıırken artışta azalma olduğu gözlemlenmiştir.

4.5 Toplam Maya ve Küf Yükündeki Değişim

Kurutma işlemi uygulanmamış kırmızıbiberlerin toplam maya ve küf yükü 2,745-3,075 log kob/g arasında değiştiği belirlenmiştir. 75 °C’ de USV kurutma yöntemiyle kurutulan biberlerde ise toplam maya ve küf tespit edilememiştir (<2 log kob/g), USV kurutma yönteminin kontrol uygulaması ile aynı sıcaklıkta kurutulan biberlerde ise toplam yük $2,301 \pm 0,151$ log kob/g olarak bulunmuştur. Sonuçlar göstermektedir ki USV kurutma işlemiyle kurutulan biberlerdeki toplam maya küf yükü hem kurutulmamış hem de USV kontrol uygulamasıyla kurutulmuş numunelere göre istatistiksel olarak anlamlı seviyede düşük çıkmıştır ($P>0,05$). Sıcaklığın azalmasıyla, toplam maya ve küf yükündeki düşüş gözlemlense de bu istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($P>0,05$). 45 °C’ de USV kurutma yöntemi ile kurutma işleminde toplam yük $2,602 \pm 0,138$ log kob/g iken, kontrol uygulamasıyla $2,903 \pm 0,201$ log kob/g olarak hesaplanmıştır ($P>0,05$). 45 ve 55°C’de USV kurutma ve USV kurutma yönteminin kontrol uygulaması ile kurutulan kırmızıbiber numuneleri ile kontrol amaçlı kullanılan taze kırmızıbiber numunelerinin toplam maya ve küf yükü karşılaştırıldığında önemli derecede farklı olmadığı tespit edilmiştir ($P>0,05$). 65 °C’ de kurutulan numunelerin kontrol amaçlı kullanılan taze biberlerden önemli derecede farklı olduğu sonucuna varılmıştır ($P>0,05$). Fakat sadece 75 °C’de USV kurutma yöntemi ile kurutulan numuneler toplam maya küf yükü tespit edilemediği (<2 log kob/g) için hem işlem görmemiş/taze kırmızıbiberlerden hem de USV kurutma yönteminin kontrol uygulaması ile kurutulan numunelerden önemli derecede farklıdır ($P>0,05$).

Çizelge 4.6 USV kurutma yöntemi ve kontrol uygulaması ile kurutmanın numunelerin maya ve küf yüklerine etkileri

Sıcaklık (°C)	Taze Biber (log kob/g)	USV (log kob/g)	USV Kontrolü (log kob/g)
45	$2,745 \pm 0,128^a$	$2,602 \pm 0,138^a$	$2,903 \pm 0,201^a$
55	$2,456 \pm 0,677^a$	$2,477 \pm 0,296^a$	$2,801 \pm 0,199^a$
65	$2,885 \pm 0,039^b$	$2,329 \pm 0,129^a$	$2,452 \pm 0,188^a$
75	$3,075 \pm 0,123^c$	< 2 ^a	$2,301 \pm 0,151^b$

*Aynı satırda gösterilen aynı harfler mikrobiyal yükler arasındaki farkın ANOVA Duncan testine göre istatistiksel olarak önemli olmadığını ($P>0,05$) ifade eder.

4.6 Toplam Fenolik Madde Miktarındaki Değişim

Taze ve kuru kırmızıbiberlerin toplam fenolik madde (TFM) miktarı gallik asit eşdeğeri (GAE) kullanılarak belirlenmiştir. 45 °C’de vakum fırında kuruma ile en yüksek değer ($230,586 \pm 6,460$ mg/kg GAE) elde edilmişken en düşük değer ($214,895 \pm 20,174$ mg/kg GAE) 45 °C’de USV kurutma yönteminin kontrol uygulaması ile elde edilmiştir. Farklı sıcaklıklarda farklı metotlarla kurutulan kırmızıbiber numunelerindeki fenolik miktarlarının her bir sıcaklık değerinde, kontrol amaçlı kullanılan taze kırmızıbiberlerdeki fenolik madde miktarından önemli derecede farklı olduğu tespit edilmiştir ($P>0,05$). Antioksidan özellik gösteren ve bu sayede birçok hastalığın önlenmesinde etkin rol alan fenolik maddelerin miktarının, genellikle kurutma sıcaklığı artışı ile azaldığı sonucuna varılmıştır ve farkın önemli derecede farklı olduğu tespit edilmiştir ($P>0,05$). Fakat aynı sıcaklıkta kullanılan farklı kurutma metotlarının fenolik madde miktarlarında önemli farklar oluşturmadığı tespit edilmiştir ($P>0,05$). Hesaplanan toplam fenolik madde (TFM) miktarları Çizelge 4.7’de gösterilmiştir.

Özgür vd. [119] tarafından 45 °C’de sıcak hava ile kurutulmuş yeşil ve kırmızıbiberlerin fonksiyonel bileşenlerinin ve antioksidan özelliklerinin incelendiği çalışmada, taze kırmızıbiberlerin toplam fenolik miktarı $130,79 \pm 2,141$ mg GAE / g kuru ağırlık iken $89,82 \pm 4,721$ mg GAE / g kuru ağırlık olarak elde edilmiştir.

Vega-Gálvez vd. [4] tarafından 50 – 90 °C’de yapılan kurutma işleminde, kurutma sıcaklığının kırmızıbiberlerin kurutulma esnasında fiziko-kimyasal özelliklerine, antioksidan kapasitesine, rengine ve toplam fenolik madde miktarına etkisi araştırılmıştır. Başlangıçta, kırmızıbiberin fenolik miktarı 1359 ± 148 g GAE/g taze numune olarak tespit edilmiştir. Kurutulan numunelerin fenolik miktarı 400 mg GAE/100 g kuru ağırlık’tan daha az değerlerde elde edilmiştir ve sıcaklıkla azalmıştır.

Çizelge 4.7 Taze ve kuru kırmızıbiberlerin toplam fenolik madde (TFM) miktarı (mg/kg GAE)

Sıcaklık (°C)	Taze Biber	USV	USV Kontrolü	Kabin Fırın	Vakum Fırın
45	259.452 ^b ± 18.144	219.399 ^{aC} ± 11.395	214.895 ^{aB} ± 22.099	216.471 ^{aBC} ± 7.492	230.586 ^{aC} ± 7.077
55	267.447 ^b ± 23.936	194.099 ^{aB} ± 2.564	213.318 ^{aB} ± 15.325	202.508 ^{aAB} ± 3.611	201.081 ^{aB} ± 33.386
65	238.243 ^b ± 20.029	158.739 ^{aA} ± 5.149	164.895 ^{aA} ± 21.882	177.583 ^{aA} ± 42.194	149.204 ^{aA} ± 41.504
75	260.878 ^b ± 57.817	150.405 ^{aA} ± 14.349	190.345 ^{aAB} ± 45.812	169.625 ^{aA} ± 23.257	193.799 ^{aB} ± 25.602

*Aynı satırda gösterilen aynı harfler fenolik madde miktarındaki farkın ANOVA Duncan testine göre istatistiksel olarak önemli olmadığını ($P>0,05$) ifade eder. Büyük harfler analizin yukarıdan aşağıya yapıldığını gösterir.

4.7 DPPH Serbest Radikal Yakalama Aktivitesi Tayini

Taze ve kuru kırmızıbiberlerin DPPH serbest radikal yakalama aktivitesine göre başlangıç antioksidan aktivitesi $1137,9 \pm 306,49$ ile $1454,7 \pm 296,33$ arasında değiştiği tespit edilmiştir (Çizelge 4.8). 45 °C’de, vakum fırınla kurutulan kırmızıbiber numuneleri ve kontrol amaçlı kullanılan numunelerin antioksidan aktiviteleri karşılaştırıldığında önemli derecede farklı olmadığı tespit edilmiştir ($P>0,05$). Aynı zamanda, 45 °C’de USV kurutma yönteminin kontrol uygulaması ve kabin fırını ile kurutulan numunelerin antioksidan aktiviteleri arasında önemli derece fark olmadığı sonucuna varılmıştır ($P>0,05$). 75 °C’ de USV kurutma yöntemi ve kabin fırını ile kurutulan numunelerin vakum fırın ile kurutulan biberlerden önemli derecede farklı olmadığı ama USV kurutma yönteminin kontrol uygulaması ile kurutulan numunelerden önemli derecede farklı olduğu sonucuna varılmıştır ($P>0,05$). Ancak, 75 °C’de vakum fırınla kurutulan numunelerin USV kurutma yönteminin kontrol uygulaması ile kurutulanlardan önemli derecede farklı olmadığı sonucuna varılmıştır ($P>0,05$). Sıcaklık artışı ile modeller arasında önemli derecede fark olup olmadığı da incelenmiştir ve

Çizelge 4.7’de gösterilmiştir ($P>0,05$). Kırmızıbiberlerin antiradikal aktiviteleri genellikle fenolik madde, C vitamini ve karotenoid içeriğiyle ilişkilidir. Çizelge 4.7’den anlaşılabacağı üzere USV işleminin diğer işlemlere göre fenolik madde degradasyonu üzerine önemli bir etkisinin olmadığı anlaşılmaktadır. USV kurutma yöntemiyle kurutulan kırmızıbiberlerin antioksidan aktivitelerinin azalmasının nedeni toplam fenolik madde kaybından ziyade C vitamini ve karotenoid degradasyonu olduğu düşünülmektedir çünkü karotenoidler oksidasyona duyarlı bileşiklerdir ve kırmızıbiberde yüksek oranlarda bulunmaktadır [120].

Çizelge 4.8 Taze ve kuru kırmızıbiberlerin antioksidan aktiviteleri (mg/L troloks eşdeğeri)

Sıcaklık (°C)	Taze Biber	USV	USV Kontrolü	Kabin Fırını	Vakum Fırın
45	1454,7 ^c ± 296,33	830,5 ^{aC} ± 76,6	1172,8 ^{bB} ± 150,7	1105,8 ^{bB} ± 61,9	1432,3 ^{cC} ± 63,3
55	1300,8 ^d ± 253,85	717,9 ^{aB} ± 40,6	1146,9 ^{cdAB} ± 99,1	1026,8 ^{bcB} ± 128,9	915,6 ^{bB} ± 75,1
65	1325,7 ^c ± 112,78	647,1 ^{aAB} ± 75,8	1110,5 ^{bAB} ± 183,8	712,1 ^{aA} ± 120,1	811,7 ^{aAB} ± 177,4
75	1137,9 ^c ± 306,49	599,1 ^{aA} ± 51,7	940,4 ^{bcA} ± 141,3	634,2 ^{aA} ± 84,1	745,6 ^{abA} ± 35,6

*Aynı satırda gösterilen aynı harfler antioksidan aktivitelerindeki farkın ANOVA Duncan testine göre istatistiksel olarak önemli olmadığını ($P>0,05$) ifade eder. Büyük harfler analizin yukarıdan aşağıya yapıldığını gösterir.

Çalışma sonucunda elde edilen diğer bir sonuç antioksidan aktivitesinin sıcaklıkla azalmasıdır. En düşük antioksidan aktivitesi ($830,537 \pm 76,650$ mg/L Troloks eşdeğeri) USV kurutma yöntemi ile 45 °C’de elde edilmiştir. Bunun sebebinin düşük sıcaklıkta uzun kuruma süresinin antioksidan bileşikleri parçaladığı düşünülmektedir. Kim vd. [121] tarafından kurutulan kırmızıbiberlerin antioksidan aktivitesinin de kurutma koşullarıyla çok fazla etkilendiği sonucuna varmıştır. Konveksiyonel kurutma metodu

ile kurutulan biberlerin DPPH serbest radikal yakalam analiz değeri $28,05 \pm 1,23$ mg/g iken, modifiye edilmiş kurutma metodu ile kurutulan biberlerinki $9,43 \pm 0,22$ mg/g'dır.

4.8 Renk Değişimi

Taze ve kuru kırmızıbiberlerin yüzeylerindeki ΔL^* , Δa^* , Δb^* ve ΔE^* renk değerleri ve chroma (C^*) Hue açısı (H°) renk sistemi değerleri Çizelge 4.9'da gösterilmektedir. Çizelge 4.9 incelendiğinde, ΔL^* , Δa^* , Δb^* , ΔE^* , C^* ve H° değerleri sıcaklık değişimi ve kurutma metotlarının farklılaşmasıyla düzenli bir artış veya azalış gözlenememiştir. USV kurutma yöntemi ile elde edilen ΔE^* değerleri $3,260 \pm 0,654$ ile $8,224 \pm 0,589$ arasında değişirken, USV kurutma yönteminin kontrol uygulaması ile $2,757 \pm 0,437$ ile $9,716 \pm 0,551$ arasında değişmektedir. Vakum fırınında kurutma ile elde edilen ΔE^* değerleri ise $2,989 \pm 0,086$ ile $7,277 \pm 0,508$ arasında değişirken, kabin fırınında kurutma ile $3,907 \pm 0,645$ ile $7,544 \pm 1,066$ arasında değişmektedir. Dolayısıyla USV kurutma yöntemiyle yapılan kurutma işleminin diğer yöntemlere göre biraz fazla renk kalitesi üzerine etkisi bulunduğu ifade edilebilir.

Chroma (C^*) ve hue açısı (H°), renklerin üç boyutlu dağılımı hakkında, direk tristimulus ölçümünün değerlerinden çok daha fazla bilgi vermektedir [4]. Vega-Ga'ívez vd. [4] tarafından yapılan çalışmada, chroma değeri ve hue açısının sıcaklıktan etkilendiği sonucuna varılmıştır. USV kurutma yöntemi ile elde edilen C^* değerleri $41,021 \pm 0,323$ ile $41,798 \pm 0,322$ arasında küçük bir değişim gösterirken, USV kurutma yönteminin kontrol uygulaması olarak yapılan kurutma ile $37,233 \pm 5,092$ ile $44,981 \pm 0,617$ arasında değişmektedir. Vakum fırınında kurutma ile elde edilen C^* değerleri ise $36,862 \pm 0,229$ ile $41,999 \pm 0,118$ arasında değişirken, kabin fırınında kurutma ile $44,461 \pm 0,032$ ile $38,107 \pm 1,859$ arasında değişmektedir. Hue açısı USV kurutma sonucunda $0,367 \pm 0,022$ ile $0,420 \pm 0,029$ arasında değerler alırken, USV kurutma yönteminin kontrol uygulaması ile $0,352 \pm 0,052$ ile $0,444 \pm 0,029$ arasında; vakum fırınında kurutma ile $0,351 \pm 0,045$ ile $0,405 \pm 0,009$ arasında ve kabin fırınında kurutma ile $0,310 \pm 0,041$ ile $0,391 \pm 0,012$ arasında değerler almaktadır.

Çizelge 4.9 Farklı kurutma yöntemleriyle kurutulan kırmızıbiberlerin yüzeylerindeki renk değişiminin incelenmesi

Kurutma Metodu	Renk Değeri	Sıcaklık (°C)			
		45	55	65	75
USV	ΔL^*	$2,613 \pm 0,277$	$5,286 \pm 0,890$	$1,967 \pm 0,923$	$2,637 \pm 0,787$
	Δa^*	$4,902 \pm 0,115$	$4,163 \pm 1,053$	$2,045 \pm 0,258$	$3,070 \pm 1,323$
	Δb^*	$1,682 \pm 0,072$	$4,445 \pm 1,018$	$1,288 \pm 0,655$	$1,127 \pm 0,420$
	ΔE^*	$5,812 \pm 0,007$	$8,224 \pm 0,589$	$3,260 \pm 0,654$	$4,460 \pm 0,552$
	C*	$41,021 \pm 0,323$	$41,359 \pm 0,858$	$41,206 \pm 3,196$	$41,798 \pm 0,322$
	H°	$0,367 \pm 0,022$	$0,414 \pm 0,013$	$0,401 \pm 0,021$	$0,420 \pm 0,029$
USV Kontrol	ΔL^*	$7,880 \pm 0,113$	$4,820 \pm 0,720$	$6,385 \pm 0,448$	$2,078 \pm 0,708$
	Δa^*	$5,590 \pm 1,107$	$3,978 \pm 0,122$	$1,592 \pm 0,798$	$1,055 \pm 0,508$
	Δb^*	$0,298 \pm 0,195$	$4,282 \pm 1,332$	$0,943 \pm 0,037$	$1,247 \pm 0,217$
	ΔE^*	$9,716 \pm 0,551$	$7,718 \pm 0,352$	$6,707 \pm 0,232$	$2,757 \pm 0,437$
	C*	$42,322 \pm 0,194$	$44,981 \pm 0,617$	$37,233 \pm 5,092$	$39,271 \pm 0,561$
	H°	$0,362 \pm 0,033$	$0,444 \pm 0,029$	$0,352 \pm 0,052$	$0,385 \pm 0,013$
Kabin Fırını	ΔL^*	$6,542 \pm 0,358$	$1,510 \pm 0,283$	$1,622 \pm 0,052$	$5,063 \pm 2,333$
	Δa^*	$2,340 \pm 0,100$	$2,945 \pm 1,228$	$7,027 \pm 1,137$	$3,698 \pm 0,105$
	Δb^*	$1,685 \pm 0,415$	$1,728 \pm 0,388$	$2,180 \pm 0,063$	$3,710 \pm 0,147$
	ΔE^*	$7,166 \pm 0,262$	$3,907 \pm 0,645$	$7,544 \pm 1,066$	$7,514 \pm 1,448$
	C*	$41,702 \pm 0,610$	$40,227 \pm 1,245$	$44,461 \pm 0,032$	$38,107 \pm 1,859$
	H°	$0,391 \pm 0,012$	$0,357 \pm 0,019$	$0,310 \pm 0,041$	$0,338 \pm 0,128$
Vakum fırını	ΔL^*	$2,013 \pm 0,557$	$3,978 \pm 0,828$	$3,557 \pm 2,377$	$3,615 \pm 1,145$
	Δa^*	$1,450 \pm 0,903$	$2,810 \pm 0,203$	$4,008 \pm 1,848$	$2,835 \pm 2,165$
	Δb^*	$1,237 \pm 0,360$	$0,975 \pm 0,735$	$1,222 \pm 0,222$	$4,980 \pm 1,143$
	ΔE^*	$2,989 \pm 0,086$	$5,055 \pm 0,623$	$6,267 \pm 0,210$	$7,277 \pm 0,508$
	C*	$41,735 \pm 0,713$	$36,862 \pm 0,229$	$41,999 \pm 0,118$	$38,747 \pm 4,003$
	H°	$0,389 \pm 0,036$	$0,405 \pm 0,009$	$0,351 \pm 0,045$	$0,391 \pm 0,061$

Vega-Ga'ıvez vd. [4] tarafından yapılan çalışmada, 50, 60 70, 80 ve 90 °C'de kurutulan kırmızıbiberlerin ΔE^* değerlerinin 5.78 ± 2.91 ile 7.79 ± 2.16 arasında olduğu hesaplanmıştır. Benzer sonuçlar, Miranda vd. [122] tarafından da elde edilmiştir. Yüksek sıcaklığın protein ve karbohidrat gibi ısıya hassas bileşenleri etkilemesinden dolayı sıcaklık arttıkça ΔE^* değerleri de artmaktadır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında kırmızıbiberlerin, USV kurutma yöntemi, USV kurutma yönteminin kontrol uygulaması, kabin fırını ve vakum fırını yöntemleri ile 45, 55, 65 ve 75 °C sıcaklıklarda kurutulmuş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Biberlerin farklı kurutma yöntemleriyle kurutulma sürecinde nem oranının değişiminin modellenmesinde en uygun ince tabaka modellerinin Logarithmic, Page ve Wang and Singh modellerinin olduğu tespit edilmiştir.
2. USV kurutma yönteminin biberlerin kuruma süresinde %25'e kadar bir azalmaya, etkin nem difüzyonunda ise %89'a kadar bir artışa sebep olduğu ve USV kurutma yönteminin kırmızıbiberlerin kurutulmasında başarılı bir şekilde kullanılabileceği ortaya çıkmıştır.
3. USV kurutma yönteminin kurutma aktivasyon enerjisini düşürmesine rağmen ilave cihazların çalışmasından dolayı toplam enerji sarfiyatını artırdığı ortaya çıkmıştır.
4. USV kurutma yöntemi, kullanılan diğer kurutma yöntemlerine kıyasla biberlerin toplam fenolik madde içeriğinde önemli bir değişime sebep olmamasına rağmen, biberlerin antioksidan aktivitesini diğer yöntemlere kıyasla daha fazla azalttığı ortaya çıkmıştır.
5. USV kurutma yöntemiyle bazı sıcaklıklarda toplam maya ve küf sayısını kontrol uygulamasına kıyasla istatistiksel olarak önemli seviyede azalttığı belirlenmiştir.
6. Kırmızıbiberlerin USV kurutma yöntemiyle kurutulmasının rehidrasyon oranında bazı sıcaklıklarda önemli bir değişime sebep olmadığı bazı sıcaklıklarda ise kısmen azalmasına neden olduğu görülmüştür.

Elde edilen bu sonuçlar ışığında bu çalışma sonuçlarıyla ilgili olarak şu şekilde öneriler sunulabilir:

1. USV kurutma yönteminde kullanılan ultrases işleminin, gıdalardaki ısı ve kütle transferini hızlandırmasına rağmen antioksidan aktivitesinde azalmaya sebep olmasından dolayı kurutma işleminin tamamı yerine bir kısmında kullanılması denenebilir. Böylece yapılan yeni çalışmalarla etkileri incelenebilir.
2. Kullanılan biberlerde toplam maya ve küf içeriğinin başlangıç yükünün düşük olmasından dolayı USV kurutma işleminin ne ölçüde bir mikrobiyal dekontaminasyona sahip olduğu tam olarak belirlenememiştir. Bu nedenle kontrollü şartlarda mikrobiyal kontaminasyon sonrası USV işleminin etkinliği tam olarak tespit edilmesi önerilebilir.
3. Biber gibi kurutulmuş ürünlerin depolanma sürecinde mikotoksin oluşumu önemli bir problemdir. Ultrason işleminin bazı toksinleri degrede etme etkisi bilinmekte olup uzun kurutma işlemi boyunca ultrason uygulamasının mikotoksinleri degrede etme potansiyeli olmasından dolayı bu hususların araştırılması gerekmektedir.
4. Biberlerden daha kalın yapıda veya daha uzun sürede kuruyan gıdalarda USV yöntemiyle ultrasonun kütle ve ısı transferindeki etkinliğinin daha yüksek seviyede olması beklenmektedir. Bu nedenle daha kalın veya zor kuruyan başka gıdaların kurutulmasında daha iyi sonuçların alınması beklenmektedir.
5. USV kurutmada kullanılan ultrason işleminin rehidrasyon kalitesini artırması beklenmesine rağmen istenilen sonuç elde edilememiştir. Daha kalın gıdalarda rehidrasyon kalitesi üzerindeki etkisinin daha yüksek olabileceği ve bu tez çalışmasında elde edilen sonuçların ön yargı oluşturmaması gerektiği düşünülmekte ve bu hususun yapılacak araştırmalarla kesinleştirilmesi beklenmektedir. Biberlerde veya başka gıdalarda rehidrasyon kalitesinin azalmadan kuruma süresinin kısaltılması isteniyorsa kurutma prosesinin belirli dönemlerinde ultrason uygulaması ile veya ultrason şiddetinin optimize edilmesi gibi alternatif uygulamalar önerilebilir.
6. Burada ultrason kaynağı olarak ultrasonik su banyosu kullanılmış olup, ultrasonik dalgaların aktarılması sürecinde ses dalgalarının gücü azalmış olabilir.

Bu nedenle daha iyi sonuçların alınabilmesi için ultrasonik işlemcilerin kullanılması söz konusu olabilir.

Sonuç olarak mevcut tez çalışması çerçevesinde endüstriye aktarılabilir pratik bilgiler elde edilememiş olsa da bilimsel olarak çok önemli tespitler yapılmıştır. Uygulamaların geliştirilmesi ve ekipmanların en uygun kullanım şekillerinin belirlenmesi için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulduğu ve belirsizliklerin yapılan çalışmalarla giderilebileceği ortaya çıkmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Erbay, B. ve Küçüköner, E., (2008). “Gıda Endüstrisinde Kullanılan Farklı Kurutma Sistemleri”, Türkiye 10. Gıda Kongresi, Erzurum.
- [2] Vega, A., Fito, P., Andrés, A. ve Lemus, R., (2007). “Mathematical Modeling of Hot-Air Drying Kinetics of Red Bell Pepper (var. Lamuyo)”, *Journal of Food Engineering*, 79: 1460-1466.
- [3] Mason, T.J., Riera, E., Vercet, A. ve Lo’pez- Buesa, P., (2005). “Application of Ultrasound. Emerging Technology for Food Processing”, (editör: Sun, D. W.), Elsevier Academic Press, Londra.
- [4] Vega-Ga’lvez, A., Scala, K. D., Rodriguez, K., Lemus-Mondaca, R., Miranda, M., Lo’pez, J. ve Perez-Won, M., (2009). “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: 647-653.
- [5] Arslan, D. ve Özcan, M. M., (2011). “Dehydration of Red Bell-Pepper (*Capsicum Annuum* L.). Change in Drying Behavior, Colour and Antioxidant Content”, *Food And Bioproducts Processing*, 89: 504–513.
- [6] Scala, K. D. ve Crapiste G., (2008). “Drying Kinetics and Quality Changes During Drying of Red Pepper”, *LWT*, 41: 789-795.
- [7] Materska, M. ve Perucka, I., (2005). “Antioxidant Activity of The Main Phenolic Compound Isolated From Hot Pepper Fruit (*Capsicum annum*L.)”, *J Agric FoodChem*, 53: 1750–1756.
- [8] Nasıroğlu, S. ve Kocabıyık, H., (2008). “Thin-Layer Infrared Radiation Drying of Red Pepper Slices”, *Journal of Food Process Engineering*, 32: 1-16.
- [9] Vega-Ga’lvez, A., Lemus-Mondaca, R., Bilbao-Sa’inz, C., Fito, P. ve Andrés, A., (2008). “Effect of Air Drying Temperature on The Quality of Rehydrated Dried Red Bell Pepper (var. Lamuyo)”, *Journal of Food Engineering*, 85: 42-50.
- [10] Sun, T., Xu, Z., Wu, C.-T., Janes, M., Prinyawiwatkul, W. ve No, H. K., (2007). “Antioxidant Activities of Different Colored Sweet Bell Peppers (*Capsicum annuum* L.)”, *Journal of Food Science*, 72 (2): 98-102.

- [11] Kiranoudis, C. T., Maroulis, Z. B., Marinos- Kouris, D. ve Tsamparlis, M., (1997). “Design of Tray Dryers for Food Dehydration”, *Journal of Food Engineering*, 32: 269-291.
- [12] Akpınar, E. K., Bicer, Y. ve Yildiz, C., (2003). “Thin Layer Drying of Red Pepper”, *Journal of Food Engineering*, 59: 99–104.
- [13] Başlar, M., Kılıçlı, M., Toker, O., Sağdıç, O. ve Arici, M., (2014). “Ultrasonic Vacuum Drying Technique As A Novel Process for Shortening The Drying Period for Beef and Chicken Meats”, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 26: 182.
- [14] Başlar, M., Kılıçlı, M. ve Yalınkılıç, B., (2015). “Dehydration Kinetics of Salmon and Trout Fillets Using Ultrasonic Vacuum Drying As A Novel Technique”, *Ultrasonics Sonochemistry*, 27: 495-502.
- [15] He, Z., Yang, F., Peng, Y. ve Yi, S., (2013 a). “Ultrasound Assisted Vacuum Drying of Wood: Effects on Drying Time and Product Quality”, *BioResources*, 8(1): 855-863.
- [16] He, Z., Yang, F., Peng, Y. ve Yi, S., (2013 b). “Effects of Ultrasound on Wood Vacuum Drying Characteristics”, *Pro Ligno: Scientific Journal in the Field of Wood Engineering*, 9(4): 693-699.
- [17] Doymaz, İ. ve Pala, M., (2002). “Hot-Air Drying Characteristics of Red Pepper”, *Journal of Food Engineering*, 55: 331-335.
- [18] Alves-Filho, O., Eikevik, T., Mulet, A., Garau, C. ve Rossello, C., (2007). “Kinetics and Mass Transfer during Atmospheric Freeze Drying of Red Pepper”, *Drying Technology*, 25: 1155–1161.
- [19] Zura-Bravo, L., Vega-Gálvez, A., Lemus-Mondaca, L., Ah-Hen, K. S. ve Scala, K. D., (2013). “Effect of Temperature on Rehydration Kinetics, Functional Properties, Texture and Antioxidant Activity of Red Pepper var. Hungarian (*Capsicum annuum* L.)”, *Journal of Food Processing and Preservation*, 37: 74–85.
- [20] Arevalo-Pinedo, A., ve Murr, F. E. M., (2006). “Kinetics of vacuum drying of pumpkin (*Cucurbita maxima*): Modeling with shrinkage.”, *Journal of Food Engineering*, 76(4): 562–567.
- [21] Arevalo-Pinedo, A., ve Murr, F. E. M., (2007). “Influence of pre-treatments on the drying kinetics during vacuum drying of carrot and pumpkin.”, *Journal of Food Engineering*, 80(1): 152–156.
- [22] Bazyma, L. A., Guskov, V. P., Basteev, A. V., Lyashenko, A. M., Lyakhno, V., ve Kutuvoy, V. A., (2006). “The investigation of low temperature vacuum drying processes of agricultural materials.”, *Journal of Food Engineering*, 74(3): 410–415.
- [23] Cui, Z. W., Xu, S. Y. ve Sun, D. W., (2004). “Microwave-vacuum drying kinetics of carrot slices.”, *Journal of Food Engineering*, 65(2): 157–164.
- [24] Giri, S. K., ve Prasad, S., (2007). Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms. *Journal of Food Engineering*, 78(2), 512–521.

- [25] Kompany, E., Benchimol, J., Allaf, K., Ainseb, A.B., ve Bouvier, J.M., (1993). "Dehydration kinetics and modeling", *Drying Technology*, 11: 451–470.
- [26] Ferenczi, S., Czukor, B. ve Cserhalmi, Z., (2014). "Evaluation of Microwave Vacuum Drying Combined with Hot-Air Drying and Compared with Freeze- and Hot-Air Drying by the Quality of the Dried Apple Product", *Period. Polytech. Chem. Eng.*, 58(2):111-116.
- [27] Arevalo-Pinedo, A. ve Murr, F.E.X., (2006). "Kinetics of Vacuum Drying of Pumpkin (*Cucurbita Maxima*): Modeling With Shrinkage", *Journal of Food Engineering*, 76: 562–567.
- [28] Wu, L., Orikasa, T., Ogawa, Y. ve Tagawa, A., (2007). "Vacuum Drying Characteristics of Eggplants", *Journal of Food Engineering*, 83: 422–429.
- [29] Brown, M., (1999). "Focusing on Freeze-Drying", *Food Manufacture*, September, 74(9): 34–36.
- [30] Yongsawatdigul, J., (1995). "Microwave- Vacuum Crying of Cranberries: Part2", *Quality Evaluation*.
- [31] Mujumdar, A., (1987). "In Handbook of Industrial Drying", (New York: M. Dekker). 156-157.
- [32] Chou, S. K. ve Chua, K. J., (2001). "New Hybrid Drying Technologies For Heat Sensitive Foodstuffs" *Trends in Food Science and Technology*: 12, 359–369.
- [33] Kudra, T. ve Mujumdar, A., (2002). "Sonic Drying. In Advanced drying Technologies", New York: Marcel Dekker.
- [34] Aguilera, J. M., (2003). "Drying and Dried Products Under The Microscope", *Food Science and Technology International*, 9(3): 137-143.
- [35] Chen, X. ve Mujumdar, A., (2008). "In Drying Technologies in Food Processing" (Oxford: Blackwell Pub), 225-232.
- [36] Ratti, C., (2009). "In Advances in Food Dehydration" (Baco Raton: CRC Press)
- [37] Gunasekaran, S., (1999). "Pulsed Microwave-Vacuum Drying of Food Materials", *Drying Technology: An International Journal*, 17(3): 395-412, DOI: 10.1080/07373939908917542.
- [38] Devahastin, S., Suvarnakuta, P., Soponronnarit, S. ve Mujumdar, A.S., (2004). "A Comparative Study of Low-Pressure Superheated Steam and Vacuum Drying of A Heat-Sensitive Material", *Dry. Technol.*, 22: 1845–1867.
- [39] Thomkapanich, O., Suvarnakuta, P. ve Devahastin, S., (2007). "Study of Intermittent Low-Pressure Superheated Steam and Vacuum Drying of a Heat-Sensitive Material", *Drying Technology: An International Journal*, 25(1): 205-223, DOI: 10.1080/07373930601161146.
- [40] Chen, X. D. ve Mujumdar, A. S., (2008). "Drying Technologies in Food Processing", Wiley-Blackwell.

- [41] Avramidis, S., Liu, M. ve Neilson, B.J., (1994). "Radio-Frequency/Vacuum Drying of Softwoods: Drying of Thick Western Red Cedar With Constant Electrode Voltage", *Forest Products Journal*, 44(1): 41–47.
- [42] Kanagawa, Y. ve Yasujima, M., (1993). "Effect of Heat Sources on Drying Time in Vacuum Drying of Wood", *Vacuum Drying of Wood '93*, Slovakia, 292.
- [43] Cohen, J.S. ve Yang, T.C.S., (1995). "Progress in Food Dehydration", *Trends in Food Science and Technology*, 6(1): 20–25.
- [44] Ercan, S. ve Soysal, Ç., (2013). "Use of Ultrasound in Food Preservation", *Natural Science*, 5-13.
- [45] Mulet, A., Cárcel, J., Sanjuán, N. ve Bon, J., (2003). "New Food Drying Technologies - Use of Ultrasound", *Food Science and Technology International*, 215-221.
- [46] Mulet, A., Cárcel, J., García-Pérez, J. ve Riera, E., (2011). "In Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing", edited by Hao Feng, Gustavo Barbosa-Canovas, and Jochen Weiss, Springer New York.
- [47] Butz, P. ve Tauscher, B., (2002). "Emerging technologies: chemical aspects", *Food Res. Int.* 35: 279-284.
- [48] Mason, T.J. ve Peters, D., (2002). "Practical Sonochemistry", Horwood Publishing Limited.
- [49] Piyasena, P., Mohareb, E. and McKellar, R. C., (2003). "Inactivation of Microbes Using Ultrasound", *International Journal of Food Microbiology*, 87: 207– 216.
- [50] Duran, K., Bahtiyari, I. ve Körlü, A. E., (2006). "Ultrasound Teknology", *Tekstil Ve Konveksiyon*, 16: 155-158.
- [51] Vollmer, A.C. ve Kwakye, S., (1998). "Bacterial Stress Responses to 1-Megahertz Pulsed Ultrasound in The Presence of Microbubbles", *Appl. Environ. Microbiol.*, 64 (10): 3927-3931.
- [52] Fuente-Blanco, S. D. L., Sarabia, E. R. D., Acosta-Aparicio, V. M., Blanco-Blanco, A. ve Gallego- Juarez, J. A., (2006). "Food Drying Process by Power Ultrasound", *Ultrasonics*, 44(1): e523-e527.
- [53] Gallego-Juarez, J. A., Rodriguez-Corral, G., Galvez-Moraleda, J. C. ve Yang, T. S., (1999). "A New High Intensity Ultrasonic Technology for Food Dehydration", *Dry Technol.* 17(3): 597-608.
- [54] Guerrero, S., Lo'pez-Malo, A. ve Alzamora, S. M., (2001). "Effect of Ultrasound on The Survival of *Saccharomyces Cerevisiae*: Influence of Temperature, Ph and Amplitude", *Innovative Food Sci. Emerg. Technol.*, 2: 31-39.
- [55] Lo'pez-Malo, A., Palou, E., Jime'nez-Ferna'ndez, M., Alzamora, S.M. ve Guerrero, S., (2005). "Multifactorial Fungal Inactivation Combining Thermosonication and Antimicrobials", *J. Food Eng.*, 67: 87-93.
- [56] Anonim, (2012). "Karbondioksitin Gıda Endüstrisinde Kullanımı", Alıntı adresi:

- [57] <http://www.food.hacettepe.edu.tr/turkish/ouyeleri/gmu809/Karbondioksit.pdf>
- [58] USDA, (2000). “Kinetics of microbial inactivation for alternative food processing technologies: ultrasound”, Food and Drug Administration Report, Available at <http://www.vvm.cfsan.fda.gov/~comm/ift-us.html>.
- [59] Scherba, G., Weigel, R. M. and O'Brien Jr. W. D., (1991). “Quantitative Assessment of the Germicidal Efficacy of Ultrasonic Energy”, *Applied and Environmental Microbiology*, 57(7): 2079–2084.
- [60] Earnshaw, R.G., Appleyard, J. ve Hurst, R.M., (1995). “Understanding Physical Inactivation Processes: Combined Preservation Opportunities Using Heat”, *Ultrasound and Pressure*, *International Journal of Food Microbiology*, 28 (2): 197– 219.
- [61] Ercan, S.Ş. ve Soysal, Ç., (2011). “Ultrasonun Gıdalarda ve Enzimlerin İnaktivasyonunda Kullanılması”, *Gıda*, 36 (4): 225–231.
- [62] Ca'rcel, J.A., Garcia-Perez, J.V., Riera, E. ve Mulet, A. (2007). “Influence of High – Intensity Ultrasound on Drying Kinetics of Permission”, *Drying Technology*, 25: 185-193.
- [63] Garcia-Noguera, J., Oliveira, F. I. P., Gallão, M. I., Weller, C.L., Rodrigues, S. ve Fernandes, F. A. N., (2010). "Ultrasound-Assisted Osmotic Dehydration of Strawberries: Effect of Pretreatment Time and Ultrasonic Frequency", *Biological Systems Engineering: Papers and Publications*. Paper 190. <http://digitalcommons.unl.edu/biosysengfacpub/190>
- [64] Fernandes, F. A.N. ve Rodrigues, S., (2008). “Application of Ultrasound and Ultrasound-Assisted Osmotic Dehydration in Drying of Fruits”, *Drying Technology*, 26(12): 1509-1516.
- [65] Garcia-Perez, J.V., Riera, E., Ca'rcel, J. A. , Fuente-Blanco, S. D. L. ve Sarabia, E. R. D., (2006). “Ultrasonic drying of foodstuff in a fluidized bed: Parametric Study”, *Ultrasonics*, 44: e539-e543.
- [66] He, Z., Yang, F., Peng, Y. ve Yi, S., (2013). “Ultrasound Assisted Vacuum Drying of Wood Effects on Drying Time and Product Quality”, *BioResources*, 8(1): 855-863.
- [67] Tarleton, E. S., (1992). “The Role of Field-Assisted Techniques in Solid/Liquid Separation”, *Filtration Separation*, 3: 246–253.
- [68] Aversa, M., Van der Voort, A.J., Heij, W. D., Tournois, B. ve Curcio, S., (2011). “An Experimental Analysis of Acoustic Drying of Carrots: Evaluation of Heat Transfer Coefficients in Different Drying Conditions”, *Drying Technology*, 29: 239–244.
- [69] Jangam, S.V., (2011). “An Overview of Recent Developments and Some R&D Challenges Related to Drying of Foods”, *Drying Technology*, 29: 1343–1357.
- [70] Ca'rcel, J.A., Garcia-Perez, J.V., Riera, E. ve Mulet, A., (2011). “Improvement of Convective Drying of Carrot by Applying Power Ultrasound-Influence of Mass Load Density”, *Drying Technology*, 29: 174–182.

- [71] Zhao, F. ve Chen, Z.Q., (2011). "Numerical Study on Moisture Transfer in Ultrasound-Assisted Convective Drying Process of Sludge", *Drying Technology*, 29: 1404–1415.
- [72] Bantle, M. ve Eikevik, T.M., (2011). "Parametric study of high-intensity ultrasound in the atmospheric freeze drying of peas", *Drying Technology*, 29: 1230–1239.
- [73] Ashokkumar, M., (2011). In *Theoretical and Experimental Sonochemistry Involving Inorganic Systems*. (Dordrecht: Springer, p. 2-5).
- [74] Yalçın, D., (2008). "Kırmızı Pul Biber Üretiminde Kritik Kontrol Noktaları ve Tehlike Analizleri", *KSU Journal of Science and Engineering*, 11(2): 129-132.
- [75] Akgül, A., (1985). "Tad, Koku ve Renk Katkısı Olarak Kırmızıbiber", *GIDA*, 10 (6): 335-360.
- [76] Govindarajan, V.S., (1985). "Capsicum—Production, Technology, Chemistry and Quality. 1. History, Botany, Cultivation and Primary Processing", *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 22(2): 109-176.
- [77] Zechmeister, L., von Cholnoky, L., (1940). "Carotenoids of Hungarian Wheat Flour", *Ann. Chem.*, 543: 248.
- [78] Arıkan, B. C., (2004). Acı Kırmızıbiberin (*capsicum annuum* L.) Serum Leptin ve Serum Nitrik Oksit Düzeylerine Akut Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- [79] Mattheis, C., (2015), "12 Foods with More Vitamin C Than Oranges", <http://www.health.com/health/m/gallery/0,,20745689,00.html>
- [80] Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı
- [81] Türkiye Tarım Sektörü Raporu., (2013). TOBB Yayın No: 2014/230.
- [82] Abak, K., ve Pakyurek, Y., (1995). "Processes Needed to Take into Consideration at The Red Pepper Farming", in K. Maras. Sutcu Imam University Publications, 11: 5–6.
- [83] AOAC, (1990). "Official Methods of Analysis", 15th ed., Arlington, VA: Association of Official Analytical Chemists.
- [84] Jamradloedluk, J., Nathakaranakule, A., Soponronnarit, S. ve Prachayawarakorn, S., (2004). "Modelling of Dehydration and Rehydration Kinetics of Durian", *The Second International Conference on Innovations in Food Processings Technology and Engineering*, 11–13 January 2005 (pp. 267–277). Thailand: Asian Institute of Technology.
- [85] Doymaz, I., (2013). "Experimental Study on Drying of Pear Slices in a Convective Dryer", *International Journal of Food Science and Technology*, 48: 1909–1915.
- [86] Kothandarama, C. P., (2006). "Fundamentals of Heat and Mass Transfer", 3.baskı, New Age International (P) Ltd., 657-659.
- [87] Waananen, K. M., Lichfield, J.-B. ve Okos, M. R., (1993). "Classification of Drying Models for Porous Solids", *Drying Technology*, 11(1): 1-40.

- [88] Lewis, W. K., (1921). "The Rate of Drying of Solid Materials", *Industrial & Engineering Chemistry*, 13: 427-432.
- [89] Bruce, D. M., (1985). "Exposed Layer Barley Drying, Three Models Fitted New Data up to 1500c", *Journal of Agricultural Engineering Research*, 32: 337-347.
- [90] Page, G., (1949). "Factors Influencing The Maximum Rates of Air Drying Shelled Corn In Thin Layer", MS Thesis, Purdue University West Lafayette, Indiana: USA.
- [91] Madamba, P. S., Driscoll, R. H. ve Buckle K. A., (1996). "Thin Layer Drying Characteristics of Garlic Slices", *Journal of Food Engineering*, 29: 75-97.
- [92] Diamante, L. M., ve Munro, P. A., (1993). "Mathematical Modelling of The Thin Layer Solar Drying of Sweet Potato Slices", *Solar Energy*, 51: 271–276.
- [93] Yaldız, O., Ertekin, C., ve Uzun, H. I., (2001). "Mathematical Modelling of Thin Layer Solar Drying of Sultana Grapes", *Energy*, 26: 457–465.
- [94] Midilli, A., (2001). "Determination of Pistachio Drying Behaviour and Conditions in A Solar Drying System", *International Journal of Energy Research*, 25: 715–725.
- [95] Henderson, S. M. ve Pabis, S., (1961). Grain drying theory. I. Temperature Effect on Drying Coefficient", *J. Agric. Engrg. Res.*, 6: 169-174.
- [96] Wang, Z., Sun, J., Liao, X., Chen, F., Zhao, G., Wu, J. Ve Hu, X., (2007). "Mathematical Modelling on Hot Air Drying of Thin Layer Apple Pomace", *Food Research International*, 40: 39-46.
- [97] Henderson, S. M., (1974). "Progress in Developing The Thin Layer Drying Equation", *Transactions of the ASAE*, 17: 1167–1172.
- [98] Wang, C. Y., ve Singh, R. P., (1978). "A Single Layer Drying Equation for Rough Rice", *ASAE*, paper no. 3001.
- [99] Uylaşer, V. ve Başoğlu, F., (2014). "Temel Gıda Analizleri", İkinci Baskı, Dora Basım Yayın Ltd. Şti., Bursa.
- [100] Krokida, M. K. Ve Philippopoulos, C., (2005). "Rehydration of dehydrated foods", *Dry. Technol.*, 23: 799-830.
- [101] Cemeroğlu, B. (ed.) (2011). "Gıda Analizleri", Genişletilmiş 2. Baskı. (Bölüm yazarları: Cemeroğlu, Özkan, M., Yemenicioğlu, A., Kırca, A., Yemiş, O., Tağı, Ş. ve Türkyılmaz, M.). Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları No: 34, Bizim Büro Basımevi, Ankara, 557 s.
- [102] Sahin, S. ve Sumnu, S., (2006). Electromagnetic Properties. "In Physical Properties of Foods", (pp. 170-171). New York: Springer.
- [103] Folin, O. ve Ciocalteu, V., (1927). "On Tyrosine and Tryptophan Determination in Proteins", *Journal of Biology and Chemistry*, 27: 627-650.
- [104] Bramorski, A., Cherem, A.R., Marmentini, C. P., Torresani, J., Mezaadri, T. ve Costa, A. A. S., (2010). "Total Polyphenol Content and Antioxidant Activity of Commercial Noni (*Morinda Citrifolia* L.) Juice and its

- Components”, *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 46(4): 651-656.
- [105] Singleton, V.L. ve Rossi, J.A., (1965). “Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents”, *American Journal of Enology and Viticulture*, 16: 144-158.
- [106] Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E. ve Berset, C., (1995). “Use of Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity”, *Lebensm Wiss Technology*, 28: 25-30.
- [107] Sanchez-Moreno C., (2002). “Methods Used to Evaluate The Free Radical Scavenging Activity in Foods and Biological Systems”, *Food Sci Technol Int.*, 8(3): 121-137.
- [108] Padmanabhan, P. ve Jangle, S. N., (2012). “Evaluation of DPPH Radical Scavenging Activity and Reducing Power of Four Selected Medicinal Plants and Their Combinations”, *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Drug Research*, 4(2): 143-146.
- [109] Singh, R.P., Murthy, K.N.C. ve Jayaprakasha, G.K., (2002). “Studies on The Antioxidant Activity of Pomegranate (*Punica Granatum*) Peel and Seed Extracts Using in Vitro Models”, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50: 81-86.
- [110] Nasıroğlu, Ş., (2007). Kırmızı Biber, Elma ve Pırasanın Kurutulmasında Infrared Kurutma Tekniğinin Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, T.C. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Çanakkale.
- [111] Kaymak-Ertekin, F., (2002). “Drying and Rehydrating Kinetics of Green and Red Peppers”, *Journal of Food Science*, 67(1): 168-175.
- [112] Akpınar, E. K., (2004). “Energy and Exergy Analyses of Drying of Red Pepper Slices in A Convective Type Dryer”, *Int. Comm. Heat Mass Transfer*, 31(8): 1165–1176.
- [113] Kocayiğit, F., (2010). Bazı Sebzelerin Kurutma Karakteristiklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, T.C. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- [114] Tunde-Akintunde, T.Y. ve Ajala, A., (2010). “Air Drying Characteristics of Chili Pepper”, *International Journal of Food Engineering*, 6(1): Article 7.
- [115] Gupta, P., Ahmed, J., Shivhare, U.S. ve Raghavan, G.S.V., (2002), “Drying Characteristics of Red Chilli”, *Drying Technology*, 20: 1975-1987.
- [116] Kaleemullah, S. ve Kailappan, R., (2006). “Modelling of Thin-Layer Drying Kinetics of Red Chillies”, *Journal of Food Engineering*, 76: 531-537.
- [117] Panagiotou, N. M., Krokida, M. K., Maroulis, Z. B. ve Saravacos, G. D., (2004). “Moisture Diffusivity: Literature Data Compilation for Foodstuffs”, *International Journal of Food Properties*, 7(2): 273-299.
- [118] Zogzas, N.P., Maroulis, Z.B. ve Marinos-Kouris, D., (1996). “Moisture Diffusivity Data Compilation in Foodstuffs”, *Drying Technology*, 14: 2225-2253

- [119] Schossler, K., Jager, H. ve Knorr, D., (2012). Novel Contact Ultrasound System for the Accelerated Freeze-Drying of Vegetables, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 16, 113-120.
- [120] Özgür, M., Özcan, T., Akpınar-Bayızıt, A. ve Yılmaz-Ersan, L., (2011). “Functional Compounds and Antioxidant Properties of Dried Green and Red Peppers”, *African Journal of Agricultural Research*, 6(25): 5638-5644.
- [121] Yılmaz, İ., (2010). “Karotenoidler”, *İnönü Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi*, 17(3): 223-231.
- [122] Kim, S., Lee, K. W., Park, J., Lee, H. J. ve Hwang, I. K., (2006). “Effect of Drying in Antioxidant Activity and Changes of Ascorbic Acid and Colour by Different Drying and Storage in Korean Red Pepper (*Capsicum annuum*, L.)”, *International Journal of Food Science and Technology*, 41 (Supplement 1): 90–95.
- [123] Miranda, M., Maureira, H., Rodriguez, K. ve Vega-Gálvez, A., (2009). “Influence of Temperature on The Drying Kinetics, Physicochemical Properties, and Antioxidant Capacity of Aloe Vera (*Aloe Barbadensis* Miller) gel. *Journal of Food Engineering*, 91(2): 297–304.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Zeynep Hazal TEKİN
Doğum Tarihi ve Yeri :1991 / YALOVA
Yabancı Dili :İngilizce / Almanca
E-posta :zhazaltek@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul / Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Gıda Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi / ISTANBUL	2016
Lisans	Gıda Mühendisliği	Orta Doğu Teknik Üniversitesi / ANKARA	2014
Lise	Sayısal	Şehit Osman Altınkuyu Anadolu Lisesi / YALOVA	2009

YAYINLARI

Kitap bölümleri

Başlar, M., Biranger Yıldırım, H., Tekin, Z. H. ve Ertugay, M. F., Handbook of Ultrasonics and Sonochemistry. M. Ashokkumar (Ed.). “Ultrasonic applications for juice making”, Springer (In press).

Başlar, M., Toker, Ö. S., Karasu, S., Tekin, Z. H. ve Biranger Yıldırım, H., Handbook of Ultrasonics and Sonochemistry. M. Ashokkumar (Ed.), Handbook of Ultrasonics and Sonochemistry “Ultrasonic applications for food dehydration”, Springer (In press).

Kongre bildirisi

Tekin, Z. H. ve Başlar, M., (2015),”Kırmızıbiberlerin Ultrason Destekli Vakum Kurutma Yöntemiyle Kurutulmasının Mikrobiyal Etkilerinin Araştırılması”, 18. Biyoteknoloji Kongresi, 18-19 Aralık, KONYA.

Makaleler

Tekin, Z. H., Başlar, M., Karasu, S. and Kılıçlı, M., “Dehydration of green beans using ultrasound-assisted vacuum drying as a novel technique: Drying kinetics and quality parameters” (under review)

Tekin, Z. H. ve Başlar, M., “Enhancement of Dehydration Rate and Quality of Red Peppers: Ultrasound Assisted Vacuum Drying as a Novel Technique” (under review)