

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DOMATES, KABAK VE PATLICANIN KURUTMA KARAKTERİSTİKLERİNİN
BELİRLENMESİ VE MODELLENMESİ**

Naciye KUTLU

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ANKARA
2013**

Her hakkı saklıdır.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DOMATES, KABAK VE PATLICANIN KURUTMA KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE MODELLENMESİ

Naciye KUTLU

Ankara Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Aslı İŞÇİ

Bu çalışmanın amacı, kiraz domatesi (*Lycopersicon esculentum* var. *Cerasiforme*), kabak (*Cucurbita pepo*) ve patlıcanın (*Solanum melongena*) iki farklı yöntem (tepsili kurutucu ve mikrodalga kurutma) kullanılarak kurutulmasıdır. Kurutma deneyleri sırasında, farklı sıcaklıklar (60, 70 ve 80 °C), mikrodalga güçleri (140-720 W) ve örnek kalınlıkları (5 ve 10 mm) denenmiş olup, bu değişkenlerin, ürünün bazı özellikleri (kuruma hızı, süresi, nem içeriği, efektif difüzyon katsayısı, aktivasyon enerjisi, rengi ve rehidrasyon kapasitesi) üzerine etkisi araştırılmıştır. Kurutma sonrasında elde edilen ayrılabilir nem oranı (ANO) verilerinin 13 farklı modelle uyumu incelenmiş ve modellerdeki katsayılar doğrusal olmayan regresyon analizleri ile hesaplanmıştır. RMSE (tahmini standart hata), χ^2 (ki-kare) ve R^2 (belirleme katsayısı) değerleri hesaplanarak her deney için en uygun model belirlenmiştir. Kurutma sıcaklığının ve mikrodalga gücünün artırılması, örnek kalınlığının ise azaltılmasının, kurutma hızını arttırdığı gözlemlenmiştir. Kurutma hızını arttıran her faktör, kurutma süresinin de kısalmasına sebep olmuştur. Mikrodalga ile kurutmanın, tepsili kurutucu kullanılarak gerçekleştirilen kurutmaya göre süreyi patlıcan örneklerinde %55-62, kabak örneklerinde %52-58 ve domates örneklerinde %37-39 oranında azalttığı tespit edilmiştir. ANO verilerinin zamanla değişimi, farklı kurutma koşullarında değişik modellerle iyi uyum sağladığı görülmüştür. Efektif difüzyon katsayıları, tepsili kurutmada sıcaklık arttıkça, mikrodalga kurutmada ise mikrodalga gücü ile bir artış göstermiştir. Domates örnekleri hariç, tepsili kurutma sonrasında örneklerin renk değerlerinin kontrol örneğine (mikrodalgaya kıyasla) daha yakın olduğu gözlemlenmiştir. Tepsili kurutucu ile mikrodalga fırında kurutulan örneklerin rehidrasyon kapasiteleri karşılaştırıldığında, mikrodalgada kurutulan patlıcan ve kabak örneklerin yeniden su tutabilme özelliklerinin daha fazla olduğu bulunmuştur.

Ağustos 2013, sayfa 135

Anahtar Kelimeler: Patlıcan, domates, kabak, kurutma, modelleme

ABSTRACT

Master Thesis

DETERMINATION AND MODELLING OF TOMATO, ZUCCHINI AND EGGPLANT'S DRYING CHARACTERISTICS

Naciye KUTLU

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Science
Department of Food Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Aslı İŞÇİ

The aim of the study was to dry cherry tomato (*Lycopersicon esculentum* var. *Cerasiforme*), zucchini (*Cucurbita pepo*) and eggplant (*Solanum melongena*) by two different methods (tray dryer and microwave dryer). The effect of air temperature (60, 70 and 80 °C), microwave power (140-720 W) and sample thickness (5 and 10 mm) on some drying characteristics (drying rate, drying time, moisture content, effective diffusivity, activation energy, color and rehydration ratio) of tomato, zucchini and eggplant were investigated. Thirteen mathematical models available in the literature were fitted to the experimental moisture ratio data. The coefficients of the models were determined by non-linear regression analysis. RMSE (root mean square error), χ^2 (chi-square) and R^2 (coefficient of determination) values were used to compare the relative goodness of fit of experimental data. It was observed that increasing drying temperature and microwave power and reducing sample thickness improved the drying rate. These factors have also reduced the drying time. Drying in microwave oven has reduced the drying time by 55-62% for eggplant, 52-58% for zucchini and 37-39% for tomato samples. It was determined that the model that fits the moisture ratio data the best varies at different drying conditions. The effective moisture diffusivities increased with increasing temperature and microwave power. Excluding the tomato samples, tray drying preserved the color of the samples better than microwave drying. Eggplant and zucchini samples dried in microwave oven had better rehydration capacities compared to ones dried in tray drier.

August 2013, 135 pages

Key Words: Eggplant, tomato, zucchini, drying, modelling

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca bana her konuda destek olan, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan ve çalışmalarımda yol gösteren değerli danışmanım Yrd. Doç. Dr. Aslı İŞCİ'ye (Ankara Üniversitesi Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı),

Tez çalışmam konusunda her türlü konuda tecrübelerini benden esirgemeyen değerli hocalarım Yrd. Doç. Dr. Özge ŞAKIYAN DEMİRKOL (Ankara Üniversitesi Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı), Prof Dr. Bülent AKAY ve Yrd. Doç. Dr. Suna ERTUNÇ'a (Ankara Üniversitesi Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı),

Başta kardeşim Gamze KUTLU olmak üzere, maddi ve manevi desteğini tüm hayatım boyunca hissettiğim sevgili babam Hilmi KUTLU ve annem Hüsniye KUTLU'ya, ayrıca çalışmalarım boyunca beni motive eden tüm arkadaşlarıma sonsuz teşekkürler.

Naciye KUTLU

Ankara, Ağustos 2013

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	4
2.1 Kurutma Teknolojisi	4
2.2 Gıda Kurutma Yöntemleri.....	6
2.2.1 Güneşte kurutma	6
2.2.2 Dondurarak kurutma (Şoklama)	7
2.2.3 Tepsili kurutucular	8
2.2.4 İki katlı kurutucular.....	9
2.2.5 Konveyör kurutucular.....	9
2.2.6 Döner kurutucular.....	10
2.2.7 Tünel kurutucular	11
2.2.8 Püskürtmeli kurutucular	12
2.2.9 Akışkan yataklı kurutucular	12
2.2.10 Vakum kurutucular	13
2.2.11 Silindirik kurutucular	14
2.2.12 Mikrodalga kurutma	15
2.3 Kurutma Hızını Etkileyen Faktörler ve Kurutma Sırasında Oluşan Değişimler	17
2.4 Matematiksel Modelleme	19
2.4.1 Kurutma eğrilerinin modellenmesi	20
2.4.2 Difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi	22
2.5 Konu ile İlgili Yapılan Diğer Çalışmalar	24
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	30
3.1 Materyal.....	30
3.1.1 Denemelerde kullanılan örnekler	30
3.1.2 Kullanılan ekipmanlar	30
3.2 Yöntem	32
3.2.1 Örneklerin tepsili kurutucu ile kurutulması	32
3.2.2 Örneklerin mikrodalga ile kurutulması	32
3.2.3 Analizler	33
3.2.3.1 Ürün nem miktarı analizleri	33
3.2.3.2 Renk analizleri.....	34
3.2.3.3 Rehidrasyon kapasitesi analizleri	34
3.2.4 Hesaplamalar	35
3.2.4.1 Difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi hesaplamaları	35
3.2.4.2 Kurutma eğrilerinin matematiksel modellenmesi.....	37
3.2.4.3 Kurutma hızının hesaplanması.....	38
3.2.4.4 İstatistiksel analizler	38
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	39
4.1 Tepsili Kurutma	39

4.1.1 Patlıcan örnekleri.....	39
4.1.1.1 Kurutma sırasındaki nem değişimi bulguları.....	39
4.1.1.2 Matematiksel modelleme	43
4.1.1.3 Efektif difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi	47
4.1.1.4 Renk analizi bulguları.....	49
4.1.1.5 Rehidrasyon analizi bulguları.....	51
4.1.2 Kabak örnekleri.....	52
4.1.2.1 Kurutma sırasındaki nem değişimi bulguları.....	52
4.1.2.2 Matematiksel modelleme	56
4.1.2.3 Efektif difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi	59
4.1.2.4 Renk analizi bulguları.....	61
4.1.2.5 Rehidrasyon analizi bulguları.....	63
4.1.3 Kiraz Domatesi örnekleri.....	64
4.1.3.1 Kurutma sırasındaki nem değişimi bulguları.....	64
4.1.3.2 Matematiksel modelleme	67
4.1.3.3 Efektif difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi	69
4.1.3.4 Renk analizi bulguları.....	71
4.1.3.5 Rehidrasyon analizi bulguları.....	72
4.2 Mikrodalga Kurutma.....	73
4.2.1 Patlıcan örnekleri.....	73
4.2.1.1 Kurutma sırasındaki nem değişimi bulguları.....	73
4.2.1.2 Matematiksel modelleme	78
4.2.1.3 Efektif difüzyon katsayısı	82
4.2.1.4 Renk analizi bulguları.....	84
4.2.1.5 Rehidrasyon analizi bulguları.....	85
4.2.2 Kabak örnekleri.....	87
4.2.2.1 Kurutma sırasındaki nem değişimi bulguları.....	87
4.2.2.2 Matematiksel modelleme	92
4.2.2.3 Efektif difüzyon katsayısı	95
4.2.2.4 Renk analizi bulguları.....	97
4.2.2.5 Rehidrasyon analizi bulguları.....	99
4.2.3 Domates örnekleri.....	100
4.2.3.1 Kurutma sırasındaki nem değişimi bulguları.....	100
4.2.3.2 Matematiksel modelleme	104
4.2.3.3 Efektif difüzyon katsayısı	106
4.2.3.4 Renk analizi bulguları.....	108
4.2.3.5 Rehidrasyon analizi bulguları.....	109
5. SONUÇ.....	111
KAYNAKLAR	113
EKLER.....	120
EK 1 Tepsili kurutma sonrasında patlıcan, kabak ve kiraz domates örneklerinin model katsayıları ve istatistiksel parametreler.....	121
EK 2 Mikrodalga kurutma sonrasında patlıcan, kabak ve kiraz domates örneklerinin model katsayıları ve istatistiksel parametreler.....	128
ÖZGEÇMİŞ.....	135

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ANO	Ayrılabilir nem oranı (kg su/kg k.m.)
mm	Milimetre
°C	Santigrat derece
T	Sıcaklık
P	Güç
kg	Kilogram
g	Gram
k.m.	Kuru madde
y.b.	Yaş madde bazında
W	Watt
R^2	Belirtme katsayısı
RMSE	Tahmini standart hatası
χ^2	Ki-kare
EF	Model yeterliliği

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Ürün nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi.....	5
Şekil 2.2 Kurutma hızının kurutma süresi ile değişimi.....	5
Şekil 2.3 Çeşitli güneş enerjili kurutma sistemleri.....	7
Şekil 2.4 Dondurarak kurutma sisteminin şematik gösterimi	8
Şekil 2.5 Tepsili kurutucu cihazı.....	9
Şekil 2.6 Konveyör kurutucunun şematik gösterimi.....	10
Şekil 2.7 Döner kurutucunun şematik gösterimi.....	10
Şekil 2.8 Döner kurutucu cihazı.....	11
Şekil 2.9 Tünel kurutucunun şematik gösterimi	11
Şekil 2.10 Püskürtmeli kurutucunun şematik gösterimi	12
Şekil 2.11 Akışkan yataklı kurutucunun şematik gösterimi.....	13
Şekil 2.12 Vakum kurutucu cihazı	14
Şekil 2.13 Silindir kurutucu cihazı.....	14
Şekil 2.14 Endüstriyel mikrodalga cihazı	17
Şekil 3.1 Laboratuvar tipi tepsili kurutucu.....	31
Şekil 3.2 Tepsili kurutucu cihazı şematik gösterimi	31
Şekil 3.3 Anemometro, nem ölçer ve el termometresi.....	31
Şekil 3.4 Mikrodalga ve hassas terazi	32
Şekil 3.5 Nem tayin cihazı	33
Şekil 3.6 Renk ölçüm cihazı ve CIE L*,a*,b*,C* ve H sistemleri	34
Şekil 4.1 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklık (60, 70, 80 °C) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş patlıcan örneklerinin zamanla değişen nem içerikleri (kg su/kg k.m.)	40
Şekil 4.2 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklık (60, 70, 80 °C) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş patlıcan örneklerinin ayrılabilir nem oranlarının (ANO) zamanla değişimi	40
Şekil 4.3 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklık (60, 70, 80 °C) kurutulmuş patlıcan örneklerinin (5 mm kalınlık) ANO ile değişen kurutma hızı (kg su/kg k.m.dk).....	41
Şekil 4.4 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklık (60, 70, 80 °C) kurutulmuş patlıcan örneklerinin (10 mm kalınlık) ANO ile değişen kurutma hızı (kg su/kg k.m.dk).....	41
Şekil 4.5 Tepsili kurucuda farklı sıcaklık (60,70, 80 °C) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş patlıcan örneklerinin kurutma süreleri (dk).....	43

Şekil 4.6 Tepsili kurutucuda farklı kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş patlıcan örneklerinin D_{eff} değerleri ile kurutma sıcaklıkları arasındaki Arrhenius ilişkisi	49
Şekil 4.7 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklık (60, 70, 80 °C) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş patlıcan örneklerinin kalınlık ve sıcaklıkla değişen rehidrasyon oranları (g tutulan su/g kuru madde)	52
Şekil 4.8 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklık (60, 70, 80°C) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş kabak örneklerinin zamanla değişen nem içerikleri (kg su/kg k.m.).....	53
Şekil 4.9 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklık (60, 70, 80 °C) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş kabak örneklerinin ayrılabilir nem oranlarının (ANO) zamanla değişimi	54
Şekil 4.10 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklık (60, 70, 80 °C) kurutulmuş kabak örneklerinin (5 mm kalınlık) ANO ile değişen kurutma hızı (kg su/kg k.m.dk).....	54
Şekil 4.11 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklık (60, 70, 80 °C) kurutulmuş kabak örneklerinin (10 mm kalınlık) ANO ile değişen kurutma hızı (kg su/kg k.m.dk)	55
Şekil 4.12 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklık (60, 70, 80 °C) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş patlıcan örneklerinin kurutma süreleri (dk)	56
Şekil 4.13 Tepsili kurutucuda farklı kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş kabak örneklerinin D_{eff} değerleri ile kurutma sıcaklıkları arasındaki Arrhenius ilişkisi	61
Şekil 4.14 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklık (60, 70, 80 °C) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş kabak örneklerinin kalınlık ve sıcaklıkla değişen rehidrasyon oranları (g tutulan su/g kuru madde)	64
Şekil 4.15 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklıklarda (60, 70, 80 °C) kurutulmuş domates örneklerinin zamanla değişen nem içerikleri (kg su/kg k.m.)	66
Şekil 4.16 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklıklarda (60, 70, 80 °C) kurutulmuş domates örneklerinin zamanla değişen ayrılabilir nem oranları (ANO).....	66
Şekil 4.17 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklıklarda (60, 70, 80 °C) kurutulmuş domates örneklerinin ANO ile değişen kurutma hızı (kg su/kg k.m.dk).....	67
Şekil 4.18 Tepsili kurutucuda kurutulmuş domates örneklerinin D_{eff} değerleri ile kurutma sıcaklıkları arasındaki Arrhenius ilişkisi	71
Şekil 4.19 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklıklarda (60, 70, 80 °C) kurutulmuş domates örneklerinin sıcaklıkla değişen rehidrasyon oranları (g tutulan su/g kuru madde)	73

Şekil 4.20 Mikrodalga fırında farklı güç (180, 450, 720 W) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş patlıcan örneklerinin zamanla değişen nem içerikleri (kg su/kg k.m.).....	75
Şekil 4.21 Mikrodalga fırında farklı güç (180, 450, 720 W) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş patlıcan örneklerinin zamanla değişen ayrılabilir nem oranları (ANO)	75
Şekil 4.22 Mikrodalga fırında farklı güç (180, 450, 720 W) kurutulmuş patlıcan örneklerinin (5 mm kalınlık) ANO ile değişen kurutma hızı (kg su/kg k.m. .dk).....	76
Şekil 4.23 Mikrodalga fırında farklı güç (180, 450, 720 W) kurutulmuş patlıcan örneklerinin (10 mm kalınlık) ANO ile değişen kurutma hızı (kg su/kg k.m..dk).....	76
Şekil 4.24 Mikrodalga fırında farklı güç (180, 450, 720 W) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş patlıcan örneklerinin kurutma süreleri (s).....	78
Şekil 4.25 Mikrodalga fırında kurutulmuş farklı kalınlardaki patlıcan (5 ve 10 mm) örneklerinin $\ln(D_{eff})$ (m^2/s) değerlerinin ürün ağırlığının mikrodalga gücüne (g/W) oranıyla değişimi	84
Şekil 4.26 Mikrodalga kurutucuda farklı mikrodalga güç (180, 450, 720 W) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş patlıcan örneklerinin kalınlık ve mikrodalga gücü ile değişen rehidrasyon oranları (g tutulan su/g kuru madde)	87
Şekil 4.27 Mikrodalga fırında farklı güç (180, 360, 540 W) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş kabak örneklerinin zamanla değişen nem içerikleri (kg su/kg k.m.).....	88
Şekil 4.28 Mikrodalga fırında farklı güç (180, 360, 540 W) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş kabak örneklerinin zamanla değişen ayrılabilir nem oranları (ANO)	89
Şekil 4.29 Mikrodalga fırında farklı güç (180, 360, 540 W) kurutulmuş kabak örneklerinin (5 mm kalınlık) ANO ile değişen kurutma hızı (kg su/kg k.m..dk).....	89
Şekil 4.30 Mikrodalga fırında farklı güç (180, 360, 540 W) kurutulmuş kabak örneklerinin (10 mm kalınlık) ANO ile değişen kurutma hızı (kg su/kg k.m..dk).....	90
Şekil 4.31 Mikrodalga fırında farklı güç (180, 360, 540 W) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş kabak örneklerinin kurutma süreleri (s).....	91
Şekil 4.32 Mikrodalga fırında kurutulmuş farklı kalınlıklardaki kabak (5 ve 10 mm) örneklerinin $\ln(D_{eff})$ (m^2/s) değerlerinin ürün ağırlığının mikrodalga	

gücüne g/W) oranıyla değişimi.....	97
Şekil 4.33 Mikrodalga kurutucuda farklı mikrodalga güç (180, 360, 5440 W) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş kabak örneklerinin kalınlık ve mikrodalga gücü ile değişen rehidrasyon oranları (g tutulan su/g kuru madde)	100
Şekil 4.34 Mikrodalga fırında farklı güçlerde (140, 210, 280 W) kurutulmuş domates örneklerinin zamanla değişen nem içerikleri (kg su/kg k.m.)	101
Şekil 4.35 Mikrodalga fırında farklı güçlerde (140, 210, 280 W) kurutulmuş domates örneklerinin zamanla değişen ayrılabilir nem oranları (ANO).....	102
Şekil 4.36 Mikrodalga fırında farklı güçlerde (140, 210, 280 W) kurutulmuş domates örneklerinin ANO ile değişen kurutma hızı (kg su/kg k.m..dk).....	102
Şekil 4.37 Mikrodalga fırında kurutulmuş domates örneklerinin $\ln(D_{eff})$ (m^2/s) değerlerinin ürün ağırlığının mikrodalga gücüne (g/W) oranıyla değişimi.....	108
Şekil 4.38 Mikrodalga fırında farklı güçlerde (140, 210, 280 W) kurutulmuş domates örneklerinin mikrodalga gücü değişen rehidrasyon oranları (g tutulan su/g k.m.).....	110

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Gıda Kurutma proseslerinde kullanılan matematiksel modeller.....	20
Çizelge 4.1 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklık (60, 70, 80 °C) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş patlıcan örnekleri için kullanılan ANO modellerinin istatistiksel parametreleri	44
Çizelge 4.2 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklık (60, 70, 80 °C) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş patlıcan örnekleri için kullanılan modellerin katsayıları	47
Çizelge 4.3 Tepsili kurutucuda farklı kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş patlıcan örneklerinin model katsayılarının sıcaklığa bağlı olarak değişimi ile elde edilen eşitlikler	47
Çizelge 4.4 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklık (60, 70, 80 °C) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş patlıcan örneklerinin D_{eff} değerleri	49
Çizelge 4.5 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklık (60, 70, 80 °C) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş patlıcan örneklerinin renk değerleri	51
Çizelge 4.6 Tepsili Kurutucuda farklı sıcaklık (60, 70, 80 °C) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş kabak örnekleri için kullanılan ANO modellerinin istatistiksel parametreleri	57
Çizelge 4.7 Tepsili Kurutucuda farklı sıcaklık (60, 70, 80 °C) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş kabak örnekleri için kullanılan ANO modellerinin istatistiksel parametreleri	59
Çizelge 4.8 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklık (60, 70 ve 80°C) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş kabak örneklerinin D_{eff} değerleri	60
Çizelge 4.9 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklık (60, 70, 80 °C) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş kabak örneklerinin renk değerleri	63
Çizelge 4.10 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklıklarda (60, 70, 80 °C) kurutulmuş domates örnekleri için kullanılan ANO modellerinin istatistiksel parametreleri	68
Çizelge 4.11 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklıklarda (60, 70, 80 °C) kurutulmuş domates örnekleri için kullanılan modellerin katsayıları	69
Çizelge 4.12 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklıklarda (60, 70, 80 °C) kurutulmuş domates örneklerinin D_{eff} değerleri	70
Çizelge 4.13 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklıklarda (60, 70, 80 °C) kurutulmuş domates örneklerinin renk değerleri	72

Çizelge 4.14 Farklı mikrodalga güç (180, 450 ve 720 W) ve farklı kalınlıklarda (5 ve 10 mm) patlıcan örneklerinin hesaplanmış toplam kurutma süreleri	78
Çizelge 4.15 Mikrodalga fırında farklı güç (180, 450, 720 W) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş patlıcan örnekleri için kullanılan ANO modellerinin istatistiksel parametreleri	79
Çizelge 4.16 Mikrodalga fırında farklı güç (180, 450 ve 720 W) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş patlıcan örnekleri için kullanılan model katsayıları.....	82
Çizelge 4.17 Mikrodalga fırında farklı mikrodalga güç (180, 450, 720 W) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş patlıcan örneklerinin D_{eff} değerleri..	83
Çizelge 4.18 Mikrodalga fırında farklı güç (180, 450, 720 W) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş patlıcan örneklerinin renk değerleri.....	85
Çizelge 4.19 Farklı mikrodalga güç (180, 450 ve 720 W) ve farklı kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kabak örneklerinin hesaplanmış toplam kurutma süreleri	92
Çizelge 4.20 Mikrodalga fırında farklı güç (180, 360, 540 W) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş kabak örnekleri için kullanılan ANO modellerinin istatistiksel parametreleri	93
Çizelge 4.21 Mikrodalga fırında farklı güç (180, 360, 540 W) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş kabak örnekleri için kullanılan modellerin katsayıları ..	95
Çizelge 4.22 Mikrodalga fırında farklı güç (180, 360 ve 540 W) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş kabak örneklerinin D_{eff} değerleri	96
Çizelge 4.23 Mikrodalga fırında farklı güç (180, 360, 540 W) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş kabak örneklerinin renk değerleri	98
Çizelge 4.24 Farklı mikrodalga güçlerinde (140, 210 ve 280 W) kurutulan domates örneklerinin hesaplanmış toplam kurutma süreleri	103
Çizelge 4.25 Mikrodalga fırında farklı güçlerde (140, 210, 280 W) kurutulmuş domates örnekleri için kullanılan ANO modellerinin istatistiksel parametreleri.....	104
Çizelge 4.26 Mikrodalga fırında farklı güçlerde (140, 210, 280 W) kurutulmuş domates örnekleri için kullanılan modellerin katsayıları	106
Çizelge 4.27 Mikrodalga fırında kurutulmuş domates örneklerinin model katsayılarının sıcaklığa bağlı olarak değişimi ile elde edilen eşitlikler	106
Çizelge 4.28 Mikrodalga fırında farklı güçlerde (140, 210 ve 280 W) kurutulmuş domates örneklerinin D_{eff} değerleri	107
Çizelge 4.29 Mikrodalga fırında farklı güçlerde (140, 210, 280 W) kurutulmuş domates örneklerinin renk değerleri	109

1. GİRİŞ

Kurutma işleminin amacı genel bir bakış açısıyla, gıdanın içerdiği %80-90 oranındaki suyu %10-20 oranına düşürerek, ürünün raf ömrünü arttırmaktır. Su oranı düşük olan gıdada, mikrobiyolojik bozulma ve enzim aktivitesi en alt seviyededir. Kurutulmuş ürünün depolanması ve sevkiyatı da kolay ve daha az masraflı olmaktadır. Aynı zamanda, kurutma birçok yöntemden daha ucuz bir muhafaza yöntemi olup, daha az işçilik ve daha az alet ekipman gerektirmektedir. Ek olarak, kurutulmuş gıdalar diğer koruma yöntemleri uygulanmış gıdalara göre, besin öğeleri özellikle de lif içeriği açısından daha zengin durumdadır (Cemeroğlu 2004).

Meyve ve sebzelerde kurutma işlemi eski çağlardan beri kullanılan, gıda koruma yöntemlerinden biridir. Kurutmanın tarihine bakıldığında, kurutma işleminin ilk kez 18. yüzyılda yapıldığı ve kurutulan gıdanın da sebze olduğu görülmektedir. Kurutma işlemi, eski tarihlerde sadece güneş ile doğal yolla yapılmakta idi. Fakat güneş ışınlarının sadece yılın belli dönemlerinde etkili olması, geniş alanlara ve uzun süreye ihtiyaç olması, böceklenme, tozlanma gibi hijyenik nedenlerden dolayı artık çok tercih edilmemektedir. Sonrasında ise, özellikle savaş dönemlerinde kurutma işlemi büyük bir gelişme göstermiş ve bugünkü seviyesine gelme süresi hızlanmıştır (Saldamlı ve Saldamlı 2004).

Kurutma sistemleri, “konveksiyon kurutma”, “kondüksiyon kurutma” ve “radyasyonla kurutma” olmak üzere başlıca üç farklı yöntemle ayrılabilir (Cemeroğlu ve Acar 1986). Konveksiyon kurutmada (sıcak hava ile kurutma), buharlaştırma için gerekli olan sıcak gaz (hava) kurutulacak maddenin içinden, üzerinden ve arasından geçirilir, kurutucu yüzeye temas yoktur. Bu yöntemle örnek olarak akışkan yatak kurutucular ve püskürtmeli kurutucular verilebilir (Bulduk 2006). Kondüksiyon kurutmada, buharlaştırma için gerekli ısı, sıcak bir yüzeyden kurutulacak olan maddeye iletilir. Radyasyonla kurutmada ise, kurutulacak maddeye ısı, elektromanyetik dalgalar şeklinde transfer edilir (Cemeroğlu ve Acar 1986).

Günümüzde kurutma işleminin endüstriyel anlamda yapılabildiği birçok kurutma sistemi geliştirilmiştir (Doymaz 2003). Bu amaçla geliştirilen kurutma sistemlerinden bazıları şöyledir; kabin tipi kurutucular, tünel kurutucular, akışkan yataklı kurutucular, vakum kurutucular, mikrodalga, döner kurutucular, dondurmalı kurutucular, tepsili kurutucular, püskürtmeli kurutuculardır (Cemeroğlu 2004, Günerhan 2005). Kurutucular ile ilgili detaylı bilgi bölüm 2’de “Gıda Kurutma Yöntemleri” başlığı altında verilmiştir.

Dünyada kurutma endüstrisi oldukça gelişmekte olup, üretimin büyük bir bölümü, A.B.D (297.500 ton) ve Türkiye’de (190.000 ton) gerçekleşmektedir (Erbay ve Küçüköner 2008). Kurutulmuş meyve ve sebze pazarı, Japonya’da 7.6 milyar dolar ve Çin’de 800 milyon dolar olarak belirlenmiştir ve bu eğilimin tüm ülkeler için gelecek yüzyılda artması beklenmektedir (Zhang vd. 2006).

Türkiye’de sebzeler genellikle yaş tüketilmektedir. Türkiye, dünyada yaş sebze üretiminde önemli bir yerdedir. 2006 yılı verilerine göre toplam sebze üretimi 24 milyon ton olup, domates ilk sırada olmak üzere, patates ve biber en çok üretilen sebzelerdendir. Fakat son yıllarda insanların, daha kolay ve hızlı yapılabilen yemek arayışına girmesi nedeni ile sebzelerin kuru olarak tüketimi de giderek artmıştır. Kuru sebzeler, hazır çorba, bebek mamaları ve sos üretiminde direk olarak kullanılabildikleri için çok tercih edilmektedirler. Toplam kurutulmuş sebze ihracatımızın yaklaşık %92’sini domates oluşturmaktadır. İhracattaki diğer önemli kurutulmuş sebzeler ise, mantar, patlıcan ve kabaktır. 2007 yılı verilerine göre, kurutulmuş patlıcanda en çok Almanya’ya ihracat yapılmış olup, bu sırayı Fransa ve Hollanda takip etmektedir. Kurutulmuş kabakta ise yine en çok ihracat yapılan ülke Almanya olup, Fransa ve İtalya ikinci ve üçüncü sırada gelmektedir (Aytaç 2008).

Matematiksel modelleme, gerçek dünya problemlerinin matematiksel terimlerle çözümünü bulmayı temsil eden bir yöntemdir. Modelleme ile kurutma gibi gerçek bir sistemin davranışı incelenebilmekte ya da sistemden istenen sonuçların alınabilmesi için gereken koşullar belirlenebilmektedir.

Bu çalışmanın amacı, kiraz domatesi (*Lycopersicon esculentum* var. *Cerasiforme*), kabak (*Cucurbita pepo*) ve patlıcanın (*Solanum melongena*) iki farklı yöntem (tepsili kurutucu ve mikrodalga kurutma) kullanılarak kurutulmasıdır. Kurutma sırasında farklı sıcaklıklar (60, 70 ve 80 °C), mikrodalga güçleri (140-720 W) ve patlıcan ile kabakta farklı kalınlıklar (5 ve 10 mm) denenmiş olup bu parametrelerin kurutma karakteristikleri (kuruma hızı, süresi, nem içeriği, efektif difüzyon katsayısı, aktivasyon enerjisi, rengi ve rehidrasyon kapasitesi) üzerine etkisi incelenmiştir. Denemeler sonunda edilen nem değişimi verileri, matematiksel modeller ile açıklanmış ve en iyi uyum gösteren modeller belirlenmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

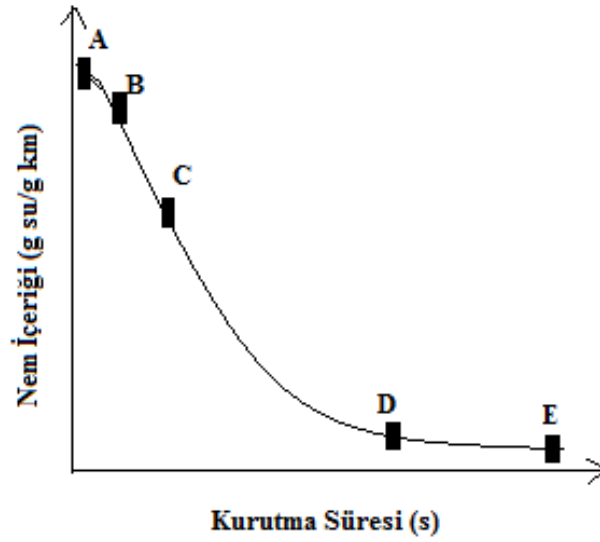
2.1 Kurutma Teknolojisi

Kurutma, genel tanımı ile gıdadan suyun uzaklaştırılmasıdır ve uzun süreli depolama için en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Kurutma ile gıdanın dayanıklılığı (raf ömrü) arttırılmaktadır. Ayrıca nem kaybettikten sonra ağırlığı da azalacağından kurutulan gıdanın nakliye işlemi de kolaylaşmaktadır. Kurutma işlemi, su miktarını azalttığından ürünün mikrobiyal aktivitesi önemli ölçüde düşer ve depolama boyunca meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişimler minimum seviyede kalır (Hatamipour vd. 2007). Bu aşamada depolama koşulları çok önem taşımaktadır. Ürünler kurutulduktan sonra, nem, sıcaklık ve hava hızı ayarlanabilen depolarda saklanmalıdır.

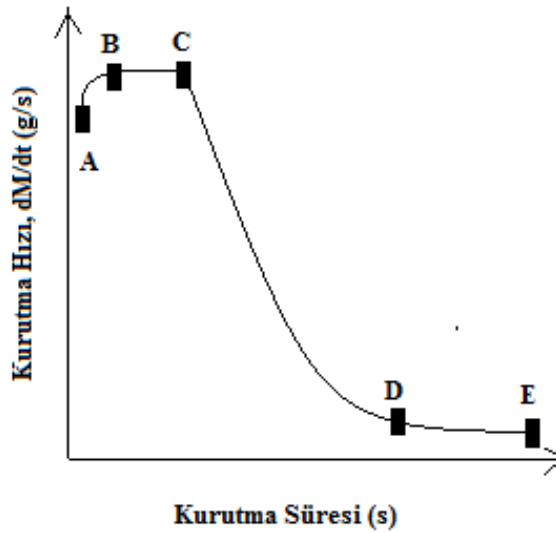
Kuruyan bir gıdanın iç kısmındaki su gıdanın yüzeyine değişik yollarla ulaşmaktadır. Su materyal içerisinden başlıca, sıvı hareketi, sıvı difüzyonu (gıdada bulunan çözünmüş madde konsantrasyonu yükselmesine dayalı) ve su buharı difüzyonu (gıdada ortaya çıkan buhar basıncı yükselmesine bağlı) gibi mekanizmalarla gıda yüzeyine çıkmaktadır. Kritik nem düzeyi, kurutucudaki gıdanın miktarına, kalınlığına, kurutma hızı ve sıcaklığına göre değişim gösterebilmektedir (Fellows 1993). Başarılı bir kurutma için dikkat edilmesi gereken en önemli nitelikler, hava sıcaklığının orta düzeyde olması, hava neminin düşük ve hava hızının yüksek olmasıdır. Kurutmada gıdanın üzerinde oluşan hava filmi, ısı ve kütle transferine karşı bariyer oluşturmaktadır. Bu film ne kadar kalın ise, kurutma o denli (bariyer özelliği arttığı için) etkilenmektedir. Film kalınlığı hava hızına bağlıdır. Kurutmada hava sıcaklığı düşer ve havanın nemi artarsa, gıda yüzeyinde buharlaşma hızı düşeceğinden dolayı kuruma yavaşlamaktadır. Üründe hücreler arası su ne kadar çabuk uzaklaşırsa ürün o kadar hızlı kurumaktadır. Haşlama ile hücreler arası su uzaklaşmaktadır. Kurutulacak olan ürün önceden haşlanırsa, kurutma işleminin daha kolay olacağı belirtilmiştir (Anonim 2007).

Gıda maddelerinde, ürünün nem içeriği kuruma süresi boyunca azalarak belli bir noktadan sonra sabitlenmektedir (Şekil 2.1). Kurutma hızı ise ilk saatlerde çok yüksek iken, sürenin ilerlemesiyle azalmaktadır (Şekil 2.2). Kurutma hızı, ürünün özellikleri,

şekli, iriliği, kalınlığı, kurutma hava hızı, sıcaklığı ve nemi, kurutulacak olan ürünün miktarı gibi özelliklere bağlıdır. Kurutma sıcaklığının ve hava hızının artması, aynı zamanda kurutulacak gıdanın kalınlığının ve miktarının azalması, kurutma hızını arttırmaktadır (Sarsılmaz 1998).



Şekil 2.1 Ürün nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi (Doymaz 1998, Demirtaş vd. 1998)



Şekil 2.2 Kurutma hızının kurutma süresi ile değişimi (Doymaz 1998, Demirtaş vd. 1998)

Kurutma hızının süre ile değişim grafiği incelendiğinde (Şekil 2.2), farklı bölgeler olduğu gözlemlenir. Buna göre;

A-B bölgesi: Gıdanın yüzey sıcaklığının, kurutma sıcaklığı ile dengeye gelme süresidir. Bu bölgede kuruma hızı artıyor gibi gözükse de bu çok anlık bir durumdur. Bu nedenle bu artışın kurutma üzerinde önemli bir etkisi yoktur (Geankoplis 2011).

B-C bölgesi: Sabit hızda kuruma bölgesidir. Bu bölgede, kuruyan ürün tamamen ıslak kabul edilir ve kuruma dış etkenlere bağlı olarak gelişir. Bu periyot, kurutmanın başlangıcında ve çok kısa bir süre görüldüğünden dolayı çoğu gıda için ihmal edilmektedir (Hall vd. 1980).

C-D bölgesi: Bu bölgede kuruma hızı azalmaya başlar. Ürün yüzeyinde ilk kuru noktanın oluştuğu noktaya kritik nokta denmektedir. Kritik nokta sabit kuruma periyodunun bittiğini gösterir. Bu periyotta, ürünün yüzeyindeki ıslak alan miktarı azalmaya başlar. Bu bölgede difüzyon etkilidir. Gıdaların genellikle bu periyotta kurudukları bilinmektedir (Roberts 1999).

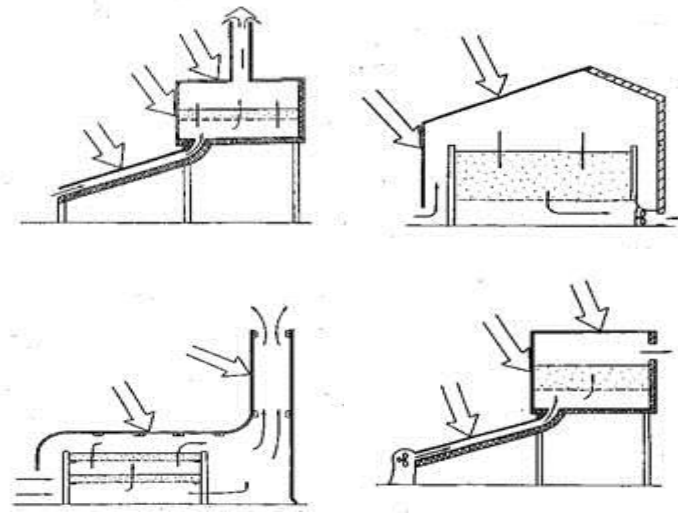
D-E bölgesi: İkinci azalan bölgedir. Ürün içinden su yavaş bir şekilde difüze olur. D noktasında ürün yüzeyi tamamıyla kurudur (Geankoplis 2011).

2.2 Gıda Kurutma Yöntemleri

2.2.1 Güneşte kurutma

Güneşte kurutma, güneş enerjisinden yararlanılarak açık havada yapılan kurutma yöntemidir. Doğal ya da tabii kurutma olarak da isimlendirilmektedir. Güneşte kurutmanın en büyük avantajı düşük maliyet olmasıdır. Ancak, gıda açık havada kurutulurken, toprak, toz, yağmur, böcek ve diğer hayvanların etkisine maruz kalmakta buda kaliteyi olumsuz yönde etkilemektedir (Doymaz 2005). Ayrıca bu yöntemde ürünler, bez üzerinde açıkta yayıldıklarından dolayı çok büyük alanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tür dezavantajlar nedeniyle bu yöntem günümüzde çok tercih

edilmemektedir. Güneş enerjisinden yararlanılan kurutma sistemleri kullanılarak bu yöntem geliştirilmiştir (Şekil 2.3). Bu tür sistemlerde, hava solar kolektörlerde ısıtılmakta ve ısınan hava kurutulacak olan gıdaların bulunduğu bölümden geçirilerek suyun buharlaşması sağlanmaktadır (Dalgıç vd. 2001). Güneş enerjili kurutucularında işletme maliyeti çok düşüktür. Bu sistemler birçok gıdanın kurutulmasında kullanılabilir. Meyve ve sebzelerin yanında hububat, baharat, çay ve kahvenin kurutulmasında öncelikli olarak tercih edilmektedir (Cemeroğlu 2010).

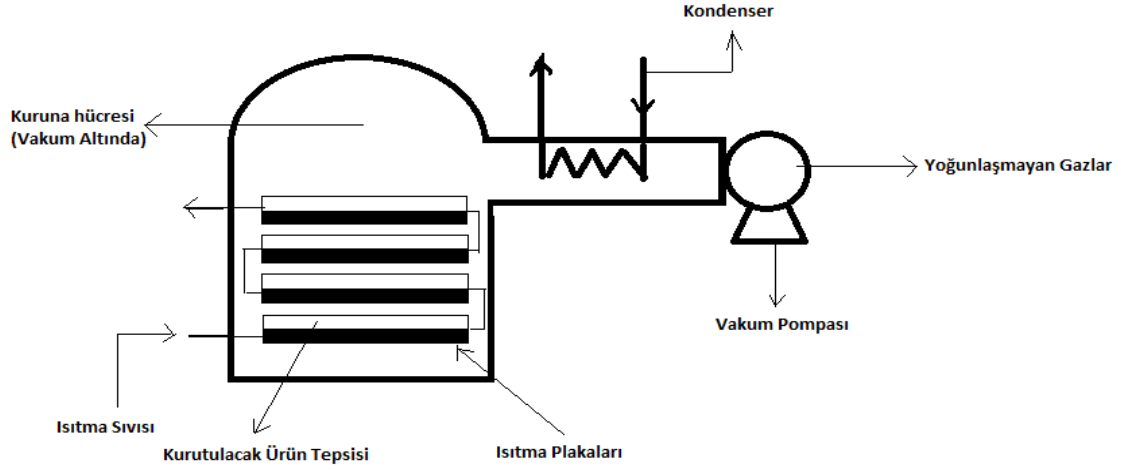


Şekil 2.3 Çeşitli güneş enerjili kurutma sistemleri (Dalgıç vd. 2001)

2.2.2 Dondurarak kurutma (Şoklama)

Dondurarak kurutma sistemi ısıtma plakaları, kurutma tepsileri, kuruma hücresi, vakum pompası, kondenserden oluşmaktadır (Şekil 2.4). Dondurarak kurutma yönteminde, kurutulacak olan gıdadaki su, donmuş halde tutulurken, yüksek vakum uygulaması sırasında ısı verilmesi ile buzun sublimasyonu sağlanır. Bu yöntemle, gıdanın sıcaklığı -30 °C'ye kadar düşürülmektedir. Dondurarak kurutma işleminde, kurutulacak maddenin içerisinde yeterli miktarda donmuş su bulunması önemlidir. Bu işlem sırasında, ürünlerdeki bağlı suyun bir miktarı donmamış halde bulunur. Bu sistemde süblimleşen buhar kondenserde buz yapısına dönüşerek, sürekli bir vakum sistemi gerçekleşmektedir. En önemli avantajı, bu yöntemle kurutulan ürünlerin duyu özelliklerinin ve besin değerlerinin, diğer yöntemlerle kurutulan ürünlere göre daha üstün olmasıdır. Dezavantajı ise ilk yatırım masrafının yüksek olmasıdır. Kahve ve çay

esansları, hazır çorba, sebzeler, deniz ürünleri ve et ürünleri bu yöntemle kurutulabilirler (Cemeroğlu 2010).



Şekil 2.4 Dondurarak kurutma sisteminin şematik gösterimi (Cemeroğlu 2010)

2.2.3 Tepsili kurutucular

Kabin kurutucular olarak da bilinmektedir. Tepsili kurutucular, en basit şekli ile sıcaklığı sağlayan bir motor, fan ve tepsilerden oluşmaktadır (Şekil 2.5). Tepsili kurutucularda genellikle sıcaklık 40-180 °C, hava hızı ise 0-6 m/s aralığında değişmektedir. Bu tür kurutucularda, kurutulacak olan ürün, tepsi üzerine düzgün dağılımlı olarak serilir ve ürün kurumaya bırakılır. Tepsi, birden fazla katlı olabilmektedir. Bu tür kurutucularda sürekli olarak ürün miktarlarındaki değişimi ölçen bir terazi bulunur. Bu sayede, nem kaybının zamanla değişimi gözlemlenebilmektedir. Tepsili kurutucuların dezavantajı, tepsiler üzerinde aynı kurutma hızının sağlanamamasıdır. Tepsinin farklı yerlerinde hava hızı ve hava sıcaklığı değerleri değişiklik göstermektedir. Bu nedenle kurutma işlemi homojen olmamaktadır. Aynı zamanda, tepsili kurutucuların günlük kapasiteleri sınırlı olup, en fazla 10 ton yaş ürün işlenebilmektedir. Genellikle laboratuvar ölçekli çalışmalarda çok tercih edilir (Cemeroğlu 2010).



Şekil 2.5 Tepsili kurutucu cihazı (<http://www.cokesen.com>, 2013)

2.2.4 İki katlı kurutucular

Eski kurutma yöntemlerindendir. İki katlı kurutucular, adından da anlaşılacağı gibi iki katlı bir yapıdadır. Alt katında ocak bulunur ve sıcak hava burada üretilir. Üst katta ise kurutulacak ürünler 20-25 cm kalınlıkta yayılır. Kurutulacak olan ürün, belli aralıklarla karıştırılarak homojenlik sağlanır. Genellikle elma, şerbetçi otu ve malt kurutmalarında kullanılır (Cemeroğlu 2010).

2.2.5 Konveyör kurutucular

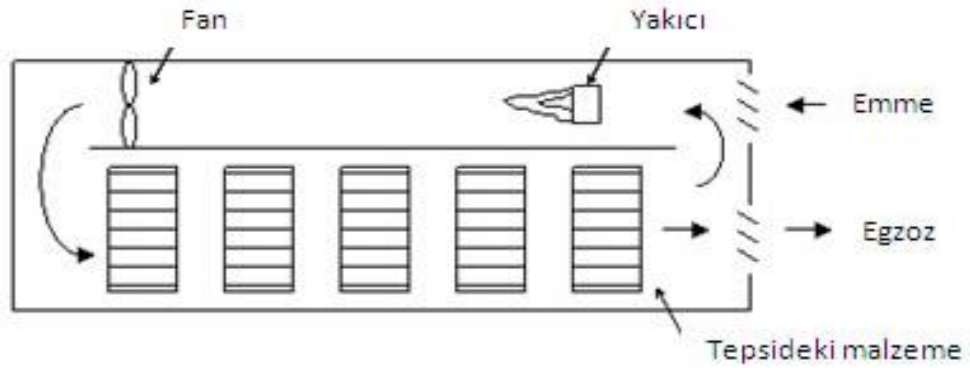
Bantlı kurutucular olarak da bilinirler. Bu tür kurutucularda (Şekil 2.6), ürün elek şeklindeki metal bantlar üzerine 5-10 cm kalınlığında serilmekte ve ürünler tünel içerisinden geçerken sıcak hava akımı ile kurutulurlar. Bu tip kurutucular, elma, havuç, soğan ve fasulye gibi doğranmış, kıyılmış, parça hâlindeki gıdaların kurutulmaları için uygundur (Cemeroğlu 2010).



Şekil 2.8 Döner kurutucu cihazı (<http://www.desanmakinalari.net>, 2013)

2.2.7 Tünel kurutucular

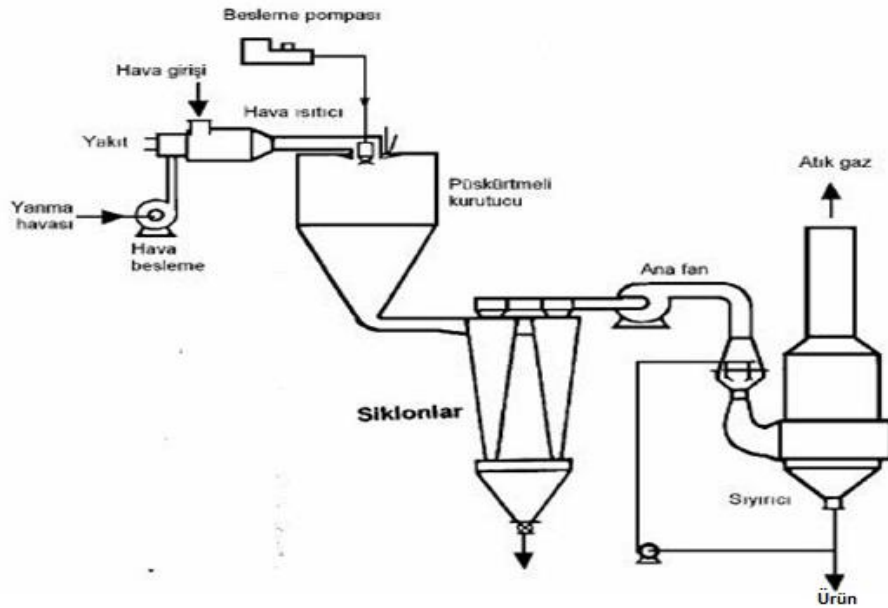
Tünel şeklindedirler. Sistem basit şekli ile fan, ısıtıcı ve kurutulacak ürünlerin taşındığı arabalardan oluşmaktadır (Şekil 2.9). Tünel kurutucular, yaklaşık 20 m uzunluğunda ve 12-15 araba kapasitesindedir. Kurutulacak ürün, aralıklarla yerleştirilmiş tablaların üzerine yayılır ve tünel içerisinden geçirilir. Tablaların hareketi arabalar ile sağlanır. Ürünler kuruduktan sonra ilk giren araba çıkıştan alınıp, girişten yeni araba gönderilir. Bu nedenle bu tür kurutma sistemleri sürekli dir. Kurutma süresi ürüne göre değişmekle birlikte 6-16 saat sürebilir. Tünel kurutucularda homojen bir kurutma için, sıcak havanın tünelde homojen olması çok önemlidir. Kurutulacak ürüne ve ürünün sıcak havaya duyarlılığına bağlı olarak havanın yönü ürünle paralel ya da zıt yönlü olabilir. Meyve ve sebze ürünlerinin, çoğunlukla da balık ürünlerinin kurutulmasında kullanılır (Cemeroğlu 2010).



Şekil 2.9 Tünel kurutucunun şematik gösterimi (www.solarwall.com, 2013)

2.2.8 Püskürtmeli kurutucular

Sprey kurutucular olarak da bilinirler. Sistem basit şekli ile atomizer, büyük bir silindirik kurutma hücresi ve ürünü dışarıdan almaya yarayan bir separatörden oluşur (Şekil 2.10). Kuruma süresi oldukça kısadır (yaklaşık 5-15 saniye). Kurutulacak ürün atomizerde çok küçük damlacıklar halinde, kurutma hücresindeki sıcak hava akımına karşı püskürtülür. Kuruyan ürün ise çok küçük boyutlarda çıkışta toplanır. Püskürtmeli kurutucu ile düzgün küresel şekilli, homojen boyutlu ürün elde edilebilmekte ve hızlı kurutma imkânı sağlanmaktadır. Ürünlerin nem oranı da homojendir. Fakat bu tür kurutucuların ilk yatırım maliyetleri çok yüksektir ve diğer kurutuculara göre fiziksel olarak daha büyüktürler. Püskürtmeli kurutucular, sıvı ve ince bir ezme niteliğindeki ürünlerin kurutulması için kullanılmaktadır. Özellikle süt tozu, kahve, sabun ve deterjan üretiminde yaygın olarak kullanılırlar (Cemeroğlu 2010).

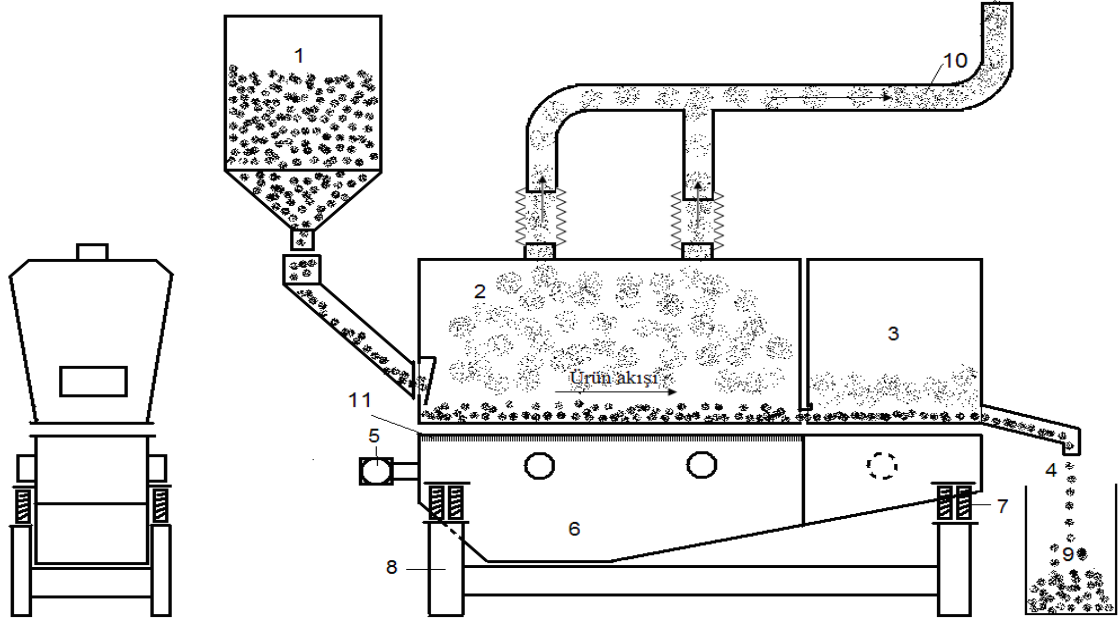


Şekil 2.10 Püskürtmeli kurutucunun şematik gösterimi (McKetta 1983)

2.2.9 Akışkan yataklı kurutucular

Akışkan yatak kurutucular, ürünün parçacıklar halinde güçlü bir hava akımı ile kurutulması esasına dayanır. Elek şeklindeki bir zeminde bulunan kurutulacak ürün, alttan yüksek hızla üflenen hava ile askıda kalır (Şekil 2.11). Askıda kalan ürünün tüm

yüzeyi sıcak hava ile temas halinde olur ve kurutma bu şekilde gerçekleşir. Bu tür kurutucularda en önemli faktörlerden biri, kurutulacak ürünün homojen parçacık iriliğine sahip olmasıdır. Bezelye ve benzeri küçük boyuttaki gıda ürünlerinin kurutulmasında kullanılırlar (Cemeroğlu 2010).



Şekil 2.11 Akışkan yataklı kurutucunun şematik gösterimi (Doğan ve Ersöz 2009)

1. Silo, 2. Kurutma davlumbazı, 3. Soğutma davlumbazı, 4. Ürün boşaltması, 5. Titreşim motoru, 6. Akışkan yatak sürekli kurutucu gövdesi, 7. Taşıyıcı yay, 8. Taşıyıcı sistem, 9. Kuru ürün toplama kabı, 10. Egzoz, 11. Elek Alevli Kurutma

2.2.10 Vakum kurutucular

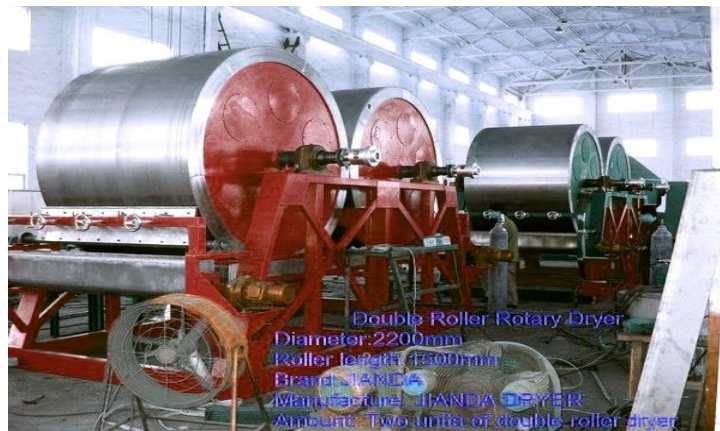
Kurutmanın vakum altında, düşük derecelerde gerçekleştiği, hem sıvı hem de katı parçacıklar halindeki ürünlerin kullanılabildiği bir kurutma yöntemidir. Vakum kurutucularda (Şekil 2.12), basınç 0-1000 mbar, sıcaklık 20-200 °C aralığında değişebilir. Ürünler çok ince dilimler halinde olsa bile herhangi bir deformasyona uğramazlar. Kurutma oksijensiz ortamda olduğu için ürün kalitesi yüksektir. Fakat maliyeti çok yüksek olduğu için, genellikle sıcaklığa duyarlı ürünlerde kullanılırlar. Bu tür ürünlerin, bu yöntemle daha düşük sıcaklıklarda daha hızlı kuruması amaçlanmıştır (Arevalo-Pinedo ve Murr 2007). Meyve, sebze ve püreler bu yöntem ile kurutulurlar.



Şekil 2.12 Vakum kurutucu cihazı (<http://www.vakumkurutma.com>, 2013)

2.2.11 Silindirik kurutucular

En ucuz kurutma sistemlerinin başında gelir. Genellikle 50-150 cm çapında, 100-300 cm uzunluğundaki metal silindirler içten buharla ısıtılır. Buhar sıcaklığı 130-170 °C arasında değişebilir (Şekil 2.13). Metal silindir yüzeyine yayılan ürünler (0,1-0,5 mm kalınlıkta), yaklaşık 20-200 saniye gibi kısa sürede kurumaktadırlar. Kuruyan ürünler silindir kenarlarındaki bıçaklar yardımıyla kazılarak çıkarılır. Elde edilecek ürün pulcuklar halindedir. Kuruma hızı, bu tür kurutucularda yüksektir. Döner kurutuculara çok benzemesine karşın, hava silindir içerisinden değil, cidarlardan geçtiği için farklıdır. Sıvı ve yarı sıvı ürünlerin kurutulmasında elverişlidir. Patates püresi gibi sebze püreleriyle, domates salçası bu yöntemle kurutulur (Cemeroğlu 2010).



Şekil 2.13 Silindir kurutucu cihazı (<http://www.desanmakinalari.net>, 2013)

2.2.12 Mikrodalga kurutma

Mikrodalga en basit şekli ile elektrik enerjisini mikrodalgaya dönüştüren magnetron, mikrodalga'nın düzgün dağılımını sağlamak amacıyla dalga yayıcı, dönebilen tabak ve ürünün ısınmasıyla ortamda oluşan sıcak havanın fırında birikmesini engellemek için kullanılan fandan oluşmaktadır (Karaaslan 2008).

Mikrodalgalar, elektromanyetik spektrumun radyo dalgaları ile kızıl ötesi ışınlar arasındaki bölümünde kalırlar. Endüstriyel, tıbbi ve bilimsel çalışmalarda kullanılan mikrodalga frekansları genellikle, 300 MHz ila 30 GHz arasındadır. Dalga boyları ise 0,1–100 cm arasında değişir. Mikrodalga fırında, radar dalgaları ile karışmaması ve pişirmeye uygun olması nedeniyle genellikle 915 MHz ve 2450 MHz frekanstaki dalgalar kullanılır (Karaaslan 2008).

Mikrodalga kurutma, yüksek frekans dalgalarını gıdanın direkt olarak absorbe etmesi ve bu enerjiyi ısıya dönüştürmesi prensibine dayanmaktadır (Vadivambal ve Jayas 2007). Bu ısıyı gıdalardaki polar moleküller oluşturmaktadır. Gıda içerisindeki en önemli polar molekül sudur (hem pozitif hem negatif kısma sahip). Mikrodalgalar, iyonik parçacıkların göçü ya da dipolar parçacıkların rotasyonu ile moleküler bir harekete sebep olurlar. İyonik iletim uygulanan elektromanyetik alandaki çözünen veya titreşen iyonların göç etmesini, dipol rotasyon ise polarize olmuş moleküllerin bir hizaya sokulması anlamına gelmektedir. Su molekülleri mikrodalga etkisiyle yön değiştirirler ve oluşan kinetik enerjiyi ısıya dönüştürürler. Gıdada bulunan diğer yüklü parçacıklar mikrodalga'nın frekans hızında salınma neden olan kuvvet oluştururlar ve bu kuvvetle dönmeye başlarlar. Hareketli parçacıklarla diğerleri çarpışmakta ve ısı ortaya çıkmaktadır (Sumnu 2001). Suyun olması mikrodalga ısıtmada önemli önemlidir. Su negatif yüklü oksijen iyonları ile pozitif yüklü hidrojen atomlarını içerir. Gıda mikrodalga uygulaması ile su içindeki dipoller ve tuz gibi iyonik bileşikler hareket etmeye başlarlar. Moleküller sürtünme etkisiyle su moleküllerinde ısı oluşumuna neden olur. Suyun ısınmasıyla da ortamda iletim veya taşınım olayları ile gıda ısınır (Ohlsson 2002). Bu ısıtma hacimsel olup, mikrodalga ile ısıtmanın belirgin özelliğidir. Hacimsel

ısıtma, ürünün mikrodalga enerjisini direkt olarak iç kısımlarından absorbe etmesi ve bu yolla ısınmasıyla gerçekleşmektedir (Gowen vd. 2006).

Gıdaların dielektrik özellikleri mikrodalga ısıtma açısından çok önemlidir. Bu özellikler dielektrik sabiti (ϵ') ve dielektrik kayıp faktöründen (ϵ'') oluşmaktadır. Dielektrik sabiti, o maddenin elektrik enerjisini depolama kabiliyetini, dielektrik kayıp faktörü de, bu enerjiyi kullanma kabiliyetini göstermektedir. Bir gıdanın dielektrik sabitinin yüksek olması, o gıdanın mikrodalga ile iyi ısınabilmesini sağlamaktadır. (Sumnu 2001). Kayıp faktörünün değeri birçok bileşime göre değişebilmektedir. Dielektrik özellikler, proseste güç seviyesi, frekans gibi değişimler ile diğer karakteristiklerin nasıl etkilendiğini bulmak için gereklidir (Ohlsson 2002).

Mikrodalga içerisinde kurutulacak olan ürünün yapısı çok önemlidir. Ürünlerin mümkün olduğu kadar homojen olması, etli doku, sap, çekirdek ve aşırı sıvı içermemesi gerekmektedir. Aksi takdirde, sıvı kısım ani ısınma ile kabarcıklar oluşturmakta ve kaynamaktadır. Bu nedenle etli doku kurumadan kalmaktadır. Aynı şekilde, saplı ve çekirdekli ürünlerin direk mikrodalga ile temasında kurutma verimli olmamakta ve çekirdek kenarlarında yanma meydana gelmektedir (Tunçer 1990). Mikrodalga kurutma, kuruma süresini düşürmesi nedeniyle son yıllarda endüstriyel anlamda gelişme göstermiştir (Şekil 2.14). Bu sürenin kısa olmasının nedeni, mikrodalga kurutmada ortamın ısınması için zaman gerekmemesidir.

Mikrodalga fırının birçok avantajı bulunmaktadır. Bunlardan bazıları;

- Mikrodalga materyalin daha çok ısınmasını sağlar. Materyalin şekli uygun ise homojen ısıtma sağlanır.
- İşlem daha hızlı, elde edilen ürün daha kalitelidir.
- Mikrodalga ısıtmada ortam ısınması olmadığı için, enerji kullanımı geleneksel ısıtmaya göre çok daha etkilidir.
- Geleneksel ekipmanlara göre daha az yer kaplar.
- Ambalajlı gıdaların ısıtılmasına elverişlidir (Karaaslan 2008).

En önemli dezavantajı ise, mikrodalga fırınların ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Ayrıca mikrodalga kullanımında yalıtıma çok dikkat edilmelidir. Küçük dalga boylarına sahip olan mikrodalgalarda, zaman zaman oluşan kaçaklar sağlığı olumsuz etkilemektedir. Mikrodalga kurutma son dönemlerde yaygınlaşan, cips sektöründe oldukça geniş çaplı kullanılan bir sistemdir (Karaaslan 2008).



Şekil 2.14 Endüstriyel mikrodalga cihazı (<http://bckgroup.net>, 2013)

2.3 Kurutma Hızını Etkileyen Faktörler ve Kurutma Sırasında Oluşan Değişimler

Kurutma hızı, kurutma süresi boyunca birçok parametreden etkilenebilmektedir. Ürün kimyasal bileşimi, ürün boyutları, kurutma hava sıcaklığı, hava hızı, kuruluğu ve atmosfer basıncı, kurutma hızını etkileyen başlıca faktörlerdendir. Kimyasal bileşimi bakımından, ürünün içerisinde yağ bulunması kuruma hızını sınırlamaktadır. Nişasta, pektin içeren gıdalarda, kurutma çok zordur. Çünkü bu gam bileşenleri, suyu içinde tutarak jel oluşturur ve kuruma zorlaşır. Ayrıca, yüksek şeker içeren ürünler de geç kurumaktadır. Kurutma hızı ile ürün boyutu ters orantılı iken yüzey alanı doğru orantılıdır. Ürün boyutu arttıkça ve yüzey alanı azaldıkça kurutma hızı azalmakta ve kuruma süresi artmaktadır. Kurutma hızı ile kurutma sıcaklığı ise doğru orantılı değişmektedir. Aynı şekilde hava hızı artışı da kurutma hızında artışa neden olmaktadır. Yüksek hava hızında, üründen buharlaşan su kolayca ortamdan uzaklaştırıldığı için, kurutma kolaylaşmaktadır. Havanın nisbi nemi, kurutmanın hangi noktaya kadar yapılacağını belirler. Kurutulmakta olan ürünle hava nemi arasında bir denge olduğu

noktaya kadar kurutma devam etmektedir. Ek olarak, çevre hava basıncı düştükçe kurutma hızı (buharlaşıma), yükselmektedir (Anonim 2007).

Kurutma esnasında, materyalde fiziksel ve kimyasal değişimler meydana gelmektedir.

- Fiziksel değişimler;
 - Çözünür madde göçü, kurutma sırasında suyun hareketi ile gerçekleşir. Hücre duvarı engelini, düşük molekül ağırlıklı maddeler aşarak kolloidal yapıdan ayrılırlar. Yüzeyde suyun buharlaşması ile kuru madde yığılması oluşur.
 - Kabuk oluşumu, kurutma şartlarının yanlış seçilmesi ile oluşur. Eğer kurutmanın ilk aşamasında hava hızı yüksekse, yüzeyde sert bir tabaka oluşur ve alt kısma baskı yapar. Bu nedenle ürün hala nemli olsa bile, nemini kaybedemez ve büzüşür. Ürünün dışı kuru içi ise ıslak halde kalır.
 - Çekme, üründe yapının değişmesi sonucu oluşur. Genel olarak ilk aşamada görülür ve engellenmesi çok zordur. Kurutma yöntemi seçimine göre belli ölçüde önlenir.
 - Boyut ve şekil değişikliği, kurutma sırasında nemli yüzeylerin iç yüzeylere doğru büzüşmesiyle oluşur. Köşeli kesilen örneklerde kurutma sonrasında, köşeler kaybolur ve dış yüzeydeki hücreler tamamen düzleşir ve gerilir.
 - Rehidrasyon kapasitesi, ürünün suda bekletildikten sonra, tekrar eski haline dönmesidir. Bekletilen suyun sıcaklığı ve tutulan süre rehidrasyon kapasitesi üzerine etkilidir. Ürünün aldığı su miktarına göre ölçülür.
- Kimyasal değişimler;
 - Esmerleşme, kurutma işleminin en önemli sorunlarından biridir. Ürünler, kurutma öncesinde bile renk esmerleşmesine uğrayabilirler. Özellikle meyvelerde (muz,

elma vb.) polifenol yükseltgenmesine bağı olarak, enzimatik renk esmerleşmesi çok sık görülür. Engellenmesi için en çok kullanılan yöntem, ürünün kükürtlenmesidir. Esmerleşme yoğun olursa, tat ve kokuda bozulma meydana gelir.

- Uçucu bileşen (aroma) kaybı, üründe tat ve kokunun yok olmasına neden olmaktadır. Uzaklaşan su ile bazı uçucu bileşenler de uçarak, ürünün karakteristik özelliklerini bozar. Ortamı terk eden havadan bu bileşenlerin tekrar dönüşümü sağlanarak kayıp önlemeye çalışılmaktadır (<http://www.food.hacettepe.edu.tr>, 2013).

2.4 Matematiksel Modelleme

Matematiksel model en basit anlamıyla, bir veya birden fazla parametre arasındaki bağlantıyı gösteren eşitliklerdir. Matematiksel modelleme, gerçek hayattaki problemlerin matematiksel terimlerle çözümünü bulmayı sağlayan bir yöntemdir. Modelleme ile gerçek sistemin davranışı incelenebilmekte ya da sistemden istenen sonuçların alınabilmesi için gereken koşullar belirlenebilmektedir.

Modelleme başlıca ikiye ayrılmaktadır. Çalışılan konu hakkındaki teorik bilginin fazla olduğu durumlarda fiziksel modelleme (Örn; kontrol tasarımı), deneysel verilerin fazla olduğu durumlarda ise istatistiksel modelleme veya matematiksel modelleme kullanılır. Geliştirilen modelin geçerliliğinden söz edebilmek için, modeli oluşturan eşitliklerin çözümünden elde edilen sonuçlar ile deney sonuçlarının karşılaştırılması gerekmektedir (Robert vd. 1983) .

Matematiksel modelin kurulumu şu aşamalardan oluşur,

- problemin analizi,
- model analizi,
- modelin geliştirilmesi,
- matematiksel modelleme becerileri ve
- değişkenlerin tanımlanmasıdır.

2.4.1 Kurutma eğrilerinin modellenmesi

Matematiksel modelleme, diğer mühendislik uygulamalarında olduğu gibi Gıda Mühendisliği uygulamalarında da büyük bir öneme sahiptir (Robe 1990). Gıdalarda kurutma, soğutma, dondurma ve ısıtma gibi işlemlerin incelenmesi sırasında matematiksel modellemeden yararlanılmaktadır (Devres 1989).

Özellikle kurutma eğrilerini açıklamak için, bazı araştırmacılar tarafından yarı teorik ve ampirik modeller geliştirilmiştir. Gıda kurutma proseslerinde, en çok kullanılan modeller çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Gıda kurutma proseslerinde kullanılan matematiksel modeller

Model	Model Adı	Kaynak
$ANO = \exp(-kt)$	Newton	Ayensu 1997, Bengston vd. 1998
$ANO = \exp(-kt^n)$	Page	Sarsavadia vd. 1999, Ozkan vd. 2007
$ANO = \exp[(-kt)^n]$	Geliştirilmiş Page I	Yaldız vd. 2000
$ANO = \exp[-(kt)^n]$	Geliştirilmiş Page II	Yaldız ve Ertekin 2001
$ANO = a \exp(-kt)$	Henderson ve Pabis	Bengtson vd. 1998, Doymaz 2007
$ANO = a \exp(-kt) + c$	Logaritmik	Doymaz 2011, Yağcıoğlu vd. 1999
$ANO = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t)$	İki terimli	Madamba vd. 1996
$ANO = a \exp(-kt) + (1-a)\exp(-kat)$	İki terimli exponansiyel	Sharaf-Eldeen vd. 1980, Yaldız vd. 2000
$ANO = 1 + at + bt^2$	Wang ve Sing	Wang ve Sing 1978
$ANO = a \exp(-kt) + (1-a)\exp(-kbt)$	Difüzyon yaklaşım	Kassem 1998, Sacilik vd. 2006
$ANO = a \exp(-kt) + (1-a)\exp(-gt)$	Verma ve ark.	Verma vd. 1985
$ANO = a \exp(-kt) + b \exp(-gt) + c$	Geliştirilmiş Henderson ve Pabis	Karathanos 1999
$ANO = a \exp(-kt^n) + bt$	Midilli ve ark.	Midilli vd. 2002

Bu modellerde “ANO” olarak ifade edilen terim, ayrılabilen nem oranıdır ve aşağıdaki formül ile hesaplanır (Yaldız ve Ertekin 2001).

$$ANO = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (2.1)$$

Bu eşitlikte M: Ürünün belli bir t anındaki nem içeriği,

M_e : Denge nem içeriği,

M_0 : Ürünün ilk nem içeriğidir.

M_e değeri, diğer terimlerle karşılaştırıldığında çok küçüktür. Bu sebeple uzun kurutma süreleri için ANO aşağıdaki formülü ile hesaplanabilir.

$$ANO = \frac{M}{M_0} \quad (2.2)$$

Belirtilen modellerden hangisinin uygun olduğunu belirlemek için bazı parametreler hesaplanması gerekir. Bunlar RMSE (tahmini standart hata), R^2 (belirleme katsayısı) ve χ^2 (ki-kare) değerleridir. Bu parametreler aşağıdaki eşitlikler ile bulunmaktadır. Tahmini standart hata (RSME), modelden elde edilen tahmini ve deneysel veri arasındaki sapmayı ve ki-kare (χ^2) uyumun iyilik derecesini göstermektedir. En uygun model seçilirken, RMSE ve ki-kare değerinin sıfıra, belirtme katsayısının ise bire yakın olması göz önünde bulundurulur (Loague ve Green 1991, Pangavhane vd. 1999).

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (ANO_{\text{tahmini}} - ANO_{\text{deneysel}})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.3)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (ANO_{\text{deneysel}} - ANO_{\text{tahmini}})^2}{N - n} \quad (2.4)$$

Bu eşitliklerde,

ANO_{tahmini} : tahmini ayrılabilir nem oranı,

ANO_{deneysel} : deneysel ayrılabilir nem oranı,

N: deneysel veri sayısı,

n: kullanılan modeldeki katsayı sayısıdır.

2.4.2 Difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi

Kurutma proseslerinde difüzyon, kuruyan ürünlerin karakteristik bir davranışdır. Azalan hız periyodunda biyolojik ürünlerin kurutma karakteristikleri Fick'in difüzyon eşitliği kullanılarak tanımlanabilir (Sacilik vd. 2006, Wang vd. 2007, Doymaz 2011b). Bu eşitliğin çözümü Crank (1975) tarafından bazı varsayımlarla çözülmüştür. Varsayımlar,

- Nem geçişi sadece difüzyonladır.
- Çekme ihmal edilmiştir.
- Sıcaklık ve difüzyon katsayısı sabittir.
- Kuruma süresi uzundur.

Ürün şekline göre farklı eşitlikler kullanılabilir. Difüzyon katsayılarının belirlenmesinde kullanılan matematiksel eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$ANO = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(-\frac{[2n+1]^2 \pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (2.5)$$

Burada,

ANO: Ayrılabilir nem oranı (M/M_0) (ürünün “t” anındaki nem miktarının ilk nem içeriğine oranı)

t: kurutma süresi (s)

D_{eff} : Efektif difüzyon katsayısı (m^2/s)

L: yarım dilim kalınlığı (m)'dir.

Uzun kuruma süreleri için eşitlik (2.5) aşağıdaki eşitlik (2.6) gibi serideki ilk terim haricinde diğer terimler ihmal edilerek yazılabilir.

$$ANO = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (2.6)$$

Logaritmik formda yazıldığında eşitlik (2.7) elde edilir.

$$\ln \text{ANO} = \ln \frac{8}{\pi^2} - \frac{\pi^2 D_{\text{eff}} t}{4L^2} \quad (2.7)$$

ANO değerlerinin doğal logaritmik dönüşümleri zamana karşı grafiğe geçirildiğinde elde edilen doğrunun eğimi kullanılarak D_{eff} değerleri eşitlik (2.8) ile hesaplanabilir.

$$K = \frac{\pi^2 D_{\text{eff}}}{4L^2} \quad (2.8)$$

Bu denklemde K, doğrunun eğimini göstermektedir (Wang vd. 2007).

Difüzyon katsayısının değişimi Arrhenius tipi üssel bir fonksiyonla açıklanabilmektedir (Doymaz 2005). Eşitlik (2.9) kullanılarak kurutma deneylerindeki aktivasyon enerjileri tepsi kurutmadan elde edilen örnekler için hesaplanmaktadır.

$$D_{\text{eff}} = D_0 \exp \left(-\frac{E_A}{RT} \right) \quad (2.9)$$

Bu denklemde,

D_{eff} : Efektif difüzyon katsayısı (m^2/s)

D_0 : Sonsuz sıcaklıkta difüzyon katsayısı (m^2/s),

E_A : Aktivasyon enerjisi (kJ/mol)

R: Üniversal gaz sabiti (kJ/mol.K)

T: kurutma havası sıcaklığıdır (K).

Mikrodalga kurutmada ise aktivasyon enerjisi mikrodalga gücüne bağlı olarak eşitlik (2.10) ile hesaplanabilmektedir.

$$D_{\text{eff}} = D_0 \exp \left(-\frac{E_A m}{P} \right) \quad (2.10)$$

Bu eşitlikte diğerinden farklı olarak,

m: yaş ürün ağırlığı (g)

P: mikrodalga gücüdür (W).

2.5 Konu ile İlgili Yapılan Diğer Çalışmalar

Bu bölümde gıda ürünlerinin çeşitli yöntemlerle kurutulması ve matematiksel modellenmesi konusunda yapılan bazı çalışmalar incelenmiştir.

Varadharaju vd. (2001), kahve meyvesini farklı sıcaklıklarda (40, 50 ve 60 °C), farklı hava hızlarında (1,5 ve 2 m/dk) ve farklı kalınlıklarda (50, 62,5 ve 75 mm) sıcak havalı kurutucuda kurutmuşlardır. Sıcaklıklara bağlı efektif difüzyon katsayıları Arrhenius tip fonksiyonlarla belirlenmiş olup, sırasıyla $3,15-3,60 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{h}$ aralığında bulunmuştur. Sıcaklıkla kuruma süresi azalmış olup kahve kalitesi sıcaklıkların değişmesi ile herhangi bir değişiklik göstermemiştir.

Toğrul ve Pehlivan (2003), kayısı örneklerini farklı sıcaklık (50, 60, 70 ve 80 °C) ve farklı hava hızlarında (0,2-1,5 m/s) laboratuvar tipi tepsili kurutucu ile kurutmuşlardır. Difüzyon katsayıları sıcaklık artışı ile artmaktadır. Deneysel ayrılabilir nem verileri 14 modele uyarlanmış olup hesaplanan RSME ve χ^2 değerlerine göre en iyi uyum Logaritmik modelde bulunmuştur.

Akpınar ve Biçer (2003), siklon tipi bir kurutucu ile kabağın kurutulmasında hava hızının (1 ve 1,5 m/s) ve hava sıcaklığının (60, 70 ve 80 °C) etkisini incelemişlerdir. Sıcaklık ve hava hızının artması, kurutma süresini azaltmış, kalınlığın artması ise süreyi arttırmıştır. Buna ek olarak, hava sıcaklığının kurutma hızına etkisinin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Soysal (2004), maydanoz yapraklarını değişik mikrodalga güçlerinde (360-900 W) kurutmuştur. Yapılan renk analizlerinde, farklı mikrodalga güçlerinde kurutulmuş örneklerin renk değerlerinde (L, a, b ve C değerleri) önemli bir fark bulunmamıştır. Mikrodalga gücünün 2,5 kat arttırılması, kurutma süresini yaklaşık %64 oranında düşürmüştür. Deneylerden elde edilen ayrılabilir nem verileri Page modeline uyarlanmış ve yüksek R^2 , düşük RSME değerleri ile uyum sağlanmıştır.

Ertekin ve Yıldız (2004), özel tasarlanan laboratuvar kurutucusu ile patlıcanın farklı sıcaklık (30-70 °C), farklı hava hızlarında (0,5-2 m/s) ve farklı kalınlıklarda (0,635, 1,27 ve 2,54 cm) kurutulması sırasında oluşan renk ve rehidrasyon kapasitesi değişimlerini incelemişlerdir. Kurutmadan önce ön işlem olarak patlıcanlar 5 dakika boyunca kaynar suda bekletilmişlerdir. Patlıcanda dilim kalınlığı arttıkça, kurutma süresi ve rehidrasyon oranı artmış, renk etkilenmemiştir. Kurutma hava sıcaklığı arttıkça ise parlaklığın azaldığı bulunmuştur. En yüksek rehidrasyon oranına 50 °C’de kurutulan örneklerde ulaşılmıştır. Deneysel ayrılabilir nem verileri 14 modele uyarlanmış olup hesaplanan EF, RSME ve χ^2 değerlerine göre en iyi uyum Midilli ve ark. modelinde bulunmuştur.

Akpınar ve Biçer (2005), siklon tipi bir kurutucuda 6 mm kalınlığındaki patlıcan dilimlerini farklı sıcaklıklarda (55, 65 ve 75 °C) ve farklı hava hızlarında (1 ve 1,5 m/s) kurutmuşlardır. Sıcaklık ve hava hızının artması ile kuruma süresinde azalma görülmüştür. Deneysel ayrılabilir nem verileri 8 modele uyarlanmış olup hesaplanan R^2 , RSME ve χ^2 değerlerine göre en iyi uyum Page modelinde bulunmuştur.

Sacilik vd. (2006), organik domatesleri güneş enerjili tünel kurutucu ile kurutmuş ve matematiksel modellemesini incelemişlerdir. Organik domatesin nem içeriği başlangıçta %93,35 (y.b.) iken kurutma sonunda %11,50 (y.b.) olarak ölçülmüştür. Kurutma eğrisi azalan bir periyot göstermiştir. Deneysel ayrılabilir nem verileri 10 modele uyarlanmıştır. En iyi uyum gösteren model Difüzyon Yaklaşımı olarak bulunmuştur.

Dadalı vd. (2007), bamyayı mikrodalga ile kurutarak, nem oranı, kurutma hızı ve kurutma süresi üzerine mikrodalga güçlerinin etkisini incelemişlerdir. Deneyler 180, 360, 540, 720 ve 900 W mikrodalga güçlerinde yapılmıştır. Ürünün aktivasyon enerjisi 5,54 W/g olarak hesaplanmıştır. Nem oranı verileri 5 modele uyarlanmış ve en iyi uyumu Page modeli göstermiştir.

Doymaz (2007), özel tasarlanan sıcak havalı kurutucu ile domates dilimlerini değişik sıcaklıklarda (55, 60, 65 ve 70 °C) ve 1,5 m/s hava hızında kurutmuştur. Kurutma öncesinde örneklerin bir kısmını, alkali etil oleat solüsyonuna (%2 etil oleat+%4

potasyum karbonat) daldırmış ve ön işlem görmeyen kontrol örnekleri ile kurutma davranışlarını karşılaştırmıştır. Domateslerin başlangıç nem seviyeleri %94,5 (y.b.) iken, kurutma sonunda %11'e (y.b.) düşmüştür. Sıcaklık 55 °C'den 70 °C'ye yükseldikçe kurutma hızında da artış görülmüştür. Deneysel ayrılabilir nem verileri Henderson - Pabis ve Page modellerine uyarlanmış olup en iyi uyum Page modelinde gözlenmiştir. Difüzyon katsayıları ön işlem görmüş ürünler için $5,65-7,53 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değişirken, ön işlem görmeyen ürünlerde bu değer $3,91-6,65 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ aralığında bulunmuştur. Domateslerin aktivasyon enerjileri ise ön işlemlili örneklerde 17,40 kJ/mol, ön işlem görmeyen örneklerde 32,94 kJ/mol olarak hesaplanmıştır.

Heredia vd. (2007), kiraz domatesi özel tasarlanan sıcak havalı-mikrodalga fırın ile kurutmuş ve kinetik özelliklerini incelemiştir. Örnekler, sıcak hava (50 °C) ile kombine edilmiş ve farklı mikrodalga güçlerinde (0, 1, 3, 7 ve 10 W/g) 1,6 m/s hava hızında kurutulmuştur. Kurutma hızı zaman değişimi ile, azalan bir eğilim göstermektedir. Ayrıca tuz çözeltisi ile ön işlem görmüş örneklerin, daha hızlı (ön işlem görmeyen ürüne göre) kuruduğu belirtilmiştir.

Ozkan vd. (2007), ıspanak yapraklarını farklı mikrodalga güçlerinde (90-1000 W) kurutmuştur. Renk değerlerine göre en kaliteli ürünün 750 W mikrodalga gücünde kurutulan örnek olduğu gözlemlenmiştir. Ürünlerde askorbik asit içerikleri incelenmiş ve 90 W mikrodalga gücünde kuruyan örneklerde en düşük olduğu gözlemlenirken 650 W gücünde kuruyan örneklerdeki değerin en yüksek olduğu bulunmuştur. Nem verilerinin en iyi Page modeli ile uyumlu olduğu rapor edilmiştir.

Dadalı ve Özbek (2008), pırasanın yeşil ve beyaz bölümlerini ayırarak farklı mikrodalga güçlerinde (180, 360, 540, 720 ve 900 W) kurutmuşlardır. Örnek miktarı 3 kat arttırıldığında kuruma süresi her iki kısım içinde yaklaşık olarak %60 oranında artmıştır. Efektif difüzyon katsayıları mikrodalga gücü arttıkça artmış olup beyaz bölümde $0,618-2,128 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, yeşil bölümde ise $0,256-0,611 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ aralığında değişmektedir. Aktivasyon enerjileri beyaz ve yeşil bölümde sırasıyla 0,9530 ve 1,2045 W/g bulunmuştur. Deneysel ayrılabilir nem verileri, 10 modele uyarlanmış ve R^2 ,

RSME ve χ^2 değerleri göz önünde bulundurulduğunda en iyi uyumun Midilli ve ark. modelinde olduğu saptanmıştır.

Al-Harashsheh vd. (2009), mikrodalgada NaCl ile ön işlem görmüş domates ezmesinin kurutma kinetiğini ve ozmatik dehidrasyonun etkisini incelemişlerdir. Mikrodalga gücü (160-800 W) ve NaCl konsantrasyonunun (0,01, 0,1 ve 0,5 M) artmasıyla, kurutma hızında artış ve dolayısı ile kurutma süresinde azalış görülmüştür. Difüzyon katsayıları hesaplanmış olup,  n işlemsiz ürünlerde $1,14-6,09 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ aralığında değişirken NaCl ile ön işlem gören ürünlerde $6,85-7,96 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ aralığında değişmiştir. Deneyssel ayrılabilir nem verileri Midilli ve ark. modeline uyarlanmış ve iyi uyum gösterdiği χ^2 değeri ile belirlenmiştir.

Aghbashlo vd. (2010), vişneyi farklı sıcaklık (60, 70 ve 80  C) ve farklı hava hızlarında (0,3, 0,6 ve 0,9 m/s) laboratuvar tipi tepsili kurutucu ile kurutmuşlardır. Vişne  rneklerinin kuruma süresi sıcaklık arttıkça azalmıştır. Kurutulmuş örneklerin rehidrasyon değerleri 20  C'deki suda 24 saat süre ile bekletilerek, aldığı su oranına göre hesaplanmış ve en yüksek oran 70  C ve 0,3 m/s hava hızında gözlemlenmiştir. Örneklerin efektif difüzyon katsayıları, sıcaklık ve hava hızı artışıyla yükselmiş olup, sırasıyla 0,3 m/s'de $3,46-13,08 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$, 0,6 m/s'de $3,57-13,78 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ ve 0,9 m/s'de ise $3,78-14,10 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ aralığında değişmiştir. Aktivasyon enerjisi hava hızı arttıkça artmış ve 64,39-66,05 kJ/mol aralığında değiştiği bulunmuştur. Deneylerde elde edilen ayrılabilir nem verilerinin en iyi Weibull modeline uyum sağladığı gözlemlenmiştir.

Tunç ve Mengeş (2010),  zel tasarlanan sıcak havalı kurutucu ile farklı sıcaklık (45, 55, 65 ve 75  C) ve farklı hava hızlarında (1,5 ve 2,5 m/s) patlıcan kurutmuşlardır. Kurutma hava hızı ve kurutma sıcaklığı arttıkça, kurutma süresinin azaldığı rapor edilmiştir. Deneyssel ayrılabilir nem verilerinin en iyi Midilli ve ark. modeline uyduğu bulunmuştur.

Doymaz (2011a), patates dilimlerini kabin tipi kurutucuda farklı sıcaklıklarda (50, 60 ve 70  C) ve 2 m/s hava hızında kurutmuştur. 70  C'deki sıcak suda 2 dakika bekletilip

sonra oda sıcaklığındaki su içerisine daldırılarak yapılan ön işlem görmüş örnekler ile ön işlem görmemiş örneklerin kurutma davranışları karşılaştırılmıştır. Ön işlem görmüş örneklerin rehidrasyon oranları ön işlemsiz örneklerle göre daha yüksektir. En yüksek rehidrasyon derecesine 60 °C’de ulaşılmıştır. Deneysel ayrılabilir nem verileri, 5 modele uyarlanmış ve R^2 , RSME ve χ^2 değerlerine göre en iyi uyumu Logaritmik model göstermiştir. Ön işlem görmüş örneklerde efektif difüzyon katsayısı sıcaklık ile artış göstermiş olup $0,932-1,75 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ aralığında hesaplanmıştır. Aktivasyon enerjisi ise ön işlem görmüş üründe 23,2 kJ/mol, ön işlemsiz örneklerde ise 22,7 kJ/mol bulunmuştur.

Doymaz (2011b), ön işlem olarak 1,5 cm kalınlığındaki patlıcan dilimlerini 3 dakika 70 °C’deki suda daha sonra 3 dakika 20 °C’deki suda bekletmiş ve ön işlem görmemiş örneklerle, kurutma davranışlarını karşılaştırmıştır. Kurutma deneyleri farklı sıcaklıklarda (50, 60, 70 ve 80 °C) gerçekleştirilmiştir. Deneysel ayrılabilir nem verileri 11 modele uyarlanmış ve en iyi uyum Midilli ve ark. modelinde bulunmuştur. Sıcaklık yükseldikçe efektif difüzyon katsayıları artmış olup ön işlem görmüş örneklerde $5,575-9,745 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, ön işlem görmemiş örneklerde ise $5,851-11,077 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ aralığında değişmiştir. Aktivasyon enerjileri ön işlemlili örneklerde 18,27 kJ/mol, ön işlem görmeyen örneklerde ise 20,76 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Doymaz ve Göl (2011), benzer bir araştırmayı farklı kalınlıklar kullanarak gerçekleştirmiştir. Efektif difüzyon katsayıları kalınlık ve sıcaklık arttıkça artmış olup ön işlem görmüş örneklerde ön işlemsiz örneklerle göre daha yüksektir. Efektif difüzyon katsayılarının $0,93-5,34 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ aralığında, aktivasyon enerjilerinin ise 20,12-30,83 kJ/mol aralığında değiştiği rapor edilmiştir.

Demiray ve Tulek (2012), domates dilimlerinin kabin tipi kurutucu ile kurutma karakteristiklerini incelemişlerdir. Deneyler değişen sıcaklıklarda (60-100 °C) ve 0,2 m/s hava hızında gerçekleştirilmiştir. Sıcaklıklara bağlı efektif difüzyon katsayılarının $1,015-2,650 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ aralığında olduğu bulunmuştur. Aktivasyon enerjisi ise 22,981 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Verileri en iyi temsil eden modeller Page ve Geliştirilmiş Page olduğu rapor edilmiştir.

Çelen ve Kahveci (2013), domates dilimlerini mikrodalga ile kurutmuşlardır. Mikrodalga güçleri 90-600 W aralığında belirlenmiştir. Mikrodalga gücü arttıkça enerji tüketimlerinin azaldığı rapor edilmiştir. Ancak yüksek mikrodalga güçlerinde ürünün rengi negatif etkilenmiştir. Buna ek olarak kurutma hızının ilk başta yükseldiği ve sonra düşüşe geçtiği bulunmuştur.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 Denemelerde kullanılan örnekler

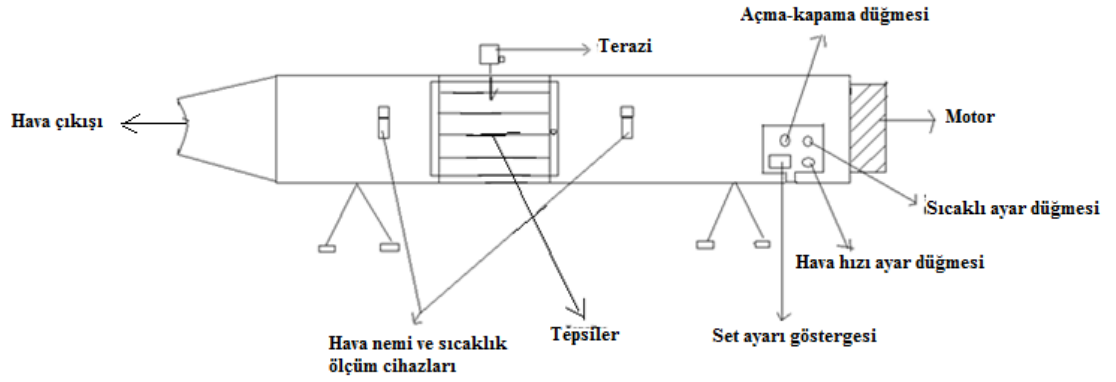
Bu çalışmada materyal olarak kullanılan kiraz domatesi (*Lycopersicon esculentum* var. *Cerasiforme*), kabak (*Cucurbita pepo*) ve patlıcan (*Solanum melongena*) lokal marketlerden tedarik edilmiştir. Kabak ve patlıcan örnekleri iki farklı kalınlıkta (5 ve 10 ± 1 mm) dilimlenerek kurutulmuştur. Kiraz domatesi örnekleri ise, kurutulmadan önce ekvatora dik olacak şekilde ikiye bölünmüştür (Çap 26 ± 1 mm).

3.1.2 Kullanılan ekipmanlar

Deneyin gerçekleştirildiği, laboratuvar ölçekli tepsili kurutucunun (Şekil 3.1), şematik gösterimi şekil 3.2’de verilmiştir. Tepsili kurutucu İNOKSEN A.Ş. firması tarafından özel olarak imal edilmiştir. Cihaz sabit sıcaklığa geldikten sonra ürünler tepsilere yerleştirilmiştir. Tepsilere bağlı bir terazi ile ürünün kütle kaybı sürekli olarak takip edilmiştir. Havanın nemi ve sıcaklığı kurutucunun üzerine yerleştirilen taşınabilir nem (HT-86, China) ve sıcaklık ölçer (Dual Temperature Meter, Çin) (Şekil 3.3) ile, hava hızı ise tünel sonundan anemometre (DT-8894, CEM, Çin) ile belli aralıklarla ölçülmüştür.



Şekil 3.1 Laboratuvar tipi tepsili kurutucu



Şekil 3.2 Tepsili kurutucu cihazı şematik gösterimi



Şekil 3.3 Anemometro, nem ölçer ve el termometresi

Mikrodalga ile kurutma denemeleri maksimum 900 W güç seviyesinde çalışabilen General Electric, GMOM 25 model (A.B.D) mikrodalga fırın kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kurutma sırasında ürünün kütle değişimi, mikrodalga yanına sabitlenen hassas terazi (ATX-224, Shimadzu, Japonya) yardımı ile yapılmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Mikrodalga ve hassas terazi

3.2 Yöntem

3.2.1 Örneklerin tepsili kurutucu ile kurutulması

Tüm örnekler, uygun boyutlara getirildikten sonra, değişik kurutma sıcaklıklarında (60, 70 ve 80 °C) ve sabit hava hızında (2 m/s) kütle değişimleri sabitleninceye kadar kurutulmuştur. Ürünlerdeki ağırlık değişimleri her 30 dakikada bir kaydedilmiştir. Tüm deneyler 2 tekerrürlü yapılmıştır.

3.2.2 Örneklerin mikrodalga ile kurutulması

Gıda ürünleri yaş halde direk olarak mikrodalga ile kurutmaya uygun değildirler. Bu sebeple örnekler, mikrodalga öncesinde bir ön-kurutmaya tabii tutulmuşlardır. Ön-kurutma için örnekler tepsili kurutucuda (80 °C ve 2 m/s hava hızı) içerdikleri toplam su miktarının, patlıcan için %25'i, kabak ve domates için %20'si kalıncaya kadar bekletilmiştir. Sonrasında ürünler mikrodalgada 3 farklı güç seviyesinde kurutulmuştur.

Bu güç seviyeleri örneğe göre farklılık göstermektedir. Güçler belirlenirken, materyalin kuruyabildiği en düşük güç ile yanmadan dayanabildiği en yüksek güç ön denemelerle belirlenmiştir. Buna göre;

- Patlıcan örnekleri 180-450-720 W,
- Kabak örnekleri 180-360-540 W,
- Domates örnekleri 140-210-280 W mikrodalga güçlerinde kurutulmuşlardır.

Mikrodalga kurutmada homojenlik sağlamak için, ürünler tek sıra halinde dizilmiş, üst üste gelmemelerine özen gösterilmiştir. Ürünlerde kütle değişimleri mikrodalga'nın hemen yanında bulunan hassas terazi ile 30 saniyede bir kaydedilmiştir. Tüm deneyler 2 tekerrürlü yapılmıştır. Kontrol örneği olarak taze ürün seçilmiştir.

3.2.3 Analizler

3.2.3.1 Ürün nem miktarı analizleri

Örneklerin kurutma öncesi ve sonrasındaki nem miktarları 105 °C'de infrared nem tayin cihazı (HB43-S, Mettler Toledo, USA) ile belirlenmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Nem tayin cihazı

3.2.3.2 Renk analizleri

Renk analizi, renk ölçer cihazı (C-400, Konica Minolta, Japonya) ile yapılmıştır (Şekil 3.6). Kurutma öncesi ve kurutma sonrası 3 noktadan alınan CIE L*, a* ve b* ve C* değerleri kayıt edilmiştir. CIE L*, a* ve b* renk skala sisteminde L* aydınlık (parlaklık) değeridir. L* maksimum 100 (beyaz), minimum 0 (siyah) olacak şekilde değişebilmektedir. Pozitif a*, b* sırası ile kırmızı ve sarı, negatif a*, b* ise sırası ile yeşil ve mavi rengi göstermektedir (Hunterlab 2008). C* ise canlılık değeri olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 3.6 Renk ölçüm cihazı ve CIE L*,a*,b*,C* ve H sistemleri (Üren 1999)

3.2.3.3 Rehidrasyon kapasitesi analizleri

Rehidrasyon kapasitesi analizinde, kurutulmuş örnekler 24 saat boyunca 25±1 °C’de su banyosu (SBD-313, Şimşek Laborteknik, Türkiye) içerisinde tutulmuş ve sonrasında yaş ürün ağırlıkları bulunmuştur (Ertekin ve Yıldız 2004). Rehidrasyon kapasitesi (oranı) eşitlik (3.1) ile hesaplanmıştır.

$$RO = \frac{\text{yaş ağırlık (g)} - \text{kuru ağırlık (g)}}{\text{kuru madde miktarı (g)}} = \frac{\text{tutulan su miktarı (g)}}{\text{kuru madde miktarı (g)}} \quad (3.1)$$

3.2.4 Hesaplamalar

3.2.4.1 Difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi hesaplamaları

Kurutma proseslerinde difüzyon, kuruyan ürünlerin karakteristik bir davranışdır. Azalan hız periyodunda biyolojik ürünlerin kurutma karakteristikleri Fick'in difüzyon eşitliği kullanılarak tanımlanabilir (Sacilik vd. 2006, Doymaz 2011b, Wang vd. 2007). Bu eşitliğin çözümü Crank (1975) tarafından, bazı varsayımlarla çözülmüştür. Varsayımlar,

- Nem geçişi sadece difüzyonladır.
- Çekme ihmal edilmiştir.
- Sıcaklık ve difüzyon katsayısı sabittir.
- Kuruma süresi uzundur.

Ürün şekline göre farklı eşitlikler kullanılabilir. Difüzyon katsayılarının belirlenmesinde kullanılan matematiksel eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$ANO = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(-\frac{[2n+1]^2 \pi^2 D_{\text{eff}} t}{4L^2}\right) \quad (3.2)$$

Burada,

ANO: Ayrılabilir nem oranı (M/M_0) (ürünün “t” anındaki nem miktarının ilk nem içeriğine oranı)

t: kurutma süresi (s)

D_{eff} : Efektif difüzyon katsayısı (m^2/s)

L: yarım dilim kalınlığı (m)'dir.

Uzun kuruma süreleri için bu formül aşağıdaki eşitlik (3.3) gibi serilerin ilk terimleri sadeleştirilerek yazılabilir.

$$ANO = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{\text{eff}} t}{4L^2}\right) \quad (3.3)$$

Logaritmik formda yazıldığında eşitlik (3.4) elde edilir.

$$\ln \text{ANO} = \ln \frac{8}{\pi^2} - \frac{\pi^2 D_{\text{eff}} t}{4L^2} \quad (3.4)$$

Bu çalışmada eşitlik (3.4)'den yola çıkarak, ANO değerlerinin doğal logaritmik dönüşümleri zamana karşı grafiğe geçirilmiş ve elde edilen doğrunun eğimi kullanılarak D_{eff} değerleri eşitlik (3.5) ile hesaplanmıştır.

$$K = \frac{\pi^2 D_{\text{eff}}}{4L^2} \quad (3.5)$$

Bu denklemde K, doğrunun eğimini göstermektedir (Wang vd. 2007).

Difüzyon katsayısının değişimi Arrhenius tipi üssel bir fonksiyonla açıklanabilmektedir. Eşitlik (3.6) kullanılarak kurutma deneylerindeki aktivasyon enerjileri (tepsili kurutucuda kurutulan örnekler için) hesaplanmıştır.

$$D_{\text{eff}} = D_0 \exp \left(- \frac{E_A}{RT} \right) \quad (3.6)$$

Bu denklemde,

D_{eff} : Efektif difüzyon katsayısı (m^2/s)

D_0 : Sonsuz sıcaklıktaki difüzyon katsayısı (m^2/s),

E_A : Aktivasyon enerjisi (kJ/mol)

R: Üniversal gaz sabiti (kJ/mol.K)

T: kurutma havası sıcaklığıdır (K).

Mikrodalga kurutmada ise aktivasyon enerjisi mikrodalga gücüne bağlı olarak aşağıdaki eşitlik (3.7) ile hesaplanabilmektedir (Dadalı vd. 2007a).

$$D_{\text{eff}} = D_0 \exp \left(- \frac{E_A m}{P} \right) \quad (3.7)$$

Bu eşitlikte diğerinden farklı olarak,

m: yaş ürün ağırlığı (g)

P: mikrodalga gücüdür (W).

3.2.4.2 Kurutma eğrilerinin matematiksel modellenmesi

Bu çalışmada patlıcan, kabak ve kiraz domatesi için en uygun ayrılabilir nem oranı modeli araştırılmıştır. Bu amaçla gıda kurutma proseslerinde en çok kullanılan 13 model (Çizelge 2.1) istatistiksel olarak kıyaslanmış ve modellerdeki katsayılar doğrusal olmayan regresyon analizi yapılarak bulunmuştur. Regresyon analizleri SigmaPlot 11,0 (Systat Inc., USA) programı ile gerçekleştirilmiştir. Deneysel verilere en uygun model belirlenirken RMSE (tahmini standart hata), χ^2 (ki-kare) ve R^2 (belirleme katsayısı) hesaplanmıştır. Tahmini standart hata, modelden elde edilen tahmini ve deneysel veri arasındaki sapmayı ve ki-kare uyumun iyilik derecesini göstermektedir. En uygun model için ki-kare ve tahmini standart hata değerinin sıfıra, R^2 'nin ise bire yakın olması gerekmektedir (Loague ve Green 1991, Pangavhane vd. 1999).

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (ANO_{\text{tahmini}} - ANO_{\text{deneysel}})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.8)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (ANO_{\text{deneysel}} - ANO_{\text{tahmini}})^2}{N - n} \quad (3.9)$$

Bu eşitliklerde,

ANO_{tahmini} : tahmini ayrılabilir nem oranı,

ANO_{deneysel} : deneysel ayrılabilir nem oranı,

N: deneysel veri sayısı,

n: kullanılan modeldeki katsayı sayısıdır.

3.2.4.3 Kurutma hızının hesaplanması

Kurutma hızı eşitlik (3.10) kullanılarak tüm ürünler için hesaplanmıştır (Karaaslan 2008).

$$\frac{\Delta M}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{M_{t+\Delta t} - M}{\Delta t} \quad (3.10)$$

Bu eşitlikte,

$\Delta M/\Delta t$: Kurutma hızı (kg su/kg k.m..dk)

M: Belli bir “t” anındaki nem içeriği (kg su/kg k.m.)

t, Δt : Zaman (dk)

3.2.4.4 İstatistiksel analizler

Bulgularla ilgili istatistiksel analizler MINITAB 15.1.1.0 paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Değerlendirme sonucu, istatistiksel açıdan önemli bulunan değerler Tukey testi ile $p \leq 0,05$ önem derecesine göre belirlenmiştir.

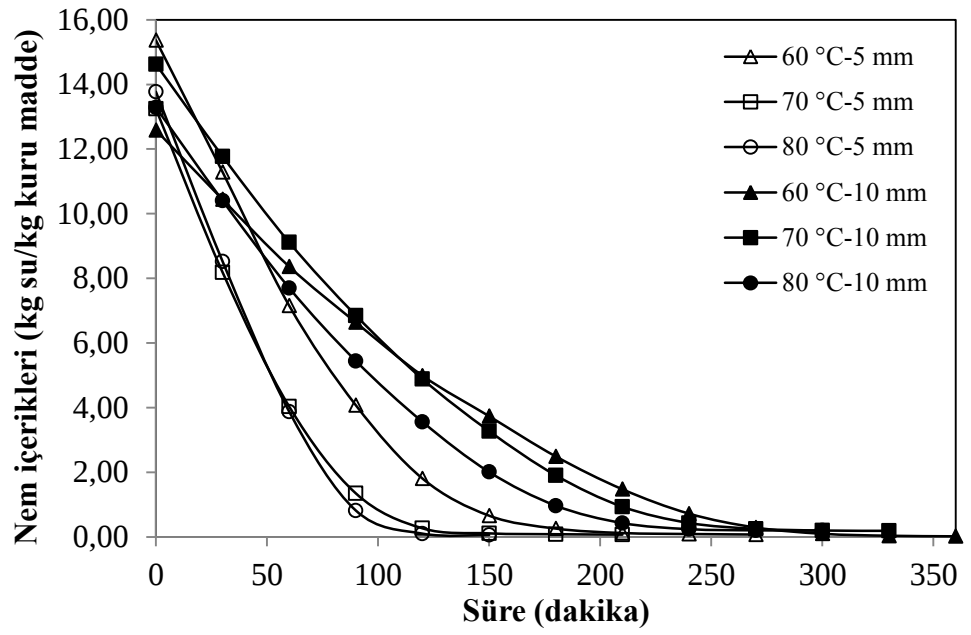
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Tepsili Kurutma

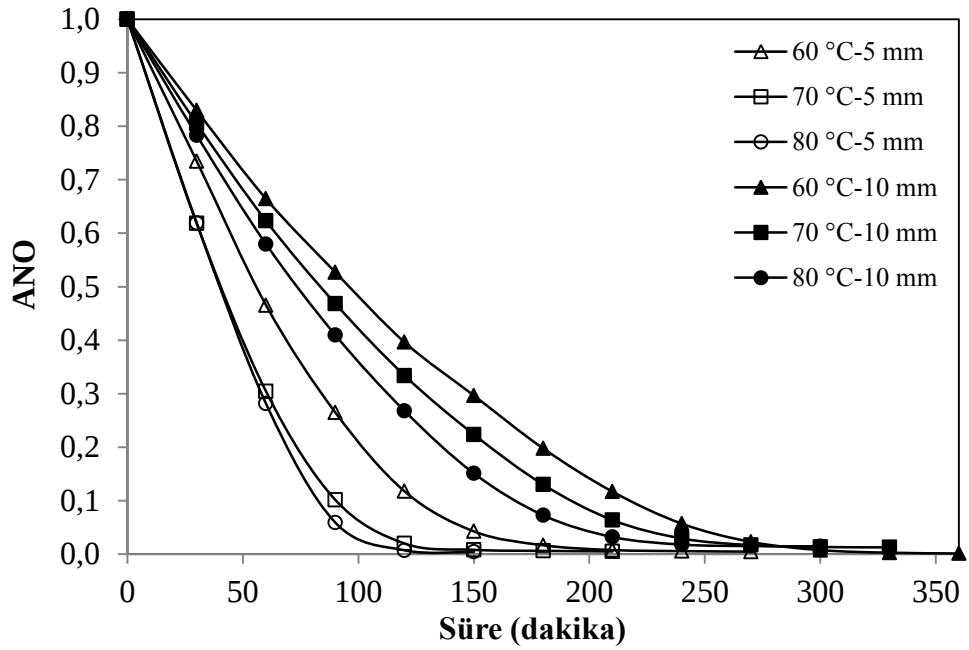
4.1.1 Patlıcan örnekleri

4.1.1.1 Kurutma sırasındaki nem değişimi bulguları

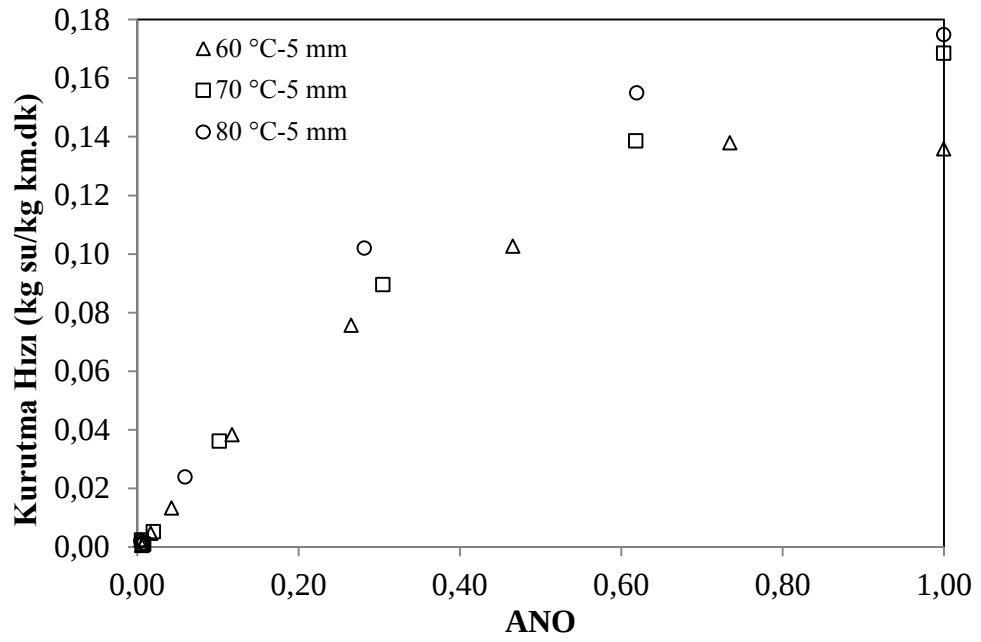
Patlıcan örnekleri farklı sıcaklık (60, 70 ve 80 °C) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuştur. Örneklerin kurutma öncesi nem miktarları ortalama % 92±0,4 (y.b.), kurutma sonrası nem miktarları ise yaklaşık, %3±0,5 (y.b.) olarak ölçülmüştür. Ürünlerin nem içeriklerinin (kg su/kg kuru madde) ve ayrılabilir nem oranı (ANO) değerlerinin zamanla değişimi şekil 4.1-4.2’de verilmiştir. Patlıcan örnekleri başlangıçta ortalama 13 kg su/kg kuru madde nem içeriğinden, 0,1 kg su/kg kuru madde nem içeriğine kadar kurutulmuştur. Bulgular incelendiğinde kurutma sıcaklığının ve ürün kalınlığının kurutma hızı üzerinde önemli bir etkisi olduğu gözlenmiştir. Farklı patlıcan örneklerinin ANO ile değişen kurutma hızı grafikleri şekil 4.3-4.4’de verilmiştir. Grafiklerden de anlaşılabileceği gibi patlıcan örneklerinde sabit hızda kuruma görülmemekte ve tüm kurutma işlemi azalan hız periyodunda gerçekleşmektedir. Bu da, kurutmayı sadece örnek içerisindeki difüzyonun etkilediğini göstermektedir. Azalan hız periyodunda, ürün içerisindeki nem oranının azalmasıyla kurutma hızı azalmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda örneklerin daha hızlı kuruduğu, ancak örneklerin kalınlığı arttıkça kurutma hızının azaldığı tespit edilmiştir. Patlıcanın dilim kalınlığı yarıya düşürüldüğünde kurutma hızı yaklaşık olarak iki kat artmıştır. Ürün kalınlığının azalması, suyun difüzyonla yol alacağı mesafeyi azaltır ve birim hacim başına kurumaya maruz kalan yüzey alanını artırır. Bu sebeple ince dilimlenmiş gıda ürünleri daha çabuk kururlar (Ertekin ve Yıldız 2004). Doymaz ve Göl (2011)’de farklı sıcaklıklarda (50-80 °C) kuruttıkları patlıcan örneklerinin kurutma hızlarının azalan bir eğilim izlediğini çalışmalarında rapor etmişlerdir. Benzer çalışmalar araştırmacılar tarafından farklı materyallerle de denenmiş ve sonuçta kurutma hızının nem içeriği ile azalan bir eğilim gösterdiği bulunmuştur (Akpınar ve Biçer 2003, Toğrul ve Pehlivan 2003, Aghbashlo vd. 2010, Doymaz 2011a).



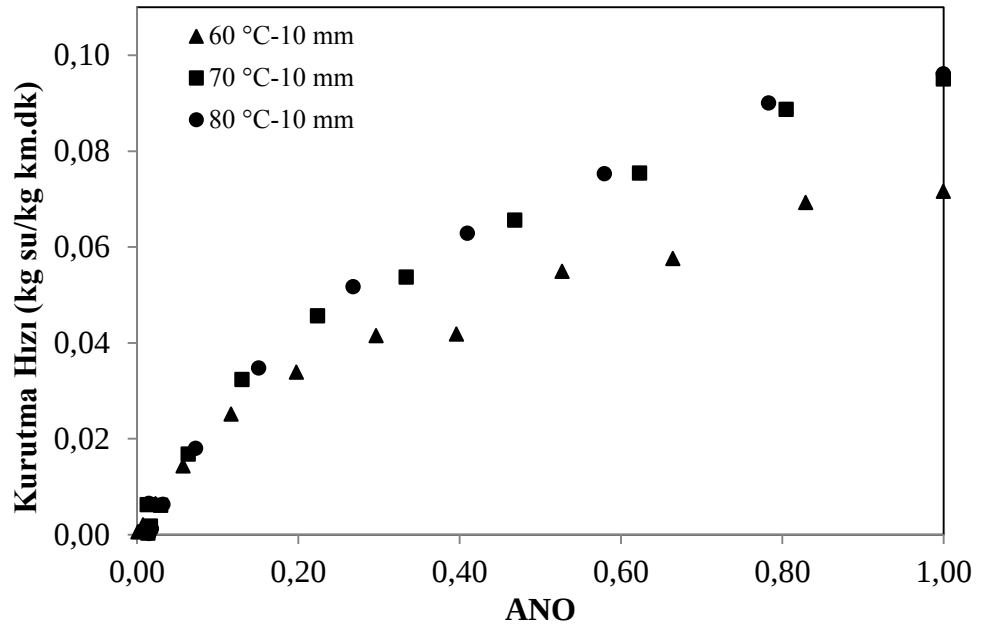
Şekil 4.1 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklık (60, 70, 80 °C) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş patlıcan örneklerinin zamanla değişen nem içerikleri (kg su/kg k.m.)



Şekil 4.2 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklık (60, 70, 80 °C) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş patlıcan örneklerinin ayrılabilir nem oranlarının (ANO) zamanla değişimi

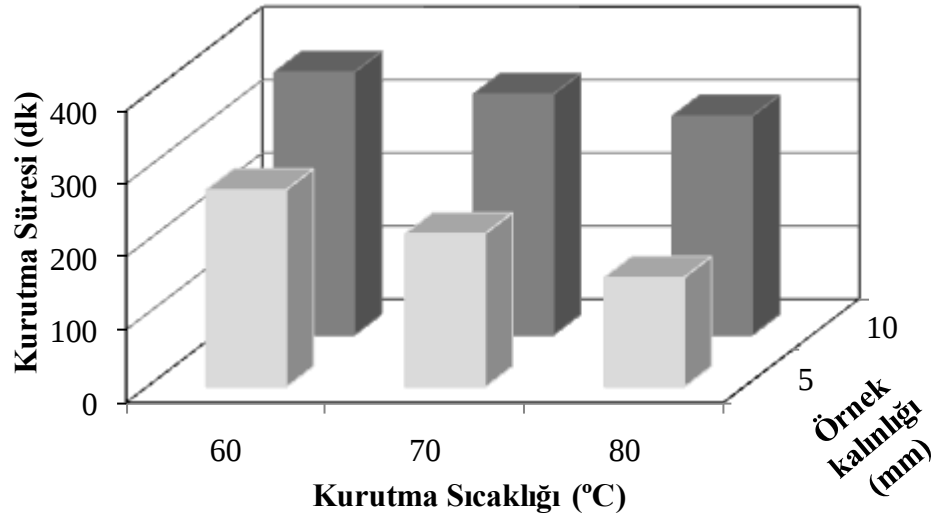


Şekil 4.3 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklık (60, 70, 80 °C) kurutulmuş patlıcan örneklerinin (5 mm kalınlık) ANO ile değişen kurutma hızı (kg su/kg k.m..dk)



Şekil 4.4 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklık (60, 70, 80 °C) kurutulmuş patlıcan örneklerinin (10 mm kalınlık) ANO ile değişen kurutma hızı (kg su/kg k.m..dk)

Patlıcan örneklerinin kurutma süreleri şekil 4.5’de daha detaylı olarak gösterilmiştir. Önceden de belirtildiği üzere, örnek kalınlığının azalması ve kurutma sıcaklığının artması, kurutma hızını önemli ölçüde arttırmakta ve dolayısıyla kuruma süresini kısaltmaktadır. 5 mm kalınlıktaki patlıcan örneklerinin (artan sıcaklıkla) kuruma süreleri sırasıyla 270, 210, 150 dakika; 10 mm kalınlıktaki örneklerin ise 360, 330 ve 300 dakikadadır. Sabit kalınlıkta sıcaklığın 20 °C artırılması, dilim kalınlığı 5 mm olan örneklerde kuruma süresini %44, 10 mm kalınlıktaki örneklerde %17 oranında azaltmıştır. Bu bulgu, ince örneklerin kuruma süresinin sıcaklıkla daha çok etkilendiğini göstermektedir. Bir başka deyişle eğer kurutulan örnekler kalın ise kurutma süresini kısaltmak için sıcaklığı arttırmak çok ekonomik bir yöntem olmayabilir. Benzer şekilde sabit sıcaklıkta, patlıcan örneklerinin kalınlığının yarıya düşürülmesi kurutma sürelerini 60, 70 ve 80 °C için sırasıyla %25, %36 ve %50 oranında azaltmıştır. Yüksek sıcaklıkta örneklerin inceltilmesinin kurutma süresini çok büyük oranda etkilediği açıktır. Literatürde değişik gıda örnekleri için benzer sonuçlar rapor edilmiştir. Ertekin ve Yıldız (2004), çalışmalarında 60 °C’de tutulan 0,635, 1,27 ve 2,54 cm kalınlığındaki patlıcan örneklerinin sırasıyla 6, 11 ve 21 saatte kuruduklarını belirtmişlerdir. Ertekin ve Yıldız (2004)’ın sonuçları daha detaylı incelenirse, patlıcan örneklerinin kalınlığının yarıya düşürülmesiyle kurutma süresinin yaklaşık olarak %45-47 oranında azaldığı anlaşılır. Bu sonuç, bizim çalışmamızda 60 °C’de bulduğumuz kurutma süresindeki azalmadan çok daha yüksektir. Aradaki fark, bahsi geçen çalışmada patlıcan örneklerinin kurutma öncesinde kaynar suda 5 dakika haşlanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kaynatılarak yapılan bu ön işlem, gıda içerisindeki nem transferinin daha kolay olmasını sağlamakta ve kurutma süresini kısaltmaktadır. Benzer sonuçlar, Doymaz ve Göl (2011) tarafından da raporlanmıştır. Çalışmalarında, 50 °C’de kurutulan patlıcan örneklerinin kalınlıklarının 1 cm’den 0,5 cm’e düşürülmesi ile kurutma süresinin %24,2 oranında azaldığını bildirmişlerdir.



Şekil 4.5 Tepsili kurucuda farklı sıcaklık (60,70, 80 °C) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş patlıcan örneklerinin kurutma süreleri (dk)

4.1.1.2 Matematiksel modelleme

Kurutma sonrasında elde edilen ayrılabilir nem oranı verileri çizelge 2.1’de verilen 13 modele uyarlanmıştır. Deneylerden elde edilen gerçek veriler ve modellerden elde edilen tahmini veriler kullanılarak R^2 , χ^2 ve RMSE değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.1). Patlıcan örnekleri için R^2 değerlerinin 0,97308-0,99976 aralığında, χ^2 değerlerinin 0-0,01275 aralığında, RMSE değerlerinin ise 0,00008-0,07613 aralığında olduğu bulunmuştur. Sonuçlar irdelendiğinde, iki farklı modelin deneysel verilere iyi uyum sağladığı tespit edilmiştir. Buna göre; 5 mm dilim kalınlığındaki örnekler için (kurutma sıcaklığı farketmeksizin) en yüksek R^2 (belirleme katsayısı), en düşük RSME (tahminin standart hatası) ve χ^2 (uyumun iyilik derecesi) değerleri Midilli ve ark. modelinde ($ANO = a \times \exp(-kt^n) + bt$) saptanmıştır. Benzer şekilde, 10 mm dilim kalınlığındaki örnekler için ise en uygun modelin Wang ve Sing ($ANO = 1 + at + bt^2$) modeli olduğu belirlenmiştir. Benzer sonuçlar, Ertekin ve Yıldız (2004) tarafından da bulunmuştur. Bu çalışmada patlıcan örnekleri, farklı sıcaklıklarda (30-70 °C) ve farklı kalınlıklarda (0,635-2,54cm) kurutulmuştur. Sonrasında nem oranı verilerinin 14 farklı modelle uyumu incelenmiş ve en uygun modelin Midilli ve ark. modeli olduğu rapor edilmiştir.

Diğer bir çalışmada, Akpınar ve Biçer (2005), siklon tipi kurutucuda 6 mm kalınlığındaki patlıcan örneklerini farklı sıcaklıklarda (55-75 °C) kurutmuşlardır. Sonuçlara göre, en uygun modelin Page modeli olduğunu bildirmişlerdir. Ancak, bu çalışmada Midilli modelinin uyumuna bakılmamıştır. Doymaz ve Göl (2011), patlıcan örneklerini kabin kurutucuda farklı sıcaklıklar (50-80 °C) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutmuşlar ve en uygun modelin Page modeli olduğunu bildirmişlerdir. Fakat Doymaz ve Göl (2011), çalışmalarında sadece iki modelin (Page ve Henderson-Pabis) uyumluluğunu incelemişlerdir. Bu sebeple, sonuçlarının başka modellere daha iyi uyum sağlamış olabileceği de göz önünde bulundurulmalıdır. Benzer bir çalışmada Doymaz (2011b), 11 farklı modelden patlıcan kurutma verilerine en uygun modellerin Logaritmik, Wang ve Sing ve Midilli olduğunu belirtmişlerdir. Genel olarak bakıldığında, koşulların (hava sıcaklığı, hızı, nemi) ve kurutucu tipi gibi bazı parametrelerin ayrılabilir nem oranının modellenmesine etkili olabileceği düşünülmektedir.

Modellerdeki katsayılar SigmaPlot 11.0 (Systat Software Inc., USA) programı kullanılarak doğrusal olmayan regresyon analizi ile hesaplanmıştır. Midilli ve ark. ile Wang ve Sing modelinde bulunan katsayılar (a, k, n ve b), farklı koşullarda kurutulmuş patlıcan örnekleri için çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklık (60, 70, 80 °C) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş patlıcan örnekleri için kullanılan ANO modellerinin istatistiksel parametreleri

Model İsmi	Sıcaklık (°C)	Ürünün Kalınlığı (mm)	RMSE	χ^2	R ²
Newton					
	60	5	0,02512	0,00070	0,97927
	70	5	0,01916	0,00042	0,98388
	80	5	0,02286	0,00063	0,97308
	60	10	0,03020	0,00099	0,97375
	70	10	0,01398	0,00021	0,97893
	80	10	0,02255	0,00056	0,97971
Page					
	60	5	0,00357	0,00002	0,99933
	70	5	0,00273	0,00001	0,99926
	80	5	0,00256	0,00001	0,99855

	60	10	0,02682	0,00085	0,99592
	70	10	0,02089	0,00052	0,99758
	80	10	0,01539	0,00029	0,99815
Geliştirilmiş Page I					
	60	5	0,02076	0,00054	0,97927
	70	5	0,02312	0,00071	0,98388
	80	5	0,02499	0,00094	0,97308
	60	10	0,03012	0,00107	0,97375
	70	10	0,02866	0,00099	0,97893
	80	10	0,02750	0,00092	0,97971
Geliştirilmiş Page II					
	60	5	0,00272	0,00001	0,99933
	70	5	0,00326	0,00001	0,99926
	80	5	0,00659	0,00007	0,99855
	60	10	0,02682	0,00085	0,99592
	70	10	0,02089	0,00052	0,99758
	80	10	0,01539	0,00029	0,99815
Henderson ve Pabis					
	60	5	0,04018	0,00202	0,98203
	70	5	0,03787	0,00191	0,98500
	80	5	0,03772	0,00213	0,97468
	60	10	0,05195	0,00319	0,97830
	70	10	0,03945	0,00187	0,98257
	80	10	0,04282	0,00224	0,98302
Logaritmik					
	60	5	0,00254	0,00001	0,98929
	70	5	0,00056	0,00001	0,99009
	80	5	0,00678	0,00009	0,98835
	60	10	0,00283	0,00001	0,99485
	70	10	0,02133	0,00061	0,99378
	80	10	0,00444	0,00003	0,99257
İki Terimli					
	60	5	0,04220	0,00297	0,98203
	70	5	0,03472	0,00241	0,98500
	80	5	0,03789	0,00431	0,97468
	60	10	0,05017	0,00364	0,97830
	70	10	0,04866	0,00355	0,98257
	80	10	0,04597	0,00332	0,98302
İki Terimli Exponansiyel					
	60	5	0,03448	0,00149	0,97914
	70	5	0,00649	0,00006	0,99835
	80	5	0,00976	0,00014	0,99665
	60	10	0,03339	0,00132	0,99371
	70	10	0,02678	0,00086	0,99616

	80	10	0,02282	0,00064	0,99685
Wang ve Sing					
	60	5	0,00681	0,00006	0,99232
	70	5	0,01645	0,00036	0,98692
	80	5	0,00585	0,00005	0,99779
	60	10	0,00143	0,00000	0,99976
	70	10	0,00322	0,00001	0,99957
	80	10	0,00008	0,00001	0,99905
Difüzyon Yaklaşımı					
	60	5	0,01905	0,00052	0,99047
	70	5	0,01828	0,00053	0,98383
	80	5	0,02286	0,00105	0,97308
	60	10	0,03012	0,00118	0,97375
	70	10	0,00790	0,00008	0,99437
	80	10	0,02750	0,00104	0,97971
Verma ve ark.					
	60	5	0,01798	0,00046	0,99047
	70	5	0,02125	0,00072	0,98383
	80	5	0,02323	0,00108	0,97308
	60	10	0,02943	0,00113	0,97375
	70	10	0,00790	0,00008	0,99437
	80	10	0,02750	0,00104	0,97971
Geliştirilmiş Henderson ve Pabis					
	60	5	0,04147	0,00430	0,98203
	70	5	0,03433	0,00471	0,98500
	80	5	0,04318	0,01119	0,97468
	60	10	0,05017	0,00468	0,97830
	70	10	0,04754	0,00452	0,98257
	80	10	0,07613	0,01275	0,98302
Midilli ve ark.					
	60	5	0,00146	0,00001	0,99936
	70	5	0,00249	0,00001	0,99927
	80	5	0,00422	0,00005	0,99874
	60	10	0,00456	0,00003	0,99810
	70	10	0,00848	0,00011	0,99823
	80	10	0,00864	0,00012	0,99841

Çizelge 4.2 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklık (60, 70, 80 °C) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş patlıcan örnekleri için kullanılan modellerin katsayıları

Model	Deney Koşulu	a	k	n	b
Midilli ve ark.	60 °C-5 mm	0,9957	0,002271	1,424	-0,000010780
	70 °C-5 mm	0,9978	0,003658	1,424	-0,000003798
	80 °C-5 mm	0,9979	0,002564	1,526	-0,000077300
Wang ve Sing	60 °C-10 mm	-0,006150	-	-	0,000009410
	70 °C-10 mm	-0,007014	-	-	0,000012310
	80 °C-10 mm	-0,007951	-	-	0,000015770

Katsayıların kurutma sıcaklığına bağlı olarak değişimlerini ifade eden eşitlikler çizelge 4.3’de verilmiştir. Midilli modelinin katsayıları sıcaklık ile polinomik olarak değişirken, Wang and Sing modelinin katsayıları sıcaklıkla lineer olarak değişmiştir. Bu eşitlikler yardımı ile sıcaklığı bilinen bir denemede nem miktarı tahminleri kolaylıkla yapılabilecektir.

Çizelge 4.3 Tepsili kurutucuda farklı kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş patlıcan örneklerinin model katsayılarının sıcaklığa bağlı olarak değişimi ile elde edilen eşitlikler

Kalınlık	Eşitlik	y ₀	c	c ₁	R ²
5 mm	$k=y_0+cT+c_1T^2$	-1,4608	0,0085	-0,00001	1,0000
	$a=y_0+cT+c_1T^2$	-0,2164	0,0070	-0,00001	1,0000
	$b=y_0+cT+c_1T^2$	-0,0462	0,0003	-0,0000004	1,0000
	$n=y_0+cT+c_1T^2$	59,676	-0,3448	0,0005	1,0000
10 mm	$a=y_0+cT$	-0,0379	0,00009	-	0,9995
	$b=y_0+cT$	-0,0004	0,0000003	-	0,9974

y₀, c ve c₁ eşitlik katsayıları, T sıcaklık (K), R² ise belirtme katsayısıdır.

4.1.1.3 Efektif difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi

Tepsili kurutma sonrasında patlıcan örneklerinin ANOVA değerleri kullanılarak efektif difüzyon katsayıları hesaplanmış olup, değerler çizelge 4.4’de verilmiştir. Genel olarak, gıdalarda efektif difüzyon katsayıları 10⁻¹¹ ile 10⁻⁹ m²/s arasında değişmektedir (Rizvi 1986). Bu çalışmada farklı koşullarda kurutulmuş olan patlıcan örneklerinin efektif difüzyon katsayıları ise 1,01×10⁻⁹-4,06×10⁻⁹ m²/s arasında olduğu bulunmuştur. Sabit kalınlıkta, efektif difüzyon katsayısı sıcaklık arttıkça bir artış göstermiştir. Bilindiği

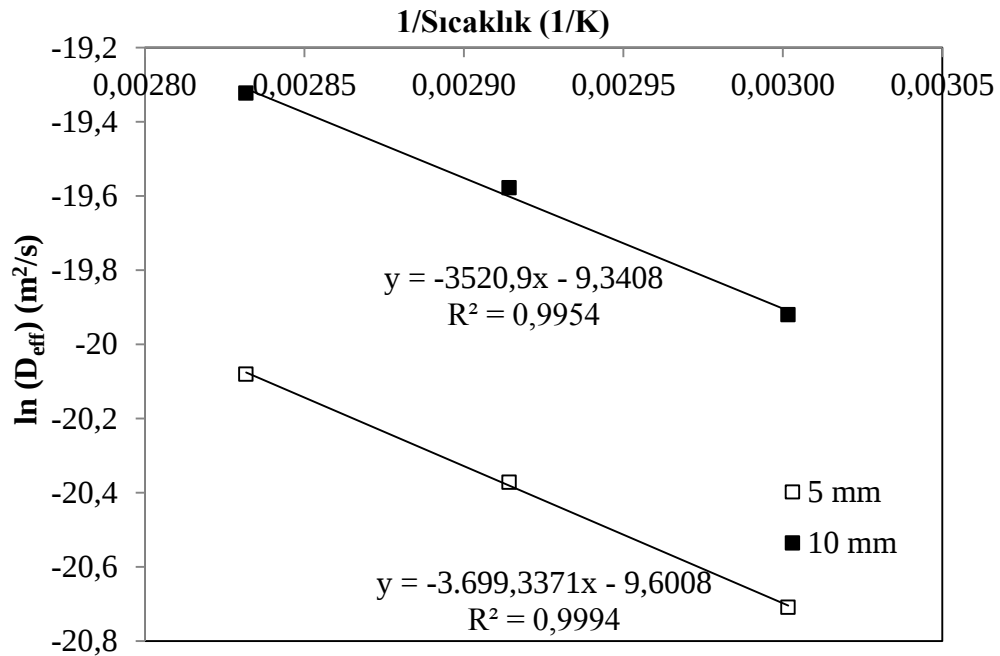
üzere, yüksek sıcaklıklarda su molekülleri daha hızlı hareket ederler ve bu da efektif difüzyon katsayısının artmasına sebep olur. Ek olarak, D_{eff} değeri örnek kalınlığının karesi ile doğru orantılıdır (Eşitlik 3.6). Bu sebeple, kalınlığın artması da efektif difüzyon katsayısında bir artışa neden olmuştur. Patlıcan örnekleri için literatürde benzer sonuçlar (50-80 °C sıcaklık) $5,575-9,745 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ (Doymaz 2011b) rapor edilmiştir. Doymaz ve Göl (2009), farklı sıcaklık (50, 60, 70 ve 80 °C) ve kalınlıklarda patlıcan ile yaptıkları çalışmada D_{eff} değerlerini $0,93-5,34 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ aralığında olduğunu bulmuşlardır. Bu çalışmada bizim bulgularımıza benzer şekilde sıcaklık ve kalınlığın artışı ile D_{eff} değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Mengeş ve Ertekin (2007), vişnenin kurutulması ile ilgili yaptıkları çalışmada efektif difüzyon katsayısının sıcaklıkla arttığını ve değerlerin $1,216 \times 10^{-10}$ ile $1,429 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ aralığında değiştiğini bildirmişlerdir. Doymaz (2011a), patates dilimleri ile yaptığı çalışmada difüzyon katsayısının sıcaklıkla arttığını ve $9,323 \times 10^{-11}$ ile $1,758 \times 10^{-10}$ aralığında değiştiğini rapor etmiştir.

Aktivasyon enerjisi (E_A), efektif difüzyon katsayılarının doğal logaritması ($\ln(D_{eff})$), sıcaklığın tersine ($1/T$) karşı grafiğe geçirildiğinde (Şekil 4.6) elde edilen doğrunun eğiminden hesaplanabilir. Genel olarak, gıdalarda aktivasyon enerjileri 15 ile 40 kJ/mol arasında değişmektedir (Rizvi 1986). Bu çalışmada aktivasyon enerji değerleri, 5 mm ve 10 mm kalınlığındaki patlıcan örnekleri için sırasıyla, 30,75 ve 29,27 kJ/mol olarak bulunmuştur. Benzer sonuçlar literatürde bildirilmiştir. Doymaz ve Göl (2011), patlıcan örneklerindeki aktivasyon enerjisinin 0,5 ve 1 cm kalınlıklar için sırasıyla 20,12 ve 24,54 kJ/mol arasında olduğunu rapor etmiştir. Benzer olarak Doymaz (2011b), patlıcan için aktivasyon enerjisinin 20,76 kJ/mol olduğunu tespit etmiştir.

Bir prosesin aktivasyon enerjisinin yüksek olması, o prosesin sıcaklık değişimine daha hassas olduğunu göstermektedir (Aghbashlo 2010). Bu bilgiden yola çıkarak, dilim kalınlığı ince olan patlıcan örneklerindeki sıcaklık artışının, kurutma işlemini daha çok etkilediği söylenebilir. Bu bulgu, önceden belirtmiş olduğumuz ince örneklerin kuruma süresinin sıcaklıkla daha çok etkilendiği bilgisini doğrular niteliktedir.

Çizelge 4.4 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklık (60, 70, 80 °C) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş patlıcan örneklerinin D_{eff} (m^2/s) değerleri

Deney Koşulu	D_{eff} (m^2/s)
5 mm - 60 °C	$1,01 \times 10^{-9}$
5 mm - 70 °C	$1,42 \times 10^{-9}$
5 mm - 80 °C	$1,90 \times 10^{-9}$
10 mm - 60 °C	$2,23 \times 10^{-9}$
10 mm - 70 °C	$3,14 \times 10^{-9}$
10 mm - 80 °C	$4,06 \times 10^{-9}$



Şekil 4.6 Tepsili kurutucuda farklı kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş patlıcan örneklerinin D_{eff} değerleri (m^2/s) ile kurutma sıcaklıkları (1/K) arasındaki Arrhenius ilişkisi

4.1.1.4 Renk analizi bulguları

Gıdalarda, uygulanan proseslerin renk üzerine değişimini doğru olarak yansıtmak gerçekten zordur. Bunun sebebi de deneyler sırasında kullanılan hammaddenin kendi içerisinde farklılık göstermesidir. Kurutma öncesinde patlıcanın renk değerleri incelendiğinde bazı değerlerin büyük farklılık gösterdiği gözlenmiştir. İlk örneğin, renk

değerinin kurutma öncesi ortalamadan düşük veya yüksek olması o gün yapılan deneyin sonuçlarının farklı algılanmasına sebep olabilmektedir.

Patlıcan örneklerinin yaş ve kuru haldeki renk değerlerinin ortalamaları çizelge 4.5’de verilmiştir. Kurutma sırasındaki renk değişimleri genel olarak esmerleşme reaksiyonlarının bir sonucu olarak açıklanabilir (Anonim 2011). Bu sebeple kurutma prosesinin patlıcan örneklerinin renk değerleri üzerine etkisi incelenirken parlaklık (L^*) ve doygunluk (C^*) değerlerinin üzerinde tartışmak daha doğru olabilir (Ertekin ve Yıldız 2004). Kurutma öncesindeki yaş patlıcan örneklerinin ($n=18$) ortalama parlaklık değeri 84,16 olarak bulunmuştur. 5 mm kalınlıktaki patlıcan örneklerinin ortalama L^* değerleri sıcaklık değişimi ile en düşük 83,54 ve en yüksek 86,48 değerini almıştır. Bu kalınlıkta (5 mm) parlaklık değerinin sıcaklıkla çok etkilenmediği söylenebilir. Ancak, 10 mm kalınlıkta kurutulan patlıcan örneklerinin L^* değerleri, kontrol örneğine kıyasla istatistiksel olarak önemli ($p<0.05$) derecede azalmıştır. Bu bulgu, bize kalınlığın artmasıyla örneklerin renginin kurutma prosesinden daha çok etkilendiğini göstermektedir. Aynı zamanda, 10 mm kalınlıkta kurutulan patlıcan örneklerinin L^* değerlerinin, sıcaklığın artmasıyla kontrol örneğine daha yakın bir değer aldığı tespit edilmiştir. Bu da, çalışılan sıcaklıklarda, kurutma süresinin ürünün kararması üzerine daha etkili olabileceğini düşündürmektedir. Düşük sıcaklıklardaki uzun kurutma süreleri ürünlerin daha çok esmerleşmesine sebep olabilmektedir.

Kroma (C^*) değeri, doygunluk, canlılık veya berraklık olarak da bilinmektedir. Yüksek doygunluk değeri canlı renklere neden olurken, düşük doygunluk değeri rengin gri tonlarına yaklaşmasına ve mat gözükmeye sebep olur. Çalışmamızda patlıcan örneklerinden elde edilen doygunluk değerleri, parlaklık (L^*) verileri ile ilgili bulguları destekler niteliktedir. 5 mm kalınlıkta kurutulan örneklerin doygunluk değerleri (C^*) kontrol grubuna kıyasla istatistiksel olarak farklılık göstermezken, 10 mm kalınlıkta kurutulan örneklerin doygunluk verileri kontrol grubuna göre istatistiksel olarak önemli ölçüde azalmıştır.

Bu çalışmada elde edilen bulgulardan farklı olarak, Ertekin ve Yıldız (2004), kurutma sıcaklığının arttırılmasıyla patlıcan örneklerinin parlaklık değerlerinin azaldığını ve

canlılık değerinin ise arttığını rapor etmiştir. Ancak, daha önceden de belirtildiği üzere Ertekin ve Yıldız (2004), örneklerini kurutma öncesinde 5 dakika süreyle haşlamışlardır. Bu da örneklerin kurutma sırasındaki renk değişimlerini etkileyebilecek bir işlemdir.

Çizelge 4.5 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklık (60, 70, 80 °C) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş patlıcan örneklerinin renk değerleri

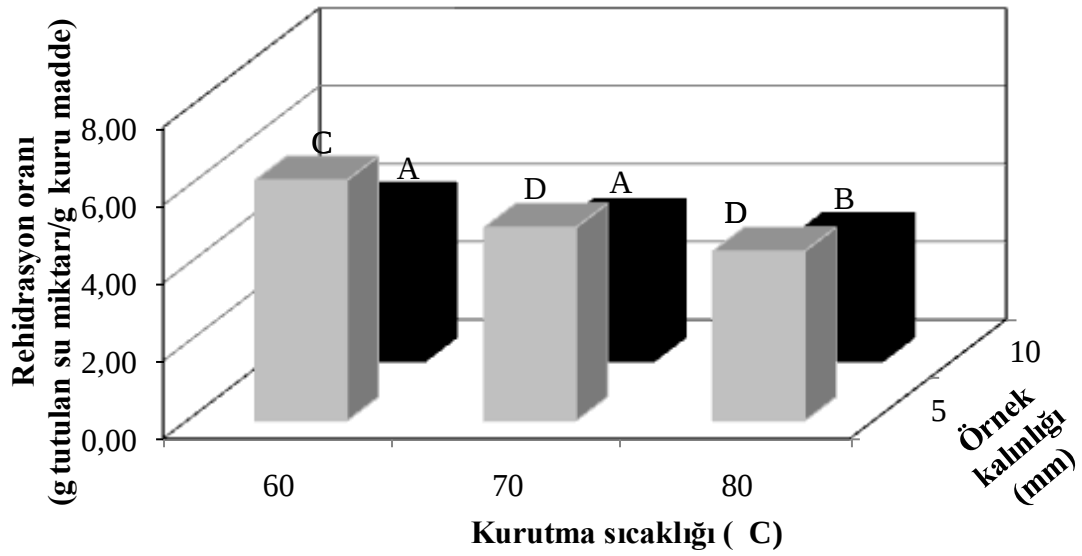
Örnek	Deney Koşulu	L*	C*
Taze patlıcan	-	84,16±1,22	22,38±4,83
Kurutulmuş Patlıcan	5 mm 60 °C	83,54±1,46	20,60±2,75
	5 mm 70 °C	86,48±0,65	15,87±0,24
	5 mm 80 °C	84,50±2,16	20,21±1,32
	10 mm 60 °C	78,21±0,92	29,12±0,82
	10 mm 70 °C	78,39±1,16	19,82±0,74
	10 mm 80 °C	81,37±1,25	20,66±2,08

4.1.1.5 Rehidrasyon analizi bulguları

Rehidrasyon oranı (g tutulan su miktarı/g kuru madde) kurutulmuş bir gıdanın tekrardan su alma kapasitesi olarak tanımlanabilmektedir. Kurutulmuş bir ürünün rehidrasyon özellikleri, kurutma esnasında meydana gelen kimyasal ve yapısal değişimler, kurutma koşulları, ürüne kurutma öncesi uygulanan ön işlemler ve ürün kompozisyonu ile doğrudan ilişkilidir. Yapısal ve hücrel bozulmalar minimize edildiğinde rehidrasyon miktarı en yüksek seviyeye ulaşabilmektedir (Okos vd. 2007).

Patlıcan örneklerinin 5 mm kalınlıktaki örneklerde en yüksek ve en düşük rehidrasyon oranları sırasıyla 6,18 ve 4,35 g tutulan su /g kuru madde iken, 10 mm kalınlıktaki örneklerde en yüksek 3,96 ve en düşük 3,19 g tutulan su/g kuru madde'dir. Sonuçlar incelendiğinde (Şekil 4.7), her iki kalınlık için en yüksek rehidrasyon oranı 60 °C sıcaklıkta kurutulmuş patlıcan örneklerinde gözlemlenmiştir. Bu da düşük sıcaklıklarda yapısal ve hücrel bozulmaların minimum olduğunun bir göstergesidir. Ek olarak, patlıcan örneklerinin yeniden su tutabilme kapasitelerinin kalınlıklarının artmasıyla azaldığı tespit edilmiştir. İstatistiksel olarak incelendiğinde, 5 mm kalınlığındaki

örneklerde 60 °C’de elde edilen rehidrasyon sonuçlarının, diğer sıcaklıklardaki bulgulardan önemli ölçüde yüksek olduğu bulunmuştur ($p<0,05$). Ancak, 10 mm kalınlığındaki patlıcan örneklerinde, 60 ve 70 °C’de tespit edilen rehidrasyon verilerinin arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Sabit sıcaklıkta ise dilim kalınlıkları arasındaki rehidrasyon farkı, her örnek için istatistiksel olarak farklıdır ($p<0,05$). Benzer bir çalışmada, patlıcanları farklı sıcaklıklarda (30-70 °C) kurutmuş olan Ertekin ve Yıldız (2004), maksimum rehidrasyon oranının 50 °C’de kurutulan örneklerden elde edildiğini rapor etmişlerdir.



Şekil 4.7 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklık (60, 70, 80 °C) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş patlıcan örneklerinin kalınlık ve sıcaklıkla değişen rehidrasyon oranları (g tutulan su/g kuru madde)

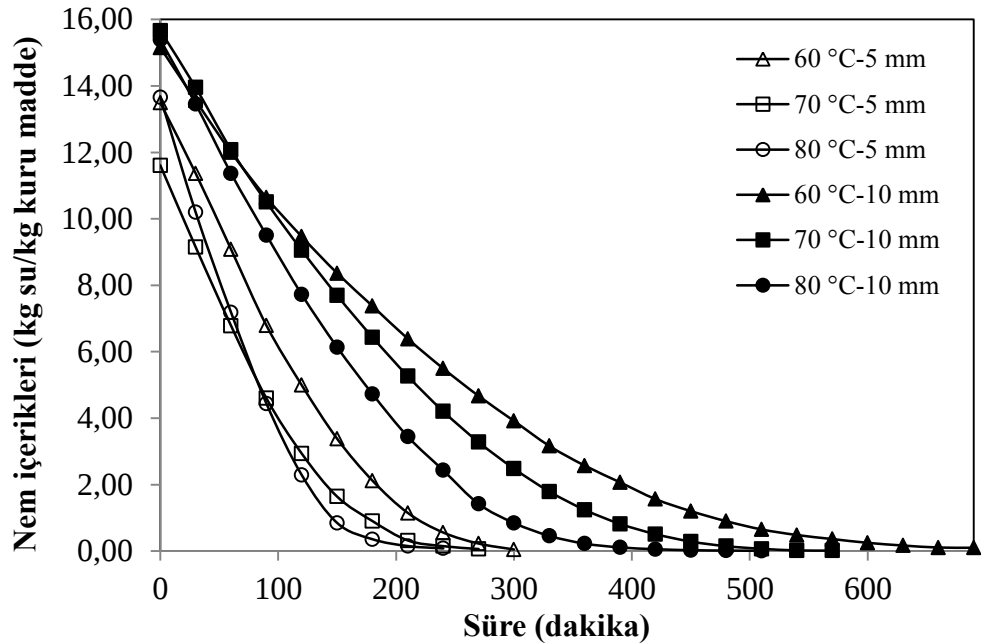
(Rehidrasyon oranlarının standart sapma değerleri 0,04-0,29 arasındadır. Şekil üzerindeki farklı harfler, istatistiksel olarak önemli farklılıkları göstermektedir ($p<0,05$).)

4.1.2 Kabak örnekleri

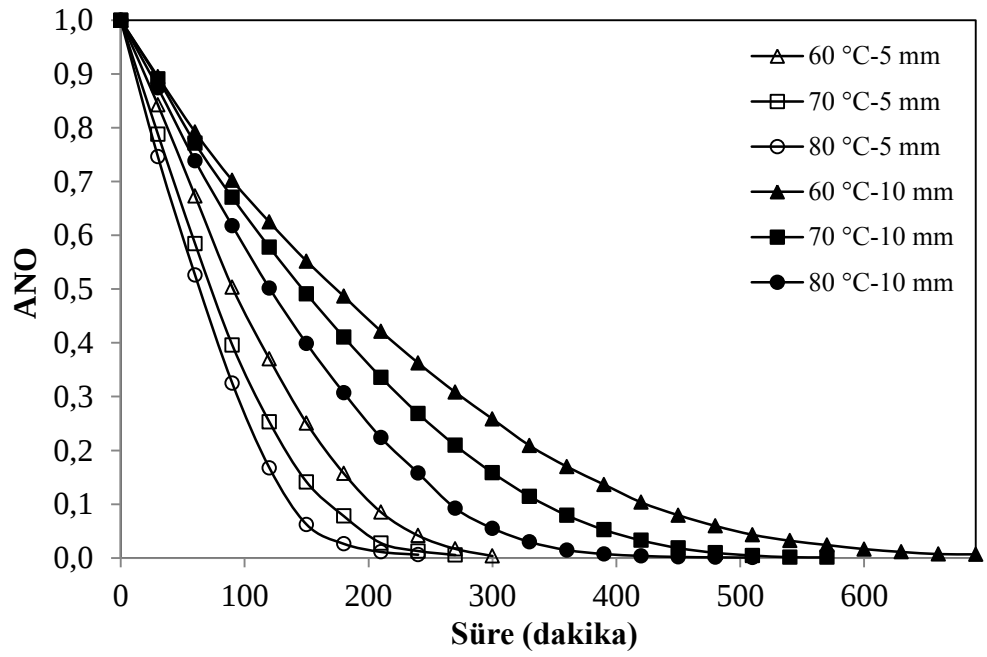
4.1.2.1 Kurutma sırasındaki nem değişimi bulguları

Patlıcan örneklerinde olduğu gibi, kabak örnekleri de değişen sıcaklık (60, 70 ve 80 °C) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuştur. Kurutma ile kabak örneklerinin nem miktarı ortalama $93\pm0,7$ 'den (y.b.), $8\pm0,6$ 'ya (y.b.) kadar azalmıştır. Kabak

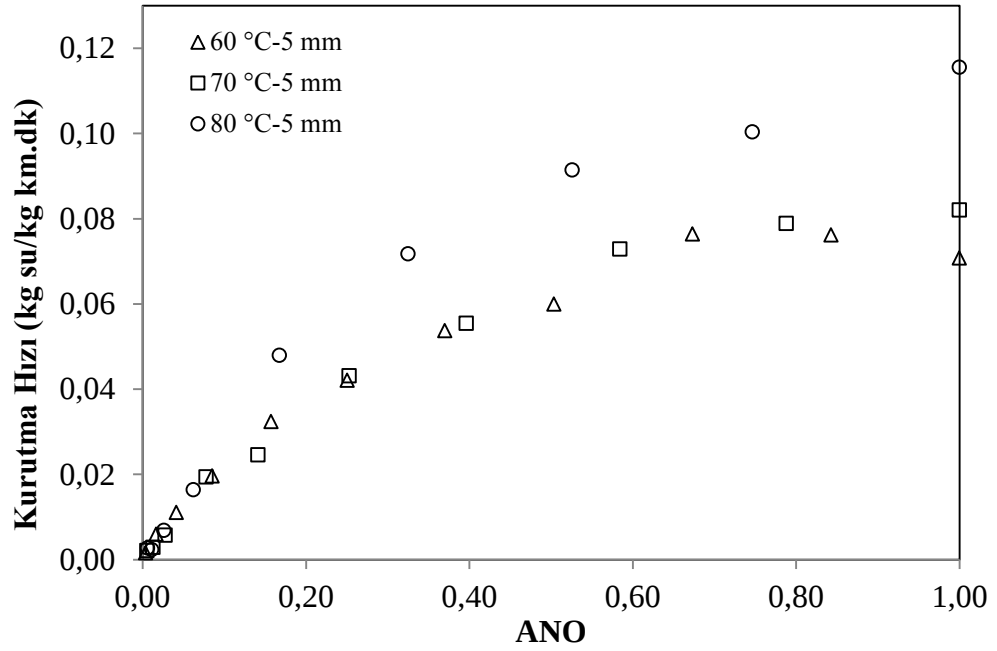
örneklerinde zamanla değişen nem içerikleri ve ayrılabilir nem oranı (ANO) değerleri şekil 4.8-4.9’da verilmiştir. Örneklerin nem içerikleri başlangıçta yaklaşık 14 kg su/kg kuru madde iken, kurutma sonunda nem içerikleri yaklaşık 0,05 kg su/kg kuru maddeye düşmüştür. Örneklerde, kurutma sıcaklığının ve örnek kalınlığının kurutma hızına etki ettiği görülmüştür. şekil 4.10-4.11’de örneklerde ANO ile değişen kurutma hızları verilmiştir. Kabak örneklerinde de sabit hızda kuruma görülmemekte, kuruma işlemi azalan hız periyodunda gerçekleşmektedir. Yüksek sıcaklıklarda örneklerin daha hızlı kuruduğu, kalınlık artışıyla ise kurutma hızının düştüğü görülmüştür. Buna ek olarak, patlıcan örnekleriyle kıyaslandığında, kabak örneklerinin yapısal farklılıklardan dolayı aynı koşullarda kurutma hızlarının daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Literatürde kabak ile ilgili sadece bir adet kaynak bulunmuştur. Akpınar ve Biçer (2003), siklon tipi bir kurutucuda kabak örneklerini 60, 70 ve 80 °C’de kurutmuş ve benzer olarak kurutma hızlarının azalan hız periyodunda olduğunu ve sıcaklık arttıkça kurutma hızının arttığını rapor etmişlerdir.



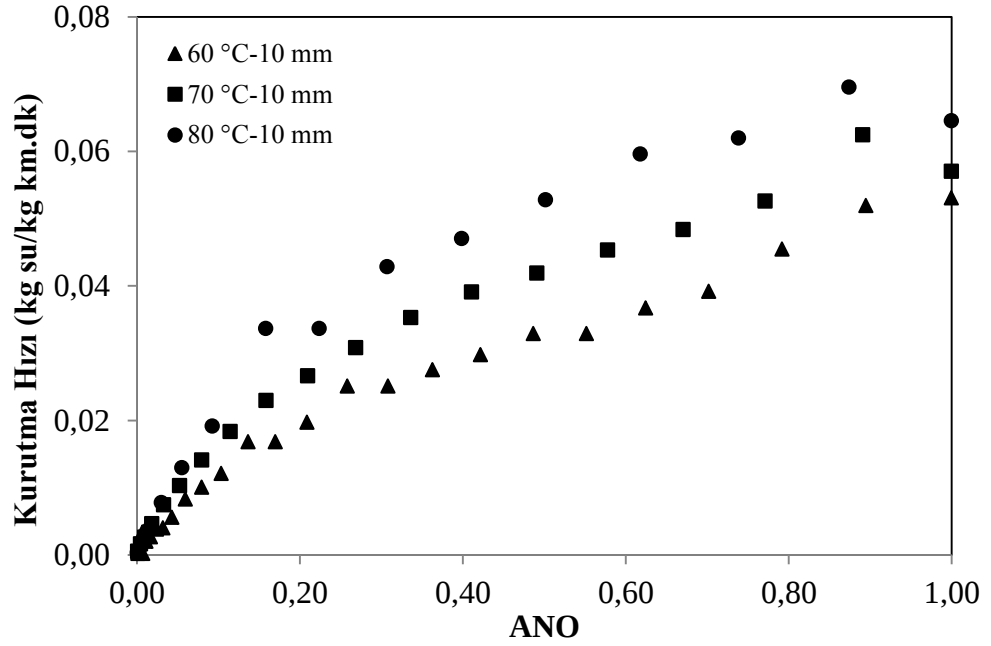
Şekil 4.8 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklık (60, 70, 80 °C) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş kabak örneklerinin zamanla değişen nem içerikleri (kg su/kg k.m.)



Şekil 4.9 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklık (60, 70, 80 °C) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş kabak örneklerinin ayrılabilir nem oranlarının (ANO) zamanla değişimi



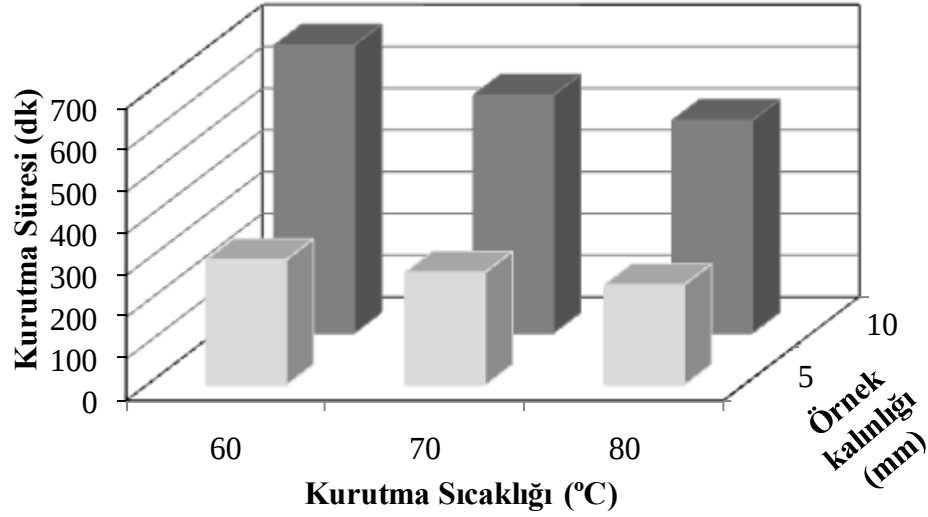
Şekil 4.10 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklık (60, 70, 80 °C) kurutulmuş kabak örneklerinin (5 mm kalınlık) ANO ile değişen kurutma hızı (kg su/kg k.m..dk)



Şekil 4.11 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklık (60, 70, 80 °C) kurutulmuş kabak örneklerinin (10 mm kalınlık) ANO ile değişen kurutma hızı (kg su/kg k.m.dk)

Kabak örneklerinin kurutma hava sıcaklığı ve ürün kalınlıklarına göre değişen kurutma süreleri Şekil 4.12’de verilmiştir. Kalınlık azaldığında, kurutma hızı arttığı için, kurutma sürelerinde azalış görülmektedir. 5 mm kalınlıktaki kabak örneklerinin artan sıcaklıkla kurutma süreleri sırasıyla 300, 270 ve 240 dakika; 10 mm kalınlıktaki örneklerde ise 690, 570 ve 510 dakikadır. Aynı kalınlıkta, sıcaklığın 60 °C’den 80 °C’ye artırılması kurutma süresini 5 mm kalınlıktaki örneklerde %20, 10 mm kalınlıktaki örneklerde ise %26 azaltmıştır. Bir başka deyişle, sıcaklığın artırılması farklı kalınlıklardaki kabak örneklerinin kurutma süreleri üzerine yaklaşık aynı oranda bir etki yaratmıştır. Patlıcan örneklerinin sonuçlarıyla kıyaslandığında, sıcaklık artışının patlıcan örneklerinin kuruma süreleri üzerinde daha etkili olduğu açıktır. Bununla beraber, sıcaklık sabit iken kalınlığın yarıya düşürülmesi ile kurutma süreleri tüm kabak örnekleri için ortalama %54 oranında azalmıştır. Bu bulgu, kabak örneklerinin kurutma sürelerinin, havanın sıcaklığından ziyade, ürün kalınlığından etkilendiğini göstermektedir. Literatürde kabak örneklerinin kalınlığının kurutma üzerine etkisini inceleyen bir çalışma bulunamamıştır. Farklı materyal olarak, Doymaz (2004), havucu değişik kalınlıklarda (1 ve 2 cm), farklı hava hızlarında (0,5 ve 1 m/s) ve farklı sıcaklıklarda (50-70 °C) kurutmuştur. Bu

çalışmada, kalınlığın yarıya indirilmesi ile 60 °C'deki kurutma süresi %41 oranında azalmıştır.



Şekil 4.12 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklık (60, 70, 80 °C) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş patlıcan örneklerinin kurutma süreleri (dk)

4.1.2.2 Matematiksel modelleme

Kabak örnekleri için kurutma sonrasında elde edilen ayrılabilir nem oranı verileri, patlıcanda olduğu gibi çizelge 2.1'de verilen 13 modele uyarlanmıştır. Deneysel veriler ile modellerden elde edilen tahmini veriler kullanılarak, her bir örnek için R^2 , χ^2 ve RSME değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.6). Hesaplanan verilere göre kabak örnekleri için R^2 değerlerinin 0,96806-0,99969 aralığında, χ^2 değerlerinin 0,00001-0,00619 aralığında ve RMSE değerlerinin 0,00013-0,06928 aralığında olduğu bulunmuştur. Bu sonuçlara göre bir değerlendirme yapıldığında ise, farklı sıcaklık ve kalınlıklarda farklı modellerin uygun olduğu görülmüştür (Çizelge 4.7). Sabit kalınlıkta, sıcaklıklar arası model değişimi Doymaz (2011b)'ın çalışmalarında da rastlanmış olup, patlıcan örnekleri için 50-80 °C aralığında Logaritmik, Wang ve Sing ile Midilli ve ark. modelleri en iyi uyum göstermiştir. Akpınar ve Biçer (2003), farklı sıcaklık (60, 70, 80 °C) ve farklı hava hızlarında (1 ve 1,5 m/s) kabakla yaptıkları çalışmalarda, kuruma

hızı-nem değişimini açıklayan en iyi modelin Üssel fonksiyon olduğunu rapor etmişlerdir.

Patlıcan örneklerinde olduğu gibi modellerdeki katsayılar SigmaPlot 11.0 (Systat Software Inc., USA) programı yardımıyla doğrusal olmayan regresyon analizi ile hesaplanmıştır. Değişen kalınlık, sıcaklık ve modellere göre hesaplanan katsayılar (a, k, n, b) kurutulmuş kabak örnekleri için çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.6 Tepsili Kurutucuda farklı sıcaklık (60, 70, 80 °C) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş kabak örnekleri için kullanılan ANO modellerinin istatistiksel parametreleri

Model İsmi	Sıcaklık (°C)	Ürünün Kalınlığı (mm)	RMSE	χ^2	R ²
Newton					
	60	5	0,02325	0,00059	0,96806
	70	5	0,01668	0,00031	0,97672
	80	5	0,02280	0,00079	0,97486
	60	10	0,03024	0,00095	0,98353
	70	10	0,03171	0,00106	0,97612
	80	10	0,03666	0,00142	0,97178
Page					
	60	5	0,02390	0,00070	0,99819
	70	5	0,00976	0,00012	0,99878
	80	5	0,00968	0,00012	0,99762
	60	10	0,02677	0,00078	0,99667
	70	10	0,02872	0,00092	0,99683
	80	10	0,02417	0,00066	0,99731
Geliştirilmiş Page I					
	60	5	0,01678	0,00034	0,96806
	70	5	0,00568	0,00004	0,97672
	80	5	0,02324	0,00069	0,97486
	60	10	0,02828	0,00087	0,98353
	70	10	0,03035	0,00102	0,97612
	80	10	0,03459	0,00135	0,97178
Geliştirilmiş Page II					
	60	5	0,01365	0,00023	0,99819
	70	5	0,01021	0,00013	0,99878
	80	5	0,01118	0,00016	0,99762
	60	10	0,02687	0,00079	0,99667
	70	10	0,02892	0,00093	0,99683

	80	10	0,02424	0,00066	0,99731
Henderson ve Pabis					
	60	5	0,04127	0,00208	0,97469
	70	5	0,03797	0,00180	0,98070
	80	5	0,03587	0,00165	0,97808
	60	10	0,04720	0,00243	0,98694
	70	10	0,05680	0,00359	0,98168
	80	10	0,06193	0,00431	0,97822
Logaritmik					
	60	5	0,00354	0,00002	0,99489
	70	5	0,00295	0,00001	0,99433
	80	5	0,00481	0,00003	0,99159
	60	10	0,00563	0,00004	0,99752
	70	10	0,00070	0,00001	0,99592
	80	10	0,00102	0,00001	0,99131
İki Terimli					
	60	5	0,04151	0,00271	0,97469
	70	5	0,04050	0,00273	0,98070
	80	5	0,03910	0,00275	0,97808
	60	10	0,04555	0,00249	0,98694
	70	10	0,05703	0,00407	0,98168
	80	10	0,06261	0,00504	0,97822
İki Terimli Exponansiyel					
	60	5	0,02275	0,00063	0,99565
	70	5	0,02561	0,00082	0,97667
	80	5	0,01944	0,00049	0,99545
	60	10	0,02869	0,00090	0,99606
	70	10	0,03397	0,00128	0,99513
	80	10	0,06928	0,00540	0,99483
Wang ve Sing					
	60	5	0,01279	0,00020	0,99836
	70	5	0,00663	0,00005	0,99919
	80	5	0,00641	0,00005	0,99876
	60	10	0,01042	0,00012	0,99857
	70	10	0,00205	0,00001	0,99969
	80	10	0,00630	0,00004	0,99830
Difüzyon Yaklaşımı					
	60	5	0,01401	0,00027	0,96806
	70	5	0,02102	0,00063	0,97672
	80	5	0,02417	0,00088	0,97486
	60	10	0,01086	0,00013	0,99804
	70	10	0,01729	0,00035	0,99614
	80	10	0,03459	0,00144	0,97178
Verma ve ark.					
	60	5	0,01506	0,00031	0,96806

	70	5	0,02080	0,00062	0,97672
	80	5	0,02417	0,00088	0,97486
	60	10	0,01082	0,00013	0,99804
	70	10	0,01630	0,00031	0,99614
	80	10	0,03654	0,00160	0,97178
Geliştirilmiş Henderson ve Pabis					
	60	5	0,04205	0,00389	0,97469
	70	5	0,03946	0,00389	0,98070
	80	5	0,04010	0,00483	0,97808
	60	10	0,04763	0,00303	0,98694
	70	10	0,05387	0,00415	0,98168
	80	10	0,06422	0,00619	0,97822
Midilli ve ark.					
	60	5	0,00034	0,00001	0,99954
	70	5	0,00145	0,00001	0,99941
	80	5	0,00281	0,00001	0,99817
	60	10	0,00013	0,00001	0,99871
	70	10	0,00242	0,00001	0,99879
	80	10	0,00470	0,00003	0,99834

Çizelge 4.7 Tepsili Kurutucuda farklı sıcaklık (60, 70, 80 °C) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş kabak örnekleri için kullanılan modellerin katsayıları

Model	Deney Koşulu	a	k	n	b
Midilli ve ark.	60 °C -5 mm	0,9944	0,001467	1,357	-0,0001371
Midilli ve ark.	70 °C -5 mm	0,9945	0,002234	1,338	-0,00008615
Wang ve Sing	80 °C -5 mm	-0,009524	-	-	0,00002257
Midilli ve ark.	60 °C -10 mm	0,9828	0,001438	1,193	-0,00005847
Wang ve Sing	70 °C -10 mm	-0,003982	-	-	0,000003957
Midilli ve ark.	80 °C -10 mm	0,9815	0,0008208	1,402	-0,00003881

4.1.2.3 Efektif difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi

Kurutma sonrasında kabak örneklerinin ANOVA değerleri kullanılarak farklı sıcaklık ve kalınlıklar için hesaplanan efektif difüzyon katsayıları çizelge 4.8’de verilmiştir. Bu çalışmada farklı koşullarda kurutulmuş kabak örneklerinin efektif difüzyon katsayıları, patlıcan örnekleri ile benzerlik göstermiş olup, $0,58-1,34 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değer aldığı bulunmuştur. Yine patlıcan örneklerinde olduğu gibi, sabit kalınlıkta efektif difüzyon katsayısı sıcaklık artışı ile yükseldiği görülmektedir. Aynı zamanda kalınlık artışı ile de efektif difüzyon katsayısı artmıştır. Kabak örneği için literatürde efektif difüzyon

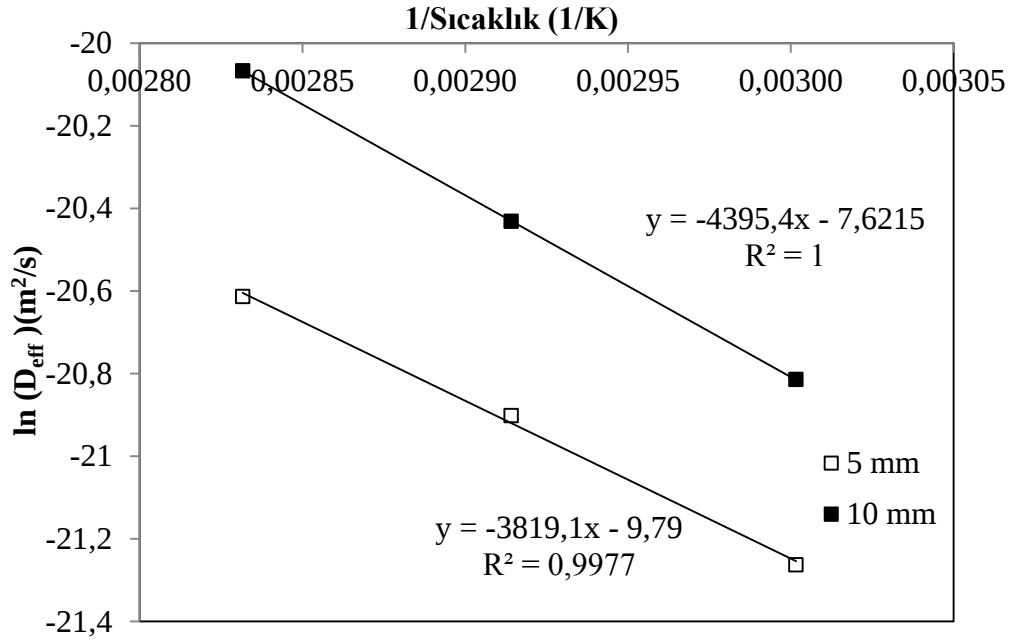
katsayılarının hesaplandığı bir veriye rastlanmamıştır. Farklı materyal olarak, Toğrul ve Pehlivan (2003), kayısının, efektif difüzyon katsayısının 50-80 °C arasında $5,09-6,51 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ aralığında değiştiğini rapor etmişlerdir. Bu çalışmada da sıcaklık artışı ile efektif difüzyon katsayısının arttığı gözlemlenmiştir. Doymaz (2004), havucun farklı deney koşullarında efektif difüzyon katsayısının $0,776-9,335 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ aralığında değiştiğini ve sıcaklıkla arttığını bildirmişlerdir.

Kabak örneklerinin aktivasyon enerjileri (E_A), patlıcan örneklerinde olduğu gibi hesaplanmıştır (Şekil 4.13). Bu çalışmada 5 mm kalınlıktaki kabak örneklerinin aktivasyon enerjisi 32,58 kJ/mol, 10 mm kalınlıktaki örneklerde ise bu değer 36,55 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Literatürden örnek vermek gerekirse, havuç için bu değer 28,36 kJ/mol (Doymaz 2004), nar taneleri için 40,1 kJ/mol olarak hesaplanmıştır (Doymaz 2012).

Patlıcan örneklerinden farklı olarak, kabak örneklerinde, kalınlık arttıkça aktivasyon enerjisinin yükseldiği görülmüştür. Bu durum bize kabak örneklerinin kalınlıklarının arttıkça sıcaklıktan daha çok etkilendiğini göstermektedir. Patlıcan ve kabak sonuçları arasındaki bu farkın, iç yapılarının benzer olmamasından kaynaklandığı söylenebilir.

Çizelge 4.8 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklık (60, 70 ve 80 °C) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş kabak örneklerinin D_{eff} değerleri

Deney Koşulu	$D_{\text{eff}} \text{ (m}^2/\text{s)}$
5 mm – 60 °C	$0,58 \times 10^{-9}$
5 mm – 70 °C	$0,84 \times 10^{-9}$
5 mm – 80 °C	$1,12 \times 10^{-9}$
10 mm – 60 °C	$0,91 \times 10^{-9}$
10 mm – 70 °C	$1,34 \times 10^{-9}$
10 mm – 80 °C	$1,93 \times 10^{-9}$



Şekil 4.13 Tepsili kurutucuda farklı kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş kabak örneklerinin D_{eff} değerleri (m^2/s) ile kurutma sıcaklıkları (1/K) arasındaki Arrhenius ilişkisi

4.1.2.4 Renk analizi bulguları

Kabak örneklerinin yaş ve kuru haldeki renk değerlerinin ortalamaları ve tekerrürler arası standart sapma değerleri çizelge 4.9'da verilmiştir. Kabak örneklerinde, kurutma sıcaklığının ve dilim kalınlığının renk değerleri üzerine etkisi incelenirken L^* , a^* ve b^* değerlerinin üzerinde durulmuştur. Kurutma öncesindeki yaş kabak örneklerinin ($n=18$) ortalama parlaklık değeri 85,62 olarak bulunmuştur. 5 mm kalınlıktaki kabak örneklerinin ortalama L^* değerleri sıcaklık değişimi ile en düşük 82,46 ve en yüksek 85,18 değerini almıştır. Bu kalınlıkta (5 mm) parlaklık değerinin, patlıcan örneklerinde olduğu gibi, kurutma sıcaklığının değişiminden çok etkilenmediği söylenebilir. Fakat 10 mm kalınlıkta kurutulan kabak örneklerinin L^* değerleri, kontrol örneğine kıyasla istatistiksel olarak önemli ($p<0.05$) derecede azalmıştır. Bu bulgu, patlıcan örneklerinde de değinildiği gibi, kalınlığın artmasıyla örneklerin renginin kurutma prosesinden daha çok etkilendiğini göstermektedir. 10 mm kalınlıkta kurutulan kabak örneklerinin L^* değerleri, sıcaklığın artmasıyla azalmış ve kontrol örneği değerinden uzaklaştığı tespit edilmiştir. Bu durum için, kabak örneklerinin (10mm kalınlıkta) sıcaklık arttıkça daha fazla esmerleştikleri söylenebilir.

Tüm bitkisel dokuların yeşil renkleri, klorofil olarak bilinen pigmentten kaynaklanmaktadır. Bir sebze de bulunan toplam klorofil miktarı, sebzelerin çeşidine ve yetiştirme koşullarına göre değişebilmektedir. Klorofiller stabil bileşikler değildirler. Özellikle asit, ısı ve bazı metal iyonlarının etkisiyle çeşitli türevlere dönüşerek kendine özgü yeşil renklerini kaybederler (Cemeroğlu vd. 2001). Negatif a^* değerleri yeşil rengi ifade etmektedir. Negatif a^* değerinin azalması, başka bir deyişle $-a^*$ değerinin renk skalasında sıfır noktasına doğru yaklaşması, malzemenin içerisindeki yeşil rengi kaybettiğini ve bir bakıma klorofil pigmentlerinin bozulduğunu göstermektedir. Sonuçlar incelendiğinde, 5 mm kalınlıkta kurutulmuş kabak örneklerinin yeşil rengi, 60 ve 70 °C sıcaklıklarda korunurken; 80 °C sıcaklıkta kurutulmuş örneklerin yeşil renginde istatistiksel olarak önemli ölçüde bir azalma tespit edilmiştir ($p<0.05$). Sıcaklığın yeşil renk üzerine etkisi 10 mm kalınlıkta kurutulmuş örneklerde daha belirgin olarak gözükmemektedir. 60 °C sıcaklıkta (10 mm kalınlıkta) kurutulmuş kabak örneklerinin yeşil rengi kontrol örneği ile benzerlik gösterirken, 80 °C sıcaklıkta kurutulmuş örneklerin içerisinde yeşil rengin tamamen kaybolduğu ve kırmızılığın gözlemlendiği söylenebilir. Bu da tüketici açısından istenmeyen bir durum olabilir.

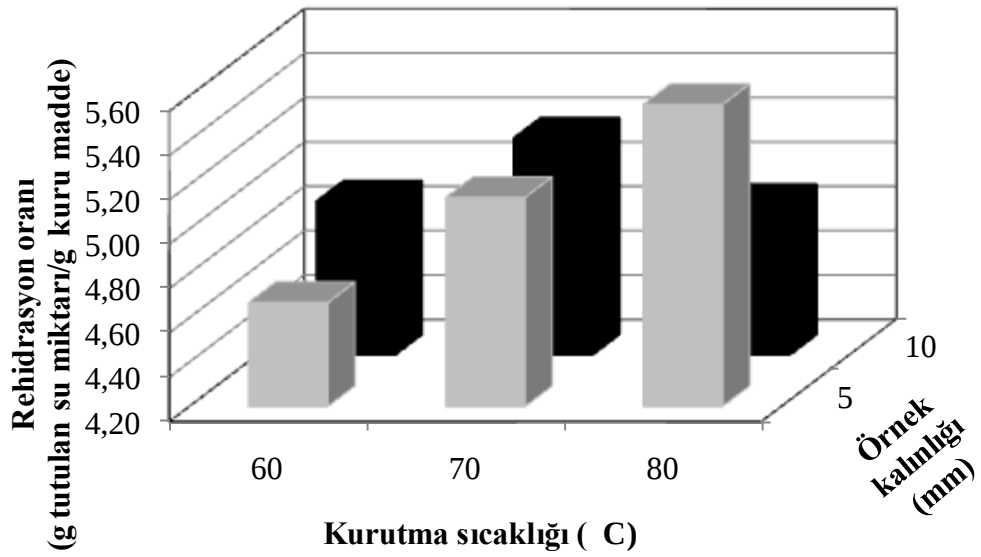
Pozitif b^* değerleri sarı rengi ifade etmektedir. Kuru kabak (5mm) örneklerinin sarı renk değerleri, yaş kabak örneklerine göre istatistiksel olarak önemli bir artış göstermiştir. Bu bulgu, örneklerin kurutuldukça sarardıklarının bir kanıtıdır. 5 mm kalınlıkta örneklerde sıcaklıklar arası önemli bir fark gözlemlenmezken, 10 mm kalınlıkta kurutulmuş örneklerde sıcaklık arttıkça sarılık önemli ölçüde artmıştır ($p<0.05$). Bu bulgu ile, kalınlığı 10 mm olan örneklerde yeşil renk pigmentlerinin sıcaklık arttıkça kaybolması nedeniyle, sarılık değerinin daha çok arttığı söylenebilir.

Çizelge 4.9 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklık (60, 70, 80 °C) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş kabak örneklerinin renk değerleri

Örnek	Deney Koşulu	L*	a*	b*
Taze Kabak	-	85,62±1,64	-6,92±1,01	27,90±2,93
Kurutulmuş Kabak	5 mm 60 °C	82,46±2,02	-6,43±0,42	31,33±1,97
	5 mm 70 °C	85,07±3,26	-7,86±1,05	32,51±1,98
	5 mm 80 °C	85,18±1,45	-3,74±0,90	32,13±4,10
	10 mm 60 °C	80,76±0,52	-6,70±0,83	31,91±0,48
	10 mm 70 °C	78,03±1,68	0,76±0,58	36,89±1,11
	10 mm 80 °C	74,89±3,40	1,42±1,44	36,73±1,11

4.1.2.5 Rehidrasyon analizi bulguları

Kabak örneklerinin 5 mm kalınlıktaki örneklerde en yüksek ve en düşük rehidrasyon oranları sırasıyla 5,56 ve 4,67 g tutulan su /g kuru madde iken, 10 mm kalınlıktaki örneklerde en yüksek 5,18 ve en düşük 4,88 g tutulan su/g kuru madde'dir. Sonuçlar incelendiğinde (Şekil 4.14), 5 ve 10 mm kalınlıktaki örnekler için en yüksek rehidrasyon oranı sırasıyla 80 ve 70 °C'de olduğu gözükmemektedir. Ancak, sıcaklıklar arası bu farkların her iki kalınlıktaki örnekler için istatistiksel olarak önemli olmadığı gözlemlenmiştir. Bu bulgu, rehidrasyon açısından bakıldığında her iki kalınlıkta da en düşük sıcaklık derecesinin kullanılabileceği ve dolayısı ile yüksek enerji sarfiyatının azaltılabileceği anlamına gelmektedir. Benzer şekilde, sabit sıcaklıkta dilim kalınlıkları arasındaki rehidrasyon farkının her örnek grubu için istatistiksel olarak önemsiz olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.14 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklık (60, 70, 80 °C) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş kabak örneklerinin kalınlık ve sıcaklıkla değişen rehidrasyon oranları (g tutulan su/g kuru madde)

(Rehidrasyon oranlarının standart sapma değerleri 0,01-0,69 arasındadır.)

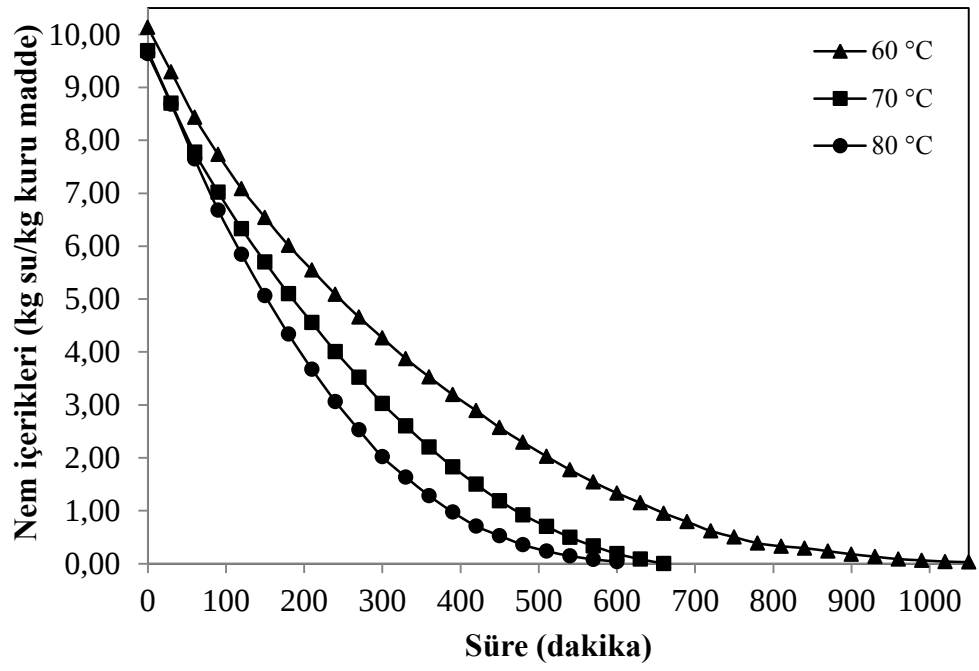
4.1.3 Kiraz Domatesi örnekleri

4.1.3.1 Kurutma sırasındaki nem değişimi bulguları

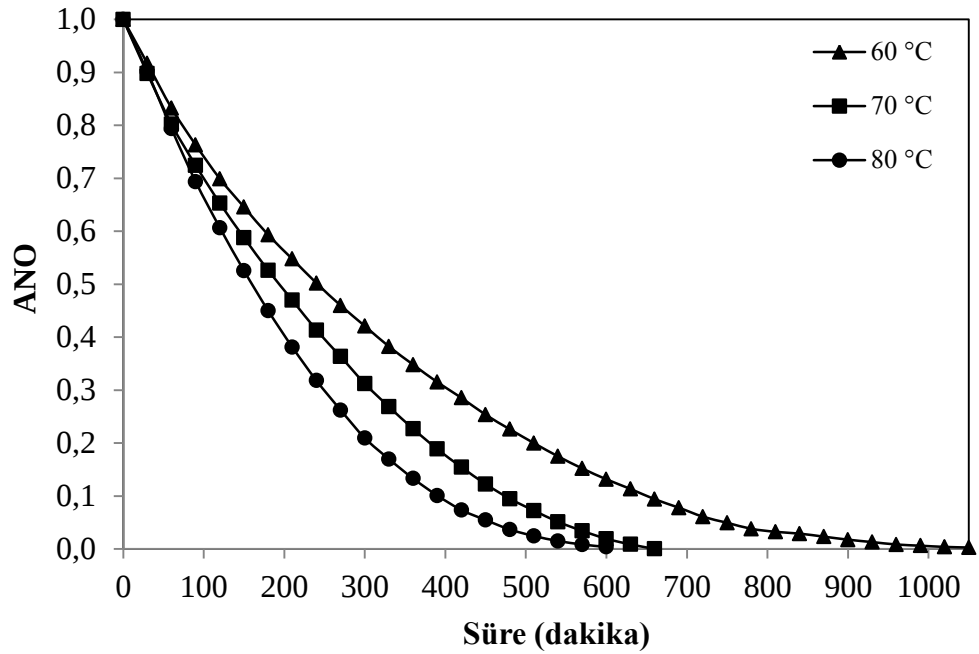
Kiraz domatesi örnekleri de patlıcan ve kabak örneklerinde olduğu gibi farklı sıcaklıklarda (60, 70 ve 80 °C) kurutulmuşlardır. Domates örneklerinin nem miktarları kurutma başlangıcında $91 \pm 0,2$ (y.b.) iken, kurutma sonunda bu oran $13 \pm 0,9$ (y.b.) olarak ölçülmüştür. Örneklerin nem içerikleri (kg su/kg kuru madde) ve ayrılabilir nem oranları (ANO) zaman ile azalmış olup şekil 4.15-4.16'da gösterilmiştir. Nem içerikleri başta yaklaşık 10 kg su/kg kuru madde iken kurutma işlemi sonrasında bu miktarın 0,02 kg su/kg kuru madde'ye kadar düştüğü gözlemlenmiştir. Kurutma hızı, ANO ile değişmekte ve bu değer azaldıkça kurutma hızı da azalmaktadır. Çalışmamızdaki diğer örneklerde olduğu gibi, sabit hızda bir kuruma görülmemekte ve sıcaklık artışı kurutma hızını olumlu etkilemektedir (Şekil 4.17). Bu bulgulara ek olarak, domatesin kurutma hızının, patlıcan ve kabak örneklerine kıyasla çok daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Genel olarak incelendiğinde, patlıcan örneklerinin kurutma hızı en yüksek, domates örneklerinin kurutma hızı ise en düşüktür. Bu durumun yapısal farklılıklardan kaynaklandığı söylenebilir. Patlıcanın içi süngerimsi bir yapıya sahiptir, bu sebeple içerisindeki su moleküllerinin dışarıya doğru difüzyonu daha kolay olabilmektedir. Örneklerin kurutulma şeklinin de kurutma hızını etkileyebileceği düşünülmektedir. Patlıcan ve kabak örnekleri dilim halinde kurutulurken, kiraz domatesleri yarıya bölünerek kurutulmuştur.

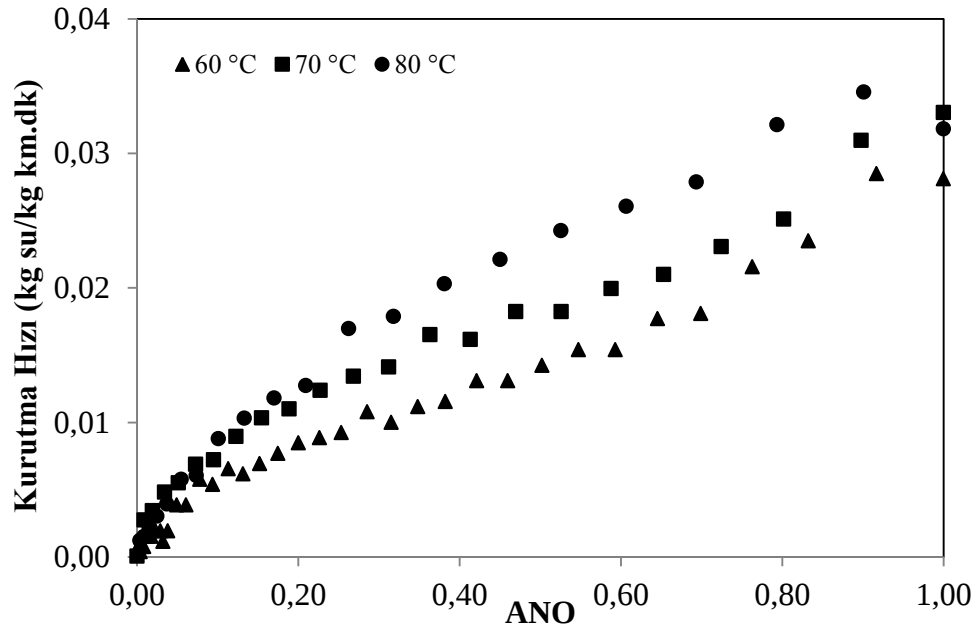
Kurutma hızı yavaş olan kiraz domatesi örneklerinin, kurutma sürelerinin de uzun olması beklenen bir olgudur. Domates örnekleri 60, 70 ve 80 °C’de sırasıyla 1050, 660 ve 600 dakikada kurumuşlardır. Patlıcan ve kabak örneklerinde olduğu gibi, sıcaklığın kurutma süresi üzerine önemli bir etkisi vardır. Kurutma sıcaklığı 60 °C’den 80 °C’ye arttırıldığında kurutma süresinde %37 oranında bir azalma gözlemlenmiştir. Ancak, 70 °C ile 80 °C kurutma sıcaklıkları arasında sadece %9’luk bir süre kazanımı vardır. Bu bulgular ışığında, domates örneklerinde kurutma sıcaklığını 70 °C’den daha fazla arttırmanın (kurutma süresini çok etkilemediği için) ekonomik olmayacağı söylenebilir. Literatüre bakıldığında, Doymaz (2007), 5 cm çapında, yarıya bölerek 55-70 °C sıcaklıkları arasında kuruttuğu domateslerin, 2130-1440 dakikada arasında kuruduğunu rapor etmiştir. Bu çalışmada örnekler 60 °C’de 1680 dk kurummasına rağmen, bizim çalışmamızda örneklerimiz 60 °C’de 1050 dakikada kurumuştur. Bunun nedeni olarak, örnekler arasındaki çap farklılıkları olduğu söylenebilir. Ayrıca, kullandıkları hava hızı (1,5 m/s) da bizim çalışmamızdakinden daha düşüktür. Demiray ve Tulek (2012), domatesleri dörde bölerek, 60-100 °C sıcaklık aralığında sırasıyla 1200, 840, 720, 600 ve 480 dakikada kurutmuşlardır. Bu çalışmada, sıcaklığın 60 °C’den 70 °C’ye çıkması ile kurutma süresi %30 azalırken, 70 °C’den 80 °C’ye çıkarılması süreyi sadece %14 oranında kısaltmıştır. Bu sonuçlar, bizim bulgularımızı destekler niteliktedir.



Şekil 4.15 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklıklarda (60, 70, 80 °C) kurutulmuş domates örneklerinin zamanla değişen nem içerikleri (kg su/kg k.m.)



Şekil 4.16 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklıklarda (60, 70, 80 °C) kurutulmuş domates örneklerinin zamanla değişen ayrılabilir nem oranları (ANO)



Şekil 4.17 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklıklarda (60, 70, 80 °C) kurutulmuş domates örneklerinin ANO ile değişen kurutma hızı (kg su/kg k.m.dk)

4.1.3.2 Matematiksel modelleme

Domates örnekleri için de elde edilen veriler çizelge 2.1’de verilen 13 modele uyarlanmıştır. Her bir model için deneysel ve tahmini veriler kullanılarak RSME, χ^2 ve R^2 değerleri hesaplanmış olup çizelge 4.10’da verilmiştir. Hesaplanan değerlere göre RSME 0,00076-0,06047, χ^2 0,00001-0,00495 ve R^2 0,98056-0,99956 aralığında değişmektedir. Sonuçlar değerlendirildiğinde, 60 ve 70 °C için en yüksek R^2 ve en düşük RSME ile χ^2 değeri, Logaritmik modelde ($ANO = a \times \exp(-kt) + c$) saptanmıştır. 80 °C’de kurutulmuş domates örnekleri için ise, kabak ve patlıcanda da gözlenen Wang ve Sing modelinin en iyi uyumu gösterdiği söylenebilir. Sacilik vd. (2006), organik domatesler ile yaptığı çalışmada 10 farklı modeli incelemiş ve verileri ile en iyi uyumu Difüzyon yaklaşımı modelinde bulunduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada, domatesler güneş enerjili bir sistemle kurutulmuştur ve kurutma süreleri bizim çalışmamıza oranla çok yüksektir. Bu değişiklikler model uyumlarında farklılığa neden olmuş olabilir. Doymaz (2007), domates kurutma verilerinin en iyi Page modeli ile açıklanabileceğini rapor etmiştir. Fakat bu çalışmada veriler sadece iki modele (Page ve Handerson-Pabis) uyarlanmıştır. Bu sebeple verilerin diğer modellere uyumu hakkında bir bilgi

edinilememiştir. Demiray ve Tulek (2012), domates kurutma verilerini beş farklı modele uyarlamış olup, en iyi uyumu Page ve Geliştirilmiş Page modelinde elde etmiştir. Bu çalışmada, Wang ve Sing modelinin uyumuna yer verilmemiştir.

Kabak ve patlıcan örneklerinde olduğu gibi domates örneklerinde de modellerdeki katsayılar SigmaPlot 11.0 (Systat Software Inc., USA) programı kullanılarak doğrusal olmayan regresyon analizi ile hesaplanmıştır. Model katsayıları (a, k, c, b) çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.10 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklıklarda (60, 70, 80 °C) kurutulmuş domates örnekleri için kullanılan ANO modellerinin istatistiksel parametreleri

Model İsmi	Sıcaklık (°C)	RMSE	χ^2	R²
Newton				
	60	0,04117	0,00174	0,98935
	70	0,02884	0,00087	0,98059
	80	0,02457	0,00063	0,98106
Page				
	60	0,03580	0,00136	0,99538
	70	0,03088	0,00104	0,99367
	80	0,01942	0,00042	0,99790
Geliştirilmiş Page I				
	60	0,03937	0,00164	0,98935
	70	0,02075	0,00047	0,98059
	80	0,01984	0,00043	0,98106
Geliştirilmiş Page II				
	60	0,03707	0,00145	0,99538
	70	0,03161	0,00109	0,99367
	80	0,01995	0,00044	0,99790
Henderson ve Pabis				
	60	0,05072	0,00272	0,99061
	70	0,04494	0,00221	0,98356
	80	0,04279	0,00202	0,98606
Logaritmik				
	60	0,00354	0,00001	0,99886
	70	0,00452	0,00002	0,99940
	80	0,00354	0,00001	0,99795
İki Terimli				
	60	0,05032	0,00285	0,99061

	70	0,05795	0,00406	0,98356
	80	0,04491	0,00249	0,98606
İki Terimli Exponansiyel				
	60	0,04385	0,00204	0,99558
	70	0,03180	0,00111	0,98056
	80	0,02418	0,00065	0,98106
Wang ve Sing				
	60	0,03768	0,00150	0,99278
	70	0,01230	0,00017	0,99847
	80	0,00076	0,00001	0,99943
Difüzyon Yaklaşımı				
	60	0,03890	0,00165	0,98935
	70	0,02348	0,00063	0,98059
	80	0,01445	0,00024	0,99801
Verma ve ark.				
	60	0,03720	0,00151	0,98935
	70	0,03993	0,00183	0,98059
	80	0,01468	0,00025	0,99801
Geliştirilmiş Henderson ve Pabis				
	60	0,05083	0,00310	0,99061
	70	0,06047	0,00495	0,98356
	80	0,04513	0,00285	0,98606
Midilli ve ark.				
	60	0,00115	0,00001	0,99877
	70	0,01547	0,00029	0,99933
	80	0,00963	0,00011	0,99956

Çizelge 4.11 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklıklarda (60, 70, 80 °C) kurutulmuş domates örnekleri için kullanılan modellerin katsayıları

Model	Sıcaklık (°C)	a	k	c	b
Logaritmik	60	1,088	0,002584	-0,09098	-
Logaritmik	70	1,200	0,002839	-0,2015	-
Wang ve Sing	80	-0,003612	-	-	0,000003304

4.1.3.3 Efektif difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi

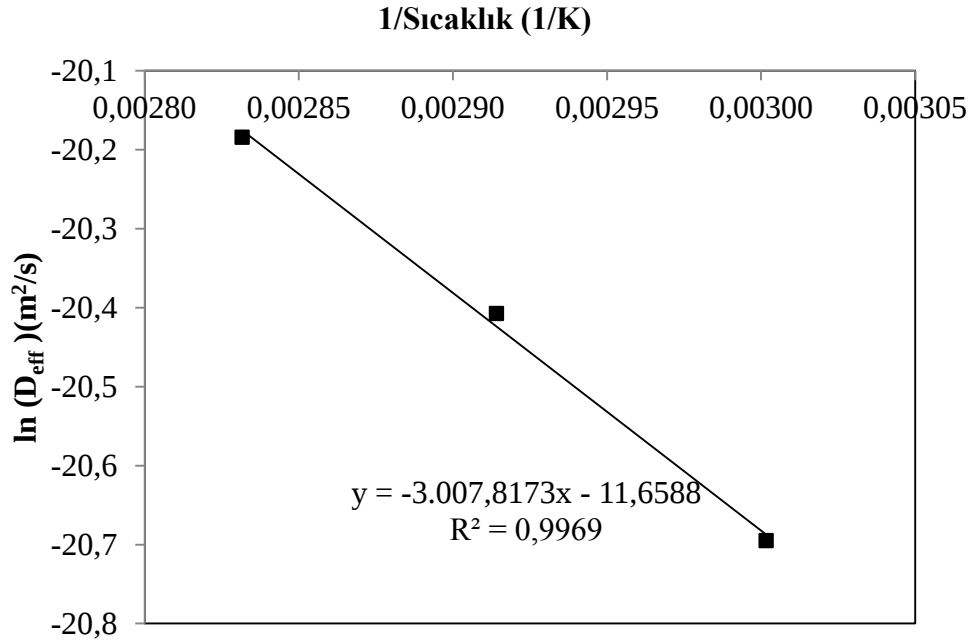
Tepsili kurutma sonrasında domates örneklerinin ANOVA değerleri kullanılarak efektif difüzyon katsayıları hesaplanmış ve çizelge 4.12’de verilmiştir. Bu çalışmada efektif

difüzyon katsayısı, patlıcan ve kabak örneklerinde olduğu gibi, artan sıcaklık ile yükselmiş ve $1,03-1,71 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ aralığında değişmiştir. Literatürde domates ile yapılmış çalışmalarda benzer sonuçlar rapor edilmiştir. Giovanelli vd. (2002), domatesi püre ve yarım halde kurutmuş olup farklı kurutma koşulları denemiştir. Domates püresinin efektif difüzyon katsayısı $7,77 \times 10^{-9}$ ile $9,14 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değişirken, 16 mm kalınlığındaki yarım domatesin efektif difüzyon katsayısı $2,26 \times 10^{-9}$ ile $4,01 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değiştiği tespit edilmiştir. Sacilik vd. (2006), organik domateslerin efektif difüzyon katsayılarının $1,07 \times 10^{-9}$ - $1,31 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ aralığında olduğunu, Doymaz (2007) ise $3,91-6,65 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ aralığında değiştiğini bildirmişlerdir.

Domates örneklerinde aktivasyon enerjisi (E_A), efektif difüzyon katsayılarının doğal logaritması ($\ln D_{\text{eff}}$), sıcaklığın tersine ($1/T$) karşı grafiğe geçirildiğinde (Şekil 4.18) elde edilen doğrunun eğiminden hesaplanmıştır. Bu çalışmada domates örneklerinin aktivasyon enerjisi 25,00 kJ/mol olarak bulunmuştur. Demiray ve Tulek (2012), domates için aktivasyon enerjisini 22,981 kJ/mol, Doymaz (2007) ise 32,94 kJ/mol olarak rapor etmişlerdir.

Çizelge 4.12 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklıklarda (60, 70, 80 °C) kurutulmuş domates örneklerinin D_{eff} değerleri

Sıcaklık (°C)	D_{eff} (m^2/s)
60	$1,03 \times 10^{-9}$
70	$1,37 \times 10^{-9}$
80	$1,71 \times 10^{-9}$



Şekil 4.18 Tepsili kurutucuda kurutulmuş domates örneklerinin D_{eff} değerleri (m^2/s) ile kurutma sıcaklıkları ($1/T$) arasındaki Arrhenius ilişkisi

4.1.3.4 Renk analizi bulguları

Domates örnekleri için kurutma öncesi ve sonrasında ölçülen renk değerleri çizelge 4.13’de verilmiştir. Kurutma işleminin domatesin renk özellikleri üzerine etkisi incelenirken parlaklık (L^*), kırmızılık ($+a^*$) değerlerini detaylı incelemek daha doğru bir yaklaşım olabilir (Sacilik vd. 2006). Aynı zamanda, a^*/b^* oranı domates örneklerinde rengin kalitesini temsil ettiği için önemli bir parametre olarak dikkat edilmesi gerekir. İyi bir domateste, renk değerlerinden L^* ve a^* değerinin yüksek, a^*/b^* oranının ise düşük olması beklenir (Sacilik vd. 2006).

Kurutma öncesinde yaş domates örneklerinin ($n=18$) ortalama L^* değerleri 38,61 olarak ölçülmüştür. Sıcaklık artışı ile L^* değerlerinde azalma görülmüş ve en yüksek 39,18 en düşük 31,30 olduğu bulunmuştur. Kontrol örneği L^* değeri ile 60 °C’de kurutulan domates örneklerinin L^* değeri arasındaki fark istatistiksel olarak önemli değil iken, 70 ve 80 °C’de kurutulan örneklerde parlaklık önemli derecede azalmıştır ($p<0,05$). Sıcaklık yükselişinin, üründe parlaklığı azalttığı ve görüntü kalitesi açısından olumsuz etki yarattığı söylenebilir.

Domates ürünlerinin kurutma öncesi ölçülen kırmızılık değeri (a^*) 18,38 olarak ölçülmüş ve bu değer farklı sıcaklıklardaki kurutma işlemi sonrasında artış göstermiştir ($p<0,05$). Kurutma sonrasında ölçülen kırmızılık değeri 27,95 ile 30,23 arasında değişmiştir. Yapılan istatistiksel analizlere göre 60, 70 ve 80 °C’de ölçülen a^* değerleri arasındaki farkın önemli olmadığı belirlenmiştir. a^*/b^* oranının ise düşük olması renk kalitesinin iyi olduğu anlamına gelmektedir. Domates örneklerinde a^*/b^* oranı sıcaklıkla birlikte artmış, kontrol ürününe en yakın değer 60 °C’de kurutulan örneklerde görülmüştür. Sacilik vd. (2006), organik domates örneklerinin L değerlerini 33,80 ile 37,44, a değerini 23,54 ile 27,20 ve a/b oranını 1,49 ile 1,60 aralığında olduğunu rapor etmişlerdir. Murature vd. (2008) ise, a^*/b^* oranının 1,0 ile 1,20 aralığında değiştiğini ve en iyi renk değerlerinin 60 °C’de kurutulmuş ürünlerde olduğunu bildirmişlerdir.

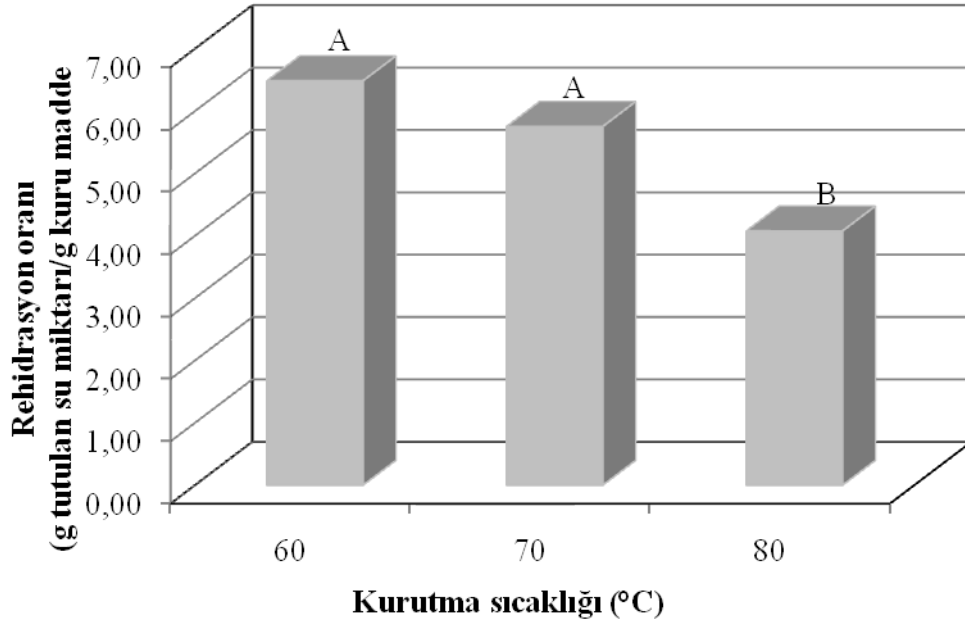
Çizelge 4.13 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklıklarda (60, 70, 80 °C) kurutulmuş domates örneklerinin renk değerleri

Örnek	Sıcaklık (°C)	L*	a*	b*	a*/b*
Taze Domates	-	38,61±0,66	18,38±1,76	22,25±1,65	0,83
Kurutulmuş Domates	60	39,18±1,73	27,95±3,78	32,64±1,88	0,86
	70	36,05±2,78	28,85±3,34	30,73±1,69	0,94
	80	31,30±0,84	30,23±1,42	28,02±2,13	1,08

4.1.3.5 Rehidrasyon analizi bulguları

Domates örneklerinde en yüksek ve en düşük rehidrasyon oranları sırasıyla 6,48 ve 4,07 g tutulan su/g kuru maddedir. Domates örneklerinde en yüksek rehidrasyon oranı 60 °C’de kurutulan örneklerde görülmekte olup (Şekil 4.19), 70 °C’de ölçülen değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir. Fakat 80 °C’de ölçülen değer, diğer iki sıcaklığa göre, istatistiksel olarak önemli ölçüde daha az olduğu tespit edilmiştir ($p<0,05$). Patlıcan ve kabak örneklerinde de olduğu gibi sıcaklık arttıkça rehidrasyon oranı azalmıştır. Bu bulgu sıcaklık yükseldikçe yapısal bozulmaların arttığının göstergesidir. Literatürde, Doymaz (2007), 55-70 °C sıcaklıklarda kurutulan domates örneklerinin rehidrasyon oranlarını hesaplamış ve 65 °C’de kurutulan örneklerin maksimum su tutabilme kapasitelerinin olduğunu bildirmiştir. Goula ve Adamopoulos

(2009), domates örneklerini farklı sıcaklıklarda (25, 40, 60 ve 80 °C) kurutmuş ve rehidrasyon oranlarının sıcaklık arttıkça azaldığını rapor etmişlerdir. Bu bulgular, bizim sonucumuzu destekler niteliktedir.



Şekil 4.19 Tepsili kurutucuda farklı sıcaklıklarda (60, 70, 80 °C) kurutulmuş domates örneklerinin sıcaklıkla değişen rehidrasyon oranları (g tutulan su/g kuru madde)

(Rehidrasyon oranlarının standart sapma değerleri 0,07-0,34 arasındadır. Şekil üzerindeki farklı harfler, istatistiksel olarak önemli farklılıkları göstermektedir.) ($p < 0,05$)

4.2 Mikrodalga Kurutma

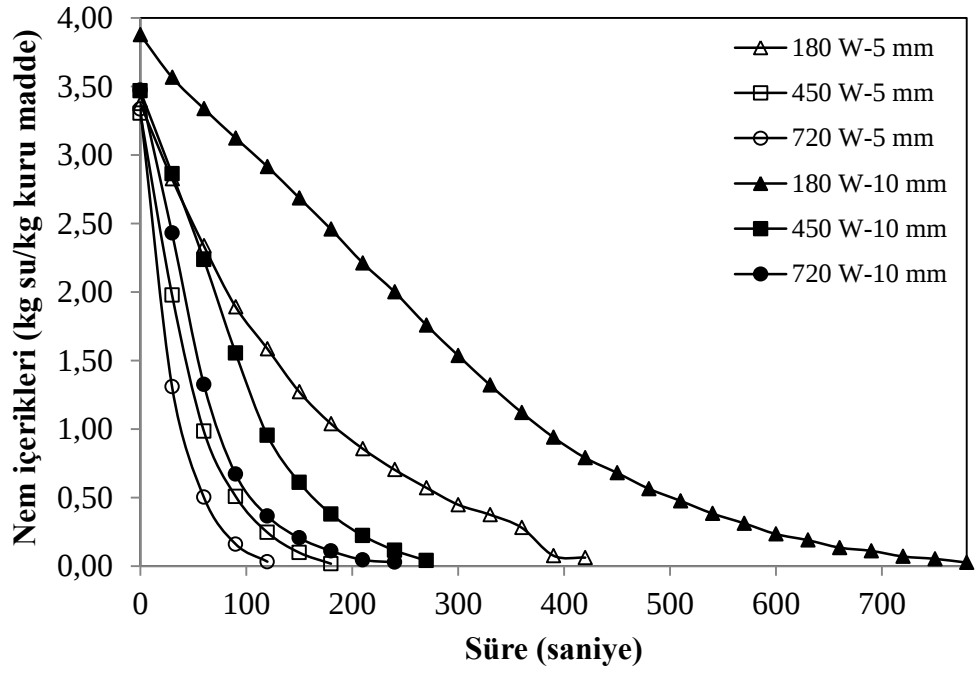
4.2.1 Patlıcan örnekleri

4.2.1.1 Kurutma sırasındaki nem değişimi bulguları

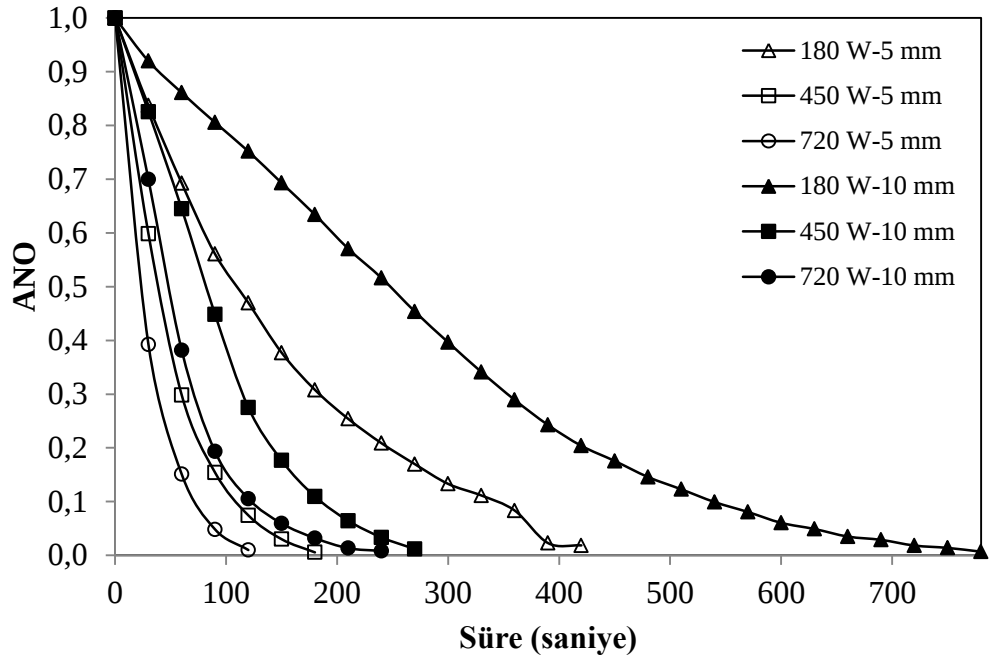
Mikrodalga, gıda malzemelerin içerisine işleyerek hacimsel olarak ısınmalarını sağlar. Konvansiyonel yöntemlerle karşılaştırıldığında mikrodalga ile kurutma daha etkili, daha hızlı ve ekonomiktir. Ancak, kurutma açısından bakıldığında yüksek nem içerikli malzemeler mikrodalga fırında doğrudan kurutulamamaktadırlar. Ürün içerisindeki nem miktarının yüksek olması, malzemenin mikrodalga fırında pişmesine sebep olmaktadır (Karaaslan 2008). Bu sebeple gıdaların kurutulmasında, mikrodalga fırınlar genellikle

konvansiyonel kurutma yöntemleri ile birlikte kullanılmaktadırlar. Bu çalışmada da örnekler ilk olarak tepsili kurutucuda (80 °C) bir süre kurutulduktan sonra mikrodalga fırın ile kurutma işlemine geçilmiştir.

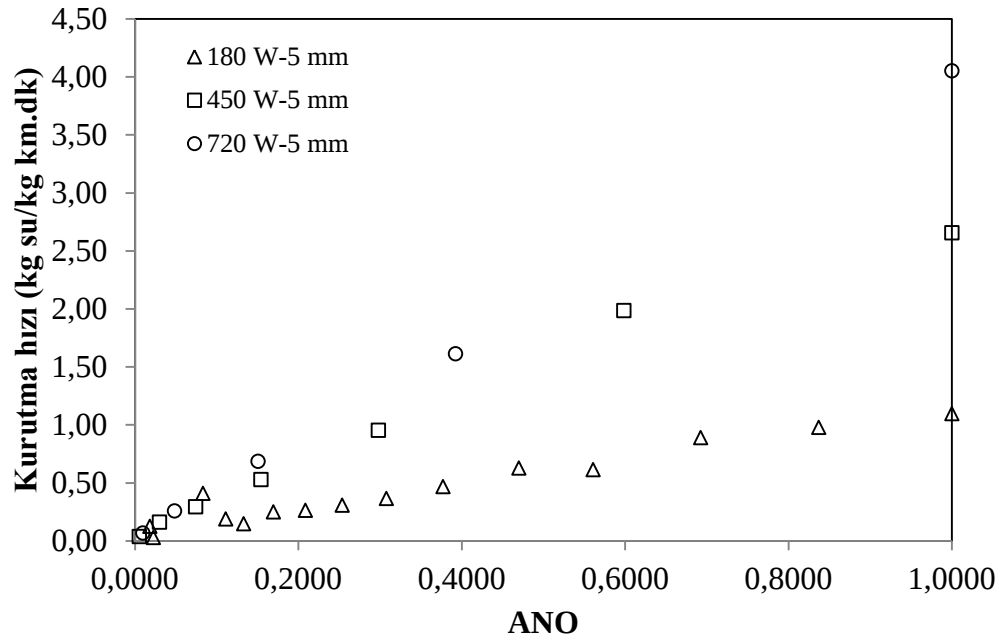
Patlıcan örnekleri farklı mikrodalga güçlerinde (180, 450 ve 720 W) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuştur. Patlıcan örneklerinin mikrodalga ile kurutma öncesi nem miktarı ortalama % 78 (y.b.) iken kurutma sonrası ürünlerin nem miktarı %5 (y.b.) olarak ölçülmüştür. Ürünlerin nem içeriklerinin (kg su/kg kuru madde) ve ayrılabilir nem oranı (ANO) değerlerinin zamanla değişimi şekil 4.20-4.21’de verilmiştir. Patlıcan örnekleri başlangıçta ortalama 3,47 kg su/kg kuru madde nem içeriğinden, 0,03 kg su/kg kuru madde nem içeriğine kadar mikrodalga fırında kurutulmuştur. Tepsili kurutucuya benzer şekilde, mikrodalga gücünün ve ürün kalınlığının kurutma hızı üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir. Farklı patlıcan örneklerinin ANO ile değişen kurutma hızı grafikleri şekil 4.22-4.23’de verilmiştir. Örnekler beklenildiği gibi azalan hız periyodunda kurumaktadırlar. Yüksek mikrodalga güçlerinde örneklerin daha hızlı kuruduğu, ancak örneklerin kalınlığı arttıkça kurutma hızının azaldığı bulunmuştur. Tepsili kurutucu da olduğu gibi patlıcan örneklerinin dilim kalınlığı iki katına çıkarıldığında, kurutma hızı yaklaşık olarak yarı yarıya düşmüştür. Benzer sonuçlar Maskan (2000), tarafından muz dilimlerinin mikrodalga ile kurutulmasında da rapor edilmiştir. Bu çalışmada muz dilim kalınlığı 4,3 mm’den 14 mm’ye arttırıldığında, kurutma hızının yaklaşık iki kat düşmüş olduğu rapor edilmiştir. Wang ve Xi (2005), havuç dilimlerinin kalınlığının 3 mm’den 7 mm’ye çıkarılmasının, kurutma hızını ortalama %32 oranında azalttığını bildirmişlerdir. Dadalı vd. (2007) ise, bamya örneklerinin kurutulması sırasında mikrodalga gücünün 180 W’tan 900 W’a çıkarılması ile kurutma hızının beş kat arttığını bulmuşlardır.



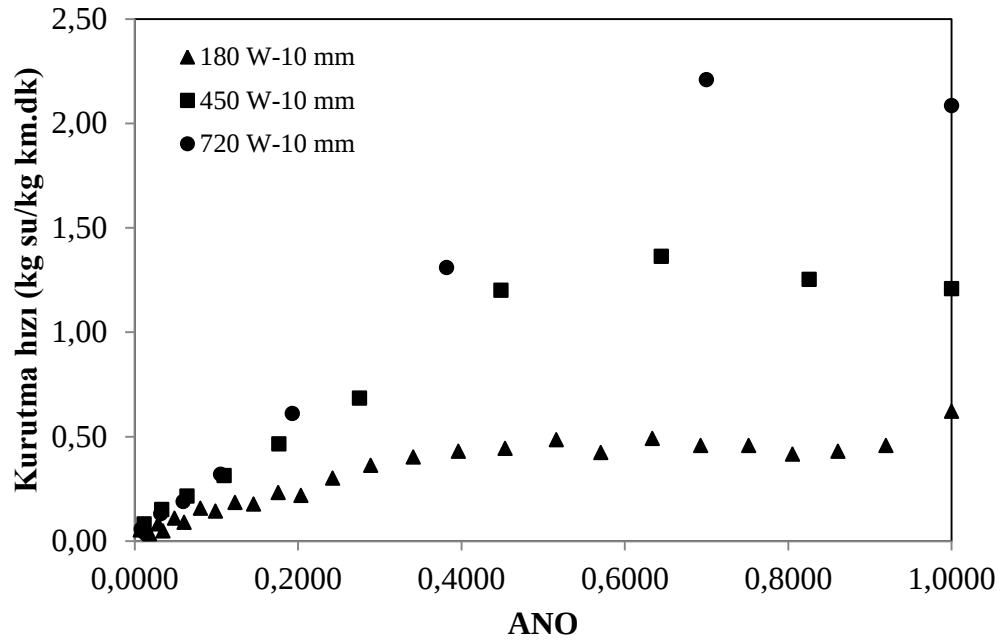
Şekil 4.20 Mikrodalga fırında farklı güç (180, 450, 720 W) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş patlıcan örneklerinin zamanla değişen nem içerikleri (kg su/kg k.m.)



Şekil 4.21 Mikrodalga fırında farklı güç (180, 450, 720 W) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş patlıcan örneklerinin zamanla değişen ayrılabilir nem oranları (ANO)



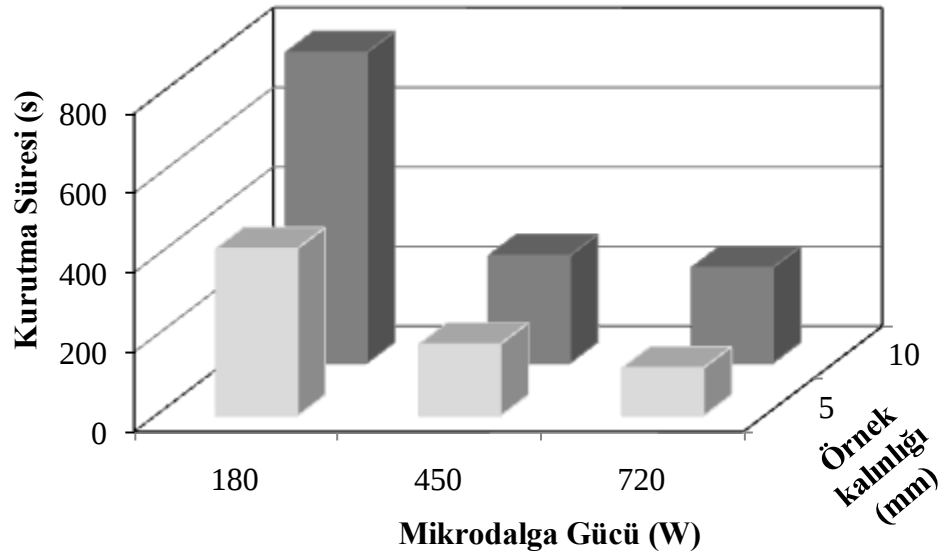
Şekil 4.22 Mikrodalga fırında farklı güç (180, 450, 720 W) kurutulmuş patlıcan örneklerinin (5 mm kalınlık) ANO ile değişen kurutma hızı (kg su/kg k.m.dk)



Şekil 4.23 Mikrodalga fırında farklı güç (180, 450, 720 W) kurutulmuş patlıcan örneklerinin (10 mm kalınlık) ANO ile değişen kurutma hızı (kg su/kg k.m.dk)

Patlıcan örneklerinin mikrodalga fırında kuruma süreleri şekil 4.24’de verilmiştir. Kuruma hızını arttıran her türlü proses değişkeninin, kuruma süresini kısaltması beklenen bir olgudur. 5 mm kalınlıktaki patlıcan örneklerinin (artan mikrodalga gücü ile) kurutma süreleri sırasıyla 420, 180 ve 120 saniye; 10 mm kalınlıktaki örneklerin ise 780, 270 ve 240 saniyedir. Sabit kalınlıkta mikrodalga gücünün 4 kat arttırılması, dilim kalınlığı 5 mm olan örneklerde kuruma süresini %71, 10 mm kalınlıktaki örneklerde %69 oranında azaltmıştır. Bu bulgu, farklı kalınlıklardaki patlıcan örneklerinin mikrodalga gücünün arttırılmasından yaklaşık aynı oranda etkilendiğini göstermektedir. Benzer şekilde, sabit mikrodalga gücünde, patlıcan örneklerinin kalınlığının yarıya düşürülmesi kurutma sürelerini %33 ile %50 oranında azaltmıştır. Literatürde değişik gıda örnekleri için benzer sonuçlar rapor edilmiştir. Soysal (2004), maydanoz yapraklarını 360-900W mikrodalga güçleri arasında kurutmuştur. Bu çalışmada, gücün 360’dan 900 W’a yükselmesi ile kurutma süresinin yaklaşık %64 oranında azaldığı rapor edilmiştir. Dadalı vd. (2007), bamya örnekleri ile yaptığı bir çalışmada mikrodalga gücünün beş kat arttırılması ile kurutma süresinde yaklaşık %72 oranında bir azalma olduğunu bildirmiştir.

Toplam kurutma süresi (Ön-kurutma+mikrodalgada geçen süre) incelendiğinde mikrodalganın kurutma endüstrisine katkısının ne kadar büyük olacağı aşikârdır (Çizelge 4.14). Tepsili kurutucuda, 5 ve 10mm kalınlığındaki patlıcan örneklerinin ön-kurutması için harcanan süre sırasıyla 60 ve 110 dakika olarak belirlenmiştir. Bu değere, mikrodalgada nihai nem miktarına kadar geçen süre eklenerek toplam kurutma süreleri hesaplanmıştır. Buna göre, kalınlığı 5 mm olan örneklerde toplam kurutma süreleri 62-67 dakika arasında değişirken, 10 mm kalınlıkta kurutulmuş patlıcan örneklerinin toplam kurutma süreleri 114-123 dakika arasındadır. Elde edilen bu veriler, tepsili kurutucu ve mikrodalga fırın ile iki aşamalı yapılan kurutmanın, sadece tepsili kurutucu kullanılarak gerçekleştirilen kurutmaya göre süreyi %55-62 oranında azaltılabildiğini göstermektedir. Kurutma süresinin yarıdan fazla azaltılabilmesi endüstriyel anlamda büyük bir maddi kazanç sağlayabilir. Buna ek olarak, düşük mikrodalga güçlerinde dahi kurutma süresinin büyük ölçüde azaltılabiliyor olması, mikrodalga ile kurutma sırasındaki enerji sarfiyatının minimumda tutulabileceğini göstermektedir.



Şekil 4.24 Mikrodalga fırında farklı güç (180, 450, 720 W) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş patlıcan örneklerinin kurutma süreleri (s)

Çizelge 4.14 Mikrodalga fırında farklı güç (180, 450, 720 W) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş patlıcan örneklerinin toplam kurutma süreleri

Mikrodalga gücü (W)	Örnek kalınlığı (mm)	Toplam Kurutma Süresi (dk)	Kazanılan Süre (%)
180	5	67	55
450	5	63	58
720	5	62	59
180	10	123	59
450	10	114.5	62
720	10	114	62

4.2.1.2 Matematiksel modelleme

Kurutma sonrasında elde edilen ayrılabilir nem oranı verileri çizelge 2.1’de verilen 13 modele uyarlanmıştır. Deneylerden elde edilen gerçek veriler ve modellerden elde edilen tahmini veriler kullanılarak R^2 , χ^2 ve RMSE değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.15). Buna göre, patlıcan örnekleri için R^2 değerlerinin 0,96391-0,99999 aralığında, χ^2

değerlerinin 0-0,00493 aralığında, RMSE değerlerinin ise 0,00008-0,06065 aralığında olduğu bulunmuştur. Sonuçlar incelendiğinde, birden fazla modelin deneysel verilere iyi uyum sağladığı tespit edilmiştir. Buna göre; 5 mm dilim kalınlığındaki örnekler için en yüksek R^2 (belirleme katsayısı), en düşük RSME (tahminin standart hatası) ve χ^2 (uyumun iyilik derecesi) değerleri 180 ve 720 W gücünde işlem gören ürünlerde Midilli ve ark., 450 W gücünde kurutulan örneklerde ise Page (ANO = $\exp(-kt)^n$) modelinde saptanmıştır. Benzer şekilde, 10 mm dilim kalınlığındaki örnekler için en uygun modelin 180 ve 450 W gücünde işlem gören ürünlerde Midilli ve ark., 720 W gücünde kurutulan örneklerde ise İki Terimli Exponansiyel (ANO = $(a \times \exp(-kt)) + ((1-a) \times \exp(-kat))$) modeli olduğu söylenebilir. Farklı materyal olarak Wang vd. (2007) elma posasını 150-600 W mikrodalga güçlerinde kurutmuştur. Deneysel veriler 10 modele uyarlanmış ve en iyi uyumu Page modelinde saptamışlardır. Karaaslan ve Tunçer (2008), ıspanak yapraklarını 180-900 W mikrodalga güçlerinde kurutmuşlar ve deneysel veriler 11 modele uyarlanmıştır. En iyi uyum gösteren model Midilli ve ark. olarak rapor edilmiştir.

Çizelge 4.15 Mikrodalga fırında farklı güç (180, 450, 720 W) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş patlıcan örnekleri için kullanılan ANO modellerinin istatistiksel parametreleri

Model İsmi	Mikrodalga Gücü (W)	Ürünün Kalınlığı (mm)	RMSE	χ^2	R^2
Newton					
	180	5	0,01123	0,00014	0,99534
	450	5	0,01093	0,00014	0,99542
	720	5	0,00459	0,00003	0,99958
	180	10	0,01781	0,00033	0,96397
	450	10	0,01369	0,00021	0,97030
	720	10	0,02605	0,00076	0,98812
Page					
	180	5	0,01147	0,00015	0,99734
	450	5	0,00034	0,00000	0,99973
	720	5	0,00191	0,00001	0,99983
	180	10	0,01427	0,00022	0,99674
	450	10	0,00180	0,00000	0,99927
	720	10	0,01169	0,00018	0,99910
Geliştirilmiş Page I					

	180	5	0,01183	0,00016	0,99534
	450	5	0,01131	0,00018	0,99542
	720	5	0,00548	0,00005	0,99958
	180	10	0,02067	0,00046	0,96397
	450	10	0,00974	0,00012	0,97030
	720	10	0,01205	0,00019	0,98812
Geliştirilmiş Page II					
	180	5	0,01147	0,00015	0,99734
	450	5	0,00071	0,00000	0,99973
	720	5	0,00191	0,00001	0,99983
	180	10	0,02953	0,00094	0,99674
	450	10	0,00278	0,00001	0,99927
	720	10	0,01172	0,00018	0,99910
Henderson ve Pabis					
	180	5	0,00539	0,00005	0,99586
	450	5	0,01531	0,00033	0,99581
	720	5	0,01831	0,00039	0,99958
	180	10	0,05942	0,00381	0,97340
	450	10	0,04373	0,00239	0,97648
	720	10	0,02585	0,00086	0,98968
Logaritmik					
	180	5	0,00158	0,00000	0,99873
	450	5	0,00323	0,00002	0,99834
	720	5	0,00100	0,00000	0,99999
	180	10	0,00515	0,00003	0,99372
	450	10	0,05873	0,00493	0,99131
	720	10	0,00605	0,00005	0,99239
İki Terimli					
	180	5	0,01562	0,00033	0,99586
	450	5	0,01928	0,00087	0,99581
	720	5	0,00539	0,00015	0,99958
	180	10	0,06065	0,00432	0,97340
	450	10	0,03915	0,00255	0,97648
	720	10	0,02515	0,00114	0,98968
İki Terimli Exponansiyel					
	180	5	0,00932	0,00010	0,99745
	450	5	0,00008	0,00000	0,99972
	720	5	0,00553	0,00005	0,99958
	180	10	0,03007	0,00098	0,96391
	450	10	0,01660	0,00034	0,97024
	720	10	0,00753	0,00007	0,99967
Wang ve Sing					
	180	5	0,02451	0,00069	0,98949
	450	5	0,01344	0,00025	0,98962
	720	5	0,01591	0,00042	0,98407

	180	10	0,01766	0,00034	0,99740
	450	10	0,01585	0,00031	0,99567
	720	10	0,01442	0,00027	0,98438
Difüzyon Yaklaşımı					
	180	5	0,01154	0,00017	0,99534
	450	5	0,01131	0,00022	0,99542
	720	5	0,00875	0,00019	0,99958
	180	10	0,01800	0,00036	0,96397
	450	10	0,01303	0,00024	0,97030
	720	10	0,01681	0,00042	0,98812
Verma ve ark.					
	180	5	0,01129	0,00016	0,99534
	450	5	0,01131	0,00022	0,99542
	720	5	0,00548	0,00008	0,99958
	180	10	0,01767	0,00035	0,96397
	450	10	0,00980	0,00014	0,97030
	720	10	0,01315	0,00026	0,98812
Geliştirilmiş Henderson ve Pabis					
	180	5	0,01697	0,00048	0,99586
	450	5	0,02136	0,00160	0,99581
	720	5	0,01141	0,00065	0,99958
	180	10	0,06011	0,00465	0,97340
	450	10	0,03924	0,00385	0,97648
	720	10	0,03341	0,00335	0,98968
Midilli ve ark.					
	180	5	0,00072	0,00000	0,99890
	450	5	0,00207	0,00001	0,99975
	720	5	0,00194	0,00002	0,99999
	180	10	0,00338	0,00001	0,99878
	450	10	0,00139	0,00000	0,99932
	720	10	0,00108	0,00000	0,99945

Modellerdeki katsayılar SigmaPlot 11.0 (Systat Software Inc., USA) programı kullanılarak doğrusal olmayan regresyon analizi ile hesaplanmıştır. Midilli ve ark., Page ve İki Terimli Exponansiyel modellerinde yer alan katsayılar (a, k, n ve b), farklı koşullarda kurutulmuş patlıcan örnekleri için çizelge 4.16’de verilmiştir.

Çizelge 4.16 Mikrodalga fırında farklı güç (180, 450 ve 720 W) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş patlıcan örnekleri için kullanılan model katsayıları

Model	Deney Koşulu	a	k	n	b
Midilli ve ark.	180 W-5 mm	1,0040	0,00672	0,9777	-0,0001437
Page	450 W-5 mm	-	0,009308	1,1830	-
Midilli ve ark.	720 W-5 mm	1,0000	0,03076	1,0000	-0,0001318
Midilli ve ark.	180 W-10 mm	0,9654	0,000234	1,4440	-3,665E-05
Midilli ve ark.	450 W-10 mm	0,9947	0,00124	1,4410	-1,634E-05
İki Terimli Exponansiyel	720 W-10 mm	1,9110	0,02432	-	-

4.2.1.3 Efektif difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi

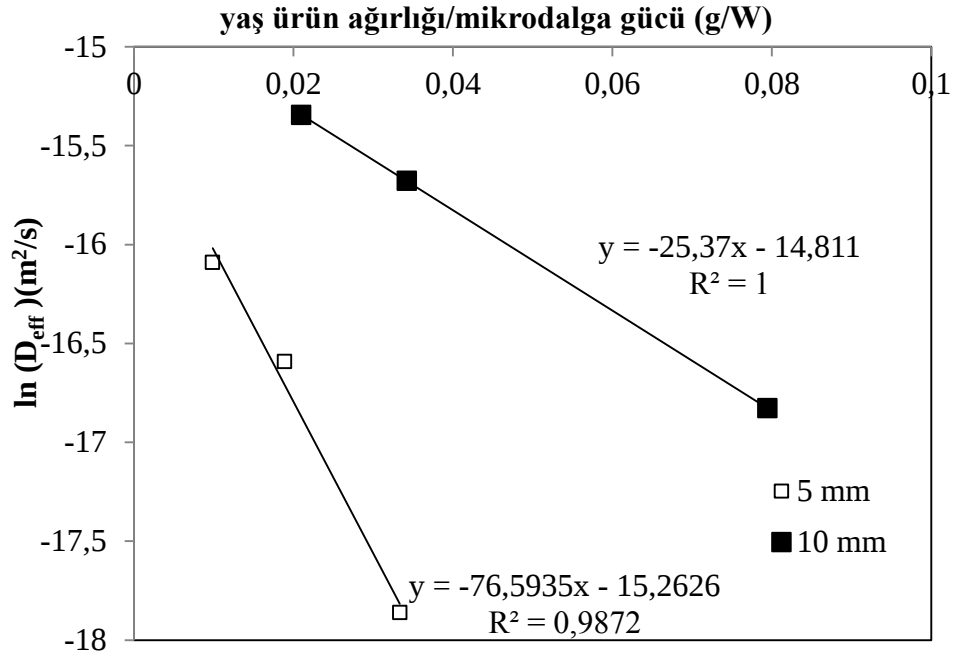
Mikrodalga kurutma sonrasında patlıcan örneklerinin ANOVA değerleri kullanılarak efektif difüzyon katsayıları hesaplanmış olup, değerler çizelge 4.17’de verilmiştir. Farklı koşullarda mikrodalga fırında kurutulmuş olan patlıcan örneklerinin efektif difüzyon katsayıları $1,75 \times 10^{-8}$ - $21,66 \times 10^{-8}$ m²/s arasında olduğu bulunmuştur. Tepsili kurutucu ile karşılaştırıldığında efektif difüzyon katsayılarının mikrodalga fırında yaklaşık 10 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Sabit kalınlıkta, efektif difüzyon katsayısı mikrodalga gücü arttıkça bir artış göstermiştir. Yüksek mikrodalga güçlerinde su molekülleri daha hızlı hareket ederler ve bu da efektif difüzyon hızının artmasına sebep olur. Tepsili kurutmada olduğu gibi, kalınlığın artması da efektif difüzyon katsayısında bir artışa neden olmuştur. Wang vd. (2007), elma posası ile yaptıkları çalışmada, 150-600 W güçleri arasında efektif difüzyon katsayısının $1,0465$ - $3,6854 \times 10^{-8}$ m²/s aralığında değiştiğini rapor etmişlerdir. Darvishi (2012), patates dilimlerini mikrodalga ile kurutmuş ve efektif difüzyon katsayılarını 5-25 W/g aralığındaki güç yoğunluklarında $0,025$ - $3,05 \times 10^{-8}$ m²/s arasında değiştiğini gözlemlemiştir.

Aktivasyon enerjisi (E_A), efektif difüzyon katsayılarının doğal logaritması ($\ln D_{eff}$) yaşı ağırlığının mikrodalga gücüne oranına (m/P) karşı grafiğe geçirildiğinde (Şekil 4.25) elde edilen doğrunun eğiminden bulunabilir (Eşitlik 3.7). Bu çalışmada aktivasyon enerjisi 5 mm kalınlıktaki patlıcan örneklerinde 76,5 W/g, 10 mm kalınlıktaki örneklerde ise 25,4 W/g olarak bulunmuştur. Dadali ve Özbek (2008), pırasa ile yaptıkları çalışmada

pirasanın beyaz kısmı için aktivasyon enerjisini 1,048 W/g ve yeşil kısmı için ise 1,131 W/g olarak rapor etmişlerdir. Dadalı vd. (2007), bamya ile yaptıkları çalışmada ise aktivasyon enerjisini 5,54 W/g olarak bildirmişlerdir. Bu bulgular ile çalışmamızdaki aktivasyon enerjisi sonucu ile arasındaki farkın çok fazla olduğu görülmektedir. Bunun nedenin, aktivasyon enerjisi bulunurken formülde yer alan (Eşitlik 3.7) yaş ürün miktarı ile ilgili olduğu düşünülmektedir. Bahsi geçen çalışmalarda ilk örnek miktarları oldukça yüksektir (25-300 g aralığında). Bizim çalışmamızda mikrodalgaya koyulan örnek miktarları 5 mm kalınlıktaki patlıcan örnekleri için 6-7 g, 10 mm kalınlıktaki örnekler için ise 14-15 g'dır. Buna ek olarak, literatür çalışmaları incelendiğinde örneklerle herhangi bir ön kurutma işlemi uygulanmadığı, direk mikrodalga fırına alındığı görülmüştür. Ön-kurutma işleminin de aktivasyon enerjisinde değişikliğe sebep olabileceği düşünülmektedir.

Çizelge 4.17 Mikrodalga fırında farklı mikrodalga güç (180, 450, 720 W) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş patlıcan örneklerinin D_{eff} değerleri

Deney Koşulu	D_{eff} (m^2/s)
5mm 180 W	$1,75 \times 10^{-8}$
5 mm 450 W	$6,23 \times 10^{-8}$
5 mm 720 W	$10,28 \times 10^{-8}$
10 mm 180 W	$4,92 \times 10^{-8}$
10 mm 450 W	$15,54 \times 10^{-8}$
10 mm 720 W	$21,66 \times 10^{-8}$



Şekil 4.25 Mikrodalga fırında kurutulmuş farklı kalınlardaki patlıcan (5 ve 10 mm) örneklerinin $\ln(D_{eff})$ (m^2/s) değerlerinin ürün ağırlığının mikrodalga gücüne (g/W) oranıyla değişimi

4.2.1.4 Renk analizi bulguları

Mikrodalgada kurutulan patlıcan örnekleri için renk değerleri ortalamaları ve standart sapmaları çizelge 4.18’de verilmiştir. Tepsili kurutma sonrasında patlıcan örneklerinde olduğu gibi, mikrodalgada kurutulan patlıcan örneklerinde de kurutma koşullarının renk üzerine etkisine bakılırken L^* (parlaklık) ve C^* (doygunluk) değerleri dikkate alınmıştır. Kurutma öncesinde yaş patlıcan örneklerinin ($n=9$) ortalama parlaklık değeri 84,92 olarak ölçülmüştür. Genel olarak sonuçlar incelendiğinde, mikrodalga gücünün ve kalınlığın artması parlaklık değerlerinde azalmaya sebep olmuştur. En düşük L^* değerleri, her iki kalınlık için (5 ve 10 mm), 720 W mikrodalga gücünde kurutulmuş patlıcan örneklerinde görülmüştür. Bu bulgu, yüksek mikrodalga güçlerinde ürünlerin görüntü kalitesinin ve albenisinin azalabileceği şeklinde yorumlanabilir. Her ne kadar yüksek mikrodalga gücünde, kurutma hızı artsa ve kurutma süresi kısalsa da, L^* değerleri göz önünde bulundurulduğunda düşük mikrodalga gücünde işlem gören ürünler, kontrol değerlerine daha yakın olduğu için endüstride daha çok tercih edilebilir. Benzer sonuçlar literatürde de bulunmaktadır. Soysal (2004), maydanoz yaprakları ile yaptığı çalışmada L değerlerinin mikrodalga gücü arttıkça azaldığını rapor etmiştir.

Maskan (2000), farklı mikrodalga güçlerinde (350, 490 ve 750 W) kurutulan muz örneklerinin L* değerinin kontrol örneğine göre düşük olmasına rağmen, güçler arası farkın önemli olmadığı gözlemlenmiştir.

Doygunluk değerlerine bakıldığında, her iki kalınlıkta da (5 ve 10 mm) kontrol değerine en yakın sonuçlar, 720 W ile işlem görmüş örneklerde bulunmuştur ($p<0,05$). Diğer mikrodalga güçlerinde kurutulmuş patlıcan örneklerinin canlılığı kontrol örneğine göre istatistiksel olarak önemli ölçüde düşük bulunmuştur ($p<0,05$). Benzer sonuçlar, Karaaslan ve Tunçer (2008), tarafından, ıspanak yaprakları ile yaptıkları çalışmada da rapor edilmiştir. Kontrol örneğinde 20,38 bulunan C* değeri mikrodalga gücü arttıkça 25,31-26,53 aralığında değişmiştir.

Çizelge 4.18 Mikrodalga fırında farklı güç (180, 450, 720 W) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş patlıcan örneklerinin renk değerleri

Örnek	Deney Koşulu	L*	C*
Taze Patlıcan	-	84,92±0,70	23,15±1,20
Kurutulmuş Patlıcan	5 mm 180 W	77,42±0,92	18,93±0,36
	5 mm 450 W	79,93±1,21	20,87±1,37
	5 mm 720 W	74,61±1,51	24,22±0,27
	10 mm 180 W	75,14±1,04	20,58±1,12
	10 mm 450 W	75,08±1,28	20,34±1,50
	10 mm 720 W	69,94±3,96	23,88±0,81

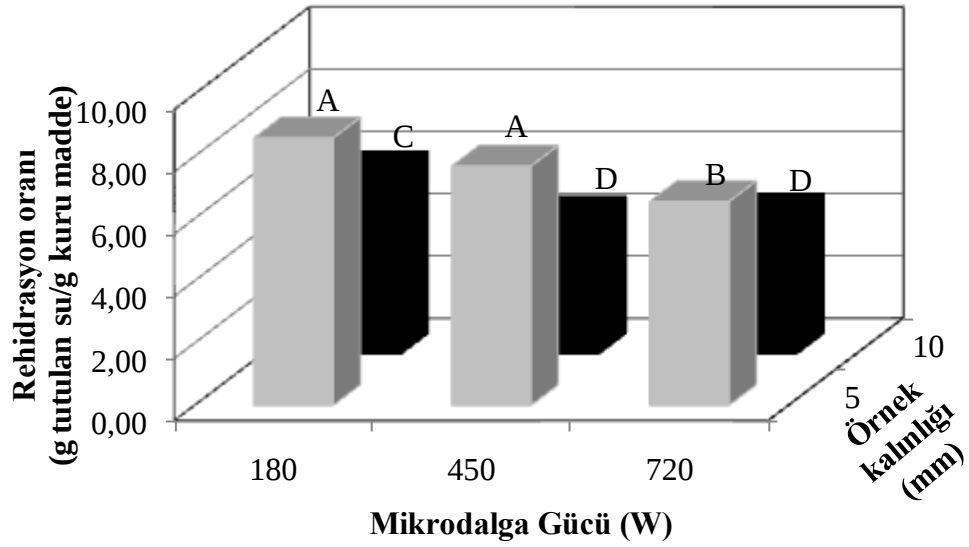
Tepsili kurutucuda kurutulan patlıcan örneklerinin renk değerleri ile mikrodalga fırında kurutulan örnekler karşılaştırıldığında, tepsili kurutucu ile kurutulan örneklerin sonuçları daha iyi olduğu görülmüştür. Bu nedenle, örnekler renk kriteri açısından değerlendirildiğinde, tüketicinin tepsili kurutucu ile kurutulan örneklerini daha çok beğeneceği düşünülmektedir.

4.2.1.5 Rehidrasyon analizi bulguları

Patlıcan örneklerinin, 5 mm kalınlıkta, en yüksek ve en düşük rehidrasyon oranları sırasıyla 8,59 ve 6,54 g tutulan su/g kuru madde iken, 10 mm kalınlıkta en yüksek 5,85 ve en düşük 4,50 g tutulan su/g kuru maddedir. Sonuçlar incelendiğinde (Şekil 4.26),

her iki kalınlık için en yüksek rehidrasyon oranı 180W mikrodalga gücünde kurutulmuş patlıcan örneklerinde gözlemlenmiştir. Bu da düşük mikrodalga güçlerinde yapısal ve hücrel bozulmaların minimum olduğunu göstermektedir. İstatistiksel olarak incelendiğinde, 5 mm kalınlığında ve 720W mikrodalga gücünde kurutulan örneklerden elde edilen rehidrasyon sonuçlarının, diğer mikrodalga güçlerindeki bulgulardan önemli ölçüde düşük olduğu bulunmuştur ($p<0.05$). 10 mm kalınlığındaki patlıcan örneklerinde ise, 180W mikrodalga gücünde tespit edilen rehidrasyon verilerinin diğer mikrodalga güçlerindeki bulgulardan önemli ölçüde yüksek olduğu bulunmuştur ($p<0.05$). Ek olarak, tepsili kurutucuda olduğu gibi mikrodalga fırında da patlıcan örneklerinin yeniden su tutabilme kapasitelerinin kalınlıklarının artmasıyla istatistiksel olarak önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir. Benzer sonuç olarak, Wang ve Xi (2005), 1,5, 3, 4,5, 6, 7,5 ve 9 mm kalınlığında kestikleri havuçların rehidrasyon oranlarında, kalınlık arttıkça bir düşüş olduğunu rapor etmişlerdir.

Tepsili kurutucu ile mikrodalga fırında kurutulan patlıcan örneklerin rehidrasyon kapasiteleri karşılaştırıldığında ise, mikrodalgada kurutulan örneklerin yeniden su tutabilme özelliklerinin belirgin bir şekilde daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu bulguya dayanarak, mikrodalga kurutulmuş gıda ürünlerinin kalitesini olumlu yönde etkilediğini söylemek mümkündür.



Şekil 4.26 Mikrodalga kurutucuda farklı mikrodalga güç (180, 450, 720 W) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş patlıcan örneklerinin kalınlık ve mikrodalga gücü ile değişen rehidrasyon oranları (g tutulan su/g kuru madde)

(Rehidrasyon oranlarının standart sapma değerleri 0,05-0,46 arasındadır. Şekil üzerindeki farklı harfler, istatistiksel olarak önemli farklılıkları göstermektedir ($p < 0,05$).)

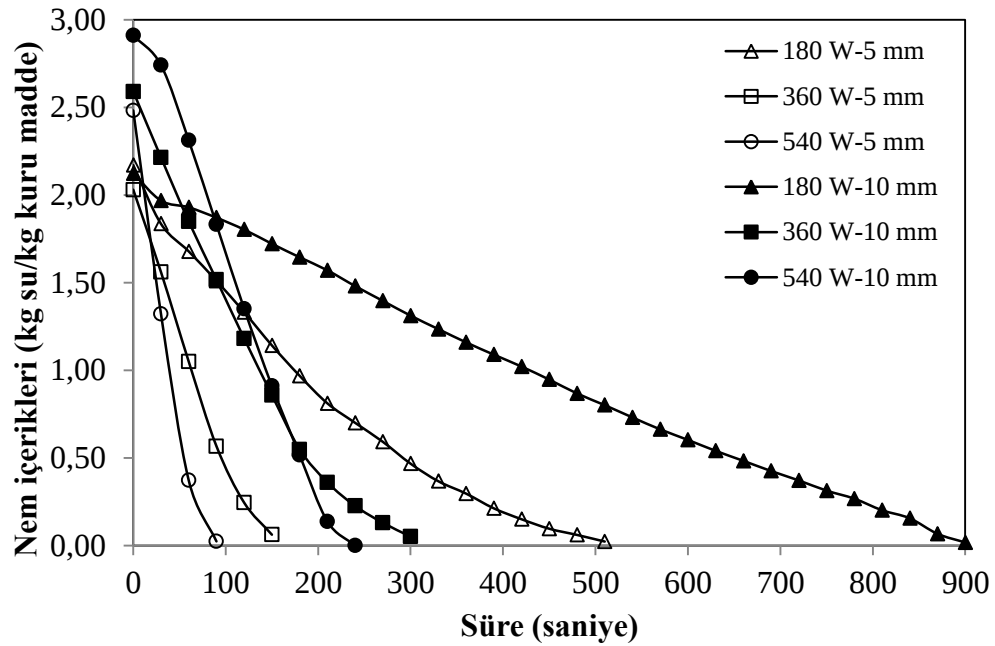
4.2.2 Kabak örnekleri

4.2.2.1 Kurutma sırasındaki nem değişimi bulguları

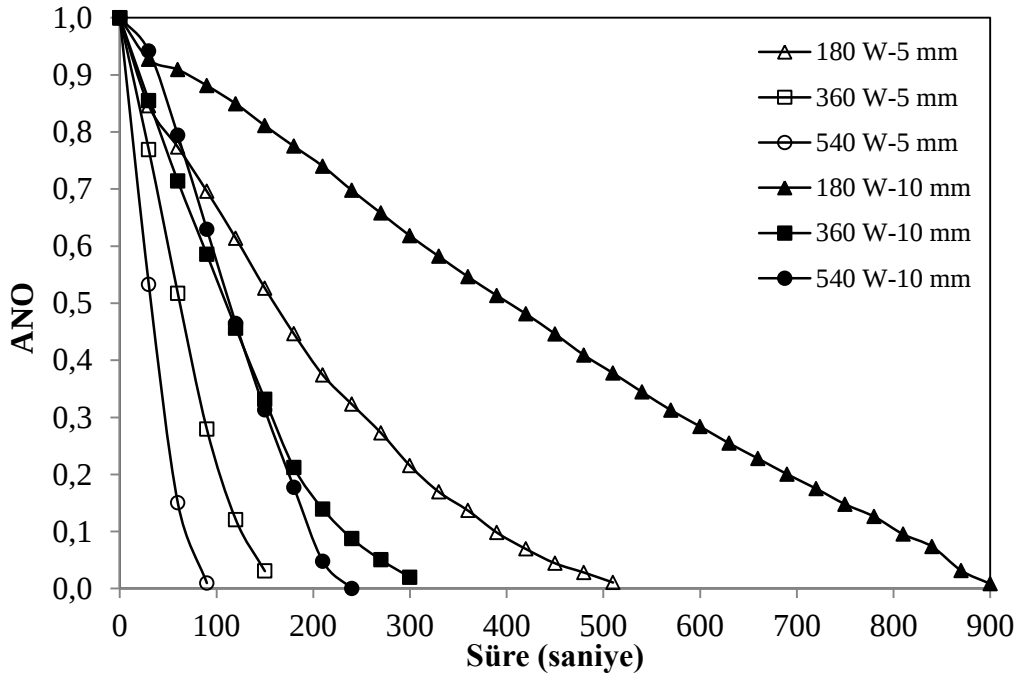
Bu çalışmada da örnekler ilk olarak tepsili kurutucuda (80 °C) bir süre (içerisinde toplam su miktarının %20'si kalıncaya kadar) kurutulduktan sonra mikrodalga kurutma işlemine geçilmiştir. Kabak örnekleri, patlıcan örneklerinde olduğu gibi, farklı mikrodalga güçlerinde (180, 360 ve 540 W) ve farklı kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuştur. Kabak örneklerinin mikrodalga ile kurutma öncesi nem miktarı ortalama % 70 (y.b.) iken, kurutma sonrası ürünlerin nem miktarı %7 (y.b.) olarak ölçülmüştür. Ürünlerin nem içeriklerinin (kg su/kg kuru madde) ve ayrılabilir nem oranı (ANO) değerlerinin zamanla değişimi şekil 4.27-4.28'de verilmiştir. Mikrodalga fırında, kabak örneklerinin başlangıçtaki ortalama nem içeriği 2,4 kg su/kg kuru madde ve nihai nem içeriği 0,03 kg su/kg kuru madde olarak tespit edilmiştir. Tepsili kurutucuya benzer

şekilde, mikrodalga gücünün ve ürün kalınlığının kurutma hızı üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir. Farklı kalınlıklardaki kabak örneklerinde ANOVA ile değişen kurutma hızı grafikleri şekil 4.29-4.30'da verilmiştir. Örnekler beklenildiği gibi azalan hız periyodunda kurumaktadırlar. Yüksek mikrodalga güçlerinde örneklerin daha hızlı kuruduğu, ancak örneklerin kalınlığı arttıkça kurutma hızının azaldığı bulunmuştur. Mikrodalga kurutmada patlıcan örneklerinde olduğu gibi, kabak örneklerinde de dilim kalınlığı iki katına çıkarıldığında, kurutma hızı yaklaşık olarak yarı yarıya düşmüştür.

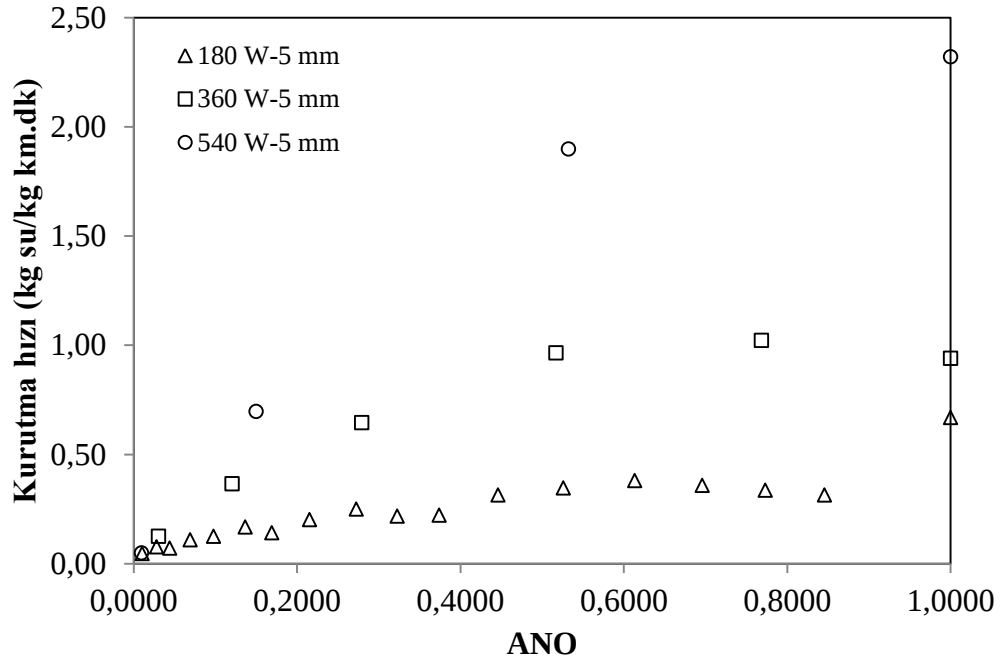
Tulasidas vd. (1993), mikrodalga ile üzüm kurutma çalışmalarında, benzer olarak, ayrılabilir nem oranı azaldıkça kurutma hızlarının azaldığını ve kurutmanın azalan periyotta izlediğini rapor etmişlerdir. Wang vd. (2007), elma posasını mikrodalgada kurutmuşlar ve mikrodalga gücündeki 4 katlık artış ile kurutma hızının yaklaşık 5 kat arttığını bildirmişlerdir.



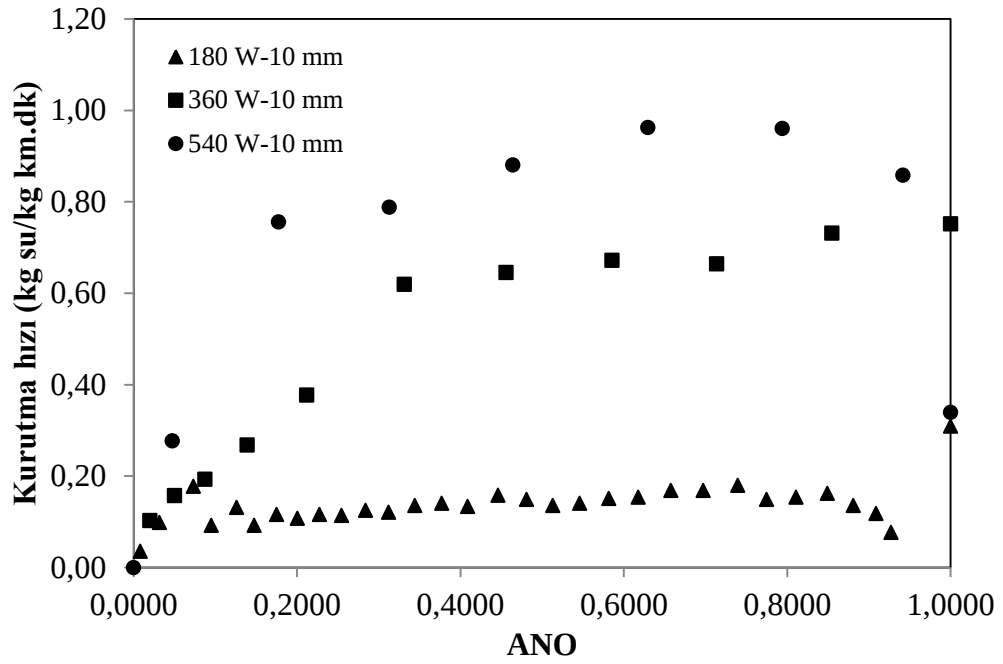
Şekil 4.27 Mikrodalga fırında farklı güç (180, 360, 540 W) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş kabak örneklerinin zamanla değişen nem içerikleri (kg su/kg k.m.)



Şekil 4.28 Mikrodalga fırında farklı güç (180, 360, 540 W) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş kabak örneklerinin zamanla değişen ayrılabilir nem oranları (ANO)



Şekil 4.29 Mikrodalga fırında farklı güç (180, 360, 540 W) kurutulmuş kabak örneklerinin (5 mm kalınlık) ANO ile değişen kurutma hızı (kg su/kg k.m..dk)



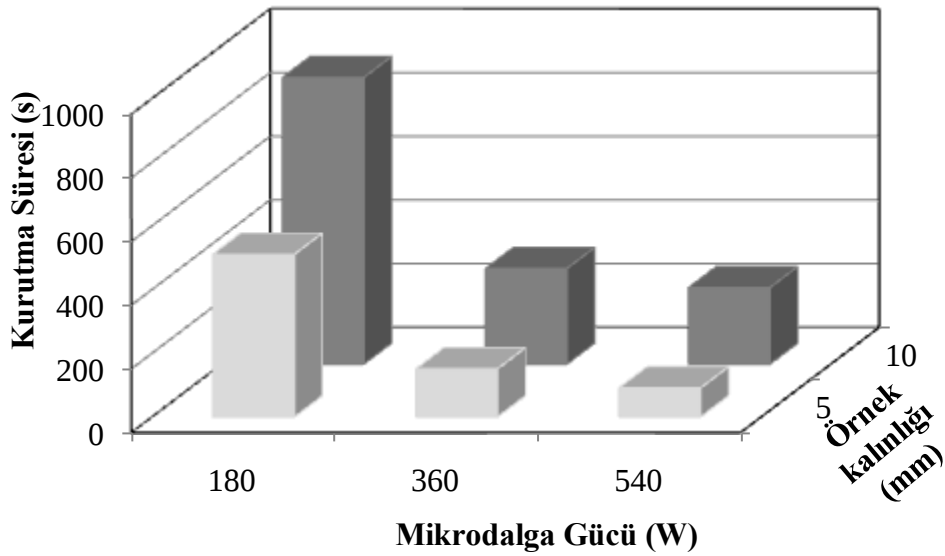
Şekil 4.30 Mikrodalga fırında farklı güç (180, 360, 540 W) kurutulmuş kabak örneklerinin (10 mm kalınlık) ANO ile değişen kurutma hızı (kg su/kg k.m..dk)

Kabak örneklerinin mikrodalga fırında kuruma süreleri şekil 4.31’de verilmiştir. 5 mm kalınlıktaki kabak örneklerinin (artan mikrodalga gücü ile) kurutma süreleri sırasıyla 510, 150 ve 90 saniye; 10 mm kalınlıktaki örneklerin ise 900, 300 ve 240 saniyedir. Sabit kalınlıkta mikrodalga gücünün 3 kat artırılması, dilim kalınlığı 5 mm olan örneklerde kuruma süresini %82, 10 mm kalınlıktaki örneklerde %73 oranında azaltmıştır. Mikrodalga ile kurutulan patlıcan örnekleri ile kıyaslandığında, kabak örneklerinin mikrodalga gücünün artırılmasından daha çok etkilendiği açıktır. Benzer olarak, Wang vd. (2007), mikrodalga ile kuruttukları elma posasında, mikrodalga gücünün 4 kat artırılması ile kurutma süresinin yaklaşık %72 oranında azaldığını rapor etmişlerdir. Diğer bir çalışmada (Dadali vd. 2007a), mikrodalga gücünün 5 kat artırılmasıyla, bamyanın kurutma süresi %72 oranında azaldığı bildirilmiştir. Benzer şekilde, ıspanağın mikrodalga ile kurutulmasında mikrodalga gücü 180’den 900W’a çıkarıldığında, kuruma süresi %80,55 oranında düşmüştür (Dadali vd. 2007b).

Sabit mikrodalga gücünde, kabak örneklerinin kalınlığının yarıya düşürülmesi, bir başka deyişle örnek miktarının yarıya indirilmesi, kurutma sürelerini %43 ile %63 oranında azaltmıştır. Dadali vd. (2007b), 360 W mikrodalga gücünde kuruttukları ıspanak

miktarının %75 oranında azaltılmasının, kuruma süresinin %69,2 oranında kısalttığını bildirmişlerdir. Benzer şekilde (Dadalı vd. 2007a) bamyı miktarının %75 oranında düşürülmesi, kurutma süresinin %73 oranında azaltmıştır. Dadalı ve Özbek (2008), diğer bir çalışmada, 180 W mikrodalga gücünde kuruttukları pırasa örneklerinin miktarlarının 300 gramdan 100 grama azaltılması ile kurutma süresinde yaklaşık %60 oranında bir düşüş olduğunu bildirmişlerdir.

Tepsili kurutucuda, 5 ve 10 mm kalınlığındaki kabak örneklerinin ön-kurutması (80 °C) için harcanan süre sırasıyla 100 ve 240 dakika olarak belirlenmiştir. Bu değere, mikrodalgada son nem miktarına kadar geçen süre eklenerek toplam kurutma süreleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.19). Buna göre, kalınlığı 5 mm olan örneklerde toplam kurutma süreleri 101,5-108,5 dakika arasında değişirken, 10 mm kalınlıkta kurutulmuş kabak örneklerinin toplam kurutma süreleri 244-255 dakika arasındadır. Elde edilen bu veriler, tepsili kurutucu ve mikrodalga fırın ile iki aşamalı yapılan kurutmanın sadece tepsili kurutucu kullanılarak gerçekleştirilen kurutmaya göre süreyi %52-58 oranında azaltabildiğini göstermektedir. Patlıcan örneklerinde olduğu gibi, kurutma süresinin mikrodalga ile yarıdan fazla azaltılabilmesi endüstriyel anlamda büyük bir maddi kazanç sağlayabilir.



Şekil 4.31 Mikrodalga fırında farklı güç (180, 360, 540 W) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş kabak örneklerinin kurutma süreleri (s)

Çizelge 4.19 Mikrodalga fırında farklı güç (180, 360, 540 W) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş kabak örneklerinin toplam kurutma süreleri

Mikrodalga gücü (W)	Örnek kalınlığı (mm)	Toplam Kurutma Süresi (dk)	Kazanılan Süre (%)
180	5	101,5	58
360	5	102,5	57
540	5	108,5	55
180	10	244	52
360	10	245	52
540	10	255	50

4.2.2.2 Matematiksel modelleme

Kurutma sonrasında elde edilen ayrılabilir nem oranı verileri çizelge 2.1’de verilen 13 modele uyarlanmıştır. Deneylerden elde edilen gerçek veriler ve modellerden elde edilen tahmini veriler kullanılarak R^2 , χ^2 ve RMSE değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.20). Buna göre, kabak örnekleri için R^2 değerlerinin 0,89278-1 aralığında, χ^2 değerlerinin 0-0,02307 aralığında, RMSE değerlerinin ise 0,00036-0,08769 aralığında olduğu bulunmuştur. Sonuçlar incelendiğinde, birden fazla modelin deneysel verilere iyi uyum sağladığı tespit edilmiştir. Buna göre; 5 mm dilim kalınlığındaki örnekler için en yüksek R^2 (belirleme katsayısı), en düşük RSME (tahminin standart hatası) ve χ^2 (uyumun iyilik derecesi) değerleri 180 W gücünde kurutulan örneklerde Logaritmik, 360 ve 540 W gücünde kurutulan örneklerde ise Midilli ve ark. modelinde saptanmıştır. Benzer şekilde, 10 mm dilim kalınlığındaki örnekler için ise en uygun modelin 180 W gücünde Wang ve Sing, 360 ve 540 W gücünde ise Midilli ve ark. modeli olduğu söylenebilir. Tulasidas vd. (1993), mikrodalga ile üzüm kurutmuşlar ve deneysel verilere en iyi uyum sağlayan modeli Page olarak rapor etmişlerdir. Soysal (2004), maydanozun mikrodalga ile kurutulmasından elde edilen deneysel verilere en iyi uyumu sağlayan modelin Page olduğunu rapor etmişlerdir. Darvishi (2012), patates dilimlerini (5 mm) farklı mikrodalga güç yoğunluklarında (5-20 W/g) kurutup, deneysel verileri 6 tane modele uyarlamıştır. En iyi uyum sağlayan modeli (yüksek R^2 ve düşük RSME, χ^2

değerleri) Midilli ve ark. olarak belirtmiştir. Ozkan vd. (2007), ıspanak yapraklarının farklı mikrodalga güçlerinde kurutulması ile (90-1000 W) elde edilen verilere en iyi uyum sağlayan modeli Page olarak bildirmişlerdir.

Çizelge 4.20 Mikrodalga fırında farklı güç (180, 360, 540 W) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş kabak örnekleri için kullanılan ANO modellerinin istatistiksel parametreleri

Model İsmi	Mikrodalga Gücü (W)	Ürünün Kalınlığı (mm)	RMSE	χ^2	R ²
Newton					
	180	5	0,01803	0,00034	0,97980
	360	5	0,01175	0,00017	0,95557
	540	5	0,01690	0,00038	0,97272
	180	10	0,01624	0,00028	0,94515
	360	10	0,00060	0,00000	0,96289
	540	10	0,02751	0,00097	0,89278
Page					
	180	5	0,02847	0,00091	0,99314
	360	5	0,00036	0,00000	0,99791
	540	5	0,00715	0,00010	0,99961
	180	10	0,04498	0,00216	0,98911
	360	10	0,01342	0,00022	0,99653
	540	10	0,02016	0,00052	0,99565
Geliştirilmiş Page I					
	180	5	0,01815	0,00037	0,97980
	360	5	0,00673	0,00007	0,95557
	540	5	0,01915	0,00073	0,97272
	180	10	0,01585	0,00027	0,94515
	360	10	0,00483	0,00003	0,96289
	540	10	0,02684	0,00093	0,89278
Geliştirilmiş Page II					
	180	5	0,02824	0,00090	0,99314
	360	5	0,01326	0,00026	0,99791
	540	5	0,00715	0,00010	0,99961
	180	10	0,04479	0,00214	0,98911
	360	10	0,01333	0,00022	0,99653
	540	10	0,01259	0,00020	0,99565
Henderson ve Pabis					
	180	5	0,03495	0,00137	0,98205
	360	5	0,03698	0,00205	0,96107
	540	5	0,03600	0,00259	0,97357

	180	10	0,04328	0,00200	0,95709
	360	10	0,03229	0,00127	0,97027
	540	10	0,04223	0,00229	0,91688
Logaritmik					
	180	5	0,00180	0,00000	0,99841
	360	5	0,00337	0,00002	0,99534
	540	5	0,00617	0,00015	0,99542
	180	10	0,00758	0,00006	0,99917
	360	10	0,00775	0,00008	0,99530
	540	10	0,00621	0,00006	0,99051
İki Terimli					
	180	5	0,03401	0,00149	0,98205
	360	5	0,03523	0,00372	0,96107
	540	5	0,04865	0,00947	0,97357
	180	10	0,04344	0,00217	0,95709
	360	10	0,03175	0,00158	0,97027
	540	10	0,03899	0,00274	0,91688
İki Terimli Exponansiyel					
	180	5	0,02802	0,00088	0,99284
	360	5	0,02102	0,00066	0,99376
	540	5	0,02805	0,00157	0,97262
	180	10	0,04403	0,00207	0,98424
	360	10	0,01803	0,00040	0,99320
	540	10	0,03176	0,00130	0,97991
Wang ve Sing					
	180	5	0,01079	0,00013	0,99800
	360	5	0,00879	0,00012	0,99608
	540	5	0,00380	0,00003	0,99780
	180	10	0,00076	0,00000	0,99922
	360	10	0,01558	0,00030	0,99722
	540	10	0,03114	0,00125	0,98692
Difüzyon Yaklaşımı					
	180	5	0,01928	0,00045	0,97980
	360	5	0,00673	0,00009	0,95557
	540	5	0,02190	0,00192	0,97272
	180	10	0,00271	0,00001	0,99918
	360	10	0,00163	0,00000	0,96289
	540	10	0,02501	0,00094	0,89278
Verma ve ark.					
	180	5	0,01838	0,00041	0,97980
	360	5	0,00673	0,00009	0,95557
	540	5	0,01945	0,00151	0,97272
	180	10	0,00249	0,00001	0,99918
	360	10	0,00127	0,00000	0,96289
	540	10	0,02681	0,00108	0,99918
Geliştirilmiş					

Henderson ve Pabis					
	180	5	0,03281	0,00161	0,98205
	360	5	0,08769	0,02307	0,96107
	540	5	0,06577	0,01730	0,97357
	180	10	0,04200	0,00219	0,95709
	360	10	0,03353	0,00247	0,97022
	540	10	0,03823	0,00438	0,91688
Midilli ve ark.					
	180	5	0,00244	0,00001	0,99441
	360	5	0,00449	0,00006	0,99959
	540	5	0,01005	0,00040	1,00000
	180	10	0,00277	0,00001	0,99940
	360	10	0,00422	0,00003	0,99854
	540	10	0,00517	0,00005	0,99936

Modellerdeki katsayılar SigmaPlot 11.0 (Systat Software Inc., USA) programı kullanılarak doğrusal olmayan regresyon analizi ile hesaplanmıştır. Logaritmik, Midilli ve ark., Wang ve Sing modellerinde yer alan katsayılar (c, a, k, n ve b), farklı koşullarda kurutulmuş kabak örnekleri için çizelge 4.21’de verilmiştir.

Çizelge 4.21 Mikrodalga fırında farklı güç (180, 360, 540 W) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş kabak örnekleri için kullanılan modellerin katsayıları

Model	Deney koşulu	c	a	k	n	b
Logaritmik	180 W-5 mm	-0,2358	1,228	0,003275	-	-
Midilli ve ark.	360 W-5 mm	-	0,9977	0,001775	1,432	-0,0004774
Midilli ve ark.	540 W-5 mm	-	1,0000	0,003236	1,542	-0,0002839
Wang ve Sing	180 W-10 mm	-	-0,001360	-	-	0,0000002928
Midilli ve ark.	360 W-10 mm	-	0,9884	0,001159	1,354	-0,0002047
Midilli ve ark.	540 W-10 mm	-	1,0020	0,0001269	1,787	-0,0004741

4.2.2.3 Efektif difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi

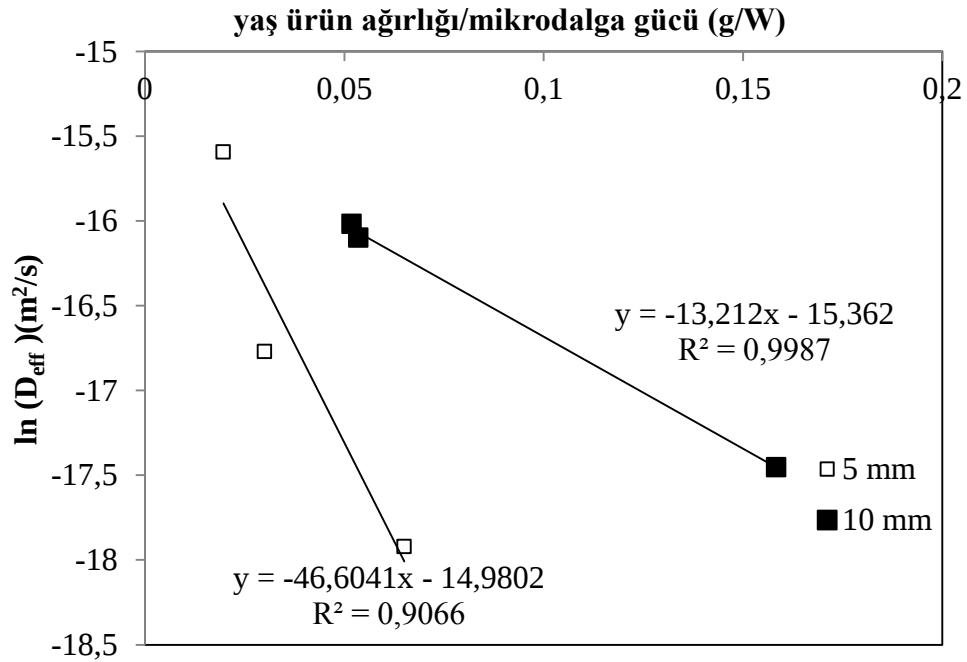
Mikrodalga kurutma sonrasında kabak örneklerinin ANO değerleri kullanılarak efektif difüzyon katsayıları hesaplanmış olup, değerler çizelge 4.22’de verilmiştir. Farklı koşullarda mikrodalga fırında kurutulmuş olan kabak örneklerinin efektif difüzyon katsayıları $1,65 \times 10^{-8}$ - $16,91 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında olduğu bulunmuştur. Tepsili kurutucu ile

karşılaştırıldığında patlıcan örneklerinde olduğu gibi, kabak örneklerinde de efektif difüzyon katsayılarının mikrodalga fırında yaklaşık 10 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Sabit kalınlıkta, efektif difüzyon katsayısı mikrodalga gücü arttıkça bir artış göstermiştir. Tepsili kurutmada olduğu gibi, kalınlığın artması da efektif difüzyon katsayısında genel olarak bir artışa neden olmuştur. Dadalı vd. (2007), 25 g ıspanak yapraklarının efektif difüzyon katsayılarını 180-900 W mikrodalga güçleri arasında $1,99-5,24 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değiştiğini bulmuşlardır.

Efektif difüzyon katsayılarının doğal logaritması ($\ln D_{\text{eff}}$), ürünün ağırlığının mikrodalga gücüne oranına (m/P) karşı grafiğe geçirildiğinde (Şekil 4.32) elde edilen doğrunun eğiminden ürünün aktivasyon enerjisi (E_A) bulunabilir. Bu çalışmada aktivasyon enerjisi 5 mm kalınlıktaki kabak örneklerinde 46,6 W/g, 10 mm kalınlıktaki örneklerde ise 13,2 W/g olarak bulunmuştur. Patlıcan örneklerinde bahsedildiği üzere, aktivasyon enerjisi hesaplamalarında ürünün yaş ağırlığı önem taşımaktadır. Mikrodalgaya koyulan örnek miktarları 5 mm kalınlıktaki kabak örnekleri için 10-11 g, 10 mm kalınlıktaki örnekler için ise 19-28 g'dır.

Çizelge 4.22 Mikrodalga fırında farklı güç (180, 360 ve 540 W) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş kabak örneklerinin D_{eff} değerleri

Deney Koşulu	$D_{\text{eff}} (\text{m}^2/\text{s})$
5mm 180 W	$1,65 \times 10^{-8}$
5 mm 360 W	$5,21 \times 10^{-8}$
5 mm 540 W	$16,91 \times 10^{-8}$
10 mm 180 W	$2,63 \times 10^{-8}$
10 mm 360 W	$10,20 \times 10^{-8}$
10 mm 540 W	$11,05 \times 10^{-8}$



Şekil 4.32 Mikrodalga fırında kurutulmuş farklı kalınlıklardaki kabak (5 ve 10 mm) örneklerinin $\ln(D_{eff})$ (m^2/s) değerlerinin ürün ağırlığının mikrodalga gücüne (g/W) oranıyla değişimi

4.2.2.4 Renk analizi bulguları

Kabak örneklerinin kurutma öncesi ve sonrasında ölçülen renk değerlerinin ortalamaları ve tekerrürler arası standart sapma değerleri çizelge 4.23’de verilmiştir. Kabak örneklerinde mikrodalga gücü ve kalınlığın renk değerleri üzerine etkisi incelenirken, tepsili kurutucuda kurutulmuş kabak örneklerinde olduğu gibi L^* , a^* ve b^* değerleri dikkate alınmıştır. Kurutma öncesindeki yaş kabak örneklerinin ($n=9$) ortalama parlaklık değeri 84,94 olarak bulunmuştur.

Her iki kalınlıkta da L^* değerleri mikrodalga gücü artışı ile önemli derecede azalmıştır ($p<0,05$). Örneklerin esmerleşmeleri şekil 4.35’de de açıkça görülmektedir. Sabit mikrodalga gücünde, patlıcan örneklerinde olduğu gibi, örnek kalınlığının arttırılması da örneklerin parlaklığını olumsuz yönde etkilemiştir. L^* değerleri açısından bakıldığında, tüketicinin en çok beğenisini kazanabilecek örneğin (kontrol değerine en yakın örnek), 5 mm kalınlıkta 180W mikrodalga gücünde kurutulmuş örnekler olduğu saptanmıştır. Bunlara ek olarak, tepsili kurutucuda farklı sıcaklık ve kalınlarda

kurutulmuş kabak örnekleriyle kıyaslandığında mikrodalgada kurutulan kabak örneklerinin daha çok esmerleştiği söylenebilir.

Klorofil pigmentleri kurutma sırasındaki değişen koşullardan etkilenecek üründe renk değişimine neden olmaktadır. Önceden de belirttiğimiz gibi örnekte negatif a^* değerinin azalması örneğin yeşil rengini kaybettiğini ve bir bakıma klorofil pigmentlerinin bozulduğunu göstermektedir. Sonuçlar incelendiğinde, 5 ve 10 mm kalınlıkta kurutulan kabak örneklerinin yeşil renginde, mikrodalga gücünün artması ile istatistiksel olarak önemli ölçüde bir azalma tespit edilmiştir ($p < 0.05$). 5 mm kalınlıkta 180 W güçte kurutulan örnekler hariç, diğer tüm örneklerde yeşil renk tamamen kaybolmuş ve kırmızılık baskın hale gelmiştir. Bu da tüketici açısından istenmeyen bir duruma sebep olabilir.

Pozitif b^* değerleri sarı rengi ifade etmektedir. Kuru kabak (5mm) örneklerinin sarı renk değerleri, yaş kabak örneklerine göre istatistiksel olarak önemli bir artış göstermiştir. Tepsili kurutmada olduğu gibi bu bulgu, örneklerin kurutuldukça sarardıklarının bir kanıtıdır. Sabit kalınlıkta, farklı mikrodalga güçleri arasında ise önemli bir fark gözlemlenmemiştir ($p > 0.05$).

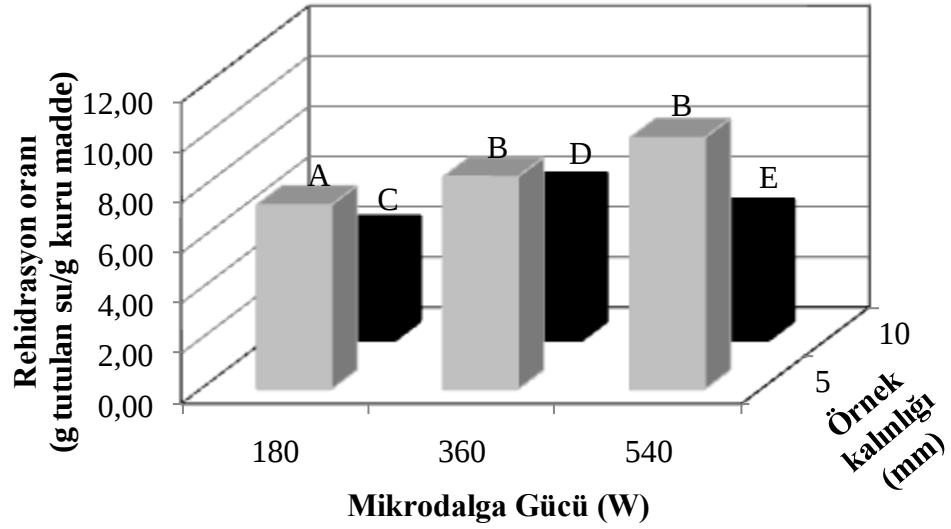
Çizelge 4.23 Mikrodalga fırında farklı güç (180, 360, 540 W) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş kabak örneklerinin renk değerleri

Örnek	Deney Koşulu	L^*	a^*	b^*
Taze Kabak	-	84,94±1,28	-5,90±0,68	27,49±3,98
Kurutulmuş Kabak	5 mm 180 W	77,50±1,82	-2,82±0,40	36,50±2,57
	5 mm 360 W	69,62±1,28	3,58±1,32	35,03±0,60
	5 mm 540 W	63,84±1,02	1,53±0,14	36,96±1,16
	10 mm 180 W	66,86±1,88	4,03±0,96	38,19±0,91
	10 mm 360 W	57,22±0,84	5,97±0,55	34,44±2,26
	10 mm 540 W	50,26±1,08	9,67±0,29	36,73±0,72

4.2.1.5 Rehidrasyon analizi bulguları

Mikrodalgada kurutulan 5 mm kalınlıktaki kabak örneklerinde en yüksek ve en düşük rehidrasyon oranları sırasıyla 10,01 ve 7,33 g tutulan su/g kuru madde iken, 10 mm kalınlıktaki örneklerde en yüksek 5,94 ve en düşük 4,22 g tutulan su/g kuru maddedir. Sonuçlar incelendiğinde (Şekil 4.33), 5 mm kalınlıktaki örneklerde en yüksek rehidrasyon oranı 540 W, 10 mm kalınlıkta ise 360 W mikrodalga gücünde kurutulmuş kabak örneklerinde gözlemlenmiştir. İstatistiksel olarak incelendiğinde, patlıcan örneklerinden farklı olarak, 180 W mikrodalga gücünde kurutulan örneklerden elde edilen rehidrasyon sonuçlarının, diğer mikrodalga güçlerindeki bulgulardan önemli ölçüde düşük olduğu bulunmuştur ($p<0.05$). Bu bulgu, düşük mikrodalga güçlerinin rehidrasyon kapasitesi açısından kabak örneklerini olumsuz yönde etkilediğini göstermektedir. Ek olarak, mikrodalgada kurutulan patlıcan örneklerinde de üzerinde durulduğu gibi, kabak örneklerinin yeniden su tutabilme kapasitelerinin kalınlıklarının artmasıyla istatistiksel olarak önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir.

Tepsili kurutucu ile mikrodalga fırında kurutulan kabak örneklerin rehidrasyon kapasiteleri karşılaştırıldığında da, mikrodalgada kurutulan örneklerin yeniden su tutabilme özelliklerinin (özellikle 5 mm kalınlıktaki örnekler için) daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu bulguya dayanarak, mikrodalganın kurutulmuş gıda ürünlerinin kalitesini olumlu yönde etkilediğini söyleyebiliriz. Benzer sonuçlar literatürde de bulunmaktadır. Drouzas ve Schubert (1996), muz dilimlerini konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutmuş ve rehidrasyon kapasitelerini karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, mikrodalga ile kurutulan ürünlerin rehidrasyon oranları diğerlerine göre yaklaşık 3 kat fazla bulunmuştur. Maskan (2000), 4,3 mm kalınlıktaki muz dilimlerini hem 60 °C sıcak hava ile, hem mikrodalga fırında farklı mikrodalga güçlerinde (350, 490 ve 750 W) kurutmuştur. 20 °C’de gerçekleştirdiği rehidrasyon analizlerinde, en yüksek rehidrasyon oranına sahip örneğin 700 W mikrodalga gücünde kurutulmuş olan örnek olduğunu rapor etmişlerdir.



Şekil 4.33 Mikrodalga fırında farklı güç (180, 360, 540 W) ve kalınlıklarda (5 ve 10 mm) kurutulmuş kabak örneklerinin kalınlık ve mikrodalga gücü ile değişen rehidrasyon oranları (g tutulan su/g kuru madde)

(Rehidrasyon oranlarının standart sapma değerleri 0,03-1,17 arasındadır. Şekil üzerindeki farklı harfler, istatistiksel olarak önemli farklılıkları göstermektedir ($p<0,05$).)

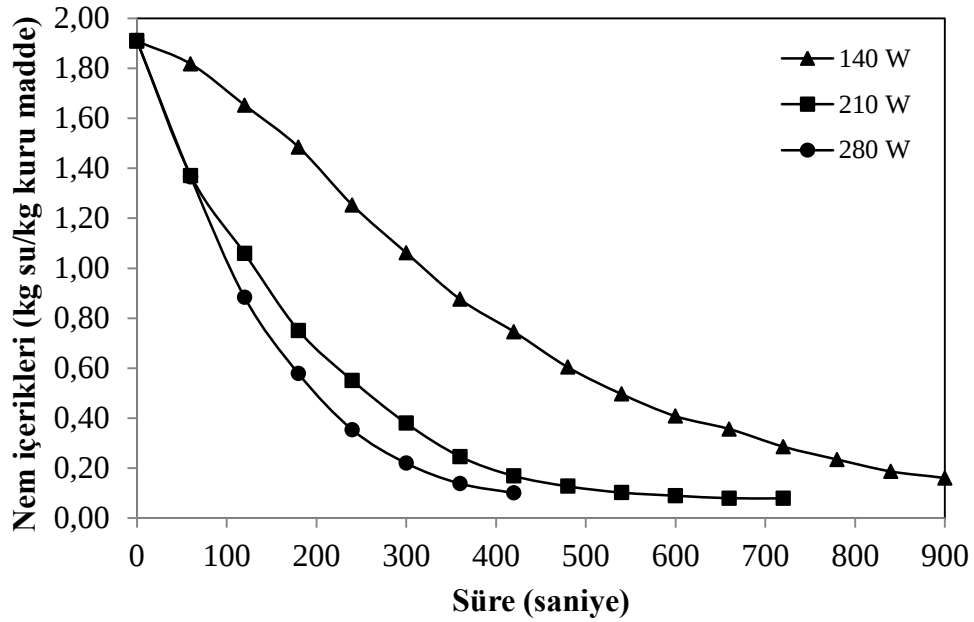
4.2.3 Kiraz domates örnekleri

4.2.3.1 Kurutma sırasındaki nem değişimi bulguları

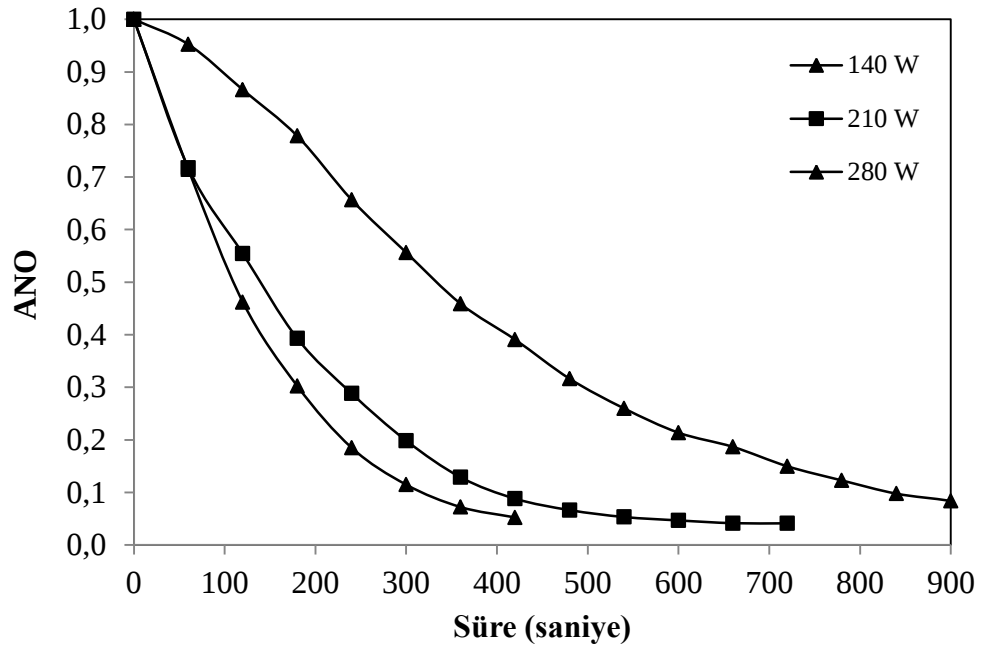
Patlıcan ve kabak örneklerinde olduğu gibi domates örnekleri de, ilk olarak tepsili kurutucuda 80 °C’de (içerisindeki toplam su miktarının %20’si kalıncaya kadar) bekletildikten sonra, mikrodalgada 140, 210 ve 280 W güçlerinde kurutulmuşlardır. Kurutulacak olan domates örneklerinin kurutma öncesi nem miktarı ortalama % 65 (y.b.) iken kurutma sonrası ürünlerin nem miktarı %5 (y.b.) olarak ölçülmüştür. Ürünlerin nem içeriklerinin (kg su/kg kuru madde) ve ayrılabilir nem oranı (ANO) değerlerinin zamanla değişimi şekil 4.34-4.35’de verilmiştir. Domates örnekleri ortalama 1,9 kg su/kg kuru madde nem içeriğinden, 0,09 kg su/kg kuru madde nem içeriğine kadar mikrodalga fırında kurutulmuştur. Diğer örneklerde de görüldüğü mikrodalga gücünün kurutma hızı üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir. Domates örneklerinde ANO ile değişen kurutma hızı grafiği şekil 4.36’de verilmiştir. Kurutma hızı verileri

incelendiğinde genel olarak kurutmanın azalan hız periyodunda gerçekleştiği söylenebilir. Yüksek mikrodalga güçlerinde örneklerin daha hızlı kuruduğu bulunmuştur. Al-Harash et al. (2009), domates ezmesinin mikrodalgada 160-800 W güç arasında elde ettiği kurutma hızı verilerini karşılaştırmışlar ve mikrodalga gücü arttıkça kurutma hızının da arttığını rapor etmişlerdir. Benzer şekilde Çelen ve Kahveci (2013), domates dilimlerinin kurutma hızlarının mikrodalga gücüyle orantılı olarak arttığını bildirmişlerdir.

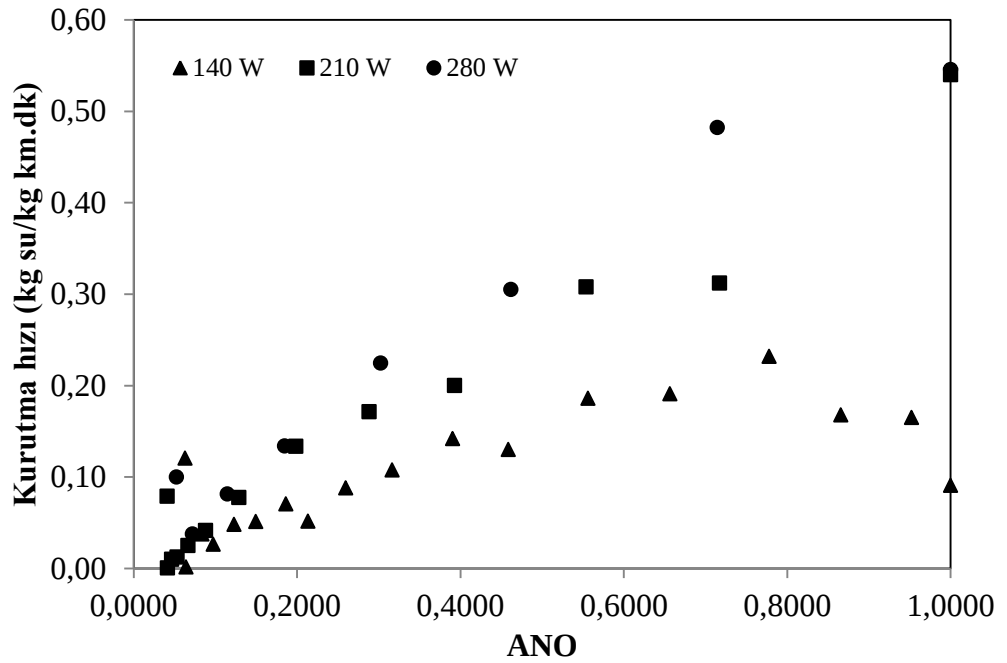
Mikrodalga fırında kurutulan örneklerin kurutma hızları, tepsili kurutucuda kurutulan örneklere oranla yaklaşık 10 kat daha fazladır. Bu bulgu, mikrodalga'nın gıda ürünlerinin kurutulması üzerine etkisini göstermektedir. Mikrodalgada kurutulan örneklerin kurutma sürelerinin de tepsili kurutmaya göre çok kısa olması da bu bulguyu desteklemektedir.



Şekil 4.34 Mikrodalga fırında farklı güçlerde (140, 210, 280 W) kurutulmuş domates örneklerinin zamanla değişen nem içerikleri (kg su/kg k.m.)



Şekil 4.35 Mikrodalga fırında farklı güçlerde (140, 210, 280 W) kurutulmuş domates örneklerinin zamanla değişen ayrılabilir nem oranları (ANO)



Şekil 4.36 Mikrodalga fırında farklı güçlerde (140, 210, 280 W) kurutulmuş domates örneklerinin ANO ile değişen kurutma hızı (kg su/kg k.m.dk)

Domates örneklerinin (artan mikrodalga gücü ile) kurutma süreleri sırasıyla 1020, 720 ve 420 saniyedir. Mikrodalga gücünün 2 kat arttırılması, kuruma süresini %59 oranında azaltmıştır. Al-Harashsheh vd. (2009), domates ezmesini mikrodalga ile kuruttuğu çalışmada, mikrodalga gücünün 5 kat arttırılması ile kurutma süresinin yaklaşık 2,5 kat azaldığını bildirmişlerdir. Abano vd. (2012), domates örnekleri üzerinde birleştirilmiş mikrodalga-vakum kurutucu ile deneyler yapmışlar ve mikrodalganın 200'den 700 W güce çıkarılmasının, kurutma süresini %83 oranında azalttığını tespit etmişlerdir. Diğer bir çalışmada (Çelen ve Kahveci 2013), domates örneklerinin 90 W mikrodalga gücünde 100 dakikada kuruduğu, gücün 4 kat arttırılması ile kurutma süresinin 6 dakikaya düştüğü rapor edilmiştir.

Tepsili kurutucuda, domates örneklerinin ön-kurutması için harcanan süre 360 dakika olarak belirlenmiştir. Bu değere, mikrodalgada nihai nem miktarına kadar geçen süre eklenerek toplam kurutma süreleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.24). Buna göre, örneklerde toplam kurutma süreleri 367-377 dakika arasında değişmektedir. Elde edilen bu veriler, tepsili kurutucu ve mikrodalga fırın ile iki aşamalı yapılan kurutmanın sadece tepsili kurutucu kullanılarak gerçekleştirilen kurutmaya göre süreyi %37-39 oranında azaltabildiğini göstermektedir. Önceki çalışmalarda da değinildiği gibi, mikrodalga kurutma işleminin endüstriyel alanlarda da kullanılabileceği ve düşük mikrodalga güçlerinde dahi kurutma süresinin büyük ölçüde azaltılabiliyor olması, mikrodalga ile kurutma sırasındaki enerji sarfiyatının minimumda tutulabileceğini göstermektedir.

Çizelge 4.24 Farklı mikrodalga güçlerinde (140, 210 ve 280 W) kurutulan domates örneklerinin toplam kurutma süreleri

Mikrodalga gücü (W)	Toplam Kurutma Süresi (dk)	Kazanılan Süre (%)
140	377	37
210	372	38
280	367	39

4.2.3.2 Matematiksel modelleme

Kurutma sonrasında elde edilen ayrılabilir nem oranı verileri çizelge 2.1’de verilen 13 modele uyarlanmıştır. Deneylerden elde edilen gerçek veriler ve modellerden elde edilen tahmini veriler kullanılarak R^2 , χ^2 ve RMSE değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.25). Domates örnekleri için R^2 değerlerinin 0,96847-0,99991 aralığında, χ^2 değerlerinin 0-0,00178 aralığında, RMSE değerlerinin ise 0,00005-0,0385 aralığında olduğu bulunmuştur. Sonuçlar irdelendiğinde, tek modelin deneysel verilere iyi uyum sağladığı tespit edilmiştir. Buna göre; domates örnekleri için mikrodalga güçleri farketmeksizin en yüksek R^2 (belirleme katsayısı), en düşük RSME (tahminin standart hatası) ve χ^2 (uyumun iyilik derecesi) değerleri Midilli ve ark. modelinde ($ANO = a \times \exp(-kt^n) + bt$) saptanmıştır. Benzer olarak, Al-Harashsheh vd. (2009), domates ezmesini mikrodalga ile kuruttuğu çalışmada, deneysel verilere en iyi uyum gösteren modelin Midilli ve ark. olduğunu rapor etmişlerdir.

Modellerdeki katsayılar SigmaPlot 11.0 (Systat Software Inc., USA) programı kullanılarak doğrusal olmayan regresyon analizi ile hesaplanmıştır. Midilli ve ark. modelinde bulunan katsayılar (a, k, n ve b), farklı koşullarda kurutulmuş domates örnekleri için çizelge 4.26’da verilmiştir.

Çizelge 4.25 Mikrodalga fırında farklı güçlerde (140, 210, 280 W) kurutulmuş domates örnekleri için kullanılan ANO modellerinin istatistiksel parametreleri

Model İsmi	Mikrodalga Gücü (W)	RMSE	χ^2	R^2
Newton				
	140	0,01983	0,00042	0,96851
	210	0,00297	0,00001	0,99793
	280	0,00005	0,00000	0,99603
Page				
	140	0,01511	0,00026	0,99977
	210	0,00466	0,00003	0,99811
	280	0,00563	0,00008	0,99849
Geliştirilmiş Page I				
	140	0,01811	0,00037	0,96851
	210	0,00211	0,00001	0,99793
	280	0,00213	0,00001	0,99603

Geliştirilmiş Page II				
	140	0,01679	0,00032	0,99849
	210	0,00469	0,00003	0,99811
	280	0,00634	0,00011	0,99977
Henderson ve Pabis				
	140	0,02642	0,00079	0,98229
	210	0,00206	0,00001	0,99795
	280W	0,00550	0,00008	0,99674
Logaritmik				
	140	0,00300	0,00001	0,99083
	210	0,00183	0,00000	0,99795
	280	0,00517	0,00011	0,99825
İki Terimli				
	140	0,02642	0,00090	0,98229
	210	0,00222	0,00001	0,99795
	280	0,00766	0,00047	0,99674
İki Terimli Exponansiyel				
	140	0,01212	0,00017	0,96847
	210	0,00192	0,00000	0,99793
	280	0,00655	0,00011	0,99974
Wang ve Sing				
	140	0,03545	0,00141	0,99116
	210	0,02667	0,00084	0,97862
	280	0,00273	0,00002	0,99752
Difüzyon Yaklaşımı				
	140	0,03640	0,00159	0,98639
	210	0,00211	0,00001	0,99793
	280	0,00143	0,00001	0,99603
Verma ve ark.				
	140	0,03850	0,00178	0,98639
	210	0,00225	0,00001	0,99793
	280	0,00362	0,00005	0,99603
Geliştirilmiş Henderson ve Pabis				
	140	0,02611	0,00102	0,98229
	210	0,00269	0,00001	0,99795
	280	0,00745	0,00022	0,99674
Midilli ve ark.				
	140	0,00507	0,00003	0,99953
	210	0,00119	0,00000	0,99851
	280	0,00938	0,00018	0,99991

Çizelge 4.26 Mikrodalga fırında farklı güçlerde (140, 210, 280 W) kurutulmuş domates örnekleri için kullanılan modellerin katsayıları

Model	Mikrodalga Gücü (W)	a	k	n	b
Midilli ve ark.	140	1,006	0,0001456	1,461	0,00003771
	210	0,9929	0,0035610	1,077	0,00002421
	280	1,000	0,0028400	1,170	0,00003514

Katsayıların mikrodalga gücüne bağlı olarak değişimini ifade eden eşitlikler çizelge 4.27’de verilmiştir. Domates örneklerinde katsayılar mikrodalga gücü ile polinomik olarak değişmiştir. Bu eşitlikler yardımı ile mikrodalga gücü bilinen bir denemede domates örneklerinin nem miktarı tahminleri kolaylıkla yapılabilecektir.

Çizelge 4.27 Mikrodalga fırında kurutulmuş domates örneklerinin model katsayılarının mikrodalga gücü (W) ile değişim eşitlikleri

Örnek	Eşitlik	y ₀	c	c ₁	R ²
Domates	k=y ₀ +cP+c ₁ P ²	-0,019	0,0002	-0,0000004	1,0000
	a=y ₀ +cP+c ₁ P ²	1,093	-0,0009	0,000002	1,0000
	b=y ₀ +cP+c ₁ P ²	0,0001	-0,000001	0,000000002	1,0000
	n=y ₀ +cP+c ₁ P ²	3,66	-0,022	0,00005	1,0000

y₀, c ve c₁, eşitlik katsayıları; P, mikrodalga gücü (W); R² ise belirtme katsayısıdır.

4.2.3.3 Efektif difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi

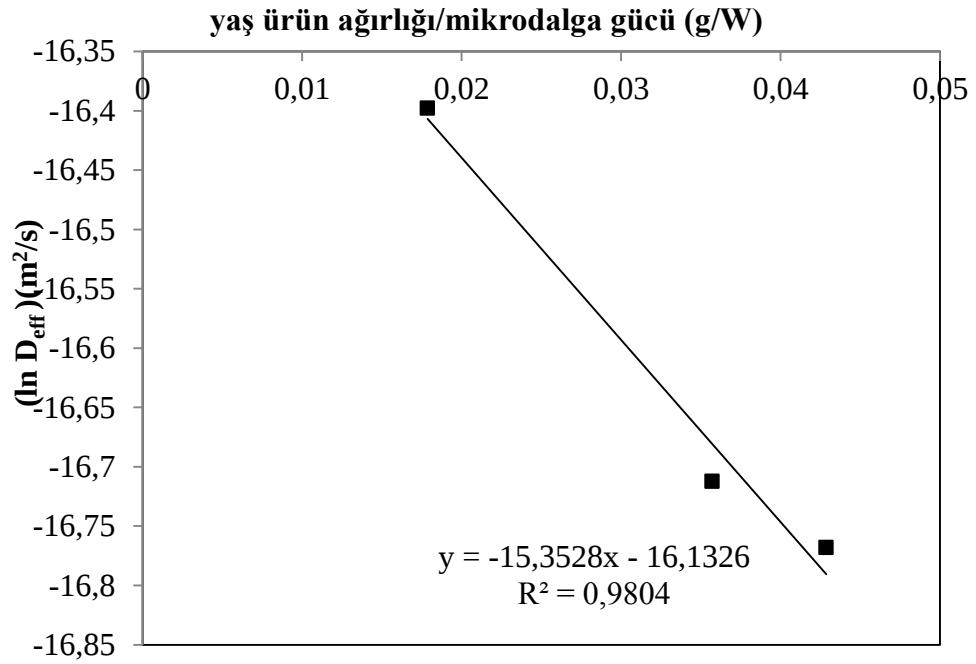
Mikrodalga kurutma sonrasında domates örneklerinin ANO değerleri kullanılarak efektif difüzyon katsayıları hesaplanmış olup, değerler çizelge 4.28’de verilmiştir. Farklı koşullarda mikrodalga fırında kurutulmuş olan domates örneklerinin efektif difüzyon katsayıları $5,22-7,56 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında olduğu bulunmuştur. Tepsili kurutucu ile karşılaştırıldığında, patlıcan ve kabak örneklerinde olduğu gibi, domates örneklerinde de efektif difüzyon katsayılarının mikrodalga fırında yaklaşık 10 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Efektif difüzyon katsayısı mikrodalga gücü arttıkça bir artış göstermiştir. Abano vd. (2012), domates dilimlerini 200, 300, 500 ve 700 W mikrodalga güçlerinde kurutmuş ve efektif difüzyon katsayılarını sırasıyla $7,22 \times 10^{-9}$, $9,10 \times 10^{-9}$, $14,99 \times 10^{-9}$ ve $25,19 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ bulmuşlardır. Çalışmamıza benzer şekilde mikrodalga gücü arttıkça efektif difüzyon katsayısının arttığını gözlemlemişlerdir.

Değerler arası farklılığın, kullanılan materyalin kalınlık farkından dolayı olduğu sanılmaktadır. Bu çalışmada 7 mm kalınlıktaki domates dilimleri kullanılmıştır. Al-Harash et al. (2009), domates ezmesini mikrodalga ile kuruttuğu çalışmada, 160-800 W arasında efektif difüzyon katsayısının $1,14-6,09 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ aralığında değiştiğini bildirmişlerdir. Bu çalışmada efektif difüzyon katsayısının, bizim çalışmamızdaki sonuçlara oranla daha büyük olmasının nedeninin, materyalin ezme halinde olmasından dolayı kaynakladığı düşünülmektedir. Arslan ve Özcan (2011), domates örneklerini 210 ve 700 W güçlerinde kurutmuşlardır. Efektif difüzyon katsayılarını $51,56 \times 10^{-9}$ ve $111,13 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak rapor etmişlerdir. Bu çalışmada örneklerin kalınlıkları ile ilgili bilgi verilmemiştir. Değerler arası farklılık, miktarlar arasındaki değişikliğin nedeni olabilir.

Efektif difüzyon katsayılarının doğal logaritması ($\ln(D_{\text{eff}})$), ürünün ağırlığının mikrodalga gücüne oranına (m/P) karşı grafiğe geçirildiğinde (Şekil 4.37) elde edilen doğrunun eğiminden ürünün aktivasyon enerjisi (E_A) hesaplanmaktadır. Bu çalışmada domates örneklerinde aktivasyon enerjisi 15,3 W/g olarak bulunmuştur. Mikrodalgaya koyulan domates örnekleri 5-7,5 g aralığındadır.

Çizelge 4.28 Mikrodalga fırında farklı güçlerde (140, 210 ve 280 W) kurutulmuş domates örneklerinin D_{eff} değerleri

Mikrodalga Gücü (W)	$D_{\text{eff}} (\text{m}^2/\text{s})$
140	$5,22 \times 10^{-8}$
210	$5,52 \times 10^{-8}$
280	$7,56 \times 10^{-8}$



Şekil 4.37 Mikrodalga fırında kurutulmuş domates örneklerinin $\ln(D_{eff})$ (m²/s) değerlerinin ürün ağırlığının mikrodalga gücüne (g/W) oranıyla değişimi

4.2.3.4 Renk analizi bulguları

Domates örnekleri için kurutma öncesi ve sonrasında ölçülen renk değerleri çizelge 4.29’de verilmiştir. Daha öncede değinildiği gibi, kurutma işleminin domatesin renk özellikleri üzerine etkisi incelenirken parlaklık (L^*), kırmızılık ($+a^*$) değerlerini detaylı incelemek daha doğru bir yaklaşım olabilir (Sacilik vd. 2006). Aynı zamanda, a^*/b^* oranı domates örneklerinde rengin kalitesini temsil ettiği için önemli bir parametredir. Tepsili kurutmada bahsedildiği gibi, iyi bir domateste, renk değerlerinden L^* ve a^* değerinin yüksek, a^*/b^* oranının ise düşük olması beklenir (Sacilik vd. 2006).

Kurutma öncesinde yaş domates örneklerinin ($n=9$) ortalama L^* değerleri 38,07 olarak ölçülmüştür. Mikrodalga gücü artışı ile L^* değerlerinde çok önemli bir değişme görülmemiş, 34,16-37,60 aralığında değiştiği gözlemlenmiştir. Domates ürünlerinin kurutma öncesi ölçülen kırmızılık değeri (a^*) 22,55 olarak ölçülmüş ve bu değer kurutma işlemi sonrasında farklı mikrodalga güçleriyle önemli bir değişme göstermemiştir ($p>0,05$). a^*/b^* oranının ise düşük olması renk kalitesinin iyi olduğu anlamına gelmektedir. Domates örneklerinde a^*/b^* oranında, mikrodalga gücü artışı ile

birlikte istatistiksel açıdan önemli bir fark görülmemiştir ($p>0,05$). Elde edilen bu bulgular, mikrodalga ile kurutulmuş domates örneklerinin görüntü kalitesinin yaş örneğe çok yakın olduğunu göstermektedir. Tepsili kurutucu ile kurutulan domates örnekleri ile kıyaslandığında, mikrodalga ile kurutulan domates örneklerinin renk açısından daha kaliteli olduğu söylenebilir.

Çelen ve Kahveci (2013), domates örneklerini 90-600 W mikrodalga gücü aralığında kurutmuş ve L^* değerlerinin 25,90 ile 33,30 arasında değiştiğini rapor etmiştir. Aynı çalışmada kontrol örneğine en yakın kırmızılık değeri en düşük güç olan 90 W ile işlem gören örneklerde belirlenmiştir. 360 W mikrodalga gücü üzeri çıkıldığında renkte kararır olduğunu rapor etmişlerdir. Arslan ve Özcan (2011), domates örneklerinde kontrol grubuna en yakın renk değerlerine 210 W mikrodalga gücünde kurutulmuş örneklerde tespit etmişlerdir.

Çizelge 4.29 Mikrodalga fırında farklı güçlerde (140, 210, 280 W) kurutulmuş domates örneklerinin renk değerleri

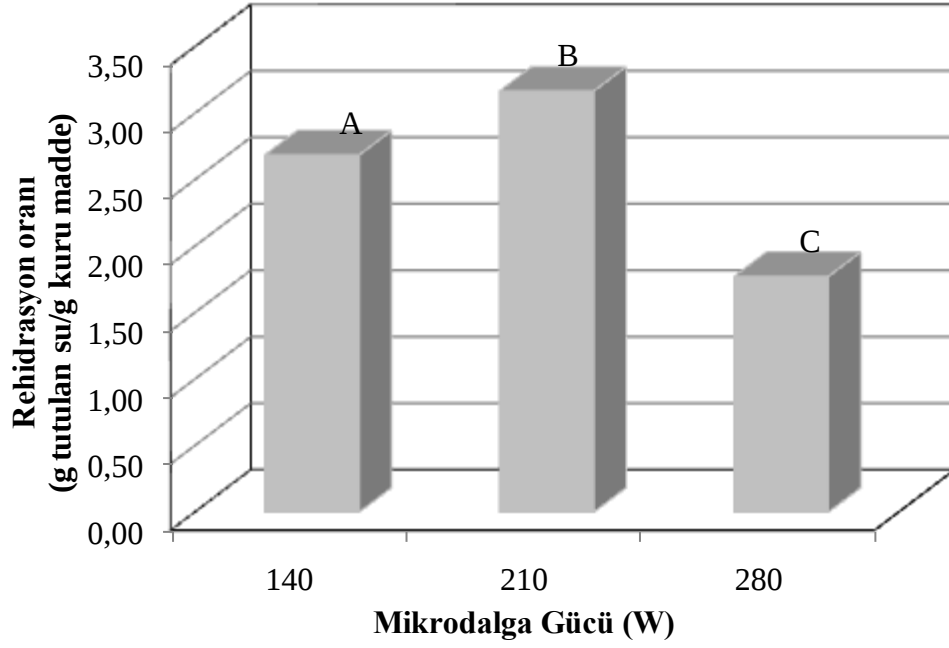
Örnek	Mikrodalga Gücü (W)	L^*	a^*	b^*	a^*/b^*
Taze Domates	-	38,07±0,65	22,55±0,40	21,44±1,93	1,05
Kurutulmuş Domates	140	35,72±0,96	24,50±1,66	21,75±1,26	1,13
	210	34,16±1,38	22,84±1,95	23,20±1,46	0,98
	280	37,60±1,63	21,63±0,92	23,69±0,88	0,91

4.2.3.5 Rehidrasyon analizi bulguları

Mikrodalgada kurutulan domates örneklerinde en yüksek ve en düşük rehidrasyon oranları sırasıyla 3,17 ve 1,77 (g tutulan su miktarı/g kuru madde)'dir. Sonuçlar incelendiğinde (Şekil 4.38) en yüksek rehidrasyon oranı 210 W mikrodalga gücünde kurutulmuş domates örneklerinde gözlemlenmiştir ($p<0,05$).

Tepsili kurutucu ile mikrodalga fırında kurutulan domates örneklerinin rehidrasyon kapasiteleri karşılaştırıldığında da, tepsili kurutucu ile kurutulan örneklerin yeniden su tutabilme özelliklerinin belirgin bir şekilde daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu

bulguya dayanarak, domatesin mikrodalga fırınla kurutulması sırasında, tepsili kurutucu ile kurutulan örneklerle kıyasla daha fazla hücresel bozulmaya uğradığı sonucu çıkarılabilir.



Şekil 4.38 Mikrodalga fırında farklı güçlerde (140, 210, 280 W) kurutulmuş domates örneklerinin rehidrasyon oranları (g tutulan su/g kuru madde)

(Rehidrasyon oranlarının standart sapma değerleri 0,15-0,44 arasındadır.)

5. SONUÇ

Yapılan tepsili kurutucu deneylerinde tüm örnekler için sıcaklık arttıkça, kuruma hızının arttığı ve bu sebeple kurutma süresinin düştüğü gözlemlenmiştir. Çalışılan tüm ürünlerde en yüksek kurutma sıcaklığında (80 °C), kurutma hızının en yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, kabak ve patlıcan örneklerinde kalınlık artışı, kurutma süresinin de artmasına neden olmuştur. Mikrodalga ile kurutulan ürünlerde ise mikrodalga gücünün artması ile kurutma hızı artmış ve kurutma süresi azalmıştır. Mikrodalga fırının kullanılması, tepsili kurutma yöntemine göre kurutma süresini, patlıcan örneklerinde yaklaşık %60, kabak örneklerinde yaklaşık %55 ve domates örneklerinde %38 oranlarında azaltmıştır.

Bu çalışmada her bir ürün için, deneysel nem oranı verilerine en iyi uyumu sağlayan matematiksel modeller belirlenmiştir. Bir ürünün farklı koşullarda kurutulmasının dahi model uyumluluklarında farklılıklara sebep olduğu görülmüştür. Bu sebeple, bir ürün için tek bir modelin uygun olduğunu söylemek zordur.

Efektif difüzyon katsayıları tepsili kurutmada artan sıcaklıkla, mikrodalga ile kurutmada artan mikrodalga gücüyle bir artış göstermiştir. Tepsili kurutmada, sıcaklığın efektif difüzyon katsayısına etkisi Arrhenius tipi eşitliklerle açıklanmıştır ve aktivasyon enerjileri hesaplanmıştır. Mikrodalga ile kurutmada ise gücün efektif difüzyon katsayısına etkisi de tespit edilmiştir. Buna göre, tüm ürünlerde efektif difüzyon katsayıları 10^{-9} ile 10^{-8} m²/s arasında değiştiği bulunmuştur. Mikrodalga ile kurutulan örneklerin efektif difüzyon katsayıları, tepsili kurutucu ile kurutulan örneklerden yaklaşık 10 kat daha yüksektir.

Tepsili kurutma sonrasında patlıcan ve kabak örneklerinin renk değerleri, mikrodalga kurutma sonrasındaki değerlere göre kontrol örneğine daha yakın olduğu gözlemlenmiştir. Genel olarak, mikrodalga ile kurutmada ürünlerin renk kaliteleri mikrodalga gücü arttıkça azalmıştır. Gıdaların kurtulması sırasında karşılaşılan esmerleşmenin, ürünlerin değişik solüsyonlara batırılmasıyla önlenilebileceği düşünülmektedir. Patlıcan ve kabak örneklerinden farklı olarak, mikrodalga ile kurutulan domates örneklerinin renk kalitesi tepsili kurutucu ile kurutulmuş örneklere

kıyasla daha iyi olduğu bulunmuştur. Bu farkın, domates örneklerinin patlıcan ve kabak örneklerine göre daha düşük mikrodalga güçlerinde kurutulmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Endüstriyel olarak mikrodalga'nın çok yaygın kullanılmamasının bir nedenide tüketicinin bu yöntemle üretilen ürünlere karşı gösterdiği kaygıdır.

Maksimum rehidrasyon oranları ise her ürün ve koşulda farklılık göstermiştir. Tepsili kurutucu ile kurutulan kabak ve patlıcan ürünlerinde rehidrasyon kapasitesinin, mikrodalga ile kurutulanlara göre daha düşük olduğu görülmüştür. Domates örneklerinde ise rehidrasyon kapasitesinin, tepsili kurutma sonrasındaki ürünlerde daha yüksek olduğu bulunmuştur.

Sonuç olarak, bütün bu karakteristiklere genel olarak bakıldığında, en kaliteli ve en hızlı kurutmanın sağlanması, o ürünün yapısına bağlı olduğu görülmüştür. Kurutma süresi açısından değerlendirilirse, mikrodalga ile kurutmanın gıda endüstrisine büyük kazanç sağlayacağı çok açıktır. Ancak, bu noktada tüketicinin kalite algısında çok önemli olduğunu unutmamak gerekir. Eğer mikrodalga ile kurutma istenilen beğeniyi sağlayamazsa, süreden kazanç sağlamanın bir önemi kalmamaktadır.

KAYNAKLAR

- Abano, E.E., Ma, H. and Qu, W. 2012. Influence of combined microwave-vacuum drying on drying kinetics and quality of dried tomato sciles. *Journal of Food Quality*, Vol. 35; pp. 159-168.
- Aghbashlo, M., Kianmehr, M.H. and Beygi, S.R.H. 2010. Drying and Rehtdration Characteristics of Sour Cherry (*Prunus Cerasus L.*). *Journal of Food Processing and Preservation*, Vol. 34; pp. 351-365.
- Akpınar, E.K. ve Biçer, Y. 2003. Siklon Tipi Bir Kurutucuda Kabağın Kuruma Davranışının İncelenmesi. *G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, No:16, s. 159-169.
- Akpınar, E.K. and Bicer, Y. 2005. Modelling of the drying of eggplants in thin-layers. *International Journal of Food Science and Technology*, Vol. 40; pp. 273-281.
- Al-Harashsheh, M., Al-Muhtaseb, H. and Magee, T.R.A. 2009. Microwave Drying Kinetics of Tomato Pomace: Effect of Osmotic Dehydration. *Chemical Engineering and Processing*, Vol. 48; pp. 524-531.
- Anonim. 2007. Sebzeleri kurutma. *Gıda Teknolojisi, MEGEP*, s.10. Ankara.
- Anonim. 2011. Enzimlerin özellikleri. *Gıda teknolojisi, MEGEP*, s.11, Ankara.
- Anonim. 2013. Web sitesi: <http://www.cokesen.com>, Erişim Tarihi: 22.05.2013.
- Anonim. 2013. Web sitesi: <http://www.desanmakinalari.net>, Erişim Tarihi: 22.05.2013.
- Anonim. 2013. Web sitesi: <http://www.solarwall.com>, Erişim Tarihi: 22.05.2013.
- Anonim. 2013. Web sitesi: <http://www.vakumkurutma.com>, Erişim Tarihi: 23.05.2013.
- Anonim. 2013. Web sitesi: <http://www.t-max.com.tr>, Erişim Tarihi: 24.05.2013.
- Anonim. 2013. Web sitesi: <http://bckgroup.net>, Erişim Tarihi: 29.05.2013.
- Anonim. 2013. Web sitesi: <http://www.food.hacettepe.edu.tr>, Erişim Tarihi: 28.06.2013.
- Arevalo-Pinedo, A. and Murr, F. E. X. 2007. Influence of pre-treatments on the drying kinetics during vacuum drying of carrot and pumpkin. *Journal of Food Engineering*, Vol. 80; pp. 152-156.
- Arslan, D. and Özcan, M.M. 2011. Drying of tomato slices: changes in drying kinetics, mineral contents, antioxidant activity and color parameters. *Journal of Food*, Vol. 9; pp. 229-236.
- Ayensu, A. 1997. Dehydration of Food Crops Using a Solar Dryer With Convective Heat Flow. *Solar Energy*, Vol. 59(4-6); pp. 121-126.

- Aytaç, G. 2008. T.C. Kurutulmuş Sebzeler. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı, İhracatı geliştirme etüt merkezi, 5 s.
- Bengston, G., Rahman, M.S., Stanley, R. and Perera, C.O. 1998. Effect Specific Pretreatment on the Drying Behaviour of Apple Rings. New Zeland Inst. Of Food Science and New Zeland Conference, 10 s., Nelson.
- Bulduk, S. 2006. Gıda Teknolojisi. s. 35-38, Üçüncü Baskı, Detay Yayıncılık, Ankara.
- Cemeroğlu, B. ve Acar, J. 1986. Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi, s. 125-145, Ders Kitabı, Ankara.
- Cemeroğlu, B. 2004. Meyve Sebze İşleme Teknolojisi, 2. cilt. ISBN 975-98578-2-0, Ankara.
- Cemeroğlu, B., Yemenicioglu, A. ve Özkan, M. 2001. Meyve ve sebzelerin bileşimi sogukta depolanmaları. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları No:24, s. 88-95.
- Cemeroğlu, B. 2010. Gıda Mühendisliğinde Temel İşlemler. ISBN 978-975-98246-1-7, Ankara.
- Crank, J. 1975. The mathematics of diffusion. Oxford: Clarendon Press.
- Çelen, S. and Kahveci, K. 2013. Microwave Drying Behaviour of Tomato Slices. Czech Journal of Food Science, Vol. 2; pp. 132-138.
- Dadalı, G., Apar, D.K. and Özbek, B. 2007a. Microwave Drying Kinetics of Okra. Drying Technology, Vol. 25; pp. 917-924.
- Dadali, G., Demirhan E. and Özbek, B. 2007b. Microwave Heat Treatment of Spinach: Drying Kinetics and Effective Moisture Diffusivity. Drying Technology, Vol. 25; pp. 1703-1712.
- Dadali, G. and Özbek, B. 2008. Microwave heat treatment of leek: drying kinetics and effective moisture diffusivity. International Journal of Food Science and Technology, Vol. 43; pp. 1443-1451.
- Dalgıç, A.C., Vardin, H. ve Tekin, A.R. 2001. GAP İle Üretim Artışı Beklenen Gıdaların Kurutularak Değerlendirilmesinde Güneş Enerjili Kurutucular, GAP II. Tarım Kongresi, s. 317-326.
- Demiray, E. and Tulek Y. 2012. Thin-layer drying of tomato (*Lycopersium esculentum* Mill. cv. Rio Grande) slices in a convective hot air dryer. Heat Mass Transfer Vol. 48; pp. 841-847.

- Demirtas, C., Ayhan, T. and Kaygusuz, K. 1998. Drying behaviour of hazelnuts. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Vol:76; pp. 559-564.
- Darvishi, H. 2012. Energy consumption and mathematical modeling of microwave drying of potato slices. 14 p., İran.
- Devres, Y.O. 1989. Soğuk Hava Depolarında Bazı Meyve ve Sebzelerin Sıcaklık ve Ağırlık Kaybının Matematiksel Analizi. VII. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 25-30 Eylül 1989, s. 11, İzmir.
- Doğan, H. ve Ersöz, M.A. 2009. Akışkan yataklı sürekli kurutucuda tuz kurutulmasının deneysel incelenmesi. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09). 13-15 Mayıs, Karabük.
- Doymaz, İ. 1998. Investigation of drying characteristics of grape and Kahramanmaraş pepper. Ph.D. Thesis, Science Institute, Yıldız Technical University, Istanbul.
- Doymaz, İ. 2003. Convective Air Drying Characteristics of Thin Layer Carrots. *Journal of Food Engineering*, Vol: 61; pp. 359–364.
- Doymaz, İ. 2004. Convective air drying characteristics of thin layer carrots. *Journal of Food Engineering*, Vol: 61; pp. 359-364.
- Doymaz, İ. 2005. Sun Drying of Figs: an experimental study. *Journal of Food Engineering*, Vol: 71; pp. 403-407.
- Doymaz, İ. 2007. Air-drying characteristics of tomatoes. *Journal of Food Engineering*, Vol. 78; pp. 1291-1297.
- Doymaz, İ. and Göl, E. 2011. Convective Drying Characteristics of Eggplants Slices. *Journal of Food Process Engineering*, Vol. 34; pp.1234-1252.
- Doymaz, İ. 2011a. Thin-layer drying characteristics of sweet potato slices and mathematical modelling. *Heat Mass Transfer*, Vol. 47; pp.277-285.
- Doymaz, İ. 2011b. Drying of Eggplant Slices in Thin Layers at Different Air Temperatures. *Journal of Food Processing and Preservation*, Vol. 35; pp. 280-289.
- Doymaz, İ. and İsmail, O. 2011. Drying characteristics of sweet cherry. *Food and Bioprocess Engineering*, Vol: 89; pp. 31-38.
- Doymaz, İ. 2012. Prediction of Drying Characteristics of Pomegranate Arils. *Food Anal. Methods*, Vol. 5; pp. 841-848.
- Drouzas, A.E. and Schubert, H. 1996. Microwave application in vacuum drying of fruits. *J. Food Eng.* Vol. 28 (2); pp. 203-209.

- Erbay, B. ve Küçüköner, E. 2008. Türkiye 10. Gıda Kongresi, “Gıda Endüstrisinde Kullanılan Farklı Kurutma Sistemleri”, 21-23 Mayıs 2008, Erzurum.
- Ertekin, C. and Yaldiz, O. 2004. Drying Of Eggplant And Selection Of a Suitable Thin Layer Drying Model. *Journal of Food Engineering*, Vol: 63; pp. 349-359.
- Fellows, P. 1993. *Food Processing Technology. Principles and Practise*. Ellies Hardwood, New York.
- Geankoplis, C.J. 2011. *Taşınma Süreçleri ve Ayırma Süreci İlkeleri*. ISBN: 978-975-6240-40-3. Çeviren, Sinan Yapıcı.
- Giovanelli, G., Zanoni, B., Lavelli, V. and Nani, R. 2002. Water Sorption, Drying and Antioxidant Properties of Dried Tomato Products. *Journal of Food Engineering*, Vol.52; pp. 135-141.
- Goula, A.M. and Adamopoulos, K.G. 2009. Modeling the rehydration process of dried tomato. *Drying technology*, Vol.27; pp. 1078-1088.
- Gowen, A., Abu-Ghannam, N., Frias, J. and Oliveira, J. 2006. Optimisation of dehydration and rehydration properties of cooked chickpeas (*Cicer arietinum* L.) undergoing microwave-hot air combination drying. *Trends Food Sci Tech*, Vol. 17; pp.177–183.
- Günerhan, H. 2005. *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi*, “Endüstriyel kurutma sistemleri), s. 13.
- Hall, C.W., Kunze, O.R., Calderwood, D.L., Hall, C.W., Maddex, R.L., Shove, G.C. and Davis, D.C. 1980. *Drying and storage of agricultural crops*. Washington State Univ., Pullman, WA 99164, pp. 381, USA.
- Hatamipour, M.S., Kazemi, H.H., Nooralivand, A. and Nozarpoor, A. 2007. Drying characteristics of six varieties of sweet potatoes in different dryers. *Food bioprod. Process*, Vol. 85; pp. 171-177.
- Heredia, A., Barrera, C. and Andres, A. 2007. Drying of cherry tomato by a combination of different dehydration techniques. Comparison of kinetics and other related properties, *Journal of Food Engineering*, Vol. 80; pp. 111-118.
- Hunterlab, 2008. Hunter L, a, b Versus CIE 1976 L*, a*, b*. Applications Note. Vol.13(2); 4 pp.
- Karaaslan, S.N. 2008. *Sebze ve Endüstri Bitkilerinin Mikrodalgayla Kurutulması Üzerine Çalışmalar*. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, 195 s. Adana.

- Karaaslan, S.N. and Tunçer, İ.K. 2008. Development of a drying model for combined microwave-fan-assisted convection drying of spinach. *Biosystems Engineering* Vol. 100; pp. 44-52.
- Karathanos, V.T. 1999. Determination of Water Content of Dried Fruits by Drying Kinetics. *Journal Food Engineering*, Vol.39; pp. 337-344.
- Kassem, A.S. 1998. Comparative Studies on Thin Layer Drying Models for Wheat. 13th Int. Congress on Agriculture Mechanization and Energy, Morocco.
- Loague, K. and Green, R.E. 1991. Statistical and Graphical Methods for Evaluating Solute Transport Models. Overview and Application. *J. Contam, Hydrol.*, Vol:7; pp. 51-73.
- Madamba, P.S., Driscoll, R.H. and Buckle, K.A. 1996. Thin Layer Drying Characteristics of Garlic Slices. *Journal Food Engineering*, Vol.29; pp. 75-97.
- Maskan, M. 2000. Microwave/air and microwave finish drying of banana *Journal of Food Engineering*, Vol. 44; pp.71-78.
- McKetta, J. 1983. *Encyclopaedia of Chemical Processing and Design*, Vol. 17.
- Mengeş, H.O. ve Ertekin, C. 2007. Vişne kurutmada kurutmanın çeşitli modellerle açıklanması. *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, No:21, s. 4-10.
- Midilli, A., Küçük, H. and Yapar, Z. 2002. A New Model for Single-Layer Drying. *Drying Technology*, Vol.20(7); pp.1503-1513.
- Muratore, G., Rizzo, V., Licciardello, F. and Maccarone, E. 2008. Partial dehydration of cherry tomato at different temperature and nutritional quality of the products. *Food Chemistry*, Vol.111; pp. 887-891.
- Ohlsson, T. 2002. Minimal processing of foods with thermal methods. In *minimal processing Technologies in the food industry*, Ch. 2, CRC Press, Cambridge, England.
- Okos, M.R., Campanella, O., Narsimhan, G., SingTaylor & Francis Group, LLC., Floridah, R.K. and Weitnauer, A.C. (2007). Food Dehydration, in *Handbook of Food Engineering*, Eds. Valentas, K.J., Rotstein, R. ve Singh, R.P., Taylor and Francis Group, LLC, pp. 601-744, London, UK.
- Ozkan, I.A., Akbudak, B. and Akbudak, N. 2007. Microwave drying characteristics of spinach. *Journal of Food Engineering*, Vol.78; pp. 577-583.
- Pangavhane, D.R., Sawhney, P.N. and Sarsavadia, P.N. 1999. Effect of Various Dipping Pretreatments on Drying Kinetics of Thompson Seedless Grapes. *Journal Food Engineering*, Vol. 39; pp. 211-216.

- Rizvi, S.S.H. 1986. Thermodynamic properties of food in dehydration. In evngineering properties of foods. Marcel Dekker Inc., pp. 133-214, New York, NY.
- Robe, K. 1990. CIM-The big Picture, 1980's: Computer Integrated Manufacturing, 1990's: Computer Integrated Management. Food Processing, Putman Publication, pp. 37-48.
- Robert, N., Andersen, D.F., Deal, R.M., Garet, M.S. and Shaffer W.A. 1983. Introduction to computer simulation: the system Dynamics approach. Addison-Wesley Publishing Company.
- Roberts, J.S., 1999. Understanding The Heat and Mass Transfer of Hygroscopic Porous Materials, Doktora Tezi, The State University Of New Jersey, Food Science, New Brunswick, New Jersey.
- Sacilik, K., Keskin, R., Elicin, A.K. 2006. Mathematical modeling of solar tunnel drying of thin layer organic tomato. Journal of Food Engineering Vol. 73; pp 231-238.
- Saldamlı, İ. ve Saldamlı, E. 2004. Gıda Endüstrisi Makineleri. Savaş Yayınları, s. 547 Ankara.
- Sarsavadiya, P., Sawhney, R., Pangavhane, D.R. and Sing, I. 1999. Drying Behaviour of Brined Onion Slices. Journal Food Engineering, Vol. 40; pp. 219-226.
- Sarsılmaz, C. 1998. Güneş Enerjisi Destekli Kayısı Kurutma Sistemi. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, s. 49-51, Elazığ.
- Sharaf-Eldeen, Y.I., Blaisdell, J.L. and Hamdy, M.Y. 1980. A model for Ear Corn. Drying Tech. Of the ASAE, Vol. 23; pp.1261-1271.
- Soysal, Y. 2004. Microwave Drying Characteristics of Parsley. Biosystems Engineering, Vol.89 (2); pp. 167-173.
- Sumnu, G. 2001. A review on microwave baking of foods. International Journal of Food Science and Technology, Vol.36; pp. 117-127.
- Toğrul, İ.T. and Pehlivan, D. 2003. Modelling of drying kinetics of single apricot. Journal of Food Engineering, Vol.58; pp. 23-32.
- Tulasidas, T.N., Raghavan, G.S.V. and Norris, E.R. 1993. American Society of Agricultural Engineer Vol.36(6); pp.1861-1865.
- Tunç, M. ve Mengeş, H.O. 2010. Patlıcan Kurutmada Kurumanın Çeşitli Modellerle Açıklanması. Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, No: 24, s. 1-9.

- Tunçer, İ.K. 1990. Characterization And Drying of Vegetables By Hot Air And Microwave Energy. In Proceedings of The 4th International Congress On Mechanization And Energy In Agriculture, Adana, Turkey (In Turkish).1-4 October 1990, pp. 472-480.
- Üren, A. 1999. Üç boyutlu renk ölçme yöntemleri. Gıda, No:24(3), s.193-200.
- Vadivambal, R. and Jayas, D.S. 2007. Changes in quality of microwave-treated agricultural products. Biosyst Eng, Vol: 98; pp. 1-16.
- Varadharaja, N., Karunanidhi, C. and Kailappan, R. 2001. Coffee Cherry Drying: a Two-Layer Model, Vol.19; pp. 709-715.
- Verma, L.R., Bucklin, J.B., Endan, F. and Wratten, T. 1985. Effects of Drying Air Parameters on Rice Drying Models. T. Of the ASAE, Vol. 28; pp. 296-301.
- Wang, C.Y. and Sing, R.P. 1978. A Single Layer Drying Equation for Rough Rice. Am. Soc. Agr. Eng. Vol.78; 3001, St. Joseph, MI.
- Wang, J. and Xi, Y.S. 2005. Drying characteristics and drying quality of carrot using a two-stage microwave process. Journal of Food Engineering, Vol. 68; pp. 505-511.
- Wang, Z., Sun, J., Chen, F., Liao, X. and Hu, X. 2007. Mathematical modelling on thin layer microwave drying of apple pomace with and without hot air pre-drying. Journal of Food Engineering, Vol.80; pp. 536-544.
- Yağcıoğlu, A., Değirmencioğlu, A. and Çağatay, F. 1999. Drying Characteristics of Laurel Leaves Under Different Drying Condition. 7th Int. Congress on Agriculturel Mechanization and Energy, pp. 565-569, Adana.
- Yaldız, O., Ertekin, C. ve Uzun, H.İ. 2000. Çekirdeksiz Üzümün İnce Tabaka Halinde Güneş Enerji İse Kurutulmasının Matematiksel Modellemesi Üzerinde Bir Araştırma. 19. Ulusal Tarımsal Mekanizasyon Kongresi Bildiri Kitabı, s. 345-350, Erzurum.
- Yaldız, O. and Ertekin, C. 2001. Thin Layer Solar Drying of Some Vegetables. Drying Technology, Vol. 19; pp. 583-597.
- Zhang, M., Tang, J., Majumdar, A.J. and Wang, S. 2006. Trends in Microwaverelated Drying of Fruits and Vegetables. Trends in Food Science and Technology, Vol: 17, pp. 524-534.

EKLER

- EK 1 Tepsili kurutma sonrasında patlıcan, kabak ve kiraz domates örneklerinin model katsayıları ve istatistiksel parametreler
- EK 2 Mikrodalga kurutma sonrasında patlıcan, kabak ve kiraz domates örneklerinin model katsayıları ve istatistiksel parametreler

EK 1 Tepsili kurutma sonrasında patlıcan, kabak ve kiraz domates örneklerinin model katsayıları ve istatistiksel parametreler

Örnek	Model & Kalınlık	Model katsayıları ve İstatistiksel parametreler				
		Newton	k	R ²	RSME	χ^2
Kabak 60 °C	5 mm	0,009027	0,968061	0,023254503	0,000594849	
Kabak 70 °C	5 mm	0,01133	0,976717	0,016680594	0,000309158	
Kabak 80 °C	5 mm	0,01336	0,974858	0,022804555	0,000785237	
Kabak 60 °C	10 mm	0,004612	0,983531	0,030240050	0,000954220	
Kabak 70 °C	10 mm	0,005594	0,976124	0,031714119	0,001058721	
Kabak 80 °C	10 mm	0,006953	0,971784	0,036662834	0,001423232	
Patlıcan 60 °C	5 mm	0,01487	0,979271	0,025124499	0,000701378	
Patlıcan 70 °C	5 mm	0,02085	0,983875	0,019164842	0,000419761	
Patlıcan 80 °C	5 mm	0,02188	0,973078	0,022863468	0,000627286	
Patlıcan 60 °C	10 mm	0,008643	0,973746	0,030204152	0,000988315	
Patlıcan 70 °C	10 mm	0,009815	0,978925	0,013979429	0,000213190	
Patlıcan 80 °C	10 mm	0,01118	0,979709	0,022553551	0,000559529	
Domates 60 °C	-	0,003167	0,989353	0,041167758	0,001743207	
Domates 70 °C	-	0,004105	0,980588	0,028839178	0,000869503	
Domates 80 °C	-	0,004997	0,981058	0,024573647	0,000634057	
	Page	k	n	R ²	RSME	χ^2
Kabak 60 °C	5 mm	0,001081	1,436	0,998193	0,023899107	0,000698093
Kabak 70 °C	5 mm	0,001904	1,382	0,998782	0,009763201	0,000119150
Kabak 80 °C	5 mm	0,002057	1,414	0,997617	0,009678889	0,000120447
Kabak 60 °C	10 mm	0,001177	1,245	0,996666	0,026769940	0,000781778
Kabak 70 °C	10 mm	0,0009338	1,332	0,996827	0,028717788	0,000916346
Kabak 80 °C	10 mm	0,0008467	1,406	0,997314	0,024165971	0,000656993
Patlıcan 60 °C	5 mm	0,002305	1,422	0,999326	0,003570541	0,000015936
Patlıcan 70 °C	5 mm	0,003694	1,422	0,999259	0,002727770	0,000009921
Patlıcan 80 °C	5 mm	0,002367	1,551	0,998554	0,002559403	0,000009826
Patlıcan 60 °C	10 mm	0,001423	1,364	0,995919	0,026820481	0,000850127
Patlıcan 70 °C	10 mm	0,001915	1,339	0,997577	0,020892527	0,000523797
Patlıcan 80 °C	10 mm	0,00216	1,350	0,998154	0,015386837	0,000289367
Domates 60 °C	-	0,001287	1,151	0,995376	0,035801091	0,001357113
Domates 70 °C	-	0,001093	1,234	0,993666	0,030882619	0,001044568

Domates 80 °C	-	0,00106	1,283	0,997898	0,019423704	0,000416994
Geliştirilmiş Page I		k	n	R²	RSME	χ^2
Kabak 60 °C	5 mm	0,009027	1,000	0,968061	0,016783439	0,000344280
Kabak 70 °C	5 mm	0,01133	1,000	0,976717	0,005683863	0,000040380
Kabak 80 °C	5 mm	0,01336	1,000	0,974858	0,023237889	0,000694290
Kabak 60 °C	10 mm	0,004612	1,000	0,983531	0,028280458	0,000872492
Kabak 70 °C	10 mm	0,005594	1,000	0,976124	0,030350118	0,001023477
Kabak 80 °C	10 mm	0,006953	1,000	0,971784	0,034588654	0,001345922
Patlıcan 60 °C	5 mm	0,01487	1,000	0,979271	0,020760556	0,000538751
Patlıcan 70 °C	5 mm	0,02085	1,000	0,983875	0,023124639	0,000712999
Patlıcan 80 °C	5 mm	0,02188	1,000	0,973078	0,024986359	0,000936477
Patlıcan 60 °C	10 mm	0,008643	1,000	0,973746	0,030120947	0,001072230
Patlıcan 70 °C	10 mm	0,009815	1,000	0,978925	0,028657888	0,000985529
Patlıcan 80 °C	10 mm	0,01118	1,000	0,979709	0,027498337	0,000924194
Domates 60 °C	-	0,003167	1,000	0,989353	0,039367758	0,001640986
Domates 70 °C	-	0,004105	1,000	0,980588	0,020748819	0,000471515
Domates 80 °C	-	0,004997	1,000	0,981058	0,019838318	0,000434986
Geliştirilmiş Page II		k	n	R²	RSME	χ^2
Kabak 60 °C	5 mm	0,008598	1,436	0,998193	0,013647721	0,000227650
Kabak 70 °C	5 mm	0,01075	1,382	0,998782	0,010205920	0,000130200
Kabak 80 °C	5 mm	0,01259	1,414	0,997617	0,011183722	0,000160810
Kabak 60 °C	10 mm	0,004432	1,245	0,996666	0,026872002	0,000787750
Kabak 70 °C	10 mm	0,005319	1,332	0,996827	0,028919034	0,000929234
Kabak 80 °C	10 mm	0,006541	1,406	0,997314	0,024236658	0,000660843
Patlıcan 60 °C	5 mm	0,01398	1,422	0,999326	0,002720900	0,000009254
Patlıcan 70 °C	5 mm	0,01948	1,422	0,999259	0,003258064	0,000014153
Patlıcan 80 °C	5 mm	0,02026	1,551	0,998554	0,006585670	0,000065057
Patlıcan 60 °C	10 mm	0,008185	1,364	0,995919	0,026820481	0,000850127
Patlıcan 70 °C	10 mm	0,009329	1,339	0,997577	0,020892527	0,000523797
Patlıcan 80 °C	10 mm	0,01062	1,350	0,998154	0,015386837	0,000289367
Domates 60 °C	-	0,003078	1,151	0,995376	0,037067758	0,001454843
Domates 70 °C	-	0,003975	1,284	0,993666	0,031612420	0,001094521
Domates 80 °C	-	0,004799	1,283	0,997898	0,019947427	0,000439784
Henderson		a	k	R²	RSME	χ^2

ve Pabis								
Kabak 60 °C	5 mm	1,073	0,009627	0,974686	0,041266161	0,002081320		
Kabak 70 °C	5 mm	1,057	0,0119	0,980699	0,037970717	0,001802220		
Kabak 80 °C	5 mm	1,051	0,01394	0,978078	0,035871222	0,001654390		
Kabak 60 °C	10 mm	1,056	0,004855	0,986941	0,047202766	0,002430656		
Kabak 70 °C	10 mm	1,073	0,005965	0,981678	0,056802802	0,003585065		
Kabak 80 °C	10 mm	1,081	0,007448	0,978221	0,061930116	0,004314757		
Patlıcan 60 °C	5 mm	1,050	0,01549	0,982033	0,040176941	0,002017733		
Patlıcan 70 °C	5 mm	1,031	0,02135	0,984996	0,037867816	0,001911962		
Patlıcan 80 °C	5 mm	1,034	0,02246	0,974682	0,037723706	0,002134617		
Patlıcan 60 °C	10 mm	1,063	0,009131	0,978304	0,051948400	0,003189297		
Patlıcan 70 °C	10 mm	1,056	0,0103	0,982569	0,039454338	0,001867974		
Patlıcan 80 °C	10 mm	1,053	0,01171	0,983019	0,042815113	0,002240497		
Domates 60 °C	-	1,034	0,003271	0,990608	0,050717758	0,002723602		
Domates 70 °C	-	1,049	0,004301	0,983558	0,044936491	0,002211601		
Domates 80 °C	-	1,067	0,005312	0,986058	0,042794841	0,002024177		
Logaritmik		a	k	c	R ²	RSME	χ ²	
Kabak 60 °C	5 mm	1,259	0,006247	-0,2258	0,994886	0,003539390	0,000017230	
Kabak 70 °C	5 mm	1,169	0,008775	-0,1404	0,994331	0,002949883	0,000012430	
Kabak 80 °C	5 mm	1,157	0,01048	-0,1295	0,991591	0,004805911	0,000034650	
Kabak 60 °C	10 mm	1,130	0,003716	-0,1113	0,997519	0,005625236	0,000036160	
Kabak 70 °C	10 mm	1,165	0,004403	-0,1332	0,995917	0,000698424	0,000000570	
Kabak 80 °C	10 mm	1,152	0,005804	-0,1039	0,991305	0,001020253	0,000001250	
Patlıcan 60 °C	5 mm	1,101	0,01317	-0,06475	0,989287	0,002540244	0,000009218	
Patlıcan 70 °C	5 mm	1,073	0,01876	-0,05012	0,990094	0,000563438	0,000000508	
Patlıcan 80 °C	5 mm	1,152	0,01686	-0,1318	0,988352	0,006775358	0,000091811	
Patlıcan 60 °C	10 mm	1,181	0,006524	-0,1539	0,994848	0,002828240	0,000010400	
Patlıcan 70 °C	10 mm	1,141	0,00796	-0,1119	0,993775	0,021334810	0,000606900	
Patlıcan 80 °C	10 mm	1,127	0,009331	-0,09625	0,992574	0,004440710	0,000027110	
Domates 60 °C	-	1,088	0,002584	-0,09098	0,998861	0,003541755	0,000013680	
Domates 70 °C	-	1,200	0,002839	-0,2015	0,999397	0,004523358	0,000023530	
Domates 80 °C	-	1,159	0,003937	-0,1321	0,997952	0,003540172	0,000014620	
İki terimli		a	k ₀	b	k ₁	R ²	RSME	χ ²
Kabak 60 °C	5 mm	0,5617	0,009627	0,51130	0,009627	0,974686	0,041507370	0,002707350
Kabak 70 °C	5 mm	0,552	0,0119	0,50500	0,0119	0,980699	0,040500540	0,002733820

Kabak 80 °C	5 mm	0,5493	0,01394	0,50200	0,01394	0,978078	0,039104555	0,002752500
Kabak 60 °C	10 mm	0,5515	0,004855	0,50480	0,004855	0,986941	0,045549361	0,002489690
Kabak 70 °C	10 mm	0,566	0,005965	0,50690	0,005965	0,981678	0,057026409	0,004065010
Kabak 80 °C	10 mm	0,5739	0,007448	0,50740	0,007448	0,978221	0,062613653	0,005040600
Patlıcan 60 °C	5 mm	0,5487	0,01549	0,50150	0,01549	0,982033	0,042200798	0,002968179
Patlıcan 70 °C	5 mm	0,5363	0,02135	0,49460	0,02135	0,984996	0,034721191	0,002411122
Patlıcan 80 °C	5 mm	0,5381	0,02246	0,49630	0,02246	0,974682	0,037887005	0,004306276
Patlıcan 60 °C	10 mm	0,5575	0,009131	0,50580	0,09131	0,978304	0,050173360	0,003636200
Patlıcan 70 °C	10 mm	0,5511	0,0103	0,50510	0,0103	0,982569	0,048663070	0,003552140
Patlıcan 80 °C	10 mm	0,5494	0,01171	0,50410	0,01171	0,983019	0,045965910	0,003320220
Domates 60 °C	-	0,5307	0,003271	0,50350	0,003271	0,990608	0,050317758	0,002848360
Domates 70 °C	-	0,5445	0,004301	0,50460	0,004301	0,983558	0,057947790	0,004064880
Domates 80 °C	-	0,5594	0,005312	0,50780	0,005312	0,986058	0,044911554	0,002491650
İkiterimli exponansiyel		a	k	R²	RSME	χ^2		
Kabak 60 °C	5 mm	1,953	0,01361	0,995645	0,022753364	0,000632760		
Kabak 70 °C	5 mm	1,000	0,01124	0,976673	0,025606212	0,000819600		
Kabak 80 °C	5 mm	1,943	0,01975	0,995448	0,019437889	0,000485780		
Kabak 60 °C	10 mm	1,770	0,006301	0,996057	0,028688706	0,000897864		
Kabak 70 °C	10 mm	1,857	0,007981	0,995130	0,033972548	0,001282371		
Kabak 80 °C	10 mm	1,921	0,0102	0,994829	0,069284027	0,005400311		
Patlıcan 60 °C	5 mm	1,000	0,01465	0,979141	0,034484841	0,001486505		
Patlıcan 70 °C	5 mm	1,998	0,03149	0,998346	0,006491791	0,000056191		
Patlıcan 80 °C	5 mm	2,134	0,03498	0,996650	0,009758698	0,000142848		
Patlıcan 60 °C	10 mm	1,881	0,01246	0,993713	0,033393678	0,001317890		
Patlıcan 70 °C	10 mm	1,868	0,01408	0,996156	0,026781500	0,000860698		
Patlıcan 80 °C	10 mm	1,884	0,01616	0,996851	0,022824911	0,000636749		
Domates 60 °C	-	1,649	0,004053	0,995580	0,043851091	0,002036031		
Domates 70 °C	-	1,000	0,004083	0,980560	0,031800082	0,001107554		
Domates 80 °C	-	1,000	0,004991	0,981057	0,024180854	0,000646263		
Wang ve Sing		a	b	R²	RSME	χ^2		
Kabak 60 °C	5 mm	-0,006518	0,00001057	0,998357	0,012789969	0,000199940		
Kabak 70 °C	5 mm	-0,008135	0,00001658	0,999186	0,006630268	0,00005495		
Kabak 80 °C	5 mm	-0,009524	0,00002257	0,998764	0,006412711	0,00005287		
Kabak 60 °C	10 mm	-0,003302	0,000002752	0,998571	0,010422719	0,000118510		

Kabak 70 °C	10 mm	-0,003982	0,000003957	0,999692	0,002053043	0,000004680	
Kabak 80 °C	10 mm	-0,004858	0,000005795	0,998304	0,006297627	0,000044620	
Patlıcan 60 °C	5 mm	-0,009964	0,00002391	0,992324	0,006814911	0,000058054	
Patlıcan 70 °C	5 mm	-0,01337	0,00004235	0,986922	0,016447253	0,000360683	
Patlıcan 80 °C	5 mm	-0,01545	0,00005877	0,997791	0,005851124	0,000051353	
Patlıcan 60 °C	10 mm	-0,00615	0,00000941	0,999757	0,001430290	0,000002420	
Patlıcan 70 °C	10 mm	-0,007014	0,00001231	0,999567	0,003220730	0,000012450	
Patlıcan 80 °C	10 mm	-0,007951	0,00001577	0,999049	0,000080210	0,000000010	
Domates 60 °C	-	-0,002241	0,000001268	0,992779	0,037684425	0,001503650	
Domates 70 °C	-	-0,002984	0,000002259	0,998467	0,012303985	0,000165810	
Domates 80 °C	-	-0,003612	0,000003304	0,999430	0,000761450	0,000000640	
	Difüzyon yaklaşım	a	k	b	R²	RSME	χ²
Kabak 60 °C	5 mm	0,83000	0,00903	1,000	0,968061	0,014009535	0,000269870
Kabak 70 °C	5 mm	1,09400	0,01133	1,000	0,976717	0,021020909	0,000631260
Kabak 80 °C	5 mm	-0,36970	0,01336	1,000	0,974858	0,024171222	0,000876370
Kabak 60 °C	10 mm	105,20000	0,00231	0,994	0,998044	0,010862143	0,000134840
Kabak 70 °C	10 mm	118,10000	0,00260	0,993	0,996142	0,017286739	0,000351570
Kabak 80 °C	10 mm	0,48640	0,00695	1,000	0,971784	0,034588654	0,001435650
Patlıcan 60 °C	5 mm	-0,60600	0,00821	1,006	0,990465	0,019054439	0,000518674
Patlıcan 70 °C	5 mm	1,00000	0,02104	1,000	0,983834	0,018280958	0,000534709
Patlıcan 80 °C	5 mm	0,44870	0,02188	1,000	0,973078	0,022863468	0,001045476
Patlıcan 60 °C	10 mm	0,89240	0,00864	1,000	0,973746	0,030120950	0,001179450
Patlıcan 70 °C	10 mm	-85,81000	0,00480	1,008	0,994366	0,007903680	0,000083290
Patlıcan 80 °C	10 mm	37,13000	0,01118	1,000	0,979709	0,027498340	0,001039720
Domates 60 °C	-	0,52950	0,00317	1,000	0,989353	0,038901091	0,001650870
Domates 70 °C	-	1,02900	0,00411	1,000	0,980588	0,023480357	0,000634030
Domates 80 °C	-	98,70000	0,00236	0,992	0,998010	0,014451961	0,000243670
	Verma ve ark.	a	k	g	R²	RSME	χ²
Kabak 60 °C	5 mm	0,83000	0,00903	0,009028	0,968061	0,015064825	0,000312050
Kabak 70 °C	5 mm	1,09400	0,01133	0,01133	0,976717	0,020799550	0,000618030
Kabak 80 °C	5 mm	-0,36970	0,01336	0,01336	0,974858	0,024171222	0,000876370
Kabak 60 °C	10 mm	105,20000	0,00231	0,002298	0,998044	0,010823359	0,000133880
Kabak 70 °C	10 mm	118,10000	0,00260	0,00258	0,996142	0,016302869	0,000312690
Kabak 80 °C	10 mm	0,48640	0,00695	0,006953	0,971784	0,036544983	0,001602640

Patlıcan 60 °C	5 mm	-0,60600	0,00821	0,00819	0,990465	0,017979265	0,000461791			
Patlıcan 70 °C	5 mm	1,00000	0,02104	0,02104	0,983834	0,021250807	0,000722555			
Patlıcan 80 °C	5 mm	0,44870	0,02188	0,02188	0,973078	0,023230892	0,001079349			
Patlıcan 60 °C	10 mm	0,89240	0,00864	0,008643	0,973746	0,029427570	0,001125780			
Patlıcan 70 °C	10 mm	-85,81000	0,00480	0,00484	0,994366	0,007903680	0,000083290			
Patlıcan 80 °C	10 mm	37,13000	0,01118	0,01118	0,979709	0,027498340	0,001039720			
Domates 60 °C	-	0,52950	0,00317	0,003167	0,989353	0,037201091	0,001509730			
Domates 70 °C	-	1,02900	0,00411	0,004104	0,980588	0,039932145	0,001833760			
Domates 80 °C	-	98,70000	0,00236	0,002338	0,998010	0,014684385	0,000251570			
Geliştirilmiş Henderson ve Pabis		a	k	b	g	c	h	R²	RSME	χ^2
Kabak 60 °C	5 mm	0,3705	0,009627	0,3629	0,009626	0,3395	0,009627	0,974686	0,042050090	0,003890060
Kabak 70 °C	5 mm	0,3645	0,0119	0,3578	0,0119	0,3348	0,0119	0,980699	0,039456988	0,003892130
Kabak 80 °C	5 mm	0,3628	0,01394	3,457	0,01394	0,3328	0,01394	0,978078	0,040104555	0,004825130
Kabak 60 °C	10 mm	0,3634	0,004855	0,358	0,004855	0,3349	0,004855	0,986941	0,047631427	0,003025000
Kabak 70 °C	10 mm	0,3738	0,005965	0,3631	0,005965	0,336	0,005965	0,981678	0,053873553	0,004146230
Kabak 80 °C	10 mm	0,3789	0,007448	0,3659	0,007448	0,3364	0,007448	0,978221	0,064216428	0,006185620
Patlıcan 60 °C	5 mm	0,3615	0,01549	0,3557	0,01549	0,333	0,01549	0,982033	0,041473475	0,004300123
Patlıcan 70 °C	5 mm	0,3545	0,02135	0,3488	0,02135	0,3275	0,02135	0,984996	0,034332282	0,004714822
Patlıcan 80 °C	5 mm	0,3557	0,02246	0,3487	0,02246	0,33	0,02246	0,974682	0,043177903	0,011185988
Patlıcan 60 °C	10 mm	0,3681	0,009131	0,3601	0,009131	0,3351	0,009131	0,978304	0,050173360	0,004675110
Patlıcan 70 °C	10 mm	0,3634	0,0103	0,358	0,0103	0,3347	0,0103	0,982569	0,047537240	0,004519580
Patlıcan 80 °C	10 mm	0,3623	0,01171	0,3571	0,01171	0,3341	0,01171	0,983019	0,076132120	0,012751420
Domates 60 °C	-	0,349	0,003271	0,3521	0,003271	0,3331	0,003271	0,990608	0,050834425	0,003100970
Domates 70 °C	-	0,3591	0,004301	0,3551	0,004301	0,3349	0,004301	0,983558	0,060470814	0,004947330
Domates 80 °C	-	0,3692	0,005312	0,361	0,005312	0,3369	0,005312	0,986058	0,045129772	0,002851370
Midilli ve ark.		a	k	n	b	R²	RSME	χ^2		
Kabak 60 °C	5 mm	0,9944	0,001467	1,357	-0,0001371	0,999539	0,000344528	0,000000190		
Kabak 70 °C	5 mm	0,9945	0,002234	1,338	-0,00008615	0,999411	0,001445430	0,000003480		
Kabak 80 °C	5 mm	0,9917	0,002249	1,385	-0,00007752	0,998166	0,002809322	0,000014210		
Kabak 60 °C	10 mm	0,9828	0,001438	1,193	-0,00005847	0,998710	0,000127601	0,000000020		
Kabak 70 °C	10 mm	0,9846	0,001138	1,281	-0,00006685	0,998788	0,002415681	0,000007290		
Kabak 80 °C	10 mm	0,9815	0,0008208	1,402	-0,00003881	0,998343	0,004700193	0,000028400		
Patlıcan 60 °C	5 mm	0,9957	0,002271	1,424	-0,00001078	0,999363	0,001458266	0,000003544		

Patlıcan 70 °C	5 mm	0,9978	0,003658	1,424	-3,798E-06	0,999265	0,002491189	0,000012412
Patlıcan 80 °C	5 mm	0,9979	0,002564	1,526	-0,0000773	0,998742	0,004221683	0,000053468
Patlıcan 60 °C	10 mm	0,9884	0,001862	1,292	-0,0001204	0,998095	0,004560450	0,000030040
Patlıcan 70 °C	10 mm	0,9894	0,002074	1,313	-0,000061	0,998234	0,008480970	0,000107890
Patlıcan 80 °C	10 mm	0,9909	0,002176	1,343	-0,0000349	0,998411	0,008641090	0,000117340
Domates 60 °C	-	0,9842	0,001873	1,07	-0,00005399	0,998768	0,001150592	0,000001490
Domates 70 °C	-	0,9897	0,002299	1,068	-0,0001652	0,999326	0,015474544	0,000289870
Domates 80 °C	-	0,9914	0,001441	1,212	-0,0000708	0,999556	0,009634646	0,000114670

EK 2 Mikrodalga kurutma sonrasında patlıcan, kabak ve kiraz domates örneklerinin model katsayıları ve istatistiksel parametreler

Örnek	Model & Kalınlık	Model katsayıları ve İstatistiksel parametreler				
	Newton	k	R ²	RSME	χ ²	
Kabak 180 W	5 mm	0,00496	0,9798	0,018030522	0,000344220	
Kabak 360 W	5 mm	0,01361	0,95557	0,011753218	0,000165770	
Kabak 540 W	5 mm	0,02705	0,97272	0,016895019	0,000380590	
Kabak 180 W	10 mm	0,00202	0,94515	0,016243636	0,000282050	
Kabak 360 W	10 mm	0,00768	0,96289	0,000604073	0,000000450	
Kabak 540 W	10 mm	0,00751	0,89278	0,027507378	0,000972840	
Patlıcan 180 W	5 mm	0,00659	0,99534	0,011234980	0,000135241	
Patlıcan 450 W	5 mm	0,01985	0,99542	0,010928150	0,000139329	
Patlıcan 720 W	5 mm	0,03168	0,99958	0,004588480	0,000026318	
Patlıcan 180 W	10 mm	0,00341	0,96397	0,017807430	0,000329300	
Patlıcan 450 W	10 mm	0,01015	0,9703	0,013690160	0,000208250	
Patlıcan 720 W	10 mm	0,0165	0,98812	0,026047710	0,000763290	
Domates 140W	-	0,00228	0,96851	0,019827900	0,000416272	
Domates 210W	-	0,0053	0,99793	0,002971370	0,000009565	
Domates 280W	-	0,00666	0,99603	0,000047290	0,000000004	
	Page	k	n	R ²	RSME	χ ²
Kabak 180 W	5 mm	0,001345	1,239	0,99314	0,028472132	0,000912000
Kabak 360 W	5 mm	0,001108	1,573	0,99791	0,000363090	0,000000200
Kabak 540 W	5 mm	0,002427	1,633	0,99961	0,007145019	0,000102100
Kabak 180 W	10 mm	0,0001086	1,471	0,98911	0,044983811	0,002163100
Kabak 360 W	10 mm	0,0008202	1,449	0,99653	0,013418305	0,000220060
Kabak 540 W	10 mm	5,424E-05	2,006	0,99565	0,020159289	0,000522510
Patlıcan 180 W	5 mm	0,004269	1,084	0,99734	0,011467357	0,000151731
Patlıcan 450 W	5 mm	0,009308	1,183	0,99973	0,000335187	0,000000157
Patlıcan 720 W	5 mm	0,02544	1,058	0,99983	0,001905200	0,000006050
Patlıcan 180 W	10 mm	0,0002912	1,422	0,99674	0,014266340	0,000219810
Patlıcan 450 W	10 mm	0,001259	1,441	0,99927	0,001800000	0,000004050
Patlıcan 720 W	10 mm	0,004444	1,306	0,9991	0,011688320	0,000175650
Domates 140W	-	0,000211	1,388	0,99849	0,015113855	0,000256980
Domates 210W	-	0,004549	1,028	0,99811	0,004663210	0,000025700

Domates 280W	-	0,003273	1,137	0,99977	0,005633438	0,000084630
Geliştirilmiş Page I		k	n	R²	RSME	χ^2
Kabak 180 W	5 mm	0,004961	1,0000	0,9798	0,018148373	0,00037053
Kabak 360 W	5 mm	0,01361	1,0000	0,95557	0,006731764	0,00006797
Kabak 540 W	5 mm	0,02705	1,0000	0,97272	0,019145019	0,00073306
Kabak 180 W	10 mm	0,002015	1,0000	0,94515	0,015848505	0,00026850
Kabak 360 W	10 mm	0,007682	1,0000	0,96289	0,004825232	0,00002846
Kabak 540 W	10 mm	0,007508	1,0000	0,89278	0,026840711	0,00092626
Patlıcan 180 W	5 mm	0,006594	1,0000	0,99534	0,011828836	0,000161448
Patlıcan 450 W	5 mm	0,01985	1,0000	0,99542	0,011306119	0,000178960
Patlıcan 720 W	5 mm	0,03168	1,0000	0,99958	0,005482909	0,000050104
Patlıcan 180 W	10 mm	0,003412	1,0000	0,96397	0,02067493	0,00046165
Patlıcan 450 W	10 mm	0,01015	1,0000	0,97030	0,00973731	0,00011852
Patlıcan 720 W	10 mm	0,0165	1,0000	0,98812	0,01204771	0,00018662
Domates 140W	-	0,002284	1,0000	0,96851	0,018107273	0,00036886
Domates 210W	-	0,0053	1,0000	0,99793	0,002111589	0,00000527
Domates 280W	-	0,006663	1,0000	0,99603	0,002133259	0,00001214
Geliştirilmiş Page II		k	n	R²	RSME	χ^2
Kabak 180 W	5 mm	0,004822	1,239	0,99314	0,02823643	0,00089696
Kabak 360 W	5 mm	0,01321	1,573	0,99791	0,013263736	0,00026389
Kabak 540 W	5 mm	0,02503	1,663	0,99961	0,007145019	0,00010210
Kabak 180 W	10 mm	0,002023	1,471	0,98911	0,044786245	0,00214414
Kabak 360 W	10 mm	0,007424	1,449	0,99653	0,013327852	0,00021711
Kabak 540 W	10 mm	0,007467	2,006	0,99565	0,012592622	0,00020388
Patlıcan 180 W	5 mm	0,006512	1,084	0,99734	0,011467357	0,000151731
Patlıcan 450 W	5 mm	0,01917	1,183	0,99973	0,000713152	0,000000712
Patlıcan 720 W	5 mm	0,03111	1,058	0,99983	0,0019052	0,000006050
Patlıcan 180 W	10 mm	0,003267	1,422	0,99674	0,02952764	0,00094163
Patlıcan 450 W	10 mm	0,00971	1,441	0,99927	0,00278030	0,00000966
Patlıcan 720 W	10 mm	0,0158	1,306	0,9991	0,01172165	0,00017665
Domates 140W	-	0,002241	1,388	0,99849	0,016787341	0,00031704
Domates 210W	-	0,00527	1,028	0,99811	0,004690945	0,00002601
Domates 280W	-	0,006536	1,137	0,99977	0,006340544	0,00010721
Henderson		a	k	R²	RSME	χ^2

ve Pabis								
Kabak 180 W	5 mm	1,041	0,00516	0,98205	0,034953944	0,00137450		
Kabak 360 W	5 mm	1,056	0,01434	0,96107	0,036982962	0,00205161		
Kabak 540 W	5 mm	1,022	0,02749	0,97357	0,035995019	0,00259128		
Kabak 180 W	10 mm	1,087	0,00221	0,95709	0,043277561	0,00200212		
Kabak 360 W	10 mm	1,072	0,00822	0,97027	0,032292916	0,00127457		
Kabak 540 W	10 mm	1,13	0,00849	0,91688	0,042225956	0,00229247		
Patlıcan 180 W	5 mm	1,019	0,00672	0,99586	0,018309628	0,000386818		
Patlıcan 450 W	5 mm	1,017	0,02013	0,99581	0,015312542	0,000328264		
Patlıcan 720 W	5 mm	1,002	0,03172	0,99958	0,005393466	0,000048482		
Patlıcan 180 W	10 mm	1,092	0,00371	0,9734	0,05941514	0,00381257		
Patlıcan 450 W	10 mm	1,07	0,0108	0,97648	0,04373180	0,00239059		
Patlıcan 720 W	10 mm	1,036	0,017	0,98968	0,02584771	0,00085899		
Domates 140W	-	1,104	0,00252	0,98229	0,026416884	0,00078508		
Domates 210W	-	1,003	0,00532	0,99795	0,002056119	0,00000500		
Domates 280W	-	1,022	0,0068	0,99674	0,005503494	0,00008077		
Logaritmik		a	k	c	R ²	RSME	χ ²	
Kabak 180 W	5 mm	1,228	0,00328	-0,2358	0,99841	0,001800217	0,000003890	
Kabak 360 W	5 mm	1,712	0,00596	-0,6943	0,99534	0,003365757	0,000022660	
Kabak 540 W	5 mm	1,344	0,01563	-0,3368	0,99542	0,006172519	0,000152400	
Kabak 180 W	10 mm	2,714	0,000503	-1,716	0,99917	0,007579063	0,000063600	
Kabak 360 W	10 mm	1,399	0,00449	-0,3755	0,9953	0,007747791	0,000082540	
Kabak 540 W	10 mm	5,83	0,00087	-4,779	0,99051	0,006207378	0,000057800	
Patlıcan 180 W	5 mm	1,067	0,00571	-0,06757	0,99873	0,001578340	0,000003114	
Patlıcan 450 W	5 mm	1,053	0,01792	-0,04476	0,99834	0,003232425	0,000018285	
Patlıcan 720 W	5 mm	1,017	0,03021	-0,01733	0,99999	0,000998737	0,000002494	
Patlıcan 180 W	10 mm	1,268	0,002369	-0,2315	0,99372	0,005151100	0,000029850	
Patlıcan 450 W	10 mm	1,214	0,007601	-0,1754	0,99131	0,058726000	0,004926780	
Patlıcan 720 W	10 mm	1,067	0,01534	-0,03912	0,99239	0,006048580	0,000054880	
Domates 140W	-	1,225	0,00187	-0,1559	0,99083	0,002998758	0,000010790	
Domates 210W	-	1,003	0,00533	0,000926	0,99795	0,001834239	0,000004370	
Domates 280W	-	1,058	0,0061	-0,04256	0,99825	0,005173818	0,000107070	
İki terimli		a	k ₀	b	k ₁	R ²	RSME	χ ²
Kabak 180 W	5 mm	0,5362	0,00516	0,05046	0,00516	0,98205	0,034011135	0,00148726
Kabak 360 W	5 mm	0,5453	0,01434	0,05112	0,01434	0,96107	0,035227494	0,00372293
Kabak 540 W	5 mm	0,5245	0,02749	0,04973	0,02749	0,97357	0,048645019	0,00946535

Kabak 180 W	10 mm	0,5567	0,002212	0,5175	0,00221	0,95709	0,043439206	0,00216651
Kabak 360 W	10 mm	0,5613	0,008221	0,5112	0,00822	0,97027	0,031750195	0,00158412
Kabak 540 W	10 mm	0,5981	0,008487	0,5317	0,00849	0,91688	0,038992622	0,00273676
Patlıcan 180 W	5 mm	0,5125	0,00672	0,5068	0,00672	0,99586	0,01562436	0,000332892
Patlıcan 450 W	5 mm	0,519	0,02013	0,4997	0,02013	0,99581	0,019281169	0,000867448
Patlıcan 720 W	5 mm	0,5057	0,03172	0,496	0,03172	0,99958	0,005393466	0,000145447
Patlıcan 180 W	10 mm	0,5819	0,03712	0,5103	0,03712	0,9734	0,06064682	0,00431769
Patlıcan 450 W	10 mm	0,5608	0,01079	0,5089	0,0108	0,97648	0,03914650	0,00255408
Patlıcan 720 W	10 mm	0,5362	0,017	0,4999	0,017	0,98968	0,02514771	0,00113833
Domates 140W	-	0,578	0,00252	0,526	0,00252	0,98229	0,026416884	0,00089724
Domates 210W	-	0,504	0,00532	0,4993	0,00532	0,99795	0,002222529	0,00000714
Domates 280W	-	0,5147	0,0068	0,5069	0,0068	0,99674	0,00766017	0,00046943
İki terimli exponansiyel		a	k	R²	RSME	χ^2		
Kabak 180 W	5 mm	1,756	0,00679	0,992835	0,028024298	0,00088353		
Kabak 360 W	5 mm	2,052	0,02193	0,993757	0,021020454	0,00066279		
Kabak 540 W	5 mm	1,000	0,02667	0,972616	0,028045019	0,00157305		
Kabak 180 W	10 mm	1,933	0,003138	0,98424	0,044031903	0,00207252		
Kabak 360 W	10 mm	1,942	0,01166	0,9932	0,018031429	0,00039738		
Kabak 540 W	10 mm	2,221	0,01333	0,97991	0,031759289	0,00129684		
Patlıcan 180 W	5 mm	1,541	0,00801	0,997446	0,00932431	0,000100318		
Patlıcan 450 W	5 mm	1,726	0,02646	0,999724	0,00008057	0,000000009		
Patlıcan 720 W	5 mm	1,000	0,03168	0,99958	0,00552763	0,000050924		
Patlıcan 180 W	10 mm	1,000	0,003385	0,96391	0,03006650	0,00097631		
Patlıcan 450 W	10 mm	1,000	0,01007	0,97024	0,01659946	0,00034443		
Patlıcan 720 W	10 mm	1,911	0,02432	0,99967	0,00752795	0,00007286		
Domates 140W	-	1,000	0,00227	0,968474	0,012120436	0,00016527		
Domates 210W	-	1,000	0,0053	0,997932	0,001917444	0,00000435		
Domates 280W	-	1,655	0,00862	0,999744	0,006552676	0,00011450		
Wang ve Sing		a	b	R²	RSME	χ^2		
Kabak 180 W	5 mm	-0,003651	0,0000034	0,997999	0,010794463	0,00013109		
Kabak 360 W	5 mm	-0,0094	0,0000191	0,996078	0,008793919	0,00011600		
Kabak 540 W	5 mm	-0,01907	0,0000886	0,997798	0,003798681	0,00002886		
Kabak 180 W	10 mm	-0,00136	0,0000003	0,99922	0,000761659	0,00000062		
Kabak 360 W	10 mm	-0,00555	0,0000074	0,99722	0,015578734	0,00029663		

Kabak 540 W	10 mm	-0,004284	-0,0000005	0,98692	0,031140711	0,00124681	
Patlıcan 180 W	5 mm	-0,004934	0,0000064	0,98949	0,02450640	0,000692958	
Patlıcan 450 W	5 mm	-0,01362	0,0000462	0,989615	0,01344222	0,000252971	
Patlıcan 720 W	5 mm	-0,02085	0,0001072	0,984067	0,01590755	0,000421750	
Patlıcan 180 W	10 mm	-0,002485	0,0000015	0,9974	0,01766279	0,00033693	
Patlıcan 450 W	10 mm	-0,007455	0,0000141	0,99567	0,01584551	0,00031385	
Patlıcan 720 W	10 mm	-0,01103	0,0000297	0,98438	0,01441865	0,00026730	
Domates 140W	-	-0,001755	0,0000008	0,991164	0,03545496	0,00141419	
Domates 210W	-	-0,003649	0,0000033	0,978623	0,026674716	0,00084091	
Domates 280W	-	-0,005062	0,0000068	0,997516	0,0027343	0,00001994	
Difüzyon yaklaşım		a	k	b	R²	RSME	χ^2
Kabak 180 W	5 mm	0,1545	0,004961	1,000	0,9798	0,019279744	0,000446050
Kabak 360 W	5 mm	9,026	0,01361	1,000	0,95557	0,006731764	0,000090630
Kabak 540 W	5 mm	1,935	0,02705	0,999	0,97272	0,021895019	0,001917570
Kabak 180 W	10 mm	-66,01	0,000269	1,061	0,99918	0,002714867	0,000008160
Kabak 360 W	10 mm	0,2881	0,007682	0,999	0,96289	0,001629212	0,000003650
Kabak 540 W	10 mm	0,03997	0,007508	1,000	0,89278	0,025007378	0,000938050
Patlıcan 180 W	5 mm	-0,05041	0,006594	1,000	0,99534	0,011544817	0,000166604
Patlıcan 450 W	5 mm	0,9298	0,01985	1,000	0,99542	0,011306119	0,000223700
Patlıcan 720 W	5 mm	0,4175	0,03168	1,000	0,99958	0,008747568	0,000191300
Patlıcan 180 W	10 mm	-0,2207	0,003412	1,000	0,96397	0,017999880	0,000364490
Patlıcan 450 W	10 mm	-0,3241	0,01015	1,000	0,9703	0,013026080	0,000242400
Patlıcan 720 W	10 mm	1,000	0,01647	1,000	0,98812	0,016814380	0,000424090
Domates 140W	-	79,55	0,0009474	0,987	0,98639	0,036397769	0,001589760
Domates 210W	-	0,6447	0,0053	1,000	0,99793	0,002111589	0,000005800
Domates 280W	-	0,317	0,006664	0,999	0,99603	0,001426152	0,000008140
Verma ve ark.		a	k	g	R²	RSME	χ^2
Kabak 180 W	5 mm	0,1545	0,004961	0,004961	0,9798	0,018384075	0,000405570
Kabak 360 W	5 mm	9,026	0,01361	0,01361	0,95557	0,006731764	0,000090630
Kabak 540 W	5 mm	1,935	0,02705	0,02704	0,97272	0,019445019	0,001512430
Kabak 180 W	10 mm	-66,01	0,000269	0,000286	0,99918	0,002489197	0,000006860
Kabak 360 W	10 mm	0,2881	0,007682	0,007681	0,96289	0,001267398	0,000002210
Kabak 540 W	10 mm	0,03997	0,007508	0,007508	0,89278	0,026807378	0,001077950
Patlıcan 180 W	5 mm	-0,05041	0,006594	0,006594	0,99534	0,011286618	0,000159235

Patlıcan 450 W	5 mm	0,9298	0,01985	0,01985	0,99542	0,011306119	0,000223700			
Patlıcan 720 W	5 mm	0,4175	0,03168	0,03168	0,99958	0,005482909	0,000075156			
Patlıcan 180 W	10 mm	-0,2207	0,003412	0,003412	0,96397	0,017672710	0,000351370			
Patlıcan 450 W	10 mm	-0,3241	0,01015	0,01015	0,9703	0,009800560	0,000137220			
Patlıcan 720 W	10 mm	1,000	0,01647	0,01647	0,98812	0,013147710	0,000259290			
Domates 140W	-	79,55	0,0009474	0,000936	0,98639	0,038495519	0,001778290			
Domates 210W	-	0,6447	0,0053	0,005301	0,99793	0,002250264	0,000006580			
Domates 280W	-	0,317	0,006664	0,006663	0,99603	0,003618183	0,000052370			
Geliştirilmiş Henderson ve Pabis		a	k	b	g	c	h	R²	RSME	χ^2
Kabak 180 W	5 mm	0,3534	0,005162	0,3526	0,00516	0,3347	0,00516	0,98205	0,042050090	0,003890060
Kabak 360 W	5 mm	0,3598	0,01434	0,3567	0,01434	0,34	0,01434	0,96107	0,039456988	0,003892130
Kabak 540 W	5 mm	0,347	0,02749	0,3443	0,02749	0,3304	0,02749	0,97357	0,040104555	0,004825130
Kabak 180 W	10 mm	0,3784	0,002212	0,3644	0,00221	0,3443	0,00221	0,95709	0,047631427	0,003025000
Kabak 360 W	10 mm	0,3717	0,008221	0,3615	0,00822	0,3392	0,00822	0,97022	0,053873553	0,004146230
Kabak 540 W	10 mm	0,3942	0,008487	0,379	0,00849	0,3566	0,00849	0,91688	0,064216428	0,006185620
Patlıcan 180 W	5 mm	0,3367	0,006723	0,3471	0,00672	0,3355	0,00672	0,99586	0,041473475	0,004300123
Patlıcan 450 W	5 mm	0,3434	0,02013	0,3438	0,02013	0,3295	0,02013	0,99581	0,034332282	0,004714822
Patlıcan 720 W	5 mm	0,335	0,03172	0,3378	0,03172	0,3288	0,03172	0,99958	0,043177903	0,011185988
Patlıcan 180 W	10 mm	0,3859	0,003712	0,3675	0,00371	0,3389	0,00371	0,9734	0,050173360	0,004675110
Patlıcan 450 W	10 mm	0,3707	0,0108	0,3613	0,0108	0,3378	0,0108	0,97648	0,047537240	0,004519580
Patlıcan 720 W	10 mm	0,3543	0,017	0,3507	0,017	0,3312	0,017	0,98968	0,076132120	0,012751420
Domates 140W	-	0,3825	0,002524	0,3724	0,00252	0,3492	0,00252	0,98229	0,050834425	0,003100970
Domates 210W	-	0,3317	0,005317	0,341	0,00532	0,3306	0,00532	0,99795	0,060470814	0,004947330
Domates 280W	-	0,3394	0,0068	0,3466	0,0068	0,3356	0,0068	0,99674	0,045129772	0,002851370
Midilli ve ark.		a	k	n	b	R²	RSME	χ^2		
Kabak 180 W	5 mm	0,9811	0,002434	1,092	-0,0002132	0,99441	0,002439053	0,00000765		
Kabak 360 W	5 mm	0,9977	0,001775	1,432	-0,0004774	0,99959	0,004486398	0,00006038		
Kabak 540 W	5 mm	1,000	0,003236	1,542	-0,0002839	1	0,010054981	0,00040441		
Kabak 180 W	10 mm	0,9851	0,0003611	1,184	-0,000332	0,9994	0,002773239	0,00000883		
Kabak 360 W	10 mm	0,9884	0,001159	1,354	-0,000205	0,99854	0,004221224	0,00002800		
Kabak 540 W	10 mm	1,002	0,0001269	1,787	-0,000474	0,99936	0,005170778	0,00004813		
Patlıcan 180 W	5 mm	1,004	0,006721	0,9777	-0,0001437	0,9989	0,00071963	0,000000706		
Patlıcan 450 W	5 mm	1,001	0,009773	1,169	-0,00002545	0,99975	0,002066075	0,000009960		

Patlıcan 720 W	5 mm	1,000	0,03076	1	-0,0001318	0,99999	0,00193869	0,000018793
Patlıcan 180 W	10 mm	0,9654	0,0002337	1,444	-0,000037	0,99878	0,00338139	0,00001342
Patlıcan 450 W	10 mm	0,9947	0,00124	1,441	-0,000016	0,99932	0,00139390	0,00000324
Patlıcan 720 W	10 mm	1,003	0,003957	1,339	0,000056	0,99945	0,00108105	0,00000210
Domates 140W	-	1,006	0,0001456	1,461	0,00003771	0,99953	0,005072938	0,00003309
Domates 210W	-	0,9929	0,003561	1,077	0,00002421	0,99851	0,001188877	0,00000204
Domates 280W	-	1,000	0,00284	1,17	0,00003514	0,99991	0,009381104	0,00070404

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Naciye KUTLU

Doğum Yeri : Afyonkarahisar

Doğum Tarihi : 23.09.1987

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Afyon Kocatepe Anadolu Lisesi (2001-2005)

Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği
Bölümü (2005-2009)

Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği
Anabilim Dalı (Eylül 2011- Eylül 2013)

Çalıştığı Kurum ve Yılı:

- Biskot Bisküvi Sanayi ve Tic. A.Ş. Ar-Ge Mühendisi Aralık 2009-Ağustos 2011.
- Bayburt Üniversitesi Gıda Bilimleri Anabilim Dalı Araştırma Görevlisi Ağustos 2011-Aralık 2011.
- Ankara Üniversitesi Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Araştırma Görevlisi Aralık 2011-halen.