

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BROKOLİNİN MİKRODALGA KURUTMA KARAKTERİSTİKLERİNİN
BELİRLENMESİ VE MODELLENMESİ**

Merve Silanur YILMAZ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ANKARA

2015

Her hakkı saklıdır

ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

25.12.2015

Merve Sılanur YILMAZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BROKOLİNİN MİKRODALGA KURUTMA KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE MODELLENMESİ

MERVE SILANUR YILMAZ

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Özge ŞAKIYAN DEMİRKOL

Eş Danışman: Yrd. Doç. Dr. Işıl BARUTÇU MAZI

Bu çalışmanın amacı, brokolinin (*Brassica oleracea* L var *italica* Plenck) mikrodalga ile kurutulmasıdır. Kontrol grubu olarak tepsili kurutucu kullanılarak kurutulan örnekler kullanılmıştır. Mikrodalga ile kurutma deneyleri sırasında farklı mikrodalga güçleri (90,180 ve 270 W) kullanılmış olup bu değişkenlerin ürünün bazı özellikleri (kuruma süresi, renk, rehidrasyon kapasitesi ve fenolik madde miktarı) üzerine etkileri araştırılmıştır. Brokolinin nem içeriğinin yüksek olması nedeniyle sadece mikrodalga kullanılarak kurutulduğunda pişme meydana geldiği, bu nedenle tepsili kurutucu kullanılarak nem içeriğinin azaltılıp daha sonra mikrodalgada kurutma yapılmasının uygun olduğu görülmüştür. Kurutma sonucunda elde edilmiş olan ayrılabilir nem oranı (ANO) verilerinin 12 farklı modele uyumu incelenmiş ve modellerdeki katsayılar doğrusal olmayan regrasyon analizi ile hesaplanmıştır. Tepsili kurutma ve mikrodalga kurutma için efektif difüzyon katsayısı hesaplanmıştır. Mikrodalga gücü arttıkça efektif difüzyon katsayısının da arttığı görülmüştür. Çalışma sonucunda tüm koşullardaki kurutma süreleri karşılaştırıldığında en kısa süreye 270 W mikrodalga gücü kullanılarak yapılan kurutma ile ulaşıldığı görülmüştür. Farklı mikrodalga güçlerinin ürünün rehidrasyon kapasitesi üzerine etkisi olmadığı görülürken, fenolik madde içeriği bakımından en zengin sonuca 270 W gücü kullanılarak kurutulan ürün ile ulaşılmıştır. Çalışma sonucunda brokoli kurutulması için mikrodalga teknolojisinin kullanımının kısa işlem süresi ve aynı zamanda yüksek ürün kalitesi avantajlarını sağladığı söylenebilir.

Aralık 2015, 75 sayfa

Anahtar Kelimeler: Brokoli, mikrodalga kurutma, modelleme

ABSTRACT

Master Thesis

DETERMINATION AND MODELLING OF MICROWAVE DRYING CHARACTERISTICS OF BROCCOLI

MERVE SILANUR YILMAZ

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

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Özge ŞAKIYAN DEMİRKOL
Co-Supervisor: Assist. Prof. Dr. Işıl BARUTÇU MAZI

The aim of this study was to dry broccoli (*Brassica oleracea* L var *italica* Plenck) by microwave drying method. The samples dried in tray dryer are used as control. The effect of different microwave powers (90, 180 and 270 W) on some characteristics (drying time, color, rehydration capacity and the amount of phenolic substances) of broccoli were investigated. It was recognized that the high moisture content of broccoli caused samples to be cooked if they were directly dried by microwaves, so a pre-treatment was applied to decrease the moisture content of broccoli in tray drier. Twelve 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. The effective diffusion coefficients were calculated for tray drying and microwave drying. It was found that those for microwave application increased with increasing microwave power. When different drying conditions were compared, it was observed that the shortest drying time was obtained during microwave drying at 270 W. In case of rehydration capacity, no significant difference was observed between microwave powers and also it can be reported that broccoli samples dried at 270 W had the highest phenolic content. As a result of the study, it can be said that application of microwave technology for broccoli drying provides the advantages of shorter process time and higher product quality.

December 2015, 75 pages

Key Words: Broccoli, microwave drying, modelling

TEŞEKKÜR

Lisans ve lisansüstü eğitimim boyunca bana her konuda destek olan, araştırmam süresince bana yol gösteren, bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan değerli danışmanım Yrd. Doç. Dr. Özge ŞAKIYAN DEMİRKOL'a (Ankara Üniversitesi Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı),

Tez çalışmam sürecinde tecrübelerini benimle paylaşan, bana yol gösteren ve bana her konuda destek olan değerli eş danışmanım Yrd. Doç. Dr. Işıl BARUTÇU MAZI'ya (Ordu Üniversitesi Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı),

Tez çalışmam sürecinde bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan ve bana her konuda destek olan değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Bekir Gökçen MAZI'ya (Ordu Üniversitesi Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı),

Yüksek lisans eğitimim sürecinde bana her zaman destek olan bütün arkadaşlarıma ve bütün hayatım boyunca maddi ve manevi olarak her zaman yanımda olan babam Nazif YILMAZ'a, annem Nilüfer YILMAZ'a ve kardeşlerim Feyza ve Umut YILMAZ'a çok teşekkür ederim.

Merve Silanur YILMAZ

Ankara, Aralık 2015

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
SİMGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1.GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	4
2.1 Brokoli (<i>Brassica oleracea</i> L var <i>italica</i> Plenck)	4
2.2 Kurutma.....	5
2.3 Gıda Kurutma Yöntemleri	5
2.3.1 Güneşte kurutma.....	5
2.3.2 Kabin kurutucular	6
2.3.3 Tünel kurutucular.....	7
2.3.4 Konveyör (Bant) kurutucular	8
2.3.5 Valsli (Tamburlu) kurutucular.....	8
2.3.6 Sprey kurutucular	9
2.3.7 Akışkan yataklı kurutucular	9
2.3.8 Dondurarak kurutma (Liyofilizasyon).....	10
2.3.9 Puf yapı kazandırarak kurutma	11
2.3.10 Mikrodalga kurutma	11
2.3.10.1 Mikrodalga destekli vakum kurutma	12
2.3.10.2 Mikrodalga destekli dondurarak kurutma.....	13
2.3.10.3 Mikrodalga destekli ozmotik kurutma	13
2.3.10.4 Mikrodalga destekli sıcak hava kurutma	13
2.4 Matematiksel Modelleme	14
2.4.1 Matematiksel modelleme neden yapılır?	14
2.4.2 Kurutma eğrilerinin modellenmesi	14
2.5 Yapılan Çalışmalar	15
3. MATERYAL VE METOT	22
3.1 Materyal.....	22
3.1.1 Analizlerde kullanılan örnekler	22

3.2 Metot.....	22
3.2.1 Kurutma işlemi.....	22
3.2.2 Uygulanan analizler	23
3.2.2.1 Ürün nem miktarı analizleri	23
3.2.2.2 Renk tayini.....	23
3.2.2.3 Toplam fenolik madde tayini	24
3.2.2.4 Rehidrasyon kapasitesi	24
3.2.3 Hesaplamalar.....	25
3.2.3.1 Kurutma eğrilerinin matematiksel modellenmesi.....	25
3.2.3.2 Difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi hesaplamaları	26
3.2.3.3 İstatistiksel analizler	28
3.2.4 Fırın gücünün hesaplanması	28
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	30
4.1 Tepsili Kurutucu ile Yapılan Kurutma.....	30
4.1.1 Nem değerleri	30
4.1.2 Matematiksel modelleme	30
4.1.3 Efektif Difüzyon Katsayısı.....	35
4.1.4 Renk analizi bulguları	35
4.1.5 Rehidrasyon analizi bulguları.....	36
4.1.6 Toplam fenolik madde analizi bulguları.....	36
4.2 Mikrodalga İle Yapılan Kurutma.....	37
4.2.1 Nem değerleri	37
4.2.2 Matematiksel modelleme	38
4.2.3. Efektif difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi	44
4.2.4 Renk analizi bulguları	46
4.2.5 Rehidrasyon analizi bulguları.....	49
4.2.6 Toplam Fenolik Madde Analiz Bulguları	50
5. SONUÇ.....	52
KAYNAKLAR	54
EKLER.....	63
EK 1 Farklı koşullarda kurutulan brokoli örnekleri ile taze brokoli örneklerine ait L* değerlerinin ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi tabloları.....	64
EK 2 Farklı koşullarda kurutulan brokoli örnekleri ile taze brokoli örneklerine ait a* değerlerinin ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi tabloları...	65
EK 3 Farklı koşullarda kurutulan brokoli örnekleri ile taze brokoli örneklerine ait b* değerlerinin ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi tabloları...	66

EK 4 Farklı koşullarda kurutulan brokoli örnekleri ile taze brokoli örneklerine ait rehidrasyon değerlerinin ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi tabloları	67
EK 5 Farklı koşullarda kurutulan brokoli örnekleri ile taze brokoli örneklerine ait fenolik madde miktarının ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi tabloları	68
EK 6 Farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan brokoli örnekleri ile taze brokoli örneklerine ait L* değerlerinin ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi tabloları	69
EK 7 Farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan brokoli örnekleri ile taze brokoli örneklerine ait a* değerlerinin ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi tabloları	70
EK 8 Farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan brokoli örnekleri ile taze brokoli örneklerine ait b* değerlerinin ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi tabloları	71
EK 9 Farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan brokoli örnekleri ile taze brokoli örneklerine ait rehidrasyon değerlerinin ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi tabloları	72
EK 10 Farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan brokoli örnekleri ile taze brokoli örneklerine ait fenolik madde miktarlarının ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi tabloları	73
EK 11 Farklı mikrodalga güçleri kullanılarak kurutulan brokoli örneklerinin son nem içeriklerine ait değerlerin ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi tabloları	74
ÖZGEÇMİŞ	75

SİMGELER DİZİNİ

R^2	Belirtme katsayısı
Hg	Civa
Zn	Çinko
dk	Dakika
Fe	Demir
Adj- R^2	Düzeltilmiş belirtme katsayısı
P	Güç
g	Gram
GHz	Gigahertz
Ca	Kalsiyum
kg	Kilogram
kW	Kilowatt
kPa	Kilopaskal
L	Litre
Mg	Magnezyum
MHz	Megahertz
m	Metre
μ L	Mikrolitre
μ m	Mikrometre
mm	Milimetre
mmHg	Milimetreciva
mg	Miligram
mL	Mililitre
h	Saat
s	Saniye
cm	Santimetre
$^{\circ}$ C	Santigrat derece
Se	Selenyum
T	Sıcaklık
M	Ürünün belli bir t anındaki nem içeriği
M_0	Ürünün ilk nem içeriği
W	Watt
%	Yüzde

Kısaltmalar

Abs	Absorbans
ANO	Ayrılabilir nem oranı (kg su/kg k.m.)
dev	Devir
IU	International Unit
k.m.	Kuru madde
RMSE	Tahmini standart hata
y.b.	Yaş madde bazında
yy	Yüzyıl

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Güneş enerjili kurutma sistemi.....	6
Şekil 2.2 Kabin kurutucu şematik gösterimi.....	7
Şekil 2.3 Tünel Kurutucu şematik gösterimi.....	8
Şekil 2.4 Sprey kurutucu şematik gösterimi.....	9
Şekil 2.5 Akışkan yatak sürekli kurutma sistemi şeması.....	10
Şekil 2.6 Dondurarak kurutma sisteminin şematik gösterimi.....	11
Şekil 4.1 Tepsili kurutucu ile kurutulan brokolilerde nem oranının zamana bağlı değişim grafiği.....	30
Şekil 4.2 Tepsili kurutucuda kurutulmuş brokoli örneklerinin ayrılabilir nem oranlarının (ANO) zamanla bağlı değişimi.....	31
Şekil 4.3 Tepsili kurutucuyla kurutulan örneklere ait tahmini ve deneysel ANO değerlerinin zamana bağlı değişimi.....	34
Şekil 4.4 Tepsili kurutucu ile kurutulan örnekler için hesaplanan lnANO değerlerinin zamana bağlı değişim grafiği.....	35
Şekil 4.5 Mikrodalgada farklı güçler de (90, 180, 270 W) kurutulmuş brokoli örneklerinin zamanla değişen nem içerikleri (kg su/kg k.m).....	38
Şekil 4.6 Mikrodalgada farklı güçlerde (90, 180, 270 W) kurutulmuş brokoli örneklerinin ayrılabilir nem oranlarının (ANO) zamana bağlı değişimi.....	39
Şekil 4.7 90, 180, 270 W mikrodalga gücüne ait tahmini ANO değerlerinin zamana bağlı değişimi.....	44
Şekil 4.8 90, 180, 270 W mikrodalga güçleri için lnANO değerlerinin zamana bağlı değişim grafiği.....	45
Şekil 4.9 Mikrodalga fırında kurutulmuş brokoli örneklerinin ln(Deff) (m ² /s) değerlerinin ürün ağırlığının mikrodalga gücüne (g/W) oranıyla değişimi.....	45
Şekil 4.10 Farklı mikrodalga güçleri (90, 180, 270 W) kullanılarak kurutulan örneklere ait L* değerleri.....	47
Şekil 4.11 Farklı mikrodalga güçleri (90, 180, 270 W) kullanılarak kurutulan örneklere ait a* değerleri.....	48
Şekil 4.12 Farklı mikrodalga güçleri (90, 180, 270 W) kullanılarak kurutulan örneklere ait b* değerleri.....	49
Şekil 4.13 Farklı mikrodalga güçleri (90, 180, 270 W) kullanılarak kurutulan örneklere ait rehidrasyon değerleri.....	50
Şekil 4.14 Farklı mikrodalga güçleri (90, 180, 270 W) kullanılarak kurutulan örneklere ait fenolik madde içerikleri.....	51

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Deneysel kurutma verilerini tanımlayan ince tabaka modelleri.....	15
Çizelge 3.1 Deneysel kurutma verilerini tanımlayan ince tabaka modeller.....	26
Çizelge 4.1 Tepsili kurutucuda 60°C’de kurutulmuş brokoli örnekleri için kullanılan ANO modellerinin istatistiksel parametresi.....	31
Çizelge 4.2 Tepsili kurutucuda 60°C’de kurutulmuş brokoli örnekleri için kullanılan modellerin katsayıları.....	32
Çizelge 4.3 Taze ve kontrol grubuna ait örneklerin renk değerleri.....	36
Çizelge 4.4 Taze brokoli ve kontrol grubuna ait toplam fenolik madde miktarları.....	37
Çizelge 4.5 Mikrodalga fırında farklı güçlerde (90, 180, 270 W) kurutulmuş brokoli örnekleri için kullanılan ANO modellerinin istatistiksel parametreleri.....	39
Çizelge 4.6 Mikrodalga fırında farklı güçlerde (90, 180 ,270 W) kurutulmuş brokoli örnekleri için kullanılan model katsayıları.....	42

1. GİRİŞ

Brokoli (*Brassica oleracea* L var *italica* Plenck) lahanagiller familyasına (*Brassicaceae*) ait olan ve ülkemizde son yıllarda tüketimi hızla artan kışlık bir sebzedir (Vural vd. 2000). Brokolinin anavatanının Akdeniz Havzası ve İtalya olduğu sanılmakla birlikte 18. yy'da İngiltere'ye götürülmesiyle dünya mutfaklarındaki yerini almıştır (Günay 1984, Saraçoğlu 2002). Brokoli sebze olarak yeşil renkli ve olgunlaşmamış çiçek taslakları ve kalın, etli çiçek sapları ile birlikte değerlendirilmektedir (Eşiyok ve Dönmez 2000, Vural vd. 2000).

Ülkemizde brokoliye olan ilgi son yıllarda besin değeri ve insan sağlığı üzerine etkileri nedeniyle artış göstermiş ve 2004 yılında 6500 ton olan üretimimiz 2014 yılında 40.818 tona ulaşmıştır (Anonim 2015).

Brokolinin besinsel değerinin yüksek olması zengin A, B1, B2, B5, B6 ve E vitaminleri, Ca, Mg, Zn ve Fe mineralleri ve antioksidan madde içeriğine bağlıdır (Gad ve Abd El-Moez 2011, Icier vd. 2010). 100 g brokolide 40 kalori, 5 g protein, 1 g yağ, 10 mg karbonhidrat, 3880 IU A vitamini vardır. Ayrıca 0,14 mg B1, B2, 1,2 g niasin, 50 mg kalsiyum ve 1,7 mg demir içerir (Splittstoesser 1990). Brokolinin en dikkat çekici özelliklerinden biri de yüksek C vitamini içeriğidir ve 100 g brokoli 82-140 mg C vitamini içerir (Albaracin vd. 1995, Vural vd. 2000).

Brokoli bazı kanser çeşitlerinin ve kardiyovasküler hastalıkların önlenmesinde büyük potansiyele sahiptir (Abdullah vd. 2005, Mukherjee vd. 2008). Brokolinin tüketilmesi içerdiği bazı biyoaktif bileşikler sayesinde sağlığı olumlu yönde etkilemektedir. Bu bileşenler arasında, glukozinolatlar, sülforafan, polifenoller ve selenyum gibi mineraller bulunmaktadır (Moreno vd. 2006). Selenyum hücreSEL antioksidan olarak görev yapar ve bu mineralin eksikliği kardiyovasküler hastalıkların gelişmesine ve bazı kanser türlerin ortaya çıkmasına neden olur (Witte vd. 2001). Brokoli ekinlerinin Se gübreleri ile yetiştirilmesi brokolinin Se konsantrasyonunu önemli ölçüde arttırdığı tespit edilmiştir (Finley vd. 2000).

Taze brokolinin metabolik reaksiyonlarının fazla olması diğer meyve ve sebzeler arasında raf ömrünün kısa olmasına neden olmaktadır (Doymaz 2012). Bu nedenle hasat sonrası ömrünü uzatmak ve yıl boyunca kullanılabilmesini sağlamak için farklı soğutma, dondurma ve kurutma teknikleri kullanılmıştır (Mrkic vd. 2006). Kurutulmuş brokoli daha çok hazır çorba sektöründe kullanılmasıyla birlikte, ülkemizde de yarı mamül olarak ihracatı yapılmaktadır.

Kurutma gıda maddesinden nemin uzaklaştırılması işlemidir. Gıdanın içerdiği %80-90 nem oranının kurutmaya birlikte %10-20 oranına düşürülmesi hedeflenmektedir. Gıdaların kurutularak muhafazası ilk çağlardan beri kullanılmaktadır. Gıdaların kurutulması ile mikrobiyal gelişme ve diğer reaksiyonların azaltılarak dayanıklılığın artırılması amaçlanmaktadır. Bunun yanında nem miktarının azaltılmasıyla tat, koku ve besin değeri gibi kalite özellikleri korunmaktadır (Cemeroğlu 2004). Gıdaların kurutulmasıyla birlikte hacimde meydana gelen azalma sayesinde de gıdaların taşınması ve depolanması kolaylaşmaktadır.

Geleneksel kurutma yöntemlerinde ısı konveksiyon, kondüksiyon veya radyasyon ile ürün yüzeyine gelerek iç kısımlara iletilir (Gölcü ve Şen 2014). Bu yöntemlerle kurutma sırasında ürünün yüzeyi ile iç kısımları arasında sıcaklık farkı olduğu için ısı iç kısımlara kademeli olarak iletilmektedir. Bundan dolayı ürünün ilk olarak dış yüzeyinde kuruma başlar ve büzülmeyle birlikte sert tabaka oluşur. Bu da ürün neminin iç kısımlardan dış kısımlara iletilmesini yavaşlatmakta veya engellemektedir (Soysal vd. 2009). Bunun yanında geleneksel kurutma da kuruma süresi daha uzundur ve bu da zaman ve enerji kaybına yol açmaktadır.

Geleneksel kurutma işleminde var olan sorunların ortadan kaldırılması, daha düşük enerji tüketimi ve daha kısa sürede kurutma işlemiyle daha yüksek kalitede kurutulmuş ürünler elde edebilmek isteği araştırmacıları yeni yöntemler araştırmaya yöneltmiştir. Gıdaların kurutulmasında alternatif olarak kullanılan yöntemlerden bir tanesi de mikrodalga ile kurutmadır. Mikrodalga, gıda endüstrisinde bazı gıda proseslerinde, zaman ve enerji tasarrufu, dolayısıyla besin değerinin korunması, işlem kontrolü ve seçici ısıtma sağlayabilmesi açısından birçok avantaj sağlamaktadır (Thostenson ve

Chou 1999). Teknolojik gelişmelerle birlikte daha kısa sürede hazırlanabilen, kalitesi yüksek ürünlerin tercih edilmesi nedeniyle, ısıl işlem uygulamalarında mikrodalga kullanım popülerliği artmaktadır. Temperleme, kurutma, ön ısıtma, pastörizasyon/sterilizasyon, fırında pişirme gibi çeşitli ısıl işlemlerde mikrodalgalardan yararlanılmaktadır. Mikrodalga ile kurutma yönteminde ısınma hacimsel olarak gerçekleşir ve ısı materyalin içinde üretildiği için geleneksel kurutma ile karşılaştırıldığında, çok daha hızlı bir kurutma sağlar (Vadivambal ve Jayas 2007). Bunun yanında ısınma olayı içten sağlandığı için sıcaklık ürün içinde homojen dağılır ve ürün yüzeyinde aşırı ısınma meydana gelmez. Gıda büzülmesi ve kayıpları daha azdır (Eren 2005).

Bu çalışmanın amacı, brokolinin mikrodalga ile kurutulması ve kurutma sırasında kuruma davranışını en iyi açıklayan modelin belirlenmesidir. Kurutma sırasında farklı mikrodalga güçleri (90 W, 180 W ve 270 W) kullanılmıştır. Mikrodalga kurutma ile kurutulmuş ürünlerin ve karşılaştırma amaçlı olarak geleneksel sıcak hava ile kurutulmuş ürünlerin bazı fiziksel kalite özellikleri (renk, rehidrasyon oranı) ve toplam fenol içerikleri belirlenmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 Brokoli (*Brassica oleracea L var italica Plenck*)

Brokolinin insan sağlığı üzerine olumlu etkilerinin bilinmesiyle birlikte ülkemizdeki popüleritesi son yıllarda artarken gelişmiş ülkelerde yaygın olarak yetiştirilmekte bunun yanında taze, kurutulmuş, konserve ve dondurulmuş olarak değerlendirilmektedir (Bozokalfa vd. 2004). Brokoli Türkiye’de ve dünyada farklı zamanlarda retilabilmektedir. Karasal iklimin hakim olduğu yerlerde yaz aylarında üretilirken, Akdeniz gibi ılıman iklimin hakim olduğu bölgelerde ilkbaharda ve sonbaharda üretilmektedir. Bu nedenle de Türkiye’de farklı üretim bölgelerine farklı zamanlarda ekilebilmektedir (Sermenli vd. 2011).

Brokoli askorbik asit, antosiyonin, toplam fenolik madde ve flavonidler gibi çeşitli biyoaktif içeriklere sahiptir (Jeffery vd. 2003). Özellikle yüksek konsantrasyondaki glukosinolatlar (GSL) ve bu glukosinolatları parçalayarak etkin hale getirebilecek mirozinaz enzimi bulunmaktadır. Glukosinolatların mirozinaz enzimi ile parçalanması sonucu oluşan slfrofanlar ise gıdalarda doğal olarak bulunan antikanserojen bileşiklerdir (Matusheski vd. 2004). Yapılan epidemiyolojik çalışmalar slfrofan birikiminin artması ile birlikte özellikle mesane, kolon ve ciğer kanseri riskinde azalma olduğunu göstermiştir (Cartea ve Velasco 2008).

Brokoli hasat edildikten sonra raf ömrünün çok kısa olmasından dolayı yukarıda da belirtildiği gibi kurutulmuş, konserve ve dondurulmuş olarak muhafaza edilmektedir. Bu yöntemler uygulanırken temel amaç ürün kalitesini en st düzeyde tutmaktır. Ülkemizde brokolinin kurutulması üzerine yeterli çalışma yapılmamış olması ve son yıllarda mikrodalga ile kurutma yönteminin yaygınlaşması nedeniyle yapılan bu çalışmada; brokolinin sıcak hava ve mikrodalga ile kurutulması ve bu yöntemlerin kalite özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır.

2.2 Kurutma

Kurutma veya rehidrasyon, katı maddelerden su gibi buharlaşabilen maddelerin mikroorganizma gelişimini veya kimyasal reaksiyonları yavaşlatmak veya durdurmak amacıyla uzaklaştırılması işlemidir. Bu işlem sırasında kurutulan ürünün şekli, gevrekliği, sertliği, rengi, aroması, tadı ve besin değeri gibi fiziksel ve kimyasal özelliklerinde de bir takım değişimler meydana gelmektedir (Karaaslan 2008).

Kurutulan bütün ürünlerde meydana gelen en büyük olumsuzluk renk esmerleşmesidir. Renk esmerleşmesi kurutmadan önce, kurutma sırasında ya da depolama sırasında oluşabilir. Kurutulmuş ürünlerdeki renk esmerleşmesi daha çok enzimatik olmayan reaksiyonlarla meydana gelmektedir. Bunun yanında kurutma sırasında uygulanan yüksek sıcaklık sonucu şekerlerin karamelizasyonu ve bazı maddelerin yanması renk esmerleşmesine neden olmaktadır. Özellikle yeşil renkli ürünlerde klorofilin parçalanması sonucu renkte sararmalar meydana gelmektedir (Cemeroğlu 2004).

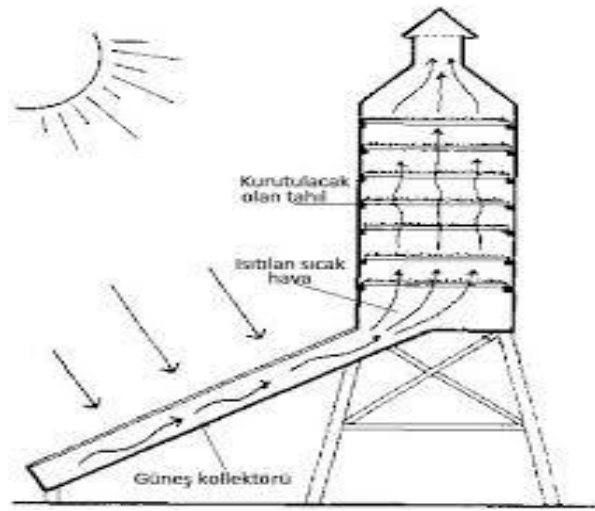
Günümüzde bu olumsuzlukları en aza indirmek için çok sayıda kurutma tekniği bulunmaktadır. Bu yöntemlerden hangisinin kullanılması gerektiği kurutulacak gıdaya, kurutucunun ekonomikliğine ve yatırım maliyetine göre değişmektedir.

2.3 Gıda Kurutma Yöntemleri

2.3.1 Güneşte kurutma

En yaygın olarak kullanılan kurutma yöntemlerinden güneşte kurutma doğal bir kurutma yöntemidir. Bu yöntemin en önemli avantajı maliyetinin düşük olmasıdır. Buna karşın en önemli dezavantajı ise açık havada kurutulan gıdada kontaminasyon riskinin bulunmasıdır. Bunun yanında her zaman ve her yerde güneş ısının kurutma işlemine yeterli olmaması, ürünlerin toz, böcek vb. dış etkiye maruz kalması ve kurutmayla birlikte oluşabilecek fermantasyon riskinin bulunması farklı kurutma sistemleri arayışına sebep olmuştur (Cemeroğlu 2004, Doymaz 2005). Son yıllarda geliştirilen

solar kurutucular ile mevcut olumsuzluklar bertaraf edilmiş ve enerji daha etkin bir biçimde kullanılmaya başlanmıştır (Yıldız ve Ertekin 2001), (Şekil 2.1). Bu sistemlerde elektrik enerjisi yerine güneş enerjisi kullanılmaktadır ancak güneş enerjisi ürünle direk temas etmez bunun yerine güneş enerjisi ürün etrafında dolaşacak havayı ısıtır ya da ısıtma için kullanılacak suyu buharlaştırır. Direk solar kurutucuların maliyeti düşük ve üretimi kolay olmasına karşın bu kurutucularda sıcaklık kontrolü yapılamamaktadır. Bu nedenle meyve ve sebzelerin uzun süre güneş ışınları ile etkileşimi sonucu vitamin ve renk kayıpları görülmektedir (Kij vd. 2007). İndirekt solar kurutucular ise kullanımı zor ve pahalı olmasına karşın sıcaklık kontrolünün mümkün olması ve UV ışınlarının uzaklaştırabilmesi sayesinde ürün renginde değişimler meydana gelmemektedir (Sebaai vd. 2002).

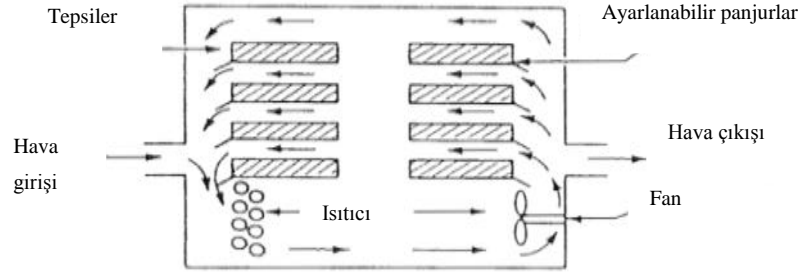


Şekil 2.1 Güneş enerjili kurutma sistemi (<http://www.gunessistemleri.com>, 2015)

2.3.2 Kabin kurutucular

Tepsili kurutucu olarak da bilinmektedir (Şekil 2.2). Dış ortamdan izole edilmiş bir kabine delikli tepsiler yerleştirilerek oluşturulmuştur. Tepsilere yerleştirilen gıdaların içerisinden sıcak hava geçirilerek kurutma işlemi gerçekleştirilir. Bu tip kurutucuların kurulumu çalıştırılması kolay olmasına rağmen kapasiteleri düşüktür örneğin birkaç ton meyve veya sebze kurutacak şekilde yapılırlar. Bu kurutucuların dezavantajlarından biri hava sirkülasyonunun her zaman homojen olarak sağlanamamasıdır. Tepsilerin yerlerinde

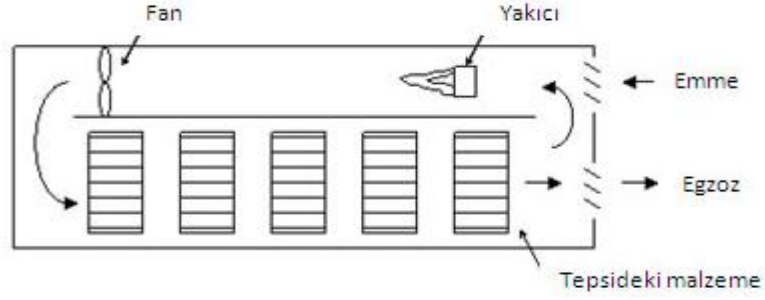
kurutma sırasında değişiklik yapılması gerekebilmektedir. Bu kurutucu tiplerinde diğer bir dezavantaj ise sıcak havanın kuruma hücreğine ilk girdiği bölümde bulunan ürünün diğer bölümlere göre daha hızlı kurumasıdır. Bunu önlemek için hava sirkülasyon fanının zaman zaman yeri değiştirilebilir ya da uygun olan bir yere sabit olarak yerleştirilmiş çift fan kullanılabilir (Cemeroğlu 2004).



Şekil 2.2 Kabin kurutucu şematik gösterimi (Tepsili kurutucu) (Geankoplis 2011)

2.3.3 Tünel kurutucular

Meyve ve sebzelerin kurutulmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 2.3). Kabin kurutuculara benzemekle birlikte tepsiler hareketli raflarda yer almaktadır. Kurutma işlemi yarı sürekli olarak gerçekleşmektedir. Hammadde sistemin bir ucundan işleme sokulup diğer ucundan alınır. Proses sırasında gıda ile havanın akış yönü aynı ya da ters yönlü olabilmektedir. Eğer hareketli raflar ile sıcak hava aynı yönde hareket ederse yani sıcak hava ile kurutulacak ürün aynı yerden giriyorsa buna paralel akış tüneli denir. Eğer hareketli raflar ile sıcak havanın hareketi birbirine zıt yönde ise buna zıt akış tüneli denir. Bu tip tünellerde de sıcak ve kuru hava ilk olarak en fazla kurumuş olan ürünle temas eder (Cemeroğlu 2004).



Şekil 2.3 Tünel kurutucu şematik gösterimi (<http://www.solarwall.com.tr>, 2015)

2.3.4 Konveyör (Bant) kurutucular

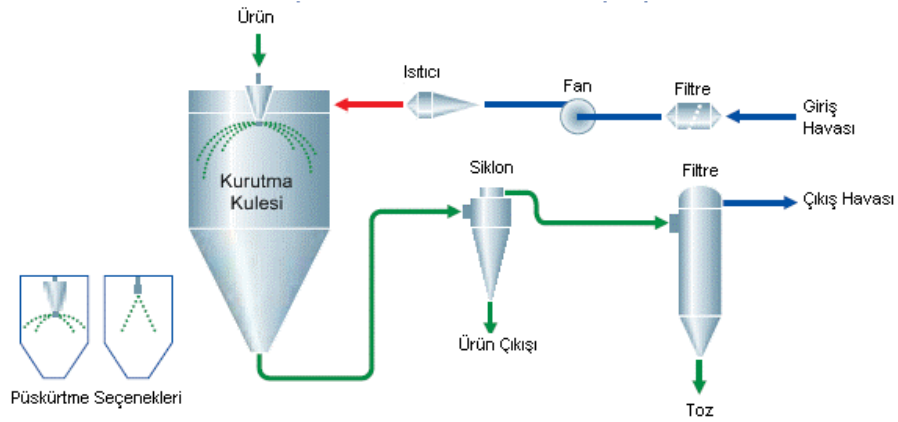
Doğranmış meyve ve sebzeler için uygun olan bu tip kurutucularda gıda delikli metal veya plastik banta konur. Kurutma bantların altından sıcak hava üflenmesiyle gerçekleştirilir. Hava sıcaklığı, hava sirkülasyon hızı ve yönü ile bant hızı ayrı ayrı kontrol edilebilmektedir. Kurumanın sonlarına doğru havanın yönü üstten aşağı doğru yapılır. Konveyör kurutucuların boyutları kapasiteye bağlı olarak değişmektedir. Örneğin eni 2,5 m ve boyu 25 m olan bir konveyör kurutucuda, günde yaklaşık 35 ton yaş ürün kurutulabilmektedir (Cemeroğlu 2004).

2.3.5 Valsli (Tamburlu) kurutucular

Yüksek viskoziteli sıvı gıdalar veya bebek maması gibi püre şeklindeki gıdalar için kullanılan bir tekniktir. Tamburun iç kısmı buharla ısıtılır, tamburun dış kısmına ise püre ince bir tabaka halinde yayılır. Tambur çevresinde bir tur attığı sırada kuruma işlemi tamamlanır ve bir bıçak yardımıyla kurumuş ürün kazınır. Tamburlar tekli ya da ikili olabilir. Silindir yüzeyinin sıcaklığı 100°C'nin üzerinde, genellikle 150°C civarında tutulur. Böylece yüzeye genellikle 1,0-1,5 mm kalınlıkta yayılmış olan sıvı birkaç saniyeden 1 dakikaya kadar değişen kısa bir sürede tamamen kuruyabilmektedir (Cemeroğlu 2004). Bu yöntemde kurutma etkin olmakla birlikte ısıl tahribat fazladır ve bu nedenle yerini sprey kurutucular almaktadır.

2.3.6 Sprey kurutucular

Kolayca akabilen sıvıların kurutulmasında kullanılmaktadır (Şekil 2.4). Bu teknik kullanılırken sıvı gıda viskozitesinin artırılması için önce ısıtılır. Bir atomizerden küçük damlacıklar (10-200 μm çap) halinde sıcak hava ile karıştırılarak verilir (150-200°C). Kuruyan ürün ile sıcak hava siklonda veya fitlerde birbirinden ayrılır. İşlem hızlıdır ve kuruyan ürünün sıcaklığı 50-70°C'de kalmaktadır ve kalış süresi genellikle 3-10 s'dir (Cemeroğlu 2004).

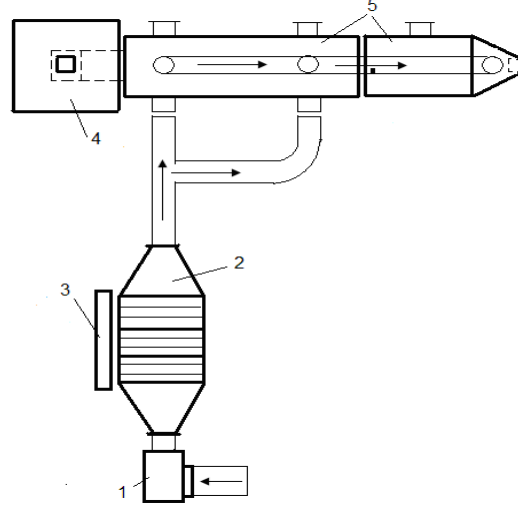


Şekil 2.4 Sprey kurutucu şematik gösterimi (<http://www.kurutma.net>, 2015)

2.3.7 Akışkan yataklı kurutucular

Küçük katı taneciklerin gaz ya da sıvı ile birlikte hareket ettirilerek akışkanlık özelliği kazandırılması akışkanlaştırma olarak adlandırılır (Topuz 2002). Modern kurutma yöntemleri arasında akışkan yataklı kuruma yöntemi önemli bir yere sahiptir (Yüzgeç 1997). Bantlı kurutucuların geliştirilmiş şeklidir (Şekil 2.5). Bant üzerinde hareket etmekte olan ürüne sıcak hava alttan ve hızlı bir şekilde verilir. Bu yöntemde kuruma işlemi konveksiyonla gerçekleşir. Akışkanlık düzeyi; partiküllerin boyutuna, şekline, yoğunluğuna, viskozitesine ve ayrıca kullanılan havanın özelliklerine bağlı olarak değişiklik gösterir. Akışkan yatak bir titreşim mekanizması ile donatılmış olup küçük parçacıklı gıdalar için uygundur. Bu kurutucularda 135°C'ye kadar sıcak hava kullanılarak sebzelerin nem düzeyi 1 saat gibi bir sürede %5-7'ye düşürülebilmektedir.

Meyveler ise öz suyunun dışarı çıkması sonucu birbirlerine yapışıp bir kitle oluşturmalarından dolayı bu sistem ile kurutulmak için uygun değildir (Cemeroğlu 2004).

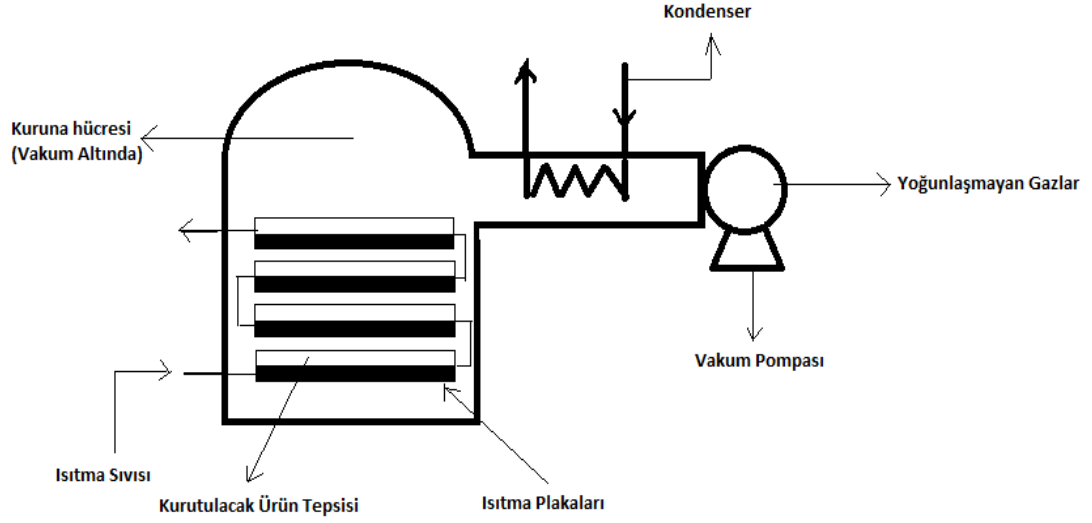


Şekil 2.5 Akışkan yatak sürekli kurutma sistemi şeması (Doğan ve Ersöz 2009)

1. Fan, 2. Isı üretici, 3. Kontrol panosu, 4. Silo, 5. Akışkan yatak sürekli kurutucu

2.3.8 Dondurarak kurutma (Liyofilizasyon)

Bir dondurarak kurutma sistemi ısıtma plakaları, kurutma tepsileri, kuruma hücresi, vakum pompası ve kondenserden oluşmaktadır (Şekil 2.6). Yüksek vakum altında (< 0,6 kPa) buzun suya dönüşmeden buhar haline gelmesi işlemidir. Bu yöntemde dondurulmuş gıda vakum ünitesine konulur ve vakum uygulanır. Gıdaya kontrollü miktarda ısı verilerek kurumanın devam etmesi sağlanır. Dondurularak kurutulan ürünlerin kalitesinin çok yüksek, tat ve aroma kaybının çok az olmasına karşın ilk yatırım maliyetinin yüksek olması ve kuruma hızının düşük olması en önemli dezavantajlarındandır. Kahve esansı, meyve suları gibi sıvı materyallerle, piliç eti, karides, mantar ve çilek gibi parça halindeki katı gıdalar en fazla dondurularak kurutulan ürünlerdir (Cemeroğlu 2004; Geankoplis 2011).



Şekil 2.6 Dondurarak kurutma sisteminin şematik gösterimi (Cemeroğlu 2010)

2.3.9 Puf yapı kazandırarak kurutma

Gıdaya yüksek sıcaklık ve yüksek basınç aynı anda uygulandıktan sonra basınç aniden kaldırılarak aşırı ısınmış suyun uzaklaştırılması tekniğidir. Yüksek ısı nedeniyle kalite kaybı oluşurken patlama nedeniyle de doku bütünlüğü bozulur ancak rehidrasyon kalitesi iyidir (Cemeroğlu 2004).

2.3.10 Mikrodalga kurutma

Mikrodalgalar, elektromanyetik spektrumda 300 MHz–300 GHz frekans aralığında yer alan elektromanyetik dalgalardır. Aralığın bu kadar geniş olmasına rağmen, endüstriyel ısıtma uygulamaları için yalnızca 2450 ve 915 (Avrupa’da 896) MHz frekansların kullanımına izin verilmektedir (Datta ve Anantheswaran 2000). Ev tipi mikrodalga fırınlar 2450 MHz frekansında mikrodalgalar üretirken, pilot ve sanayi ölçekli uygulamalarda daha çok 915 MHz’de çalışan sistemler kullanılmaktadır.

Mikrodalga kurutma; gıdanın mikrodalga enerjisini absorblayarak bu enerjiyi ısıya çevirme işlemiyle gerçekleşir (Datta ve Davidson 2000). Gıdaların içerdiği su mikrodalga kurutmada önemli bir bileşendir. Gıda içerisinde bulunan su molekülleri

arttıkça polarize olacak içerik miktarı da artar. Başka bir ifadeyle gıda içerisindeki su moleküllerinin artması o gıdanın kayıp faktörünün artmasını sağlar ve böylece gıda daha iyi ısınır (Schiffmann 1986).

Mikrodalga kurutma yönteminde ısı direkt ürün içerisinde olduğu için ürün içerisinde nem çok kısa sürelerde ısınarak buharlaşır. İç ve dış ortamda buhar basıncı farkı oluşur. Bu buhar basıncı farkı nem transferinin içten dışa doğru olmasına neden olmaktadır. Bu da geleneksel kurutma yöntemlerinde ortaya çıkan ısı transferi sorununun ortadan kaldırılmasını sağlamaktadır (Soysal vd. 2009).

Mikrodalga kurutmanın avantajlarının yanı sıra ilk yatırım maliyetinin yüksek olması, boyut ve şekil bakımından homojen gıdalara uygulanabilmesi gibi dezavantajları da vardır. Bu dezavantajlar bir takım yeni yöntemlerin geliştirilmesine neden olmuştur (Soysal vd. 2009).

2.3.10.1 Mikrodalga destekli vakum kurutma

Vakum kurutma sırasında yüksek enerjili su molekülleri yüzeye doğru difüze olur ve düşük basınç suyun buharlaşmasını sağlar. Bu işlemde ortamda oksijen olmadığı için oksidasyon reaksiyonu gerçekleşmez ve kurutulmuş ürünlerin dokusu, tadı ve rengi korunmuş olur. Bu yöntem mikrodalga ile birlikte kullanıldığında termal verimlilik artar (Zhang vd. 2006). Mikrodalga-vakum kurutma muz, havuç, patates gibi ısıya duyarlı gıdaların kurutulmasında kullanılmaktadır. Bu yöntemde gıda ısı ve oksijene maruz kalmadığı için vitamin, α ve β karoten gibi bileşenlerin kaybı minimumdur (Chandrasekaran vd. 2013). Lin vd. (1998), mikrodalga vakum kurutma, dondurarak kurutma ve sıcak hava ile kurutulan havuç dilimlerini karşılaştırmışlardır. En az renk kaybının mikrodalga-vakum ile kurutulmuş örneklerde olduğu bildirilmiştir. Bunun yanında mikrodalga-vakum ile kurutulmuş olan havuç dilimleri sıcak hava kullanılarak kurutulmalara göre daha yumuşak ve daha yüksek rehidrasyon kapasitesine sahiptir.

2.3.10.2 Mikrodalga destekli dondurarak kurutma

Dondurarak kurutmada ürünün sıcaklığı düşürülerek nemin büyük bir kısmı katı hale getirilir ve daha sonra ürün etrafındaki basınç düşürülerek yapıdaki buz süblimleştirilir (Cohen ve Yang 1995). Mikrodalga-dondurarak kurutma iki şekilde uygulanır. Birinci yöntemde dondurarak kurutma mikrodalga yardımıyla gerçekleştirilir. İkinci yöntemde ise dondurarak kurutmadan sonra mikrodalga kurutma yapılır (Duan vd. 2010a). Ancak pahalı ve işlem süresinin uzun olması nedeniyle gıdaların kurutulmasında çok tercih edilmemektedir.

2.3.10.3 Mikrodalga destekli ozmotik kurutma

Ozmotik kurutma hipertonic bir sıvı içerisine daldırılan gıda maddesinde bulunan suyun osmoz ile kısmen uzaklaştırılması işlemidir. Ozmotik kurutma, konvektif ve dondurarak kurutmaya göre enerji gereksinimi daha az olan bir işlemdir (Çınar 2009). İşlem süresinin kısaltılması amacıyla ozmotik kurutma öncesinde veya ozmotik kurutma ile yeni tekniklerin kombine edildiği yeni teknikler üzerine çalışmalar yapılmaktadır (Eroğlu ve Yıldız 2011). Mikrodalga destekli ozmotik kurutma da bunlardan biridir.

2.3.10.4 Mikrodalga destekli sıcak hava kurutma

Mikrodalga destekli sıcak hava kurutma, kurutma hızını arttırmak için kullanılan yöntemlerden bir tanesidir. Mikrodalga-sıcak hava kombinasyonu kurutma işleminin üç aşamasında uygulanabilir. Birinci aşama ürünün içi kısımlarının hızla ısındığı aşamadır. İkinci aşama, içeriden dışarıya doğru suyun uzaklaştırılması zorlaştığı zaman uygulanabilir. Bu uygulama ile gözeneklerde suyun uzaklaşması kolaylaşır. Son olarak ise azalan kuruma hızı döneminde ya da kurutma işleminin son aşamasında uygulanabilir. Ürünün merkezinde bulunan nemin mikrodalga yardımıyla dışarı çıkması sağlanır (Zhang vd. 2006). Maskan (2000), muzun sıcak hava ile kurutarak yapmış olduğu çalışmada azalan kuruma hızı döneminde muzun kurutmasının zorlaştığını ancak

mikrodalga-sıcak hava kombinasyonu kullanılarak kurutma süresinin sıcak hava ile yapılan kurutmaya göre %64 oranında azaltıldığını bildirmiştir.

2.4 Matematiksel Modelleme

Matematiksel bir model, bir işlemi veya olayı matematiksel terimlerle açıklayan bir formüller dizisidir. Yani gerçek, fiziksel dünyayı matematiksel eşitliklerle gösterme işlemidir.

2.4.1 Matematiksel modelleme neden yapılır?

Gerçek dünyanın deneysel olarak ele alınmasının maliyetli ve imkansız olması gibi durumlarda sistemlerin nasıl davranacağını öngörebilmek amacıyla matematiksel modelleme yapılmaktadır. Yani bir olayın fiziksel gerçeğini anlamak, olayı matematiksel olarak tanımlamak ve diğer olaylardan ayırt etmek ile birlikte matematiksel olarak formüllendirilmiş modeli bir sistemin değişik koşullardaki davranışını ön görmede bir araç olarak kullanmak üzere matematiksel modeller kullanılmaktadır. Bir model gerçeği olabildiğince yansıtmalıdır. Bu yüzden, bir modelin kullanılmaya başlanmadan önce güvenilirliğinin sağlanması amacıyla gerçek olaylarla doğrulanması gerekmektedir (Anonim 2015).

2.4.2 Kurutma eğrilerinin modellenmesi

Kurutma eğrilerini tanımlayan ince tabaka modelleri, teorik, kısmi teorik ve ampirik olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır (Sharaf-Elden ve Hamdy 1979). Teorik modeller nem transferinin iç direnç mekanizmalarını baz alırken diğer modeller dış kütleli dirençleri baz alırlar. Bunun yanında, kısmi- teorik modeller Fick kanununun çözümü ile elde edilirken, ampirik modeller nem içeriği ve zaman arasındaki istatistiksel ilişkilerden türetilir (Babalıs vd. 2006).

Kurutma eğrilerinin modellenmesi için farklı araştırmacılar tarafından çeşitli eşitlikler geliştirilmiştir (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1 Deneysel kurutma verilerini tanımlayan ince tabaka modelleri

Model	Model Adı	Kaynak
$ANO = \exp(-kt)$	Newton	Lewis 1921
$ANO = \exp(-kt^n)$	Page	Page 1949
$ANO = \exp[(-kt)^n]$	Geliştirilmiş Page I	Yaldız vd. 2000
$ANO = a \exp(-kt)$	Henderson ve Pabis	Henderson ve Pabis, 1961
$ANO = a \exp(-kt) + c$	Logaritmik	Yaldız vd. 2001
$ANO = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t)$	İki terimli	Zielinska ve Markowski 2010
$ANO = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	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	Yaldız vd. 2001
$ANO = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$	Verma ve ark.	Verma vd. 1985
$ANO = a \exp(-kt) + b \exp(-gt) + c \exp(-ht)$	Geliştirilmiş Henderson ve Pabis	Karathanos 1999
$ANO = a \exp(-kt^n) + bt$	Midilli ve ark.	Midilli vd. 2002

2.5 Yapılan Çalışmalar

Meyve ve sebzelerin kurutulması çok eski zamanlardan beri kullanılmakta olan bir yöntemdir. Tüketicilerin bilinçlenmesi ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte kurutma sektöründe de daha kaliteli ürünlerin elde edilmesi ihtiyaç haline gelmiştir. Örneğin geleneksel kurutma yöntemlerinden biri olan güneşte kurutma ile kurutma işlemi açık havada yapılmaktadır. Bu yöntemde kurutma işlemi kontrolsüz ve kurutulan ürün böceklenme gibi çeşitli risklere açıktır. Kurutma koşullarının iyileştirilmesi ve

ürün kalitesinin arttırılması amacıyla yeni teknikler geliştirilmiştir. Bu teknikler arasında mikrodalga kullanılarak yapılan kurutma işlemi kaliteli ve hijyenik olmasının yanında kurutmanın homojen olarak gerçekleşmesini sağlamaktadır.

Funebo ve Ohlsson (1998), yapmış oldukları çalışmada elma ve mantarları sıcak hava ve mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutarak son ürün kalitelerini karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda mikrodalga destekli sıcak hava kullanılarak kurutulan örneklerde rehidrasyon kapasitesinin %20-25 oranında daha iyi olduğu ve kuruma süresinin daha kısa olduğu bildirilmiştir.

Venkatachalapathy ve Raghavan (1999), yapmış oldukları çalışmada %2 etil oleat ve %0,5 NaOH kullanılarak ön işleme tabi tutulan ve sonrasında ozmotik olarak kurutulan çilek örneklerini geleneksel sıcak hava ile kurutma (35 ve 45°C), mikrodalga ile kurutma (0,1 ve 0,2 W/g) ve dondurarak kurutma işlemlerine tabi tutmuşlardır. Mikrodalga gücü arttıkça rehidrasyon oranının arttığı ve mikrodalgada kurutmanın dondurarak kurutma ile karşılaştırıldığında benzer veya daha iyi rehidrasyon özelliği gösterdiği rapor edilmiştir. Mikrodalga kullanılarak kurutulan örnekler dondurarak kurutulan örneklere göre daha yumuşak ve koyu renkli bulunmuş, duyu analizlerde ise önemli bir fark tespit edilememiştir. Sonuç olarak ozmotik ve mikrodalga kurutma kombinasyonunun çilek kurutmada dondurarak kurutmaya bir alternatif olarak kullanılabileceği yorumu yapılmıştır.

Maskan (2000), yapmış olduğu çalışmada muz dilimlerini sıcak hava ve sıcak hava-mikrodalga kombinasyonu kullanarak kurutmuştur. Çalışma sonucunda sıcak hava mikrodalga kombinasyonu ile kurutulan örneklerin rehidrasyon kapasitesinin daha yüksek olduğu ve kurutma işleminin daha hızlı olduğu bildirilmiştir.

Doymaz vd. (2000), yapmış oldukları çalışmada maydanozu mikrodalga ve kabin kurutucu ile kurutmuşlardır. Maydanozlar her iki kurutucuda da son ürünün nem içeriği %6-8 olana kadar kurutulmuşlardır. Kurutma sıcaklıkları her iki yöntem için de 40, 45, 50, 55, 60, 70°C olarak ayarlanmıştır. Çalışma sonucunda her iki yöntemde de sıcaklık artışının kurutma işlemini hızlandırdığı görülürken mikrodalga kurutmada kurutma

süresinin daha kısa olduğu belirtilmiştir. Mikrodalga kullanılarak yapılan kurutma işlemi 40°C’de 80 dakika sürerken, 70°C’de 25 dakika sürmüştür. Buna göre mikrodalga kurutucu da 30°C’lik sıcaklık artışının kurutma süresini %68,7 oranında kısalttığı belirlenmiştir. Bunun yanında kurutulmuş maydanozlar renk bakımından incelendiğinde düşük sıcaklıklarda çalışmanın iki yöntem için de renk kalitesini arttırdığı bildirilmiştir. Kabin kurutucuda kurutulan örnekler için Page ve Exponential denklemleri uygulanarak regresyon katsayıları karşılaştırılmıştır ve Page denkleminde elde edilen R² değerinin daha yüksek olduğu görülmüştür.

Erarslan ve Heperkan (2006), yapmış oldukları çalışmada fındıkta mikrodalga kurutmanın küfler üzerine etkisini araştırmıştır. Kullanılan fındık örneklerinin su aktiviteleri 0,80 ve 0,90 olacak şekilde ayarlanmıştır. Hazırlanan numuneler 2450 MHz frekansta 3 magnetronlu toplam 6 kW kapasiteye sahip sanayi tipi mikrodalga fırında farklı süre ve güçlerde işleme alınmıştır. Fındık numunelerinde mikrodalga işleminden önce ve sonra küf sayımları yapılmıştır. Tek magnetron çalıştırılarak elde edilen 1x1000 watt, 1x2000 watt ve üç magnetron çalıştırılarak elde edilen 3x1000 watt güçleri fındık numunelerine 420 s boyunca uygulanmıştır. En iyi sonuca 3x1000 watt güç kullanılarak yapılan denemede ulaşılmıştır. Bu çalışma sonucunda mikrodalga ile daha kontrollü bir kurutma sağlanacağı için güneşte kurutmanın aksine ürün kalitesinin yükseleceği ve küfler üzerine eliminasyon etkisi incelenerek, aflatoksin üzerine ülkemize ışık tutacağı düşünülmektedir.

Özkan vd. (2007), yapmış oldukları çalışmada, %9,01 (kuru baz) nem değerinde olan ıspanak yaprakları mikrodalga fırın kullanarak 8 farklı güçte (90-1000W) kurutulmuş ve nemi %0,1’e (kuru baz) düşürmüşlerdir. Kurutma işlemi kullanılan mikrodalga gücüne bağlı olarak 290 ile 4005 s arasında tamamlanmıştır. 750 W gücünün kurutma süresi ve enerji tüketimi açısından optimum olmasının yanı sıra askorbik asit içeriği ve renk bakımından da en uygun kalitede olduğu belirlenmiştir.

Alibaş (2007a), 50 g olarak tartılan ve 105°C’ de 24 saat bekletilerek nem içeriği 9,31 g.su/g.kuru madde nem değerine getirilen kabak dilimlerini mikrodalga, sıcak hava ve sıcak hava-mikrodalga kombinasyonunda kurutmuştur. Sıcak hava ve mikrodalga

kurutma sonuçları kendi içinde karşılaştırıldığında L* (parlaklık) değeri bakımından mikrodalga kurutmanın daha etkili olduğu görülmüştür. Renk bakımından en etkili sonucun ise sıcak hava-mikrodalga kombinasyonunda olduğu görülmüştür. Bu kombinasyonda kurutulan ürünlerin parlaklıkları daha iyidir. Yine enerji tüketimi açısından da mikrodalga-sıcak hava kombinasyonunun daha etkili olduğu görülmüş ve optimum kombinasyon koşulları 350 W-75°C olarak belirlenmiştir. Bu koşullarda enerji tüketimi 0,29 kW/h, kurutma süresi ise 31 dk olarak kaydedilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen değerler incelendiğinde Page modeline uyum sağladığı görülmüştür.

Alibaş (2007b), yapmış olduğu çalışmada ısırgan otu yapraklarını mikrodalga, sıcak hava ve vakumla kurutmuştur. Bu kurutma tekniklerini kurutulmuş ürünün renk değerlerini ve kurutma işlemi sırasındaki enerji tüketimi açılarından karşılaştırmıştır. Mikrodalga gücü olarak 500, 650, 750 ve 850 W, hava sıcaklığı olarak 50, 75, 100 ve 125°C, vakum basıncı olarak da 20 ve 50 mmHg değerlerini kullanmıştır. En uygun sonucun mikrodalgada 850 W gücü kullanılarak yapılan kurutmaya ait olduğu bildirilmiştir. Bu güçte enerji tüketimi 0,06 kW/h iken ürün parlaklığı taze ürüne en yakındır. Mikrodalga kurutmayı ise sırasıyla vakum ve sıcak hava kurutma izlemiştir.

Karaaslan (2008), yapmış olduğu çalışmada ıspanak yaprakları, kırmızı biber ve çay yapraklarını mikrodalga, mikrodalga-sıcak hava kombinasyonu ve sıcak havayla kurutmuştur. Bu yöntemlerin ıspanak, kırmızı biber ve çayın renk değişimi ve enerji tüketim değerleri üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Bunun yanında ürünlerin kuruma süresinin belirli bir andaki nem içeriğini belirlemek amacıyla en uygun modeli belirlemiştir. Kurutulan ıspanak bitkisi renk bakımından incelendiğinde mikrodalga ve mikrodalga-sıcak hava kombinasyonunda ürünün yeşilliğinin korunduğu gözlenirken sıcak hava ile kurutulmuş üründe kahverengileşmeler gözlemlenmiştir. Kurutulan kırmızı biber örnekleri renk bakımından incelendiğinde mikrodalga ile yapılan kurutmada taze renge en yakın sonuçlar elde edilirken, mikrodalga-sıcak hava kombinasyonu ve sıcak hava ile yapılan kurutmada kahverengileşme meydana gelmiştir. Kurutulan çay örneklerinde ise renk değerleri bakımından mikrodalga ve mikrodalga-sıcak hava kombinasyonu ile kurutulmuş ürünlerde sadece sıcak hava ile kurutulan ürünlere göre daha iyi olduğu bildirilmiştir. Enerji tüketim bakımından uygun

mikrodalga enerjiiyle farklı ürünlere uygulanan yöntemlerden elde edilen ekonomik kazancın artırılmasının mümkün olduğu rapor edilmiştir. Bunların yanında elde edilen sonuçlara göre bu üç üründe de Midilli ve Küçük modelinin ürünlerin kuruma davranışlarının diğerlerinden daha iyi açıkladığı belirtilmiştir.

Çelen (2010) yapmış olduğu çalışmada domates ve elma dilimlerinin mikrodalga ve vakum kurutucuda kurularak bu ürünlerin kalite özelliklerini karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda mikrodalga kurutma ile kuruma işleminin daha hızlı, ürünün daha kaliteli ve enerji tüketiminin daha az olduğu belirtilmiştir. Bunun yanında mikrodalgada kurutulmuş domates örnekleri için en uygun kurutma modelinin Verma ve ark. modeli, mikrodalgada kurutulmuş elma örnekleri için ise en uygun kurutma modelinin Page modeli olduğu rapor edilmiştir.

Kutlu (2013), yapmış olduğu çalışmada kiraz domatesi, kabak ve patlıcan örneklerini tepsili kurutucu ve mikrodalga yöntemiyle kurutmuştur. Çalışma sonucunda mikrodalga kurutmanın tepsili kurutucuyla yapılan kurutmaya göre kurutma süresini patlıcan örneklerinde %55-62, kabak örneklerinde %52-58 ve domates örneklerinde %37-39 oranlarında kısalttığı bildirilmiştir. Mikrodalgayla kurutulan örnekler arasında sadece domatesler renk bakımından kontrol grubuna daha yakındır. Mikrodalga kullanılarak kurutulan kabak ve patlıcan örneklerinde de rehidrasyon kapasitesinin daha iyi oldukları belirtilmiştir. Bunlara ek olarak tüm örnekler için hesaplanan efektif difüzyon katsayısı mikrodalgayla kurutulan örneklerde yaklaşık 10 kat daha yüksektir.

Pei vd. (2014), yapmış oldukları çalışmada başlangıç nemi %92 olan ve kalınlıkları 5 mm olacak şekilde kesilen mantarlar ilk olarak dondurularak kurutulmuş daha sonra dondurarak kurutma vakumlu mikrodalga kurutma ile kombine edilerek kurutulmuştur. Bu iki yöntem arasında kalite kriterleri karşılaştırılmıştır. Toplam serbest aminoasit miktarı vakumlu mikrodalga ile dondurarak kurutma kombinasyonunda daha yüksek bulunmuştur ve miktarının taze örnekteki miktara yakın olduğu belirtilmiştir. Bunun yanında organik asit miktarları arasında fark bulunmamıştır.

Monteiro vd. (2015), muz, üzüm domatesi ve havuçlarla yaptığı çalışmada dondurarak kurutma ve vakumlu mikrodalga (döner tablalı) kurutma yöntemlerini karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda ürün kalitesine bakıldığında mikrodalga kurutmanın dondurarak kurutmaya benzer ya da daha iyi sonuçlar verildiği görülmüştür. Bunun yanında mikrodalga kurutmada işlem süresinin dondurarak kurutmaya göre oldukça kısa olduğu bildirilmiştir.

İzli ve Işık (2015) yılında yapmış oldukları çalışmada domatesleri mikrodalga, sıcak hava ve mikrodalga-sıcak hava kombinasyonlarında kurutmuşlardır. Çalışma sonucunda mikrodalga-sıcak hava kombinasyonunda kuruma süresinin en kısa olduğu belirtilmiştir.

Brokolinin kurutulmasıyla ilgili literatürde oldukça sınırlı sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Brokolinin mikrodalga kullanılarak kurutulmasıyla ilgili ise herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

Brokolide toplam fenolik madde miktarı gallik asit cinsinden 412-987 mg/100 g taze örnek olarak değişmektedir (Dziki vd. 2012, Reis vd. 2015). Brokolide uygulanan ısı işlemlere bağlı olarak toplam fenolik madde miktarında azalma olmaktadır. Zhang ve Hamauzu (2004), yapmış oldukları çalışmada brokolinin çiçek ve saptlarında bulunan fenolikler, askorbik asit, karotenoidler ve antioksidanlar ile bunların konveksiyonel ve mikrodalga pişirme sırasındaki değişimlerini incelemişlerdir. Örnekler her iki yöntem için 30, 60, 90, 120 ve 300 s boyunca pişirilmişlerdir. Toplam fenolik madde miktarında her iki yöntem için de pişirilmiş çiçeklerde %31,6-%71,9 kayıp olurken; pişirilmiş saptalarda %13,3-%42,2 oranında kayıp olmuştur. Konveksiyonel pişirmede askorbik asit miktarında çiçek ve saptalarda sırasıyla %19,2-%33,5 ve %19,1-%70,9 kayıp olurken; Mikrodalga pişirmede (300 s için) çiçek ve saptalarda sırasıyla %65,6 ve %70,5 kayıp meydana gelmiştir. Yine iki pişirme yöntemi sırasında karotenoid ve antioksidan miktarında azalma meydana gelmiştir. Bu nedenle bu içeriklerin pişmiş brokolideki miktarları hesaplanırken bu kayıpların dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır.

Türkmen vd. (2004), yapmış oldukları çalışmada biber, kabak, yeşil fasulye, bezelye, pırasa, ıspanak ve brokoliyi haşlayarak, buharda ve mikrodalgayla pişirme metotlarının üründeki antioksidan aktivitesi ve toplam fenolikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda taze brokolinin en güçlü antioksidan aktivitesine sahip olduğu ancak pişirme yönteminin antioksidan miktarı üzerinde etkili olmadığı bildirilmiştir. Toplam fenolik madde içeriği bakımından brokolinin farklı pişirme koşullarından etkilendiği ve en iyi sonuca mikrodalga kullanılarak yapılan pişirmeye ulaşıldığı rapor edilmiştir.

Keçebaş (2007), yapmış olduğu çalışmada brokoliyi ön işlem olarak önce haşlamış ve daha sonra tepsili kurutucu kullanarak kurutmuştur. Kontrol grubu olarak ise brokoli herhangi bir ön işlem olmadan tepsili kurutucuyla kurutulmuştur. Çalışma sonucunda ön işlem olarak haşlama yapılan örneklerin kuruma süresi 6 saat olarak belirlenirken haşlama yapılmadan kurutulan örneklerin kuruma süresi 9 saat olarak belirlenmiştir.

Doymaz (2013), brokolinin haşlama sıcaklığının ve süresinin kurutma üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada brokoliler 20, 40, 60 ve 80°C'de 1 ve 2 dakika boyunca haşlanıp daha sonra hava ile kurutulmuştur. Araştırma sonunda haşlama sıcaklığının artması ile kurutma süresinin azaldığı ve yine haşlama süresinin kurutma süresini kısalttığı tespit edilmiştir. Aynı çalışmada 20, 40, 60 ve 80°C'de haşlanıp kurutulan brokolilerin 20, 50 ve 80°C'deki rehidrasyon kapasiteleri araştırılmıştır. Haşlama sıcaklığı arttıkça rehidrasyon kapasitesinin arttığı bulunmuştur.

3. MATERYAL VE METOT

3.1 Materyal

3.1.1 Analizlerde kullanılan örnekler

Bu çalışmada kullanılan brokoliler Ankara'da bulunan semt pazarlarından temin edilmiştir. 3-4 cm uzunluğunda parçalanmış brokoliler +4°C'de depolanarak işlemler için en kısa sürede kullanılmıştır.

3.2 Metot

3.2.1 Kurutma işlemi

Brokolileri kurutma işlemi iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşama tepsili kurutucuyla yapılan ön kurutma aşamasıdır. İkinci aşama ise mikrodalga kullanılarak yapılan kurutma aşamasıdır. Brokolinin yüksek nem içeriği nedeniyle pişme ihtimali bulunduğundan tüm kurutmanın mikrodalgayla yapılamadığı görülmüştür. Bu nedenle nem içeriğini belirli bir değere düşürmek için sıcak hava ile ön kurutma yapılmıştır. Yapılan ön denemelerle brokolinin mikrodalga fırına giriş nemi %50 (y.b.) olarak belirlenmiştir. Buna bağlı olarak da ön kurutma süresi belirlenmiştir. Mikrodalga kurutma işleminde 90, 180 ve 270 W güçleri kullanılmıştır. Bu güçlerde brokoliler yanmanın gözlemlenmesi başlayana kadar kurutulmuştur. Yanmanın başladığı noktada kurutma işlemi sonlandırılmıştır ve mikrodalga kurutma süresi belirlenmiştir. Kontrol grubu olarak tüm kurutma işleminin tepsili kurutucuda gerçekleştiği örnekler kullanılmıştır.

Geleneksel sıcak hava ile kurutma işlemi pilot tipi tepsili kurutucuda (Eksis Endüstriyel Kurutma Sistemleri, TK-LAB Model) sıcak hava ile yapılmıştır. Tepsili kurutucuda örnekler 60°C'de kurutulurken tepsilerin dönüş hızı 5 dev/dk olup sıcak havanın hızı 1 m/s'dir. Kurutma işlemi süresince 20 dakika aralıklarla tartım alınarak ürünün nem

içeriği %50 (y.b) olana kadar ortalama 140-160 dakika boyunca kurutma işlemi devam etmiştir. Ön denemelerle belirlen süre boyunca kurutulan brokolilerin son kurutma işlemi mikrodalgayla (General Electric, GMOM 25 model) 90, 180 ve 270 W güçleri kullanılarak ön denemelerle belirlenen süre boyunca yapılmıştır. Bu süre en az 4 dakika en çok 22 dakika'dır. Mikrodalgada kullanılan her güç için ürünün son nemi ortalama %20 (y.b.) oluncaya kadar kurutma işlemi sürdürülmüştür. Bu nem değeri yapılan ön denemelerde belirlenmiş olup bu değer yanmanın gözlemlenmeye başlamış olduğu değerdir. Her bir güçte kurutma işlemi 5 g ürün kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışma 2 tekerrürlü olarak uygulanmıştır. Kurutulan brokoliler vakumlu ambalajlanarak +4°C'de analizler uygulanmak üzere saklanmıştır.

3.2.2 Uygulanan analizler

Taze üründe renk ve toplam fenolik madde tayini, kurutulmuş üründe ise renk, rehidrasyon kapasitesi ve toplam fenolik madde tayini yapılmıştır. Ayrıca ürünlerin kurutma öncesi ve sonrasındaki nem miktarları ölçülmüştür.

3.2.2.1 Ürün nem miktarı analizleri

Örneklerin kurutma öncesi nem miktarları infrared nem tayin cihazı (MA-150, Sartorius, Almanya) ile 105°C'de ölçülmüştür (Filiz 2015).

3.2.2.2 Renk tayini

Örneklerin taze olarak ve kurutma sonrasında L* (açıklık-koyuluk), +a* (kırmızılık-yeşillik), +b* (sarılık-mavilik) renk değerleri enstrümantal renk ölçer (Minolta Chroma Meter CR-400, Minolta Co. Ltd., Osaka, Japan) ile tespit edilmiştir. Okuma aynı bölgeden 5 farklı okumanın ortalaması olarak alınmıştır. Renk ölçümleri üç tekrar halinde gerçekleştirilmiştir (Akbulut ve Çoklar 2008).

3.2.2.3 Toplam fenolik madde tayini

Fenolik madde tayini kurutulmuş ve taze brokoli örneklerine uygulanmıştır. 3 g örnek 60 mL metanol ile homojenize (WiseTis, HG-15 Model) edilmiştir. Homejenat filtre edilip 15 dakika boyunca 2500×g'de santrifüj (Isolab, 02012 Plus gren Euro plug) edilmiştir. Elde edilen ekstraktlarda toplam polifenol miktarı Folin–Ciocalteu reaktifi prosedürüne göre yapılmıştır (Slinkard ve Singleton 1977, Arabshahi vd. 2007). Ekstraktın berrak kısmından 3µL alınıp üzerine 3480 µL filtre edilmiş saf su ve 60 µL Folin–Ciocalteu (0,4 mol/L) ilave edilip 4 dakika boyunca karanlıkta bekletilmiştir. Süre sonunda 900 µL %20'lik Na₂CO₃ ilave edildikten sonra 40°C'lik su banyosunda 30 dakika boyunca bekletilmiş ve spektrofotometrede (Shimadzu, UVmini-1240) 760 nm'de Abs değerleri okunmuştur. Fenolik madde miktarı gallik asit standardı kullanılarak sonuçlar mg gallik asit/100 g kuru madde üzerinden ifade edilmiştir (Swain ve Hillis 1959).

3.2.2.4 Rehidrasyon kapasitesi

Yaklaşık 1 g kütleinde kurutulmuş brokoli örnekleri üzerine 30 mL saf su (24±2°C) ilave edilip oda sıcaklığında 24 saat bekletildikten sonra 40 mesh'lik elekte 3 dakika süzülerek tartılmıştır. Rehidrasyon oranı ıslak ürün kütleinin kuru ürün kütleine bölünmesiyle hesaplanmıştır (Quintero vd. 1992).

$$\text{Rehidrasyon oranı} = \frac{W_r}{W_d} \quad (3.1)$$

Burada;

W_r : Islak ürün kütle (g)

W_d : Kurutulmuş ürün kütleini (g) göstermektedir.

3.2.3 Hesaplamalar

3.2.3.1 Kurutma eğrilerinin matematiksel modellenmesi

Bu çalışmada brokoli için en uygun denge nemi modeli araştırılmıştır. Bu amaçla kurutma proseslerinde en çok kullanılan ve çizelge 3.1’de verilmiş olan 12 model istatistiksel olarak kıyaslanmıştır. Modeldeki katsayıların hesaplanabilmesi için doğrusal olmayan regresyon analizi yapılmıştır. Regresyon analizleri için MATLAB (R2009b) programı kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucu elde edilen verilere en uygun modelin belirlenmesi için RMSE (tahmini standart hata), adj-R² (düzeltilmiş belirleme katsayısı) ve R² (belirleme katsayısı) hesaplanmıştır. Değerlendirme yaparken; tahmini standart hatasının sıfıra yakın olan, belirleme katsayısı ve düzeltilmiş belirleme katsayısının ise 1’e yakın olan model en uygun model olarak nitelendirilir. Belirleme katsayısı değerinin sıfıra yakın olması modelin verileri temsil etme özelliğinin kötü olduğunu gösterir (Soysal 2000, Öztekin ve Soysal 2002).

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (ANO_{\text{tahmini}} - ANO_{\text{deneysel}})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.2)$$

$$R^2 = 1 - \left[\frac{\sum (ANO_{\text{deneysel, ort}} - ANO_{\text{tahmin, ort}})^2}{\sum (ANO_{\text{tahmini, ort}})^2} \right] \quad (3.3)$$

$$\text{adj-R}^2 = 1 - (1 - R^2) \frac{N - 1}{N - m - 1} \quad (3.4)$$

Bu eşitliklerde;

ANO_{tahmini} : Tahmini ayrılabilir nem oranı,

$ANO_{\text{tahmini, ort}}$: Matematiksel modelden hesaplanan nem oranı değerlerinin ortalaması,

ANO_{deneysel} : Deneysel ayrılabilir nem oranı,

$ANO_{\text{deneysel, ort}}$: Deneysel nem oran değerlerinin ortalaması,

N: Deneysel veri sayısı,

m: Regresyon parametrelerinin sayısıdır.

Çizelge 3.1 Deneysel kurutma verilerini tanımlayan ince tabaka modelleri

Model	Model Adı	Kaynak
$ANO = \exp(-kt)$	Newton	Lewis 1921
$ANO = \exp(-kt^n)$	Page	Page 1949
$ANO = \exp[(-kt)^n]$	Geliştirilmiş Page I	Yaldız vd. 2000
$ANO = a \exp(-kt)$	Henderson ve Pabis	Henderson ve Pabis 1961
$ANO = a \exp(-kt) + c$	Logaritmik	Yaldız vd. 2001
$ANO = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t)$	İki terimli	Zielinska ve Markowski 2010
$ANO = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	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	Yaldız vd. 2001
$ANO = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$	Verma ve ark.	Verma vd. 1985
$ANO = a \exp(-kt) + b \exp(-gt)$ $+ c \exp(-ht)$	Geliştirilmiş Henderson ve Pabis	Karathanos 1999
$ANO = a \exp(-kt^n) + bt$	Midilli ve ark.	Midilli vd. 2002

3.2.3.2 Difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi hesaplamaları

Azalan hız periyodunda meydana gelen kurutma ve nem transferi Fick'in difüzyon eşitliği kullanılarak tanımlanabilir (Zielinska vd. 2010, Chen vd. 2013). Crank (1975), bu eşitliğin çözümü için bazı varsayımlarda bulunmuştur. Bunlar;

1. Nem geçişi sadece difüzyondadır.
2. Çekme ihmal edilmiştir.
3. Sıcaklık ve difüzyon katsayısı sahiptir.
4. Kuruma süresi uzundur.

5. Difüzyon katsayılarının belirlenmesinde kullanılan matematiksel eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$ANO = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(-\frac{[2n+1]^2 \pi^2 D_{\text{eff}} t}{4L^2}\right) \quad (3.5)$$

Burada,

ANO: Ayrılabilir nem oranı (M/M_0)

t: Kurutma süresi

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

L: Dilim kalınlığı (m)'dir.

Uzun kuruma süreleri için eşitlik (3.6) aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$ANO = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{\text{eff}}}{4L^2} t\right) \quad (3.6)$$

Bu eşitlik logaritmik formda yazıldığında eşitlik (3.7) elde edilir.

$$\ln ANO = \ln \frac{8}{\pi^2} - \left(\frac{\pi^2 D_{\text{eff}}}{4L^2}\right) t \quad (3.7)$$

Buradaki $\ln ANO$ değerleri zamana karşı grafiğe geçirildiğinde elde edilen doğrunun eğimini K ile gösterirsek, K ve D_{eff} arasındaki ilişkiyi aşağıdaki eşitlikle gösterebiliriz.

$$K = \frac{\pi^2 D_{\text{eff}}}{4L^2} \quad (3.8)$$

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

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(-\frac{E_A m}{P}\right) \quad (3.9)$$

Bu eşitlikte diğerinden farklı olarak,

D_0 : Sonsuz sıcaklıkta difüzyon hızı (m²/s)

E_A : Aktivasyon enerjisi (W/g)

m : yaş ürün ağırlığı (g)

P : mikrodalga gücüdür (W).

3.2.3.3 İstatistiksel analizler

Analizlerden elde edilen sonuçlar Minitab 17 istatistik paket programı kullanılarak istatistiki değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Tek yönlü ve iki yönlü varyans analiz tekniği ile (ANOVA) grup ortalamaları arasındaki farklar belirlenmiştir. Önemli bulunan ana varyasyon kaynaklarının ortalamaları Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi'yle karşılaştırılmıştır ($p \leq 0,05$).

3.2.4 Fırın gücünün hesaplanması

Fırın gücünün hesaplanmasında IMPI 2-litre testi kullanılmıştır. Fırın en yüksek derecede 20005 g su içeren iki adet beherle çalıştırılmıştır. Başlangıç su sıcaklığı $20 \pm 2^\circ\text{C}$ olmalıdır. Beherler fırın boşluğunda yan yana olacak şekilde fırının merkezine yerleştirilmiştir. Fırın 2 dakika ve 2 saniye çalıştırdıktan sonra son sıcaklıklar fırın kapatılır kapatılmaz ölçülmüştür. Güç ölçümü üç kere tekrarlanmıştır. Güç eşitlik (3.10) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$P (W) = \frac{70(\Delta T_1 + \Delta T_2)}{2a} \quad (3.10)$$

Eşitlikte ΔT_1 ve ΔT_2 beherdeki suların son sıcaklığı ve ilk sıcaklığı kullanılarak bulunan sıcaklık değişimleridir (Buffer 1993). Bu şekilde 805 W olarak tespit edilen fırın gücü 900 W'a karşılık gelmektedir.

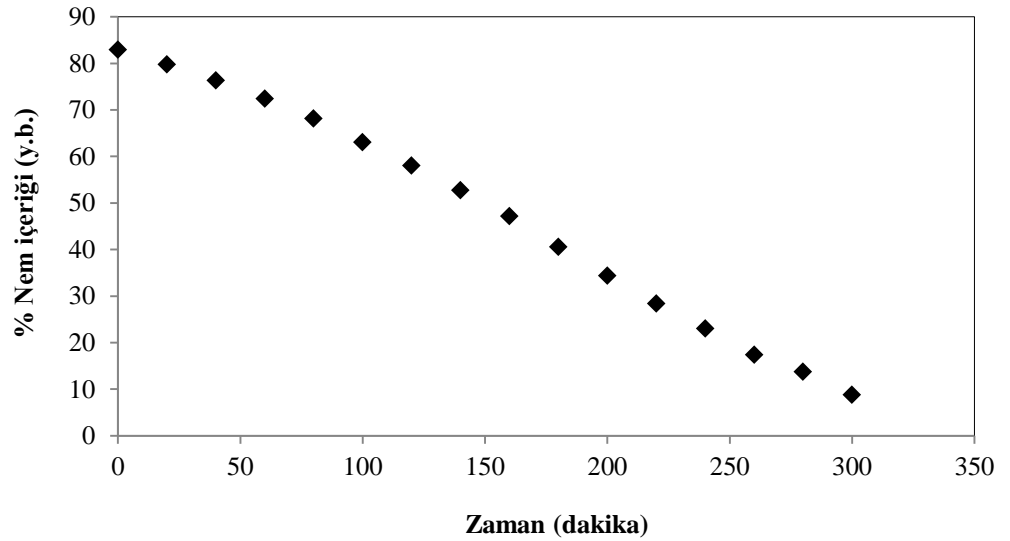
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Tepsili Kurutucu ile Yapılan Kurutma

Tepsili kurutucu ile kurutulan brokoliler kontrol grubu olarak kullanılmıştır.

4.1.1 Nem değerleri

Kontrol grubu olarak kullanılan brokoli örnekleri 3-4 cm uzunluğunda parçalanıp 60°C’de tepsili kurutucuda kurutulmuştur. Örneklerin kurutma öncesi ortalama nem miktarları %82,87 (y.b.) olarak belirlenmiştir. Kurutma işlemi ortalama nem değeri %8,79 oranına ulaşınca kadar sürdürülmüştür (Şekil 4.1).

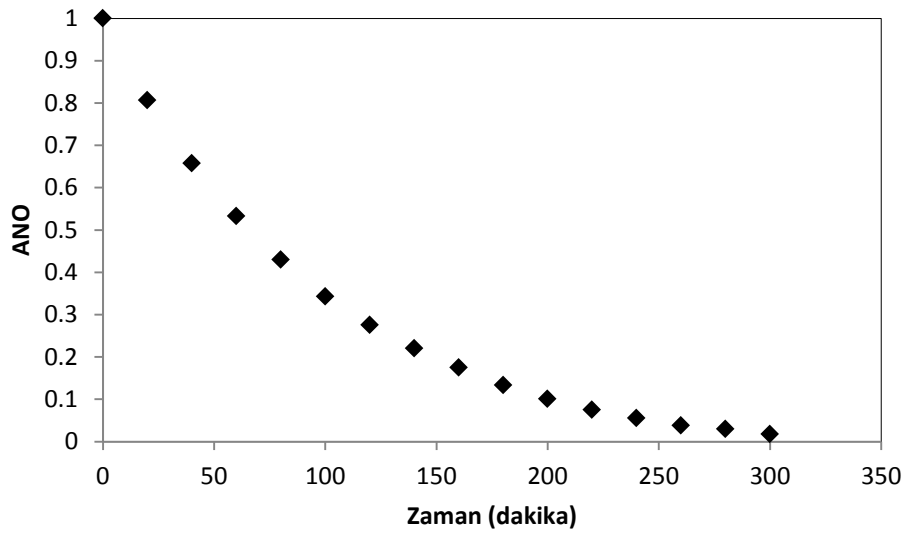


Şekil 4.1 Tepsili kurutucu ile kurutulan brokolilerde nem oranının zamana bağlı değişim grafiği

4.1.2 Matematiksel modelleme

Kurutma sonrası elde edilen ayrılabilir nem oranının zamana bağlı değişimi şekil 4.2’de verilmiştir. Bu veriler çizelge 2.1’de verilen 12 farklı modele uygulanmıştır. Deneylemlerden elde edilen gerçek veriler ve modellerden elde edilen tahmini verilerden

yaralanılarak R^2 , adj R^2 ve RMSE değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.1). Brokoli örnekleri için R^2 değerleri 0,9975-0,9998; adj R^2 değerleri 0,9958-0,9998 ve RMSE değerleri 0,0051-0,0159 arasında bulunmuştur. Bu sonuçlar incelendiğinde Logaritmik modelin değerlerinin en uygun olduğu görülmüştür. Sacılık ve Elicin'in (2005) 5 ve 9 mm kalınlıkta kesilmiş olan elma dilimlerini 40, 50 ve 60°C'de sıcak hava ile kuruttukları çalışmalarında, nem oranı verilerinin 10 farklı modele uyumu incelenmiştir. Yapılan bu çalışmada bizim sonucumuza benzer olarak en düşük RMSE değerine ve en yüksek R^2 değerine Logaritmik model kullanılarak ulaşılmıştır.



Şekil 4.2 Tepsili kurutucuda kurutulmuş brokoli örneklerinin ayrılabilir nem oranlarının (ANO) zamana bağlı değişimi

Çizelge 4.1 Tepsili kurutucuda 60°C'de kurutulmuş brokoli örnekleri için kullanılan ANO modellerinin istatistiksel parametreleri

Model İsmi	Sıcaklık	RMSE	R^2	Adj R^2
Newton	60°C	0,01522	0,9975	0,9975
Page	60°C	0,01091	0,9988	0,9987
Geliştirilmiş Page I	60°C	0,01091	0,9988	0,9987
Henderson ve Pabis	60°C	0,01508	0,9977	0,9975
Logaritmik	60°C	0,00448	0,9998	0,9998
İki Terimli	60°C	0,00456	0,9998	0,9998

Çizelge 4.1 Tepsili kurutucuda 60°C’de kurutulmuş brokoli örnekleri için kullanılan ANO modellerinin istatistiksel parametreleri (devam)

İki Terimli Exponansiyel	60°C	0,00993	0,9990	0,9989
Wang ve Sing	60°C	0,03613	0,9868	0,9958
Difüzyon Yaklaşımı	60°C	0,00452	0,9998	0,9998
Verma ve ark.	60°C	0,00452	0,9998	0,9998
Geliştirilmiş Henderson ve Pabis	60°C	0,00592	0,9997	0,9996
Midilli ve ark.	60°C	0,00508	0,9998	0,9997

Brokoli örneklerine ait modellerdeki katsayılar MATLAB (R2009b) programı yardımıyla doğrusal olmayan regresyon analizi ile hesaplanmıştır. Hesaplanan katsayılar çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Tepsili kurutucuda 60°C’de kurutulmuş brokoli örnekleri için kullanılan modellerin katsayıları

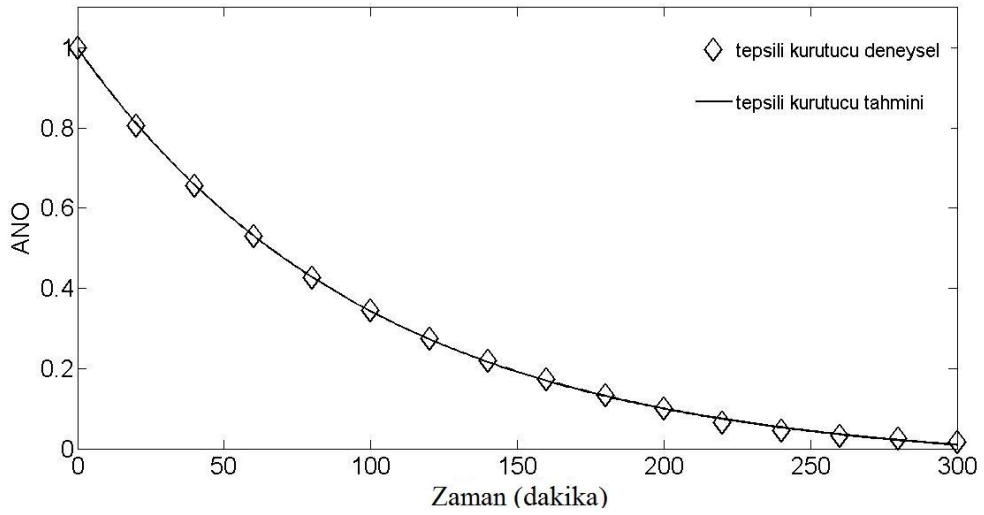
Model İsmi	Katsayılar	Kontrol
Newton	k	0,01102
Page	k	0,00792
	n	1,07
Geliştirilmiş Page I	k	0,01087
	n	1,07
Henderson ve Pabis	a	1,013
	k	0,01116

Çizelge 4.2 Tepsili kurutucuda 60°C’de kurutulmuş brokoli örnekleri için kullanılan modellerin katsayıları (devam)

Logaritmik		
a		1,041
k		0,00993
c		-0,043
İki Terimli		
a		1,087
k ₀		0,00958
b		-0,0908
k ₁		0,00198
İki Terimli Exponansiyel		
a		1,509
k		0,01311
Wang ve Sing		
a		-0,0079
b		1,6×10 ⁻⁶
Difüzyon Yaklaşım		
a		-0,0626
k		0,00111
b		8,828
Verma ve ark.		
a		-0,0626
k		0,00112
g		0,00982

Çizelge 4.2 Tepsili kurutucuda 60°C’de kurutulmuş brokoli örnekleri için kullanılan modellerin katsayıları (devam)

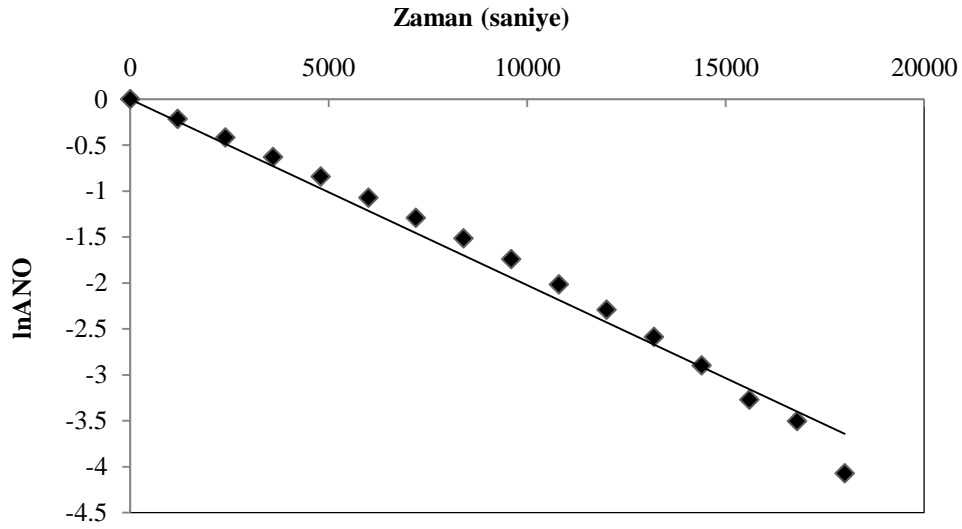
Geliştirilmiş Henderson ve Pabis	
a	-0,2743
k	0,00131
b	0,4295
g	0,00322
c	0,8456
h	0,01136
Midilli ve ark.	
a	0,9981
k	0,01007
n	1,007
b	-0,0001



Şekil 4.3 Tepsili kurutucuyla kurutulan örneklere ait tahmini ve deneysel ANO değerlerinin zamana bağlı değişimi

4.1.3 Efektif Difüzyon Katsayısı

Brokoli örnekleri tepsili kurutucuda kurutulduktan sonra ANO değerleri kullanılarak (Şekil 4.4) efektif difüzyon katsayısı $2,062 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak hesaplanmıştır. Mengeş ve Ertekin (2007), vişne örneklerini bütün halde kurutmuşlardır. Hava sıcaklığı olarak 60, 70, 80°C; hava hızı olarak da 1, 2 ve 3 m/s hızlarını kullanmıştır. Deneyler sonucunda artan sıcaklığa bağlı olarak efektif difüzyon katsayısının arttığı ve $1,216 \times 10^{-10}$ ile $1,429 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ değerleri arasında değiştiği bildirilmiştir.



Şekil 4.4 Tepsili kurutucu ile kurutulan örnekler için hesaplanan lnANO değerlerinin zamana bağlı değişim grafiği

4.1.4 Renk analizi bulguları

Brokoli örneklerinin taze ve tepsili kurutucu kullanılarak yapılan kurutma sonuçlarına ait renk değerleri çizelge 4.3'de verilmiştir. Bu sonuçlar incelendiğinde L^* ve a^* değerleri arasında istatistiksel olarak fark olduğu ($p < 0,05$) ancak b^* değerleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığı görülmüştür. L^* değerindeki bu azalma brokolinin uzun süre sıcaklığa maruz kalmasıyla ortaya çıkan esmerleşme reaksiyonları ile açıklanabilirken, a^* değerlerinin sıfıra yaklaşması kurutma sırasında klorofil içeriğinin zarar görmüş olmasıyla açıklanabilir. Alibaş (2007a), kabak dilimlerini

mikrodalga, sıcak hava ve mikrodalga sıcak hava kombinasyonları kullanarak kurutmuştur. Sıcak hava kullanılarak kurutulan örnekler ile taze örnekler karşılaştırıldığında L* değerleri arasında bu çalışmaya benzer olarak istatistiksel olarak önemli derecede fark olduğu ve kurutulmuş örneklerin renk kaybına uğradığı görülmüştür.

Çizelge 4.3 Taze ve kontrol grubuna ait örneklerin renk değerleri

Örnek	L* değeri	a* değeri	b* değeri
Taze Brokoli	50,3 ^a ±2,09	-14,19 ^c ±1,054	26,39 ^e ±3,37
Kurutulmuş Brokoli	39,32 ^b ±3,12	-6,61 ^d ±1,673	24,08 ^e ±1,915

Farklı harfler ortalamalar arasında istatistiksel açıdan önemli bir fark olduğunu gösterir (p<0,05).

4.1.5 Rehidrasyon analizi bulguları

Brokoli örneklerinin rehidrasyon oranı ıslak ürün ağırlığının kuru ürün ağırlığına bölünmesiyle hesaplanmıştır (g ıslak ürün/g kuru ürün). Kurutulmuş ürünlerin rehidrasyon yeteneğinin kurutma sırasında azalması ürünlerdeki kimyasal, fiziko-kimyasal ve fiziksel değişimlerle ilgilidir. Kurutma sırasında meydana gelen buruşma ve parçalanma sonucu hücrelerde ve dokuların kapiler yapısında bozulmalar meydana gelir ve bu da rehidrasyon yeteneğini olumsuz olarak etkiler (Cemeroğlu vd. 2001). Kontrol grubuna ait rehidrasyon değeri ortalama olarak 6,42 g ıslak ürün/g kuru ürün olarak hesaplanmıştır.

4.1.6 Toplam fenolik madde analizi bulguları

Taze örnekler ve kontrol grubuna ait örneklerin fenolik madde miktarları karşılaştırılmıştır. çizelge 4.4'de toplam fenolik madde miktarları gallik asit cinsinden verilmiştir. Bu sonuçlar incelendiği zaman kurutulmuş örneklerin toplam fenolik madde içeriğinde azalma olduğu görülmüştür. Bu azalma istatistiksel açıdan önemlidir (p<0,05). Brokolinin uzun sürelerde sıcaklığa maruz kalması fenolik madde içeriğine zarar verdiği söylenebilir. Ahmed ve Ali (2013), karnabaharı farklı yöntemlerle

haşlamışlar (buharda ve suda) ve pişirmişlerdir (buharda, suda, mikrodalgada ve tavada kızartarak). İşlem görmüş karnabaharlar ile taze karnabahar fenolik madde içeriği bakımından karşılaştırıldığında fenolik madde miktarlarında azalma meydana geldiği görülmüştür. Türkmen vd. (2004), farklı yöntemler ile pişirdikleri brokolilerin fenolik madde miktarında azalma meydana geldiğini bildirmişlerdir. Bu sonuçlar fenolik madde içeriğinin ısı ile azaldığı sonucunu desteklemektedir.

Çizelge 4.4 Taze brokoli ve kontrol grubuna ait toplam fenolik madde miktarları

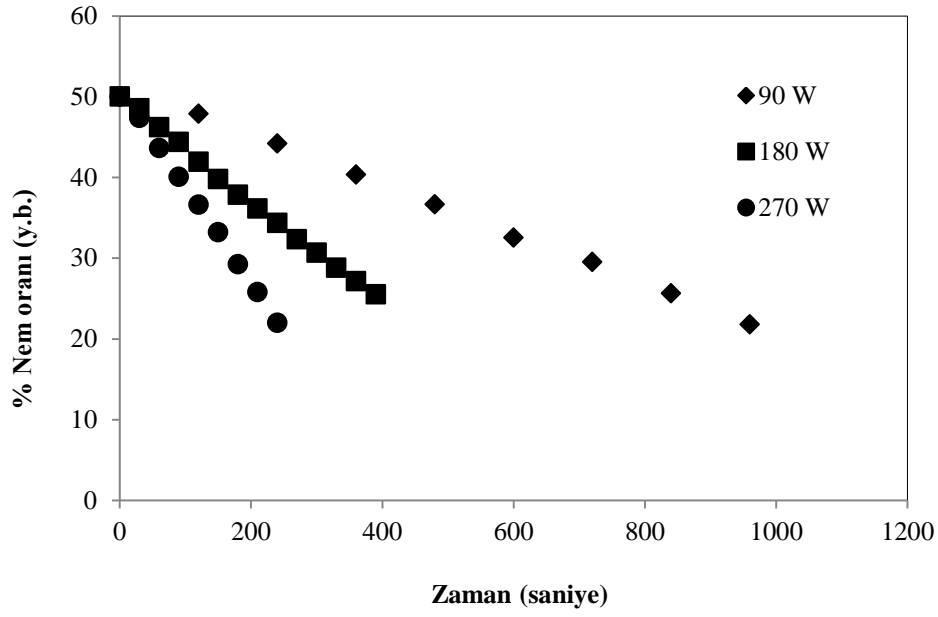
Örnek	Gallik Asit (mg/100 g)
Taze Brokoli	892,358 ^a ±25,7
Kurutulmuş Brokoli	740,579 ^b ± 48,7

Farklı harfler ortalamalar arasında istatistiksel açıdan önemli bir fark olduğunu gösterir (p<0,05).

4.2 Mikrodalga İle Yapılan Kurutma

4.2.1 Nem değerleri

Bu çalışmada örnekler ilk olarak tepsili kurutucuda 60°C’de örnek içerisindeki toplam su miktarının %50’si kalıncaya kadar kurutulduktan sonra mikrodalgada yapılan kurutma işlemine geçilmiştir. Mikrodalgada yapılan kurutma işlemi 90 W, 180 W ve 270 W güçleri kullanılarak nem miktarı benzer (% 20 (y.b.)) (EK 11) olana kadar kurutulmuştur ve bu nem içeriğine ulaşma sürelerinin mikrodalga gücü arttıkça azaldığı görülmüştür. Nem içeriğinin zamana bağlı değişim grafiği şekil 4.5’te görülmektedir.

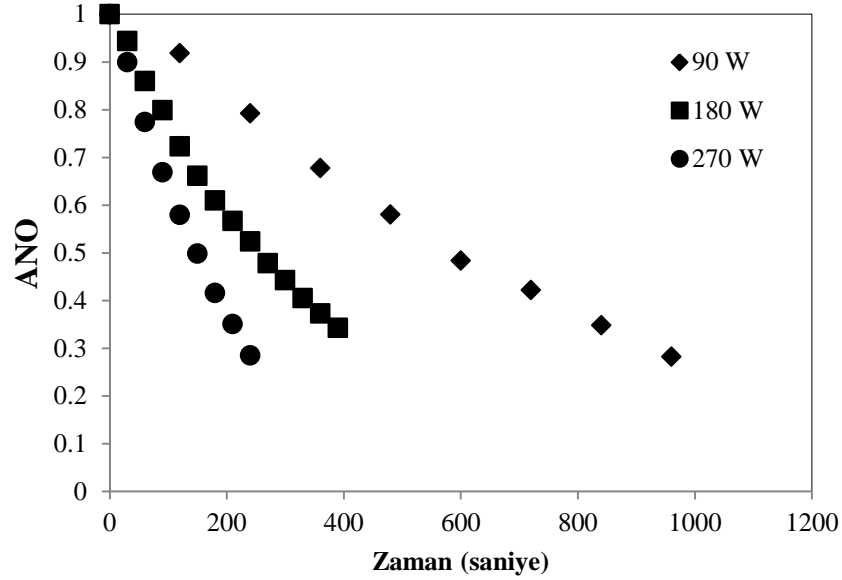


Şekil 4.5 Mikrodalgada farklı güçler de (90, 180, 270 W) kurutulmuş brokoli örneklerinin zamanla değişen nem oranları (%)

4.2.2 Matematiksel modelleme

Kurutma sonrasında uygulanan ayrılabilir nem oranı verilerinin zamana bağlı değişimi şekil 4.6'da verilmiştir. Bu veriler çizelge 2.1'de verilen 12 farklı modele uygulanmıştır. Deneylemlerden elde edilen gerçek veriler ve modellerden elde edilen tahmini verilerden yararlanılarak hesaplanan R^2 , $adj R^2$ ve RMSE değerleri çizelge 4.5'te verilmiştir. Brokoli örnekleri için R^2 değerlerinin 0,9865-0,9998; $adj R^2$ değerlerinin 0,9865-0,9995 ve RMSE değerlerinin de 0,0046-0,0263 arasında değiştiği görülmüştür. Sonuçlar incelendiğinde farklı mikrodalga güçleri için farklı modellerin uygun olduğu görülmüştür. 90 W mikrodalga gücü kullanılarak yapılan kurutmaya ait en uygun modelin Geliştirilmiş Henderson ve Pabis modeli olduğu, 180 W gücü kullanılarak yapılan kurutmaya ait en uygun modelin Midilli ve ark. modelinin ve 270 W mikrodalga gücü kullanılarak yapılan kurutmaya en uygun modelin ise Logaritmik modelin olduğu tespit edilmiştir. Çelen (2010), domates ve elma dilimleriyle yapmış olduğu çalışmada 90, 180, 360 ve 600 W mikrodalga güçlerini kullanarak kuruttuğu ürünlere ait en uygun modeli belirlemiştir. Çalışma sonucunda tüm güçler için elma

örneğine en uygun modelin Page modeli, domates örneğinde ise Verma ve ark. modeli olduğunu bildirmiştir.



Şekil 4.6 Mikrodalgada farklı güçlerde (90, 180, 270 W) kurutulmuş brokoli örneklerinin ayrılabilir nem oranlarının (ANO) zamana bağlı değişimi

Çizelge 4.5 Mikrodalga fırında farklı güçlerde (90, 180, 270 W) kurutulmuş brokoli örnekleri için kullanılan ANO modellerinin istatistiksel parametreleri

Model İsmi	Mikrodalga Gücü (W)	RMSE	R ²	Adj R ²
Newton				
	90	0,02944	0,9865	0,9865
	180	0,00839	0,9985	0,9985
	270	0,02926	0,9878	0,9878
Page				
	90	0,00766	0,9992	0,9991
	180	0,00666	0,9991	0,0990
	270	0,01220	0,9981	0,9979

Çizelge 4.5 Mikrodalga fırında farklı güçlerde (90, 180, 270 W) kurutulmuş brokoli örnekleri için kullanılan ANO modellerinin istatistiksel parametreleri (devam)

Geliştirilmiş				
Page I				
	90	0,00766	0,9992	0,9991
	180	0,00666	0,9991	0,9990
	270	0,01220	0,9981	0,9979
Henderson ve Pabis				
	90	0,02423	0,9920	0,9908
	180	0,00648	0,9992	0,9991
	270	0,02628	0,9913	0,9902
Logaritmik				
	90	0,01423	0,9976	0,9968
	180	0,00673	0,9992	0,9990
	270	0,00775	0,9993	0,9991
İki Terimli				
	90	0,00748	0,9995	0,9991
	180	0,00718	0,9991	0,9989
	270	0,00804	0,9994	0,9991
İki Terimli Exponansiyel				
	90	0,00888	0,9989	0,9988
	180	0,00873	0,9985	0,9983
	270	0,01205	0,9982	0,9979
Wang ve Sing				
	90	0,01455	0,9971	0,9967
	180	0,00704	0,9990	0,9989
	270	0,00802	0,9992	0,9991

Çizelge 4.5 Mikrodalga fırında farklı güçlerde (90, 180, 270 W) kurutulmuş brokoli örnekleri için kullanılan ANO modellerinin istatistiksel parametreleri (devam)

Difüzyon				
Yaklaşımı				
	90	0,00684	0,9995	0,9993
	180	0,00809	0,9988	0,9986
	270	0,00806	0,9993	0,9991
Verma ve ark.				
	90	0,00684	0,9995	0,9993
	180	0,00809	0,9988	0,9986
	270	0,00806	0,9993	0,9991
Geliştirilmiş				
Henderson ve				
Papis				
	90	0,00559	0,9998	0,9995
	180	0,00664	0,9991	0,9990
	270	0,01008	0,9994	0,9986
Midilli ve ark.				
	90	0,00826	0,9993	0,9989
	180	0,00577	0,9994	0,9993
	270	0,00807	0,9994	0,9991

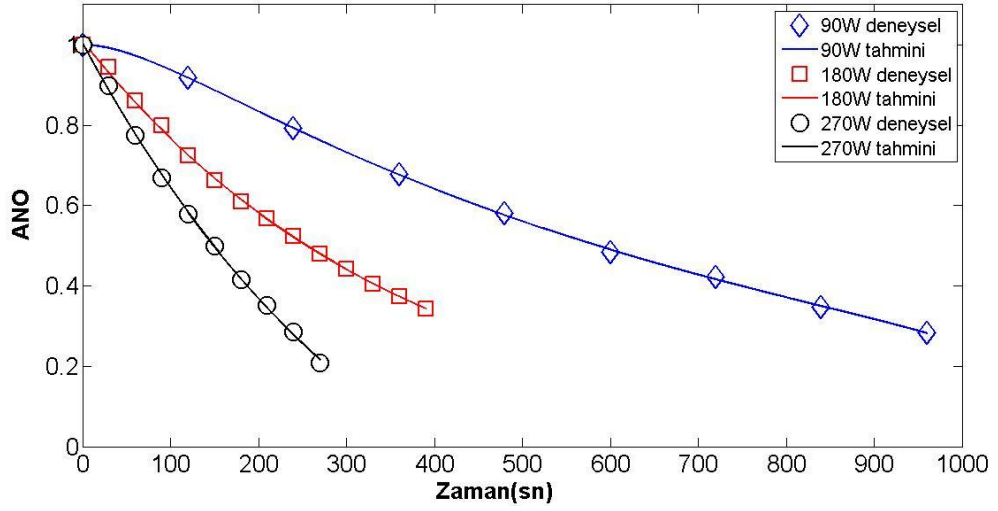
Brokoli örneklerine ait modellerdeki katsayılar MATLAB (R2009b) programı yardımıyla doğrusal olmayan regresyon analizi ile hesaplanmıştır. Hesaplanan katsayılar çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6 Mikrodalga fırında farklı güçlerde (90, 180, 270 W) kurutulmuş brokoli örnekleri için kullanılan model katsayıları

Model İsmi	Katsayılar	90 W	180 W	270 W
Newton				
	k	0,00119	0,002713	0,00489
Page				
	k	0,00029	0,00216	0,00181
	n	1,218	1,041	1,195
Geliştirilmiş Page I				
	k	0,07542	0,1655	0,3041
	n	1,218	1,041	1,195
Henderson ve Pabis				
	a	1,039	1,013	1,034
	k	0,00126	0,002771	0,00512
Logaritmik				
	a	1,498	1,025	1,52
	k	0,00071	0,002713	0,00271
	c	-0,4808	-0,01328	-0,5146
İki Terimli				
	a	-0,1446	1,09	1,047
	k ₀	0,0088	0,002716	0,00393
	b	1,145	-0,08018	-0,03884
	k ₁	0,00142	0,002206	-0,005
İki Terimli Exponansiyel				
	a	1,771	1,008	1,733
	k	0,00178	0,002713	0,00701

Çizelge 4.6 Mikrodalga fırında farklı güçlerde (90, 180, 270 W) kurutulmuş brokoli örnekleri için kullanılan model katsayıları (devam)

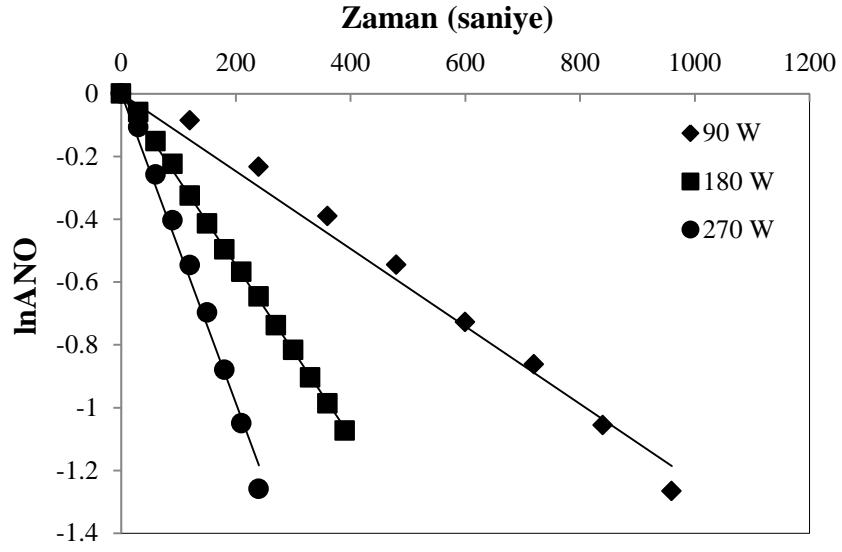
Wang ve Sing				
	a	-0,00097	-0,002417	-0,00393
	b	$2,3 \times 10^{-7}$	$2,15 \times 10^{-6}$	$3,8 \times 10^{-6}$
Difüzyon Yaklaşım				
	a	1,145	2,997	-0,1756
	k	0,00142	0,002021	-0,00173
	b	6,19	0,8498	-1,865
Verma ve ark.				
	a	-0,1455	11,65	-0,1793
	k	0,00888	0,0019	-0,00169
	g	0,00142	0,001832	0,00321
Geliştirilmiş Henderson ve Pabis				
	a	1,097	-20,65	0,1542
	k	0,00134	0,02358	-0,00261
	b	-0,09693	20,7	-0,1367
	g	0,01509	0,02344	-0,00411
	c	$-1,1 \times 10^{-6}$	0,9484	0,9894
	h	-0,01024	0,002549	0,00425
Midilli ve ark.				
	a	1,004	1,004	1,004
	k	0,00027	0,001921	0,00308
	n	1,241	1,083	1,035
	b	$3,2 \times 10^{-5}$	0,0001377	-0,00055



Şekil 4.7 90, 180 ve 270 W mikrodalga gücüne ait tahmini ve deneysel ANO verilerinin zamana bağlı değişimi

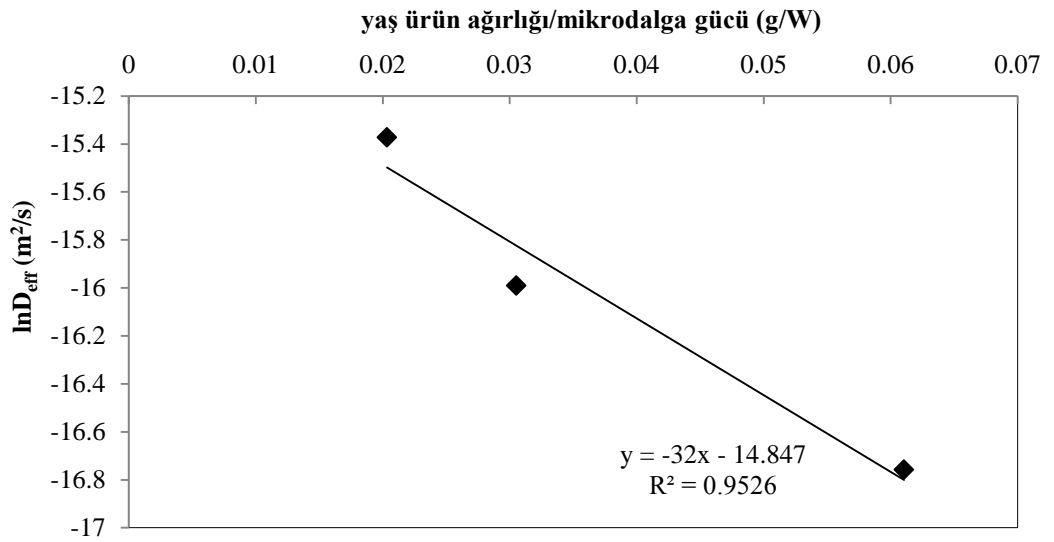
4.2.3. Efektif difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi

Mikrodalga kurutma sonrasında brokoli örneklerinin ANO değerleri kullanılarak (Şekil 4.8) efektif difüzyon katsayıları hesaplanmış ve 90, 180 ve 270 W güçleri kullanılarak yapılan kurutma için sırasıyla $5,269 \times 10^{-8}$, $1,135 \times 10^{-7}$ ve $2,108 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak bulunmuştur. Bu değerler tepsili kurutucu ile karşılaştırıldığında efektif difüzyon katsayılarının arttığı görülmüştür. Farklı mikrodalga güçleri arasındaki efektif difüzyon katsayısına bakıldığı zaman ise mikrodalga gücü arttıkça efektif difüzyon katsayısının arttığı görülmüştür. Mikrodalga gücü arttıkça örneğin birim zamanda maruz kaldığı mikrodalga oranı artar bu da yapı içerisindeki polar moleküllerin etkileşimini arttıracığı için difüzyon katsayısının yükselmesine neden olur. Özbek ve Dadalı (2007), mikrodalga gücünün nane yapraklarının nem içeriği, nem oranı, kuruma hızı, kuruma süresi ve efektif difüzyon katsayısı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada 180, 360, 540, 720 ve 900 W mikrodalga güçleri kullanılmıştır. Bu güçlerdeki difüzyon katsayısı değerlerinin $3,982 \times 10^{-11}$ - $2,073 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değiştiği bulunmuştur.



Şekil 4.8 90, 180, 270 W mikrodalga güçleri için lnANO değerlerinin zamana bağlı değişim grafiği

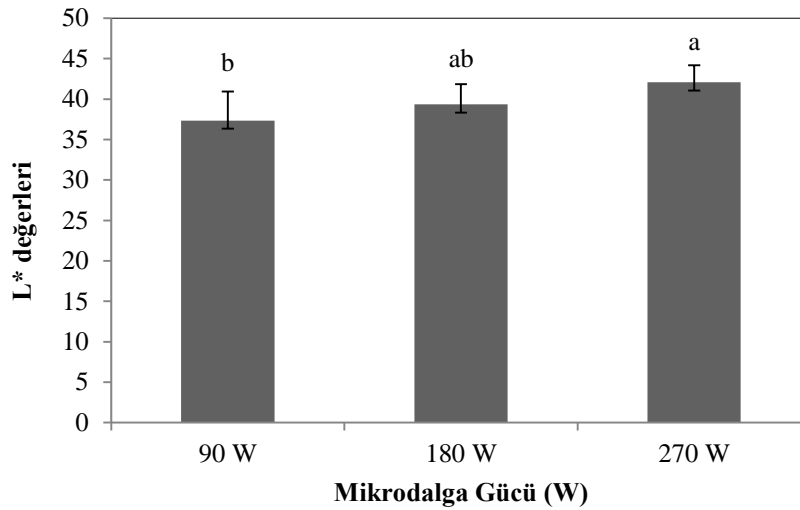
Efektif difüzyon katsayılarının doğal logaritması ($\ln(D_{\text{eff}})$), ürünün yaş ağırlığının mikrodalga gücü oranına (m/P) karşı grafiğe geçirildiğinde elde edilen doğrunun eğiminden ürünün aktivasyon enerjisi (E_A) hesaplanmıştır (Şekil 4.9) ve 32 W/g olarak bulunmuştur. Kutlu (2013), 5 ve 10 mm kalınlığındaki kabak örneklerini 180, 360 ve 540 W mikrodalga güçleri kullanarak kurutmuştur ve aktivasyon enerjisinin 5 ve 10 mm kabak örnekleri için sırasıyla 46,6 W/g ve 13,2 W/g olarak hesaplamıştır.



Şekil 4.9 Mikrodalga fırında kurutulmuş brokoli örneklerinin $\ln(D_{\text{eff}})$ (m^2/s) değerlerinin ürün ağırlığının mikrodalga gücüne (g/W) oranıyla değişimi

4.2.4 Renk analizi bulguları

Brokoli örneklerinde farklı mikrodalga güçlerinin kullanılmasının brokoli renk değerleri üzerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla da L^* , a^* ve b^* değerleri gözlemlenmiştir. Brokoli örneklerinin mikrodalga kullanılarak yapılan kurutma sonucu elde edilen renk değerlerinin ortalamaları şekil 4.10'da verilmiştir. Farklı mikrodalga güçleri kullanılarak yapılan kurutma için ortalama parlaklık değerleri 90 W için 37,33; 180 W için 39,34; 270 W için ise 42,06 olarak bulunmuştur. Mikrodalga gücünün parlaklık değeri üzerine etkili olduğu görülmektedir. Artan mikrodalga gücü ile parlaklık değeri de artmaktadır. İstatistiksel olarak bakıldığında ise yalnızca en düşük güç ile (90W) en yüksek güç (270W) değerleri kullanılarak elde edilen parlaklık değerlerinin birbirinden önemli derecede farklı olduğu söylenebilir. Buradan yola çıkarak yüksek mikrodalga güçlerinde işlem süresinin kısa olmasının brokolide parlaklık değerlerini daha az etkilediği söylenebilir. Bu L^* değerleri taze ve kontrol grubuna ait değerler ile karşılaştırıldığında ise kontrol grubu ve farklı mikrodalga güçleri kullanılarak yapılan kurutma sonuçları arasında önemli bir fark olmadığı ancak taze örnekten farklı oldukları görülmüştür (EK 1). Taze örneklere en yakın L^* değeri ortalaması ise, 270 W mikrodalga gücü kullanılarak yapılan kurutmaya aittir. Bu sonuç Alibaş (2007b)'ın ısırgan otu yapraklarını mikrodalga, sıcak hava ve vakumla kuruttuğu çalışma ile benzerlik göstermektedir. Bu çalışmada ısırgan otları mikrodalgada kurutulurken farklı mikrodalga güçleri (500, 650, 750 ve 850 W) kullanılmıştır ve taze örneklere en yakın sonuca 850 W mikrodalga gücü ile yapılan kurutma ile ulaşılmıştır.

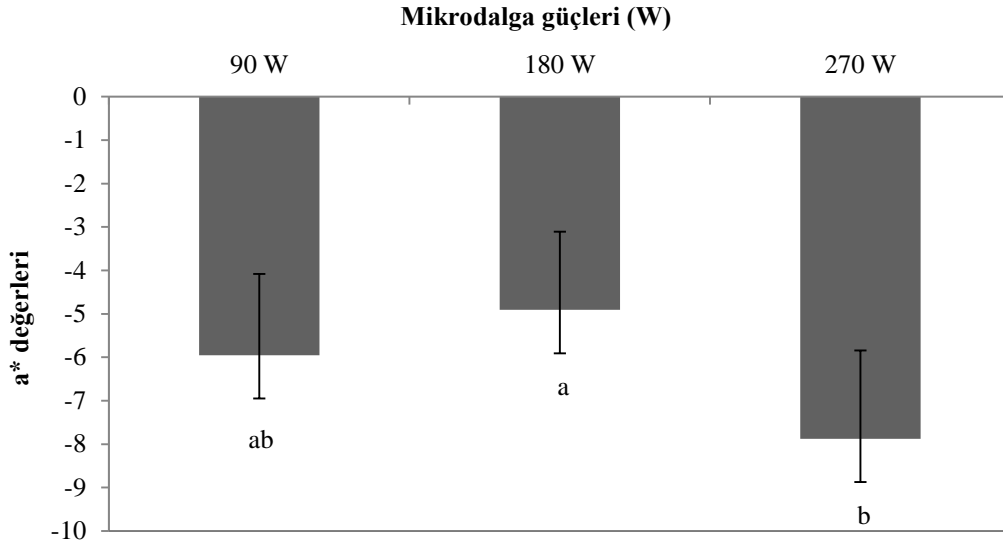


Şekil 4.10 Farklı mikrodalga güçleri (90, 180, 270 W) kullanılarak kurutulan örneklere ait L* değerleri

Farklı harfler ortalamalar arasında istatistiksel açıdan önemli bir fark olduğunu gösterir ($p < 0,05$). Değerlere ait standart sapma oranları şekil üzerinde gösterilmiştir.

Meyve ve sebzelerde yaygın olarak bulunan ve karakteristik yeşil rengi veren bitki pigmentleri klorofillerdir. Gıdalarda bulunan temel klorofil pigmentleri klorofil a ve klorofil b'dir. Klorofil a mavi-yeşil, klorofil b sarı-yeşil renkten sorumludurlar (Steet ve Tong 1996, Almela vd. 2000). Klorofiller seyreltik asit, ısı, ışık ve oksijenden kolayca etkilenirler ve degradasyona uğrarlar (Tonucci ve Von Elbe 1992). Negatif a* değerleri yeşil rengin varlığının göstergesidir. -a* değeri 0 noktasına yaklaştıkça örnek içindeki yeşil rengin azaldığını göstermektedir. Sonuçlar incelendiği zaman a* değerleri ortalaması 90 W için -5,949; 180 W için -4,906; 270 W için -7,874 olarak bulunmuştur (Şekil 4.11). Farklı güçlerde kurutulmuş örnekler arasında istatistiksel açıdan önemli bir fark olduğu görülmüştür ($p < 0,05$). Taze örnekler, kontrol grubu ve farklı mikrodalga güçleri karşılaştırıldığında kurutma yöntemleri arasında fark gözlenmezken tüm örneklerin taze örnekten farklı olduğu görülmüştür (EK 2). Bunun yanında 270 W mikrodalga gücü kullanılarak kurutulmuş örneklerdeki a* değerlerinin ortalamasının ise taze örneklere en yakın olduğu görülmüştür. Bu sonuçlardan yola çıkarak brokolide ısı ile birlikte yeşil renk kaybı meydana geldiği ancak yüksek mikrodalga gücünün işlem süresi kısalığı sayesinde bu kaybı azalttığı söylenebilir. Alibaş (2007a), yapmış olduğu çalışmada da kabak dilimlerini mikrodalga, sıcak hava ve mikrodalga-sıcak hava kombinasyonu kullanarak kurutmuştur. Kabak dilimleri mikrodalga ile kurutulurken

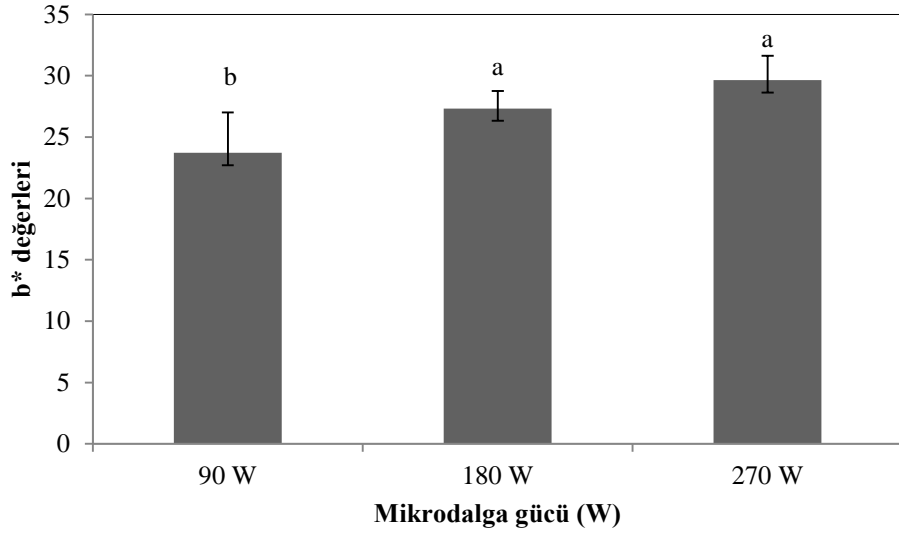
160 ve 350 W güçleri kullanılmıştır. Bu güçlerdeki (160 ve 350 W) kurutma sonucu elde edilen a* değerleri ortalaması taze örneğe daha yakın bulunmuştur.



Şekil 4.11 Farklı mikrodalga güçleri (90, 180, 270 W) kullanılarak kurutulan örneklere ait a* değerleri

Farklı harfler ortalamalar arasında istatistiksel açıdan önemli bir fark olduğunu gösterir ($p < 0,05$). Değerlere ait standart sapma oranları şekil üzerinde gösterilmiştir.

Pozitif b* değerleri sarı rengi ifade etmektedir. Farklı mikrodalga güçleri kullanılarak elde edilen b* değerleri şekil 4.12’de verilmiştir. Mikrodalga gücünün b* değerleri üzerine etkili olduğu görülmektedir ($p < 0,05$). Taze örneklerin b* değerleri ortalaması 26,39 olarak bulunurken kontrol grubu ve farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan örnekler için en yüksek ve en düşük b* değerleri ortalamaları sırasıyla 29,63 ve 23,71 olarak bulunmuştur. Bu değerler arasındaki fark istatistiksel açıdan önemlidir ($p < 0,05$) (EK 3). 270 W ve 180 W gücü kullanılarak yapılan kurutma ile elde edilen b* değerleri ortalaması ile taze örneklere ait b* değerlerinin ortalaması arasında fark gözlemlenmemiştir. 90 W mikrodalga gücünün kurutma süresinin uzun olmasından dolayı diğer güçlere oranla üründe daha fazla sararmaya neden olduğunu söyleyebiliriz. bu sonuç literatür ile de uyumludur. Karaaslan (2008), farklı mikrodalga güçleri (180, 360, 540, 720, 900 W) kullanarak kurutmuş olduğu ıspanakların b* değerlerinin mikrodalga gücü arttıkça arttığını bildirmiştir ($p < 0,01$). Genel olarak kurutulan örneklerde sararma meydana geldiğini söyleyebiliriz.

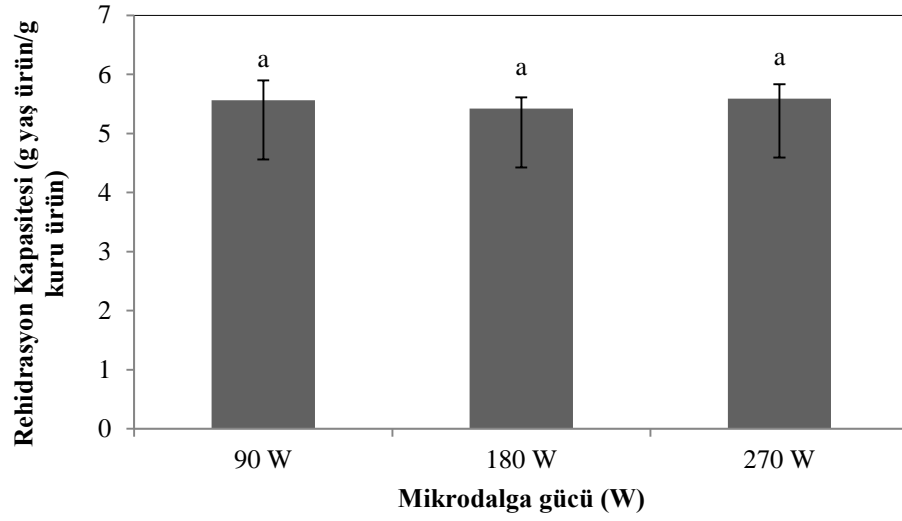


Şekil 4.12 Farklı mikrodalga güçleri (90, 180, 270 W) kullanılarak kurutulan örnekler için b* değerleri

Farklı harfler ortalamalar arasında istatistiksel açıdan önemli bir fark olduğunu gösterir ($p < 0,05$). Değerlere ait standart sapma oranları şekil üzerinde gösterilmiştir.

4.2.5 Rehidrasyon analizi bulguları

Brokoli örneklerinin farklı kurutma koşullarındaki ortalama rehidrasyon kapasitesi değerleri 90 W için 5,56; 180 W için 5,42; 270 W için 5,59 g ıslak ürün/g kuru ürün olarak hesaplanmıştır. Bu değerler şekil 4.13'te gösterilmiştir. İstatistiksel analiz yapıldığı zaman farklı mikrodalga güçlerinin rehidrasyon kapasitesi üzerine etkisi olmadığı görülmüştür ($p > 0,05$). Bu sonuçlar kontrol grubu ile kıyaslandığında aralarındaki farkın istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p < 0,05$) ve kontrol grubuna ait örneklerin rehidrasyon kapasitelerinin daha yüksek olduğu görülmüştür (EK 4). Kutlu (2013) patlıcan, kabak ve domates örneklerini tepsili kurutucu ve mikrodalga ile kuruttuğu çalışmada mikrodalga fırında kurutulan patlıcan ve kabak örneklerinin rehidrasyon kapasitelerinin daha fazla olduğunu gözlemlerken domates örneklerinde ise tepsili kurutucu ile kurutulmuş örneklerin rehidrasyon kapasitelerinin daha iyi olduğunu bildirmiştir. Bu sonuçlar gösteriyor ki, mikrodalga kurutmanın rehidrasyon kapasitesi üzerine etkileri ürünlere göre farklılık göstermektedir.



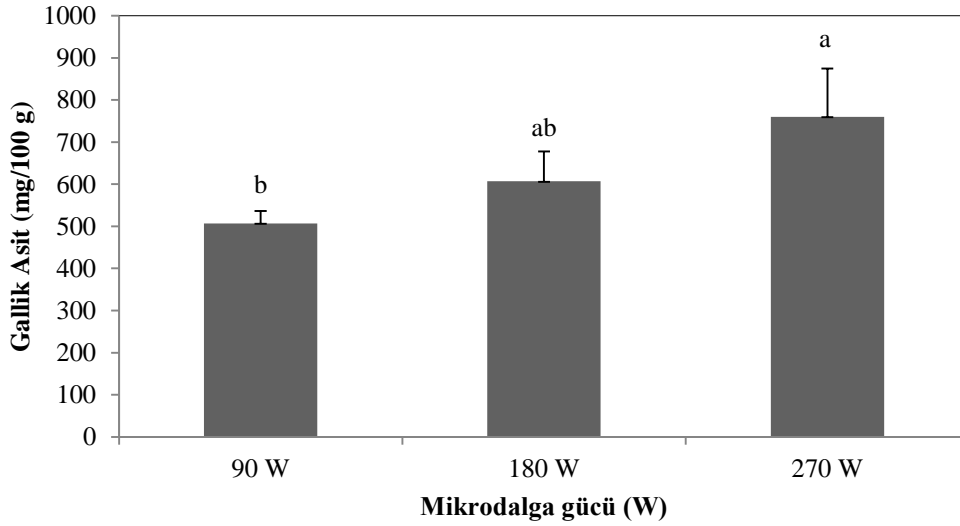
Şekil 4.13 Farklı mikrodalga güçleri (90, 180, 270 W) kullanılarak kurutulan örneklere ait rehidrasyon değerleri

Farklı harfler ortalamalar arasında istatistiksel açıdan önemli bir fark olduğunu gösterir ($p < 0,05$). Değerlere ait standart sapmalar şekil üzerinde gösterilmiştir.

4.2.6 Toplam Fenolik Madde Analiz Bulguları

Gallik asit, kateşin, epikateşin, epigallokateşin galat, quercetin ve rutin brokolinin içermiş olduğu fenolik maddelerdendir (Chuanphongpanic ve Phanichphant 2006). Toplam fenolik madde miktarı uygulanan ısı işlemler ile azalma göstermektedir (Ismail vd. 2004). Mikrodalga kullanılarak kurutulan örneklerin toplam fenolik madde tayini sonuçları (Şekil 4.14) incelendiği zaman aralarındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu ($p < 0,05$), 90 W gücünde kurutulan örneklerin toplam fenolik madde içeriğinin 180 ve 270 W gücünde kurutulan örneklere göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bunun yanında 180 ve 270 W mikrodalga güçleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmamasına karşın 270 W gücüne ait değerlerin ortalaması daha yüksektir. Bu durumun düşük güçler kullanılmış olmasına rağmen ürünün daha uzun süre bu güce maruz kalmasından kaynaklandığı yorumu yapılabilir. Taze ve kurtulmuş örnekler için ortalama toplam fenolik madde içerikleri gallik asit cinsinden 90 W için 507,1 mg gallik asit/100 g kuru madde; 180 W için 606,9 mg gallik asit/100 g kuru madde; 270 W için 759,8 mg gallik asit/100 g kuru madde; kontrol grubu için 740,58 mg gallik asit/100 g kuru madde ve taze brokoli için 892,4 mg gallik asit/100 g kuru madde olarak

kaydedilmiştir. Yapılan istatistik analiz sonucu hesaplanan bu değerler arasında önemli bir fark olduğu sonucuna ulaşılmıştır ($p<0,05$), (EK 5). 270 W gücü kullanılarak kurutulan örneklerin içerdiği fenolik madde miktarı ile taze örneklerin içerdiği fenolik madde miktarı arasında fark gözlemlenmemiştir. Kurutulmuş örnekler karşılaştırıldığında en düşük fenolik madde miktarına 90 W gücünde kurutulan örneklerde ulaşılmıştır. Burada ısı işlem süresinin çok kısa olması fenolik madde içeriğine daha az zarar verdiği söylenebilir. Türkmen vd. (2005), yapmış oldukları çalışmada brokoliyi kaynatarak, buharda ve mikrodalgada pişirmişler ve en yüksek fenolik madde içeriğine mikrodalga da pişirilen örneklerde ulaşmışlardır.



Şekil 4.14 Farklı mikrodalga güçleri (90, 180, 270 W) kullanılarak kurutulan örneklere ait fenolik madde içeriği

Farklı harfler ortalamalar arasında istatistiksel açıdan önemli bir fark olduğunu gösterir ($p<0,05$). Değerlere ait standart sapmalar şekil üzerinde gösterilmiştir.

5. SONUÇ

Yapılan çalışmada brokolinin nem içeriğinin çok yüksek olması nedeniyle tek başına mikrodalga kullanılarak kurutulmasının pişmeye neden olduğu görülmüştür. Bu sebeple brokoli örnekleri geleneksel sıcak hava (tepsili kurutucu) ve mikrodalga kombinasyonu ile kurutulmuştur. Mikrodalgada kurutma yapılırken gücün artması ile kuruma hızının arttığı ve bu nedenle kuruma süresinin kısaldığı gözlenmiştir. Mikrodalga fırın kullanılarak son ürüne ulaşma süreleri 90 W gücünde yapılan kurutmada ortalama %48,66, 180 W gücünde yapılan kurutmada ortalama %50,83 ve 270 W gücü kullanılarak yapılan kurutmada ortalama % 52 oranlarında azalmıştır.

Bu çalışmada kurutma yapılan 90 W, 180 W ve 270 W mikrodalga güçleri ve tepsili kurutucu kullanılarak yapılan kontrol örnekleri için en uygun matematiksel modeller belirlenmiştir. Bu modeller 90 W için Geliştirilmiş Henderson ve Pabis modeli, 180 W için Midilli ve ark. modeli, 270 W ve kontrol grubu için ise Logoritmik model olarak sıralanabilir.

Tepsili kurutucuda kurutulan brokoli örnekleri için ANO değerleri kullanılarak efektif difüzyon katsayısı $2,062 \times 10^{-9}$ m²/s olarak hesaplanmıştır. 90, 180 ve 270 W kullanılarak kurutulan brokoli örnekleri için ANO değerleri kullanılarak efektif difüzyon katsayıları sırasıyla $5,269 \times 10^{-8}$, $1,135 \times 10^{-7}$ ve $2,108 \times 10^{-7}$ m²/ s olarak bulunmuştur. Buna bağlı olarak aktivasyon enerjisi de 32 W/g olarak hesaplanmıştır.

Tepsili kurutma sonrası ve farklı mikrodalga güçlerinde yapılan kurutma sonrasında elde edilen L*, a* ve b* değerleri incelendiğinde 270 W mikrodalga gücü kullanılarak kurutulan örneklerin renk kalitelerinin daha iyi olduğu görülmüştür. Bu güçte kurutulan örneklerin daha kısa süre ile işlem görmelerinin renk değerlerinin daha iyi olması üzerine etkisi olduğu söylenebilir.

Tepsili kurutma sonrası (kontrol grubu örnekleri) ve farklı mikrodalga güçlerinde yapılan kurutma sonrasında örneklerin rehidrasyon oranı incelendiğinde tepsili kurutucu

ile kurutulan örneklerin rehidrasyon oranının en yüksek olduğu görülürken; farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan örneklerin rehidrasyon değerleri arasında farklılık görülmemiştir.

Bütün koşullar için fenolik madde miktarları dikkate alındığında ise taze örneklerin fenolik madde miktarına en yakın sonuca 270 W mikrodalga gücü kullanılarak yapılan kurutma ile ulaşıldığı görülmüştür. Bunu sırasıyla kontrol grubu, 180 W ve 90 W mikrodalga güçlerinde yapılan kurutma sonuçları izlemiştir.

Sonuç olarak, brokolinin kurutulmasında mikrodalğanın kullanılması kurutma süresini önemli ölçüde azalttığından bu yöntemin gıda endüstrisinde kullanılmasının yolunu açmaktadır. Mikrodalga yöntemiyle kurutulan örneklerin kalite özellikleri dikkate alındığında ise 270 W gücü kullanılmasının ürün kalitesini arttırdığı söylenebilir.

KAYNAKLAR

- Abdulah, R., Miyazaki, K., Nakazawa M., Koyama, H. 2005. Chemical forms of selenium for cancer prevention. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, Vol. 19; pp.141-150.
- Ahmed, F.A. and Ali, F.M. 2013. Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Fresh and Processed White Cauliflower. pp.9, Egypt.
- Akbulut, M. and Çoklar, H. 2008. Physicochemical and rheological properties of sesame pastes (Tahin) processed from hulled and unhulled roasted sesame seeds and their blends at various levels. *Journal of Food Process Engineering*, Vol. 31; pp. 488-502.
- Albarracin, M.C., Berbin C. and Machado, W. 1995. Evaluacion agronomica de cultivares de brocoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). *Revista de la Facultad de Agronomca*, pp.71-83.
- Alibaş, İ. 2007a. Microwave, Air And Combined Microwave-Air Drying Parameters of Pumpkin Slices. *Science Direct, LWT*: 40, pp. 1445-1451, Bursa, Turkey.
- Alibaş, İ. 2007b. Energy Consumption and Colour Characteristics of Nettle Leaves During Microwave, Vacuum and Convective Drying. *Biosystems Engineering*, Vol. 96 (4); pp. 495-502, Bursa, Turkey.
- Almela L., Fernández-López J.A. and Roca M.J. 2000. High-performance liquid chromatographic screening of chlorophyll derivatives produced during fruit storage. *J. Chromatogr. A*, Vol. 870; pp. 483-489.
- Anonim. 2015. Web sitesi: <http://www.tuik.gov.tr>, Erişim Tarihi: 28.06.2015.
- Anonim. 2015. Web sitesi: <http://web.firat.edu.tr>, Erişim Tarihi: 06.09.2015.
- Anonim. 2015. Web sitesi: <http://www.gunessistemleri.com>, Erişim Tarihi: 21.11.2015.
- Anonim. 2015. Web sitesi: <http://www.kurutma.net>, Erişim Tarihi: 21.11.2015
- Anonim. 2015. Web sitesi: <http://www.solarwall.com.tr>, Erişim Tarihi: 21.11.2015
- Arabshahi, S., Devi, D.V. and Urooj, A. 2007. Antioxidant Properties of Various Solvent Extracts of Mulberry (*Morus indica* L.) Leaves, *Food Chemistry*, Vol. 100; pp. 1100–1105, India.

- Babalıs, S.J., Papanicolau, E., Kyriakis, N. and Belessiotis, V.G. 2006. Evaluation of thin layer drying models for describing drying kinetics of figs (*Ficus carica*). *Journal of Food Engineering*, Vol. 75(2); pp.205-214.
- Bozokalfa, M.K., Eşiyok, D., Yoltaş, T. ve Koçak, M. 2004. Bazı Brokkoli Çeşitlerinin Verim, Kalite ve Teknolojik Özelliklerinin Belirlenmesi. V. Sebze Tarımı Sempozyumu, 21-24 Eylül, Çanakkale.
- Buffler, C. 1993. *Microwave Cooking and Processing. Engineering Fundamentals for the Food Scientist*, Pp. 6–7, 150–151. New York, USA: Avi Book.
- Cartea, M.E. and Velasco, P. 2008. Glucosinolates in Brassica foods: Bioavailability in food and significance for human health. *Phytochemistry Reviews*. Vol. 7(2); pp. 213–229.
- Cemeroğlu, B., Yemencioğlu, A. ve Özkan, M. 2001. Meyve ve Sebzelerin Bileşimi ve Soğukta Depolanmaları, Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, No:24, Ankara, s.328.
- Cemeroğlu, B. 2004. *Meyve Sebze İşleme Teknolojisi*. 2. Cilt, ISBN 975-98578-2-0, Ankara.
- Cemeroğlu, B. 2010. *Gıda Mühendisliğinde Temel İşlemler*. ISBN 978-975-98246-1-7, Ankara.
- Chandrasekaran, S., Ramanathan, S. and Basak, T. 2013. Microwave Food Processing A Review. *Food Research International*, Vol. 52; pp.243–261, India.
- Chen H., Zhang M., Fang Z. and Wang Y. 2013. Effects of different drying methods on the quality of squid cubes. *Dry Technology*, Vol.31, pp.1911–1918, 8. Kingsly RP, Goyal.
- Chuanphongpanich, S. and Phanicphant, S. 2006. Method Development and Determination of Phenolic compounds in Broccoli Seeds Samples. *Journal Science*, Vol.33(1); pp. 103-107.
- Cohen, J. S., and Yang, T. C. S. 1995. Progress in food dehydration. *Trends in Food Science and Technology*, Vol. 6; pp. 20–25.
- Crank, J. 1975. *The mathematics of diffusion*. 2nd edn. Clarendon Press, Oxford.
- Çınar, İ. 2009. Ozmotik dehidrasyon mekanizması ve uygulamaları. *Gıda*, 34 (5); s.325-329.
- Dadalı, 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.

- Datta, A.K. and Davidson, P.M. 2000. Microwave and radio frequency processing. *Journal of Food Science*, Vol. 65; pp. 32–41.
- Datta, A.K. and Anantheswaran, R.C. 2000. *Handbook of microwave technology for food applications*. New York, Marcel Dekker Inc.
- Doğan, H. ve Ersöz, M.A. 2009. Akışkan Yatak Sürekli Kurutucuda Tuz Kurutulmasının Deneysel İncelenmesi. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15, Karabük, Türkiye.
- Doymaz, İ., Tuğrul, N. ve Pala, M. 2000. Maydanozun Kurutma Karakteristiklerinin İncelenmesi. *Yıldız Teknik Üniversitesi*, s.8, İstanbul.
- Doymaz, İ. 2005. Sun Drying of Figs: an experimental study. *Journal of Food Engineering*, Vol: 71; pp. 403-407.
- Doymaz, İ. 2012. Effect of blanching temperature and dipping time on drying time of broccoli. *Food Science and Technology International*, Vol.20(2); pp. 149–157.
- Duan, X., Zhang, M., Mujumdar, A.S. and Wang, R. 2010a. Trends in microwave assisted freeze drying of foods. *Drying Technology*, Vol.28; pp. 444–453.
- Dziki, U.G., Jezyna M., Swieca M., Dziki D., Baraniak B. and Czyz J. 2012. Effect of bioaccessibility of phenolic compounds on in vitro anticancer activity of broccoli sprouts. *Food Research International*, Vol. 49; pp. 469–476.
- El-Sebaei, A.A., Aboul-Enein, S., Ramadan M.R.I. and El-Gohary H.G. 2002. Experimental Investigation of an Indirect Type Natural Convection Solar Dryer. *Energy Conversion and Management*, 43:16; pp. 2251-2266.
- Eraslan, D. ve Heperkan, D. 2006. Fındıkta Mikrodalga ile Kurutmanın Küfler Üzerine Etkisinin İncelenmesi. *Türkiye 9. Gıda Kongresi*, 24-26 Mayıs, s. 457-460, Bolu.
- Eren, Ö. 2005. Mikrodalga Kurutucuda Maydanozun Kurutulmasına Yönelik Bir Çalışma. Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi.
- Eroğlu, E. ve Yıldız, H. 2011. Gıdaların Ozmotik Kurutulmasında Uygulanan Yeni Tekniklerin Enerji Verimliliği Bakımından Değerlendirilmesi. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, Cilt: 6, No: 2, s. 41-48.
- Eşiyok, D. ve Dönmez, A. 2000. Brokoli yetiştiriciliğinde Ekim Zamanı Bitki Sıklığı ve Tepe Budamasının Verim Üzerine Etkileri. III. Sebze Tarımı Sempozyumu, s. 285-289, Isparta.
- Filiz, E.B. 2015. Elma Cipsinin Bazı Kalite ve antioksidan Özelliklerine Kurutma, Ambalajlama ve Depolamanın Etkisi. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

- Finley, J.W., Davis, C. and Feng, Y. 2000. Selenium from high selenium broccoli protects rats from colon cancer. *Journal of Nutrition*, Vol.130; pp. 2384-2389.
- Funebo, T. and Ohlsson, T. 1998. Microwave-Assisted Air Dehydration of Apple and Mushroom. *Journal of Food Engineering*, Vol. 38; pp. 353-367, Göteborg, Sweden.
- Gad, N. and Abd El-Moez, M. R. 2011. Broccoli growth, yield quantity and quality as affected by cobalt nutrition. *Agriculture and Biology Journal of North America*, Vol. 2; pp. 226-231.
- Geankoplis, C.J. 2011. Taşınma Süreçleri ve Ayırma Süreci İlkeleri. ISBN: 978-975 6240, 40-3. Çeviren, Sinan Yapıcı.
- Gölcü, M. ve Şen, F. 2014. Mikrodalga ile Islak Viyolin Kurutulabilirliğinin Denysel Olarak İncelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(4), 11-115.
- Günay, A.1984. Özel Sebze Yetiştiriciliği. Cilt 3. Çağ Matbaası, s.312, Ankara.
- Henderson, S.M. and Pabis, S. 1961. Grain drying theory I: Temperature effect on drying coefficient. *Journal of Agriculture Research Engineering*, Vol. 6; pp. 169-174.
- Icier, F., Colak, N., Erbay, Z., Kuzgunkaya E.H. and Hepbasli A.A. 2010. Comparative study on exergetic performance assessment for drying of broccoli florets in three different drying systems. *Drying Technology*, Vol. 28; pp. 193-204.
- Ismail, A., Marjan, Z.M., and Foong, C.W. 2004. Total antioxidant activity and phenolic content in selected vegetables. *Food Chemistry*, Vol. 87; pp. 581-586.
- İzli, N. and Işık, E. 2015. Color and Microstructure Properties of Tomatoes Dried by Microwave, Convective, and Microwave-Convective Methods. *International Journal of Food Properties*, Vol, 18; pp. 241-249, Bursa, Turkey.
- Jeffery, E.H., Brown, A.F., Kurilich, A.C., Keck, A.S., Matusheski, N., Klein, B.P., Juvik, J.A. 2003. Variation in content of bioactive components in broccoli. *Journal of Food Composition and Analysis*, Vol.16(3); pp. 323-330.
- Karaaslan, S. 2008. Sebze ve Endüstri Bitkilerinin Mikrodalgayla Kurutulması Üzerine Çalışmalar. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, s. 195, 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.
- Karaaslan, S. 2012. Meyve ve Sebzelerin Mikrodalga Destekli Kurutma Sistemleri ile Kurutulması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, No:7(2), s. 123-129.
- Karathanos, V.T. 1999. Determination on Water Content of Dried Fruits by Drying Kinetics. *Journal Food Engineering*, Vol.39; pp. 337-344.
- Keçebaş, T. 2007. Farklı Haşlama Uygulamaları ile Saklamanın Kurutulmuş Brokolinin Renk ve Antioksidan Aktivitesi Üzerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, s.86, Adana.
- KIJ, A., AJN, K. and TA, Y. 2007. Testing of the Performance of a Fruit and Vegetable Solar Drying System in Iraq. *Desalination* Vol.209; pp. 163–170.
- Kutlu, N. 2013. Domates, Kabak ve Patlıcanın Kurutma Karakteristiklerinin Belirlenmesi ve Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, s.135, Ankara
- Lewis, W.K. 1921. The rate of drying of solid materials. *Industrial Engineering Chemistry*, Vol,13; pp: 427-443.
- Lin, T.M., Durance, T.D. and Scaman, C.H. 1998. Characterization of Vacuum Microwave, Air and Freeze Dried Carrot Slices. *Food Research International*, Vol.31 (2); pp. 111-117
- Maskan, M. 2000. Microwave/air and microwave finish drying of banana. *Journal of Food Engineering*, Vol. 44; pp. 71–78.
- Matusheski, N.V., Juvik, J.A., and Jeffery, E.H. 2004. Heating decreases epithiospecifier protein activity and increases sulforaphane formation in broccoli. *Phytochemistry*, Vol. 65(9); pp. 1273–1281.
- Mengeş, H.O. ve Ertekin C. 2007. Vişne Kurutmada Kurumanın Çeşitli Modellerle Açıklanması. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, No:21(42); s.4-10, Konya, Türkiye.
- Midilli, A., Küçük, H. and Yapar, Z. 2002. A New Model for Single-Layer Drying. *Drying Technology*, Vol.20(7); pp.1503-1513.
- Mrki`c, V., Cocci, E., Rosa, M. D. and Sacchetti G. 2006. Effect of drying conditions on bioactive compounds and antioxidant activity of broccoli (*Brassica oleracea* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Vol. 86; pp. 1559–1561.

- Monteiro, R.L., Carciofi B.A.M., Jr, A.M. and Laurindo J.B. 2015. How to Make a Microwave Vacuum Dryer with Turntable. *Journal of Food Engineering*, Vol.166; pp. 276–284, Brazil.
- Moreno, D.A., Carvajal, M., Lo'pez-Berenguer, C. and Garcı'a-Viguera, C.2006. Chemical and biological characterization of nutraceutical compounds of broccoli. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, Vol. 41; pp. 1508–1522.
- Mukherjee, S., Gangopadhyay, H. and Das, D.K. 2008. Broccoli: A unique vegetable that protects mammalian hearts through the redox cycling of the thioredoxin superfamily. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, Vol. 56; pp. 609–617.
- Özkan, A.I., Akbudak, B. ve Akbudak, N. 2007. Microwave Drying Characteristics of Spinach. *Journal of Food Engineering*, Vol. 78; pp. 577–583, Bursa, Türkiye.
- Öztekin, S. Ve Soysal, Y., 2002. Denge Nemi Ölçüm ve Hesaplama Yöntemleri. Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği Çalıştayı, 21-22 Mart, İzmir.
- Page, G.E. 1949. Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers. MSc. Thesis, Purdue University.
- Pei, F., Shi, Y., Gao, X., Wu, F., Mariga, M.A., Yang, L.Z., An, X., Xin, Z., Yang, F. and Hu, Q. 2014. Changes in Non-Volatile Taste Components of Button Mushroom (*Agaricus bisporus*) During Different Stages of Freeze Drying and Freeze Drying Combined with Microwave Vacuum Drying. *Food Chemistry*, Vol.165; pp. 547–554, China.
- Reis dos Ramos L.C., Ruffo de Oliveira V., Hagen M. E. K., Jablonski A., Flores S. H. and Rios A.O. 2015. Carotenoids, flavonoids, chlorophylls, phenolic compounds and antioxidant activity in fresh and cooked broccoli (*Brassica oleracea* var. Avenger) and cauliflower (*Brassica oleracea* var. Alphina F1), *Food Science and Technology*, Vol. 63; pp.177-183.
- Quintero-Ramos, A., Borne, M.C. and Anzaldúa-Morales, A. 1992. Texture and Rehydration of Dehydrated Carrot as Affected by Low Temperature Blanching. *Journal of Food Science*, Vol.57(5); pp. 1127-1128.
- Sacılık, K. and Elicin, A.K. 2006. The thin lyer drying chaeacteristicof organik apple slices. *Journal of Food Engineering*, Vol. 73; pp. 281–289, Ankara, Turkey.
- Saraçoğlu, I.A., 2002. Bitkilerdeki Sağlık Mucizesi, Boyut Matbaacılık, İstanbul
- Sermenli, T., Mavi, K. and Yılmaz, S. 2011. Determination of Transplanting Dates of Broccoli (*Brassica Oleracea* L. Var. Italica Plenck) Under Antakya conditions. *The Journal of Animal and Plant Sciences*, Vol.21(4); pp. 638 -641.

- Schiffmann, R.F. 1986. Food Product Development for Microwave Processing. Food Technology, Vol. 40 (6); pp. 94-98.
- Sharaf-Eldeen, Y.I. and Hamdy, M.Y. 1979. Falling rate drying of fully exposed biological materials: A review of mathematical models. ASAE Paper, No: 79-6622, Winter Meeting of ASAE.
- 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., 2000. İşletme Ölçeğinde Çeşitli Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Kurutulmasına Yönelik Bir Araştırma. Doktora Tezi (Yayınlanmamış), Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, s.123, Adana.
- Soysal, Y., Ayhan, Z. ve Eştürk, O. 2009. Mikrodalga ile Meyve ve Sebze Kurutmada Enerji Kullanım Verimliliği ve Ürün Kalitesinin Arttırılmasında İleri Kurutma Tekniklerinin Uygulanması Üzerine Araştırmalar. TÜBİTAK Proje No:105 O 547, s.136, Antakya, HATAY.
- Slinkard, K., and Singleton, V.L. 1977. Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. American Journal of Enology and Viticulture, Vol. 28; pp. 49-55.
- Splittstoesser, E.W. 1990. Organic and traditional methods. Vegetable growing handbook, Third edition. ISBN:0-442-23971-8. pp. 362.
- Steet J.A. and Tong C.H. 1996. Degradation kinetics of green color and chlorophylls in peas by colorimetry and HPLC. J. Food Sci., Vol. 61; pp. 924-927.
- Swain, T. and Hillis, W.E. 1959. The Phenolic Constituents of Prunus domestica I. The Quantitative Analysis of Phenolic Constituents. Journal of the Science of Food and Agriculture, Vol. 10; pp. 63-68
- Şen, E. 2010. Kuşburnu Meyvesinin Vakum ve Mikrodalga Tekniği ile Kurutulması ve Kurutma Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, s.61, Tokat.
- Thostenson, E.T. and Chou, T.W. 1999. Microwave Processing: Fundamentals and Applications. Composites: Part A, Vol.30; pp. 055–1071, USA.
- Tonucci LH and Von Elbe JH. 1992. Kinetics of the formation of zinc complexes of chlorophyll derivatives. J. Agric. Food Chem., Vol.40; pp. 2341-2344.

- Topuz, A. 2002. Akışkan yatakta fındık kurutma prosesinde ısı ve kütle geçişinin incelenmesi. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, s.193.
- Türkmen, N., Sarı, F. and Velioglu, S. 2005. The Effect of Cooking Methods On Total Phenolics and Antioxidant Activity of Selected Green Vegetables. Food Chemistry, Vol.93; pp. 713–718, Ankara, Turkey
- Vadivambal, R. and Jayas, D.S. 2007. Changes in Quality of Microwave-Treated Agricultural Products-A Review. Biosystems Engineering, Vol.98; pp. 1-6.
- Venkatachalapathy, K. and Raghavan G.S.V. 1999. Combined Osmotic and Microwave Drying of Strawberries. Drying Technology, Vol.17 (4,5); pp. 837-853, Canada.
- 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.
- Vural, H., Eşiyok, D. ve Duman, I. 2000. Kültür Sebzeleri, Ege Üniversitesi Ziraat Fak. Bahçe Bitkileri Bölümü, Bornova-İzmir.
- Yaldız, O., Ertekin, C. ve Uzun, H.İ. 2000. Çekirdeksiz Üzümün İnce Tabaka Halinde Güneş Enerji İle 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.
- Yaldız, O., Ertekin, C. and Uzun, H.I., (2001). Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes. Energy, Vol. 26; pp. 457-465.
- Yüzgeç, U. 2005. Kurutma sürecinin modellenmesi ve akıllı öngörülü denetimi. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 1-35, Kocaeli.
- Zielinska, M. and Markowski, M. 2010. Air drying characteristics and moisture diffusivity of carrots. Chem. Eng. Process, Vol.49; pp. 212–218.
- Zhang, D. and Hamauzu, Y. 2004. Phenolics, Ascorbic Acid, Carotenoids and Antioxidant Activity of Broccoli and Their Changes During Conventional and Microwave Cooking. Food Chemistry, Vol.88; pp. 503-509, Japon.
- Zhang, M., Tang, J., Mujumdar, A.S. and Wang, S. 2006. Trends in microwave-related drying of fruits and vegetables. Trends in Food Science and Technology, Vol.17; pp. 524–534.
- Wang, C.Y. and Sing, R.P. 1978. A Single Layer Drying Equation for Rough Rice. Am. Soc. Agr. Eng., Vol.78; pp.3001, St. Joseph, MI.

Witte, K.K., Clark, A.L. and Cleland, J.G. 2001. Chronic heart failure and micronutrients. *Journal of the American College of Cardiology*, Vol.37; pp. 1765–1774.

EKLER

EK 1 Farklı koşullarda kurutulan brokoli örnekleri ile taze brokoli örneklerine ait L* değerlerinin ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi tabloları

EK 2 Farklı koşullarda kurutulan brokoli örnekleri ile taze brokoli örneklerine ait a* değerlerinin ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi tabloları

EK 3 Farklı koşullarda kurutulan brokoli örnekleri ile taze brokoli örneklerine ait b* değerlerinin ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi tabloları

EK 4 Farklı koşullarda kurutulan brokoli örnekleri ile taze brokoli örneklerine ait rehidrasyon değerlerinin ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi tabloları

EK 5 Farklı koşullarda kurutulan brokoli örnekleri ile taze brokoli örneklerine ait fenolik madde miktarının ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi tabloları

EK 6 Farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan brokoli örnekleri ile taze brokoli örneklerine ait L* değerlerinin ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi tabloları

EK 7 Farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan brokoli örnekleri ile taze brokoli örneklerine ait a* değerlerinin ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi tabloları

EK 8 Farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan brokoli örnekleri ile taze brokoli örneklerine ait b* değerlerinin ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi tabloları

EK 9 Farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan brokoli örnekleri ile taze brokoli örneklerine ait rehidrasyon değerlerinin ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi tabloları

EK 10 Farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan brokoli örnekleri ile taze brokoli örneklerine ait fenolik madde miktarının ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi tabloları

EK 11 Farklı mikrodalga güçleri kullanılarak kurutulan brokoli örneklerinin son nem içeriklerine ait değerlerin ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi tabloları

EK 1 Farklı koşullarda kurutulan brokoli örnekleri ile taze brokoli örneklerine ait L* değerlerinin ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi tabloları

Faktör	Levels	Değerler
Uygulanan işlem şartları	5	Taze; Kontrol; 90 W; 180 W; 270 W

Varyasyon Kaynağı	DF	Adj SS	Adj MS	F	P
Uygulanan işlem şartları	4	378,1	94,534	11,83	0,000
Hata	22	175,8	7,992		
Toplam	26	554,0			

Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi

Uygulanan İşlem	N	Ortalamalar ± standart sapma
Taze Örnek	3	50,30 ± 2,09 A
Kontrol	6	39,33 ± 3,12 B
90 W	6	37,33 ± 3,59 B
180 W	6	39,34 ± 3,12 B
270 W	6	42,065 ± 2,12 B

EK 2 Farklı koşullarda kurutulanan brokoli örnekleri ile taze brokoli örneklerine ait a* değerlerinin ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi tabloları

Faktör	Levels	Değerler
Uygulanan işlem şartları	5	Taze; Kontrol; 90 W; 180 W; 270 W

Varyasyon Kaynağı	DF	Adj SS	Adj MS	F	P
Uygulanan işlem şartları	4	192,21	48,052	15,00	0,000
Hata	22	70,46	3,203		
Toplam	26	262,66			

Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi

Uygulanan İşlem	N	Ortalamalar ± standart sapma
Taze Örnek	3	-14,188 ± 1,014 B
Kontrol	6	-6,614 ± 1,673 A
90 W	6	-5,950 ± 1,868 A
180 W	6	-4,906 ± 1,8 A
270 W	6	-7,874 ± 2,029 A

EK 3 Farklı koşullarda kurutulanan brokoli örnekleri ile taze brokoli örneklerine ait b* değerlerinin ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi tabloları

Faktör	Levels	Değerler
Uygulanan işlem Şartları	5	Taze; Kontrol; 90 W; 180 W; 270 W

Varyasyon Kaynağı	DF	Adj SS	Adj MS	F	P
Uygulanan işlem Şartları	4	148,7	37,171	6,53	0,001
Hata	22	125,2	5,689		
Toplam	26	273,8			

Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi

Uygulanan İşlem	N	Ortalamalar ± standart sapma
Taze Örnek	3	26,39 ± 3,37 A B
Kontrol	6	24,077 ± 1,915 B
90 W	6	23,71 ± 3,29 B
180 W	6	27,733 ± 1,416 A B
270 W	6	29,63 ± 1,989 A

EK 4 Farklı koşullarda kurutulanan brokoli örnekleri ile taze brokoli örneklerine ait rehidrasyon değerlerinin ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi tabloları

Faktör	Levels	Değerler
Uygulanan işlem Şartları	4	Kontrol; 90 W; 180 W; 270 W

Varyasyon Kaynağı	DF	Adj SS	Adj MS	F	P
Uygulanan işlem Şartları	3	7,148	2,38267	30,94	0,000
Hata	49	3,774	0,07701		
Toplam	52	10,922			

Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi

Uygulanan İşlem	N	Ortalamalar ± standart sapma
Kontrol	11	6,4248 ± 0,3213 A
90 W	14	5,56 ± 0,3376 B
180 W	12	5,4235 ± 0,187 B
270 W	16	5,5898 ± 0,2416 B

EK 5 Farklı koşullarda kurutulan brokoli örnekleri ile taze brokoli örneklerine ait fenolik madde miktarının ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi tabloları

Faktör	Levels	Değerler
Uygulanan işlem şartları	5	Taze; Kontrol; 90 W; 180 W; 270 W

Varyasyon Kaynağı	DF	Adj SS	Adj MS	F	P
Uygulanan işlem şartları	4	322259	80565	16,30	0,000
Hata	17	84013	4942		
Toplam	21	406272			

Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi

Uygulanan İşlem	N	Ortalamalar ± standart sapma
Taze Örnek	3	892,4 ± 25,7 A
Kontrol	6	740,6 ± 48,7 B C
90 W	4	507,1 ± 29,4 D
180 W	4	606,9 ± 71,2 C D
270 W	5	759,8 ± 115,2 A B

EK 6 Farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan brokoli örnekleri ile taze brokoli örneklerine ait L* değerlerinin ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi tabloları

	Levels	Değerler
Mikrodalga güçleri	3	90 W; 180 W; 270 W

Varyasyon Kaynağı	DF	Adj SS	Adj MS	F	P
Mikrodalga güçleri	2	67,72	33,858	4,29	0,034
Hata	15	118,50	7,900		
Toplam	17	186,21			

Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi

Mikrodalga Güçleri	N	Ortalamalar ± standart sapma
90 W	6	37,33 ± 3,59 B
180 W	6	39,34 ± 2,51 A B
270 W	6	42,065 ± 2,12 A

EK 7 Farklı mikrodalga güçlerinde kurutulmuş brokoli örnekleri ile taze brokoli örneklerine ait a* değerlerinin ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi tabloları

	Levels	Değerler
Mikrodalga güçleri	3	90 W; 180 W; 270 W

Varyasyon Kaynağı	DF	Adj SS	Adj MS	F	P
Mikrodalga güçleri	2	27,20	33,598	3,76	0,047
Hata	15	54,24	3,616		
Toplam	17	81,44			

Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi

Mikrodalga Güçleri	N	Ortalamalar ± standart sapma
90 W	6	-5,950 ± 1,868 A B
180 W	6	-4,906 ± 1,800 A
270 W	6	-7,874 ± 2,029 B

EK 8 Farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan brokoli örnekleri ile taze brokoli örneklerine ait b* değerlerinin ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi tabloları

	Levels	Değerler
Mikrodalga güçleri	3	90 W; 180 W; 270 W

Varyasyon Kaynağı	DF	Adj SS	Adj MS	F	P
Mikrodalga güçleri	2	109,56	54,780	9,78	0,002
Hata	15	84,06	5,604		
Toplam	17	193,62			

Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi

Mikrodalga Güçleri	N	Ortalamalar ± standart sapma
90 W	6	23,71 ± 3,29 B
180 W	6	27,733 ± 1,416 A
270 W	6	29,630 ± 1,989 A

EK 9 Farklı mikrodalga güçlerinde kurutulmuş brokoli örnekleri ile taze brokoli örneklerine ait rehidrasyon değerlerinin ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi tabloları

	Levels	Değerler
Mikrodalga güçleri	3	90 W; 180 W; 270 W

Varyasyon Kaynağı	DF	Adj SS	Adj MS	F	P
Mikrodalga güçleri	2	0,2057	0,10284	1,46	0,244
Hata	39	2,7413	0,07029		
Toplam	41	2,9470			

Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi

Mikrodalga Güçleri	N	Ortalamalar ± standart sapma
90 W	14	5,560 ± 0,3376 A
180 W	12	5,4235 ± 0,1870 A
270 W	16	5,5898 ± 0,2416 A

EK 10 Farklı mikrodalga güçlerinde kurutulmuş brokoli örnekleri ile taze brokoli örneklerine ait fenolik madde miktarlarının ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi tabloları

	Levels	Değerler
Mikrodalga güçleri	3	90 W; 180 W; 270 W

Varyasyon Kaynağı	DF	Adj SS	Adj MS	F	P
Mikrodalga güçleri	2	146445	73222	10,34	0,004
Hata	10	70821	7082		
Toplam	22	217266			

Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi

Mikrodalga Güçleri	N	Ortalamalar ± standart sapma
90 W	4	507,1 ± 29,4 B
180 W	4	606,9 ± 71,2 A B
270 W	5	759,8 ± 115,2 A

EK 11 Farklı mikrodalga güçleri kullanılarak kurutulan brokoli örneklerinin son nem içeriklerine ait değerlerin ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi tabloları

Faktör	Levels	Değerler
Mikrodalga güçleri	3	90 W; 180 W; 270 W

Varyasyon Kaynağı	DF	Adj SS	Adj MS	F	P
Mikrodalga güçleri	2	27,28	13,64	0,82	0,477
Hata	7	115,77	16,54		
Toplam	9	143,05			

Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi

Mikrodalga Güçleri	N	Ortalamalar ± standart sapma
90 W	3	21,81 ± 4,89 A
180 W	3	25,508 ± 1,693 A
270 W	4	21,98 ± 4,89 A

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Merve Silanur YILMAZ

Doğum Yeri : ORDU

Doğum Tarihi : 28.06.1989

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Ordu Fatih Lisesi (2003-2007)

Lisans : Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği
Bölümü (2008-2013)

Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği
Anabilim Dalı (Şubat 2014-Aralık 2015)

Çalıştığı Kurum ve Yılı

- Tatsen Unlu Mamüller, Gıda Mühendisi, Temmuz 2013-Ağustos 2014