

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

Sevil KARAASLAN

**SEBZE VE ENDÜSTRİ BİTKİLERİNİN MİKRODALGAYLA
KURUTULMASI ÜZERİNE ÇALIŞMALAR**

TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI

ADANA, 2008

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SEBZE VE ENDÜSTRİ BİTKİLERİNİN MİKRODALGAYLA
KURUTULMASI ÜZERİNE ÇALIŞMALAR**

Sevil KARAASLAN

DOKTORA TEZİ

TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI

Bu tez 06/08/2008 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği İle Kabul Edilmiştir.

İmza:.....

Prof.Dr.İ.Kurtuluş TUNÇER
DANIŞMAN

İmza:.....

Prof.Dr.Serdar ÖZTEKİN
ÜYE

İmza:.....

Doç.Dr.Turgut İKİZ
ÜYE

İmza:.....

Prof.Dr.Zafer S.DOĞANTAN
ÜYE

İmza:.....

Prof.Dr. Emin GÜZEL
ÜYE

Bu tez Enstitümüz Tarım Makinaları Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof. Dr. Aziz ERTUNÇ
Enstitü Müdürü
İmza ve Mühür

**Bu çalışma Ç.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.
Proje No: ZF2004D7**

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

DOKTORA TEZİ

SEBZE VE ENDÜSTRİ BİTKİLERİNİN MİKRODALGAYLA KURUTULMASI ÜZERİNE ÇALIŞMALAR

Sevil KARAASLAN

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI

Danışman :Prof. Dr. İ.Kurtuluş TUNÇER
Yıl: 2008, Sayfa: 193
Jüri :Prof. Dr. İ.Kurtuluş TUNÇER
Prof. Dr. Serdar ÖZTEKİN
Doç.Dr. Turgut İKİZ
Prof.Dr. Zafer S.DOĞANTAN
Prof. Dr. Emin GÜZEL

Bu çalışmada, ıspanak yaprakları, kırmızıbiber ve çay yapraklarının kurutulması mikrodalga fan destekli konveksiyonel fırın kombinasyonunda incelenmiştir. Kırmızıbiber, ıspanak ve çay yaprakları mikrodalga, mikrodalga-sıcak hava kombinasyonu ve sıcak havayla kurutulmuşlardır. Ispanak, kırmızıbiber ve çayın kuruma zamanı, kuruma oranı, renk değişimi ve enerji tüketim değerleri üzerindeki mikrodalga ile kurutma (180, 360, 540, 720 ve 900W), mikrodalga güç (sabit 180W ve 540W) ile sıcak havayla kurutma (100, 180, 230°C) ve sadece sıcak havayla kurutma (100, 180 ve 230° C) nın etkileri araştırılmıştır.

Bir laboratuvar kurutucusunda ürünlerin kuruma süresinin belirli bir anındaki nem içeriğini belirlemek amacıyla Newton, Page, Geliştirilmiş Page, Henderson ve Pabis, Logaritmik, Wang ve Singh, Difüzyon yaklaşımı, Verma, iki Terimli Ekspansiyel, basitleştirilmiş Fick Difüzyonu, Midilli ve Küçük Modelleri birbiri ile karşılaştırılmıştır. Bu modellerin performansları gözlemlenen ve tahmini nem oranları arasında belirtme katsayısı değeri (R^2), tahmini standart hatası (SEE) ve kalanların kareleri toplamına (RSS) göre karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre tüm ürünlerde Midilli ve Küçük Modelinin ürünlerin kuruma davranışını diğerlerinden daha iyi açıkladığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler:Kurutma, Ispanak, Kırmızıbiber, Çay, Mikrodalga,

ABSTRACT

PhD. THESIS

THE EXPERİMENTS ON VEGETABLES AND INDUSTRIAL PLANT DRYING BY MICROWAVE ENERGY

Sevil KARAASLAN

DEPARTMENT OF AGRICULTURAL MACHINERY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF CUKUROVA

Supervisor :Prof. Dr. İ.Kurtuluş TUNÇER

Year: 2008, Pages: 193

Jury :Prof. Dr. İ.Kurtuluş TUNÇER

Prof. Dr. Serdar ÖZTEKİN

Assit. Prof. Dr. Turgut İKİZ

Prof.Dr. Zafer S.DOĞANTAN

Prof.Dr. Emin GÜZEL

In this work, the drying of red pepper, spinach and tea leaves were investigated in a combined microwave–fan assisted convection oven. Spinach and tea leaves, red pepper were dried by using microwave, microwave-fan combination and fan drying. The effects of microwave power drying (180, 360, 540, 720 and 900W), combining of microwave power (constant 180 and 540 W) and fan (100, 180, 230°C) drying and only fan drying (100, 180, 230°C) on drying time, drying ratio, color changing and energy consumption of spinach and tea leaves, red pepper have been investigated.

A laboratory dryer is used for processes and moisture content at any drying time were compared by Newton, Page, Modified Page, Henderson and Pabis, Logarithmic, Wang and Singh, Diffusion Approach, Verma, Two Term Exponential, Simplified Fick's Diffusion, Midilli-Kucuk Equation Models. The performances of these models were compared according to the coefficient of determination (R^2), standard error of estimate (SEE) and residual sum of square (RSS), between the observed and predicted moisture ratios. It was found that the Midilli-Kucuk model described the drying ratio satisfactorily in all drying methods.

Keywords: Drying, Spinach, red pepper, tea, microwave, modelling

ÖNSÖZ

Sebze ve meyvelerin yaş olarak tüketilmeleriyle birlikte, kurutularak farklı amaçlarda kullanılması, saklama koşullarının daha kolay olması, ekonomik açıdan kazançlı olması nedeniyle tercih edilmekte ve uygulanmaktadır. Ülkemizde sebze ve meyvelerin önemli bir kısmı hasat edildikten sonra korunmak ve depolanmak durumundadır. Meyve ve sebzeler üretildikleri dönemler dışında ve hiç üretimi yapılmayan bölgelerde tüketilmek veya özel durumlarda kullanılmak amacıyla farklı muhafaza teknikleri uygulanmaktadır. Meyve ve sebze muhafaza yöntemlerinden biri olan kurutma ile ürünün mikrobiyolojik ve enzimsel değişimleri önlenmektedir.

Bu çalışmanın amaçları sırasıyla, tarımsal ürünlerin kurutulmasında (özel olarak sebzeler ve endüstri bitkileri) mikrodalga uygulayarak ısı enerjisi oluşturma konusunda temel verileri kazanmak, kurutma yöntemini optimize etmek, her tarımsal ürünün, yüksek frekanslı mikrodalga alanının etkisine konulunca ürünün gösterdiği davranış ve değişikliklerini saptamak, en uygun kurutma yöntemini deneysel olarak bulmaktır. Bu amaçlar doğrultusunda, kurutma materyali olarak seçilen ıspanak, kırmızıbiber ve çay bitkileri ile denemeler gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın tasarımı, yürütülmesi ve sonuçların değerlendirilmesine kadar geçen her aşamada değerli katkılarını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. İ.Kurtuluş TUNÇER'e teşekkürlerimi sunarım.

Araştırmanın düzenlenmesi için maddi kaynak sağlayan Ç.Ü. Araştırma Fonu Saymanlığına ve araştırmanın çeşitli aşamalarında bölüm olanaklarından yararlanmamı sağlayan Tarım Makinaları Bölüm Başkanlığı'na, model geliştirme çalışmalarım sırasında büyük yardımlarını gördüğüm sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Kubilay VURSAVUŞ'a, doktora tezimin düzenlenmesinde yardımcı olan Arş. Gör. Selçuk UĞURLUAY ve Arş. Gör. Tunahan ERDEM'e, bana destek veren tüm arkadaşlarıma ve çok değerli Tarım Makinaları Bölümü Ailesine, her zaman yanımda olan değerli aileme, gösterdiği sabır ve anlayıştan dolayı sevgili eşim Nihat KARAASLAN'a teşekkür ederim.

Adana,2008

Sevil KARAASLAN

İÇİNDEKİLER

	SAYFA
ÖZ.....	I
ABSTRACT	II
ÖNSÖZ	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
SIMGELER VE KISALTMALAR.....	XIV
1. GİRİŞ	1
1.1. Yüksek Frekans Sistemleri.....	2
1.1.1. Mikrodalga Teknolojisi.....	5
1.1.2. Mikrodalga Jeneratörleri.....	5
1.1.3. Magnetronlar	6
1.1.4. Mikrodalga Kullanım Alanları	8
1.1.5. Mikrodalga İle Kurutma	8
1.1.6. Mikrodalga ile Kurutmanın Avantajları	8
1.1.7. Mikrodalga Fırının Çalışma Prensipleri	9
1.2. Ispanak Bitkisinin Genel Özellikleri.....	13
1.3. Kırmızıbiber Bitkisinin Genel Özellikleri	17
1.4. Çay Bitkisinin Genel Özellikleri.....	22
1.4.1. Çay Üretim Aşamaları.....	29
1.4.1.1. Çay Filizlerinin Hasadı ve Nakli	29
1.4.1.2. Soldurma	30
1.4.1.3. Kıvrırma	32
1.4.1.4. Oksidasyon	34
1.4.1.5. Kurutma.....	35
1.4.1.6. Çayların Elenmesi ve Sınıflandırılması	36
1.4.1.7. Çayların Depolanması ve Ambalajlanması	37
1.5. Çay Kurutmada Yeni Bir Teknoloji.....	38
1.6. Çalışmanın Amacı.....	40
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	42

3. MATERYAL VE YÖNTEM	54
3.1. Materyal.....	54
3.2. Yöntem	54
3.2.1. Ürünlerin Toplanması Ve Kurutma Denemeleri İçin Hazırlanması ..	55
3.2.2. Ürünlerin Mikrodalga Fırında Kurutulması.....	55
3.2.3. Ürün Neminin Saptanması	56
3.2.4. Renk Tayini.....	58
3.2.5. Kuruma Değişkenlerinin Saptanması	60
3.2.6. Kuruma Eğrilerinin Matematiksel Modellemesi.....	60
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	64
4.1. Ispanak Kurutma	64
4.1.1. Ispanak Kurutma Eğrilerine İlişkin Bulgular	64
4.1.1.1. Mikrodalga ile Kurutulan Ispanak Kuruma Eğrileri.....	64
4.1.1.2. Mikrodalga ve Sıcak Hava Kombinasyonu ile Kurutulan Ispanağın Kuruma Eğrileri	66
4.1.1.3. Sıcak Hava ile Kurutulan Ispanağın Kuruma Eğrileri.....	68
4.1.2. Farklı Kurutma Koşullarındaki Ispanakların Kurutma Sabiti Değerleri	70
4.1.3. Ispanak Renk Değişimine İlişkin Bulgular	78
4.2. Kırmızıbiber Kurutma	84
4.2.1. Kırmızıbiber Kurutma Eğrilerine İlişkin Bulgular	84
4.2.1.1. Mikrodalga ile Kurutulan Kırmızı Biber Kuruma Eğrileri	84
4.2.1.2. Mikrodalga ve Sıcak Hava Kombinasyonu ile Kurutulan Kırmızıbiberin Kuruma Eğrileri	86
4.2.1.3. Sıcak Havayla Kurutulan Kırmızıbiberin Kuruma Eğrileri	88
4.2.2. Farklı Kurutma Koşullarındaki Kırmızıbiberlerin Kurutma Sabiti Değerleri	90
4.2.3. Kırmızıbiber Renk Değişimine İlişkin Bulgular	98
4.3. Çay Kurutma.....	104
4.3.1. Çay Kurutma Eğrilerine İlişkin Bulgular.....	104
4.3.1.1. Mikrodalga ile Kurutulan Çayın Kuruma Eğrileri.....	104

4.3.1.2. Mikrodalga ve Sıcak Hava Kombinasyonu ile Kurutulan	
Çayın Kuruma Eğrileri.....	105
4.3.1.3. Sıcak Hava ile Kurutulan Çayın Kuruma Eğrileri.....	107
4.3.2. Farklı Kurutma Koşullarındaki çayın Kurutma Sabiti Değerleri.....	110
4.3.3. Çay Renk Değişimine İlişkin Bulgular.....	118
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	125
KAYNAKLAR.....	130
ÖZGEÇMİŞ	136
EKLER.....	137
EK-1	138
EK-2.....	152
EK-3.....	166

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 1.1. 2005 Yılı Verilerine Göre Dünyada Başlıca Ispanak Üretimi Yapan Ülkeler (FAO, 2006).	15
Çizelge 1.2. 2005 Yılı Verilerine Göre Dünyada Başlıca Kırmızıbiber Üretimi Yapan Ülkeler (FAO, 2006).	19
Çizelge 1.3. 2005 Yılı Verilerine Göre Dünyada Başlıca Çay Üretimi Yapan Ülkeler (FAO, 2006).	24
Çizelge 1.4. Ülkeler Bazında Kişi Başına Yıllık Çay Tüketim Değerleri (gram).....	25
Çizelge 4.1. Ispanağa Ait Tüm Parametreler	69
Çizelge 4.2. Ispanak Yapraklarının Mikrodalga ile Kurutma İşlemlerine İlişkin Kullanılan Model Eşitliklerin Non Lineer Analiz Sonuçları.....	71
Çizelge 4.3. Ispanak Yapraklarının 180 W Mikrodalga Gücü ile Sıcak Hava Kurutma İşlemlerine İlişkin Kullanılan Model Eşitliklerin Non Lineer Analiz Sonuçları.....	72
Çizelge 4.4. Ispanak Yapraklarının 540 W Mikrodalga Gücü ile Sıcak Hava Kurutma İşlemlerine İlişkin Kullanılan Model Eşitliklerin Non Lineer Analiz Sonuçları.....	73
Çizelge 4.5. Ispanak Yapraklarının Sıcak Hava ile Kurutma İşlemlerine İlişkin Kullanılan Model Eşitliklerin Non Lineer Analiz Sonuçları.....	74
Çizelge 4.6. Mikrodalga -Sıcak Hava Kombinasyonu ve Sıcak Hava ile Kurutulan Ispanaklar İçin Tavsiye Edilen Midilli ve Küçük Kurutma Modelindeki Katsayıların Sıcaklığa Bağlı Olarak Değişimini İfade Eden Eşitlikler ve Katsayıları.....	76
Çizelge 4.7. Ispanakların Çeşitli Deney Koşullarında Kurutulduktan Sonraki Renk Değerleri	79
Çizelge 4.8. Tüm Deney Koşullarında Kurutulan Ispanaklara Ait Renk Parametrelerinin Duncan Testi Analizi	80
Çizelge 4.9. Kırmızıbiber Ait Tüm Parametreler	89
Çizelge 4.10. Kırmızıbiberin Mikrodalga İle Kurutma İşlemlerine İlişkin Kullanılan Model Eşitliklerin Non Lineer Analiz Sonuçları	91

Çizelge 4.11. Kırmızıbiberin 180 W Mikrodalga Gücü İle Sıcak Hava Kurutma İşlemlerine İlişkin Kullanılan Model Eşitliklerin Non Lineer Analiz Sonuçları	92
Çizelge 4.12. Kırmızıbiberin 540 W Mikrodalga Gücü İle Sıcak Hava Kurutma İşlemlerine İlişkin Kullanılan Model Eşitliklerin Non Lineer Analiz Sonuçları	93
Çizelge 4.13. Kırmızıbiberin Sıcak Hava İle Kurutma İşlemlerine İlişkin Kullanılan Model Eşitliklerin Non Lineer Analiz Sonuçları	94
Çizelge 4.14. Mikrodalga - Sıcak Hava Kombinasyonu Ve Sıcak Hava İle Kurutulan Kırmızıbiber İçin Tavsiye Edilen Midilli Ve Küçük Kurutma Modelindeki Katsayıların Sıcaklığa Bağlı Olarak Değişimini İfade Eden Eşitlikler Ve Katsayıları.....	96
Çizelge 4.15. Kırmızıbiberin Çeşitli Deney Koşullarında Kurutulduktan Sonraki Renk Değerleri	100
Çizelge 4.16. Tüm Deney Koşullarında Kurutulan Kırmızıbiber Ait Renk Parametrelerinin Duncan Testi Analizi.....	101
Çizelge 4.17. Çay Bitkisine Ait Tüm Parametreler.....	109
Çizelge 4.18. Çayın Mikrodalga İle Kurutma İşlemlerine İlişkin Kullanılan Model Eşitliklerin Non Lineer Analiz Sonuçları	111
Çizelge 4.19. Çay Yapraklarının 180 W Mikrodalga Gücü İle Sıcak Hava Kurutma İşlemlerine İlişkin Kullanılan Model Eşitliklerin Non Lineer Analiz Sonuçları	112
Çizelge 4.20. Çay Yapraklarının 540 W Mikrodalga Gücü İle Sıcak Hava Kurutma İşlemlerine İlişkin Kullanılan Model Eşitliklerin Non Lineer Analiz Sonuçları	113
Çizelge 4.21..Çay Yapraklarının Sıcak Hava İle Kurutma İşlemlerine İlişkin Kullanılan Model Eşitliklerin Non Lineer Analiz Sonuçları	114
Çizelge 4.22. Mikrodalga - Sıcak Hava Kombinasyonu ve Sıcak Hava İle Kurutulan Çay İçin Tavsiye Edilen Midilli ve Küçük Kurutma Modelindeki Katsayıların Sıcaklığa Bağlı Olarak Değişimini İfade Eden Eşitlikler ve Katsayıları	116

Çizelge 4.23. Çayın Çeşitli Deney Koşullarında Kurutulduktan Sonraki Renk Değerleri	120
Çizelge 4.24. Tüm Deney Koşullarında Kurutulan Çaya Ait Renk Parametrelerinin Duncan Testi Analizi	121
Çizelge 5.1. Mikrodalga -Sıcak Hava Kombinasyonu Ve Sıcak Hava İle Kurutulan Ispanaklar İçin Tavsiye Edilen Midilli Ve Küçük Kurutma Modelindeki Katsayıların Sıcaklığa Bağlı Olarak Değişimini İfade Eden Eşitlikler Ve Katsayıları.....	126
Çizelge 5.2. Mikrodalga - Sıcak Hava Kombinasyonu Ve Sıcak Hava İle Kurutulan Kırmızıbiber İçin Tavsiye Edilen Midilli Ve Küçük Kurutma Modelindeki Katsayıların Sıcaklığa Bağlı Olarak Değişimini İfade Eden Eşitlikler Ve Katsayıları.....	127
Çizelge 5.3. Mikrodalga - Sıcak Hava Kombinasyonu Ve Sıcak Hava İle Kurutulan Çay İçin Tavsiye Edilen Midilli Ve Küçük Kurutma Modelindeki Katsayıların Sıcaklığa Bağlı Olarak Değişimini İfade Eden Eşitlikler Ve Katsayıları	128

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1.1 Elektromanyetik dalga spektrumu	2
Şekil 1.2. Her tip radyasyon için yaklaşık dalga boyu aralığı	2
Şekil 1.3. Dalgaların özellikleri	3
Şekil 1.4. Mikrodalga devrenin şematik gösterimi	6
Şekil 1.5. Magnetronun ayarlanması	6
Şekil 1.6. Magnetronun ceket görünümü.....	7
Şekil 1.7. Mikrodalga fırın.....	10
Şekil 1.8. Konveksiyon ile mikrodalga kurutma arasındaki sıcaklık dağılımı gösterimi.....	13
Şekil 1.9. Ispanak bitkisi.....	14
Şekil 1.10. Türkiye’deki ıspanak üretim alanlarının yıllara göre değişimi (FAO,2006).	16
Şekil 1.11. Türkiye’deki ıspanak üretim miktarının yıllara göre değişimi (FAO, 2006).	16
Şekil 1.12.Türkiye’de ıspanak ihracatı (FAO, 2006)	17
Şekil 1.13. Kırmızıbiber bitkisi.....	18
Şekil 1.14. Türkiye’deki kırmızıbiber üretim alanlarının yıllara göre değişimi (FAO, 2006)	20
Şekil 1.15. Türkiye’deki kırmızıbiber üretim miktarının yıllara göre değişimi (FAO, 2006).	20
Şekil 1.16. Türkiye’nin yaş kırmızıbiber ihracatı	21
Şekil 1.17. Türkiye’nin kırmızıbiber kuru ihracatı	22
Şekil 1.18. Çay filizi.....	22
Şekil 1.19. Çay bahçesi.....	23
Şekil 1.20. Çayın üretim alanları.....	25
Şekil 1.21. Çayın üretim miktarı	26
Şekil 1.22. Türkiye’de çay ihracatı (FAO, 2006).....	26
Şekil 1.23. Çayın soldurma işlemi	30
Şekil 1.24. Kıvrırma makinesi.....	33
Şekil 1.25. Oksidasyon aşaması	35

Şekil 1.26. Çayın sınıflandırılması	37
Şekil 1.27. Mikrodalga fırında çayın kurutulması	39
Şekil 3.1. Hassas terazi	56
Şekil 3.2. Renkölçer	58
Şekil 3.3. CIE L*,a*,b* renk uzayı	59
Şekil 4.1. Farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan ıspanağın nem içeriğindeki değişim	65
Şekil 4.2. Farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan ıspanağın kuruma hızındaki değişim	65
Şekil 4.3. Farklı mikrodalga güç ve sıcaklık kombinasyonunda kurutulan ıspanağın nem içeriğindeki değişim	67
Şekil 4.4 Farklı mikrodalga güç ve sıcaklık kombinasyonunda kurutulan ıspanağın kuruma hızındaki değişim	67
Şekil 4.5. Farklı sıcaklıklarda kurutulan ıspanağın nem içeriğindeki değişim	68
Şekil 4.6. Farklı sıcaklıklarda kurutulan ıspanağın kuruma hızındaki değişim	69
Şekil 4.7. Mikrodalga ile kurutulan ıspanak için deneysel ve geliştirilen model yardımıyla tahmin edilen ayrılabilir nem oranı değerlerinin değişimi	77
Şekil 4.8. Mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ile kurutulan ıspanak için deneysel ve geliştirilen model yardımıyla tahmin edilen ayrılabilir nem oranı değerlerinin değişimi	77
Şekil 4.9. Sıcak hava ile kurutulan ıspanak için deneysel ve geliştirilen model yardımıyla tahmin edilen ayrılabilir nem oranı değerlerinin değişimi	78
Şekil 4.10. Farklı deneme koşullarında kurutulan ıspanakların taze ve kurutmadan sonraki parlaklık (L*) değerleri	81
Şekil 4.11. Farklı deney koşullarında kurutulan ıspanakların taze ve kurutmadan sonraki yeşillik (a*) değerleri	81
Şekil 4.12. Farklı deney koşullarında kurutulan ıspanakların taze ve kurutmadan sonraki sarılık (b*) değerleri	82
Şekil 4.13. Farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan kırmızıbiberin nem içeriğindeki değişim	85

Şekil 4.14. Farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan kırmızıbiberin kuruma hızındaki değişim.....	85
Şekil 4.15. Farklı mikrodalga güç ve sıcaklık kombinasyonunda kurutulan kırmızıbiberin nem içeriğindeki değişim	87
Şekil 4.16. Farklı mikrodalga güç ve sıcaklık kombinasyonunda kurutulan kırmızıbiberin kuruma hızındaki değişim	87
Şekil 4.17. Farklı sıcaklıklarda kurutulan kırmızıbiberin nem içeriğindeki değişimi	88
Şekil 4.18. Farklı sıcaklıklarda kurutulan kırmızıbiberin kuruma hızındaki değişimi	89
Şekil 4.19. Mikrodalga ile kurutulan kırmızıbiber için deneysel ve geliştirilen model yardımıyla tahmin edilen ayrılabilir nem oranı değerlerinin değişim	97
Şekil 4.20. Mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ile kurutulan kırmızıbiber için deneysel ve geliştirilen model yardımıyla tahmin edilen ayrılabilir nem oranı değerlerinin değişimi	97
Şekil 4.21. Sıcak hava ile kurutulan kırmızıbiber için deneysel ve geliştirilen model yardımıyla tahmin edilen ayrılabilir nem oranı değerlerinin değişimi	98
Şekil 4.22. Farklı deneme koşullarında kurutulan kırmızıbiberin taze ve kurutmadan sonraki parlaklık (L^*) değerleri.....	102
Şekil 4.23. Farklı deney koşullarında kurutulan kırmızıbiberin taze ve kurutmadan sonraki kırmızılık (a^*) değerleri.....	103
Şekil 4.24. Farklı deney koşullarında kurutulan kırmızıbiberin taze ve kurutmadan sonraki sarılık (b^*) değerleri	103
Şekil 4.25. Farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan çayın nem içeriğindeki değişim	105
Şekil 4.26. Farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan çayın kuruma hızındaki değişim	105
Şekil 4.27. Farklı mikrodalga güç ve sıcaklık kombinasyonunda kurutulan çayın nem içeriğindeki değişim.....	107
Şekil 4.28. Farklı mikrodalga güç ve sıcaklık kombinasyonunda kurutulan çayın kuruma hızındaki değişim	107
Şekil 4.29. Farklı sıcaklıklarda kurutulan çayın nem içeriğindeki değişim	108

Şekil 4.30. Farklı sıcaklıklarda kurutulan çayın kuruma hızındaki değişim	109
Şekil 4.31. Mikrodalga ile kurutulan çay için deneysel ve geliştirilen model yardımıyla tahmin edilen ayrılabilir nem oranı değerlerinin değişim	117
Şekil 4.32. Mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ile kurutulan çay için deneysel ve geliştirilen model yardımıyla tahmin edilen ayrılabilir nem oranı değerlerinin değişimi	117
Şekil 4.33. Sıcak hava ile kurutulan çay için deneysel ve geliştirilen model yardımıyla tahmin edilen ayrılabilir nem oranı değerlerinin değişimi	118
Şekil 4.34. Farklı deneme koşullarında kurutulan çayın taze ve kurutmadan sonraki parlaklık (L^*) değerleri	123
Şekil 4.35. Farklı deney koşullarında kurutulan çayın taze ve kurutmadan sonraki yeşillik (a^*) değerleri	123
Şekil 4.36. Farklı deney koşullarında kurutulan çayın taze ve kurutmadan sonraki sarılık (b^*) değerleri	124

SIMGELER VE KISALTMALAR

ANO	: Ayrılabilir nem oranı
a, k, m, b	: Kuruma modelinin sabit sayıları
a^*	: Rengin kırmızılığı (+) ya da yeşilliği (-), boyutsuz
b^*	: Rengin sarılığı (+) ya da maviliği (-), boyutsuz
C^*	: Renk kroma, boyutsuz
L^*	: Parlaklık, boyutsuz
M	: Herhangi bir andaki nem içeriği, kg H ₂ O/kg kuru madde miktarı
M_e	: Denge nemi, kg H ₂ O/kg kuru madde miktarı
M_0	: Başlangıç anındaki nem içeriği, kg H ₂ O/kg kuru madde miktarı
M_t	: t anındaki nem içeriği, kg kuru madde miktarı
M_{t+dt}	: $t+dt$ anındaki nem içeriği, kg H ₂ O/kg kuru madde miktarı
RSS	: Kalanların kareleri toplamı
R^2	: Belirtme katsayısı
SEE	: Tahminin standart hatası
t	: Kuruma zamanı, (dakika)
T	: Sıcaklık, (°C)
α	: Renk tonu, (°)

1. GİRİŞ

Tarımsal ürünlerin kurutularak dayandırılma yöntemi, insanın doğadan öğrendiği ve bu yüzden ilk çağlardan beri uygulanmakta olan en eski koruma yöntemlerinden biridir. Genel bir ifadeyle kurutma, ürünlerin içerdiği nemin belli bir amaca bağlı olarak belirli bir sınır değere kadar bu harlaştırılarak üründen alınmasına denir. Tarımsal ürünlerin kurutulmasındaki amaç; depolama süresi içerisinde ürünün bozulmadan saklanmasını sağlamaktır. Ürün nemi, ortam sıcaklığı, ortamdaki oksijen miktarı, zararlı mikroorganizmalar ürünlerin bozulmasına neden olan başlıca etmenlerdir.

Ürünlerin uzun dönemde bozulmadan saklanması, ürünlerin uzun süre canlılığını koruması, tütün, kuru meyve ve kuru sebze gibi ekonomik değeri olan yeni ürünler elde edilmesi, ürün artıklarının kullanılabilir hale getirilmesi, erken ve kolay hasada olanak sağlaması, hasat döneminin planlanması, ürünlerden iyi fiyat alınabilmesi, kurutulan ürünün hacminin azalması ile ürünün önemli bileşenlerinin taşınması ve depolanmasındaki verimin artmasına olanak tanıyabilmesi açısından kurutmanın ne denli önemli olduğu bir kez daha ortaya çıkmıştır.

Ülkemizde ürünlerin büyük bir kısmı doğal kurutma işlemiyle kurutulmaktadır. Doğal kurutma işlemleriyle kurutulan bu ürünlerde ekonomik açıdan iç ve dış pazarda kalite ve değer kaybı gibi sorunlarla karşılaşmaktadır. Aynı zamanda açık hava koşullarında yapılan doğal kurutma işlemleri sonucu kuru ürünün elde edilmesinde uzun sürelere gereksinim vardır. Bu olumsuz faktörler nedeniyle, kurutucuyu imal eden firmaların ve kurutuculara sahip işletmelerin gerekliliği ve sayılarının artırılması gün geçtikçe önem kazanmaktadır.

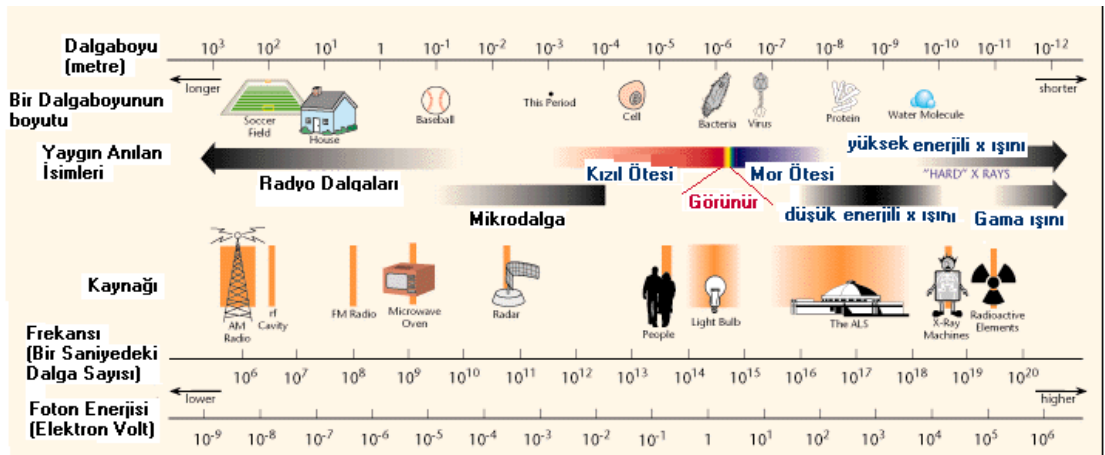
Tarım ürünlerinin kurutulması sırasında kullanılan kurutucular, ürünün özelliklerine uygun olmanın yanı sıra, kurutma işleminden beklenen özellikleri de sağlayacak yetenekte olmak zorundadır. Bu nedenle birbirinden önemli farklılıklar gösteren çeşitli tiplerde kurutucular geliştirilmiştir. Tarım ürünlerinin kurutulması için, günümüze kadar güneş ışığında kurutmadan dielektrik kurutma tekniklerine kadar geliştirilmiş birçok yöntem bulunmaktadır.

Başlıca kurutma yöntemleri aşağıda belirtilen şekilde sıralanabilir.

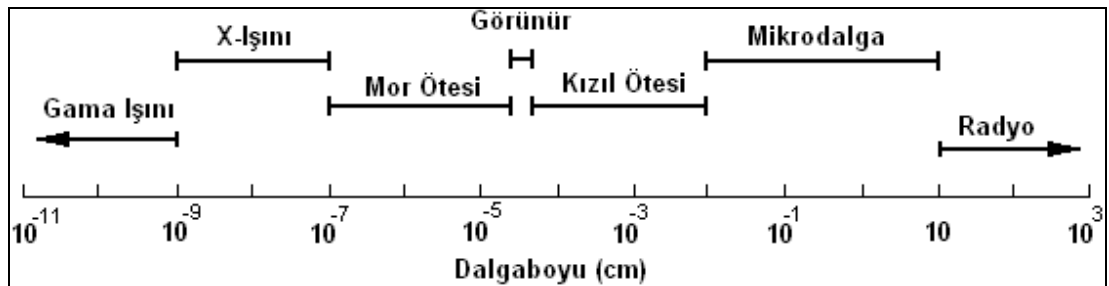
- Ø Kondüksiyon (İletim)Kurutma
- Ø Konveksiyon (Taşınım) Kurutma
- Ø Işınım ile Kurutma
- Ø Dielektrik Kurutma
- Ø Donmalı Kurutma
- Ø Ozmotik Kurutma

1.1. Yüksek Frekans Sistemleri

Elektromanyetik spektrum, elektromanyetik ışınımın belirli bir düzene göre, foton enerjisine göre, ışınımın dalga boyuna göre, ışınımın frekansına göre belirli bir sırada toplandığı tablo olarak düşünülebilir (Şekil 1.1 ve Şekil 1.2).



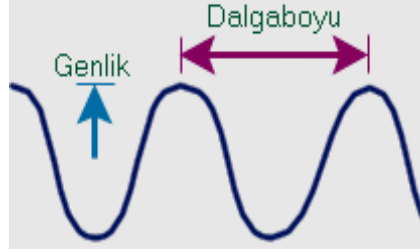
Şekil 1.1 Elektromanyetik dalga spektrumu



Şekil 1.2. Her tip radyasyon için yaklaşık dalga boyu aralığı

Doğal ve birçok yapay kaynak, elektromanyetik enerjiyi elektromanyetik dalgalar halinde yayar. Bu dalgalar elektriksel ve manyetik titreşim (frekans) alanlarından oluşur. Elektromanyetik dalga; dalga boyu, frekans veya enerjisi ile karakterizedir. Bu üç parametre birbiri ile bağlantılıdır. Ayrıca her bir parametre kendi başına biyolojik sistem üzerine etkili olabilmektedir.

Dalganın maksimumları arasındaki mesafeye dalga boyu denir. Elektromanyetik dalganın belli bir süredeki titreşim sayısına frekans denir. Saniyede bir olan periyot yada Hertz cinsinden ölçülür. Bir saniyedeki periyodu bir Hertz (Hz) dir. Salınımın şiddeti genliktir (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. Dalgaların özellikleri

Dalgalar bir materyalde belirlenmiş bir hızda gittiklerinden, dalga boyu kısaldıkça frekans artmaktadır. Matematiksel olarak, **Dalga hızı=frekans x dalga boyu**, yani sabit dalga hızı için, frekans ve dalga boyu ters orantılıdır. Örneğin AM radyo bandının frekansı bir milyon Hertz (1 MHz) dir ve dalga boyu yaklaşık olarak 300 metredir. Mikrodalga fırınlar 2,45 Milyar Hertz (2,45 GHz) frekansında çalışmaktadırlar ve dalga boyları 12 cm'dir.

Mikrodalga ve radyo frekansı, çok değişen elektrik alandaki hareketlerin sonucu oluşan yüksek frekans teknikleridir. Telekomünikasyon amaçlı kullanımlar dışında, endüstriyel alana da yönelmeler nedeni ile bilimsel, teknik ve endüstriyel seviyede yoğun araştırmalar yapılmaktadır. MD ve RF'nin endüstriyel uygulamadaki amacı, daha az enerji harcaması, alışagelmış ve alışılmışın üstünde kaliteli mamul eldesidir. Sadece mamul ısındığı için enerji kayıpları daha azdır. MD ve RF, hızlı, homojen, deformasyon ve malzeme içi tepkileri önleyen sistemlerdir.

MD ve RF, prensip olarak aynı uygulamaların farklı sistemleridir. Kullanılan frekanslar MD için 300–30 000 MHz, RF için 1–300 MHz'dir.(Hz, saniyede $\pm$ olarak

değişen, elektrik alanı sayısıdır.) Kullanılan standart değerler ise; MD için mutfaklarda 2450 MHz, endüstriyel uygulamalarda 890 MHz; RF için 13,7–27,1–40,0 MHz en çok kullanılan değerlerdir. Kullanılan ışığın dalga boyu küçüldükçe, nüfuz artışı ve hızı arttığı için tehlike söz konusudur. Bu yüzden özellikle tıbbi uygulamalarda çok dikkatli ve kontrollü çalışılmaktadır (Ulcay ve ark, 2002).

MD ve RF ısıtma işinde çok sık kullanıldıkları için dielektrik de denilmektedir. Dielektrik ısıtma, yalıtkan materyallerin içinde büyük güç yoğunluğu yaratılarak sağlanır. Bu şekilde hızlı, homojen, doğrudan, seçici ve ataletsiz bir ısıtma sağlanır. Ancak dielektrik ısıtma geleneksel ısıtma sistemleriyle birleştirilerek; üretimin durumu, mamulün kalite ve fiyatı, işlem süresi, malzeme stoku, verim artışı gibi noktalarda göz önüne alınarak yapılırsa daha gerçekçi ve mantıklı hareket edilmiş olur. Özellikle malzeme su oranı belli bir değerin altına düşüp geleneksel sistemler işe yaramadığında dielektrik ısıtmanın önemi daha çok ortaya çıkar.

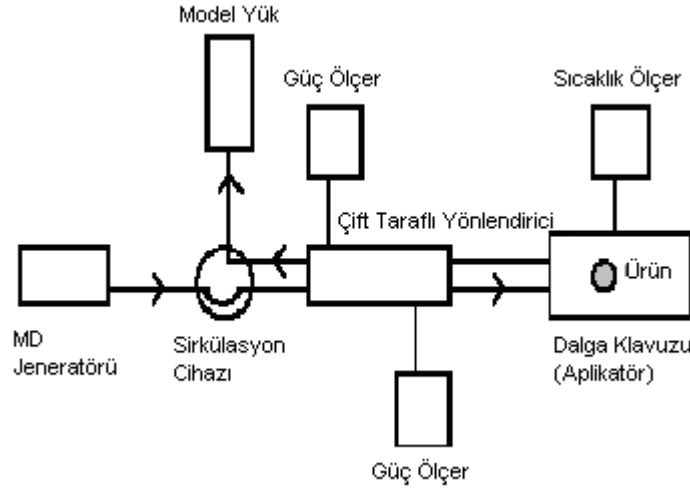
RF ve MD teknolojisinin kullanım alanları birbirinden çok farklı değildir. Sahip oldukları dalga boylarının uygun olduğu işlemlerde kullanılırlar. Daha çok hassasiyet isteyen işler için MD uygun iken, RF daha basit işlerde kullanılır. RF'lar kullanımı daha kolay olan cihazlardır. MD'ya göre tehlikesi daha az bir teknolojidir. Her iki sistemde de araştırmalar artmakta ve buna bağlı olarak hangi sistemin nerede kullanılacağı daha da netleşmektedir. Böylece kullanım alanları yavaş yavaş ayrılmaktadır. Her iki sisteme de kullanım alanları ve güçleri konusunda bir sınırlama getirilmemektedir. Fakat ilerleyen zaman ve yapılan çalışmalar yeni uygulama alanlarını ortaya çıkarmaktadır. Radyasyon ve mikrodalga teknolojileri, yüksek frekanslı sistem olarak adlandırılırlar. Birbirine yakın ya da birbirinden uzak pek çok kullanım alanı vardır. Kurutma ise ikisi içinde ortak bir uygulamadır. Farklılıkları kullanılan frekanslar ve makine ekipmanlarıdır. Mikrodalga da olduğu gibi materyalin dielektrik sabiti, penetrasyon derinliği, uygulayıcıların yapısı ve kullanılacaksa geleneksel sistemlerin uygunluğu önemlidir. Amaç yalıtkan maddelerin içinde büyük güç yoğunluğu yaratarak hızlı ve homojen kurutmayı sağlamaktır. Ayrıca doğrudan ve seçici ve ataletsiz ısıtmanın gerekli olduğu yerlerde kullanılmaktadır (Ulcay ve ark, 2002).

1.1.1.Mikrodalga Teknolojisi

Mikrodalgalar, elektromanyetik spektrumun bir parçası olup görünür ışık ile radyo dalgaları arasında yer almaktadır. Dalga boyları 1 mm–1 m ve frekansları 300 MHz -300 GHz arasında değişmekte olan mikrodalgaların ısıtma frekansları endüstriyel, bilimsel ve tıbbi kullanımlar için belirlenmiştir (Kemahlioğlu, Baysal, 2002). Mikrodalga kurutma ve ısıtma uygulamalarında kullanılabilen frekanslar, 14, 56–27, 12–40, 68–896; 915 ve 2450 MHz’dir (Yağcıoğlu,1999). Fırınlarda kullanılan dalgaların, radar dalgaları ile karışmaması ve pişirmeye en uygun olması nedeniyle fırınlar için 2 ayrı frekans verilmiştir. Bunlar 915 MHz ve 2450 MHz olmakla birlikte, mikrodalga fırınlarda 2450 MHz frekanstaki dalgalar kullanılmaktadır.

1.1.2.Mikrodalga Jeneratörleri

Mikrodalgalar genellikle, verimleri mikrowattan megawata kadar olan, sürekli ya da kesikli dalga salınımları yapan, magnetron ve klystron gibi cihazlar tarafından üretilmektedir. Deneysel çalışmalarda mikrodalga devreler oluşturulmaktadır. Materyaller, devrenin aplikatör olarak adlandırdığı bölümde elektromanyetik ışığa maruz kalırlar. Aplikatör, bir boşluklu dalga kılavuzu, silindir ya da dikdörtgen bir boşluk yankılatıcısı olabilir. İşlem, enerjinin tamamının materyal tarafından emilmesine kadar sürer. Elektrik alanının materyallere iletimi sürekli ya da kesikli dalgalar halinde olabilir. Üretim sırasında tek bir değerle çalışılabiliriyorsa, sistem sürekli çalışıyor demektir. Ancak verilecek enerji değerleri değişiyorsa sistem *darbe* halinde yani kesikli çalışıyor demektir (Ulçay ve ark., 2002) (Şekil 1.4).

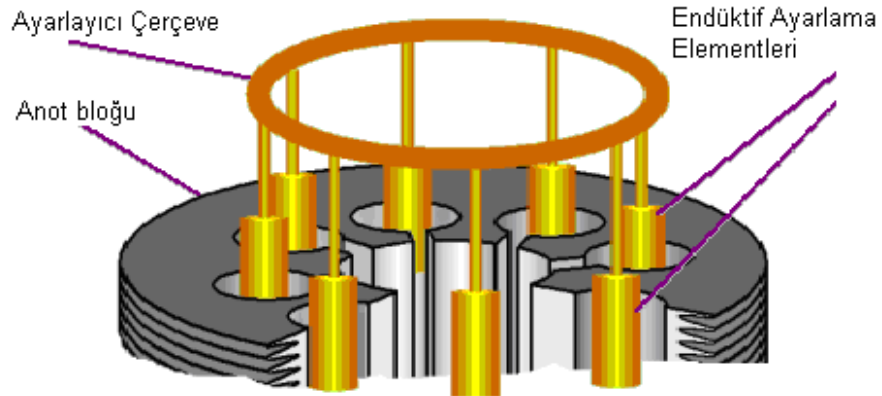


Şekil 1.4. Mikrodalga devrenin şematik gösterimi

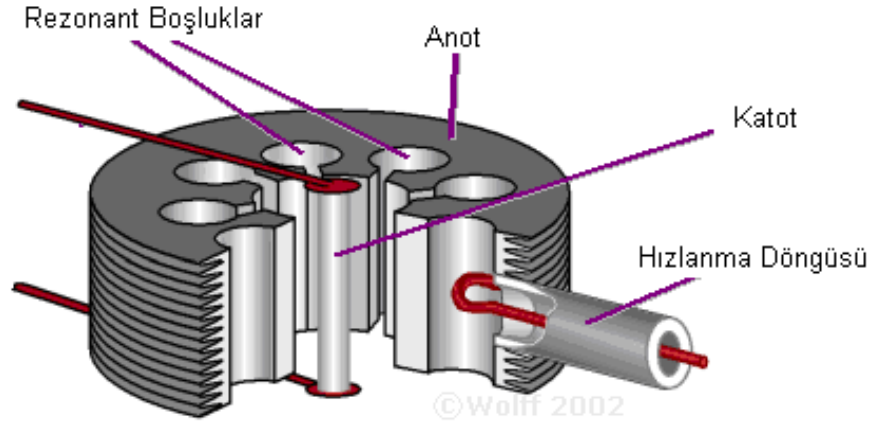
Mikrodalga jeneratörlerinin magnetron, klystron ve dalga tüpleri (TWT) olarak adlandırılan üç tipi vardır.

1.1.3.Magnetronlar

Magnetronlar, merkezdeki elektron yayıcı katot ile delikli silindirik anottan meydana gelen sistematik olarak dairesel yüksek vakumlu elektronik valflardır (Şekil 1.5 ve Şekil 1.6). Anot, çıkış frekansına karar veren ayarlı devreler olarak servis eden yankılanan boşluklar içerir. Anten tarafından dalga kılavuzuna bağlanan anot, magnetrondan dalga kılavuzuna mikrodalga enerji iletir.



Şekil 1.5. Magnetronun ayarlanması



Şekil 1.6. Magnetronun ceket görünümü

Şekil 1.5 ve 1.6 bakırdan yapılmış kütleli bir diyottur. İçinde ortada bir filaman /katot vardır. Bakır kütlenin kendisi anottur. Anot toprağa bağlı fakat katoda nazaran bir iki bin volt pozitif seviyededir. Katotun verici durumunda 2–3 mikro saniyelik negatif bir pals ile yüklenmesi anodu katoda göre pozitif seviyede bir iki bin volt ile yüklenmiş etkisi yapar. Magnetron gayet kuvvetli bir tabi mıknatıs (atnalı tipi) arasına yerleştirilir.

Isınan filaman nedeniyle katottan çıkan elektronlar pozitif yüklü anota doğru çekilirler. Fakat elektron hareket yoluna dikey konumdaki mıknatıs kuvvet hatları elektronların anota varamadan dairesel bir yol izlenmesine sebep olur. Anot Şekil 1.6'daki gibi oyuklardan yapılmıştır.

Anodun kavitelerine giren elektronlar dairesel hareketlerini tamamlayıp dışarı çıkar fakat devam eden anot gerilimi ve mıknatıs saha etkisiyle yine bir başka kaviteye girer. Bu suretle magnetron içinde bir elektromanyetik yüksek frekans oluşur. Cam bir destek ile magnetron içine uzatılan sondaj çengeli bu yüksek elektromanyetik dalgaları dalga kılavuzu dikdörtgen kesitli kanallar yardımıyla antene iletir, antende uygun bir huni kılavuz ile parabolik antene gönderir. Magnetronlar çalışırken çok ısınmamaları için özel vantilatör ile soğutulurlar Magnetronu kucaklayan mıknatıs, ısıdan ve madeni darbelerden zayıflar, dikkat gerekir.

1.1.4.Mikrodalga Kullanım Alanları

Mikrodalğanın radyo frekansı ile benzer alanlarda kullanım etkinliği vardır. Yalnızca sahip oldukları frekans değerleri doğrultusunda kullanılabilirler. Mikrodalga cihazları daha karmaşık yapılı ve pahalı cihazlardır. Daha küçük dalga boylarına sahip oldukları için zaman zaman meydana gelen kaçaklar sağlığa zararlı hale gelebilmektedir. Bu yüzden çok iyi yalıtım sistemlerine gerek vardır. Ancak MD, işlem sürelerinde azalma, yüksek güç eldesi gibi nedenlerle RF ile baş başa ilerleme göstermektedir.

1.1.5.Mikrodalga İle Kurutma

Mikrodalga kurutma sistemlerinin çoğu, mikrodalga ve konvansiyonel ısıtmayı birleştirir. Gıda endüstrisi, kimya endüstrisi, otomotiv endüstrisi gibi değişen endüstrilerde çeşitli kurutma sistemleri vardır. Her bir durumda mikrodalga kurutma sistemleri ürünün kalitesini etkilemeksizin önemli şekilde kuruma zamanını azaltır. Mikrodalga kurutmada ısı, materyallerin hızlı kurutulması için uygun basınç ve sıcaklıktaki nemli materyallerin içinde mikrodalga enerjiden termal enerjiye çevrilir

1.1.6.Mikrodalga ile Kurutmanın Avantajları

Uzun yıllardan beri tüketiciler tarafından mutfakta başarıyla kullanılan mikrodalga fırınların endüstriyel alanlarda uygulanmalarında da avantajlar bulunmaktadır.

- Ø Mikrodalga ısıtma, geleneksel ısıtma uygulamalarına göre çok daha fazla materyalin ısınmasını sağlar.
- Ø Uygun şekildeki materyalin mikrodalga ortamında homojen olarak ısıtılması olanaklıdır.
- Ø Enerji kullanımı materyalin bulunduğu ortamın ısıtılmasına gerek olmaması nedeniyle geleneksel yöntemlere göre çok daha etkilidir.

- Ø Gelişen teknolojiye paralel olarak proses kontrolünün hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesi olanaklıdır.
- Ø İşletme içerisinde geleneksel düzenlere göre çok daha az yer kaplar.
- Ø Seçici ısıtma başarılabilir.
- Ø Uygun proses şartları seçildiği takdirde ürün kalitesi daha yüksektir.
- Ø Geleneksel ısıtma sistemleriyle birlikte kullanılabilecek ekipman dizaynları gerçekleştirilebilir.
- Ø Paketli gıdaların ısıtılmasına olanak sağlamaktadır.

Mikrodalga sistemlerinin bugün endüstriyel boyutta geniş çaplı olarak kullanılmaması, mikrodalga ısıtma uygulamalarını geliştiren mühendislik kuruluşlarının ellerindeki bilgileri açıklamak istememelerinin yanı sıra;

- Ø Mikrodalga ekipmanlarının dizayn maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle ilk yatırımların pahalılığı,
- Ø Şekilsiz gıdaların ısıtılmasında çözülmemiş problemlerin bulunması,
- Ø Bazı şekilli gıdalarda köşe ve kenar noktalarında yetersiz kalması gibi dezavantajları da bulunmaktadır (Kemahlıoğlu ve Baysal, 2002).

1.1.7.Mikrodalga Fırının Çalışma Prensipleri

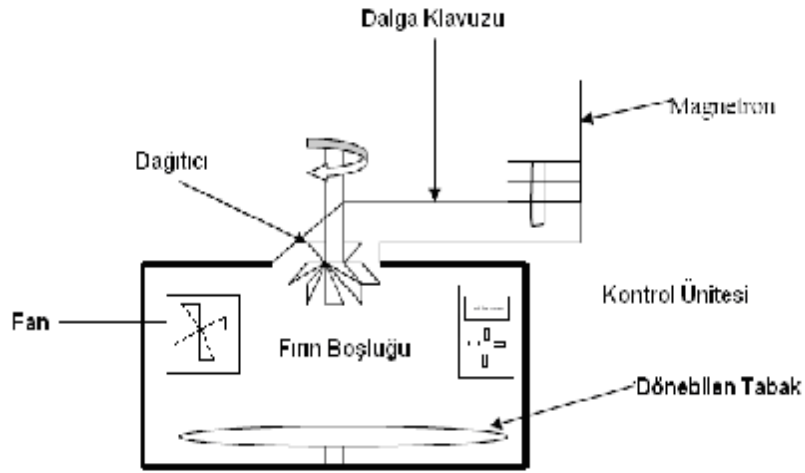
Mikrodalga fırınlar prensipte diğer fırınlardan ayrılmaktadır. Normal fırınlarda ısı, gıdaya dışarıdan içeriğe doğru iletilmekte ve bu da uzun zaman almaktadır. Örneğin fırından yeni çıkmış ekmeğin kabuk kısmının sıcaklığı 230°C iken, ekmek içinin sıcaklığı 100°C' yi geçmemektedir. Mikrodalga fırınlarda ise, ışın doğrudan gıdanın içerisine verilmektedir.

Mikrodalga, fırın içerisindeki magnetron adı verilen vakum tüpünden üretilir. Magnetron 60 Hz'lik elektrik enerjisini mikrodalgaya dönüştürür. Üretilen mikrodalgalar foton olarak adlandırılan ışın tanecikleri halinde yayılır. Mikrodalga fotonları düşük düzeyde enerjiye sahiptir. Su gibi artı yüklü ve eksi yüklü uçları olan moleküller polar moleküller olarak adlandırılır. Üretilen mikrodalgalar besinlere ulaştığında besinde bulunan su molekülleri mikrodalga fotonlarının enerjisini soğurarak artı ve eksi uçları arasında titreşmeye başlarlar. Bu titreşmeler sonucu etraflarındaki moleküller ile oluşan sürtünmeden dolayı açığa çıkan ısı besinlerin

pişmesini sağlar. Bu nedenle içinde daha çok su molekülü taşıyan besinler daha çabuk pişer.

Mikrodalga ile pişirme geleneksel pişirme yöntemlerinden hem daha hızlıdır hem de daha ekonomiktir. Çünkü pişirme sürecinde yalnızca besin pişer, fırın ve ortamın ısınması için enerji ve zaman harcanmaz. Mikrodalga fırınlar kullandıkları elektrik enerjisinin %50'sini besinlerin ısıtılması için kullanırken bu oran konvansiyonel fırınlarda %10'lara kadar düşmektedir.

Mikrodalga fırın, mikrodalga üreten bir magnetron, üretilen mikrodalga'nın fırın içinde yayılmasını sağlayan bir dalga yayıcı ve fırın boşluğundan oluşur. Yayılan mikrodalga'nın fırın içinde düzgün dağılımını sağlamak için ya döner tabla ya da dalga yayıcıdan hemen sonra yerleştirilen bir pervane kullanılır. Ayrıca ısınan besinin yaydığı sıcaklık sonucu ısınan havanın fırın içinde birikmesini önlemek için bir havalandırma sistemi bulunur (Şekil 1.7).



Şekil 1.7. Mikrodalga fırın

Mikrodalgalar bir cisim üzerine geldiğinde 3 olay ortaya çıkabilmektedir. Bunlar, dalga'nın yansması, absorbe edilmesi veya geçirilmesidir. Metaller dalgayı yansıtırlarken, su ve gıda maddeleri absorbe etmekte, cam, kâğıt, plastik ve tahta gibi materyaller ise ışını geçirmektedir. Bu durumda pişirme kabı olarak ışını geçiren materyallerin kullanılabileceği açıktır. Bazı üretici firmalar tarafından metal kapların kullanılabileceği bildirilmekte ise de bu durum da gıda maddesinin yalnızca üst

kısından ışınları alabileceği anlaşılmaktadır. Bu durumda süre uzayacaktır ve enerji kaybı artacaktır. Bir materyalin mikrodalga fırınlarda pişirme kabı olarak kullanılıp kullanılamayacağı çoğu zaman kabın ambalajı üzerinde belirtilmektedir. Herhangi bir materyalin bu amaca uygun olup olmadığı şu şekilde anlaşılabilmektedir. Denenecek kabın içerisine bir bardak ile birlikte su konur ve fırında 1–2 dakika kadar tutulur. Bu sürenin sonunda su ısındığı halde bardağın konulduğu kap ısınmamışsa bu materyalin mikrodalga fırında kullanıma uygun olduğu söylenebilir. Mikrodalga fırında kullanılacak pişirme kabının şeklide önem taşımaktadır. Yuvarlak ve derinliği az olan kaplar, köşeli ve derin kaplara göre amaca daha uygundur.

Mikrodalga fırınlar, bazı gıdaların pişirilmesi için son derece uygundur. Bazı gıdalarda ise pişirilmiş ürünün kalitesi orta düzeyde bulunmaktadır. Şüphesiz bu konuda asıl kararı verecek olan tüketicinin kendisidir. Genel olarak kek ve benzeri gıdalar mikrodalga fırında 10 dakika gibi kısa bir sürede pişirilebilmektedir. Oysa bu süre kabuğun renginin kahverengiye dönüşmesi için yeterli olmamaktadır ve genelde kabuk yüzeyi pürüzlü kalmaktadır. İşte bu nedenle gelişmiş fırın tiplerinde mikrodalga ve normal fırın kombine halde yer almaktadır. Bu kombinasyon sonucunda mikrodalğanın hız ve ekonomisinden, normal fırının kahverengileştirme ve gevşetme etkisinden maksimum düzeyde yararlanılmaktadır.

Mikrodalga fırınlar pek çok tipi, programlanabilir tipte yapılmaktadır. Böylece tüpün enerji düzeyi değişik amaçlara göre değiştirilebilmektedir. Yine tüpün kesikli olarak çalıştırılabilmesi sağlanmakta, kesinti süreleri programlanabilmekte ve fırın içi nem düzeyine göre magnetron tüpü devreye girip çıkabilmektedir.

Mikrodalga ile kurutma da ürünün dokusundaki ısı oluşumu- birikimi, diğer fiziksel ısı iletim yöntemleri ile kurutmaya kıyasla, çok daha hızlı gelişmektedir. Ürünün dokusundaki ısı, dokunun nemini hızla su buharı haline getirmektedir. Su buharının çevre havaya geçebileceği yol yoksa ki dokuda bu yol yoktur, buhar basıncı dokuyu patlatıp çıkacaktır. Bu sakınca nedeniyle ürün doğal haliyle mikrodalga fırına verilemez. Ürünün kurutulması sonucunda kullanım amacına uygun olarak renk, tat, aroma gibi kalite değerleri göz önüne alınarak kıyma veya ince dilimler halinde kesme işleminden sonra mikrodalgayla kurutmak mümkündür (Tunçer,1990).

Mikrodalga kurutması öncesi materyali kıyma veya ince dilimler halinde kesme sonucunda kesit yüzeylerinde hücre özsıvısı damlacıklar oluşur. Bu damlacıklar, mikrodalga akımı ile ani ısınarak buharlaşırlar. Damlacığın bulunduğu yerdeki ısı enerjisi birikimi damla tabanındaki etin (dokunun) yanmasına ve yanık yerinin kül halinde düşüp, delik kalmasına neden olmaktadır. Örneğin ince dilimler halinde kesilen kabağın mikrodalga akımına tutulmasında oluşan damlacıklar ani buharlaşır ve doku yanıkları oluşur. Bu durumda, kurutma işleminin durdurulması gerekir. Yanıkların oluşması ve ilerlemesi saniyelik süre içinde gelişme göstermektedir. Bu nedenden dolayı, kesme-kıyma işlemlerinde kesit yüzeylerinde terleme ve özsu damlacıkları toplanması yapan ürünler mikrodalga akımı ile kurutulamazlar. Mikrodalga kurutmasına verilecek ürünlerde doğal yüzeyde veya kesit yüzeydeki terleme ve su damlacıkları oluşumu giderildikten sonra mikrodalga etkisine verilmelidir.

Dilimlenmiş kıyılmış ürünlerin sıralı, tek kat olarak mikrodalga akımına verilmesi de önem taşır. Kıyılmış ürün çok sıcak, üst üste yığılacak olursa, hücre özsuyunun kesitlerden çıkması sonucu katlar arasında ıslak topaklar ve su birikimleri meydana gelir. Su birikimleri ve ıslak topaklar, mikrodalga akımının ısı enerjisini yoğunlaştırdığı ve materyalin kor haline gelerek yandığı yerlerdir.

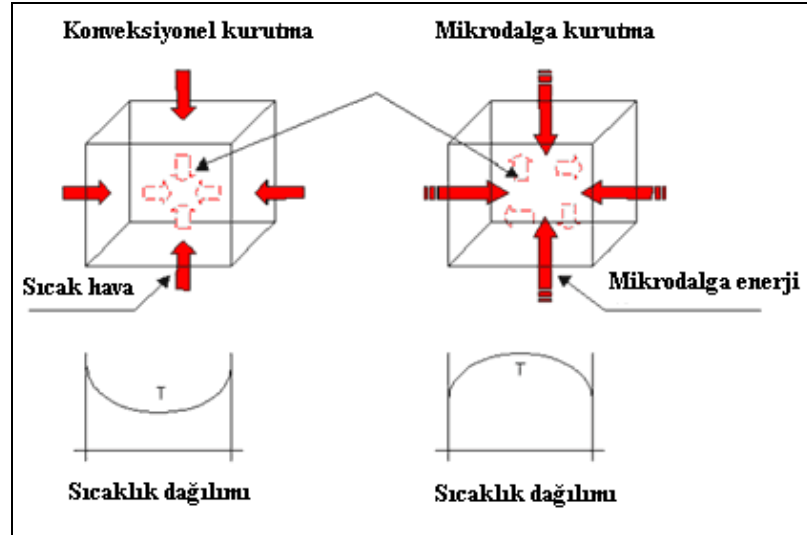
Ürünlerin dilimlenme ve kıyılma kalınlığı da mikrodalgayla kurutmada önemlidir. Mikrodalgayla kurutmada uygun dilim kalınlığının en fazla 2 mm olması gerektiği saptanmıştır. Kıyma kalınlığı eğer 2 mm'nin altında olursa, bunlar tek sıra halinde yayarak kurutma daha etkili olmaktadır. 2 mm' den daha kalın dilimler halinde kıyılan üründe ise kesit yüzeyinde buhar çıkışı esnasında baloncuklar oluşmaktadır. Baloncuklar kurumanın ilerlemesiyle kabuk oluşturarak katılaşmakta ve iç hacimlerini korumaktadır. Bu kabarcıklı görünüm, kurutulan ürünün göze güzel görünüşünü bozmaktadır (Tunçer,1990).

Mikrodalga etkisinde kurutulacak ürünün tek tip ve homojen doku göstermesi gerekir. Bazı ürünler, örneğin domates dilimlenince, etli doku ile içindeki çekirdeklerin bulunduğu jölemsi sıvı gibi iki değişik yapı ortaya çıkar. 2 mm kalınlığında dilimlenen domates, mikrodalga akımına verilince, jölemsi sıvı kısımlar kısa sürede ısınır ve hava kabarcıkları çıkararak kaynamaya başlar. Kaynama,

kıvılcım çıkararak yanma şeklinde gelişir. Etli doku henüz nem kaybına başlarken, jöle kısmı yanmıştır. Sonuç olarak, domates gibi farklı doku ve yapıda etli ve jöleli kısımları olan bir ürün, mikrodalga akımıyla kurutulamaz.

Benzer durum, yaprak ve sap gibi bir ürünün farklı doku yapısındaki kısımları içinde geçerlidir. Sebzenin yaprak kısımları ve gövde- sap kısımları beraberce mikrodalga akımıyla kurutulamaz (Tunçer,1990).

Mikrodalga ile kurutmanın sonucunda geleneksel kurutma yöntemlerine göre çok daha hızlı ürünün kurutulması sağlanır. Fırın imalatçıları tarafından bilinen geleneksel yöntemler ve mikrodalga fırın yöntemiyle pişirme araştırılmış ve sonuçta mikrodalga ile pişirmede yaklaşık olarak %50 enerji tasarrufu sağlandığı görülmüştür. Geleneksel fırınlarda bu oran %10'lara kadar düşmektedir (Şekil 1.8).



Şekil 1.8. Konveksiyon ile mikrodalga kurutma arasındaki sıcaklık dağılımı gösterimi

1.2. Ispanak Bitkisinin Genel Özellikleri

Birçok tarım ürününün yetiştirilmesinde ülkemiz, bitki türü açısından gen merkezi konumunda bulunması nedeniyle sahip olduğu tür ve çeşit zenginliğinin yanı sıra yüksek yetiştiricilik potansiyeli, üretim değerleri ve ürün kapasitesi ile dünyada önemli bir yere sahiptir. Ülkemizdeki zenginliğin üretime yansması sonucu her geçen yıl yetiştiriciliği yapılan ıspanak, kırmızıbiber ve çay bitkisi bu çalışmanın konusunu oluşturmaktadır.

Önemli bir kış sebzesi olan ıspanak (*Spinacia oleracea L.*) bileşiminde bulunan mineral maddeler ve vitaminler nedeniyle besin değeri oldukça yüksek, kombine bir sebzedir. Ispanak, kış aylarında sebze sayısının az olması nedeniyle tüketicilerin vazgeçemedikleri değerli ve geleneksel bir sebzedir (Şekil 1.9). Ispanak serin iklim sebzesidir. Sıcak ve kurağı sevmez. 15-20°C'lik sıcaklıklar ıspanak için idealdir.



Şekil 1.9. Ispanak bitkisi

Ispanak, düşük kalorilidir ve iyi bir C vitamini (askorbik asit) kaynağıdır (Alibaş Özkan ve ark, 2007). C vitamini, çözülebilir bir vitamin olup ısıya, oksijene ve ısıya fazlasıyla duyarlıdır ve işlem boyunca kayıplara karşı duyarlılığının oldukça fazla olduğu düşünülmektedir (Soysal ve Söylemez, 2005).

Ispanak hasattan sonra hızla bozulan ve sadece ürün mevsimi tüketilen bir sebzedir. Kurutma, ıspanağın tüketim süresini uzatma yeteneğine sahip olan ve aynı zamanda ıspanağın vitamin içeriğini koruyan depolama metotlarından biridir.

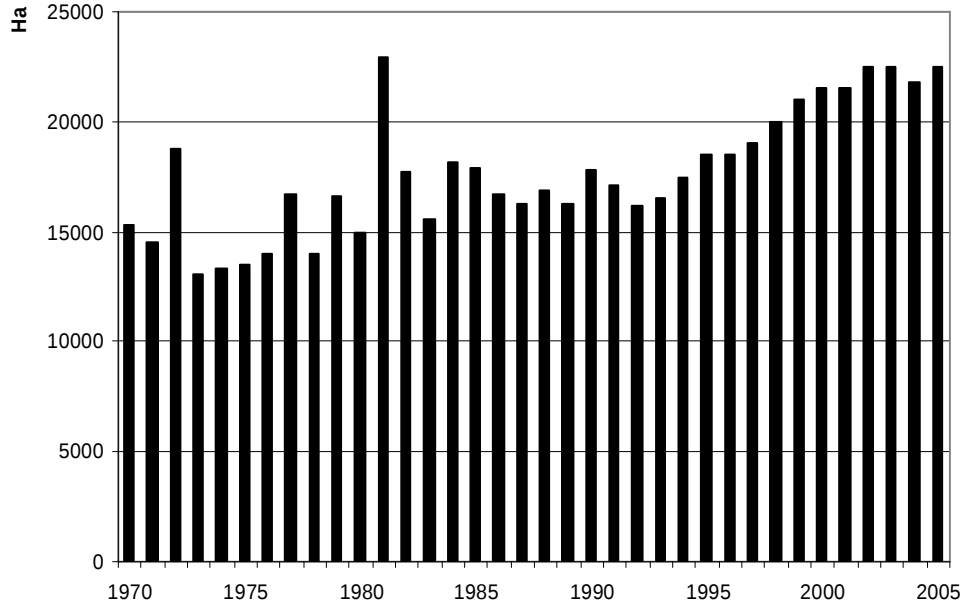
Ispanak tozu (*Spinacia Oleracea*), kurutulmuş ıspanak yapraklarının öğütülmesi sonucu meydana gelmiştir. Ispanak tozu, taze makarna, erişte ve ekmek hamuruna renk ve lezzet katmada mükemmeldir. Aynı zamanda, maya ekmeği ve pidede kullanılabilir.

Bu çalışmanın konusunu oluşturan ürünlerden biri olan ıspanak açısından bakıldığında, ülkemiz, 2005 yılı verilerine göre ıspanak üretim alanı bakımından Çin, Endonezya ve Japonya'nın ardından 4. sırada, üretim miktarı bakımından Çin, A.B.D, Japonya ve Endonezya 'nın ardından 5. sırada yer almaktadır (Çizelge 1.1).

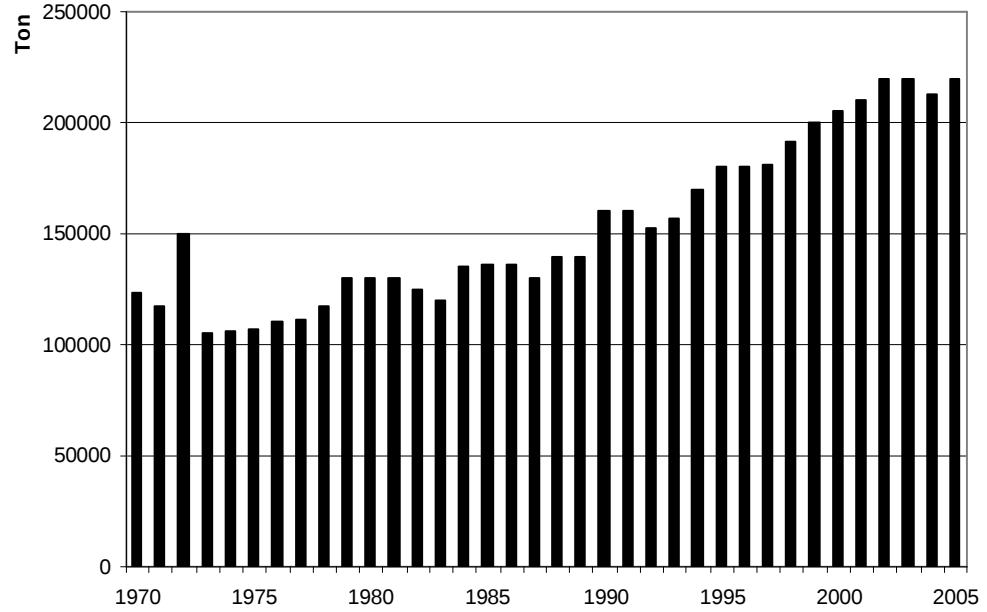
Çizelge 1.1. 2005 Yılı Verilerine Göre Dünyada Başlıca Ispanak Üretimi Yapan Ülkeler (FAO, 2006).

Ispanak	Ekim Alanı (ha)	Üretim (t)	Verim (t/ha)
ABD	21.730	405.440	18.65
Çin	659.360	11.011.000	16.69
Endonezya	33.250	85.940	2.58
Japonya	23.700	297.900	12.56
Kore	7.500	120.000	16.00
Pakistan	7.720	86.560	11.21
Türkiye	22.500	220.000	9.77
Dünya	815.903	12.756.285	15.63

Ispanak, ülkemizde yetiştirilen sebzeler arasında önemli bir değere sahiptir. Ispanak sebzесinin ekim alanlarında, üretim miktarında ve verimlilikte, 1970'li yıllardan 2005'li yıllara kadar sürekli artan bir ivmeyle yükseliş görülmektedir (Şekil 1.10 ve Şekil 1.11).

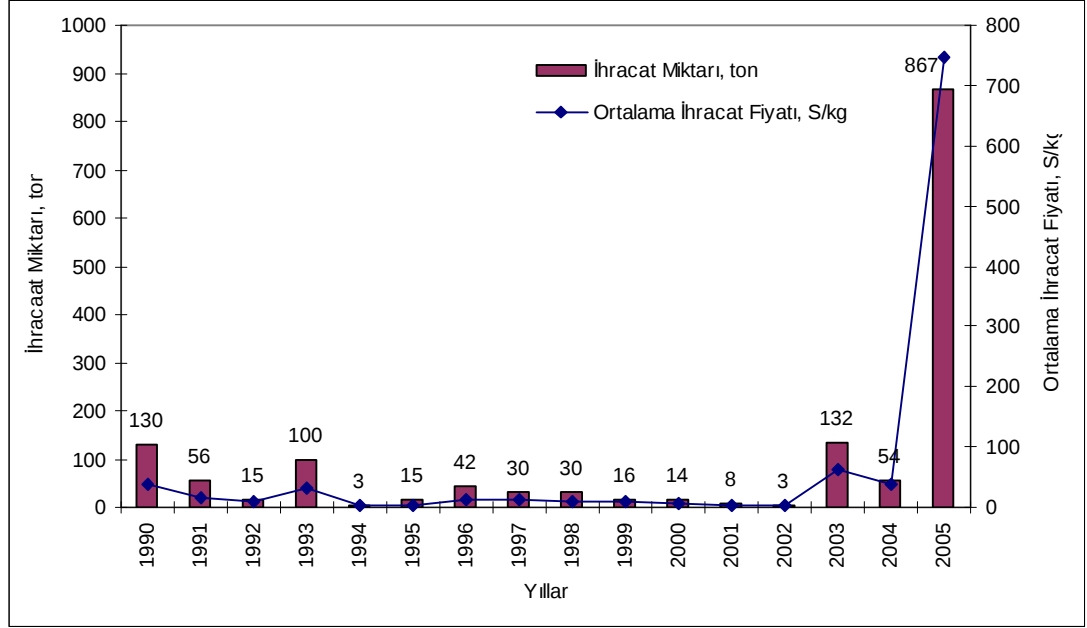


Şekil 1.10. Türkiye’deki ıspanak üretim alanlarının yıllara göre değişimi (FAO,2006).



Şekil 1.11. Türkiye’deki ıspanak üretim miktarının yıllara göre değişimi (FAO, 2006).

Ülkemizde taze ıspanağın yıllara göre üretim miktarları ve ihracatından elde edilen gelir Şekil 1.12’de görülmektedir. Ispanak üretimimiz, yıllık ortalama 220 bin ton, ihracatımız yıllık ortalama 54 bin ton’dur.



Şekil 1.12. Türkiye’de ıspanak ihracatı (FAO, 2006)

1.3. Kırmızıbiber Bitkisinin Genel Özellikleri

Çalışma konusunun bir diğer sebzesi olan Kırmızıbiber, patlıcangiller (*Solanaceae*) familyasının *Capsicum* cinsine bağlı, ılıman iklimlerde bir yıllık olarak yetişen bir kültür bitkisidir (Şekil 1.13). Doğu Akdeniz Bölgesinde yetişen türü, *Capsicum annum* L. türü olarak bilinmektedir. Özellikle yurdumuzun güney üretim bölgelerinde yetişen kırmızıbiber tipleri acıdır. Askorbik asit ve karoten içeriği yönünden zengin olan kırmızıbiber baharat, yem maddesi ve antibiyotik hammaddesi olarak tüketilmektedir. Bunun yanında, yemeklerde, salatalarda, turşularda, sos yapımında, salça üretiminde ve konserve içeriğinde aromatik besin maddesi olarak kullanılmaktadır (Akbaş, Boz, Candemir., 2005).



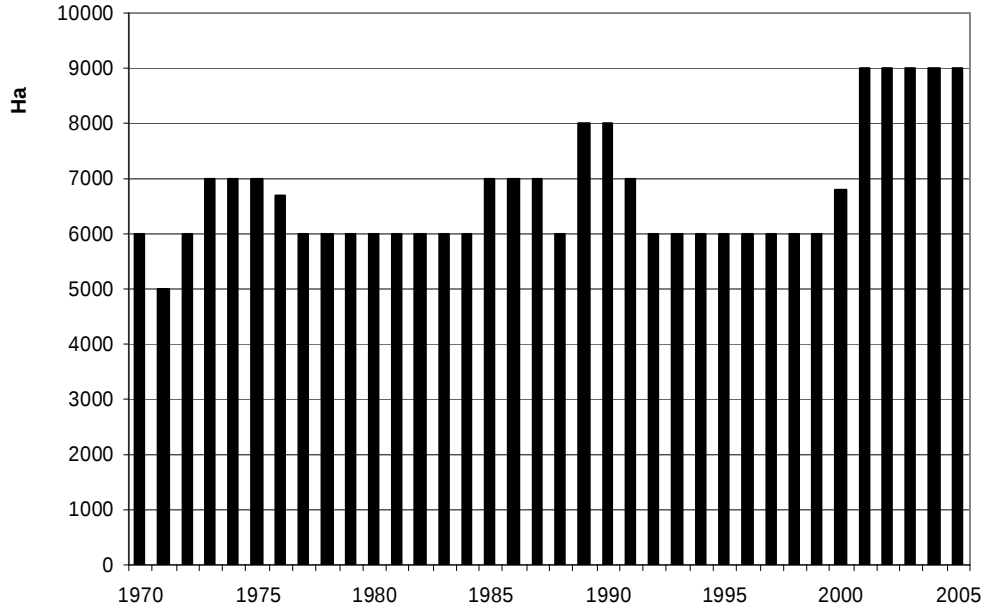
Şekil 1.13. Kırmızıbiber bitkisi

Günümüzde Antarktika hariç bütün kıtalarda yaygın olarak üretilen kırmızıbiberin 2005 dünya üretimi 24 milyon tona ulaşmıştır. En büyük üretici ülke Çin olup, bunu 1.9 milyon ton ile Meksika, 1.7 milyon ton ile de Türkiye izlemektedir (Çizelge 1.2). Türkiye, dünya biber üretiminde bazı yıllar Çin'den sonra ikinci sırada, bazı yıllar da ise Meksika ile yer değiştirerek üçüncü sırada yer almaktadır. Türkiye taze biber üretiminde dünyada üçüncü sırayı almasına ve tek başına dünya biber üretiminin %8 'ini karşılamasına karşılık, dünya işlenmiş biber üretiminde ne yazık ki iyi bir konumda olmayıp yalnızca % 3'lük bir paya sahiptir

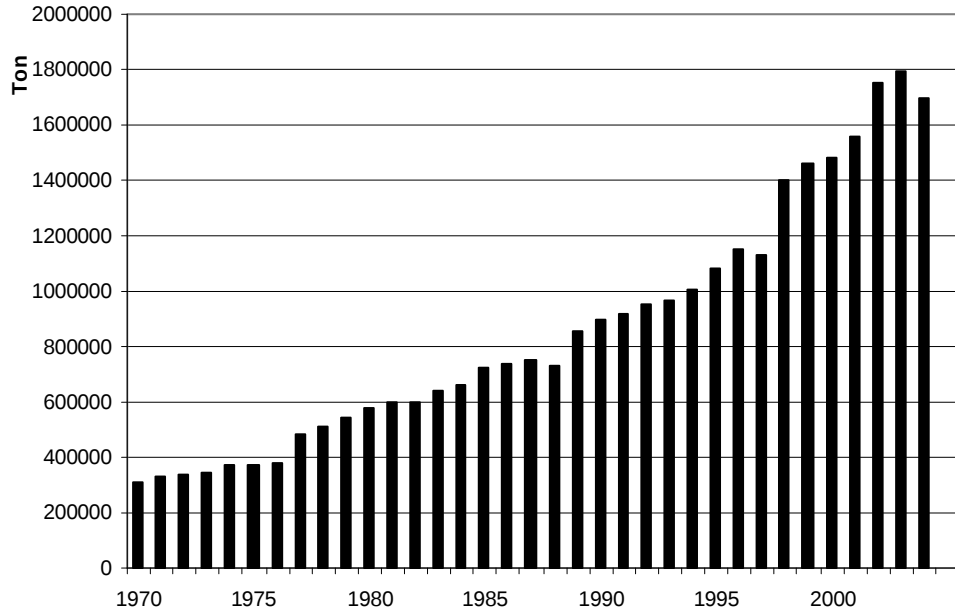
Çizelge 1.2. 2005 Yılı Verilerine Göre Dünyada Başlıca Kırmızıbiber Üretimi Yapan Ülkeler (FAO, 2006).

Kırmızıbiber	Ekim Alanı (ha)	Üretim (t)	Verim (t/ha)
Çin	602.801	12.031.031	19.95
Meksika	142.000	1.900.000	13.38
Türkiye	88.000	1.700.000	19.31
İspanya	21.800	1.006.000	46.14
ABD	33.630	978.890	29.10
Nijerya	91.000	720.000	7.91
Dünya	1.691.165	24.735.060	14.62

Kırmızıbiber Türkiye’de çoğunlukla, Akdeniz, Ege, Marmara ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinde yetiştirilmektedir. Bu bölgelerde taze olarak tüketilen kırmızıbiberin aynı zamanda, sanayi hammaddesi olarak konserve, salça, turşu, acı sos, işlenmiş et ürünleri (pastırma-sucuk-salam-sosis v.b) için tarımı yapılmaktadır. Kırmızıbiberlerin kurutulmuş, toz ve pul biber olarak kullanımı daha çok önem taşımaktadır. Bu halleriyle kullanılan kırmızıbiber çeşitli yemeklerde hoş lezzeti, aroması, acılıkları ve renkleri ile çeşni oluşturmaktadır. Türkiye’nin kırmızıbiber üretimi son on yılda hızlı bir artış göstermiştir (Şekil 1.15). Kırmızıbiber üretim alanları 2001 yılında büyüme göstermiş, 2001 yılından sonra 9000 ha olarak sabit kalmıştır (Şekil 1.14). Bununla birlikte, kırmızı toz ve pul biber üretiminde karşılaşılan sorunlar, üretimde dalgalanmalar, belirsizlikler ve ihracatta büyük problemlerle karşılaşılmaya neden olmuştur. Bu sorunların başlıca nedeni, küfler tarafından oluşturulan ve genel olarak mikotoksin denen (özellikle *Aspergillus flavus* ve *Asp.parasiticus* türleri tarafından oluşturulan aflatoksinler) ikincil metabolitlerden kaynaklanmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucu, aflatoksinlerin insan ve hayvanlarda akut aflatoksikozis, karaciğer kanseri, Hint çocuk sirozu, Reye sendromu, encephalopatı, iç organlarda yağ dejenerasyonu, mutajenite ve nefrotoksisiteye neden oldukları saptanmıştır (Duman ve ark.2002).



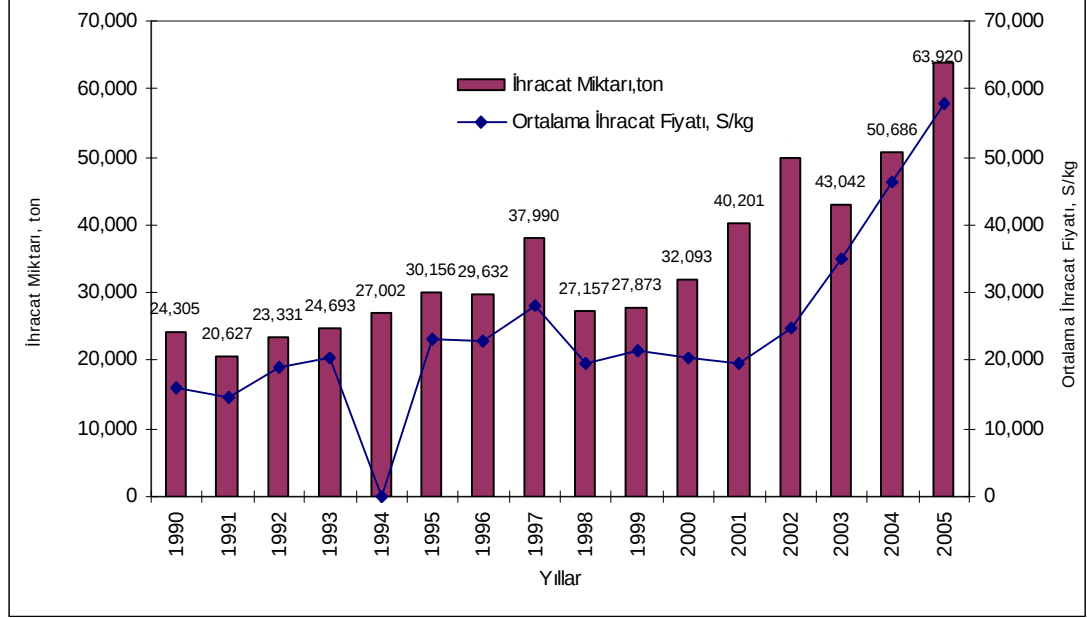
Şekil 1.14. Türkiye’deki kırmızıbiber üretim alanlarının yıllara göre değişimi (FAO, 2006)



Şekil 1.15. Türkiye’deki kırmızıbiber üretim miktarının yıllara göre değişimi (FAO, 2006).

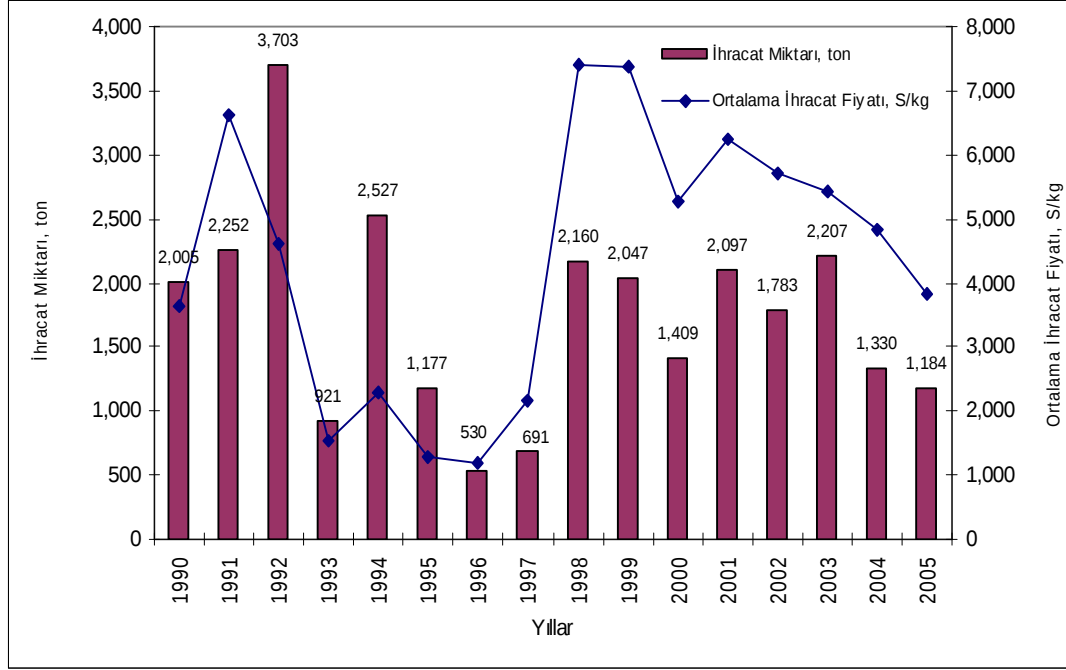
Türkiye’de diğer sebze türlerinde olduğu gibi biber ihracatında da başlıca dış pazarları arasında Almanya, Rusya, S. Arabistan ve diğer AB ülkeleri başta gelmektedir. Türkiye’nin biber ihracatı 1990–2005 yılları arasında 20 bin tonla 63 bin ton arasında değişmiş olup genel eğilim olarak artış görülmektedir.(Şekil 1.16).

Bu ihracat miktarları karşılığında 16–57 milyon \$ arasında değişen miktarlarda döviz geliri elde edilmiştir.



Şekil 1.16. Türkiye'nin yaş kırmızıbiber ihracatı

Türkiye'nin kurutulmuş kırmızıbiber ihracatı 1990–2005 yılları arasında 2 bin tonla bin ton arasında değiştiği görülmektedir.(Şekil 1.17). Bu ihracat miktarları karşılığında 6–3 milyon \$ arasında değişen miktarlarda döviz geliri elde edilmiştir.



Şekil 1.17. Türkiye'nin kırmızıbiber kuru ihracatı

1.4.Çay Bitkisinin Genel Özellikleri

Çaygiller (*theaceae*) familyasına mensup olan çay bitkisi (*camellia sinensis* veya *Thea sinensis*) genellikle çalı formunda olan bir ağaçtır (Şekil 1.18). Çayın anavatanı Çin olarak bilinmektedir ve ilk kültüre alındığı ülkedir.



Şekil 1.18. Çay filizi

Çay yapraklarının içeriğinde %1–4 oranında kafein, %10–24 oranında tanen, az miktarda uçucu yağ bulunur. Çayın uyarıcı, mideyi, idrar artırıcı ve kabızlık yapıcı yan etkileri vardır. İçine başka maddelerin karıştırılmadığı şartlarda bir fincan çayda 4 kalori ve B vitamini kompleksleri ihtiva eder. Çayın uyarıcı etkisini kafein, buruk tadını ve rengini tanen, kokusunu ise uçucu yağlar verir.

Dünyada genellikle sıcak ve soğuk içecek olarak tüketilen çay, Birmanya ve Tayland gibi bazı Asya ülkelerinde salamura şeklinde, sebze niyetine de kullanılmaktadır. Sadece üst körpe yaprakların kullanıldığı çay imalatında tam yetişkin bir bitkiden 70 gram kadar kuru çay elde edilebilir. İyi bakım şartlarında bir çay bitkisinin üretkenliği 40 yıl kadar sürebilir (Anonymous, 2002).

Tohumdan tesis edilen çay bahçelerinden (Şekil 1.19) kaliteli kuru çay üretimine uygun yaş çay ürünü elde edilmesi için; bakım, budama, gübreleme ve hasat gibi faaliyetler bilimsel tekniğe uygun bir şekilde yapılmaktadır. Ülkemiz dünyada çay yetiştiriciliğinde zirai mücadele ilacı kullanmayan ender ülkelerden biridir.



Şekil 1.19. Çay bahçesi

Pek çok çay üreticisi ülkeler bu türün verim ve kalitesini artırmak amacı ile araştırmalara başlamış ve bu amaçla istasyonlar kurmuşlardır. Günümüzde ulaşılan boyutlarda, uluslar arası çay ticaretinin %98'i siyah çay (mayalanmış) ve %2'si yeşil çay (mayalanmamış) dır Yeşil çay daha çok uzak doğu ülkelerinin (Japonya, Çin ve Tayvan) geleneksel çay törenlerinde kullanılmaktadır.

Şu anda dünyanın en önemli çay üreticisi ülkeler arasında Hindistan, Çin, Sri Lanka (eski adı Seylan), Kenya ve Türkiye bulunmaktadır.

Dünyada, ülkemizin de içinde bulunduğu 40 kadar ülkede çay tarımı yapılmaktadır. Yaklaşık olarak 2.800.000 ton olan toplam dünya çay üretimi içerisinde %25,8’lik pay ile Hindistan birinci, %25.13 ile Çin ikinci, %9,2 ile Sri Lanka üçüncü, %8,8 ile Kenya dördüncü, %6.27 ile TÜRKİYE beşinci büyük üretici konumundadır. Diğer üretici ülkelerin toplam içerisindeki payı %14,5’tir (Çizelge 1.3).

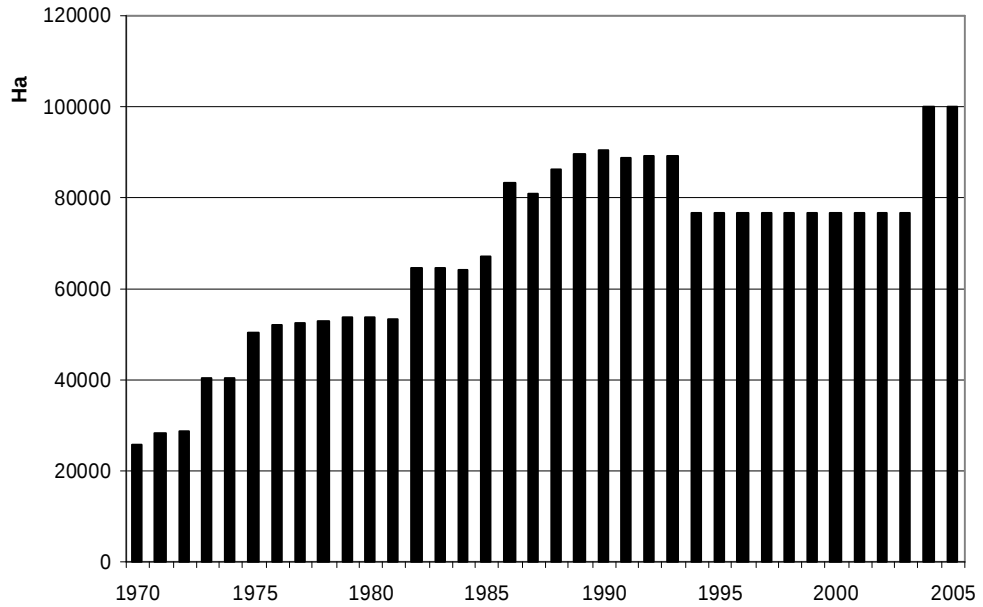
Çizelge 1.3. 2005 Yılı Verilerine Göre Dünyada Başlıca Çay Üretimi Yapan Ülkeler (FAO, 2006).

	Ekim Alanı (ha)	Üretim (t)	Verim (t/ha)
Hindistan	500.000	850.500	1.7
Çin	942.462	855.192	0.90
Sri Lanka	210.620	308.090	1.46
Kenya	140.000	295.000	2.10
Türkiye	100.000	201.663	2.01
Endonezya	116.200	164.817	1.41
Vietnam	102.000	108.422	1.06
Japonya	49.000	101.000	2.06
Arjantin	40.000	64.000	1.6
Bangladeş	53.420	58.000	1.08
Dünya	2.500.284	3.359.097	1.34

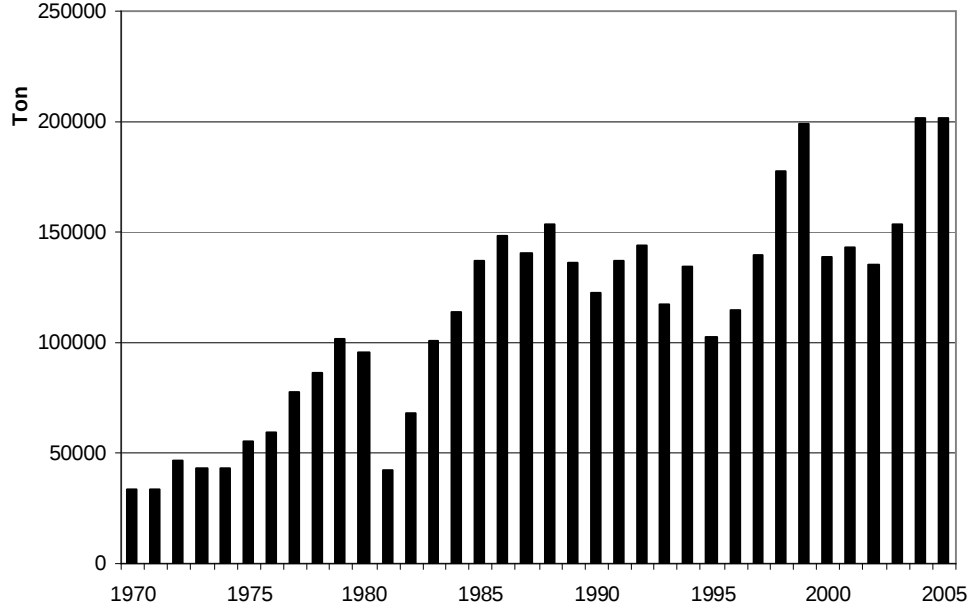
Kişi başına yıllık çay tüketimi ülkeler bazında incelendiğinde, İrlanda Cumhuriyetinin 3200 gramlık tüketimle ilk sırada yer aldığı görülmektedir. İrlanda’yı sırasıyla 2460 gramla İngiltere, 2360 gramla Kuveyt, 2400 gramlık tüketimiyle Türkiye ve 2280 gramla Katar izlemektedir. Kişi başına yıllık çay tüketiminin en düşük olduğu ülkeler ise sırasıyla 75 gramla Tanzanya ve 80 gramla İtalya’dır (Anonymous,2002) (Çizelge 1.4).

Çizelge 1.4. Ülkeler Bazında Kişi Başına Yıllık Çay Tüketim Değerleri (gram)

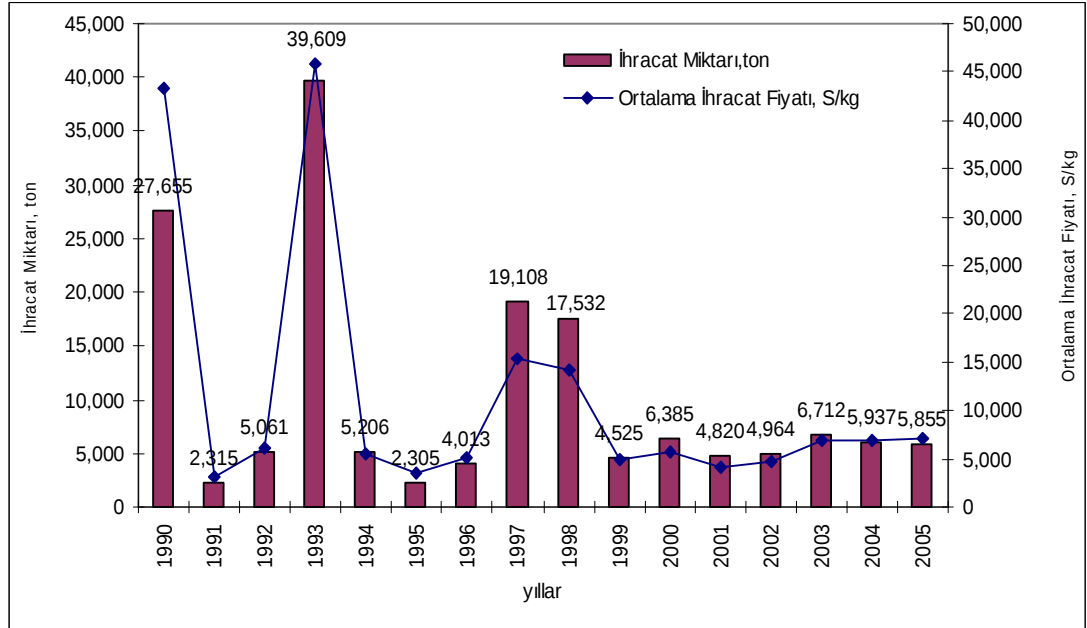
Ülke	1998-2001	Ülke	1998-2001	Ülke	1998-2001
ABD	335	Irak	2.170	Kenya	310
Afganistan	1.080	Güney Afrika	480	Kuveyt	2.360
Almanya	260	İngiltere	2.305	Mısır	1.005
Avustralya	775	İran	1.465	Norveç	235
Avusturya	225	İrlanda Cum.	2.700	Pakistan	815
Bahreyn	1.180	İsveç	325	Polonya	815
BDT	700	İsviçre	255	Srilanka	1.275
Belçika	195	İtalya	80	S.Arabistan	725
Çek Cum.	215	Japonya	1.110	Şili	865
Cezayir	180	Hindistan	640	Sudan	555
Danimarka	285	Hollanda	485	Suriye	1.250
Fas	1.370	Hong Kong	1.320	Tanzanya	75
Finlandiya	170	Kanada	585	Türkiye	2.400
Fransa	215	Katar	2.280	Y.Zelanda	1.000



Şekil 1.20. Çayın üretim alanları



Şekil 1.21. Çayın üretim miktarı



Şekil 1.22. Türkiye’de çay ihracatı (FAO, 2006)

Türkiye’nin çay ihracatı 1990–2005 yılları arasında 27 bin tonla 5 bin ton arasında değiştiği görülmektedir.(Şekil 1.22). Bu ihracat miktarları karşılığında 40–8 bin \$ arasında değişen miktarlarda döviz geliri elde edilmiştir.

Türkiye, dünyanın en büyük çay üreticisi ülkeler arasında yer almasına rağmen bugüne kadar bazı yıllar hariç, dünya çay ihracatından yeterli payı alamamıştır. Bilindiği gibi, dünya çay ticaretinde önemli olan iki temel faktör fiyat ve kalitedir. Çay ihracatı yapan üretici ülkelerin üretim maliyeti, ülkemiz kuru çay üretim maliyetinin altındadır. Bunun temel nedenleri, işçilik ve hammadde fiyatlarının düşüklüğüdür. İhracatta fiyat engelinin yanı sıra kalite konusunda da sorunlar yaşanmaktadır. Sektörün hammadde kaynağı durumundaki çay bahçelerinin ıslahı, teknik yöntemlerin yetersizliği, hasatta kalite ve standarda özen gösterilmemesi ve üretim teknolojisinin geliştirilmemesi kaliteli üretimin önünde çözülmesi gereken engelleri oluşturmaktadır.

Ülkemizde iç tüketimin karşılanması için sürdürülen çabaların uzun yıllar devam etmesi ve tüketim ihtiyacının yıllar itibarıyla artış göstermesi, ihracata yönelik ciddi üretim çalışmalarının yapılmasını önemli ölçüde engellemiştir (Anonymous, 2002).

Ekonomik ve sosyal yönden daha etkin bir hale getirilmesi amacıyla çay tarımı ve çay sanayi 1971 yılında yeniden düzenlenmiştir. 6 Aralık 1971 yılında çıkarılan 1497 sayılı Çay Kurumu Kanunu ile Tekel İşletmeleri Genel Müdürlüğü vasıtasıyla sürdürülen çay tekeli; el değiştirerek, sermayesi ile sınırlı bir devlet oluşumu olan ÇAYKUR kurularak çay endüstrisi ve tarımı çay kurumu adı ile oluşturulan bu organizasyon aracılığıyla sürdürülmeye başlanmıştır.

Çaydaki gelişmelerin dün ve bugünü dikkate alındığında, çayda en büyük değişikliğin 4 Aralık 1984 tarihli ve 3092 sayılı çay kanunu ile gerçekleştiği görülmektedir. Bu kanunla çayın tarımı, üretimi, işlenmesi ve satışı serbest bırakılmıştır. Böylece gerçek ve tüzel kişilere üreticilerden yaş çay yaprağı satın alabilmelerine, çay işleme ve çay paketleme fabrikalarını kurup işletmelerine imkân tanınmıştır. Kanun çayda devlet tekeli kaldırılmış, devlet sektörüyle özel sektörün yan yana çalışması sağlanmıştır. Ancak çay tarım alanlarının belirlenmesi Bakanlar Kurulu'nun yetkisine bırakılmıştır. Bakanlar Kurulu'nun belirlediği alanlar dışında çay tarımı yasaklanmış, çay tarım alanlarına giren yörelerde çay bahçesi kuracakların önceden ruhsat almaları zorunlu kılınmıştır.

Şu anda; Doğu Karadeniz Bölgesi'nde 45'i kamuya ve 312'si özel sektöre ait olmak üzere, toplam 357 üretim fabrikasında 17.689 ton/gün kapasite ile faaliyet gösterilmektedir (Demet, 2002).

Dünya'da hemen tüm ülkelerde, yaygın olarak kullanılan ve zevkle tüketilen, uyarıcı içerikli başlıca maddeler; alkollü içkiler, tütün, kakao, kahve ve çaydır. Çay bu uyarıcı nitelikli maddeler içinde en zararsızı olarak kabul edilmektedir. Bileşimindeki yararlı maddelerin yanı sıra, şeker ve süt gibi besleyici maddelerle birlikte içilebilme, ucuz olma ve kolay hazırlanabilme özelliklerine sahip olan çay, en fazla tüketilen içeceklerden biridir.

Dünyadaki genel duruma paralel olarak çay, ülkemizde en çok tüketilen sıcak içeceklerin başında gelmektedir. Türkiye'de çay bitkisi, Doğu Karadeniz Bölgesi'nde, Gürcistan hududundan başlayan ve batıda Fatsa'ya kadar uzanan alan içerisinde yetiştirilmektedir. Sahilden yer yer 30 km içerilere kadar giren, ortalama 8 km derinliğinde olan Araklı-Kalkandere sınırına kadar uzanan alan, çay yetiştiriciliği için en elverişli bölge olması nedeniyle birinci sınıf çay bölgesi olarak kabul edilmektedir. Bahsedilen bölge içerisinde çaycılık, sahilden 400–500 m yüksekliğe kadar birbirine eklenerek yer yer bir çay denizi oluşturmakta ve kimi yerlerde 1000 m yükseklikte çay bahçelerinin kurulduğu görülmektedir. Araklı-Kalkandere'den başlayan Fatsa ilçesine kadar uzanan, çay yetiştiriciliği yönünden göreceli olarak daha az ekonomik olan bölge, ikinci sınıf çay bölgesi olarak tanımlanmaktadır Türkiye'nin çay üretim alanları ve çay üretim miktarı Şekil 1.20 ve 1.21 de verilmiştir.

Tek ürün (mono kültür) niteliğinde olan ve ekili olduğu arazide başka ürün yetiştirilmesine olanak bulunmayan çay, 203 bin çay üreticisi ve 20 bine yakın istihdam olanağıyla, yöre ekonomisini ayakta tutan temel ekonomik sektör durumundadır (Kaçar,1992).

Bu çalışma kapsamında; çay bitkisinin genel tanımı, Türkiye ve Dünyadaki üretim durumu ile siyah çay için, çay filizinin hasadından ambalajlanmasına kadar ki üretim aşamaları hakkında bilgiler sunulmuştur.

1.4.1.Çay Üretim Aşamaları

Siyah çay üretimi için uygulanan işlemler 6 kısımda toplanabilir. Bunlar, sırasıyla çay filizlerinin hasadı ve nakli, soldurma, kıvrırma, enzimatik oksidasyon (fermantasyon), kurutma, sınıflandırma ve ambalajlamadır.

1.4.1.1. Çay Filizlerinin Hasadı ve Nakli

Çay bitkisinin diğer bitkilerden önemli bir farkı filiz verme ve yaprak oluşturma devreleriyle ilişkilidir (Altan,1997).

Yaş çay yaprağı *Theacea* familyasının *Camellia sinensis* türüne giren kültür bitkileri üzerindeki genç sürgünlerin ucunda oluşan, tepe tomurcuğu ile bu tomurcuğun altındaki taze ve körpe birinci ve ikinci yapraklardan oluşan, lif vermeyen ve usulüne uygun olarak toplanan filizlerdir. Bu iki tam yaprak ve bir tepe tomurcuğundan oluşan çay sürgününe iki buçuk yaprak denir. Tomurcuktan henüz ayrılmamış, sap ve ayası oluşmamış, gelişme durumundaki yapraklarda tomurcuktan sayılır.

Yaprak toplamada yaprakların durumu ve sayısı göz önüne alınır. Kaliteli bir çay elde edebilmek için, filiz üzerinde taze ve yeni açmakta olan 2,5 yaprağın koparılması gerekir.

Çay yapraklarının toplanması, tepe tomurcuğunun açılıp yeni yaprakların meydana gelmesinden sürgün döneminin sonuna kadar devam eder. Bu dönem, genellikle nisan- kasım ayları arasındadır. Çay bitkisi bir dönemde 4–5 defa sürgün verdiğinden yaprak toplama işinin de 4–5 defada yapılması mümkündür.

Ancak yaklaşık 40 gün süren bir sürgün devresinde meydana gelen filizler ile yaprakların körpeliği, büyüklüğü ve bileşimleri farklı olup bunların birlikte işlenmesiyle homojen, iyi kaliteli bir ürün elde etmek güçtür. Bu nedenle, yaprakların bir-iki hafta ara ile toplanmaları daha uygun olmaktadır.

Çay filizlerinin toplanmasının başlangıç tarihi üzerinde iklim koşulları, sıcaklık ve yağış durumu etkilidir. Çay bitkisinin kök ve filizleri, sıcaklığın 12–13°C'yi aşmasından sonra uyanarak faaliyete geçmektedir. Rize Bölgesi için bu

zaman, genellikle nisan-mayıs aylarına rastlamaktadır. Bu bölgede filiz toplanması için en uygun ay mayıs ayıdır (Altan,1997).

1.4.1.2. Soldurma

Soldurma, siyah çay üretiminin zorunlu ve en önemli ilk aşamasıdır. Çay yapraklarının işlenmesindeki esas, yaprak içinde bulunan maddelerin, hücre suyuyla birlikte dışarı çıkarılarak atmosfer oksijeninin yardımıyla enzimatik oksidasyona uğratılmasıdır.

Ancak, taze çay yaprağında bulunan ve çay açısından önemli maddelerin, tüm kuru madde içindeki payı %20-25'tir. Buna karşın taze yaprağın bileşiminin %75-80'i sudur. Hücre suyu bu durumda dışarı çıkarılırsa yaprak tarafından tamamıyla tutulamayacağından bir kısım akar. Bunun sonucu olarak yapraktaki suda çözünen maddelerin miktarı da azalır. Bunun yanı sıra, taze yapraklar gevrek olduklarından kıvrırma işlemi sırasında kırılıp ufalanırlar ve ticari değerleri azalır. Bu nedenlerle yapraklar, kıvrımadan önce soldurularak su içerikleri azaltılır.

Soldurma, taze çay yapraklarının ihtiva ettiği % 75–80 oranındaki suyun hava ortamı yardımıyla % 60–65 neme kadar indirgenmesi işlemidir (Şekil 1.23) (Tunçer,1973). Soldurulmuş yaprakların hücre özsuğu daha yoğun hale gelir ve kıvrırma işlemine uygun elastikiyet kazanmaktadır.



Şekil 1.23. Çayın soldurma işlemi

Yaprakların soldurulması, raf ve tekne sistemi olarak iki ayrı şekilde yapılmaktadır (Tunçer, 1973).

Raf sistemi soldurma, bir yanından vantilatörle ısıtılmış hava verilen ve karşı tarafından aspirasyonla havası emilen salona yerleştirilen raflara yaprakları sererek yapılır. Raflar soldurma salonunda hava akımına dik konumda ve tavandan tabana kadar 20 cm aralıklı katlar halinde yerleştirilir.. Raf sıraları arasında bırakılan 75 cm aralığında koridorlardan işçiler çay yapraklarını raf yüzeyine elle sererler. Rafların üzerine kanaviçe bezi gerilir. Soldurma 12-14 saat devam eder ve bu sürede % 75 nemle serilen yaprağın nemi % 60–65 neme kadar indirgenmektedir (Tunçer,1973).

Soldurma teknesi, belirli uzunluk, genişlik ve yükseklikte olan yan kenarları ve arkası kapalı, üstü kalın tel kafesle kaplı, ön ucunda içeriye hava basan vantilatörü olan bir tüneldir. Kalın tel kafesin üzerine örtülen kanaviçe bez üzerine yaprak yayılır. Vantilatör havasına bir mazot brülörünün verdiği sıcak hava katılarak soldurma havasının sıcaklığı 32°C'ye kadar yükseltilir. 20 cm kalınlığındaki yaprağın, ısıtılmış havayla ilk karşılaşan alt tabakasının kurummasını önlemek için yaprak, işçiler tarafından belli zaman aralıklarında alt üst edilip yeniden yayılır. Solma süresi 5 saattir ve %75 nemli yaprak bu sürede %65–68 neme kadar soldurulur (Tunçer, 1973). Soldurma teknelerindeki çayların solma süresi yaş çayın tazeliği ve ıslaklık durumuna, hava ve çalışma koşullarına göre değişmektedir.

Soldurmada dikkat edilecek en önemli unsur, tüm yaprakların aynı derecede solmasıdır. Bunun üzerinde, yaprakların körpelik derecesi ve su içeriklerinin aynı olup olmamasının yanı sıra soldurma odasının görel neminin homojen olup olmaması kerevetlerin eni ve boyu ile kerevetlere konan yaprak miktarı etkili olur. Genel olarak 1 m² lik alana 0,75–1,25 kg taze çay yaprağı serilebilir. İyi bir soldurma için sıcaklığın 26 °C'yi aşmaması gerekmektedir.

Taze yapraklar soldurulmadan doğrudan doğruya kıvırmaya tabi tutulursa, hücre özsuyunun dışarı çıkması ve hücre parçalanması tam olmaz, yapraklarda kıvrılmadan ziyade kırılma meydana gelir, presleme esnasında kıvrımdan akan sularla çayın içerisinde bulunan etkin maddeler dışarı atılır.

Isının yüksek olması durumunda yapraklarda kuruma ve yanmalar meydana gelir. Kurumuş ve yanmış çaylarda kıvrırma ve oksidasyon istenildiği gibi olmayacağından elde edilecek çayın kalitesi son derece düşük olur.

Soldurma esnasında buharlaşmadan dolayı oluşan rutubetli hava gerekli önlemler alınarak dışarı atılmalıdır.

Solmuş yaprağın; sarkık, halsiz ve pörsümüş durumda olması, canlı ve parlak olmaması, sap kısımlarının kırılmadan eğilir ve bükülebilir durumda olması yaş çayın iyi solduğunun göstergesidir.

Serilen çay kalınlığı 25 cm'yi geçmemeli, yaş çay çok düzgün ve eşit kalınlıkta serilmelidir. İşletmeye her saat aynı miktarda yaş çayın girmesi ve bunun 24 saat kesintisiz olarak devam etmesi sağlanmalıdır.

1.4.1.3. Kıvrırma

Yapraklar, soldurulduktan sonra kıvrırma işlemine tabi tutulur. Kıvrırma, solmuş çay yaprağının değişik çay imalat makinelerinde parçalanması, ezilmesi ve bükülmesiyle hücre öz suyunun kıvrırılmış yaprak yüzeyine yayılması ve oksidasyonun başlaması işlemidir.

Kıvrırma işleminde, yapraklar, bükülmenin yanı sıra yırtılırlar, yaprak hücrelerinin çeperleri zedelenip parçalanır ve hücre özsuğu yaprak dışına çıkarak atmosfer oksijenin etkisine maruz kalır. Atmosferik koşullarda, hücre özsuğunda bulunan maddeler, özellikle polifenoller, oksidazlarca katalizlenen biyokimyasal değişimlere uğrarlar. Yapraklardaki hücre özsuğunun dışarı çıkması üzerinde, yaprakların bükülmeye uğramasının yanı sıra yaprakların maruz kaldığı basınç ta rol oynar. İşlem sırasında hücre özsuğu ile dışarı çıkan polifenoller ve diğer çözünür maddeler yeniden yaprak tarafından emilirler.

Kıvrırma, esas itibariyle, yaprağın basınçla ovalanması olayıdır. Daha önceleri, avuçlar arasında yapılan bu işlem, günümüzde mekanik olarak yapılmaktadır.

Klasik kesintili çalışan kıvrırma makineleri, yatay durumda bir tabla ile bunun üzerinde, içi soldurulmuş yaprakla dolu, dikey durumdaki bir silindirden

oluşmaktadır. Her iki kısımda hareketli olup yatay dairesel hareketlerini ortak bir motordan alırlar. Kıvrırma makineleri dakikada 35–65 devir yaparlar (Şekil 1.24).

Silindir içindeki yapraklar, yavaş yavaş tabla üzerine dökülür, dairesel hareketli bu iki kısım arasında ovalanma etkisine maruz kalarak kıvrılır ve bükülürler.

Kıvrırma sırasında meydana gelen basıncın etkisi ile yaprakların sıcaklığı yükselir. Yaprak sıcaklığının fazla yükselmesini önlemek için, tüm yaprakların bir defada kıvrılmasına çalışılmaz. Genellikle, kıvrırma işlemi 3–4 defada tamamlanır. Basıncsız gerçekleştirilen ilk kıvrımayı izleyen kıvrımlar sırasında artan miktarlarda basınç uygulanır. Kıvrırma sırasında, yaprak sıcaklığının 30–32°C'yi aşmamasına özen gösterilmesi gerekir. Her bir kıvrırma süresi 30–40 dakika kadar olup her kıvrımayı bir kalburlama (eleme) işlemi izler.

Kıvrırma işlemi için günümüzde kullanılan en yaygın kıvrırma makinelerinden biri C.T.C.'dir. (Curling, Teoring, Cutting). Bu makineler, yaprağın kıvrılması, yırtılması ve kesilmesi işlemlerini bir arada gerçekleştirirler (Tunçer,1976).

Sistem, esas itibariyle yaprakların üst üste ya da yan yana konmuş biri 70 diğeri 700 d/d hızla dönen iki valsın arasından geçirilmesinden ibarettir (Şekil 1.24).



Şekil 1.24. Kıvrırma makinesi

1.4.1.4. Oksidasyon

Oksidasyon, kıvrılan yaş çay yaprağının hücre öz suyunda bulunan kimyasal bileşiklerinin oksidaz enziminin tesiri ile biyolojik değişikliğe uğrayarak siyah çayda istenen renk, burukluk, parlaklık, koku ve aromanın oluşması olayıdır (Şekil 1.25).

Yaprakların kıvrılması aşamasında hücre dışına çıkan polifenoller oksidasyona uğrarlar. Ancak bu aşamada süre, sıcaklık ve nem gibi koşullar oksidasyonun istenen biçimde sürmesine ve tamamlanmasına uygun değildir. Bu nedenle yapraklar, ayrı bir yerde ve kaplar içinde, oksidasyon için uygun koşullarda, belirli bir süre daha bekletilirler. Oksidasyon sonucunda çay yaprağının yeşil rengi bakır kırmızısına dönüşerek elma kokulu hoş bir tat oluşmaktadır.

Oksidasyon süresi denilince; çayların oksidasyon kısmında geçirdiği süre akla gelmemelidir. Bu süre; kıvrmanın başlamasından oksidasyonun tamamlanmasına kadar geçen zamandır.

Enzimatik oksidasyona uğratılacak kıvrılmış çaylar, bakır ya da alüminyum tablalar içine 5–6 cm kalınlığında ince bir tabaka halinde serilir. Sonra bu tablalar, arabalı raflara yerleştirilip oksidasyon odasına yerleştirilmektedir. Oksidasyonun tamamlanması için gerekli olan süre, odanın sıcaklığına ve görece nemine, çay bitkisinin çeşidine ve çay yapraklarının inceliğine bağlı olarak değişir. Genellikle; enzimatik oksidasyon için ideal sıcaklık 26–27°C, ideal bağıl nem ise %85–95 olarak kabul edilmektedir.

Yapılan gözlemlere göre, Assam çayında, sözü edilen koşullarda, oksidasyon süresinin 2 saatten fazla olması ile çayın dem rengi artmakta, 3 saatten sonra ise azalmaktadır.

En iyi nitelikli çay 2–2,5 saatlik bir oksidasyon süresi sonunda elde edilmektedir. Doğal olarak oksidasyon sıcaklığı düştükçe ideal oksidasyon süresi de uzamaktadır (Örneğin 15,6 °C’de 3,5 saat).



Şekil 1.25. Oksidasyon aşaması

1.4.1.5. Kurutma

Enzimleri durdurarak enzimatik oksidasyon işlemini sonlandırmak ve çay yapraklarının su içeriklerini çayın bozulmasını önleyecek düzeye düşürerek çayın dayanıklı kılınmasını sağlamak amaçlarıyla, çaylar kurutma işlemine tabi tutulurlar. Enzimlerin inaktive edilmeleri için gerekli en düşük sıcaklık 70–72°C dir. Kurutulmuş çayların su içeriklerinin de %3–4 den fazla olmaması gerekir. Enzimlerin hemen inaktive edilmelerini sağlamak için çayın birden yüksek sıcaklığa maruz bırakılması, yaprakların sertleşmesine ve iç kısımların tam olarak kurumamasına neden olur. Yine yaprakların 98–99°C'nin üzerindeki sıcaklıklara maruz kalmaları, çayın yanık tadı kazanmasına ve kalitenin düşmesine neden olur. Buna karşılık, çayların düşük sıcaklıkta uzun süre kurutma işlemine tabi tutulmaları da kalitenin düşmesine ve yaprakların su içeriklerinin %5 gibi yüksek bir düzeyde kalmalarına neden olur. Bu nedenlerle çayların belirli, uygun bir zaman ve sıcaklık aralığında aşamalı olarak kurutulması gerekmektedir. Çay kurutmada kullanılan değişik kurutma fırınları vardır.

Üst üste 6 bandı olan bu fırınlarda kurutma ters akım prensibine göre yapılır. Kurutulacak taze çay en üstteki bandın üzerine dökülür. Bir ocak vasıtasıyla sağlanan sıcak-kuru hava ise en alttan verilir. Fırına giren havanın sıcaklığı 90–99°C, çıkan havanın sıcaklığı ise 50–55°C' dir (Anonymous, 2002). Çayların kurutma süresi

fırına üflenlen havanın sıcaklığı ve miktarının yanı sıra fırına verilen yaprak miktarına bağlı olarak ta değişiklik göstermektedir.

İdeal çalışan bir kurutma fırınında, fırına verilen havanın 88–92°C olması fırına ilk giren çay yapraklarının yaklaşık 60°C deki hava ile karşılaşması ve fırını terk eden havanın 50–55°C sıcaklıkta olması, yaprakların 18–24 dakikalık bir kurutma süresi sonunda fırında %3 nem içeriği ile çıkması gerekmektedir (Altan,1997).

1.4.1.6. Çayların Elenmesi ve Sınıflandırılması

Kurutma fırınından alınan çaylar havasının bağıl nemi düşük olan bir salonda yayılarak soğutulur. Kuru çay higroskopik bir maddedir. Dolayısıyla ona nem kapma fırsatı verilmeden tasnif edilmesi ve depolanması gerekir (Tunçer,1973).

Kurutulmuş çaylar irilik ve nitelikleri bakımından farklılık gösterirler. Tüm titizliğe karşın, işlenen çay yaprakları farklı büyüklüktedir. Bunun yanı sıra, çay yaprakları işlenmeleri sırasında değişik büyüklükte parçalara bölünürler. Farklı büyüklükteki yaprakların ve yaprak parçalarının işlemlerden etkilenme hızı ve derecesi de farklı olmaktadır. Fermantasyon sırasında atmosfer oksijeni küçük parçacıklara daha hızlı nüfuz ettiğinden, bunların oksidasyonu daha ileri derecede olur. Yine küçük parçacıklar, kurutma işlemi sırasında büyüklerden daha hızlı ve fazla kurur, dolayısıyla bunların nem içerikleri de daha düşüktür.

Sınıflandırma; fırından çıkan kuru çayların önceden belirlenen standart elek tellerinden geçirilmek suretiyle incelik, kalınlık ve kalitelerine göre ayrılma işlemidir (Şekil 1.26).

Gerek fırın çıkışında gerekse tasnifin çeşitli aşamalarında kurutulmuş çaylar lif tutucularından geçirilerek lif ve çay çöplerinden ayrılırlar.

Çaylar fırınlardan çıktıktan sonra ihtiva ettikleri %2–4 oranındaki nem miktarı ile iyi sınıflandırılabilir. Bekletilen ve iyi muhafaza edilemeyen çayların nem miktarları arttığından ve elastikiyet kazandıklarından sınıflandırmaları iyi yapılamaz ve kısa zamanda küflenerek sağlığa zararlı hale gelirler.



Şekil 1.26. Çayın sınıflandırılması

Çayların elenmesinde kullanılan elek makinelerinin tiplerinde, elek yapımında kullanılan materyal ve elek numaralarında yeknesaklık yoktur. Eleme ve sınıflandırmada uygulanan işlemler de ülkeden ülkeye farklılık göstermektedir.

Eleme sırasında, çay yaprakları üzerinde kurumuş olan hücre özsuyunun sıyrılarak yapraktan ayrılması sonucu çayın rengi biraz açılır, hatta bazen griye döner. Bu istenmeyen durumu mümkün olduğunca önlemek için, çaylar fırından çıktıktan birkaç saat sonra, soğuduktan sonra elenmelidir. Çayların, elemekten sonra ya da paketlenmeden önce, ikinci bir kez kurutulması ve aspiratörden geçirilmesi de çay renginin ağarmasına, açılmasına, neden olur. Higroskopik karakterde olan kuru çayın eleme sırasında atmosferden nem çekerek su içeriğinin artmasına meydan vermemek için, eleme odasındaki havanın kuru olmasına, bağıl hava neminin %60-65'den fazla olmamasına, özen göstermek gerekmektedir (Altan,1997).

1.4.1.7. Çayların Depolanması ve Ambalajlanması

Çayların paketlemeden önce depolanma süresi en fazla bir hafta olmalıdır. Ancak bu depolamada, depo atmosferinin kuru olması ve deponun dışarıdan hava almaması gerekir; aksi halde ikinci bir kurutma kaçınılmaz olur.

Depolama sırasında, çayın nem içeriğinin artmasında, etkili olan başlıca faktör şunlardır:

- Ø Depolama süresi
- Ø Depo kapısının sık sık açılıp açılmaması
- Ø Depo büyüklüğü ve depoya konan çay miktarı
- Ø Deponun nem içeriği
- Ø Depolama malzemesi

Ayrıca çay tipi de çayın nem çekmesi üzerinde etkilidir. Geniş yapraklı ve iri çaylar, ince kıvrımlı küçük çaylardan daha çok nem çekerler. Çaylar özel sandıklarda ambalajlanmaktadır. Bu sandıkları yapımında kullanılan ve içine döşenen malzemenin su ve hava sızdırmayacak özellikte olması gerekir. Ambalajlanan çayın %0,5 ten fazla nem çekmemesi ve ambalajlama sırasında nem içeriğinin %5'ten fazla olmaması istenmektedir. Bileşiminde %3–4 su içeren ve kapalı bir yerde hava almayacak şekilde bekletilen çayın kalitesi bozulmadan uzun süre korunabilmektedir. Hatta hamlığı azaldığı için kalitesi artar. Bozulan çaylarda dem rengi esmerleşir.

1.5.Çay Kurutmada Yeni Bir Teknoloji

Mikrodalga İle Kurutma

Mikrodalga, çay yapraklarının kurutulmasında kullanılan en yeni teknolojik uygulamadır (Şekil 1.27). Araştırmalar ve denemeler sonucunda 1 kg suyun çay yapraklarından uzaklaştırılabilmesi için geleneksel yöntemlerle kömür yakarak 10 000 kJ/s (2390 kcal), mikrodalga ile kurutmada ise 3900 kJ/s (933 kcal) ısı enerjisi değerlerine erişilmiştir.

Mikrodalga uygulanarak ısı enerjisinin etkin kullanılmasıyla sağlanacak enerji tasarrufu, enerji maliyetini kömüre göre mikrodalgada 2,5 kat azaltmayı olanaklı hale getirmektedir.



Şekil 1.27. Mikrodalga fırında çayın kurutulması

Mikrodalgada çay yapraklarının kurutulması süresi de kısaltılmaktadır. Çalışma prensibi içsel ısıtma olan bu teknolojiye, geleneksel kurutma prensiplerine (dışsal ısıtmaya) kıyasla kurutma süresi önemli düzeyde azalmaktadır. Çay fabrikalarının yetersiz kalıp tıkaandığı Mayıs ayı çay yaprağı hasadına yetişemediği baskın dönemlerinde, soldurma kurutma süresinin kısılması önemlidir (Tunçer,2005).

Kurutulan çay yapraklarının kalitesi yükseltilmektedir. Çay yapraklarının imalata alınmadan bekletildiği baskın dönemlerinde mikrodalga uygulaması ile yapraktaki enzimatik reaksiyonlar durdurulur. Yaprığın bozulması önlenir. Kömüre kıyasla, mikrodalga temiz enerjidir. Çevre ve hava kirliliği yapmaz

Ülkemizde çay tarımında temel sorun, yaş çay yaprağı kalitesi ile ilgilidir. Ürün kalitesinin yükseltilmesi, büyük ölçüde, tarımsal tedbirlerin zamanında ve doğru şekilde alınmasına bağlıdır. 1993 yılında başlatılan ve halen sürdürülen budama çalışmasının kaliteli yaş yaprak üretiminde sektöre önemli katkıları olmuştur. Gübreleme ve hasat işlemleri de tekniğe uygun şekilde yapılmalıdır. Çay makasının tekniğe uygun kullanılmaması ve gübrenin bilinçsizce kullanılması, ürün kalitesinin azalmasına ve toprak yapısının bozulmasına neden olmaktadır.

Çay bahçelerimizin bir başka sorunu, verim yaşını tamamlamış çay bahçeleridir. 77 bin hektar çay tarım alanının %30'u 50 yaşın üzerinde, ekonomik

verim yaşını tamamlamış çaylıklardan oluşmaktadır. Kaliteli yaş çay üretimi için, yaşlanmış çay bahçelerinin kaliteli çay tipleri ile belirli bir plan içerisinde yenilenmesi gerekmektedir.

Çay tarımı ile ilgili bir diğer sorun yaş yaprak alım standardı konusudur. Kaliteli kuru çay kaliteli yaş çay yaprağından üretilmektedir. Kamu ve özel sektör işletmeleri arasında alım standardı konusunda uygulama farklılıkları bulunmaktadır. Bu farklılık çay üreticilerinin de daha dikkatsizce ve standart dışı hasat yapmalarına neden olmaktadır. Makasın tekniğine uygun kullanılmaması ve standart dışı toplanan ürünün satın alınması, kalitesiz kuru çay üretimini artırmaktadır.

1.6. Çalışmanın Amacı

Dünya genelinde uygulanan kurutma tekniğinde, ürünün kurutulması için gerekli ısı enerjisi ürüne fizik kanunlarına göre konveksiyon, kondüksiyon ve radyasyon gibi üç iletim yoluyla verilmektedir. Bu üç iletim şeklinde kuruma süresi ısı kaynağının sıcaklığıyla ürün sıcaklığı arasındaki farkın büyüklüğünden ve ürün dışından içeriye doğru ısı iletim yeteneğinden etkilenir. Mikrodalga ile kurutma siteminde ise ürün içindeki su moleküllerini titreterek ısıyı sürtünme sonucu oluşturması nedeniyle, tüm ürün ısıtılmaktadır. Tüm bu tanımlamalar dikkate alındığında bu araştırmanın amaçları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Ø Sebze ve endüstri bitkilerinin kurutulmasında mikrodalga uygulamasının ön bilgilerini kazanmak ve en uygun kurutma yöntemini deneysel olarak belirlemek.
- Ø Sebze ve endüstri bitkilerinin yüksek frekanslı mikrodalga alanının etkisine konulunca, ürünün gösterdiği davranış ve uğradığı değişikliklerin saptamak,
- Ø Kuruma süresi ve enerji tüketimi gibi sistemin teknik performans değerlerini belirleyerek, ürünün göstermiş olduğu değişiklikleri belirlemek,

- Ø Ürünlerin taze ve kurutulmuş haldeki renk özelliklerinden yola çıkarak, kurutma koşullarının ürünlerin rengi üzerindeki etkilerini belirlemek,

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Alibaş (2007), ısırgan otunu başlangıç nem içeriği %4,41 den %0,1 (kuru baz) sonuç nemine kadar sırasıyla mikrodalga, konvektif ve vakumlu kurutucularda kurutmuştur. Isırgan otunun enerji tüketim ve renk parametreleri farklı kurutma koşullarıyla karşılaştırılmıştır. Özellikle deneyler, sırasıyla mikrodalga ve konvektif kurutmadaki bu parametrelerin etkilerini incelemek için, 4 farklı mikrodalga güç seviyesinde (500, 650, 750 ve 850 W) ve 4 farklı hava sıcaklığında (50, 75, 100 ve 125°C) gerçekleştirilmiştir. Kuruma periyotları, mikrodalga , konveksiyonel ve vakumlu kurutma için sırasıyla 4 ile 6, 30 ile 120 ve 35 ile 65 dakika arasında değişmiştir. Tüm çalışma koşullarında en iyi model olarak page modeli belirlenmiştir. Bu çalışmada, kurutma periyodu renk ve enerji tüketim değerlerine göre en uygun metodun 850 W'lık mikrodalga ile kurutma olarak belirlenmiştir.

Alibaş Özkan ve ark. (2007) 50 g ağırlığında ve %9,01 (kuru baz)neme sahip ıspanak yapraklarını mikrodalga fırında nemleri %0,1 (kuru baz) olana kadar 90 W ile 1000 W arasında değişen sekiz farklı mikrodalga güç kullanılarak kurutmuşlardır. Kurutma işlemi, mikrodalga güç seviyelerine bağlı olarak 290 ile 4005 s arasında tamamlanmıştır. Çalışmada, enerji tüketim değerleri 350–1000 W mikrodalga güçler arasında sabit kalırken, 160 W ve 90 W mikrodalga güçlerindeki enerji tüketim değerlerinde önemli artışlar meydana gelmiştir. Bu çalışmada ölçülen değerler, Page modelinden elde edilen tahmini değerlerle karşılaştırılmıştır. Renk ve absorptik asit değerlerine göre en iyi özellik 750 W mikrodalga gücüyle çalışma koşullarında elde edilmiştir.

Doğantan ve ark. (1987), güneşle kırmızıbiber kurutmanın en uygun tasarımının, kurutma havasının sıcaklığı, hava hızı ve kurutma hızının etkilerini incelemek için gerekli olduğu belirtmişlerdir. Laboratuar tipi kurutma deneyleri, taze olarak hasat edilen kırmızıbiberlerin ince tabaka kurutma davranışlarını belirlemek için gerçekleştirilmiştir. Kuruma havası sıcaklığının kuruma hızı üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. 45°C'den 60°C'ye kadar olan sıcaklıktaki artış kuruma süresini 30 saatten 17 saate kadar azalmasına neden olmuştur. Çalışmada sıcaklıktaki artış yaklaşık olarak 60°C ile sınırlandırılmıştır. Daha yüksek kuruma

havası sıcaklıklarında kırmızıbiberde yanma meydana gelmiştir. Bu olay daha düşük kalitede kurutulmuş kırmızıbiber oluşumuna neden olmuştur. Laboratuvar çalışmalarına dayalı olarak en uygun kurutma sıcaklığının 55°C olduğu belirtilmiştir. Hava hızındaki artış kuruma süresini kısaltmıştır ve 0,5 m/s den daha yüksek hava hızı kuruma hızında önemsiz bir artışa neden olmuştur.

Doğantan ve Tunçer (1989), yaptıkları çalışmada laboratuvar tipi kurutucuda kırmızıbiberin karakteristik kuruma özelliklerinin saptanmasına çalışmışlardır. Kırmızıbiber için kuruma sıcaklığının en fazla 60°C olması gerektiği gözlenmiş, özellikle 65°C’de biberde yanma olacağı saptanmıştır. Optimum hava akımı hızı 0,5 m/s olması gerektiği görülmüştür. Kurutmadan önce biberlerin yarılmasıyla, kurutma süresinin önemli ölçüde azalacağı belirlenmiştir.

Eren ve ark. (2005), pilot ölçekteki bir konveksiyon mikrodalga bantlı kurutucuda yapılan maydanoz kurutma denemesinin sonuçlarının verildiği bu çalışmada, atımlı mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ile ürün kurutulmasında uygulanan atım oranlarının kurutucu enerji tüketimi, kuruma süresi ve kurutulan ürün renk kalitesi üzerine etkileri araştırılmıştır. Kurutma denemelerinde infrared ısıtıcılardan elde edilen sıcak hava ve atımlı mikrodalga enerjisi birlikte uygulamıştır. Mikrodalga enerjisi, kurutucu mikrodalga jeneratörlerinin çalışma ve durma sürelerinin özel bir kontrol donanımı ile ayarlanması ile atımlı/kesikli olarak uygulanmıştır. Uygulanan atım oranları (açık,s/kapalı,s)sırasıyla 15/30, 30/30, 45/30 ve 60/30 olacak şekilde ayarlanmıştır. Denemeler sonucunda, atım oranı attıkça aynı bant hızında kurutucu elektrik enerjisi tüketiminin attığı, buna karşılık kurutulan ürünlerde ulaşılan sonuç nemi ve ürün renk kalitesinin de azaldığı belirtilmiştir. Yapılan çalışmada, ürünün %10 y.b. seviyelerine kadar kurutulması için gerekli süre ve sistemin elektrik enerjisi tüketimi değerleri bakımından en uygun sonucu 0,133 m/dak bant hızında, sıcak hava ve 30 s aktif, 30 s pasif atımlı mikrodalga ile kurutma yöntemi verdiği belirtilmiştir. Bu çalışma yöntemi sonucuna göre %10,48 $\pm$ 3,43 y.b. sonuç nemine kadar ürünün kurutulması için gerekli süre 41 dakika olup, 3,02 kW elektrik enerjisinin harcandığı bildirilmiştir.

Funebo ve Ohlsson (1998), elma ve mantarın mikrodalgayla kurutulmasını inceledikleri bu çalışma, düşük güçte mikrodalga enerjisi kullanılarak

gerçekleştirilmiştir. Amacı sıcak havalı kurutma ile mikrodalga destekli sıcak havalı kurutmayı karşılaştırmak olan bu araştırmada, hava hızı, mikrodalga gücü ve hava sıcaklığı değişken olarak alınmıştır. Kalite parametreleri, tekrar su alma kapasitesi, hacim yoğunluğu ve renk parametreleri olarak belirlenmiştir. Düşük hava hızı ürünün kahverengileşmesine sebep olmuş ve minimum hava hızı 1 m/s olarak tanımlanmıştır. Mikrodalga destekli sıcak hava kurutma kullanılarak mantar için dört faktörlü, elma için iki faktörlü kuruma süresi ile azaltmak mümkün olduğu görülmüştür.

Kemahloğlu ve Baysal'ın (2002) bildirdiğine göre, mikrodalğanın ilk ticari kurutma uygulaması patates cipslerinin son kurutma işlemidir. Cips üretiminde iyi bir renk elde edilmesi için kızartma uygulamasını takiben mikrodalga-sıcak hava kurutması uygulanmıştır. Bu yolla cipslerde kuruma oranındaki homojenlik ve artışa bağlı olarak yağ oranı %5 azaltılması da başarılmıştır. Ancak patates çeşitlerine göre farklı koşullarda uygulamalar gerektiğinden, teknik yetersizlikler nedeniyle geniş çaplı kullanılmamıştır

Mikrodalğanın makarna üretiminde kurutma aşamasında kullanılabileceği düşünülmüş ve makarna kurutulması üzerine değişik araştırmacılar tarafından endüstriyel standartlarda kullanılması üzerine çalışılmıştır.

Kemahloğlu ve Baysal (2002) adlı araştırmacıların bildirdiğine göre, Winston (1974), çeşitli tipteki makarnaların mikrodalga ile kurutulması üzerine yaptığı ilk denemelerde, makarnanın presten çıktıktan sonra mikrodalga ile kurutulması elde edilen son ürünün aşırı kırılgan olması nedeni ile yetersiz olduğunu belirtmiştir. Bu ürünle ilgili sonradan yapılan pişirme denemelerinde de mikrodalga ile kurutulmuş makarna, pişirme sonrası parçalanmış asılı halde çözünmemiş katı maddeler içeren yoğun ve çamurumsu görüntüde bir pişirme suyu ortaya çıkmıştır. Kurutmanın ürünün başlangıç nem içeriğinin bir fonksiyonu olmasından dolayı mikrodalga kurutma öncesinde sıcak hava kurutma ile ürünün nem içeriğinin yeterli bir düzeye indirildikten sonra mikrodalga kurutucu kullanılmasının yeterli bir kalitede ürün elde edilmesinde yardımcı olacağı düşünülmüştür.

Kemahloğlu ve Baysal (2002) adlı araştırmacıların belirttiğine göre, Katskee (1977), mikrodalga kurutmanın ilk basamağında ürünün aşırı nem kaybını

önlemek amacıyla ilk aşamada %17'lik nem içeriğine kurutulmasına hedeflemiştir. 71–82°C'de yaklaşık 30 dakika uygulanan bu işlemde sonra mikrodalga kurutma aşamasında ürün istenilen son nem içeriğine 10–20 dakika gibi bir sürede gelmiştir.

Kemahloğlu ve Baysal (2002) adlı araştırmacıların belirttiğine göre Ragavan. (1993), mikrodalga kurutma ile hububat tanelerinin kurutulması için araştırmalar yapmış ve mikrodalga kurutmanın avantajları ve kısıtlamaların neler olduğunu bildirmiştir. Doğal nem içerikleri farklı iki buğday çeşidinin mikrodalga ile kurutulduğu çalışmada, fiziksel, kimyasal ve pişirme özelliklerindeki değişimler araştırılmıştır (Campana ve ark.1993). Toplam protein içeriğinin etkilenmemesine karşın, glütenin fonksiyonelliği, şişme süresi kademeli olarak değişmiş ve bu pişirme özelliklerinden anlaşılmıştır.

Kemahloğlu ve Baysal (2002) belirttiğine göre, Baysal ve ark.(1992) tarhananın kurutulma aşamasında mikrodalga ısıtmadan yararlanılması üzerine çalışmışlar ve tarhana hamurunun hazırlanmasından sonra, oksidasyon aşamasını takiben mikrodalga kurutmanın uygulanabilirliği ve kalitesine etkisini araştırmışlardır. Yapılan çalışmada, 1.2 kW gücünde ve 2450 MHz de çalışan mikrodalga kullanılarak farklı kalınlıklarda tarhananın (2.5–5 mm) kurutulması denenmiştir. Mikrodalga kurutmada ürün kalınlığının etkisinin önemli olduğu ve kalınlığın 2,5 mm'den 5 mm'ye çıktığında kurutma için gerekli sürenin 2 kat artış gösterdiği saptanmıştır. Mikrodalga kurutma ile güneşte kurutma süreleri karşılaştırıldığında ise, geleneksel güneş kurutma ile 5 günde tamamlanabilen kurutma işleminin, 2,5 mm ürün kalınlığında mikrodalga kurutmada 12 dakikada ve 5 mm ürün kalınlığında mikrodalga kurutmada 29 dakikaya azaldığı belirlenmiştir.

Kemahloğlu ve Baysal (2002) adlı araştırmacıların belirttiğine göre, mikrodalga uygulaması başka amaçlar için de kullanılmış ve etkileri incelenmiştir.

Kemahloğlu ve Baysal (2002) adlı araştırmacıların belirttiğine göre, Türker ve Elgün (1998) süne ve kımıl zararlı tavlı buğdaylara mikrodalga uygulamasının tanenin öğütme ve un özelliklerine etkisini incelemişler ve mikrodalga işleminin un verimini, ekmek hacmini artırdığı, süne ve kımıl zararı ile kül miktarını düşürdüğünü belirlemişlerdir.

Maskan (2000), muzla mikrodalga, sıcak hava ve mikrodalga ile son kurutma üzerine yapmış olduğu çalışmada $4,3\pm0,177$; $7,4\pm0,251$; $14\pm0,492$ mm kalınlıklarında muz örnekleri kullanmışlardır. Sıcak havayla kurutma, mikrodalga ile kurutma ve son olarak ta mikrodalgayla son kurutmayı takip eden sıcak havayla kurutma gibi üç farklı çalışma koşulunda kurutma işlemlerini gerçekleştirmiştir. Muz örnekleri, 1,45 m/s hava hızı ve 60°C sıcaklığa ayarlanmış kurutucuda sıcak havayla kurutulmuştur. Aynı sıcaklıkta 3 farklı örnek kalınlıklarında çalışılmıştır. Kuruma eğrilerinin belirlenmesi için, kuruma süresince nem kayıpları dijital terazi ile 10 dakikalık aralıklarla kaydedilmiştir. Muz örnekleri ikinci olarak mikrodalga ile kurutulmuştur. Mikrodalga kurutmada, 4,3 mm sabit örnek kalınlığında 350, 490 ve 700 W lık mikrodalga güç yoğunluğu ve 490 W sabit güç yoğunluğunda 4,3 mm/3,56 g, 7,4 mm/5,60 g ve 14,0 mm/11,85 g örnek kalınlığı/ ağırlık olarak belirtilen faktörler araştırılmıştır. Son olarak muz örnekleri, mikrodalga ile son kurutmayı izleyen sıcak havayla kurutulmuştur. 60°C ve 1,45 m/s hava hızında 4,3 mm kalınlığındaki muz örnekleri sıcak havayla kurutulmuştur. 1,25 kg su / kg kuru madde miktarına kadar kurutulan muz örneği daha sonra 350 W mikrodalga güce ayarlanmış mikrodalga fırında kurutulmuştur.

Sıcak havayla kurutma da, nem kayıplarının hızının başlangıçta yüksek olduğu belirlenmiştir. Ancak, düşük nem içeriklerinde difüzyon işleminin yavaş olmasından dolayı sıcak hava ile kurutmanın avantajlı olmadığı ve kurutma hızının mikrodalga fırının güç verimi ile dikkat çekecek derecede arttığı belirtilmiştir. Mikrodalga ile kurumayı izleyen sıcak havayla kurutma işleminde kuruma hızının arttığı, kuruma süresinin de azaldığı belirtilmiştir.

Maskan (2001), kivi meyvesi sıcak hava, mikrodalga ve sıcak havayla ve üçüncü olarak mikrodalgayla kurutma yöntemi uygulayarak, $5,03\pm0,126$ mm kalınlık için denemiştir. Bu kurutma yöntemlerinin, kurutma oranları, büzülme ve su kaybı kapasiteleri karşılaştırmıştır. Mikrodalga ile kurutma veya mikrodalga-sıcak havayla kurutma oranlarının artması, kurutma sürelerinin önemli derecede kısalmasına neden olmuştur. Mikrodalgayla kurutma süresince meydana gelen kivi meyvelerindeki büzülme, sıcak havayla kurutmada daha fazla olmuştur. Sıcak hava-mikrodalga

kurutmada daha az büzülme gözlenmiştir. Mikrodalgayla kurutulan meyvelerde, çalışılan diğer kurutma metotlarına göre daha düşük nem kaybı gözlenmiştir.

Maskan (2001), sıcak hava kurutma, mikrodalga kurutma ve sıcak hava ile mikrodalgayla son kurutma kombinasyonuyla yapılan çalışma koşullarında kivi meyvesinin renk değişim kinetiklerini araştırdıkları bu çalışmada, renk değişimi için kinetik parametrelerinin belirlenmesinde Hunter L^* , a^* , b^* değerleri Chroma, Hue açısı toplam renk farklılığı ve kahverengileşme indeks değerleri kullanılmıştır. Üç renk parametresini değiştiren kuruma işleminin, daha koyu bölgeye doğru bir renk değişimine neden olduğu belirtilmiştir. L^* ve b^* değerlerinin kuruma süresince azaldığı, a^* değerinin ise arttığı gözlemlenmiştir. Hunter parametrelerinin mikrodalga ile kurutmada daha fazla etkilendiği belirtilmiştir. Renk değişimin tanımlanması için sıfır ve birinci derece kinetik modeller uygulanmıştır. Her iki modelde L^* ve b^* değerlerini tanımlamada yeterli bulunmuştur.

Özkan ve ark.(2001), ülkemizde yaygın olarak kullanılmayan, bunun yanı sıra gelişmiş ülkelerde özellikle baklagiller ve tahılların daha kısa sürelerde kurutma olanağını yaratabilmek amacıyla yaygın olarak kullanılan “mikrodalga ile kurutma yöntemi” ile domatesin kurutulmasına çalışmışlardır. Denemeler sonucunda domatesin mikrodalga ile diğer kurutma yöntemlerine göre oldukça kısa sürelerde kuruduğu, renk, koku ve tat gibi özelliklerini kaybetmediği, şekilsel açıdan herhangi bir değişime uğramadığı saptanmıştır.

Özbek ve Dadalı (2007), nane yapraklarının, nem içeriği, nem oranı, kuruma hızı, kuruma süresi ve efektif nem yayılma gücü (difüzyon) üzerinde mikrodalga kurutma tekniğinin etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada, mikrodalga çıkış güçlerinin (180-900W) ve örnek miktarlarının (25–100 g) artmasıyla, sırasıyla kuruma süresi 12.50’den 3.0 dakikaya azaldığı ve 6.60’dan 16 dakikaya arttığı belirtilmiştir. Kinetik parametreleri belirlemek için, kuruma verisi kuruma süresine karşın, başlangıç ve son nem içerikleri ve denge nem içeriği arasındaki oranın farklılıklarına dayalı çeşitli modeller uygun bulunmuştur. Uygulanan bu modeller arasında, yarı ampirik Midilli modeli tüm kurutma koşullarında en uygun model olarak belirlenmiştir. Mikrodalga çıkış güçleri artarak ve örnek miktarları azalarak, efektif nem difüzyon değerleri

3.982×10^{-11} ile $2.073 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ve 9.253×10^{-11} ile $3.162 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ arasında değişmiştir.

Öztekin ve ark.(2006), kurutulan kırmızıbiberde renk değişimi, aflotoksin oluşumu, mikrobiyel yük ve depolama zararlılarının değişimi incelenmiştir. Araştırmada elde edilen sonuçlara göre üretim ve depolama esnasında aflotoksin oluşumu ve depolama zararlılarının gelişimini önleyen renk, tad ve aromayı koruyan yeni bir üretim ve depolama stratejisine gereksinim olduğu belirlenmiştir. Bu yeni yaklaşımda ozonlu suyla ürün yıkama, kurutma sistemlerinin etkin kullanımı, vakum-hermetik depolama teknikleri, bilgisayar destekli depo kontrolü gibi işlemler öngörülmüştür.

Panchariya ve ark.(2002), deneysel bir kurutucu siyah çay kurutma kinetiklerinin belirlenmesi için geliştirmişlerdir. Çayın kuruma karakteristikleri, 80-120°C sıcaklık aralığı ve 0,25-0,65 m/s hava hızındaki ısıtılmış ortam havası kullanılarak incelenmiştir. Ürün ağırlığı, kuru ve yaş ampul sıcaklıkları ve kurutulmuş havanın hava hızı test süresince devamlı olarak kayıt edilmiştir. Çalışmada, kurutma verileri, ilk nem ve son nem içerikleri ve denge nem içeriğinin arasındaki farklılığın oranına dayalı olarak Lewis, Page, Geliştirilmiş page, İki Terimli ve Henderson ve Pabis modellerine uygulanmıştır. Lewis modeli diğer modellerden daha iyi tahmini değerler vermiştir.

Raghavan ve Silveria (2001), mikrodalga ve konveksiyonel kurutma sistemlerinin kombinasyonunda ozmotik olarak kurutulan çileğin büzülme karakteristiklerinin araştırıldığı bu çalışmada, çilekler, başlangıç kütlesine dayalı 0.1 ve 0.2 W/g güç seviyelerinde ön işleme tabi tutulmuş ve ozmotik olarak kurutulmuştur. Bu çalışmada, büzülmenin, nem oranıyla lineer bir ilişkiye sahip olduğu, çileğin eşdeğer çapının, nem oranıyla ters logaritmik bir fonksiyona sahip olduğu, ozmotik olarak kurutulan meyvelerin hacimdeki değişimleri ozmatik olarak kurutulmayanlardan daha büyük olduğu belirtilmiştir.

Ren ve Chen (1998), Amerikan cinseng bitkisinin köklerinin işlenmesi için, mikrodalga- sıcak hava kurutma metotlarının birlikte kullanımının uygun olup olmadığını araştırdıkları bu çalışmada, kurutma işlemine başlamadan 16 ve 24 mm çapta Amerikan ginseng kökleri taze olarak 200 g seçilmiş, toprağını gidermek için

yıkanmış ve köklerin nem içeriklerinin belirlenmesi için 24 saat 70°C de vakumlu kurutucuda kurutulmuştur. Kurutma denemeleri, sıcak havayla kurutma ve mikrodalga- sıcak hava kurutma kombinasyonu olarak yürütülmüştür. Sıcak havayla kurutma için, sıcaklık ve havanın akış hızı sırasıyla 38°C ve 60 l/dak olarak öngörülmüştür. Mikrodalgayla-sıcak hava kurutma işlemi için, 60 W ilave mikrodalga güç ile başlanmıştır. Kurutma işlemi süresince, kökler her 4 saatte bir tartılmıştır. Renk ölçümleri için, kurutulmuş kökler küçük parçalarda kesilmiş 200 delikli elek kullanılarak elenmiştir. Toz halindeki bitkinin L*,a* ve b* değerleri Minolta Renk Ölçer kullanılarak belirlenmiştir. Çalışmada, Amerikan ginseng köklerini kurutmak için mikrodalga-sıcak hava kurutma metodunun çok etkili olduğu, kuruma hızının geliştirildiği kuruma süresinin %28,7–55,2 oranında azaldığı vurgulanmıştır.

Reyes ve ark. (2007), yaptıkları bu çalışmada, patates dilimlerini tünel kurutucu ve konvansiyonel akışkan yataklı bir kurutucuda mikrodalga uygulanarak kurutmuşlardır. Son nem içeriği %12'ye (yaş baz) ulaşmaya kadar kurutucu tipi, sıcaklık ve hava hızının etkileri araştırılmıştır. Kurutucu tipi ve kurutma sıcaklığının kurutulmuş patates dilimlerinin renk ve kuruma hızı üzerinde önemli etkisi olduğu belirlenmiştir. Yapılan istatistiksel analizler sonucu, akışkan yataklı bir kurutucuda mikrodalga uygulamasının kuruma süresinde azalmaya neden olduğu belirlenmiştir. Tünel tipi kurutucu, akışkan yataklı kurutucu ile yer değiştirdiğinde kuruma süresinde %70 azalma gözlenmiştir. Akışkan yataklı kurutucuya mikrodalga uygulandığında toplamda %85 kuruma süresinde azalma meydana gelmiştir. Yapılan bu çalışmada akışkan yataklı kurutucu ile mikrodalga uygulanan akışkan yataklı kurutucu arasında renk parametrelerinden elde edilen değerler çok benzerlikler göstermesine rağmen, ikincisinin daha kısa kuruma süresine sahip olmasının avantajına sahip olduğu belirlenmiştir.

Sharma and Prasad (2006), sarımsak dişlerinin mikrodalga ile kurutulmasını inceledikleri bu çalışmada, ayarlanmış mikrodalga gücü, hava sıcaklığı ve hava hızının sağlandığı bir laboratuvar tipi mikrodalga- konveksiyon kurutucu geliştirilmiştir. Hava sıcaklıkları 40, 50, 60, 70°C; hava hızları 1,0 ve 2,0 m/s ve mikrodalga güç seviyeleri 10, 20, 30, ve 40 W olarak uygulanan kurutma

denemelerinde aynı büyüklükte sarımsak dişleri kullanılmıştır. Mikrodalga-konveksiyon kurutma, 1,85 kg su /kg kuru madde olan başlangıç nem içeriğinden 0,06 kg su/kg kuru madde olan güvenilir seviyeye kadar azaltılarak tamamlanmıştır. Kuruma süresi, hava sıcaklıklarının ve mikrodalga gücün bütün seviyelerinde hava hızının 1,0 m/s den 2,0 m/s ya artırılmasıyla artmıştır. Kurutma koşullarıyla ilgili belirli enerji tüketim değerleri hesaplanmıştır. Taze ve kurutulmuş sarımsak dişlerinin kalite özellikleri, renk (L^* , a^* , b^* değerleri), tat etki derecesi ve C vitaminine göre değerlendirilmiştir. Yeniden su alma oranı kurutulmuş sarımsak dişlerine göre belirlenmiştir. Mikrodalga gücünün 40 W, hava sıcaklığının 70°C ve hava hızının 1,0 m/s olduğu durumlarda iyi kalitede kurutulmuş sarımsak dişlerinin elde edildiği ve kurutma işleminde düşük enerji tüketim değerlerine ulaşıldığı vurgulanmıştır.

Silva ve ark. (2006), mikrodalga enerji kullanılarak Macadamia cinsi fındık kurutmuşlardır. Kurutma süresi konveksiyonel sıcak havayla kurutmada gereksinim duyulandan (144 saat) daha kısa sürede (4,5-5,5 saat) gerçekleşmiştir. Aynı zamanda, önerilen bir method olan kuruma işlemi süresince mikrodalga uygulaması konveksiyonel kuruma işlemleri kullanılarak elde edilen özelliklerle karşılaştırıldığında Macadamia fındığının doğal özelliklerini korunmasında etkili olduğunu belirtilmiştir.

Tunçer (1990), çeşitli sebzelerin mikrodalga ile kurutulması üzerine bir çalışma yapmış ve bu çalışma sonucunda mikrodalga alanına verilen pırasa, kırmızı ve yeşilbiber, patlıcan, soğan, patatesin uygun güç kademesi seçilerek ve mikrodalga ile sebzelerin reaksiyona girmesini önleyen düzenlemelerle hiçbir kalite kaybı olmasızın, çok kısa sürede kurutmanın mümkün olduğunu bildirmiştir. Kurutma sonucunda yanık benekleri, renkte solma, tipik koku ve tadın değişmesi gibi olumsuz hiçbir değişim saptanmamıştır. Kurutma yöntemlerini karşılaştırmış ve mikrodalga ile kurutma süresi konveksiyonla kurutmaya kıyasla, 1/5 ile 1/12 arasında değişen kısa sürede gerçekleştiğini bildirmiştir.

Tunçer (2006), mikrodalgalı bantlı kurutucuda baharatlık kırmızıbiberin kurutulması üzerine bir çalışma yapmıştır. Yapılan bu çalışmada, mikrodalga ile kurutulan biberin, kalitesinin iyileştirildiği, kurutma süresinin kısaldığı ve enerjinin

etkin kullanılmasının nedeniyle kurutma maliyetinin düşürüldüğü kanıtlanmıştır. Mikrodalga teknolojisi ile kurutulan sanayi tipi bantlı kurutucu projelendirilmiştir.

Bir diğer mikrodalga kurutma çalışması **Shivhare ve ark.(1993)** tarafından soya fasulyesinin 2450 MHz frekanslı mikrodalga sistemi kullanılarak incelenmiştir. Soya fasulyesi genellikle yüksek nem miktarlarında hasat edilir ve daha sonra kuru temelde %15 nem seviyesine kadar kurutulur. Böylece depolama boyunca oluşabilecek bozulma önlenmiş olur. Kurutma sıcaklığı olarak maksimum sınır 60°C'dir. Çünkü daha yüksek sıcaklıklarda çekirdek yüzeyinde çatlaklar ve renk kaybı gözlenmektedir. Yapılan çalışmada amaç, giriş hava koşulları ve çeşitli mikrodalga seviyelerinin ürün kalitesine ve kurutma kinetiğine olan etkisinin belirlenmesidir. Kurutma kalitesi ve kinetiği belirlenirken yığın yoğunluğuna ve çimlendirmeye bakılmıştır. Kurutulmuş fasulyenin çimlendirilmesi ve yığın yoğunluğu absorplanan güç seviyesinin artırılması ile azalmıştır. Deneme sonunda nem kaybı ve çatlak gözlenmemiştir.

Mikrodalga pişirme üzerine yapılan ilk çalışmalarda, bazı pişirme işlemlerinde mikrodalgaların başarıyla kullanılabilmesine karşın çoğunlukla geleneksel ısıtma uygulamaları ile kombine edilerek kullanılmasının daha avantajlı olabileceği bildirilmiştir.

Varith ve ark. (2007), kabuğu soyulmuş Longan meyvesinde mikrodalga-sıcak hava kombinasyon kurutma işlemi gerçekleştirdikleri bu çalışmada, 40, 50 ve 60°C olarak belirlenen sıcak hava sıcaklıkları ile 100 180 300 ve 450 W olarak belirlenen mikrodalga güçleri birleştirilmiştir. 3,3 s için 300 W Mikrodalga gücü ile 60°C kombinasyon çalışmasını izleyen 1,7 s için 450 W mikrodalga gücü ile 40°C sıcak hava kombinasyon çalışması kullanılarak maksimum kurutma etkisi sağlanmıştır. Altın kahverengi meyve etini elde etmek için mikrodalga sıcak hava kombine kurutma işlemi, 65°C sıcak hava ile kurutma işlemi ile karşılaştırıldığında kuruma süresi %64,3 ve spesifik enerji tüketimi %48,2 oranında azaldığı sonucuna varılmıştır.

Wang ve ark. (2007), sıcak havayla ön kurutmalı ve kurutmasız elma püresinin ince tabakalı mikrodalga ile kurutması ve modellenmesinin yapıldığı bu çalışmada, başlangıç nem içeriği %80 olan taze elma püresi 105°C sıcaklıkta ve 1,2

m/s hava akış oranındaki elektrik termal kurutucuda ürün nem içeriğinin yaklaşık %40'lara ulaşınca kadar kurutmuşlardır. Kalınlığı 10 mm ve başlangıç ağırlığı 25 g olarak belirlenen ürünlerdeki nem kaybı, analitik terazi ile 4 dakikalık aralıklarla ölçülmüştür. Ön kurutmalı örnekler, mikrodalga ile kurutmada birbirini izleyen kullanım için plastik bir çanta içinde mühürlenmiştir. Örnekler, ön işlemlili elma püresinin başlangıç neminin tekdüze olması için mikrodalga ile kurutmadan önce karıştırılmıştır.

Taze elma püresi örnekleri ve ön kurutmalı elma püresi örnekleri sırasıyla 150, 300, 450, 600 W mikrodalga güçlerinde mikrodalga kurutucusunda kurutulmuşlardır. Ortam havasının bağıl nemi %30 dur. Mikrodalga kurutucudaki örneklerin nem kaybı, eş zamanlı olarak analitik terazi ile 1 dakikalık aralıklarla ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Kurutma işlemine %5 son neme ulaşılınca kadar devam edilmiştir. Çalışmada, 150, 300, 450 ve 600 W mikrodalga güçlerde çalışma durumunda taze elma püresi örneklerinin son nem içeriğine ulaştığındaki toplam kuruma sürelerinin sırasıyla 77, 37, 29 ve 21 dakika olduğu saptanmıştır. Benzer bir şekilde, ön işlemlili elma püresinin 150, 300, 450 ve 600 W mikrodalga güçlerde çalışma koşullarında son nem içeriğine ulaştığındaki toplam kuruma süreleri sırasıyla 23,11.5, 8.5 ve 6.5 dakika olarak saptanmıştır. Çalışmada, belirli mikrodalga güç aralıklarında (bu çalışmada 150 W-600W) artan mikrodalga çıkış gücünün kuruma işlemini hızlandırdığı, böylece kuruma süresinin kısaldığı belirtilmiştir. Araştırmacılar ayrıca, taze elma püresinin nem içeriğinin son %40'ını uzaklaştırmak çıkarmak için mikrodalgada 150, 300, 450, 600 W mikrodalga güçlerde gerçekleşen kurutma işleminin sırasıyla 31.0 ,15.03 ,11.3, 8.6 dakika sürdüğünü belirtmişlerdir. Aynı zamanda enerji tüketim değerlerini de 0,078, 0.075, 0.085, ve 0.086 KWh olarak saptamışlardır. Ön işlemlili elma püresinin kurutulmasında da aynı mikrodalga güçleri kullanılarak kurutma işleminin sırasıyla 23, 11.5, 8.5, 6.5 dakika sürdüğü ve enerji tüketim değerlerini de 0.058, 0.058, 0.064, 0.065 KWh olduğu belirtilmiştir. Taze elma püresiyle karşılaştırma durumunda önceden kurutulmuş elma püresinin kurutulmasındaki, kuruma süreleri ve güç tüketimlerinin sırasıyla %25.80, 23.48, 24.78, 24.42 oranında azaldığı belirtilmiştir. Kuruma karakteristiklerini en iyi şekilde tanımlanması için taze ve ön işlemlili elma pürelerinin kuruma süresi ve nemine

karşılık kuruma hızının dört regresyon denklemi bulunmuştur. Bu bulgular, elma püresinin mikrodalga ile kurutma çalışmasını ve tasarımını kolaylaştırmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM**3.1. Materyal**

Kurutma denemelerinde, *Spinacia oleracea* L.(ıspanak), *Capsicum annum* L.(kırmızıbiber)ve *Camellia sinensis* (çay) kullanılmıştır. Ispanak, Adana ilinde tüketime sunulan marketlerden alınmıştır. Kırmızıbiber, Kahramanmaraş bölgesindeki üretici tarlalarından toplatılmıştır. Çay ise Rize'den soğuk havalı deposu olan kamyonla getirtilmiştir.

Hasat edilen sebzeler, laboratuar ölçekli kurutma işlemlerini gerçekleştirmek üzere Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü'ne getirilmiş, +4°C deki buzdolabında bir gece bekletilmiş ve ertesi gün kurutma işlemine tabi tutulmuştur.

Mikrodalga ile kurutma denemeleri, 180 W, 360 W, 540 W, 720 W ve 900 W olmak üzere toplam 5 güç seviyesinde çalışabilen Arçelik MD 594 model mikrodalga fırın kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Fırının başlıca parçaları, mikrodalga enerjisini sağlayan magnetron, ısıtıcı, döner tabla motoru, yüksek gerilim trafosu, güç kartı, yüksek gerilim kapasitörü, yüksek gerilim diyodu, parazit filtresi, fan motoru, kontrol panosu, kılıf (dış gövde), fırın alt ve üst plaka, switch ünitesi, kapak camı, grill termostatu, güç kartı sigortası, quartz tüpü reflektörü, fırın termostatu, fırın lambası ve magnetron termostatıdır.

3.2. Yöntem

Denemelerde her üç ürün için 3 farklı kurutma yöntemi kullanılmıştır. Bunlar mikrodalga ile kurutma, sıcak hava mikrodalga kombinasyonu ile kurutma ve sıcak havayla kurutma olarak gerçekleştirilmiştir. Mikrodalga ile kurutmada güç seviyeleri 180 W, 360 W, 540W, 720 W ve 900 W olarak alınmıştır. Her mikrodalga gücünde nem içeriği, renk değerleri ve enerji tüketim değerleri ölçülmüştür.

Mikrodalga ile sıcak hava kombinasyon çalışması da iki şekilde gerçekleştirilmiştir. Mikrodalga ve fanlı fırının birlikte çalışması halinde güç seviyesi

sabit tutularak (180 W), farklı sıcaklıklarda (100°C, 180°C, 230°C) çalışılmıştır. İkinci güç seviyesi olan 540 W’ da çalışırken de yine 100°C, 180°C ve 230°C sıcaklıklarında çalışılmıştır.

Son olarak ta sıcak havayla (100°C, 180°C ve 230°C) kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. 3 sıcaklıkta ta nem içeriği, renk değerleri ve enerji tüketim değerleri ölçülmüştür.

Taze sebzelerde, mikrodalga kurutma, sıcak hava ve mikrodalga kombinasyon kurutma , sıcak havayla kurutma yöntemleriyle kurutulmuş sebzelerde analizler yapılmış ve bu üç farklı kurutma yöntemiyle elde edilen sebzeler taze sebzelerle karşılaştırılmıştır.

3.2.1.Ürünlerin Toplanması Ve Kurutma Denemeleri İçin Hazırlanması

Marketten alınan ıspanak, hasat edilen kırmızıbiber ve soğuk hava depolu kamyonla getirtilen çay, kurutma denemelerine kadar +4°C de buzdolabında saklanmış ve hemen ertesi gün kurutulmak üzere kullanılmıştır. Buzdolabında saklanan ürünler denemeden önce buzdolabından çıkarılarak ortam sıcaklığına ulaşması beklenmiştir.

Kullanılan sebzelerin özelliklerine göre ön işlemler değişmektedir. Tüm sebzelerde ayıklama ve yıkama ortak işlemlerdir.

Ispanaklar, sararmış yaprakları ayıklanıp, iyice yıkandıktan sonra kök boğumları kesilmiş ve yapraklar birbirinden ayrılmıştır. Kırmızıbiber sapı kesilip çekirdekleri ayıklandıktan sonra boyuna 2’ye ayrılmıştır. Çay, iyice yıkandıktan sonra kurutma işlemine tabi tutulmuştur.

Bu şekilde ön işlemleri tamamlanan sebzelere kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir.

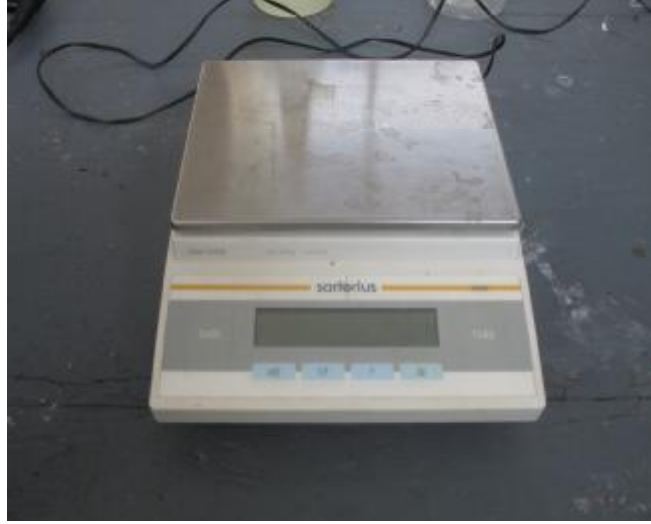
3.2.2.Ürünlerin Mikrodalga Fırında Kurutulması

Mikrodalga ile kurutma denemeleri, 180 W, 360 W, 540 W, 720 W ve 900 W olmak üzere toplam 5 güç seviyesinde çalışabilen Arçelik MD 594 model mikrodalga

fırın kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan mikrodalga fırın, fan ve ızgara pişirme özelliklerinin de bulunduğu çok fonksiyonlu bir fırındır. Yapılan ön denemelerde çok amaçlı bir fırının kullanılmasının sebebi, mikrodalga ile kurutma ve sıcak hava+mikrodalga kurutmanın karşılaştırılabilir olmasıdır.

3.2.3.Ürün Neminin Saptanması

24 saat bitiminde etüvden alınan kırmızıbiber ıspanak ve çay yaprakları, elektronik terazi ile tartılarak başlangıç nem içeriği bulunmuştur (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Hassas terazi

Ürünlerin başlangıç nem içerikleri, laboratuvar koşullarında kurutma dolabında (etüv) kurutularak ölçülmüştür. Ispanak yaprakları yıkanmış, saplarından ayrılmış ve daha sonra kurutma işlemine gerçekleştirilmiştir. Kurutma işleminden önce başlangıç neminin belirlenmesi amacıyla 3'er tane 50 gramlık örnekler alüminyum folyo içerisine koyularak 105°C deki etüvde 24 saat süresince bırakılmıştır. Kurutma işlemine başlamadan önce sapları ve iç çekirdekleri çıkarılmış kırmızıbiber yıkanmıştır. Daha sonra tartılmış ve darası alınmış alüminyum folyo üzerine 20'şer gramlık örnekler konularak 105°C sıcaklığındaki etüvde 24 saat bırakılmıştır. Çay bitkisinden de yine aynı şekilde 50 gramlık örnekler alınıp alüminyum folyo içerisine koyulmuş ve 24 saat etüvde bırakılmıştır. Her deneme koşulunda, denemelerde

kullanılan örneklerin nem içerikleri ölçümleri tekrarlanmıştır. Bu işlemler 5 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiş ve ortalaması alınmıştır.

Kurutma denemelerinde kullanılan ürünlerin nem içeriği yaş baza göre aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$M = \frac{m_w}{m_w + m_d} \times 100 \quad [3.1]$$

Burada;

M: Yaş baza göre nem içeriği (%),

m_w =Su miktarı (g),

m_d =Kuru madde miktarı (g) ve

Kuruma Hızı ise aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Doymaz,2006).

$$\frac{\Delta M}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} = \frac{M_{t+\Delta t} - M_t}{\Delta t} \quad [3.2]$$

Burada;

$dM/\Delta t$: Kuruma Hızı ($g_{su} / g_{katı \text{ madde} \cdot dak}$)

M_t =t anındaki nem içeriği ($g_{su}/g_{katı \text{ madde}}$)

t, Δt =zaman (dak)

Kurutma işlemleri için ıspanak ve çay yaprağının ağırlığı 25 gram, kırmızıbiber 10 gram olarak belirlenmiştir. Ürünlerle bu ağırlıklarda çalışılmasındaki neden, mikrodalga fırın içerisinde bulunan döner cam tepsinin üzerindeki dağılımın tek düze bir dağılım sağlanılmasından kaynaklanmaktadır. Örnekler 20x20mm ölçülerinde tel teflon malzeme üzerine koyularak fırın döner cam tepsisinin tam ortasına yerleştirilmiştir. 1 dakikalık zaman aralıklarında kurutma işlemi gerçekleştirilmiş ve her 1 dakika sonunda hassas terazi ile ürünün ağırlığı ölçülerek nem kaybı bulunmuştur.

3.2.4. Renk Tayini

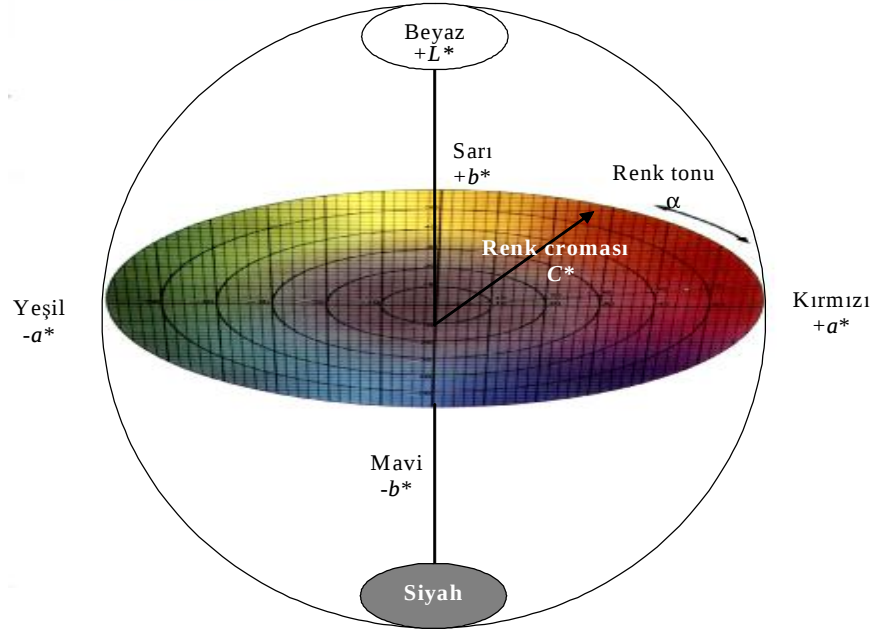
Ispanak, kırmızıbiber ve çay yapraklarının kurutulması sırasında, kurutma koşullarının ürünler üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla, taze ve kurtulmuş ürün örneklerinin renk ölçümleri yapılmıştır.

Taze ve kurutulmuş ürünlerin renk ölçümlerini yapmak için Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü'nde bulunan Minolta Spektrofotometre Minolta CR-100 kullanılmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Renkölçer

Spektrometre cihazı ile ıspanakların L^* , a^* , b^* renk uzayı (Şekil 3.3) koordinatları ölçülmüştür. L^* değeri parlaklığı temsil etmekte olup 0 ile 100 arasında değişmektedir. 0 siyahlığı, 100 beyazlığı ifade etmektedir. a^* değeri kırmızılık ve yeşilliği ifade etmekte olup, -90 ile +90 arasında değişmektedir. b^* değeri mavilik ve sarılığı ifade etmekte olup -90 ile +90 arasında değişmektedir.



Şekil 3.3. CIE L*,a*,b* renk uzayı

Renk ölçümü uluslar arası L*a*b* sistemine göre, cihazın C(6774 K) aydınlatma konumunda, standart yansıtıcı plakaya göre kalibrasyonu yapılmıştır. Kurutma işleminden önce ıspanak, kırmızıbiber ve çayın taze haldeki renkleri ölçülmüştür. Kurutma işlemi tamamlandıktan sonrada renk ölçümü tekrarlanmıştır. Ölçümler 5 kez tekrarlanmış ve ölçülen değerlerin ortalaması alınmıştır. Böylelikle ıspanak, kırmızıbiber ve çaydaki renk değişimleri gözlenmiştir.

Kırmızıbiber, ıspanak ve çay yapraklarının renklerinin karşılaştırılması sırasında L*,a*, b* koordinatlarının yanı sıra, bu değerlerden türetilmiş renk yoğunluğu ölçüsü olan “C” ve renk tonu ölçüsü olan “H” değerleri hesaplanmıştır. C ve H değerlerinin elde edilmesinde yararlanılan eşitlikler aşağıda belirtilmiştir (Soysal, 2000).

$$C = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad [3.3]$$

$$H = \arctan \frac{b^*}{a^*} \quad [3.4]$$

3.2.5.Kuruma Değişkenlerinin Saptanması

Ayrılabilir nem oranı (ANO) belirli bir t anında materyalde bulunan alınabilir nem miktarını gösterir. Boyutsuz bir terim olan ve aşağıdaki eşitlikle ifade edilen (ANO) genel kurutma denklemlerinin sol tarafında yer alan oransal bir ifadedir (Yağcıoğlu,1999).

$$ANO = \frac{M_1 - M_e}{M_0 - M_e} \quad [3.5]$$

Burada M (kg su/kg kuru madde) herhangi bir andaki su miktarını belirtir. Mo, (kg su/kg kuru madde) kurutmaya başlamadan önceki ürünün içerdiği su miktarıdır. Me, kurutma koşullarındaki havanın içerdiği su miktarıdır. Bunu ya bir higrometre ile ya da kurutma dolabındaki yaş ve kuru termometre sıcaklıkları yardımıyla psikometri diyagramından bulunur. Genelde diğer nem miktarlarına göre küçük olduğundan dolayı birçok çalışmada ihmal edilmiştir (Doymaz,2006).

3.2.6.Kuruma Eğrilerinin Matematiksel Modellemesi

Bu çalışmada, ıspanak (*Spinacia oleracea L.*), kırmızıbiber (*Capsicum annum L.*), çay (*camellia sinensis* veya *Thea sinensis*) olmak üzere toplam iki sebze ve bir endüstri bitkisi olmak üzere toplam üç bitki için en uygun denge nemi modelleri araştırılmıştır. Bu amaçla, Newton (Ayensu,1997), Page (Agrawal ve Singh,1977), Geliştirilmiş Page (White ve ark., 1981), Henderson ve Pabis (Tunçer, 1973), Logaritmik (Yaldız ve ark. 2001), Wang ve Singh (Wang ve Singh,1978), Difüzyon Yaklaşımı (Toğrul ve Pehlivan, 2003), Verma (Verma ve ark. 1985), İki Terimli Üssel (Sharaf-Elden ve ark, 1980), Basitleştirilmiş Fick Difüzyon Eşitliği (Toğrul ve Pehlivan,2003), Midilli ve Küçük (Sacilik ve Eliçin, 2006) olmak üzere toplam onbir model istatistiksel olarak kıyaslanmıştır. Bu modeller aşağıda verilmiştir.

(1) Newton modeli, (Ayensu,1997):

$$ANO = \exp(-kt) \quad [3.6]$$

(2) Page modeli, (Agrawal ve Singh,1977):

$$ANO = \exp(-kt^n) \quad [3.7]$$

(3) Geliştirilmiş page, (White ve ark., 1981):

$$ANO = \exp(-(kt)^n) \quad [3.8]$$

(4) Henderson ve pabis, (Tunçer, 1973):

$$ANO = a \exp(-kt) \quad [3.9]$$

(5) Logaritmik, (Yaldız ve ark. 2001):

$$ANO = a \exp(-kt) + c \quad [3.10]$$

(6) Wang ve Singh, (Wang ve Singh, 1978)

$$ANO = 1 + at + bt^2 \quad [3.11]$$

(7) Difüzyon yaklaşımı, (Toğrul ve Pehlivan, 2003):

$$ANO = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt) \quad [3.12]$$

(8) Verma, (Verma ve ark. 1985):

$$ANO = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt) \quad [3.13]$$

(9) İki terimli üssel (Sharaf-Elden ve ark, 1980):

$$ANO = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat) \quad [3.14]$$

(10) Basitleştirilmiş Fick difüzyon eşitliği (Toğrul ve Pehlivan,2003):

$$ANO=a \exp(-c(t/L^2)) \quad [3.15]$$

(11) Midilli ve Küçük, (Sacilik ve Eliçin, 2006):

$$ANO=a \exp(-kt^n)+bt \quad [3.16]$$

Yapılan denemelerde elde edilen veriler literatürde bulunan on bir farklı ayrılabilir nem içeriği modellerinden elde edilen değerlere göre karşılaştırılmış, belirtme katsayısı (R^2), kalanların kareleri toplamı (RSS) ve tahminin standart hatası (SEE) değerlerine göre değerlendirilerek en uygun model bulunmuştur. Kalanların kareleri toplamı (RSS) ve tahminin standart hatası (SEE) eşitlik 3.17 ve 3.18 kullanılarak hesaplanmıştır (Soysal,2000).

$$RSS = \sum_{i=1}^0 \left(h_r - \bar{h}_r \right)^2 \quad [3.17]$$

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^0 \left(h_r - \bar{h}_r \right)^2}{df}} \quad [3.18]$$

Burada, $\bar{h}_r$, model ile tahmin edilen denge oransal nemi (ondalık); o, veri noktası sayısı, df, serbestlik derecesidir.

Değerlendirme aşamasında;

- ▼ Kalanların kareleri toplamı (RSS) en küçük,
- ▼ Tahminin standart hatası (SEE) en küçük,
- ▼ Belirtme katsayısı değeri (R^2) 1,000'a en yakın model en uygun model olarak nitelendirilir.
- ▼ Belirtme katsayısı değeri 0,00 değerine yaklaştıkça modelin verileri temsil etme yeteneği de kötüleşir.

- ▼ Belirtme katsayısı değerinin %95 gibi yüksek bir değerde olması arzu edilir (Öztekin ve Soysal,2002).

Elde edilen verilerin değerlendirilmesinde istatistiksel yöntemler kullanılmıştır. Kuruma sabitlerinin hesaplanmasında doğrusal olmayan regresyon analizi yapan SIGMAPLOT ve EXCEL gibi bilgisayar programları kullanılmıştır. Kurutulmuş ıspanak, kırmızıbiber ve çayın renk parametrelerinin değerlendirilmesinde SPSS programı kullanılarak faktöriyel düzende varyans analizi yapılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA**4.1. Ispanak Kurutma****4.1.1. Ispanak Kurutma Eğrilerine İlişkin Bulgular****4.1.1.1. Mikrodalga ile Kurutulan Ispanak Kuruma Eğrileri**

Ispanak kurutulmasında uygulanan kurutma yöntemlerinin kurumaya etkileri incelenmiştir. Üç farklı yöntemle ıspanak kurutulması konusunda çalışılmış ve bu yöntemler birbiri ile karşılaştırılmıştır. Bu yöntemler, mikrodalga kurutma, sıcak havayla kurutma ve bunların kombinasyonu olarak sıralanabilir.

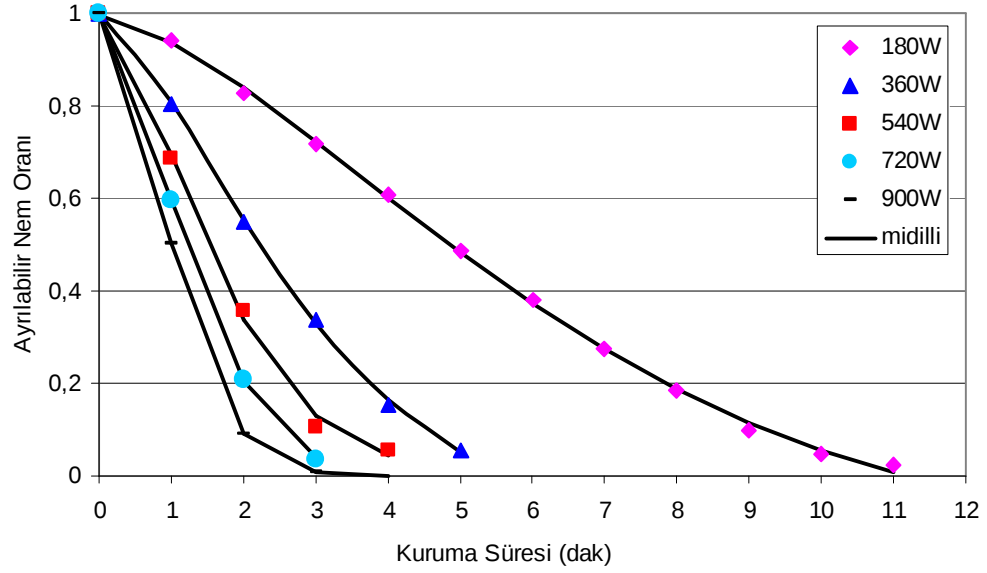
Mikrodalga ile gerçekleştirilen kuruma işlemi, 180 W, 360W, 540W, 720 W ve 900 W mikrodalga güçlerinde sırasıyla 11, 5, 4, 3 ve 3 dakika sürmüştür. Mikrodalga güçlerinin artmasıyla kuruma süreleri kısalmıştır (Şekil 4.1).

Nem oranının 0,5 olana kadar ki kuruma süresi ıspanak için 180 W, 360W, 540W, 720 W ve 900 W mikrodalga güçlerinde sırasıyla, 5, 2.5, 2.5, 1.75, 1.25 dakika sürmüştür. Bu sonuçlara göre toplam kuruma süresi değerleri, yüzde olarak sırasıyla, %45, %50, %62.5, %58.3, %41.6 olarak hesaplanmıştır. Ortalama yüzde değer % 51.8 olarak belirtilmiştir. Bu yüzden, ıspanaktaki nem içeriğinin ikinci yarısını uzaklaştırmak için gerekli olan süre farklı mikrodalga güçlerde, toplam kuruma süresinin yaklaşık % 48.52 'si olarak belirlenmiştir.

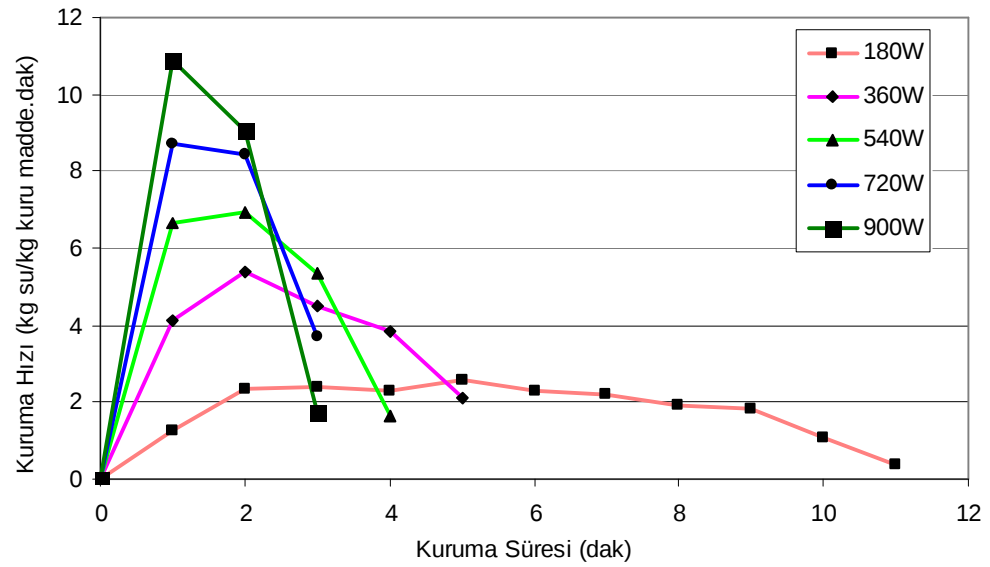
Kuruma hızı zamana bağlı olarak giderek azalan bir eğilim sergilemekte olup, 180 W, 360W, 540W, 720W ve 900 W mikrodalga güçlerinde sırasıyla 1,28; 4,12; 6,65; 8,73; 10,88 kg su/dak olarak hesaplanmıştır. Mikrodalga kurutmada güç seviyesinin artmasıyla kuruma hızı artmış, kuruma süresi kısalmıştır. Benzer sonuçlar, maydanoz (Soysal,2004), havuç (Wang ve Xi,2005), zeytin ezmesi (Göğüs ve Maskan,2001) gibi ürünlerin laboratuvar çalışma koşullarında da elde edilmiştir. Sıcak havayla kurutmada ise ürünlerdeki nem kaybı oranı başlangıçta yüksektir fakat daha düşük nem içeriklerinde su hareketi yavaşlamaktadır (Şekil 4.2).

Örneklerin tüm çalışma koşullarında sabit hız periyodu saptanmamıştır. Kurutma denemelerinde azalan hız periyodu mevcuttur. Çoğu meyve ve sebzelerin kurutulmasında sadece azalan hız periyodu tanımlanmıştır (Kiranoudis ve ark. 1992). Benzer sonuçlar, sarımsak (Madambave ark. 1996), kırmızıbiber (Gupta ve

ark.2002), bamyas (Doymaz, 2005), kivi (Simal ve ark. 2005), incir (Babalıs ve ark. 2006) gibi diğers ürünlerde de birçok araştırmacı tarafından elde edilmiştir.



Şekil 4.1. Farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan ıspanağın nem içeriğindeki değişim



Şekil 4.2. Farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan ıspanağın kuruma hızındaki değişim

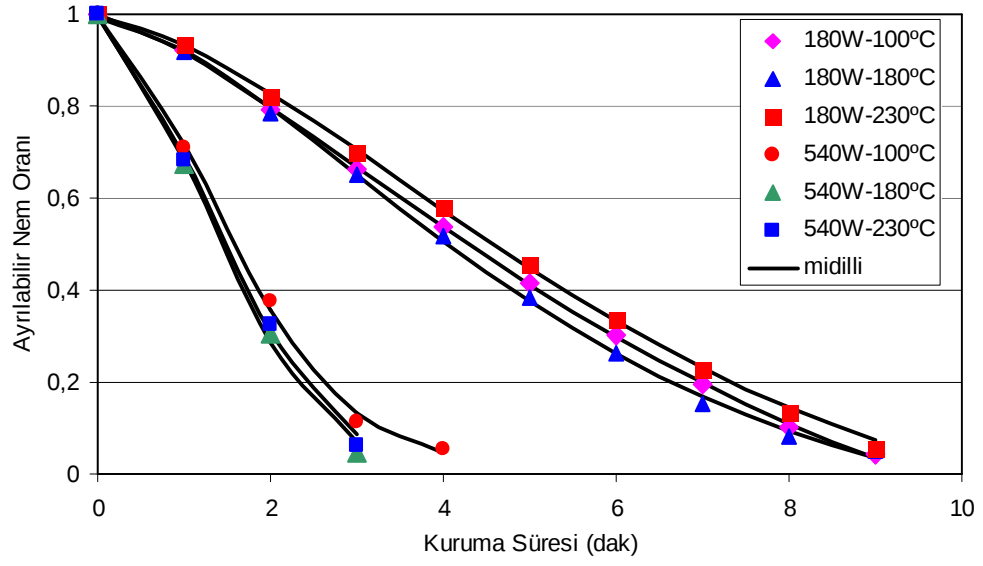
4.1.1.2. Mikrodalga ve Sıcak Hava Kombinasyonu ile Kurutulan İspanağın Kuruma Eğrileri

Mikrodalga ve fanlı fırının birlikte çalışması halinde güç seviyesi sabit tutularak (180 W, 540 W), farklı sıcaklıklarda (100°C, 180°C, 230°C) çalışılmıştır.

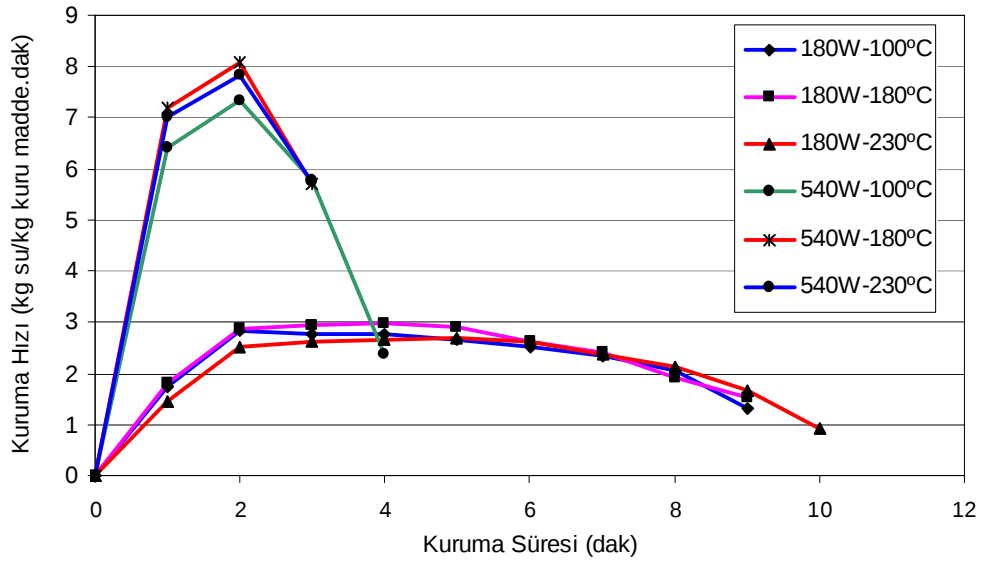
Mikrodalga ve sıcak havanın kombinasyonu ile gerçekleştirilen kuruma işlemi, 180W+100°C, 180W+180°C, 180W+230°C ve 540W+100°C, 540W+180°C, 540W+230°C mikrodalga güçlerinde ve sıcaklıklarda sırasıyla 9, 9, 9, 4, 3 ve 3 dakika sürmüştür. Mikrodalga güçlerinin artmasıyla kuruma süreleri kısalmıştır (Şekil 4.3).

Nem oranının 0,5 olana kadarki kuruma süresi ıspanak için 180 W+100°C, 180W+180°C, 180W+230°C mikrodalga güç ve sıcaklık kombinasyonunda sırasıyla, 4,5, 4,25, 4, 1,9, 1,5, 1,5 dakika sürmüştür. Bu sonuçlara göre toplam kurutma süresi değerleri, yüzde olarak sırasıyla, %50, %47,22, %40, %47,5, %50 olarak hesaplanmıştır. Ortalama yüzde değer % 46,94 olarak belirlenmiştir.. Bu yüzden, ıspanaktaki nem içeriğinin ikinci yarısını uzaklaştırmak için gerekli olan süre farklı mikrodalga güç ve sıcaklık kombinasyonlarında, toplam kuruma süresinin yaklaşık % 53,06 'sı olarak belirlenmiştir.

Kuruma hızı zamana bağlı olarak giderek azalan bir eğilim sergilemekte olup, 180W+100°C, 180W+180°C, 180W+230°C ve 540W+100°C, 540W+180°C, 540W+230°C mikrodalga güçlerinde ve sıcaklıklarda sırasıyla 1,74; 1,79; 1,46; 6,40; 7,02; 7,18 kg su/dak olarak hesaplanmıştır. Mikrodalga ve sıcak havayla kurutmada güç seviyesinin artmasıyla kuruma hızı artmıştır (Şekil 4.4).



Şekil 4.3. Farklı mikrodalga güç ve sıcaklık kombinasyonunda kurutulan ıspanağın nem içeriğindeki değişim



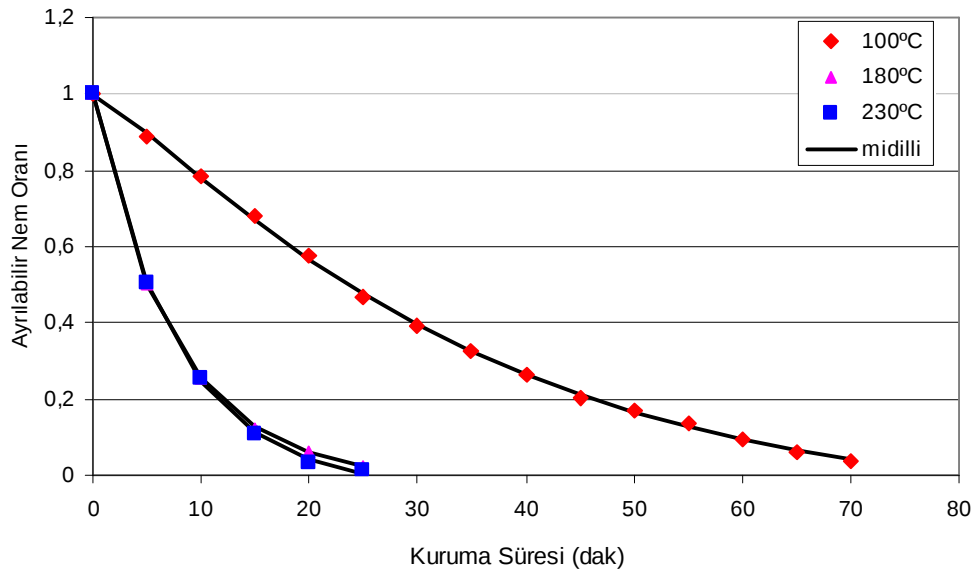
Şekil 4.4 Farklı mikrodalga güç ve sıcaklık kombinasyonunda kurutulan ıspanağın kuruma hızındaki değişim

4.1.1.3. Sıcak Hava İle Kurutulan Ispanağın Kuruma Eğrileri

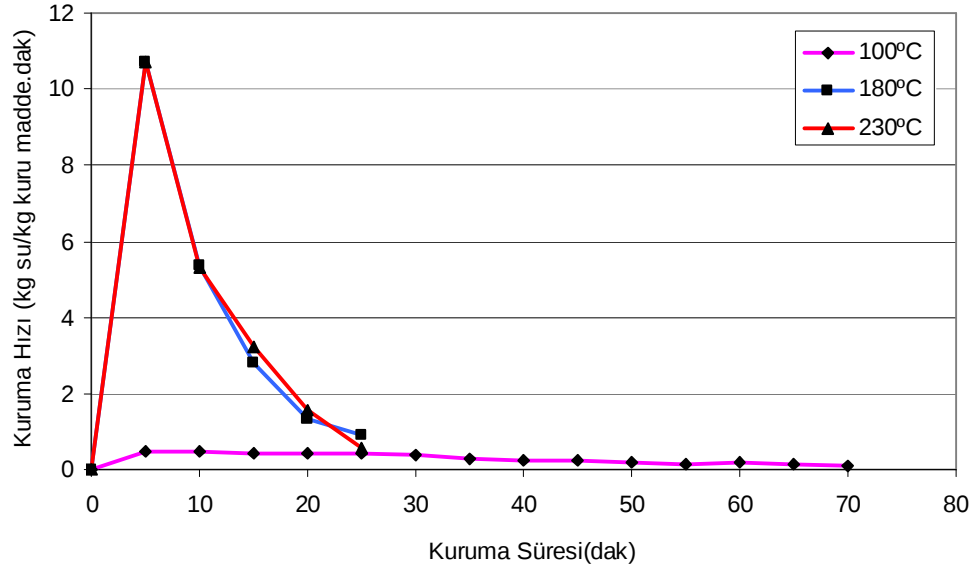
Sıcak havayla kurutma, 100 °C, 180°C ve 230 °C sıcaklıklarda sırasıyla 70, 25, 25 dakika sürmüştür. Sıcaklıkların artmasıyla kuruma süreleri kısalmıştır (Şekil 4.5).

Kuruma hızı zamana bağlı olarak giderek azalan bir eğilim sergilemekte olup, 100 °C, 180 °C ve 230 °C sıcaklıklarda sırasıyla 0,48; 10,7; 10,7 kg su/dak olarak hesaplanmıştır. Sıcak havayla kurutmada sıcaklığın artmasıyla kuruma hızı artmıştır (Şekil 4.6). Benzer sonuçlar, Doymaz (2006) tarafından nane bitkisi üzerinde yapılan çalışmalarda elde edilmiştir.

Nem oranının 0,5 olana kadarki kuruma süresi ıspanak için 100°C, 180°C, 230°C sıcaklıklarda sırasıyla, 23, 5, 5 dakika sürmüştür. Bu sonuçlara göre toplam kurutma süresi değerleri, yüzde olarak sırasıyla, %35.71, %20, %20, olarak hesaplanmıştır. Ortalama yüzde değer % 25.23 olarak belirlenmiştir. Ispanaktaki nem içeriğinin ikinci yarısını uzaklaştırmak için gerekli olan süre farklı sıcaklıklarda toplam kuruma süresinin yaklaşık % 74.76 'sı olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.5. Farklı sıcaklıklarda kurutulan ıspanağın nem içeriğindeki değişim



Şekil 4.6. Farklı sıcaklıklarda kurutulan ıspanağın kuruma hızındaki değişim

Çizelge 4.1 'de ise ıspanak bitkisine ait olan yapılan tüm uygulamalarda ölçülen ve değerlendirmeye tabii tutulan değerler verilmiştir.

Çizelge 4.1. Ispanağa Ait Tüm Parametreler

	Toplam Süre (min)	Başlangıç Kütlesi	Son Kütle	Başlangıç Nem İçeriği	Son Nem İçeriği	Enerji Tüketimi (kWh)
180 W	11	25.04	4.37	83.91	11.50	0.055
360W	5	25.05	4.79	81.30	11.91	0.051
540W	4	25.03	4.64	78.87	30.83	0.045
720W	3	25.02	4.13	80.41	30.34	0.057
900W	2.5	25.03	3.32	78.01	8.98	0.055
180W-100°C	9	25.03	3.90	86.66	27.64	0.167
180W-180°C	9	25.04	4.67	86.71	26.29	0.189
180W-230°C	8	25.03	3.94	87.35	18.25	0.270
540W-100°C	3	25.04	4.69	83.81	28.71	0.095
540W-180°C	3	25.03	4.03	83.72	29.21	0.106
540W-230°C	3	25.03	4.64	83.26	33.88	0.104
100°C	70	25.02	4.29	83.03	11.09	0.652
180°C	25	25.04	3.76	72.43	13.72	0.407
230°C	20	25.04	3.93	75.37	14.66	0.354

4.1.2.Farklı Kurutma Koşullarındaki Ispanakların Kurutma Sabiti Değerleri

Deneyssel verilerden yararlanarak nem içeriği ile kuruma süresi arasında bir ilişki sağlanması amacıyla her çalışma koşulu için 11 tane model eşitlik test edilmiştir.

Kontrol edilebilir parametre koşullarında gerçekleştirilen denemeler sonunda tüm model eşitliklere ilişkin R^2 , RSS ve SEE değerlerine ilişkin sonuçlar Çizelge 4.2–4.5’de verilmiştir. Tüm model eşitliklere ait model katsayıları, R^2 , RSS ve SEE değerleri ayrıntılı olarak Ekler de yer almaktadır.

Çizelge 4.2. Ispanak Yapraklarının Mikrodalga ile Kurutma İşlemlerine İlişkin Kullanılan Model Eşitliklerin Non Linear Analiz Sonuçları

180W				360W			540W			720W			900W		
No	R2	SEE(±)	RSS	R2	SEE(±)	RSS	R2	SEE(±)	RSS	R2	SEE(±)	RSS	R2	SEE(±)	RSS
1	0,9732	0,0981	0,1058	0,9835	0,0830	0,0344	0,9857	0,0758	0,0230	0,9864	0,0798	0,0191	0,9853	0,0785	0,0185
2	0,9987	0,0224	0,0050	0,9995	0,0166	0,0011	0,9993	0,0199	0,0012	0,9999	0,0072	0,0001	1,0000	0,0014	0,0,004
3	0,9987	0,0224	0,0050	0,9995	0,0166	0,0011	0,9993	0,0199	0,0012	0,9999	0,0072	0,0001	1,0000	0,0014	0,0004
4	0,9802	0,0884	0,0781	0,9859	0,0858	0,0294	0,9869	0,0839	0,0211	0,9870	0,0955	0,0182	0,9857	0,0950	0,0180
5	0,9978	0,0309	0,0086	0,9984	0,0330	0,0033	0,9955	0,0600	0,0072	0,9979	0,0545	0,0030	0,9947	0,0820	0,0067
6	0,9971	0,0341	0,0116	0,9984	0,0288	0,0033	0,9968	0,0413	0,0051	0,9984	0,0333	0,0022	0,9974	0,0404	0,0033
7	0,9970	0,0365	0,0120	0,9986	0,0311	0,0029	0,9989	0,0299	0,0018	0,9997	0,0212	0,0005	1,0000	0,0040	0,0016
8	0,9969	0,0367	0,0121	0,9982	0,0351	0,0037	0,9955	0,0600	0,0072	0,9979	0,0547	0,0030	0,9950	0,0795	0,0063
9	0,8722	0,2248	0,5055	0,9835	0,0928	0,0344	0,9857	0,0875	0,0230	0,9864	0,0977	0,0191	0,9874	0,0892	0,0159
10	0,9802	0,0932	0,0781	0,9859	0,0990	0,0294	0,9869	0,1028	0,0211	0,9870	0,1351	0,0182	0,9857	0,1343	0,0180
11	0,9998	0,0109	0,0009	0,9999	0,0090	0,0002	0,9993	0,0340	0,0012	1,0000	0,0067	0,0004	1,0000	0,0018	0,0001

SEE, tahminin standart hatası; R^2 , belirtme katsayısı değerleri; RSS, Kalanların kareleri toplamı

Çizelge 4.3. Ispanak Yapraklarının 180 W Mikrodalga Gücü ile Sıcak Hava Kurutma İşlemlerine İlişkin Kullanılan Model Eşitliklerin Non Lineer Analiz Sonuçları

180W										
100°C			180°C			230°C				
No	R ²	SEE(±)	RSS	R ²	SEE(±)	RSS	R ²	SEE(±)	RSS	
1	0,9790	0,0906	0,0738	0,9776	0,0919	0,0760	0,9732	0,1005	0,1009	
2	0,9987	0,0240	0,0046	0,9993	0,0174	0,0024	0,9987	0,0231	0,0048	
3	0,9987	0,0240	0,0046	0,9993	0,0174	0,0024	0,9977	0,0220	0,0045	
4	0,9840	0,0837	0,0561	0,9832	0,0846	0,0572	0,9799	0,0918	0,0758	
5	0,9991	0,0210	0,0031	0,9977	0,0334	0,0078	0,9979	0,0315	0,0079	
6	0,9988	0,0233	0,0043	0,9971	0,0351	0,0098	0,9972	0,0344	0,0107	
7	0,9988	0,0250	0,0044	0,9976	0,0340	0,0081	0,9971	0,0367	0,0108	
8	0,9987	0,0254	0,0045	0,9970	0,0383	0,0103	0,9971	0,0370	0,0109	
9	0,9000	0,2097	0,3519	0,8857	0,2204	0,3886	0,8839	0,2207	0,4385	
10	0,9841	0,0895	0,0561	0,9832	0,0904	0,0572	0,9799	0,0973	0,0758	
11	0,9999	0,0064	0,0002	0,9997	0,0120	0,0009	0,9997	0,0120	0,0010	

SEE, tahminin standart hatası; R², belirtme katsayısı değerleri; RSS, Kalanların kareleri toplamı

Çizelge 4.4. Ispanak Yapraklarının 540 W Mikrodalga Gücü ile Sıcak Hava Kurutma İşlemlerine İlişkin Kullanılan Model Eşitliklerin Non Lineer Analiz Sonuçları

540W									
100°C				180°C			230°C		
No	R ²	SEE(±)	RSS	R ²	SEE(±)	RSS	R ²	SEE(±)	RSS
1	0,9832	0,0833	0,0278	0,9809	0,0992	0,0295	0,9830	0,0945	0,0268
2	0,9993	0,0193	0,0011	0,9990	0,0284	0,0016	0,9991	0,0264	0,0014
3	0,9993	0,0193	0,0011	0,9990	0,0284	0,0016	0,9991	0,0264	0,0014
4	0,9847	0,0920	0,0254	0,9820	0,1180	0,0278	0,9840	0,1121	0,0251
5	0,9949	0,0648	0,0084	0,9992	0,0343	0,0012	0,9994	0,0301	0,0009
6	0,9959	0,0476	0,0068	0,9992	0,0243	0,0012	0,9994	0,0214	0,0009
7	0,9988	0,0312	0,0019	0,9992	0,0349	0,0012	0,9994	0,0306	0,0009
8	0,9948	0,0656	0,0086	0,9992	0,0356	0,0013	0,9994	0,0309	0,0010
9	0,9985	0,0286	0,0025	0,9809	0,1217	0,0296	0,9830	0,1157	0,0268
10	0,9847	0,1127	0,0254	0,9820	0,1668	0,0278	0,9840	0,1585	0,0251
11	0,9993	0,0330	0,0011	0,9993	0,0328	0,0011	0,9995	0,0288	0,0008

SEE, tahminin standart hatası; R², belirtme katsayısı değerleri; RSS, Kalanların kareleri toplamı

Çizelge 4.5. Ispanak Yapraklarının Sıcak Hava ile Kurutma İşlemlerine İlişkin Kullanılan Model Eşitliklerin Non Lineer Analiz Sonuçları

No	100°C			180°C			230°C		
	R ²	SEE(±)	RSS	R ²	SEE(±)	RSS	R ²	SEE(±)	RSS
1	0,9935	0,0423	0,0251	0,9999	0,0046	0,0001	0,9990	0,0162	0,0013
2	0,9996	0,0109	0,0015	0,9999	0,0045	0,0008	0,9996	0,0121	0,0006
3	0,9996	0,0109	0,0015	0,9999	0,0045	0,0008	0,9996	0,0121	0,0006
4	0,9953	0,0371	0,0179	0,9999	0,0051	0,0001	0,9990	0,0179	0,0013
5	0,9995	0,0125	0,0019	1,0000	0,0036	0,0003	0,9998	0,0093	0,0003
6	0,9998	0,0081	0,0009	0,9914	0,0536	0,0115	0,9938	0,0453	0,0082
7	0,9996	0,0113	0,0015	1,0000	0,0040	0,0004	0,9998	0,0086	0,0002
8	0,9994	0,0135	0,0022	0,9999	0,0059	0,0001	0,9998	0,0086	0,0002
9	0,9932	0,0448	0,0261	0,6070	0,3624	0,5254	0,9989	0,0189	0,0014
10	0,9953	0,0390	0,0182	0,9999	0,0059	0,0001	0,9990	0,0206	0,0013
11	0,9999	0,0066	0,0005	1,0000	0,0034	0,0002	0,9999	0,0120	0,0003

SEE, tahminin standart hatası; R², belirtme katsayısı değerleri; RSS, Kalanların kareleri toplamı

Elde edilen sonuçlara göre belirtme katsayısı (R^2) en yüksek bulunan **Midilli** modelinde nem içeriğinin zamana göre değişimi,

$$ANO = a \cdot \exp(-k(t^m)) + b \cdot t$$

eşitliği ile saptanmıştır.

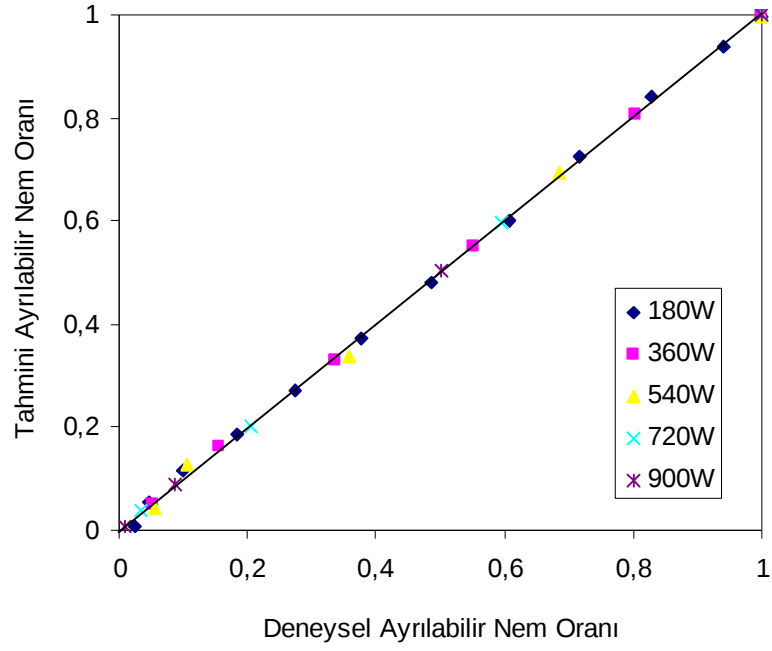
Modeller, model katsayıları ve hesaplanan değerlerle deneysel veriler arasındaki belirtme katsayıları incelendiğinde en yüksek belirtme katsayısı Midilli modelinde sağlanmış olup **0,9993-1,0000** düzeyindedir Çizelgelerden de görüldüğü gibi, SEE ve RSS değerleri oldukça düşüktür ve farklı deneme koşullarında bu değerler sırasıyla 0,0018 ile 0,0340 ve $3,16 \times 10^{-6}$ ile 0,0012 arasında değişmektedir. Bu modelin, denemenin gerçekleştiği koşullarda tahmin için pratikte kullanılabileceğini göstermektedir.

Her sıcaklık için 3 tekerrürlü ölçülen zamana bağlı ağırlık değişimlerine göre hesaplanan ayrılabilir nem oranları (ANO) değerleri kullanılarak, her bir tekerrür için çizelgede verilen kurutma modellerinin katsayıları ve R^2 değerleri belirlenmiştir. Belirlenen katsayılar incelendikten sonra, her bir tekerrür için yüksek belirtme değerine sahip Midilli modeli ıspanağın kuruma modelinin geliştirilmesi için kullanılmıştır. Ayrılabilir nem oranının tahmin edilmesinde kullanılabilecek Midilli ve Küçük modelinde yer alan a, k, m, b katsayılarına kurutma havası sıcaklığı etkisi çoklu regresyon yöntemi ile incelenmiş ve incelenen kuruma modelinin katsayılarını sıcaklığa bağlı olarak en yüksek R^2 değeri ile tahminleyen en çok 3 terimli modeller oluşturulmuştur (Çizelge 4.6). Bu modelleri oluştururken deneysel veriler lineer, logaritmik, eksponansiyel ve üssel regresyon modelleri ile değerlendirilmiş ve en yüksek regresyon katsayısı eksponansiyel regresyon modeli ile elde edilmiştir.

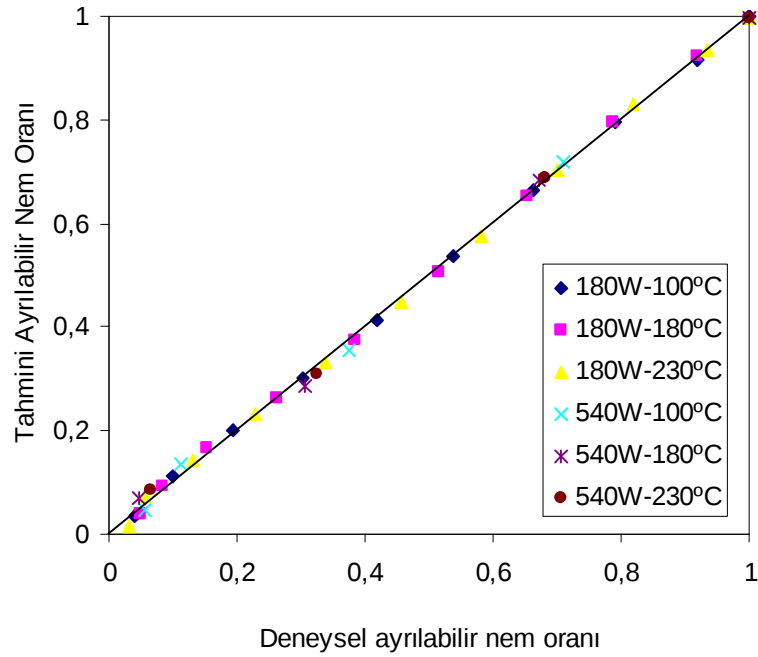
Çizelge 4.6. Mikrodalga -Sıcak Hava Kombinasyonu ve Sıcak Hava ile Kurutulan Ispanaklar İçin Tavsiye Edilen Midilli ve Küçük Kurutma Modelindeki Katsayıların Sıcaklığa Bağlı Olarak Değişimini İfade Eden Eşitlikler ve Katsayıları

Model		y_0	c	c_1	R^2
$MR=a.exp(-k.tm)+b.t$					
180W	$y=y_0+ct$	1,0057	$-2,9806 \times 10^{-5}$	-	1,0000
	$k=y_0+ct+c_1t^2$	0,0347	0,0005	$-1,9569 \times 10^{-6}$	0,9701
	$m=y_0+ct$	1,3621	0,0008	-	0,9992
	$b=y_0+ct+c_1t^2$	-0,0024	-0,0002	$7,0256 \times 10^{-7}$	0,9686
540W	$a=y_0+ct+c_1t^2$	1,0028	$-6,6949.10^{-5}$	$1,9744.10^{-7}$	1,0000
	$k=y_0+ct$	0,2872	0,0003	-	0,9960
	$m=y_0+ct+c_1t^2$	1,048	0,0077	$-2,2198.10^{-5}$	0,9981
	$b=y_0+ct+c_1t^2$	-0,0217	0,0001	$-4,1410.10^{-7}$	0,9680
180°C	$a=y_0+ct+c_1t^2$	0,9848	0,0002	$-4,0833.10^{-7}$	1,0000
	$k=y_0+ct+c_1t^2$	-0,3936	0,0055	$-1,3972.10^{-5}$	0,9886
	$m=y_0+ct+c_1t^2$	1,9225	-0,0099	$2,5947.10^{-5}$	0,9991
	$b=y_0+ct+c_1t^2$	-0,0045	$5,8019.10^{-5}$	$-1,9679.10^{-7}$	0,7058

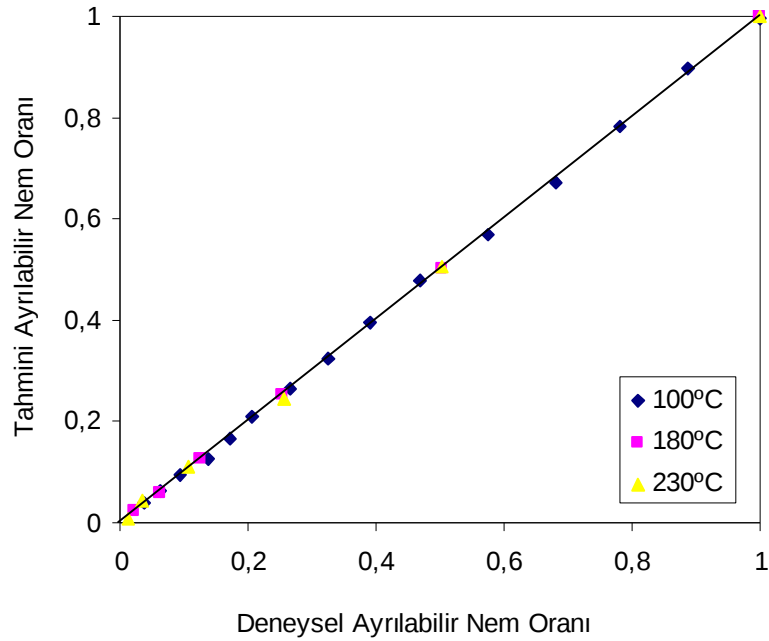
Deneme sonuçlarına göre hesaplanan ayrılabilir nem oranı ile daha yüksek oranda bu değerleri açıklayan Midilli Modeli ile elde edilen nem oranı değerlerinin zamana göre değişimleri Şekil 4.1, 4.3, 4.5’de verilmiştir. Görüldüğü gibi deneysel ve tahmini değerler birbirine oldukça yakındır. Ayrıca ıspanak için farklı koşullarda elde edilen deneysel ve tahmini ayrılabilir nem oranı değerinin dağılımı da Şekil 4.7-4.9’de gösterilmiş ve bu noktaların eğrinin üzerinde veya eğrinin çok yakınında bulunduğu saptanmıştır. Bu da modelin bir uyum içerisinde deneysel verileri açıklayabildiğinin bir göstergesidir.



Şekil 4.7. Mikrodalga ile kurutulan ıspanak için deneysel ve geliştirilen model yardımıyla tahmin edilen ayrılabilir nem oranı değerlerinin değişimi



Şekil 4.8. Mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ile kurutulan ıspanak için deneysel ve geliştirilen model yardımıyla tahmin edilen ayrılabilir nem oranı değerlerinin değişimi



Şekil 4.9. Sıcak hava ile kurutulan ıspanak için deneysel ve geliştirilen model yardımıyla tahmin edilen ayrılabilir nem oranı değerlerinin değişimi

4.1.3. Ispanak Renk Değişimine İlişkin Bulgular

Ispanakların kuruma sırasındaki renk değişimlerini incelemek amacıyla, her kurutma denemesinden önce, kurutma işlemini yapıldıktan sonra rasgele seçilen örnekler üzerinde renk ölçümleri yapılmıştır. Renk ölçümleri Minolta CR-100 cihazı ile (Şekil 3.2) ile L^* , a^* , b^* renk uzayı koordinatları ölçülerek yapılmıştır.

Şekil 4.10'da üç farklı deney koşulunda kurutulan ıspanakların kurutulduktan önceki ve sonraki parlaklık değerleri (L^*), Şekil 4.11'de yeşillik değerleri (a^*) ve Şekil 4.12'de sarılık değerleri (b^*) görülmektedir.

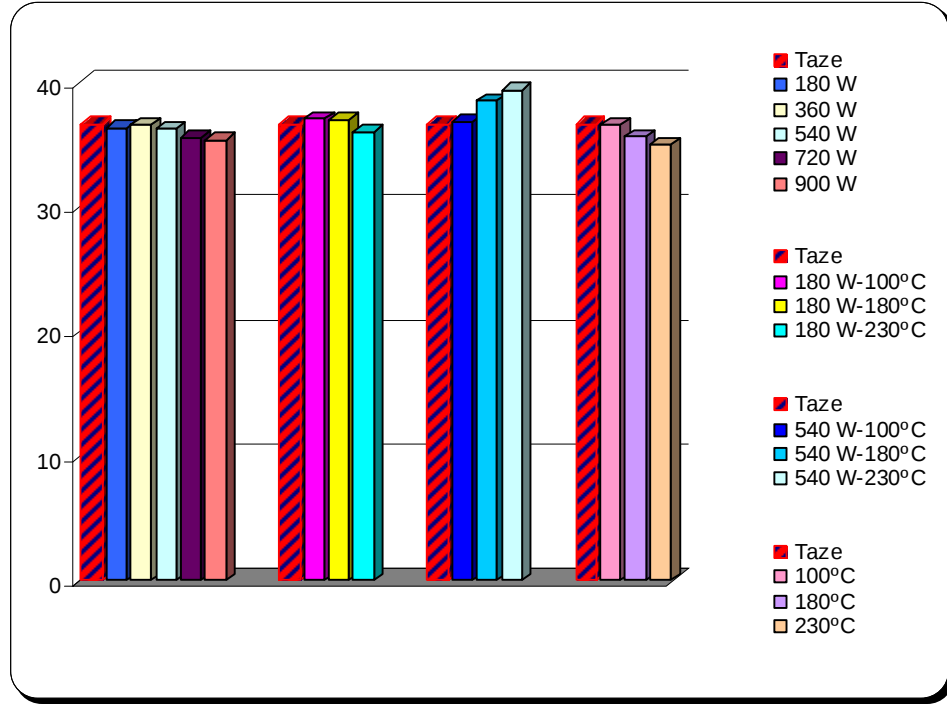
Ispanakların kurumalarından önceki renk değerleri ile farklı çalışma koşullarında kurutulan ıspanakların renk değişimine etkilerini belirlemek için yapılan renk ölçümlerinden elde edilen ortalama renk uzayı koordinatları (L^* , a^* ve b^*) ve bu değerlerden yararlanarak türetilen Hue Açısı (α) ve Chroma değerleri Çizelge 4.7 ve 4.8'de belirtilmiştir. Bu çizelgelerde yer alan kontrol ve farklı deney koşullarında kurutulan ıspanaklara ait L^* , a^* , b^* değerleri arasında fark olup olmadığını belirlemek amacıyla yapılan varyans analizleri sonuçları ekte verilmiştir.

Çizelge 4.7. Ispanakların Çeşitli Deney Koşullarında Kurutulduktan Sonraki Renk Değerleri

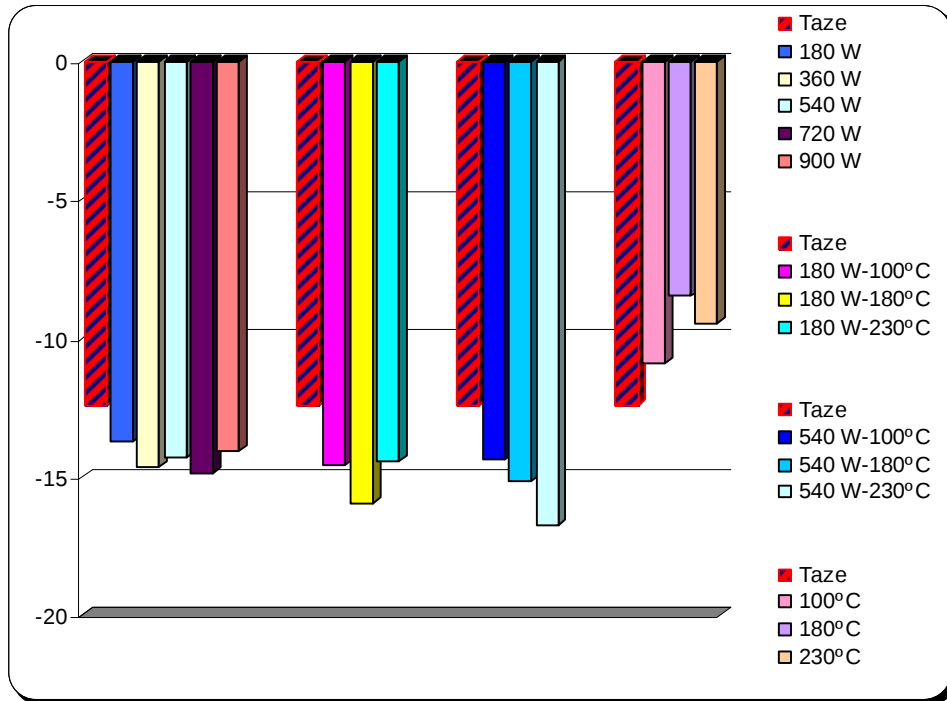
Deney Koşulu	Renk Parametreleri				
	L*	a*	b*	C	$\alpha, ^\circ$
Kontrol	36.7207 (0.9868)	-12.43.333 (7.885×10^{-5})	16.1513 (0.9317)	20.3872 (0.7321)	127.6296 (1.6255)
Mikrodalga Güç,(W)					
180 W	36.3667 (1.1458)	-13.7400 (0.5600)	21.4133 (0.9078)	25.4435 (1.0303)	122.6901 (0.6237)
360 W	36.6400 (0.9193)	-14.6533 (0.5873)	22.1200 (0.3904)	26.5348 (0.6108)	123.5137 (0.7647)
540 W	36.3267 (2.1920)	-14.2867 (0.9646)	21.2733 (0.8608)	25.6316 (1.0931)	123.8711 (1.5302)
720 W	35.6133 (2.0040)	-14.8933 (0.9475)	21.5667 (1.4643)	26.2094 (1.7432)	124.6328 (0.1233)
900 W	35.4400 (0.8215)	-14.0800 (0.8316)	21.0267 (9.452×10^{-2})	25.3109 (0.5382)	123.7867 (1.4531)
Mikrodalga+fan (W+°C)					
180W-100°C	37.1133 (0.7656)	-14.5933 (1,0708)	22.3933 (0.8796)	26.7313 (1.3102)	123.0626 (0.9751)
180W-180°C	37.0333 (1,8677)	-15.9267 (1,2626)	22.1467 (2.2248)	26.9276 (2.5324)	123.4281 (0.7071)
180W-230°C	36.0733 (0.9322)	-14.4067 (0.9065)	22.4667 (0.9188)	26.6901 (1.2573)	122.6515 (0.6340)
540W-100°C	36.8867 (1,9524)	-14.3533 (0.4636)	21.6800 (1.2600)	26.0040 (1.2441)	123.5326 (1.1115)
540W-180°C	38.5067 (1,3975)	-15.1400 (2.0466)	21.8867 (2.6033)	26.6135 (3.3079)	124.6359 (0.4843)
540W-230°C	39.4267 (3.5266)	-16.7400 (1.6367)	23.8333 (2.6349)	29.1260 (3.0849)	125.1099 (0.6560)
Fan Kurutma (°C)					
100°C	37.6267 (0.7487)	-10.9067 (3.0971)	21.4733 (2.1893)	24.1265 (3.3681)	116.5613 (4.0155)
180°C	35.6500 (1.3078)	-8.4843 (1.0593)	20.2933 (1.0205)	22.0231 (0.5658)	112.7439 (3.5130)
230°C	35.0133 (0.2873)	-9.4533 (0.7414)	19.5467 (0.4818)	21.7159 (0.7530)	115.7827 (1.2132)

Çizelge 4.8. Tüm Deney Koşullarında Kurutulan Ispanaklara Ait Renk Parametrelerinin Duncan Testi Analizi

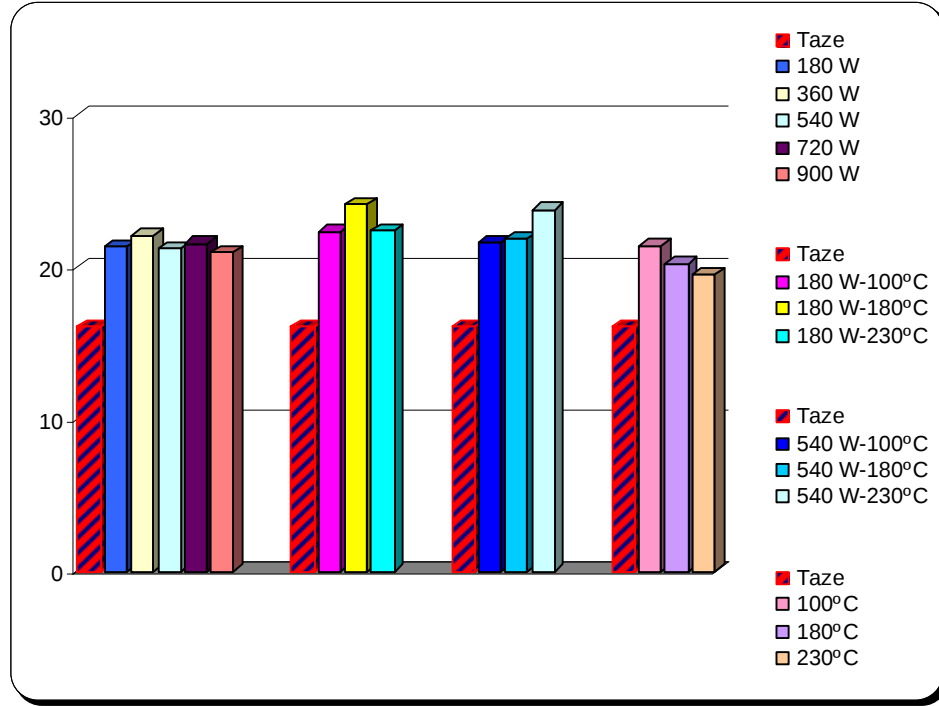
Deney Koşulu	Renk Parametreleri				
	L*	a*	b*	C	α , °
Kontrol	36.72 a	-12.43 b	16.15 a	20.38 a	-52.37 b
Mikrodalga Güç, (W)					
180 W	36.36 a	-13.74 a	21.41 b	25.44 b	-57.31 a
360 W	36.64 a	-14.65 a	22.12 b	26.53 b	-56.48 a
540 W	36.32 a	-14.28 a	21.27 b	25.63 b	-56.12 a
720 W	35.61 a	-14.89 a	21.56 b	26.21 b	-55.36 a
900 W	35.44 a	-14.08 a	21.02 b	25.31 b	-56.21 a
Mikrodalga+fan, (W+°C)					
Kontrol	36.72 a	-12.43 b	16.15 a	20.38 a	-52.37 d
180W-100°C	37.11 a	-14.59 ab	22.39 b	26.73 b	-56.93 ab
180W-180°C	37.03 a	-15.92 a	24.14 b	28.92 b	-56.57 abc
180W-230°C	36.07 a	-14.40 ab	22.46 b	26.68 b	-57.35 a
540W-100°C	36.88 a	-14.35 ab	21.68 b	26.00 b	-56.46 abc
540W-180°C	38.50 a	-15.14 a	21.88 b	26.61 b	-55.36 bc
540W-230°C	39.42 a	-16.74 a	23.83 b	29.12 b	-54.89 c
Fan Kurutma (°C)					
Kontrol	36.72 ab	-12.43 a	16.15 a	20.38 a	-52.37 b
100°C	37.62 b	-10.90 ab	21.47 b	24.13 b	-63.43 a
180°C	35.65 a	-8.48 b	20.29 b	22.02 ab	-67.26 a
230°C	35.01 a	-9.45 ab	19.54 b	21.71 ab	-64.22 a



Şekil 4.10. Farklı deneme koşullarında kurutulan ıspanakların taze ve kurutmadan sonraki parlaklık (L^*) değerleri



Şekil 4.11. Farklı deney koşullarında kurutulan ıspanakların taze ve kurutmadan sonraki yeşillik (a^*) değerleri



Şekil 4.12. Farklı deney koşullarında kurutulan ıspanakların taze ve kurutmadan sonraki sarılık (b^*) değerleri

Taze ürün ile kurutulan ıspanakta renk özelliklerinin mikrodalga gücüne bağlı olarak değişimi Çizelge 4.7’de verilmiştir. Yapılan tek faktörlü varyans analiz yöntemine (Anova, Ftesti ve Duncan) göre taze ürün ile farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan ürünler arasındaki karşılaştırmada, yeşil renk faktörü (a^*) azalmıştır. Buna karşın b^* renk faktörü güç uygulamasına bağlı olarak artmaktadır ($P<0,01$). Taze ürün ile farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan ürünler arasındaki renk parlaklığı (L^*) değerlerinde ise önemli bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir. Yüksek mikrodalga gücü uygulanan ürünler kendi içlerinde kıyaslandığında, renk parlaklığı (L^*), sarı renk faktörü (b^*), yeşil renk faktörü (a^*) değerlerinden oluşan değişimler istatistiksel anlamda önemsiz bulunmuştur.

Chroma ve Hue açısı değerleri mikrodalga ile çalışma koşullarında önemli bulunmuştur ($P<0,01$). Mikrodalga ile çalışma koşullarındaki renk faktörlerindeki değişimler ürünün yeşilliğini koruduğunu ortaya çıkarmaktadır.

Taze ürün ile kurutulan ıspanakta renk özelliklerinin mikrodalga fanlı kombinasyon çalışmasına bağlı olarak değişimi Çizelge 4.7’de verilmiştir. Yapılan tek faktörlü varyans analiz yöntemine göre taze ürün ile farklı mikrodalga gücü ve

sıcaklıklarda kurutulan ürünler arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Bu karşılaştırma sonucu, yeşil renk faktöründeki (a^*) azalmalar önemli bulunmuştur ($P<0,05$). Sarı renk faktörü (b^*) değerinde yine bir artış meydana gelmiştir ($P<0,01$). Kombinasyon çalışma koşullarında, renk parlaklığı (L^*) değerlerinde önemli bir farklılık olmadığı belirlenmiştir. Buna karşın Chroma ve Hue açısı değerleri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,01$). Yüksek güç ve sıcaklık uygulanan ürünler kendi içlerinde kıyaslandığında Chroma, renk parlaklığı (L^*), sarı renk faktörü (b^*) değerlerinde oluşan değişimler istatistiksel anlamda önemsiz iken, hue açısı ve yeşil renk faktörü (a^*) değerlerinde meydana gelen değişimler önemli bulunmuştur ($P<0,05$). Yapılan bu çalışma koşulunda 540 W mikrodalga güç seviyesinde yer yer kararmalar gözlenmiştir. Bu yüzden 540 W ve üzeri güç seviyesinde kurutma yapılmasının uygun olmadığı saptanmıştır.

Fanlı çalışma koşullarında yapılan değişimleri belirlemek amacıyla yapılan varyans analiz sonuçlarına göre taze ürün ile farklı sıcaklıklarda kurutulan ürünler arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Bu sonuçlara göre, yeşil renk faktörünün (a^*) arttığı gözlenmiştir ($P<0,05$). Sarı renk faktöründe (b^*) ise diğer çalışma koşullarında olduğu gibi bir artış meydana gelmiştir ($P<0,01$). Fanlı çalışma koşullarında renk parlaklığı (L^*) ve Chroma değerlerinde önemli bir farklılık olmadığı gözlenmiştir. Buna karşın Hue açısı değerleri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,01$). Kendi içlerinde kıyaslandığında ise renk parlaklığı (L^*), sarı renk faktörü (b^*), Hue açısı, Chroma değerlerinde meydana gelen değişimler istatistiksel anlamda önemsiz iken, a^* yeşil renk faktöründe meydana gelen değişimler önemli bulunmuştur. Özellikle yüksek sıcaklıklarda insan gözüyle görüldüğü şekliyle üründe renk değişimi olarak kahverengileşme meydana gelmektedir.

4.2. Kırmızıbiber Kurutma**4.2.1. Kırmızıbiber Kurutma Eğrilerine İlişkin Bulgular****4.2.1.1. Mikrodalga ile Kurutulan Kırmızı Biber Kuruma Eğrileri**

Kırmızıbiber kurutulmasında uygulanan kurutma yöntemlerinin kurumaya etkileri incelenmiştir. Üç farklı yöntemle kırmızıbiber kurutulması konusunda çalışılmış ve bu yöntemler birbiri ile karşılaştırılmıştır. Bu yöntemler, mikrodalga kurutma, sıcak havayla kurutma ve bunların kombinasyonu olarak sıralanabilir.

Mikrodalga ile gerçekleştirilen kuruma işlemi, 180 W, 360W, 540W, 720 W ve 900 W mikrodalga güçlerinde sırasıyla 5, 4, 4, 4 ve 2 dakika sürmüştür. Mikrodalga güçlerinin artmasıyla kuruma süreleri kısalmıştır (Şekil 4.13).

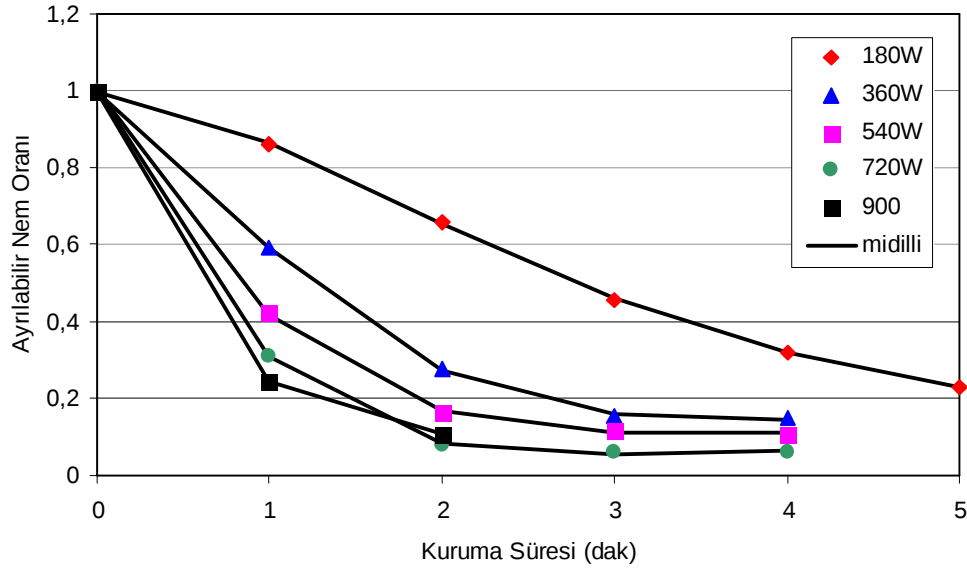
Nem oranının 0,5 olana kadarki kuruma süresi kırmızıbiber için 180 W, 360W, 540W, 720 W ve 900 W mikrodalga güçlerinde sırasıyla, 2.75, 1.40, 1, 0.75, 0.60 dakika sürmüştür. Bu sonuçlara göre Toplam Kurutma süresi değerleri, yüzde olarak sırasıyla, %55, %35, %25, %18.75, %30 olarak hesaplanmıştır. Ortalama yüzde değer % 32.75 olarak belirtilmiştir. Bu yüzden, farklı mikrodalga güçlerde kırmızıbiberdeki nem içeriğinin ikinci yarısını uzaklaştırmak için gerekli olan kuruma süresi, toplam kuruma süresinin yaklaşık % 67.25 olduğu belirlenmiştir.

Kuruma hızı zamana bağlı olarak giderek azalan bir eğilim sergilemekte olup, 180 W, 360W, 540W, 720W ve 900 W mikrodalga güçlerinde sırasıyla 1.80; 3.54; 5.04; 6.02; 6.56 kg su/ dak olarak hesaplanmıştır. Mikrodalga kurutmada güç seviyesinin artmasıyla kuruma hızı artmış kuruma süresi kısalmıştır. Sıcak havayla kurutmada ise ürünlerdeki nem kaybı oranı başlangıçta yüksektir fakat daha düşük nem içeriklerinde su hareketi yavaşlamaktadır (Şekil 4.14).

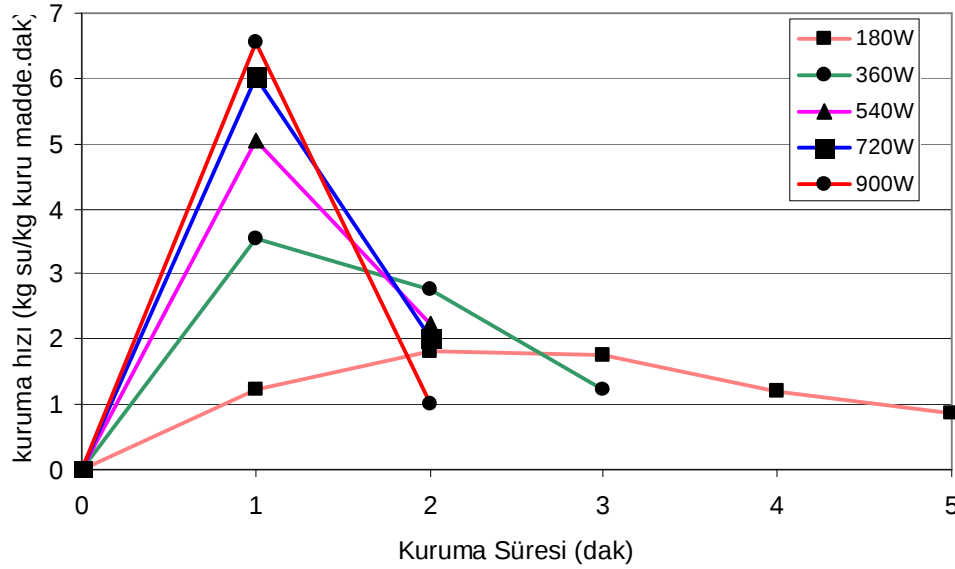
Kuruma hızı ilk 1 dakika süresince 5 çalışma koşulunda da artmıştır ve daha sonra devamlı olarak azalmıştır. Bu sonuç göstermiştir ki, ürünlerdeki nem hareketini yöneten baskın fiziksel bir mekanizmadır.

Örneklerin tüm çalışma koşullarında sabit hız periyodu saptanmamıştır. Kurutma denemelerinde azalan hız periyodu mevcuttur. Azalan hız periyodunda materyal yüzeyi daha fazla duyla doymuş hale gelir ve kuruma hızı katının içinden yüzeye doğru nemin difüzyonu tarafından kontrol edilir. (Diamante, Munro, 1993).

Doymaz, 2004, Lahsasni ve ark. 2004, Toğrul ve Pehlivan, 2003 yaptıkları çalışmalarda aynı sonuçları elde etmişlerdir.



Şekil 4.13. Farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan kırmızıbiberin nem içeriğindeki değişim



Şekil 4.14. Farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan kırmızıbiberin kuruma hızındaki değişim

4.2.1.2. Mikrodalga ve Sıcak Hava Kombinasyonu ile Kurutulan Kırmızıbiberin Kuruma Eğrileri

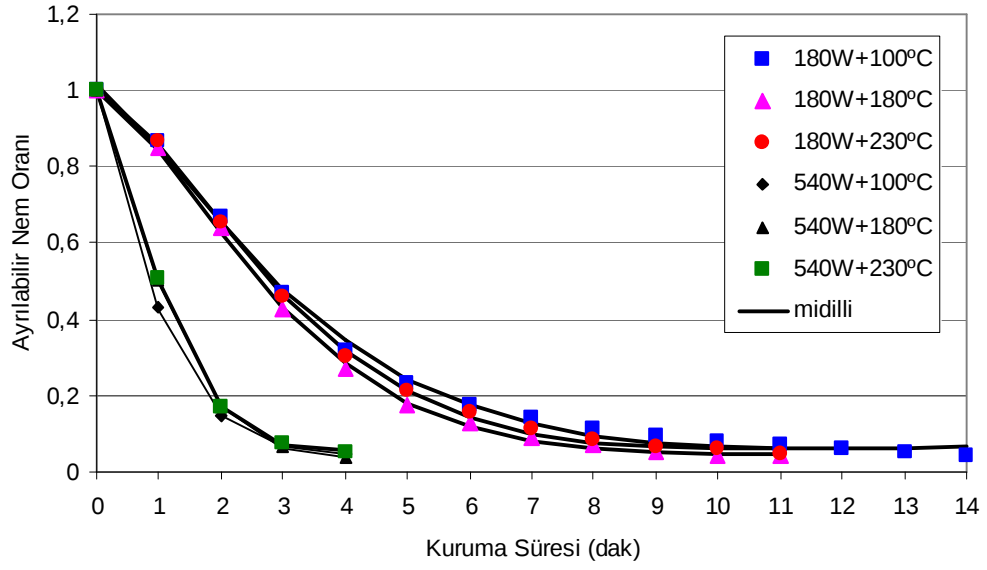
Mikrodalga ve fanlı fırının birlikte çalışması halinde güç seviyesi sabit tutularak (180 W), farklı sıcaklıklarda (100°C, 180°C, 230°C) çalışılmıştır. İkinci güç seviyesi olan 540 W’ da çalışırken de yine 100°C, 180°C ve 230°C sıcaklıklarında çalışılmıştır.

Mikrodalga ve sıcak havanın kombinasyonu ile gerçekleştirilen kuruma işlemi, 180W+100°C, 180W+180°C, 180W+230°C ve 540W+100°C, 540W+180°C, 540W+230°C mikrodalga güçlerinde ve sıcaklıklarda sırasıyla 14, 11, 10, 4, 4 ve 3 dakika sürmüştür. Mikrodalga güçlerinin artmasıyla kuruma süreleri kısalmıştır (Şekil 4.15).

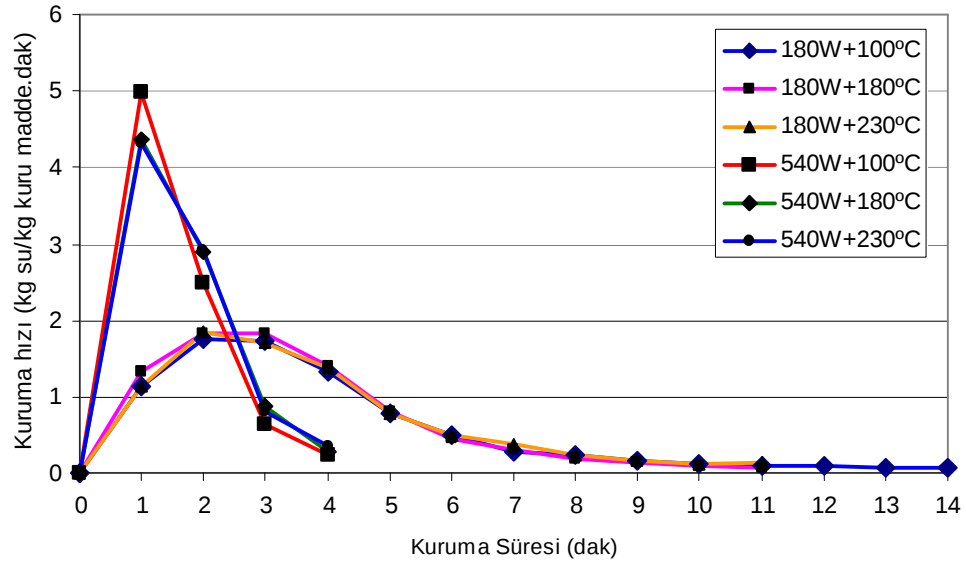
Nem oranının 0,5 olana kadar ki kuruma süresi kırmızıbiber için 180 W+100°C, 180W+180°C, 180W+230°C mikrodalga güçlerinde ve sıcaklıklarda sırasıyla, 3, 3, 2.95 dakika sürmüştür. Bu sonuçlara göre Toplam kurutma süresi değerleri, yüzde olarak sırasıyla, %21.42, %27.27, %29.5, olarak hesaplanmıştır. Ortalama yüzde değer % 26.06 olarak belirlenmiştir. Bu yüzden kırmızıbiberde nem içeriğinin ikinci yarısını uzaklaştırmak için gerekli olan süre, farklı mikrodalga güçlerinde toplam kuruma süresinin yaklaşık % 73.94 olduğu belirlenmiştir.

Nem oranının 0,5 olana kadarki kuruma süresi kırmızıbiber için 540W+100°C, 540W+180°C, 540W+230°C mikrodalga güçlerinde ve sıcaklıklarda sırasıyla, 1, 1, 0.97 dakika sürmüştür. Bu sonuçlara göre Toplam Kurutma süresi değerleri, yüzde olarak sırasıyla, %25, %25, %32.3 olarak hesaplanmıştır. Ortalama yüzde değer % 27.43 olarak belirlenmiştir.. Bu yüzden kırmızıbiberde nem içeriğinin ikinci yarısını uzaklaştırmak için farklı mikrodalga güçlerinde toplam kuruma süresinin yaklaşık % 72.56 olduğu belirlenmiştir.

Kurutma hızı zamana bağlı olarak giderek azalan bir eğilim sergilemekte olup, 180W+100°C, 180W+180°C, 180W+230°C ve 540W+100°C, 540W+180°C, 540W+230°C mikrodalga güçlerinde ve sıcaklıklarda sırasıyla 1.76; 1.83; 1.85; 4.37; 4.35; 4.30 kg su/dak olarak hesaplanmıştır. Mikrodalga ve sıcak havayla kurutmada güç seviyesinin artmasıyla kuruma hızı artmıştır (Şekil 4.16).



Şekil 4.15. Farklı mikrodalga güç ve sıcaklık kombinasyonunda kurutulan kırmızıbiberin nem içeriğindeki değişim



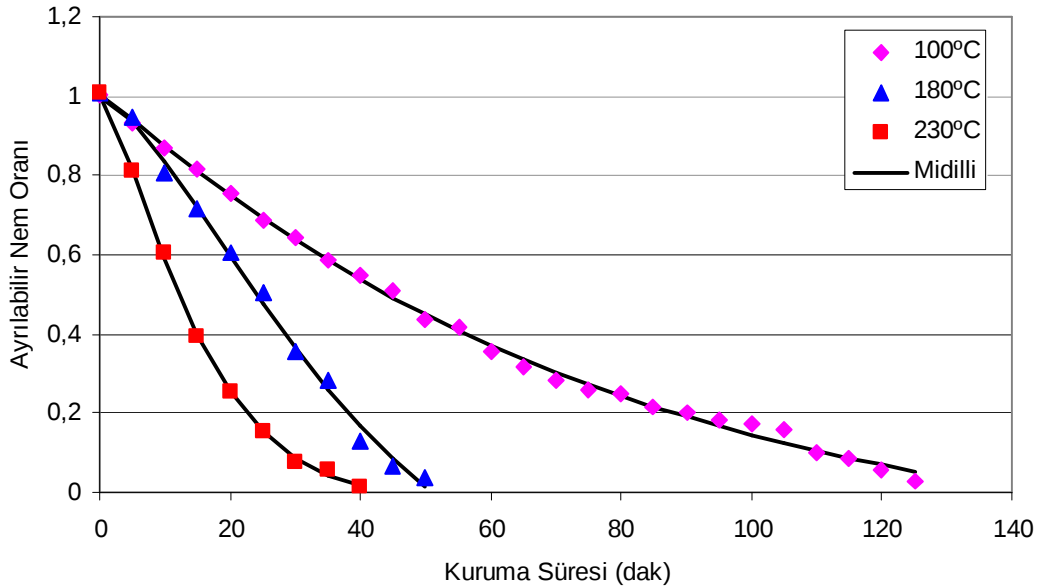
Şekil 4.16. Farklı mikrodalga güç ve sıcaklık kombinasyonunda kurutulan kırmızıbiberin kuruma hızındaki değişim

4.2.1.3. Sıcak Havayla Kurutulan Kırmızıbiberin Kuruma Eğrileri

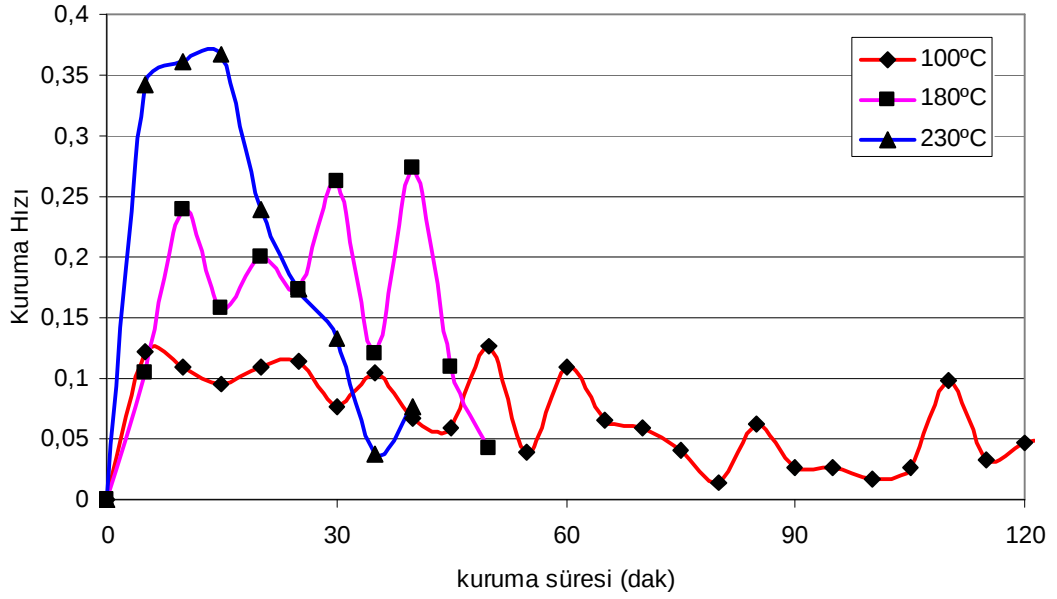
Sıcak havayla kurutma, 100 °C, 180°C ve 230 °C sıcaklıklarda sırasıyla 125, 50, 40 dakika sürmüştür. Sıcaklıkların artmasıyla kuruma süreleri kısalmıştır (Şekil 4.17).

Kuruma hızı zamana bağlı olarak giderek azalan bir eğilim sergilemekte olup, 100 °C, 180 °C ve 230 °C sıcaklıklarda sırasıyla 0,0242; 0,0478; 0,0684 kg su/dak olarak hesaplanmıştır. Sıcak havayla kurutmada sıcaklığın artmasıyla kuruma hızı artmıştır (Şekil 4.18).

Nem oranının 0,5 olana kadarki kuruma süresi kırmızıbiber için 100°C, 180°C, 230°C sıcaklıklarda sırasıyla, 45, 25, 12 dakika sürmüştür. Bu sonuçlara göre toplam kurutma süresi değerleri, yüzde olarak sırasıyla, %36, %50, %30, olarak hesaplanmıştır. Ortalama yüzde değer % 38.13 olarak belirlenmiştir. Bu yüzden, kırmızıbiberdeki nem içeriğinin ikinci yarısını uzaklaştırmak için gerekli olan kuruma süresi, farklı sıcaklıklarda toplam kuruma süresinin yaklaşık % 61.87 'si olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.17. Farklı sıcaklıklarda kurutulan kırmızıbiberin nem içeriğindeki değişimi



Şekil 4.18. Farklı sıcaklıklarda kurutulan kırmızıbiberin kuruma hızındaki değişimi

Çizelge 4.9 'de ise yapılan tüm uygulamalarda kırmızıbibere ait olan, ölçülen ve değerlendirmeye tabii tutulan değerler verilmiştir.

Çizelge 4.9. Kırmızıbibere Ait Tüm Parametreler

	Toplam Süre (min)	Başlangıç Kütlesi	Son Kütle	Başlangıç Nem İçeriği	Son Nem İçeriği	Enerji Tüketimi (kWh)
180 W	4	10.13	3.41	88.11	69.05	0.017
360W	5	10.16	2,87	87.25	61.60	0.022
540W	6	10.03	2,71	87.25	54.62	0.090
720W	3	10.03	2,33	87.25	32.89	0.056
900W	3	10.00	1,97	87.25	47.53	0.066
180W-100°C	14	10,09	1.62	87.33	14.58	0.202
180W-180°C	11	10.04	1.62	87.33	21.81	0.243
180W-230°C	10	10.11	1.83	87.15	29.78	0.227
540W-100°C	4	10.02	1.73	87.15	25.72	0.078
540W-180°C	4	10.06	1.63	87.15	21.16	0.127
540W-230°C	3	10.12	1.83	87.15	29.78	0.228
100°C	125	10.05	1.06	87.15	18.12	1.081
180°C	50	10.01	1.64	87.15	22.01	0,845
230°C	40	10.01	1.40	87.15	21.02	0.685

4.2.2.Farklı Kurutma Koşullarındaki Kırmızıbiberlerin Kurutma Sabiti Değerleri

Yapılan denemeler sonucunda ürünün zamana bağlı olarak nem içeriğinde meydana gelen değişim incelenmiştir. Ürünün belli bir t anınsa sahip olduğu nem içeriğinin (M) ürünün ilk nem içeriğine (Mo) oranı olarak sadeleştirilen ayrılabilir nem oranı (ANO) 11 farklı model ile belirlenmeye çalışılmıştır.

Kontrol edilebilir parametre koşullarında gerçekleştirilen denemeler sonunda tüm model eşitliklere ilişkin R^2 , RSS ve SEE değerlerine ilişkin sonuçlar Çizelge 4.10–4.13’de verilmiştir. Tüm model eşitliklere ait model katsayıları, R^2 , RSS ve SEE değerleri ayrıntılı olarak Ekler de yer almaktadır.

Çizelge 4.10. Kırmızıbiberin Mikrodalga İle Kurutma İşlemlerine İlişkin Kullanılan Model Eşitliklerin Non Lineer Analiz Sonuçları

No	180W			360W			540W			720W			900W		
	R ²	SEE(±)	RSS	R ²	SEE(±)	RSS	R ²	SEE(±)	RSS	R ²	SEE(±)	RSS	R ²	SEE(±)	RSS
1	0,9941	0,0545	0,0149	0,9981	0,0300	0,0027	0,9999	0,0070	0,0009	0,9998	0,0099	0,0002	0,9957	0,0450	0,0061
2	0,9998	0,0118	0,0006	0,9995	0,0189	0,0007	1,0000	0,0014	0,0002	1,0000	0,0014	0,0002	0,9995	0,0189	0,0007
3	0,9999	0,0098	0,0966	0,9981	0,0368	0,0027	0,9999	0,0098	0,0096	0,9998	0,0140	0,0002	0,9957	0,0552	0,0061
4	0,9955	0,0532	0,0113	0,9982	0,0358	0,0026	0,9999	0,0097	0,0094	0,9998	0,0140	0,0002	0,7000	0,4629	0,4285
5	0,9986	0,0344	0,0036	0,9989	0,0394	0,0016	1,0000	inf	0,0000	1,0000	inf	0,0038	0,9982	0,0508	0,0026
6	0,9985	0,0314	0,0039	0,9996	0,0176	0,0006	1,0000	0,0143	0,0002	1,0000	0,0143	0,0004	0,9990	0,0268	0,0014
7	0,9984	0,0369	0,0041	0,9990	0,0385	0,0015	0,9995	0,0169	0,0006	0,9998	0,0141	0,0002	0,9983	0,0497	0,0025
8	0,9984	0,0371	0,0041	0,9981	0,0521	0,0027	0,9998	inf	0,0002	0,9986	inf	0,0016	0,9982	0,0501	0,0025
9	0,7731	0,3794	0,5759	0,9534	0,1840	0,0677	0,9992	0,0309	0,0010	0,9942	0,0803	0,0064	0,7000	0,4629	0,4285
10	0,9955	0,0614	0,0113	0,9982	0,0506	0,0026	0,9999	inf	0,0009	0,9998	inf	0,0002	0,9960	0,0759	0,0058
11	1,0000	0,0049	0,0004	1,0000	0,0049	0,0002	1,0000	0,0116	0,0001	1,0000	0,0158	0,0003	1,0000	0,0020	0,0003

SEE, tahminin standart hatası; R², belirtme katsayısı değerleri; RSS, Kalanların kareleri toplamı

Çizelge 4.11. Kırmızıbiberin 180 W Mikrodalga Gücü İle Sıcak Hava Kurutma İşlemlerine İlişkin Kullanılan Model Eşitliklerin Non Lineer Analiz Sonuçları

180W										
100°C					180°C			230°C		
No	R ²	SEE(±)	RSS	R ²	SEE(±)	RSS	R ²	SEE(±)	RSS	R ²
1	0,9922	0,0386	0,0209	0,9892	0,0489	0,0263	0,9904	0,0476	0,0249	0,9904
2	0,9950	0,0321	0,0134	0,9979	0,0225	0,0051	0,9977	0,0245	0,0060	0,9977
3	0,9922	0,0401	0,0209	0,9892	0,0513	0,0263	0,9904	0,0499	0,0249	0,9904
4	0,9939	0,0353	0,0162	0,9919	0,0445	0,0198	0,9931	0,0424	0,0180	0,9931
5	0,9940	0,0364	0,0159	0,9929	0,0439	0,0174	0,9938	0,0422	0,0160	0,9938
6	0,9874	0,0508	0,0336	0,9950	0,0351	0,0123	0,9957	0,0334	0,0112	0,9957
7	0,9924	0,0412	0,0204	0,9920	0,0467	0,0196	0,9927	0,0459	0,0189	0,9927
8	0,9924	0,0412	0,0204	0,9919	0,0468	0,0197	0,9926	0,0462	0,0192	0,9926
9	0,7445	0,2292	0,6828	0,7836	0,2302	0,5299	0,7622	0,2483	0,6164	0,7622
10	0,9939	0,0368	0,0162	0,9919	0,0469	0,0198	0,9931	0,0447	0,0180	0,9931
11	0,9986	0,0183	0,0037	0,9996	0,0104	0,0009	0,9999	0,0111	0,0010	0,9999

SEE, tahminin standart hatası; R², belirtme katsayısı değerleri; RSS, Kalanların kareleri toplamı

Çizelge 4.12. Kırmızıbiberin 540 W Mikrodalga Gücü İle Sıcak Hava Kurutma İşlemlerine İlişkin Kullanılan Model Eşitliklerin Non Lineer Analiz Sonuçları

540W									
100°C				180°C			230°C		
No	R ²	SEE(±)	RSS	R ²	SEE(±)	RSS	R ²	SEE(±)	RSS
1	0,9990	0,0174	0,0012	0,9967	0,0324	0,0042	0,9967	0,0329	0,0043
2	0,9991	0,0187	0,0011	0,9994	0,0158	0,0007	0,9986	0,0243	0,0018
3	0,9990	0,0201	0,0012	0,9967	0,0374	0,0042	0,9967	0,0380	0,0043
4	0,9990	0,0200	0,0012	0,9968	0,0367	0,0040	0,9967	0,0374	0,0042
5	0,9990	0,0242	0,0012	0,9977	0,0387	0,0030	0,9970	0,0438	0,0038
6	0,9947	0,0465	0,0065	0,9986	0,0243	0,0018	0,9986	0,0242	0,0018
7	0,9990	0,0246	0,0012	0,9980	0,0361	0,0026	0,9973	0,0421	0,0035
8	0,9992	0,0217	0,0009	0,9980	0,0361	0,0026	0,9973	0,0420	0,0035
9	0,9974	0,0326	0,0032	0,9861	0,0772	0,0179	0,9843	0,0823	0,0203
10	0,9990	0,0245	0,0012	0,9968	0,0450	0,0040	0,9967	0,0459	0,0042
11	0,9999	0,0097	0,0002	1,0000	0,0076	0,0005	1,0000	0,0074	0,0005

SEE, tahminin standart hatası; R², belirtme katsayısı değerleri; RSS, Kalanların kareleri toplamı

Çizelge 4.13. Kırmızıbiberin Sıcak Hava İle Kurutma İşlemlerine İlişkin Kullanılan Model Eşitliklerin Non Lineer Analiz Sonuçları

No	100°C			180°C			230°C		
	R ²	SEE(±)	RSS	R ²	SEE(±)	RSS	R ²	SEE(±)	RSS
1	0,9949	0,0369	0,0341	0,9723	0,1041	0,1084	0,9885	0,0573	0,0262
2	0,9986	0,0196	0,0092	0,9972	0,0350	0,0110	0,9997	0,0095	0,0006
3	0,9989	0,0180	0,0075	0,9977	0,0334	0,0089	0,9990	0,0195	0,0023
4	0,9962	0,0322	0,0249	0,9792	0,0953	0,0817	0,9911	0,0539	0,0203
5	0,9991	0,0157	0,0057	0,9977	0,0337	0,0091	0,9974	0,0317	0,0060
6	0,9989	0,0178	0,0076	0,9970	0,0359	0,0116	0,9986	0,0212	0,0031
7	0,9949	0,0385	0,0341	0,9723	0,1164	0,1084	0,9883	0,0667	0,0297
8	0,9991	0,0162	0,0060	0,9970	0,0384	0,0118	0,9970	0,0339	0,0069
9	0,9948	0,0380	0,0347	0,9720	0,1104	0,1097	0,9884	0,0616	0,0265
10	0,9962	0,0329	0,0249	0,9792	0,1010	0,0817	0,9911	0,0582	0,0203
11	0,9992	0,0156	0,0054	0,9987	0,0267	0,0050	0,9998	0,0100	0,0005

SEE, tahminin standart hatası; R², belirtme katsayısı değerleri; RSS, Kalanların kareleri toplamı

Elde edilen sonuçlara göre belirtme katsayısı (R^2) en yüksek bulunan **Midilli** modelinde nem içeriğinin zamana göre değişimi,

$$MR=a.exp(-k(t^m))+b.t$$

eşitliği ile saptanmıştır.

Modeller, model katsayıları ve hesaplanan değerlerle deneysel veriler arasındaki belirtme katsayıları incelendiğinde en yüksek belirtme katsayısı Midilli modelinde sağlanmış olup **0,9986-1,0000** düzeyindedir. Bu modelin denemenin gerçekleştiği koşullarda tahmin için pratikte kullanılabileceğini göstermektedir.

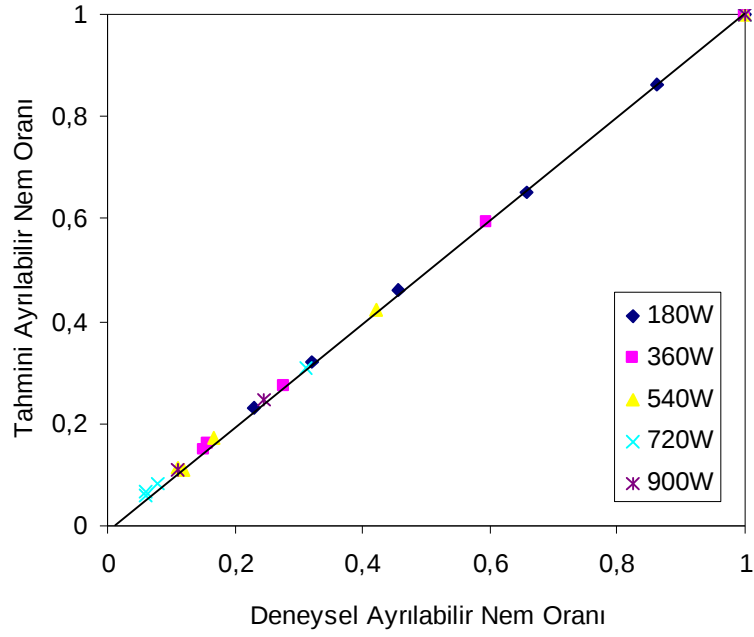
Kontrol edilebilir parametre koşullarında gerçekleştirilen denemeler sonunda tüm model eşitliklere ilişkin R^2 , RSS ve SEE değerlerine ilişkin sonuçlar Çizelge 4.10-4.13’de verilmiştir.

Her sıcaklık için 3 tekerrürlü ölçülen zamana bağlı ağırlık değişimlerine göre hesaplanan ayrılabilir nem oranları (ANO) değerleri kullanılarak, her bir tekerrür için çizelgede verilen kurutma modellerinin katsayıları ve R^2 değerleri belirlenmiştir. Belirlenen katsayılar incelendikten sonra, her bir tekerrür için yüksek belirtme değerine sahip Midilli modeli kırmızıbiberin kuruma modelinin geliştirilmesi için kullanılmıştır. Ayrılabilir nem oranının tahmin edilmesinde kullanılabilecek Midilli ve Küçük modelinde yer alan a, k, m, b katsayılarına kurutma havası sıcaklığı etkisi çoklu regresyon yöntemi ile incelenmiş ve incelenen kuruma modelinin katsayılarını sıcaklığa bağlı olarak en yüksek R^2 değeri ile tahminleyen en çok 3 terimli modeller oluşturulmuştur (Çizelge 4.14).

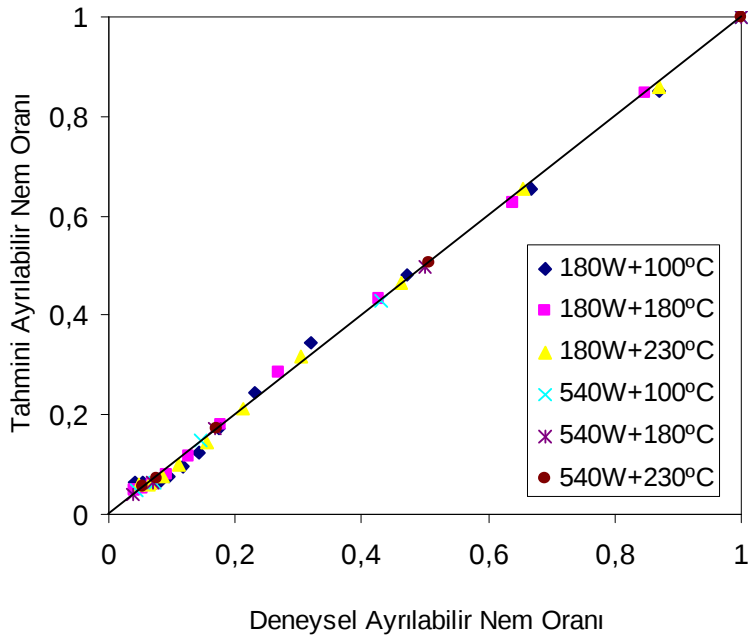
Çizelge 4.14. Mikrodalga - Sıcak Hava Kombinasyonu ve Sıcak Hava ile Kurutulan Kırmızıbiber İçin Tavsiye Edilen Midilli ve Küçük Kurutma Modelindeki Katsayıların Sıcaklığa Bağlı Olarak Değişimini İfade Eden Eşitlikler ve Katsayıları

Model $MR=a.exp(-k.tm)+b.t$		y_0	c	c_1	R^2
180W	$a=y_0+ct+c_1t^2$	-0,2751	0,0126	$-3,0515.10^{-5}$	0,9176
	$k=y_0+ct+c_1t^2$	0,168	0,0002	$-8,530.10^{-7}$	0,9918
	$m=y_0+ct+c_1t^2$	0,9102	0,006	$-1,5758.10^{-5}$	0,9979
	$b=y_0+ct+c_1t^2$	0,0099	$-7,0308.10^{-5}$	$2,1538.10^{-7}$	0,9447
540W	$a=y_0+ct+c_1t^2$	0,9999	$2,7499.10^{-6}$	$-8,3331.10^{-9}$	1,0000
	$k=y_0+ct+c_1t^2$	1,36	-0,0065	$1,5939.10^{-5}$	0,9962
	$m=y_0+ct+c_1t^2$	0,9203	0,0039	$-7,0197.10^{-6}$	0,9983
	$b=y_0+ct+c_1t^2$	0,0321	-0,0003	$1,0449.10^{-6}$	0,9823
100°C	$a=y_0+ct+c_1t^2$	1,0152	-0,0002	$6,4231.10^{-5}$	1,0000
	$k=y_0+ct+c_1t^2$	0,0838	-0,0011	$3,5641.10^{-6}$	0,9853
	$m=y_0+ct+c_1t^2$	0,8481	0,0266	$7,3791.10^{-5}$	0,9994
	$b=y_0+ct+c_1t^2$	0,0161	-0,0002	$7,4637.10^{-7}$	0,9834

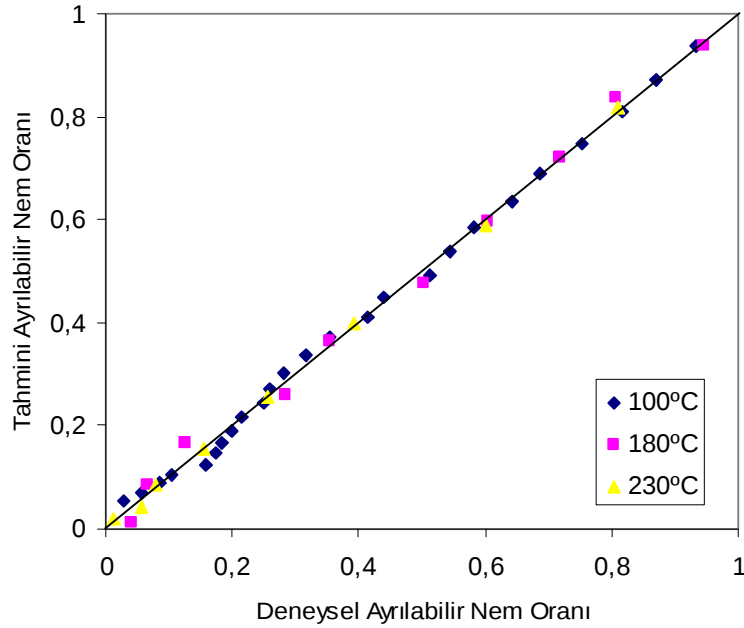
Deneme sonuçlarına göre hesaplanan ayrılabilir nem oranı ile daha yüksek oranda bu değerleri açıklayan Midilli Modeli ile elde edilen nem oranı değerlerinin zamana göre değişimleri Şekil 4.13, 4.15, 4.17’de verilmiştir. Görüldüğü gibi deneysel ve tahmini değerler birbirine oldukça yakındır. Ayrıca kırmızıbiber için farklı koşullarda elde edilen deneysel ve tahmini ayrılabilir nem oranı değerinin dağılımı da Şekil 4.19-4.21’de gösterilmiş ve bu noktaların eğrinin üzerinde veya eğrinin çok yakınında bulunduğu saptanmıştır. Bu da modelin bir uyum içerisinde deneysel verileri açıklayabildiğinin bir göstergesidir.



Şekil 4.19. Mikrodalga ile kurutulan kırmızıbiber için deneysel ve geliştirilen model yardımıyla tahmin edilen ayrılabilir nem oranı değerlerinin değişim



Şekil 4.20. Mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ile kurutulan kırmızıbiber için deneysel ve geliştirilen model yardımıyla tahmin edilen ayrılabilir nem oranı değerlerinin değişimi



Şekil 4.21. Sıcak hava ile kurutulan kırmızıbiber için deneysel ve geliştirilen model yardımıyla tahmin edilen ayrılabilir nem oranı değerlerinin değişimi

4.2.3. Kırmızıbiber Renk Değişimine İlişkin Bulgular

Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16'daki verilen veriler kullanılarak elde edilen Şekil 4.22'de görüldüğü gibi mikrodalgayla kurutulmuş kırmızıbiberin parlaklık değerleri (L^*) taze kırmızıbiber değerlerine göre 180W, 360W, 540W mikrodalga güçlerinde bir artış göstermiş olup 720 W ve 900 W gibi yüksek mikrodalga güçlerinde bir azalma söz konusudur. Kontrol grubuna en yakın değer 540W mikrodalga gücüyle yapılan mikrodalga uygulamasına aittir (Çizelge 4.15).

Mikrodalgayla çalışma koşullarında kırmızılık (a^*) değerlerinde taze ürüne kıyasla bir azalma meydana gelmiştir. Kontrol grubuna en yakın olan değer 180W mikrodalga gücüyle gerçekleştirilen mikrodalga uygulamasına aittir (Şekil 4.23).

Kurutulan ürünlerde sarılık (b^*) değeri mikrodalgayla çalışma koşullarında 180W ve 360W mikrodalga güçlerinde taze ürünlerdeki değerle karşılaştırıldığında artmış, uygulanan yüksek mikrodalga güçlerinde önemli oranda azaldığı tespit edilmiştir ($P < 0,01$) (Şekil 4.24). Kontrol grubuna en yakın örnek 540W mikrodalga gücüyle gerçekleştirilen mikrodalga uygulamasında alınan örnektir. (Çizelge 4.15).

Ürün renk parametrelerine ilişkin hue (α) renk tonu değerlerine göre kontrol grubu ile mikrodalga ile kurutma çalışma koşulu arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar olmakla beraber kontrol grubuna en yakın değerler 180W mikrodalga uygulamasına ait değerler olmuştur.

Chroma değerlerinde ise 180W kurutulan ürünlerle ile taze ürün değeri arasında bir farklılık gözlenmemiştir. Fakat güç seviyesi artıkça kurutulan ürünlerdeki chroma değerlerinde bir azalma meydana gelmiştir ($P<0,01$). Chroma değeri taze ürüne en yakın olan ürün 180W mikrodalga uygulamasına ait üründür (Çizelge 4.15).

180 W sabit mikrodalga gücüyle gerçekleştirilen Mikrodalga fanlı kombinasyon çalışmasında kırmızıbiberin parlaklık değerleri (L^*) taze kırmızıbiber değerlerine göre artış göstermekle birlikte kontrol grubuna en yakın olan değer 180W–100°C kombinasyon uygulamasına aittir.

540W sabit mikrodalga gücüyle gerçekleştirilen Mikrodalga fanlı kombinasyon çalışmasında kırmızıbiberin parlaklık değerleri (L^*) taze kırmızıbiber değerlerine göre azalma göstermekle birlikte kontrol grubuna en yakın olan değer 540W-100°C kombinasyon uygulamasına aittir.

180W ve 540 W sabit Mikrodalga güçleriyle gerçekleştirilen mikrodalga fanlı kombinasyon çalışmasında kurutulan ürünlerde ürün kırmızı renk yoğunluğu (a^*) değerleri belirgin bir şekilde azalmıştır ($P>0,01$). Kırmızı renk değeri taze ürüne en yakın olan ürün 180W–100°C ile 540W–100°C kombinasyon uygulamalarına ait üründür (Çizelge 4.15).

Yapılan kombinasyon çalışmasında ise ürünün sarılık değerlerinde (b^*) 180W–100°C hariç diğer çalışma koşullarında bir azalma söz konusudur ($P<0,01$).

Kombinasyon çalışma koşulunda hue açısı değerleri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,01$). Kontrol grubuyla karşılaştırıldığında önemli oranda artış göstermekle birlikte bu gruba en yakın ürün değerleri 180 W-100°C ve 540W-180°C 'dir.

Kombinasyon çalışma koşulunda Chroma değerleri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,01$). Kontrol grubuyla karşılaştırıldığında önemli oranda azalma göstermekle birlikte bu gruba en yakın ürün değerleri 180 W–100°C ve 540W–100°C

'dir. Tüm çalışma koşullarında renk parlaklığı değerleri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,01$).

Çizelge 4.15. Kırmızıbiberin Çeşitli Deney Koşullarında Kurutulduktan Sonraki Renk Değerleri

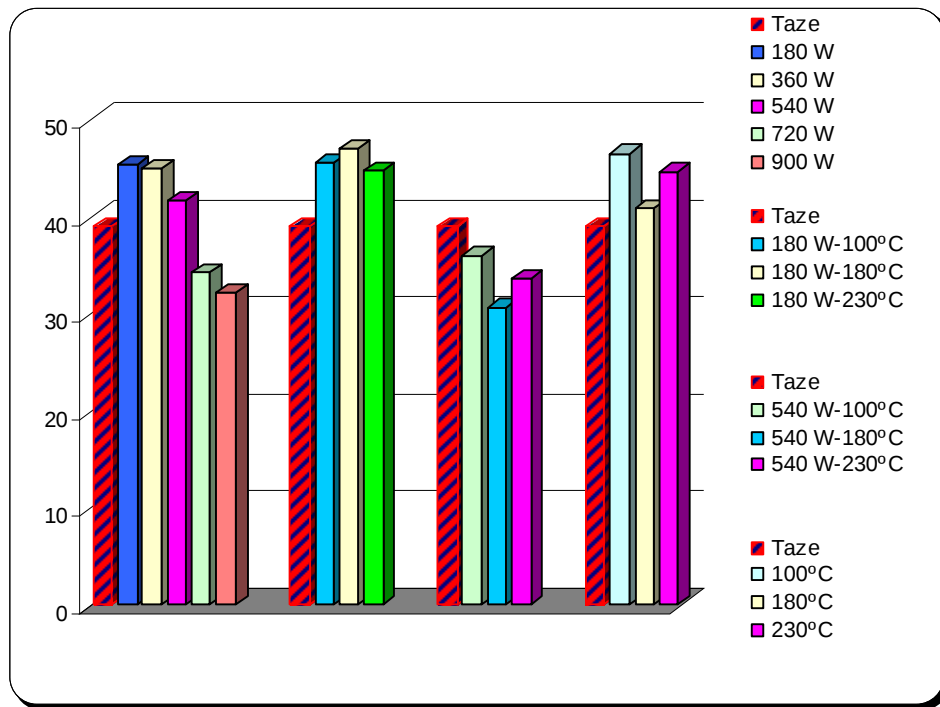
Deney Koşulu	Renk Parametreleri				
	L*	a*	b*	C	α , °
Taze	39.0111 (1.32386)	27.1444 (1.60566)	25.8556 (0.60584)	37.5059 (1.46812)	43.5846 (1.36783)
Mikrodalga Güç, (W)					
180 W	45.4333 (0.25166)	26.1667 (0.41633)	27.8667 (1.45717)	38.2330 (1.23205)	46.7775 (1.31783)
360 W	45.0667 (2.34379)	23.8667 (3.32014)	27.8667 (0.72342)	36.7270 (2.73765)	49.5739 (3.08144)
540 W	41.7000 (1.57162)	18.4667 (2.83784)	25.0333 (3.04357)	31.1427 (3.74762)	53.6349 (3.45020)
720 W	34.2333 (1.23423)	11.3000 (1.57162)	15.8333 (1.32035)	19.4644 (1.86907)	54.5784 (2.48350)
900 W	32.2333 (0.51316)	6.5667 (0.46188)	12.2667 (0.58595)	13.9176 (0.62904)	61.8375 (1.63354)
Mikrodalga+fan, (W+°C)					
180W-100°C	45.6333 (0.05774)	24.8333 (1.85562)	29.4333 (1.66233)	38.5116 (2.45348)	49.8675 (0.65546)
180W-180°C	47.1333 (2.23681)	15.5333 (0.46188)	23.0667 (1.85023)	27.8155 (1.76615)	55.9836 (1.47467)
180W-230°C	44.7667 (0.70238)	18.6000 (3.70405)	23.9000 (3.93573)	30.2881 (5.37697)	52.2346 (1.08243)
540W-100°C	36.0667 (0.46188)	11.9000 (1.21244)	18.6333 (1.70392)	22.1151 (1.99417)	57.4429 (1.66952)
540W-180°C	30.7000 (0.34641)	10.5333 (3.74344)	14.3333 (2.14554)	17.8410 (3.96953)	54.4588 (5.26276)
540W-230°C	33.6333 (0.20817)	7.7000 (1.20000)	13.4667 (0.75719)	15.5367 (0.94374)	60.3015 (3.91058)
Fan Kurutma (°C)					
100°C	46.5400 (2.07557)	22.4400 (2.53239)	26.0400 (3.55359)	34.3965 (4.14592)	49.1653 (2.35317)
180°C	40.9400 (1.70529)	21.3000 (1.40178)	19.9200 (3.29803)	29.1975 (3.21615)	42.8305 (3.07595)
230°C	44.6800 (2.95922)	21.9600 (4.24417)	25.5200 (1.99173)	33.7557 (3.81597)	49.5595 (4.39136)

Çizelge 4.16. Tüm Deney Koşullarında Kurutulan Kırmızıbiber Ait Renk Parametrelerinin Duncan Testi Analizi

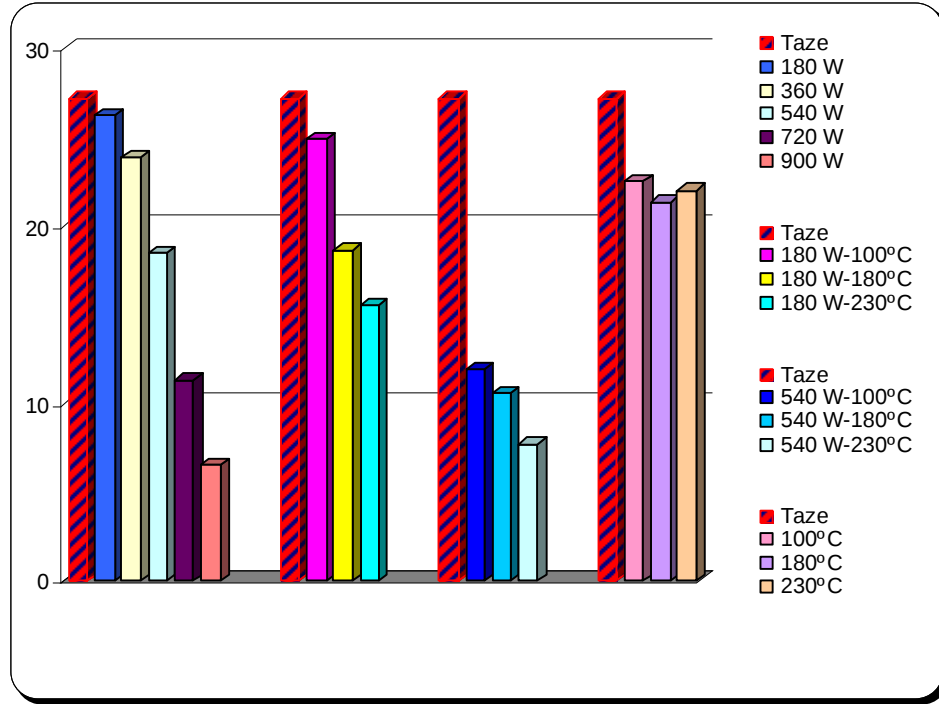
Deney Koşulu	Renk Parametreleri				
	L*	a*	b*	C	α , °
Kontrol	39.01 b	27.14 d	25.85 c	37.50 d	43.58 a
Mikrodalga Güç, (W)					
180 W	45.43 d	26.16 d	27.86 c	38.23 d	46.7775
360 W	45.06 d	23.86 d	27.86 c	36.72 d	49.5739
540 W	41.70 c	18.46 c	25.03 c	31.14 c	53.6349
720 W	34.23 a	11.30 b	15.83 b	19.46 b	54.5784
900 W	32.23 a	6.56 a	12.26 a	13.91 a	61.8375
Mikrodalga+fan, (W+°C)					
Kontrol	39.01 d	27.14 d	25.85 cd	37.50 d	43.58 a
180W-100°C	45.63 ef	24.83 d	29.43 d	38.51 d	49.86 b
180W-180°C	47.13 f	15.53 bc	23.06 c	27.81 c	55.98 cde
180W-230°C	44.76 e	18.60 c	23.90 c	30.28 c	52.23 bc
540W-100°C	36.06 c	11.90 ab	18.63 b	22.11 b	57.44 de
540W-180°C	30.70a	10.53 a	14.33 a	17.84 ab	54.45 bcd
540W-230°C	33.63 b	7.70 a	13.46 a	15.53 a	60.30 e
Fan Kurutma (°C)					
Kontrol	39.01 d	27.14 d	25.85 cd	37.50 d	43.58 a
100°C	46.54 b	22.44 a	26.04 b	34.39 b	49.16 b
180°C	44.68 a	21.30 a	25.52 b	33.75 ab	49.55 b
230°C	40.94 a	21.96 a	19.92 a	29.19 a	42.83 a

Fanlı çalışma koşullarında yapılan değişimleri belirlemek amacıyla yapılan varyans analiz sonuçlarına göre taze ürün ile farklı sıcaklıklarda kurutulan ürünler arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Bu sonuçlara göre, renk parlaklığı (L*)

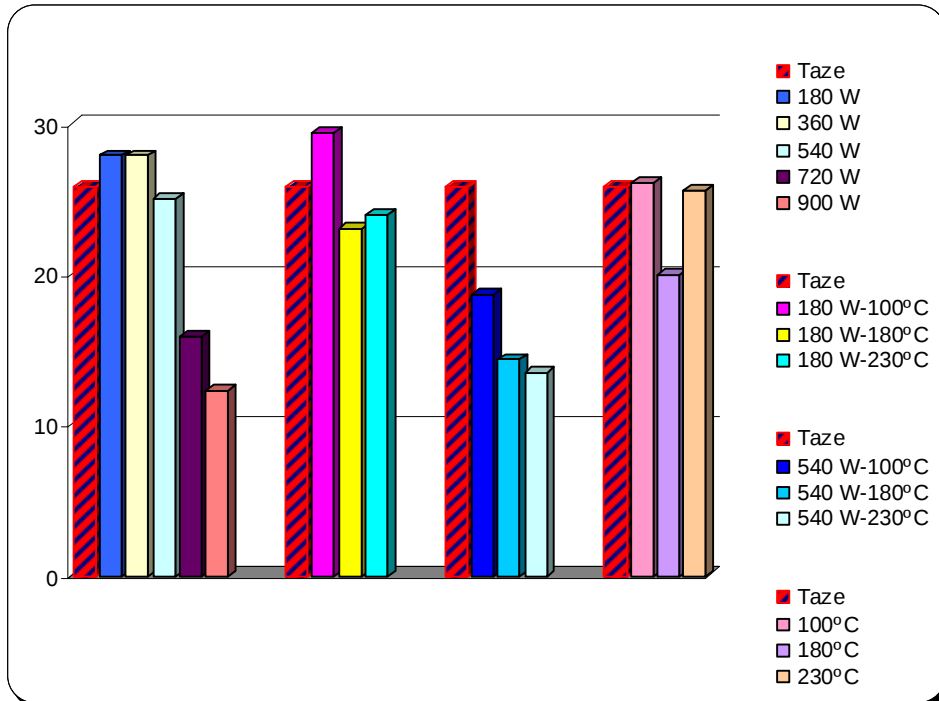
değerlerinde bir artış meydana gelmiştir ($P<0,01$). Kırmızı renk faktörünün (a^*) arttığı gözlenmiştir ($P<0,05$). Sarı renk faktöründe (b^*) ve Chroma değerlerinde bir azalma meydana gelmiştir ($P<0,05$). Buna karşın Hue açısı değerleri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,01$). Kendi içlerinde kıyaslandığında ise renk parlaklığı (L^*), kırmızı renk faktörü (a^*), sarı renk faktörü (b^*), Hue açısı, Chroma değerlerinde meydana gelen değişimler istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur. Özellikle 230°C gibi yüksek sıcaklıkta insan gözüyle görüldüğü şekliyle üründe renk değişimi olarak kahverengileşme meydana gelmektedir.



Şekil 4.22. Farklı deneme koşullarında kurutulan kırmızıbiberin taze ve kurutmadan sonraki parlaklık (L^*) değerleri



Şekil 4.23. Farklı deney koşullarında kurutulan kırmızıbiberin taze ve kurutmadan sonraki kırmızılık (a^*) değerleri



Şekil 4.24. Farklı deney koşullarında kurutulan kırmızıbiberin taze ve kurutmadan sonraki sarılık (b^*) değerleri

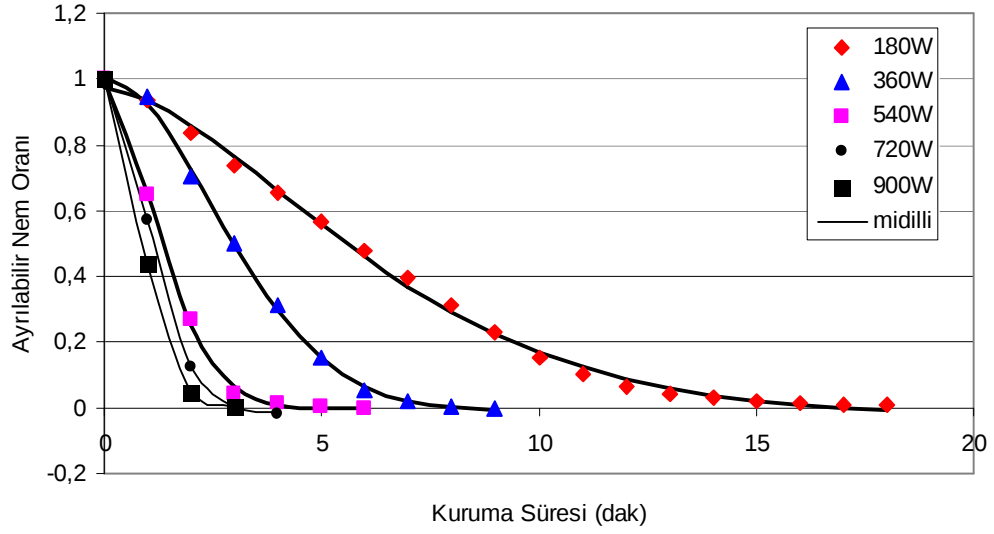
4.3.Çay Kurutma**4.3.1. Çay Kurutma Eğrilerine İlişkin Bulgular****4.3.1.1. Mikrodalga ile Kurutulan Çayın Kuruma Eğrileri**

Çayın kurutulmasında uygulanan kurutma yöntemlerinin kurumaya etkileri incelenmiştir. Üç farklı yöntemle çay kurutulması konusunda çalışılmış ve bu yöntemler birbiri ile karşılaştırılmıştır. Bu yöntemler, mikrodalga kurutma, sıcak havayla kurutma ve bunların kombinasyonu olarak sıralanabilir.

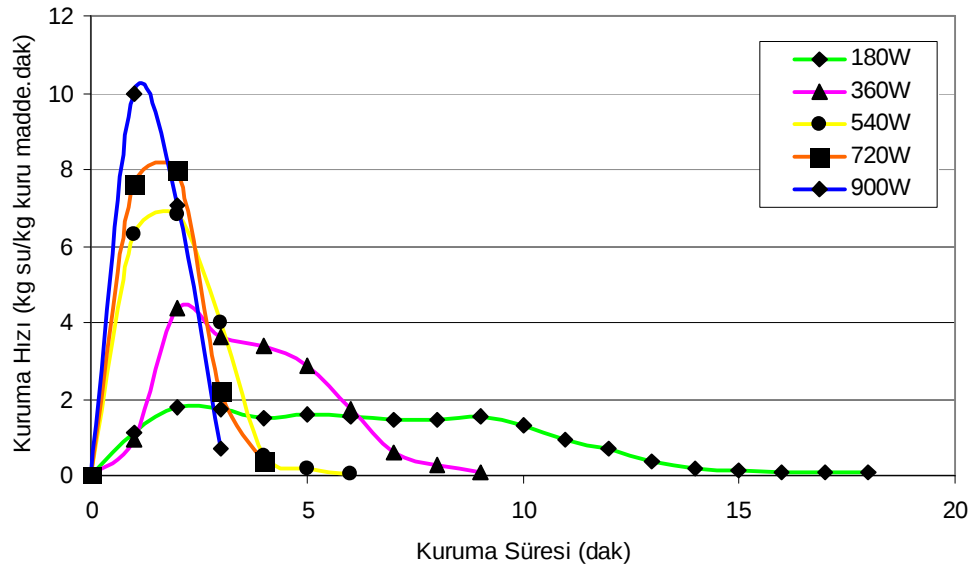
Mikrodalga ile gerçekleştirilen kuruma işlemi, 180 W, 360W, 540W, 720 W ve 900 W mikrodalga güçlerinde sırasıyla 18, 9, 6, 4 ve 3 dakika sürmüştür. Mikrodalga güçlerinin artmasıyla kuruma süreleri kısalmıştır (Şekil 4.25).

Nem oranın 0,5 olana kadarki kuruma süresi çay için 180W, 360W, 540W, 720 W ve 900 W mikrodalga güçlerinde sırasıyla, 5.25, 3, 1.8, 1.75, 1 dakika sürmüştür. Bu sonuçlara göre Toplam Kurutma süresi değerleri, yüzde olarak sırasıyla, %29.16, %33.33, %30, %43.75, %33.33 olarak hesaplanmıştır. Ortalama yüzde değer % 33.91 olarak belirtilmiştir. Bu yüzden, çaydaki nem içeriğinin ikinci yarısını uzaklaştırmak için gerekli olan kuruma süresi, farklı mikrodalga güçlerde, toplam kuruma süresinin yaklaşık % 66.08 olarak belirlenmiştir.

Kuruma hızı zamana bağlı olarak giderek azalan bir eğilim sergilemekte olup, 180 W, 360W, 540W, 720W ve 900 W mikrodalga güçlerinde sırasıyla 1.79; 4.37; 6.83; 7.98; 10 kg su/ dak olarak hesaplanmıştır. Mikrodalga kurutmada güç seviyesinin artmasıyla kuruma hızı artmış kuruma süresi kısalmıştır. Sıcak havayla kurutmada ise ürünlerdeki nem kaybı oranı başlangıçta yüksektir fakat daha düşük nem içeriklerinde su hareketi yavaşlamaktadır (Şekil 4.26). Akpınar ve ark.(2006), yaptıkları çalışmada benzer sonuçları elde etmişlerdir.



Şekil 4.25. Farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan çayın nem içeriğindeki değişim



Şekil 4.26. Farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan çayın kuruma hızındaki değişim

4.3.1.2. Mikrodalga ve Sıcak Hava Kombinasyonu ile Kurutulan Çayın Kuruma Eğrileri

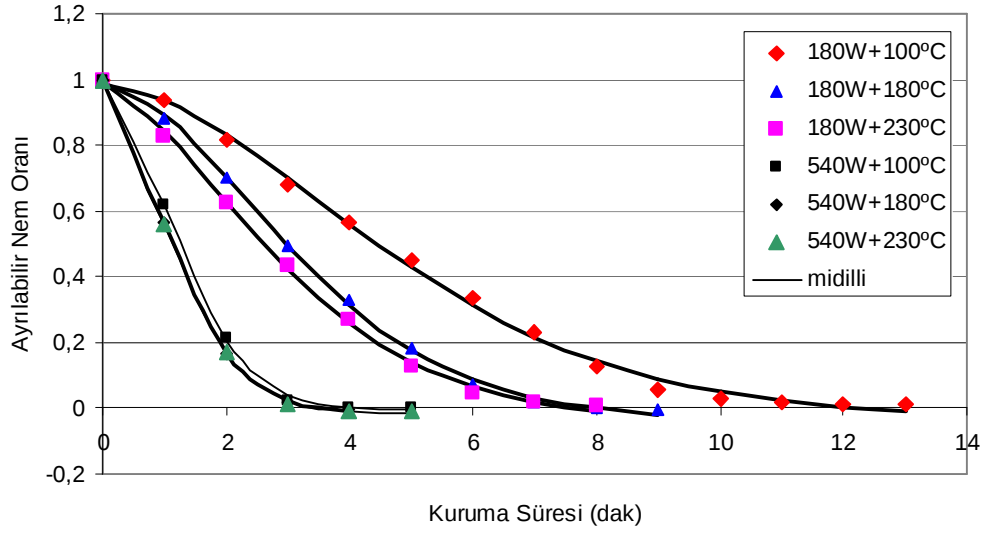
Mikrodalga ve fanlı fırının birlikte çalışması halinde güç seviyesi sabit tutularak (180 W), farklı sıcaklıklarda (100°C, 180°C, 230°C) çalışılmıştır. İkinci güç seviyesi olan 540 W' da çalışırken de yine 100°C, 180°C ve 230°C sıcaklıklarında çalışılmıştır.

Mikrodalga ve sıcak havanın kombinasyonu ile gerçekleştirilen kuruma işlemi, 180W+100°C, 180W+180°C, 180W+230°C ve 540W+100°C, 540W+180°C, 540W+230°C mikrodalga güçlerinde ve sıcaklıklarda sırasıyla 13, 9, 8, 5, 4 ve 3 dakika sürmüştür. Mikrodalga güçlerinin artmasıyla kuruma süreleri kısalmıştır (Şekil 4.27).

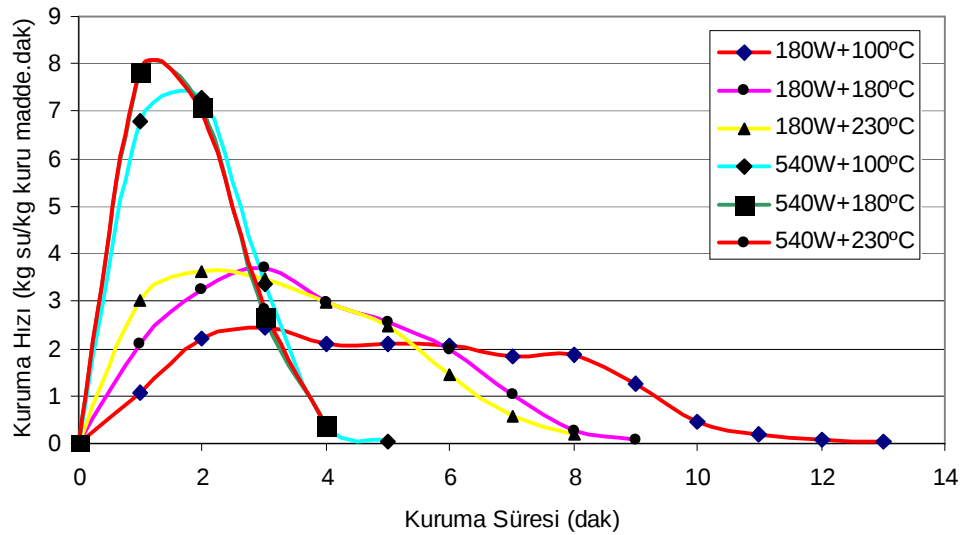
Nem oranının 0,5 olana kadarki kuruma süresi kırmızıbiber için 180 W+100°C, 180W+180°C, 180W+230°C mikrodalga güçlerinde ve sıcaklıklarda sırasıyla, 4, 3, 2.9 dakika sürmüştür. Bu sonuçlara göre toplam kurutma süresi değerleri, yüzde olarak sırasıyla, %30.76, %33.33, %36.25 olarak hesaplanmıştır. Ortalama yüzde değer % 33.44 olarak belirlenmiştir. Bu yüzden çayın nem içeriğinin ikinci yarısını uzaklaştırmak için gerekli olan kuruma süresi farklı mikrodalga güçlerinde toplam kuruma süresinin yaklaşık % 66.55 olduğu belirlenmiştir.

Nem oranının 0,5 olana kadarki kuruma süresi çay için 540W+100°C, 540W+180°C, 540W+230°C mikrodalga güçlerinde ve sıcaklıklarda sırasıyla, 1.5, 1, 1 dakika sürmüştür. Bu sonuçlara göre Toplam Kurutma süresi değerleri, yüzde olarak sırasıyla, %30, %25, %33.33 olarak hesaplanmıştır. Ortalama yüzde değer % 29.44 olarak belirlenmiştir. Bu yüzden çayda nem içeriğinin ikinci yarısını uzaklaştırmak için farklı mikrodalga güçlerinde toplam kuruma süresinin yaklaşık % 70.55 olduğu belirlenmiştir.

Kuruma hızı zamana bağlı olarak giderek azalan bir eğilim sergilemekte olup, 180W+100°C, 180W+180°C, 180W+230°C ve 540W+100°C, 540W+180°C, 540W+230°C mikrodalga güçlerinde ve sıcaklıklarda sırasıyla 2.43; 3.69; 3.62; 7.8; 7.27; 7.86 kg su/ dak olarak hesaplanmıştır. Mikrodalga ve sıcak havayla kurutmada güç seviyesinin artmasıyla kuruma hızı artmıştır (Şekil 4.28).



Şekil 4.27. Farklı mikrodalga güç ve sıcaklık kombinasyonunda kurutulan çayın nem içeriğindeki değişim



Şekil 4.28. Farklı mikrodalga güç ve sıcaklık kombinasyonunda kurutulan çayın kuruma hızındaki değişim

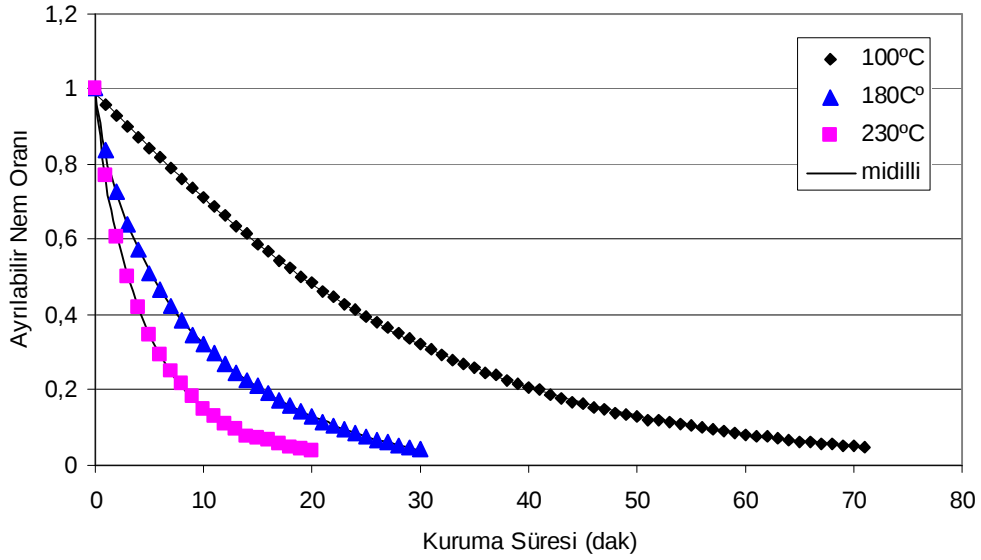
4.3.1.3. Sıcak Hava ile Kurutulan Çayın Kuruma Eğrileri

Sıcak havayla kurutma, 100°C, 180°C ve 230°C sıcaklıklarda sırasıyla 71, 30, 20 dakika sürmüştür. Sıcaklıkların artmasıyla kuruma süreleri kısalmıştır (Şekil 4.29).

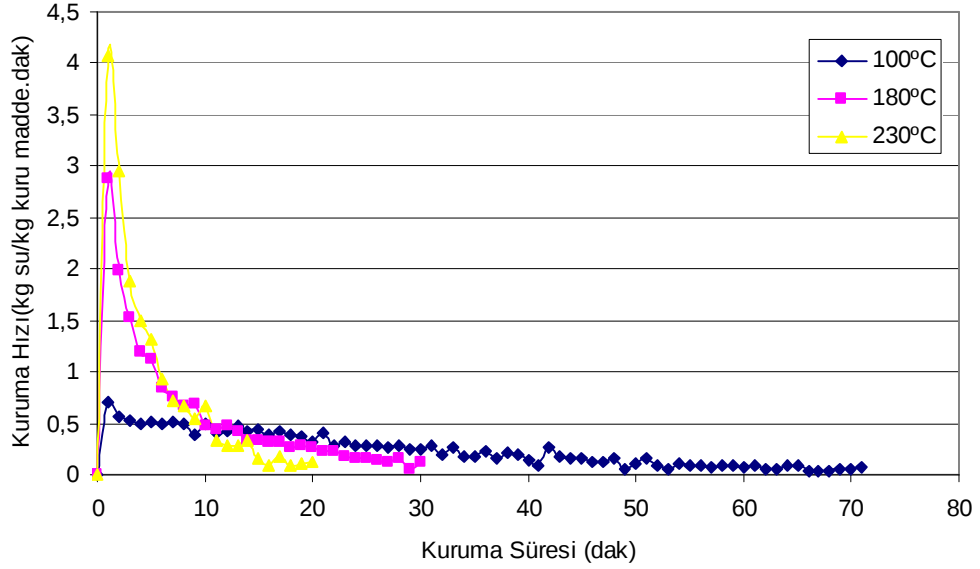
Kurutma hızı zamana bağlı olarak giderek azalan bir eğilim sergilemekte olup, 100°C, 180°C ve 230°C sıcaklıklarda sırasıyla 0.7; 2.89; 4.07 kg su/ dak olarak

hesaplanmıştır. Sıcak havayla kurutmada sıcaklığın artmasıyla kuruma hızı artmıştır (Şekil 4.30).

Nem oranının 0,5 olana kadarki kuruma süresi ıspanak için 100°C, 180°C, 230°C sıcaklıklarda sırasıyla, 19, 5, 3 dakika sürmüştür. Bu sonuçlara göre Toplam kurutma süresi değerleri, yüzde olarak sırasıyla, %26.76, %16.66, %15, olarak hesaplanmıştır. Ortalama yüzde değer % 19.47 olarak belirlenmiştir.. Bu yüzden, ıspanaktaki nem içeriğinin ikinci yarısını uzaklaştırmak için gerekli olan kuruma süresi, farklı sıcaklıklarda toplam kuruma süresinin yaklaşık % 80.52 'si olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.29. Farklı sıcaklıklarda kurutulan çayın nem içeriğindeki değişim



Şekil 4.30. Farklı sıcaklıklarda kurutulan çayın kuruma hızındaki değişim

Çizelge 4.17 'de ise çay bitkisinin yapılan tüm uygulamalarında ölçülen ve değerlendirmeye tabii tutulan değerler verilmiştir.

Çizelge 4.17. Çay Bitkisine Ait Tüm Parametreler

	Toplam Süre (min)	Başlangıç Kütlesi	Son Kütle	Başlangıç Nem İçeriği	Son Nem İçeriği	Enerji Tüketimi (kWh)
180 W	18	25.02	7.25	70,21	1,86	0.099
360W	10	25.04	7.09	70.41	1.04	0.092
540W	6	25.03	7.08	61.95	0.48	0.090
720W	3	25.03	7.19	59.01	1.04	0.056
900W	3	25.00	7.23	52.56	1.59	0.066
180W-100C	13	25.04	7.34	70.26	3.06	0.229
180W-180C	9	25.05	7.05	68.93	0.35	0.191
180W-230C	8	25.03	7.22	67.61	1.45	0.187
540W-100C	4	25.03	7.06	58.63	4.36	0.071
540W-180C	4	25.03	7.19	60.90	0.35	0.144
540W-230C	4	25.02	7.00	58.48	2.93	0.142
100C	71	25.05	7.98	70.72	10.83	0.692
180C	30	25.07	7.99	67.81	9.59	0.549
230C	20	25.02	7.80	66.00	8.78	0.391

4.3.2.Farklı Kurutma Koşullarındaki çayın Kurutma Sabiti Değerleri

Deneyssel verilerden yararlanarak nem içeriği ile kuruma süresi arasında bir ilişki sağlanması amacıyla her çalışma koşulu için 11 tane model eşitlik test edilmiştir.

Kontrol edilebilir parametre koşullarında gerçekleştirilen denemeler sonunda tüm model eşitliklere ilişkin R^2 , RSS ve SEE değerlerine ilişkin sonuçlar Çizelge 4.18–4.21’de verilmiştir. Tüm model eşitliklere ait model katsayıları, R^2 , RSS ve SEE değerleri ayrıntılı olarak Ekler de yer almaktadır.

Çizelge 4.18. Çayın Mikrodalga İle Kurutma İşlemlerine İlişkin Kullanılan Model Eşitliklerin Non Lineer Analiz Sonuçları

180W			360W			540W			720W			900W		
No	R ²	SEE(±)	RSS	R ²	SEE(±)	RSS	R ²	SEE(±)	RSS	R ²	SEE(±)	RSS	R ²	SEE(±)
1	0,9739	0,0803	0,1160	0,9581	0,1133	0,1156	0,9790	0,0723	0,0313	0,9765	0,0888	0,0316	0,9875	0,0708
2	0,9983	0,0212	0,0076	0,9993	0,0155	0,0019	0,9995	0,0118	0,0007	0,9997	0,0106	0,0003	1,0000	0,0036
3	0,9983	0,0212	0,0076	0,9993	0,0155	0,0019	0,9995	0,0118	0,0007	0,9997	0,0106	0,0003	1,0000	0,0036
4	0,9812	0,0701	0,0837	0,9679	0,1053	0,0887	0,9803	0,0766	0,0293	0,9773	0,1008	0,0305	0,9876	0,0860
5	0,9934	0,0429	0,0295	0,9855	0,0757	0,0401	0,9870	0,0696	0,0194	0,9892	0,0853	0,0145	0,9942	0,0833
6	0,9954	0,0347	0,0205	0,9855	0,0706	0,0399	0,9934	0,0445	0,0099	0,9952	0,0464	0,0065	0,9984	0,0307
7	0,9739	0,0852	0,1160	0,9581	0,1285	0,1156	0,9790	0,0885	0,0313	0,9765	0,1256	0,0316	0,9875	0,1225
8	0,9919	0,0475	0,0361	0,9818	0,0848	0,0503	0,9881	0,0666	0,0177	0,9898	0,0827	0,0137	0,9948	0,0792
9	0,9731	0,0839	0,1196	0,9594	0,1265	0,1121	0,9792	0,0882	0,0311	0,9789	0,1192	0,0284	1,0000	0,0010
10	0,9812	0,0723	0,0837	0,9679	0,1126	0,0887	0,9803	0,0856	0,0293	0,9773	0,1234	0,0305	0,9876	0,1216
11	0,9988	0,0190	0,0054	0,9994	0,0169	0,0017	0,9996	0,0149	0,0007	1,0000	0,0024	0,0005	1,0000	inf

SEE, tahminin standart hatası; R^2 , belirtme katsayısı değerleri; RSS, Kalanların kareleri toplamı

Çizelge 4.19. Çay Yapraklarının 180 W Mikrodalga Gücü İle Sıcak Hava Kurutma İşlemlerine İlişkin Kullanılan Model Eşitliklerin Non Lineer Analiz Sonuçları

180W										
100°C			180°C			230°C				
No	R ²	SEE(±)	RSS	R ²	SEE(±)	RSS	R ²	SEE(±)	RSS	
1	0,9677	0,0961	0,1201	0,9680	0,0972	0,0851	0,9782	0,0803	0,0516	
2	0,9986	0,0208	0,0052	0,9991	0,0170	0,023	0,9990	0,0187	0,0025	
3	0,9986	0,0208	0,0052	0,9991	0,0170	0,023	0,9990	0,0187	0,0025	
4	0,9764	0,0856	0,0878	0,9746	0,0920	0,0678	0,9820	0,0780	0,0426	
5	0,9919	0,0523	0,0301	0,9917	0,0561	0,0220	0,9951	0,0441	0,0117	
6	0,9921	0,0494	0,0293	0,9931	0,0481	0,0185	0,9969	0,0322	0,0073	
7	0,9677	0,1045	0,1201	0,9680	0,1103	0,0851	0,9782	0,0927	0,0516	
8	0,9896	0,0592	0,0385	0,9902	0,0610	0,0261	0,9946	0,0462	0,0128	
9	0,9670	0,1012	0,1229	0,9700	0,1068	0,0798	0,9779	0,0864	0,0522	
10	0,9764	0,0894	0,0878	0,9746	0,0984	0,0678	0,9820	0,0843	0,0426	
11	0,9989	0,0201	0,0040	0,9996	0,0130	0,0010	0,9995	0,0160	0,0013	
SEE, tahminin standart hatası; R ² , belirtme katsayısı değerleri; RSS, Kalanların kareleri toplamı										

Çizelge 4.20. Çay Yapraklarının 540 W Mikrodalga Gücü İle Sıcak Hava Kurutma İşlemlerine İlişkin Kullanılan Model Eşitliklerin Non Lineer Analiz Sonuçları

540W										
100°C			180°C			230°C				
No	R ²	SEE(±)	RSS	R ²	SEE(±)	RSS	R ²	SEE(±)	RSS	
1	0,9794	0,0767	0,0294	0,9842	0,0729	0,0212	0,9832	0,0671	0,0225	
2	0,9999	0,0074	0,0002	0,9998	0,0082	0,0003	0,9996	0,0116	0,0005	
3	0,9999	0,0074	0,0002	0,9998	0,0082	0,0003	0,9996	0,0116	0,0005	
4	0,9805	0,0835	0,0279	0,9849	0,0825	0,0204	0,9839	0,0735	0,0216	
5	0,9936	0,0654	0,0086	0,9883	0,0747	0,0167	0,9903	0,0622	0,0116	
6	0,9958	0,0387	0,0060	0,9982	0,0287	0,0025	0,9965	0,0343	0,0047	
7	0,9794	0,0990	0,0294	0,9842	0,1030	0,0212	0,9832	0,0866	0,0225	
8	0,9892	0,0718	0,0155	0,9941	0,0629	0,0079	0,9926	0,0578	0,0100	
9	0,9794	0,0858	0,0294	0,9995	0,0178	0,0006	0,9858	0,0975	0,0190	
10	0,9805	0,0964	0,0279	0,9849	0,1010	0,0204	0,9839	0,0849	0,0216	
11	0,9998	0,0112	0,0003	1,0000	0,0074	0,0005	0,9999	0,0098	0,0002	

SEE, tahminin standart hatası; R², belirtme katsayısı değerleri; RSS, Kalanların kareleri toplamı

Çizelge 4.21..Çay Yapraklarının Sıcak Hava İle Kurutma İşlemlerine İlişkin Kullanılan Model Eşitliklerin Non Lineer Analiz Sonuçları

No	100°C			180°C			230°C		
	R ²	SEE(±)	RSS	R ²	SEE(±)	RSS	R ²	SEE(±)	RSS
1	0,9985	0,0173	0,0213	0,9930	0,1041	0,1084	0,9885	0,0573	0,0262
2	0,9999	0,0046	0,0015	0,9995	0,0350	0,0110	0,9997	0,0095	0,0006
3	0,9999	0,0046	0,0015	0,9995	0,0334	0,0089	0,9990	0,0195	0,0023
4	0,9990	0,0138	0,0134	0,9968	0,0953	0,0817	0,9911	0,0539	0,0203
5	0,9998	0,0070	0,0034	0,9977	0,0337	0,0091	0,0974	0,0317	0,0060
6	0,9987	0,0159	0,0177	0,9690	0,0359	0,0116	0,9986	0,0212	0,0031
7	0,9985	0,0381	0,0213	0,9930	0,1164	0,1084	0,9883	0,0667	0,0267
8	0,9998	0,0065	0,0029	0,9999	0,0384	0,0118	0,9970	0,0339	0,0069
9	0,9984	0,0179	0,0225	0,9996	0,1104	0,1097	0,9884	0,0616	0,0265
10	0,9990	0,0139	0,0134	0,9968	0,1010	0,00817	0,9911	0,0582	0,0203
11	1,0000	0,0029	0,0006	0,9999	0,0267	0,0050	0,9998	0,0100	0,0005

SEE, tahminin standart hatası; R², belirtme katsayısı değerleri; RSS, Kalanların kareleri toplamı

Elde edilen sonuçlara göre belirtme katsayısı (R^2) en yüksek bulunan **Midilli** modelinde nem içeriğinin zamana göre değişimi,

$$MR=a.exp(-k(t^m))+b.t$$

eşitliği ile saptanmıştır.

Modeller, model katsayıları ve hesaplanan değerlerle deneysel veriler arasındaki belirtme katsayıları incelendiğinde en yüksek belirtme katsayısı Midilli modelinde sağlanmış olup **0,9988–1,0000** düzeyindedir. Bu modelin denemenin gerçekleştiği koşullarda tahmin için pratikte kullanılabileceğini göstermektedir.

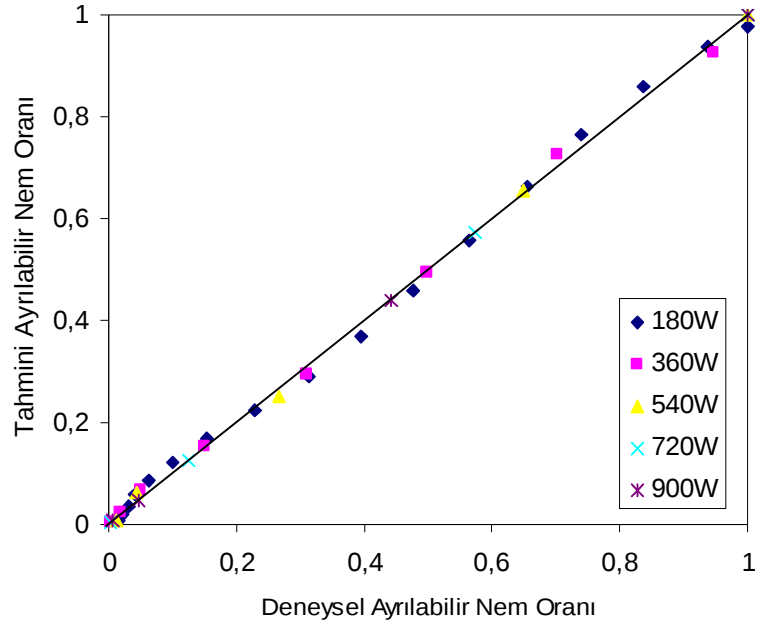
Kontrol edilebilir parametre koşullarında gerçekleştirilen denemeler sonunda tüm model eşitliklere ilişkin R^2 , RSS ve SEE değerlerine ilişkin sonuçlar Çizelge 4.18–4.21’de verilmiştir.

Her sıcaklık için 3 tekerrürlü ölçülen zamana bağlı ağırlık değişimlerine göre hesaplanan ayrılabilir nem oranları (ANO) değerleri kullanılarak, her bir tekerrür için çizelgede verilen kurutma modellerinin katsayıları ve R^2 değerleri belirlenmiştir. Belirlenen katsayılar incelendikten sonra, her bir tekerrür için yüksek belirtme değerine sahip Midilli modeli çayın kuruma modelinin geliştirilmesi için kullanılmıştır. Ayrılabilir nem oranının tahmin edilmesinde kullanılabilecek Midilli ve Küçük modelinde yer alan a,k,m,b katsayılarına kurutma havası sıcaklığı etkisi çoklu regresyon yöntemi ile incelenmiş ve incelenen kuruma modelinin katsayılarını sıcaklığa bağlı olarak en yüksek R^2 değeri ile tahminleyen en çok 3 terimli modeller oluşturulmuştur (Çizelge 4.22).

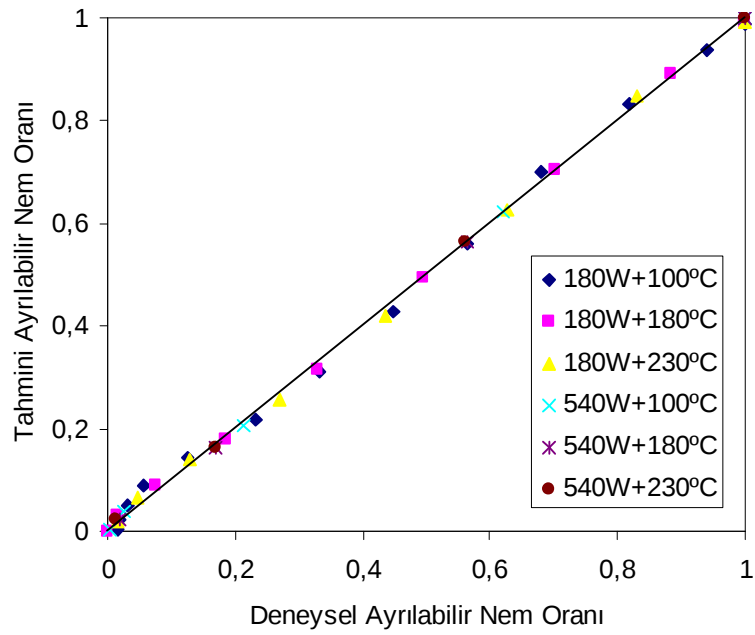
Çizelge 4.22. Mikrodalga - Sıcak Hava Kombinasyonu ve Sıcak Hava ile Kurutulan Çay İçin Tavsiye Edilen Midilli ve Küçük Kurutma Modelindeki Katsayıların Sıcaklığa Bağlı Olarak Değişimini İfade Eden Eşitlikler ve Katsayıları

Model		y_0	c	c_1	R^2
$MR=a.exp(-k.tm)+b.t$					
180W	$a=y_0+ct+c_1t^2$	0,9632	0,0003	$-7,8590.10^{-7}$	1,0000
	$k=y_0+ct+c_1t^2$	0,0229	$3,2506.10^{-5}$	$2,3288.10^{-6}$	0,9998
	$m=y_0+ct+c_1t^2$	1,3427	0,0064	$-2,4006.10^{-5}$	1,0000
	$b=y_0+ct+c_1t^2$	-0,0012	$-5,7885.10^{-6}$	$-3,1410.10^{-8}$	0,9957
540W	$a=y_0+ct+c_1t^2$	0,9972	$3,0006.10^{-5}$	$-8,7820.10^{-8}$	1,0000
	$k=y_0+ct+c_1t^2$	0,2034	0,0036	$-8,6667.10^{-6}$	1,0000
	$m=y_0+ct+c_1t^2$	0,2640	0,0215	$-7,6941.10^{-5}$	0,9999
	$b=y_0+ct+c_1t^2$	0,0054	$-8,7705.10^{-5}$	$2,2692.10^{-7}$	0,9659
100°C	$a=y_0+ct+c_1t^2$	0,9972	$3,0006.10^{-5}$	$-8,7820.10^{-8}$	1,0000
	$k=y_0+ct+c_1t^2$	0,2034	0,0036	$-8,6667.10^{-6}$	1,0000
	$m=y_0+ct+c_1t^2$	0,2640	0,0215	$-7,6941.10^{-5}$	0,9999
	$b=y_0+ct+c_1t^2$	0,0054	$-8,7705.10^{-5}$	$2,2692.10^{-7}$	0,9659

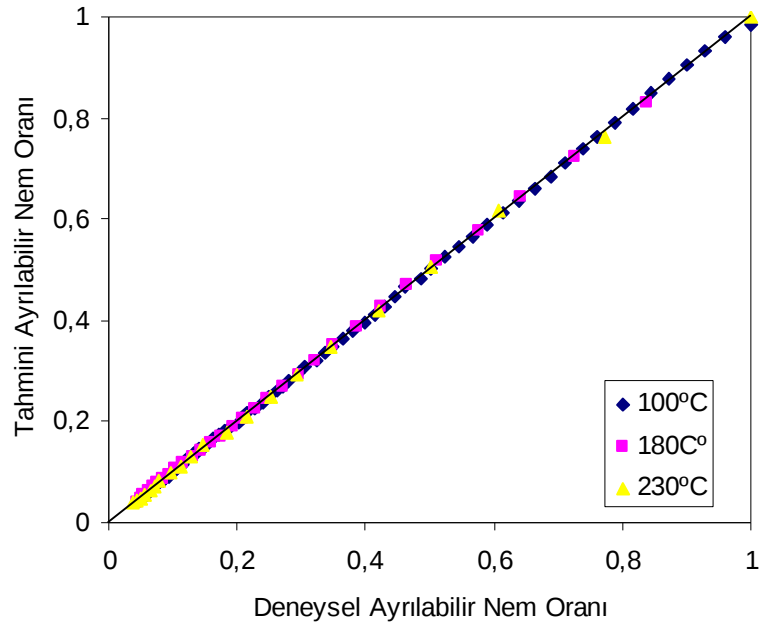
Midilli modelinin kullanılması ile elde edilen tahmini ve denemeler sonucunda bulunan deneysel ayrılabilir nem oranı değerlerinin zamana göre değişimleri çay için Şekil 4.25, 4.27, 4.29’da verilmiştir. Görüldüğü gibi deneysel ve tahmini değerler birbirine oldukça yakındır. Ayrıca çay için farklı koşullarda elde edilen deneysel ve tahmini ayrılabilir nem oranı değerleri Şekil 4.31–4.33’de gösterilmiş ve bu noktaların eğrinin üzerinde veya eğrinin çok yakınında bulunduğu saptanmıştır. Bu da modelin bir uyum içerisinde deneysel verileri açıklayabildiğinin bir göstergesidir.



Şekil 4.31. Mikrodalga ile kurutulan çay için deneysel ve geliştirilen model yardımıyla tahmin edilen ayrılabilir nem oranı değerlerinin değişim



Şekil 4.32. Mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ile kurutulan çay için deneysel ve geliştirilen model yardımıyla tahmin edilen ayrılabilir nem oranı değerlerinin değişimi



Şekil 4.33. Sıcak hava ile kurutulan çay için deneysel ve geliştirilen model yardımıyla tahmin edilen ayrılabilir nem oranı değerlerinin değişimi

4.3.3.Çay Renk Değişimine İlişkin Bulgular

Çizelge 4.23' ve Çizelge 4.24'deki veriler kullanılarak elde edilen Şekil 4.34'de görüldüğü gibi taze çay değerleriyle kıyaslandığında tüm mikrodalga güçlerinde kurutulmuş çayın parlaklık değerlerinde (L^*) bir azalma söz konusudur (Şekil 4.34). Kontrol grubuna en yakın değer, 180 W mikrodalga gücüyle yapılan mikrodalga uygulamasına aittir (Çizelge 4.23).

Mikrodalgayla çalışma koşullarında a^* değerlerinde taze ürüne kıyasla bir artış meydana gelmiştir (Şekil 4.35). Kontrol grubuna en yakın olan değer 360W mikrodalga gücüyle gerçekleştirilen mikrodalga uygulamasına aittir.

Kurutulan ürünlerde sarılık (b^*) değeri mikrodalgayla çalışma koşullarında taze ürünle karşılaştırıldığında arttığı gözlenmiştir ($P < 0,01$). Kontrol grubuna en yakın örnek 540W mikrodalga gücüyle gerçekleştirilen mikrodalga uygulamasında alınan örnektir (Şekil 4.36).

Mikrodalga ile çalışma koşullarında ürün renk parametrelerine ilişkin Hue (α) renk tonu değerlerinde meydana gelen değişimler önemli bulunmuştur ($P < 0,01$).

Kontrol grubuna en yakın değerler 180W mikrodalga uygulamasına ait değerler olmuştur.

Chroma değerlerinde ise güç seviyesi artıkça kurutulan ürünlerdeki chroma değerlerinde bir azalma meydana gelmiştir ($P<0,01$). Chroma değeri taze ürüne en yakın olan ürün 360W mikrodalga uygulamasına ait üründür (Çizelge 4.23).

180W sabit mikrodalga gücüyle gerçekleştirilen Mikrodalga fanlı kombinasyon çalışmasında çayın parlaklık değerleri taze çay yaprağının değerlerine göre azalış göstermekle birlikte kontrol grubuna en yakın olan değer 180W–180°C kombinasyon uygulamasına aittir.

540W sabit mikrodalga gücüyle gerçekleştirilen Mikrodalga fanlı kombinasyon çalışmasında çayın parlaklık değerleri taze çay yapraklarının değerlerine göre azalma göstermekle birlikte kontrol grubuna en yakın olan değer 540W–100°C kombinasyon uygulamasına aittir.

180W ve 540 W sabit mikrodalga güçleriyle gerçekleştirilen mikrodalga fanlı kombinasyon çalışmasında kurutulan ürünlerde ürün kırmızı renk yoğunluğu değerleri belirgin bir şekilde artmıştır ($P>0,01$). Kırmızı renk değeri taze ürüne en yakın olan ürün 180W–100°C ile 540W–100°C kombinasyon uygulamalarına ait üründür (Çizelge 4.23).

Çizelge 4.23. Çayın Çeşitli Deney Koşullarında Kurutulduktan Sonraki Renk Değerleri

Deney Koşulu		Renk Parametreleri				
		L*	a*	b*	C	$\alpha, ^\circ$
Taze		46.1500 (4.4320)	-149833 (0.8808)	23.7333 (1.4021)	28.0833 (1.6283)	57.6367 (0.2558)
Mikrodalga Güç, (W)						
		43.6000 (2.9513)	-8.1333 (0.6351)	25.8667 (1.2662)	27.1233 (1.1900)	-72.5233 (1.6500)
180 W		43.5000 (1.1790)	-10.7667 (2.1079)	25.5667 (1.8475)	27.7600 (2.5038)	-67.3067 (2.5713)
360 W		41.3000 (0.1732)	-9.3667 (0.7234)	24.2333 (0.6506)	25.9833 (0.8568)	-68.8867 (1.0187)
540 W		33.4333 (2.0551)	-4.4000 (0.5292)	18.6333 (5.774.10 ⁻²)	19.1500 (0.1493)	-76.7200 (1.5331)
720 W		36.0667 (1.6289)	-5.5000 (1.6523)	23.4333 (0.5859)	24.1133 (0.2601)	-76.7667 (4.1087)
900 W						
Mikrodalga+fan, (W+°C)						
		36.4667 (1.4503)	-10.0333 (1.2503)	21.4667 (0.9815)	23.7067 (1.2678)	-64.9967 (2.3507)
180W-100°C		38.4667 (0.2887)	-9.9667 (0.6506)	23.7667 (0.5686)	25.7767 (0.6451)	-67.2533 (1.2777)
180W-180°C		35.3000 (2.5239)	-8.4667 (1.1015)	22.6667 (1.4640)	24.2167 (1.3916)	-69.4933 (2.8534)
180W-230°C		41.9333 (1.1590)	-10.9667 (1.2662)	24.1000 (0.8718)	26.4867 (1.3243)	-65.5867 (1.6799)
540W-100°C		36.4333 (0.4041)	-10.000 (0.4359)	21.5667 (0.3055)	23.7767 (0.1069)	-65.1200 (1.2569)
540W-180°C		36.4000 (0.3606)	-9.1667 (1.1719)	22.2000 (0.5000)	24.0367 (0.6012)	-67.5867 (2.6601)
540W-230°C						
Fan Kurutma (°C)						
		33.0000 (4.6508)	-2.2667 (0.5774)	17.4333 (1.7010)	17.5900 (1.6579)	-82.5033 (2.2649)
100°C		34.9333 (1.2662)	-5.6000 (0.4359)	21.2000 (1.2288)	21.9300 (1.2248)	-75.1833 (1.1698)
180°C		36.2000 (1.2166)	-5.2000 (0.4583)	21.1000 (0.5000)	21.7367 (0.4277)	-76.1433 (1.3823)
230°C						

Çizelge 4.24. Tüm Deney Koşullarında Kurutulan Çaya Ait Renk Parametrelerinin Duncan Testi Analizi

Deney Koşulu	Renk Parametreleri				
	L*	a*	b*	C	$\alpha, ^\circ$
Mikrodalga Güç, (W)					
Kontrol	46.15 c	-14.98 a	23.73 bc	28.08 c	-57.63 c
180 W	43.60 bc	-8.13 c	25.86 c	27.12 c	-72.52 b
360 W	43.50 bc	-10.76 b	25.56 bc	27.76 c	-67.30 c
540 W	41.30 b	-9.36 bc	24.23 bc	25.98 bc	-68.88 bc
720 W	33.43 a	-4.40 d	18.63 a	19.15 a	-76.72 a
900 W	36.06 a	-5.50 d	23.43 b	24.11 b	-76.76 a
Mikrodalga+fan (W+°C)					
Kontrol	46.15 c	-14.98 a	23.73 bc	28.08 c	-57.63 c
180W-100°C	36.46 a	-10.03 bc	21.46 a	23.70 a	-64.99 b
180W-180°C	38.46 ab	-9.96 bc	23.76 bc	25.77 ab	-67.25 ab
180W-230°C	35.30 a	-8.46 c	22.66 abc	24.21 a	-69.49 a
540W-100°C	41.93 b	-10.96 b	24.10 c	26.48 bc	-65.58 b
540W-180°C	36.43 a	-10.00 bc	21.56 a	23.77 a	-65.12 b
540W-230°C	36.40 a	-9.16 bc	22.20 ab	24.03 a	-67.58 ab
Fan Kurutma (°C)					
Kontrol	46.15 b	-14.98 a	23.73 c	28.08 c	-57.63 c
100°C	33.00 a	-2.26 c	17.43 a	17.59 a	-82.50 a
180°C	34.93 a	-5.60 b	21.20 b	21.93 b	-75.18 b
230°C	36.20 a	-5.20 b	21.10 b	21.73 b	-76.14 b

Yapılan kombinasyon çalışmasında ise ürünün sarılık değerlerinde artış ya da azalmalar meydana gelmiş yani ürünün sarılık değeri önemli ölçüde değişmiştir ($P<0,01$).

Kombinasyon çalışma koşulunda Hue açısı değerleri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,01$). Kontrol grubuyla karşılaştırıldığında önemli oranda azalış göstermekle birlikte bu gruba en yakın ürün değerleri 180 W–100°C ve 540W–180°C’dir.

Kombinasyon çalışma koşulunda Chroma değerleri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,01$). Kontrol grubuyla karşılaştırıldığında önemli oranda azalma göstermekle birlikte bu gruba en yakın ürün değerleri 180 W–180°C ve 540W–100°C ‘dir.

Fanlı kurutma koşullarında L^* renk parlaklığı değerlerinde taze ürünle karşılaştırıldığında bir azalma söz konusudur.

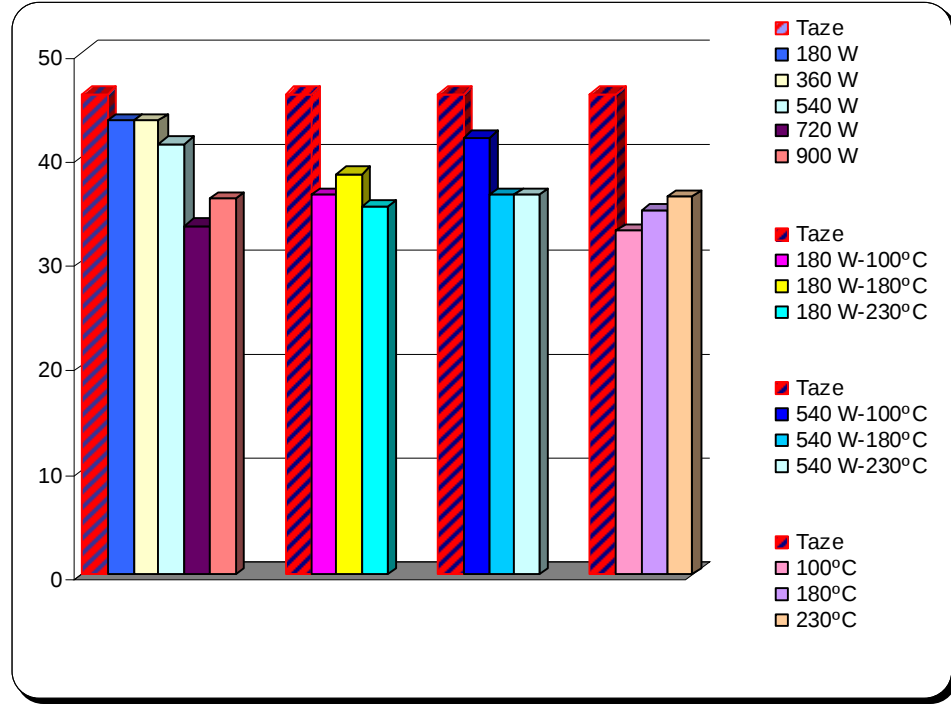
Tüm çalışma koşullarında renk parlaklığı değerleri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,01$).

Yapılan fanlı kurutma koşullarında a^* değerlerinde önemli oranda artış söz konusudur. Kontrol grubuna en yakın örnek 180°C sıcaklıkla gerçekleştirilen fanlı kurutma uygulamasında alınan örnektir.

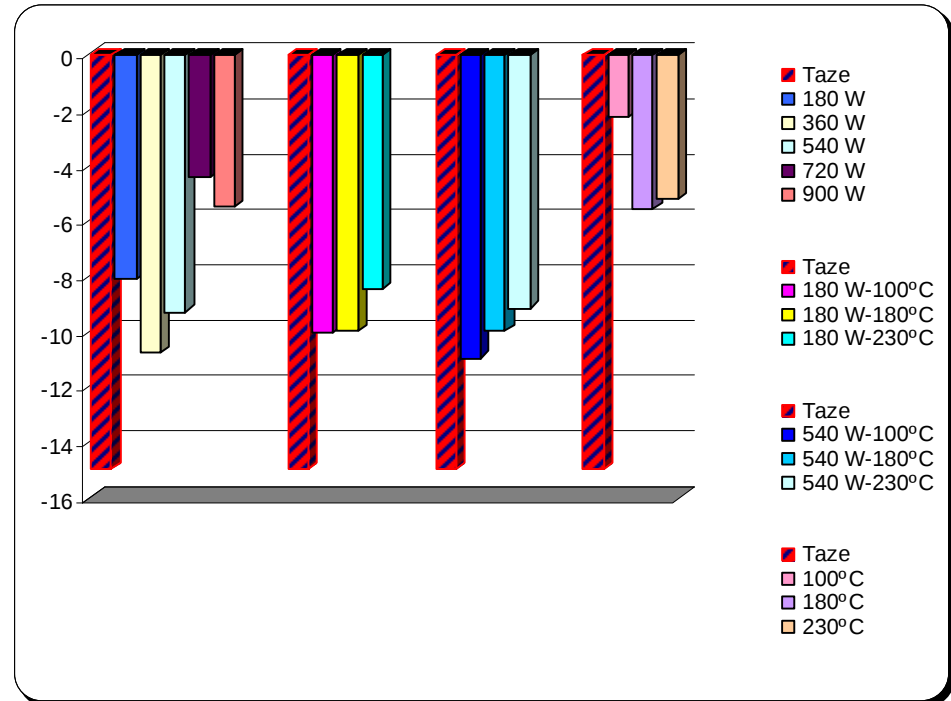
Yapılan fanlı kurutma koşullarında b^* değerlerinde önemli oranda artış söz konusudur. Kontrol grubuna en yakın örnek 180°C sıcaklıkla gerçekleştirilen fanlı kurutma uygulamasında alınan örnektir.

Yapılan fanlı kurutma koşullarında Hue açısı değerlerinde önemli oranda bir azalma söz konusudur. Kontrol grubuna en yakın örnek 180°C sıcaklıkla gerçekleştirilen fanlı kurutma uygulamasında alınan örnektir.

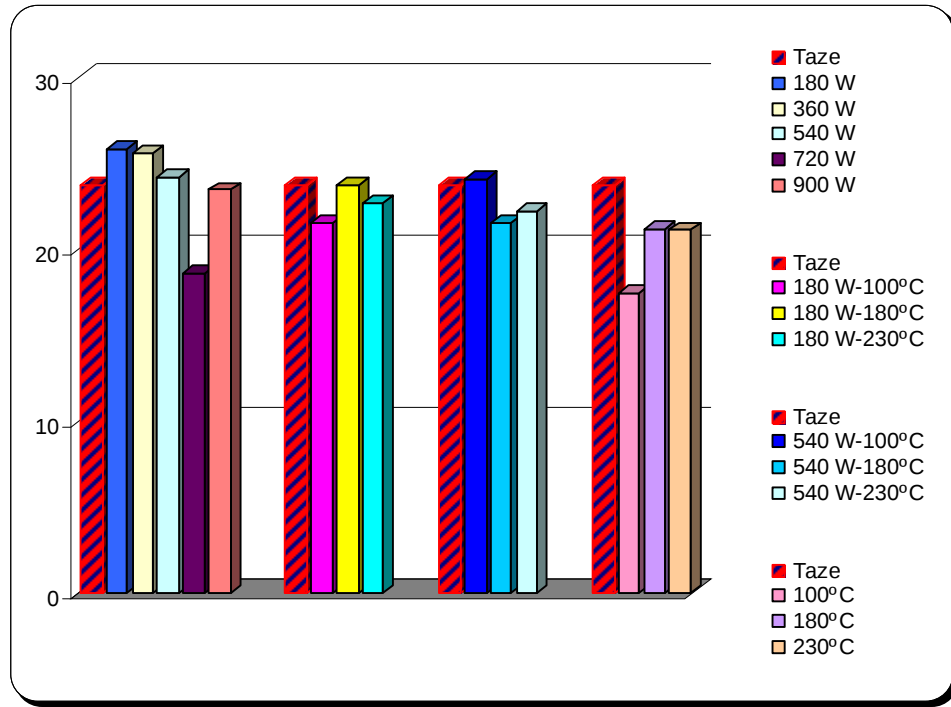
Yapılan fanlı kurutma koşullarında Chroma değerlerinde önemli oranda azalış söz konusudur. Kontrol grubuna en yakın örnek 180°C sıcaklıkla gerçekleştirilen fanlı kurutma uygulamasında alınan örnektir. Özellikle yüksek sıcaklıklarda insan gözüyle görüldüğü şekliyle üründe renk değişimi olarak kahverengileşme meydana gelmektedir.



Şekil 4.34. Farklı deneme koşullarında kurutulan çayın taze ve kurutmadan sonraki parlaklık (L^*) değerleri



Şekil 4.35. Farklı deney koşullarında kurutulan çayın taze ve kurutmadan sonraki yeşillik (a^*) değerleri



Şekil 4.36. Farklı deney koşullarında kurutulan çayın taze ve kurutmadan sonraki sarılık (b^*) değerleri

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, kurutulmuş ıspanak, kırmızıbiber ve çay bitkilerinin mikrodalga, mikrodalga- fan kombinasyon ve fanlı kurutma sırasında kuruma karakteristiklerinin bazı kalite kriterleri üzerindeki etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda belirtilen şekilde sıralanabilir.

Ø Bu çalışmada uygulanan deney koşullarında kurutulan Ispanak bitkisinin, her 3 çalışma koşulunda da kuruma kinetiğini en iyi tahminleyen model “Midilli ve Küçük” kuruma modelidir. Midilli ve Küçük kuruma modelindeki katsayıların mikrodalga güç ve kurutma sıcaklığına bağlı olarak ifade edildiği eşitlikler ve katsayılar Eklerde verilmiştir.

Ø Kurutulan ıspanak bitkisi renk açısından incelendiğinde Mikrodalga ve mikrodalga fan kombinasyonu ile çalışma koşullarındaki renk faktörlerindeki değişimler ürünün yeşilliğini koruduğunu ortaya çıkarmaktadır. Buna karşın 100°C, 180°C ve 230°C de yapılan fanlı kurutma çalışmalarında özellikle de yüksek sıcaklıklarda insan gözüyle görüldüğü şekliyle üründe renk değişimi olarak kahverengileşme meydana gelmektedir.

Ø Ayrılabilir nem oranının tahmin edilmesinde kullanılabilecek Midilli ve Küçük modelinde yer alan a, k, m, b katsayılarına kurutma havası sıcaklığı etkisi çoklu regresyon yöntemi ile incelenmiş ve incelenen kuruma modelinin katsayılarını sıcaklığa bağlı olarak en yüksek R^2 değeri ile tahminleyen en çok 3 terimli modeller oluşturulmuştur (Çizelge 5.1). Bu modelleri oluştururken deneysel veriler lineer, logaritmik, eksponansiyel ve üssel regresyon modelleri ile değerlendirilmiş ve en yüksek regresyon katsayısı eksponansiyel regresyon modeli ile elde edilmiştir.

Çizelge 5.1. Mikrodalga -Sıcak Hava Kombinasyonu ve Sıcak Hava İle Kurutulan Ispanaklar İçin Tavsiye Edilen Midilli ve Küçük Kurutma Modelindeki Katsayıların Sıcaklığa Bağlı Olarak Değişimini İfade Eden Eşitlikler ve Katsayıları

Model		y_0	c	c_1	R^2
$MR=a.exp(-k.tm)+b.t$					
180W	$y=y_0+ct$	1,0057	$-2,9806 \times 10^{-5}$	-	1,0000
	$k=y_0+ct+c_1t^2$	0,0347	0,0005	$-1,9569 \times 10^{-6}$	0,9701
	$m=y_0+ct$	1,3621	0,0008	-	0,9992
	$b=y_0+ct+c_1t^2$	-0,0024	-0,0002	$7,0256 \times 10^{-7}$	0,9686
540W	$a=y_0+ct+c_1t^2$	1,0028	$-6,6949 \cdot 10^{-5}$	$1,9744 \cdot 10^{-7}$	1,0000
	$k=y_0+ct$	0,2872	0,0003	-	0,9960
	$m=y_0+ct+c_1t^2$	1,048	0,0077	$-2,2198 \cdot 10^{-5}$	0,9981
	$b=y_0+ct+c_1t^2$	-0,0217	0,0001	$-4,1410 \cdot 10^{-7}$	0,9680
180°C	$a=y_0+ct+c_1t^2$	0,9848	0,0002	$-4,0833 \cdot 10^{-7}$	1,0000
	$k=y_0+ct+c_1t^2$	-0,3936	0,0055	$-1,3972 \cdot 10^{-5}$	0,9886
	$m=y_0+ct+c_1t^2$	1,9225	-0,0099	$2,5947 \cdot 10^{-5}$	0,9991
	$b=y_0+ct+c_1t^2$	-0,0045	$5,8019 \cdot 10^{-5}$	$-1,9679 \cdot 10^{-7}$	0,7058

Ø Bu çalışmada mikrodalga, mikrodalga-fanlı kombinasyon ve fanlı kurutma deney koşullarında kurutulan kırmızıbiber bitkisinin, her 3 çalışma koşulunda da kuruma kinetiğini en iyi tahminleyen model “Midilli ve Küçük” kuruma modelidir. Midilli ve Küçük kuruma modelindeki katsayıların mikrodalga güç ve kurutma sıcaklığına bağlı olarak ifade edildiği eşitlikler ve katsayılar Eklerde verilmiştir.

Ø Kurutulan kırmızıbiber bitkisi renk açısından incelendiğinde mikrodalga ve özellikle 540W sabit güçle mikrodalga fan kombinasyonu ile çalışma koşullarında ve fanlı çalışma koşullarında renk faktörlerindeki değişim olarak kahverengileşme meydana gelmektedir. Buna karşın 180W mikrodalga güçle çalışma koşulunda kırmızıbiber taze değere en yakın sonuçları vermiş ve kırmızılığını korumuştur.

Ø Kırmızıbiberle yapılan çalışmada, ayrılabilir nem oranının tahmin edilmesinde kullanılabilecek Midilli ve Küçük modelinde yer alan a, k, m, b katsayılarına kurutma havası sıcaklığı etkisi çoklu regresyon yöntemi ile incelenmiş ve incelenen kuruma modelinin katsayılarını sıcaklığa bağlı olarak en yüksek R^2 değeri ile tahminleyen en çok 3 terimli modeller oluşturulmuştur (Çizelge 5.2). Bu

modelleri oluştururken deneysel veriler lineer, logaritmik, eksponansiyel ve üssel regresyon modelleri ile değerlendirilmiş ve en yüksek regresyon katsayısı eksponansiyel regresyon modeli ile elde edilmiştir.

Çizelge 5.2. Mikrodalga - Sıcak Hava Kombinasyonu ve Sıcak Hava ile Kurutulan Kırmızıbiber İçin Tavsiye Edilen Midilli ve Küçük Kurutma Modelindeki Katsayıların Sıcaklığa Bağlı Olarak Değişimini İfade Eden Eşitlikler Ve Katsayıları

Model		y_0	c	c_1	R^2
$MR=a.exp(-k.tm)+b.t$					
180W	$a=y_0+ct+c_1t^2$	-0,2751	0,0126	$-3,0515.10^{-5}$	0,9176
	$k=y_0+ct+c_1t^2$	0,168	0,0002	$-8,530.10^{-7}$	0,9918
	$m=y_0+ct+c_1t^2$	0,9102	0,006	$-1,5758.10^{-5}$	0,9979
	$b=y_0+ct+c_1t^2$	0,0099	$-7,0308.10^{-5}$	$2,1538.10^{-7}$	0,9447
540W	$a=y_0+ct+c_1t^2$	0,9999	$2,7499.10^{-6}$	$-8,3331.10^{-9}$	1,0000
	$k=y_0+ct+c_1t^2$	1,36	-0,0065	$1,5939.10^{-5}$	0,9962
	$m=y_0+ct+c_1t^2$	0,9203	0,0039	$-7,0197.10^{-6}$	0,9983
	$b=y_0+ct+c_1t^2$	0,0321	-0,0003	$1,0449.10^{-6}$	0,9823
100°C	$a=y_0+ct+c_1t^2$	1,0152	-0,0002	$6,4231.10^{-5}$	1,0000
	$k=y_0+ct+c_1t^2$	0,0838	-0,0011	$3,5641.10^{-6}$	0,9853
	$m=y_0+ct+c_1t^2$	0,8481	0,0266	$7,3791.10^{-5}$	0,9994
	$b=y_0+ct+c_1t^2$	0,0161	-0,0002	$7,4637.10^{-7}$	0,9834

Ø Mikrodalga, mikrodalga-fanlı kombinasyon ve fanlı kurutma deney koşullarında kurutulan çay bitkisinin, her 3 çalışma koşulunda da kuruma kinetiğini en iyi tahminleyen model “Midilli ve Küçük” kuruma modelidir. Midilli ve Küçük kuruma modelindeki katsayıların mikrodalga güç ve kurutma sıcaklığına bağlı olarak ifade edildiği eşitlikler ve katsayılar Eklerde verilmiştir.

Ø Kurutulan çay bitkisi renk açısından incelendiğinde Mikrodalga çalışma koşullarında mikrodalga gücü arttıkça yeşillik değerlerinin (a^*) arttığı belirlenmiştir. Bununla birlikte sarılık değerleri (b^*) de artmıştır. Renk faktörlerindeki bu değişimler ürünün yeşilliğini koruduğunu ortaya çıkarmaktadır. Kombinasyon çalışmasında da düşük mikrodalga gücü ile düşük sıcaklık değerlerinde yapılan kombinasyon çalışmalarında ürün renk değerleri tazeye yakın değerler olarak belirlenmiştir. Yüksek mikrodalga güç ve sıcaklık kombinasyon çalışmalarında ürün

yeşilliğini kaybetmekte ve kahverengileşmeye doğru gitmektedir. Buna karşın 100°C, 180°C ve 230°C de yapılan fanlı kurutma çalışmalarında yeşillik değerleri (a*) önemli ölçüde artış göstermiş olup, sarılık değerleri de (b*) azalmıştır. Özellikle de yüksek sıcaklıklarda insan gözüyle görüldüğü şekliyle üründe renk değişimi olarak kahverengileşme meydana gelmektedir.

Ø Çayla yapılan çalışmada, ayrılabilir nem oranının tahmin edilmesinde kullanılabilecek Midilli ve Küçük modelinde yer alan a, k, m, b katsayılarına kurutma havası sıcaklığı etkisi çoklu regresyon yöntemi ile incelenmiş ve incelenen kuruma modelinin katsayılarını sıcaklığa bağlı olarak en yüksek R^2 değeri ile tahminleyen en çok 3 terimli modeller oluşturulmuştur (Çizelge 5.3). Bu modelleri oluştururken deneysel veriler lineer, logaritmik, eksponansiyel ve üssel regresyon modelleri ile değerlendirilmiş ve en yüksek regresyon katsayısı eksponansiyel regresyon modeli ile elde edilmiştir.

Çizelge 5.3. Mikrodalga - Sıcak Hava Kombinasyonu ve Sıcak Hava ile Kurutulan Çay İçin Tavsiye Edilen Midilli ve Küçük Kurutma Modelindeki Katsayıların Sıcaklığa Bağlı Olarak Değişimini İfade Eden Eşitlikler ve Katsayıları

Model $MR=a.exp(-k.tm)+b.t$		y_0	c	c_1	R^2
180W	$a=y_0+ct+c_1t^2$	0,9632	0,0003	$-7,8590.10^{-7}$	1,0000
	$k=y_0+ct+c_1t^2$	0,0229	$3,2506.10^{-5}$	$2,3288.10^{-6}$	0,9998
	$m=y_0+ct+c_1t^2$	1,3427	0,0064	$-2,4006.10^{-5}$	1,0000
	$b=y_0+ct+c_1t^2$	-0,0012	$-5,7885.10^{-6}$	$-3,1410.10^{-8}$	0,9957
540W	$a=y_0+ct+c_1t^2$	0,9972	$3,0006.10^{-5}$	$-8,7820.10^{-8}$	1,0000
	$k=y_0+ct+c_1t^2$	0,2034	0,0036	$-8,6667.10^{-6}$	1,0000
	$m=y_0+ct+c_1t^2$	0,2640	0,0215	$-7,6941.10^{-5}$	0,9999
	$b=y_0+ct+c_1t^2$	0,0054	$-8,7705.10^{-5}$	$2,2692.10^{-7}$	0,9659
100°C	$a=y_0+ct+c_1t^2$	0,9972	$3,0006.10^{-5}$	$-8,7820.10^{-8}$	1,0000
	$k=y_0+ct+c_1t^2$	0,2034	0,0036	$-8,6667.10^{-6}$	1,0000
	$m=y_0+ct+c_1t^2$	0,2640	0,0215	$-7,6941.10^{-5}$	0,9999
	$b=y_0+ct+c_1t^2$	0,0054	$-8,7705.10^{-5}$	$2,2692.10^{-7}$	0,9659

Araştırma sonuçlarına bağlı olarak laboratuvar ölçeğinde sebze ve endüstri bitkilerinin kurutulmasına ilişkin aşağıdaki öneriler yapılabilir.

Çeşitli sebze ve endüstri bitkilerinin kurutulmasına uygun mikrodalga enerjiyle farklı ürünlerin kurutulması ve uygulanan yöntemden elde edilen ekonomik faydanın maksimum düzeye çıkarılması olanaklıdır.

Çalışmada kurutulan sebze ve endüstri bitkilerine ilişkin ekonomik göstergeler dikkate alındığında çay bitkisinin mikrodalga ile kurutulmasının diğer bitkilerin kurutulmasına oranla daha yüksek bir ekonomik getiriye sahip olduğu görülmektedir.

Laboratuvar ölçekli mikrodalga ile kurutulan ürünlerden elde edilen verilere göre, yöntemin uygulanabilirliğini sanayi ölçeğinde de göstermek mümkündür.

Çalışmada kullanılan model eşitlikler, gelecekte yapılacak olan kurutma çalışmalarında güvenle kullanılacak niteliktedir.

KAYNAKLAR

- AKBAY, C., BOZ, İ., ve CANDEMİR, S., 2005. Kahramanmaraş ve Gaziantep İllerinde Kırmızıbiber Üreten Tarım İşletmelerinin Yapısı ve Sorunları. GAP IV. Tarım Kongresi, 21–23 Eylül 2005, Şanlıurfa: 438–443.
- AKPINAR, E.K., BIÇER, Y., and ÇETINKAYA, F., 2006. Modeling of Thin Layer Drying of Parsley Leaves İn A Convective Dryer and Under Open Sun. *Journal of Food Engineering*, 75: 308-315.
- ALİBAŞ ÖZKAN, İ., AKBUDAK, B., and AKBUDAK, N., 2007. Microwave Drying Characteristics of Spinach. *Journal of Food Engineering*, (78):577-583.
- ALİBAŞ, İ., 2007. Energy Consumption and Colour Characteristics of Nettle Leaves During Microwave, Vacuum and Convective Drying. *Biosystems Engineering*, 96(4): 495-502.
- ALTAN, A., 1997. Özel Gıdalar Teknolojisi. Ç.Ü. Ziraat Fak. Yayınları, No:55,Adana.
- ANONYMOUS 1989. Microwave Food Processing. *Food Technology*, 43 (1): 117-126.
- ANONYMOUS 2002. <http://www.tea.birdemet.net/>
- ANONYMOUS 2002. <http://www.çaykur.gov.tr/>
- AYENSU, A., 1997. Dehydration of Food Crops Using A Solar Dryer With Convective Heat Flow. *Solar Energy*, 59 (4-6): 121-126.
- BABALIS,S.J.,PAPANICOLAOU,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*, (75): 205-214.
- CAMPANA, L.E., SEMPE, M.E., and FİLGUERÍA, R.R., 1993. Physical, Chemical and Baking Properties of Wheat Dried With Microwave Energy. *Cereal-Chemistry*, 70(6): 760–762.
- DEMET, M., 2002. Türk Çaycılığının Hikâyesi, <http://www.tea.birdemet.net/>
- DİAMANTE,L.M., MUNRO,P.A.,1993. Mathematical Modelling of The Thin Layer Solar Drying of Sweet Potato Slices, *Solar Energy*,(51): 271-276.

- DOĞANTAN, S.Z., TUNÇER,İ.K., and BAŞÇETİNÇELİK,A., 1987. Use Of Solar Energy For Red Pepper, Third Technical Meeting of the FAO-CNRE on Solar Drying. 9-11 September 1987, Stuttgart F.R. of Germany.
- DOĞANTAN,S.Z., TUNÇER,İ.K., 1989. Kahramanmaraş kırmızıbiberinin kurutulmasında önemli olan karakteristik parametrelerin deneysel saptanması. DOĞA T.Ü Tar. Ve Or. D. C:13 s:1.
- DOYMAZ, İ., 2004. Drying Kinetics of White Mulberry. Journal of Food Engineering,(61): 341-346.
- DOYMAZ, İ., 2005. Drying Characteristics and Kinetics of Okra. Journal of Food Engineering, (69): 275-279.
- DOYMAZ, İ., 2006. Thin-Layer Drying Behavior of Mint Leaves. Journal of Food Engineering,(74):370-375.
- DOYMAZ, İ., TUĞRUL, N., and PALA, M., 2006. Drying Characteristics of Dill and Parsley Leaves. Journal of Food Engineering,(77): 559-565.
- DUMAN, A.D., ZORLUGENÇ,B., ve EVLİYA, B., 2002. Kahramanmaraş'ta Kırmızıbiberin Önemi ve Sorunları, KSÜ Fen ve Müh. Dergisi,(5): 111-117.
- EREN,Ö., SOYSAL,Y., ÖZTEKİN,S., DOĞANTAN,Z.S., 2005. Mikrodalga Sistemi ile Donatılmış Bir Bantlı Kurututucuda Maydanoz Kurutulması. III. Tarımsal Ürünleri Kurutma Tekniği Çalıştayı, 2-4 Mayıs 2005, Antalya.
- FAO., 2005. FAOSTAT Agricultural Database web Page.
- FUNEBO, T., OHLSSON, T., 1998. Microwave-Assisted Air Dehydration of Apple and Mushroom. Journal of Food Engineering, (38): 353-367.
- GÖĞÜS, F., MASKAN, M., 2001. Drying of Olive Pomace By A Combined Microwave-Fan Assisted Convection Oven. Nahrung/Food: 129-132.
- GUPTA, P., AHMED, J., SHIVHARE U.S., and RAGHAVAN, G.S.V., 2002. Drying Characteristics of Red Chilli,. Drying Technology, (20):1975–1987.
- KAÇAR,B.,1992. Yapraktan Bardağa Çay, T.C. Ziraat Kültür Yay. No:23.
- KEMAHLIOĞLU,K., BAYSAL,T., 2002. Hububat Ürünlerinin İşlenmesinde Mikrodalga Uygulamaları.Online:<http://www.usd.org.tr/bildiri/Bildiri/S1.pdf>.
- KİRANOUDİS,C.T., MAROULİS,Z.B., and MARİNOS-KOURİS,D.,1992. Drying Kinetics of Onion And Gren Pepper. Drying Technology, (104):995-1011.

- LAHSASNİ,S., KOUHİLA,M., MAHROUZ, M., and JAOUHARİ,J.T., 2004. Drying Kinetics of Prickly Pear Fruit (*Opuntia Ficus İndica*). *Journal of Food Engineering*,61(2):173-179.
- MADAMBA, P.S., DRİSCOLL, R.H., AND BUCKLE, K.A., 1996. Enthalpy–Entropy Compensation Models For Sorption and Browning of Garlic. *Journal of Food Engineering*, (28): 109–119
- MASKAN, M., 2000. Microwave /Air and Microwave Finish Drying of Banana. *Journal of Food Engineering*, (44): 71-78.
- MASKAN, M., 2001. Kinetics of Colour of Kiwifruits During Hot Air and Microwave Drying. *Journal of Food Engineering* (48):169-175.
- MASKAN, M., 2001. Drying, Shrinkage and Dehydration Characteristics of Kiwifruits During Hot Air and Microwave Drying. *Journal of Food Engineering*, (48): 177-182.
- ÖZBEK,B., DADALI,G., 2007. Thin Layer Drying Characteristics and Modeling of Mint Leaves Undergoing Microwave Treatment. *Journal of Food Engineering*, 83(4):541-549.
- ÖZKAN ALİBAŞ, İ., IŞIK, E., 2001. Domatesin Mikrodalga Işınlarla Kurutulmasındaki Kurutma Parametreleri. *Tarımsal Mekanizasyon 20. Ulusal Kongresi* ,13-15 Eylül 2001, Şanlıurfa:418-422.
- ÖZTEKİN, S., SOYSAL, Y., 2002. Denge Nemi Ölçüm ve Hesaplama Yöntemleri. *Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği Çalıştayı*, 21-22 Mart 2002, İzmir.
- ÖZTEKİN,S., IŞIKBER,A.A., DAYISOYLU,K.S., DUMAN,A.D., SOYSAL,Y.,2006. Present Status of Turkish Red Chili Pepper. *Deutsch-Türkische Agrarforschung*, 8.Symposium vom 04. Oktober-08. Oktober 2005 an der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft(FAL) in Braunschweig, Cuvillier Verlag-Göttingen. s :201-207.
- PANCHARIYA, P.C., POPOVIC,D., and SHARMA, A.L., 2002. Thin-Layer Modeling of Black Tea Drying Process. *Journal of Food Engineering*, (52): 349-357.

- RAGHAVAN,G.S.V., ALVO,P., SHIVHARE,U.S., 1993. Microwave Drying of Cereal Grain: Advantages and Limitations. *Postharvest News and Information*, 4(3):79-83.
- RAGHAVAN,G.S.V., SILVEIRA, A.M., 2001. Shrinkage Characteristics of Strawberries Osmotically Dehydration In Combination With Microwave Drying. *Drying Technology*, 19(2):405-414.
- REN, G., CHEN, F., 1998. Drying of American Ginseng (*Panax Quinquefolium*) Roots By Microwave-Hot Air Combination. *Journal of Food Engineering*, (35):433-443.
- REYES,A., CERON,S., ZUNIGA,R., and MOYANO,P., 2007. A Comparative Study of Microwave Assisted Air Drying of Potato Slices. *Biosystem Engineering* (98):310-318.
- SACILIK K., ELICIN A, K., 2006. The Thin Layer Drying Characteristics of Organic Apple Slices. *Journal of Food Engineering*, (73): 281-289.
- SHARAF-ELDEN Y.I., BLAISDELL J.L., and HAMDY M.Y., 1980. A Model For Ear Corn Drying. *Transactions of The ASAE*, (5): 1261-1265.
- SHARMA, G.P., PRASAD S., 2006. Optimization of Process Parameters For Microwave Drying of Garlic Cloves. *Journal of Food Engineering*, 75,(4): 441-446.
- SHIVHARE, U.S., RAGHAVAN, G.S.V., BOSIÑO, R., and GIROUX, M., 1993. Microwave Drying of Soybean At 2.45 Ghz. *Journal of Microwave Power And Electromagnetic Energy*, 28 (1):11-17.
- SILVA, F.A., MARSAIOLI Jr.A., MAXIMO,G.J., SILVA, M.A.A.P., and GONÇALVES,L.A.G., 2006. Microwave Assisted Drying of Macadamia Nuts. *Journal of Food Engineering*, (77): 550-558.
- SIMAL,S., FEMENIA, A., GARAU, M.C., and ROSELLÓ, C., 2005. Use Of Exponential, Page's And Diffusional Models To Simulate The Drying Kinetics of Kiwi Fruit, *Journal of Food Engineering* (66): 323–328.
- SOYSAL,Ç., SÖYLEMEZ,Z., 2005. Kinetics And Inactivation of Carrot Peroxides By Heat Treatment. *Journal of Food Engineering*,(68): 349-356.

- SOYSAL,Y., 2000. İşletme Ölçeğinde Çeşitli Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Kurutulmasına Yönelik Bir Araştırma.Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi (Yayınlanmamış),123 S,Adana.
- SOYSAL, Y., 2004. Microwave Drying Characteristics of Parsley. Biosystems Engineering, (89): 167-173.
- TOĞRUL, İ.T., PEHLIVAN, D., 2003. Modeling of Drying Kinetics of Single Apricot. Journal of Food Engineering, (58): 23-32.
- TUNÇER,İ.K., 1973. Türkiye’deki Çay İmalat Tesislerinde Çay Yapraklarının İşlenmesini Mekanize Edene Bazı Yeni Uygulamalar ve Mevcut İşleme makinelerini geliştirme Olanakları Üzerinde Bir Araştırma, Erzurum
- TUNÇER, İ.K., 1976. Türkiye’deki Çay Fabrikalarında Çay İşleme Makinelerini Geliştirme ve Çay Kurutmayı İyileştirme Olanakları Üzerinde Bir Araştırma, 105 S. Çaykur Yayınları, Çağdaş Basımevi-Ankara.
- TUNÇER, İ.K., 1990. Characterization And Drying of Vegetables By Hot Air And Microwave Energy. In Proceedings of The 4th International Congress On Mechanization And Energy In Agriculture, Adana, Turkey (In Turkish).1-4 October 1990,ss:472-480.
- TUNÇER,İ.K., 2005. Yüksek Frekans (RF) Teknolojisiyle Çay Kurutma. Tarımsal Mekanizasyon 23. Ulusal Kongresi,6-8 Eylül 2006, Çanakkale.
- TUNÇER,İ.K., 2006. Mikrowellen Bandrockner für die Trocknung von Gewürzpaprika. Deutsch-Türkische Agrarforschung, 8.Symposium vom 04. Oktober-08. Oktober 2005 an der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft(FAL) in Braunschweig, Cuvillier Verlag-Göttingen.:209-214.
- ULCAY, Y .,AKYOL, M., ve GEMCİ, R., 2002. Polimer Esaslı Lif Takviyeli Kompozit Malzemelerin Arabirim Mukavemeti Üzerine Farklı Kür Metotlarının Etkisinin İncelenmesi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Cilt 7, Sayı 1. ss:93–116.
- VARİTH, J., DİJKANARUKKUL, P., ACHARİYAVİRİYA, A., and ACHARİYAVİRİYA, S., 2007. Combined Microwave-Hot Air Drying of Peeled Longan. Journal of Food Engineering, 81(2): 459-468.

- VERMA, L.R., BUCKLIN, R.A., ENDAN J.B., WRATTEN, F.T., 1985. Effects of Drying Air Parameters On Rice Drying Models. Transactions of The ASAE, (28): 296-301.
- WANG, C.Y., SINGH, R.P., 1978. A Single Layer Drying Equation For Rough Rice. ASAE Paper No:78-3001, ASAE, St.Joseph,MI.
- WANG,J., XI,Y.S., 2005. Drying Characteristics And Drying Quality of Carrot Using A Two- Stage Microwave Process. Journal of Food Engineering, (68): 505-511.
- WANG,Z., SUN,J., CHEN,F., LIAO,X., HU,X.,2007. Mathematical Modeling On Thin Layer Microwave Drying of Apple Pomace With And Without Hot Air Pre-Drying. Journal of Food Engineering, 80(2):536-544.
- WINSTON,M., 1974. Microwaves And Pasta Drying. Macaroni Journal,(9): 22-23.
- WHITE, G.M., BRIDGES, T.C., LOEWER, O.J., and ROSS, I.J., 1981. Thin Layer Drying Model For Soybeans. Transactions of The ASAE, (24): 1643.
- YAĞCIOĞLU, A., 1999. Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ofset Atölyesi, Yayın No:536,İzmir.
- YALDIZ, O., ERTEKIN, C., and UZUN, H.I., 2001. Mathematical Modelling of Thin Layer Solar Drying of Sultana Grapes. Energy, (26): 457-465.

ÖZGEÇMİŞ

25.07.1972 tarihinde Zonguldak ili Ereğli ilçesinde doğdum. İlk, orta ve lise öğrenimimi Ereğli’de tamamladım. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümünden 1997 yılında mezun oldum. 1997–1998 Eğitim Öğretim yılında Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladım. 1997–1998 yılında 1 yıl süre ile Ç.Ü. Yabancı Diller Merkezinde İngilizce hazırlık eğitimi aldım. *Yerli Yapım Vibratörlü Selektörlerin İş Yapabilirliğinin Saptanması Üzerine Bir Araştırma* konusundaki yüksek lisans tezimi Haziran 2000 tarihinde tamamladım ve aynı yıl Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalında doktora öğrenimine başladım. 2002 yılı Kasım ayında Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Araştırma Görevlisi kadrosuna atandım. Halen Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü’nde araştırma görevlisi olarak çalışmaktayım. Evliyim ve bir erkek çocuğu annesiyim.

EKLER

EK-1

Çizelge 1. Ispanak örneklerinin mikrodalga, mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ve sıcak havayla çalışma koşullarında **Newton** modeline ilişkin model katsayıları (a, k ve c), kalanların kareleri toplamı (RSS), tahminin standart hatası (SEE) ve belirtme katsayısı (R^2) Değerleri

Kontrollü değişken parametreleri	Sabiteler	R^2	SEE ($\pm$)	RSS
<i>MW</i>				
180W	k=0,1719	0,9732	0,0981	0,1058
360W	k=0,3682	0,9835	0,0830	0,0344
540W	k=0,5469	0,9857	0,0758	0,0230
720W	k=0,7034	0,9864	0,0798	0,0191
900W	k=0,8954	0,9853	0,0785	0,0185
<i>MW+Fan</i>				
180W-100°C	k=0,1904	0,9790	0,0906	0,0738
180W-180°C	k=0,2016	0,9776	0,0919	0,0760
180W-230°C	k=0,1812	0,9732	0,1005	0,1009
540W-100°C	k=0,5282	0,9832	0,0833	0,0278
540W-180°C	k=0,5887	0,9809	0,0992	0,0295
540W-230°C	k=0,5655	0,9830	0,0945	0,0268
<i>Fan</i>				
100°C	k=0,1624	0,9935	0,0423	0,0251
180°C	k=0,6910	0,9999	0,0046	0,0001
230°C	k=0,7085	0,9990	0,0162	0,0013

Çizelge 2. Ispanak örneklerinin mikrodalga, mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ve sıcak havayla çalışma koşullarında **Page** modeline ilişkin model katsayıları (a, k ve c), kalanların kareleri toplamı (RSS), tahminin standart hatası (SEE) ve belirtme katsayısı (R^2) Değerleri

Kontrollü değişken parametreleri	Sabiteler		R^2	SEE ($\pm$)	RSS
<i>MW</i>					
180W	k=0,0449	n=1,7522	0,9987	0,0224	0,0050
360W	k=0,1981	n=1,6021	0,9995	0,0166	0,0011
540W	k=0,3662	n=1,5629	0,9993	0,0199	0,0012
720W	k=0,5136	n=1,6447	0,9999	0,0072	0,0001
900W	k=0,6891	n=1,8113	1,0000	0,0014	$3,9048 \cdot 10^{-6}$
<i>MW+Fan</i>					
180W-100°C	k=0,0627	n=1,6799	0,9987	0,0240	0,0046
180W-180°C	k=0,0655	n=1,7017	0,9993	0,0174	0,0024
180W-230°C	k=0,0476	n=1,7805	0,9987	0,0231	0,0048
540W-100°C	k=0,3331	n=1,6293	0,9993	0,0193	0,0011
540W-180°C	k=0,3769	n=1,7537	0,9990	0,0284	0,0016
540W-230°C	k=0,3663	n=1,7140	0,9991	0,0264	0,0014
<i>Fan</i>					
100°C	k=0,0965	n=1,2732	0,9996	0,0109	0,0015
180°C	k=0,6841	n=1,0159	0,9999	0,0045	$8,1330 \cdot 10^{-5}$
230°C	k=0,6700	n=1,0908	0,9996	0,0121	0,0006

Çizelge 3. Ispanak örneklerinin mikrodalga, mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ve sıcak havayla çalışma koşullarında **Geliştirilmiş Page** modeline ilişkin model katsayıları (a, k ve c), kalanların kareleri toplamı (RSS), tahminin standart hatası (SEE) ve belirtme katsayısı (R^2) Değerleri

Kontrollü değişken parametreleri	Sabiteler		R^2	SEE ($\pm$)	RSS
<i>MW</i>					
180W	k=0,1702	n=1,7522	0,9987	0,0224	0,0050
360W	k=0,3640	n=1,6022	0,9995	0,0166	0,0011
540W	k=0,5258	n=1,5629	0,9993	0,0199	0,0012
720W	k=0,6669	n=1,6447	0,9999	0,0072	0,0001
900W	k=0,8142	n=1,8113	1,0000	0,0014	$3,9048.10^{-6}$
<i>MW+Fan</i>					
180W-100°C	k=0,1924	n=1,6800	0,9987	0,0240	0,0046
180W-180°C	k=0,2016	n=1,7017	0,9993	0,0174	0,0024
180W-230°C	k=0,1809	n=1,7805	0,9987	0,0231	0,0048
540W-100°C	k=0,5093	n=1,6294	0,9993	0,0193	0,0011
540W-180°C	k=0,5733	n=1,7538	0,9990	0,0284	0,0016
540W-230°C	k=0,5566	n=1,7140	0,9991	0,0264	0,0014
<i>Fan</i>					
100°C	k=0,1594	n=1,2732	0,9996	0,0109	0,0015
180°C	k=0,6882	n=1,0159	0,9999	0,0045	$8,1330.10^{-5}$
230°C	k=0,6927	n=1,0908	0,9996	0,0121	0,0006

Çizelge 4. Ispanak örneklerinin mikrodalga, mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ve sıcak havayla çalışma koşullarında **Henderson ve Pabis** modeline ilişkin model katsayıları (a, k ve c), kalanların kareleri toplamı (RSS), tahminin standart hatası (SEE) ve belirtme katsayısı (R^2) Değerleri

Kontrollü değişken parametreleri	Sabiteler	R^2	SEE ($\pm$)	RSS
<i>MW</i>				
180W	k= 0,1931 a=1,1201	0,9802	0,0884	0,0781
360W	k= 0,3911 a=1,0625	0,9859	0,0858	0,0294
540W	k= 0,5666 a=1,403	0,9869	0,0839	0,0211
720W	k= 0,7194 a=1,0280	0,9870	0,0955	0,0182
900W	k= 0,9089 a=1,0203	0,9857	0,0950	0,0180
<i>MW+Fan</i>				
180W-100 ⁰ C	k=0,2112 a=1,1001	0,9841	0,0837	0,0561
180W-180 ⁰ C	k= 0,2236 a=1,1043	0,9832	0,0846	0,0572
180W-230 ⁰ C	k= 0,2034 a=1,1169	0,9799	0,0918	0,0758
540W-100 ⁰ C	k=0,5496 a=1,0456	0,9847	0,0920	0,0254
540W-180 ⁰ C	k=0,6094 a=1,0391	0,9820	0,1180	0,0278
540W-230 ⁰ C	k= 0,5859 a=1,0384	0,9840	0,1121	0,0251
<i>Fan</i>				
100 ⁰ C	k=0,1724 a=1,0597	0,9953	0,0371	0,0179
180 ⁰ C	k= 0,6915 a=1,0009	0,9999	0,0051	0,0001
230 ⁰ C	k= 0,7116 a=1,005	0,9990	0,0179	0,0013

Çizelge 5. Ispanak örneklerinin mikrodalga, mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ve sıcak havayla çalışma koşullarında **logaritmik** modeline ilişkin model katsayıları (a, k ve c), kalanların kareleri toplamı (RSS), tahminin standart hatası (SEE) ve belirtme katsayısı (R^2) Değerleri

Kontrollü değişken parametreleri	Sabiteler	R^2	SEE ($\pm$)	RSS
<i>MW</i>				
180W	a= 2,5194 k=0,0501 c=-1,4754	0,9978	0,0309	0,0086
360W	a= 2,0855 k=0,1285 c=-1,0657	0,9984	0,0330	0,0033
540W	a= 1,3925 k=0,3165 c=-0,3751	0,9955	0,0600	0,0072
720W	a= 4,5605 k=0,3351 c=-0,5521	0,9979	0,0545	0,0030
900W	a= 1,2509 k=0,5789 c=-0,2415	0,9947	0,0820	0,0067
<i>MW+Fan</i>				
180W-100°C	a=3,5457 k=0,0374 c=-2,5172	0,9991	0,0210	0,0031
180W-180°C	a=2,4173 k=0,0619 c=-1,3783	0,9977	0,0334	0,0078
180W-230°C	a=3,0989 k=0,0417 c=-2,0581	0,9979	0,0315	0,0079
540W-100°C	a=1,4966 k=0,2776 c=-0,4764	0,9949	0,0648	0,0084
540W-180°C	a=3,7360 k=0,1001 c=-2,7291	0,9992	0,0343	0,0012
540W-230°C	a=4,0196 k=0,0898 c=-3,0134	0,9994	0,0301	0,0009
<i>Fan</i>				
100°C	a=1,2373 k=0,1154 c=-0,2172	0,9995	0,0125	0,0019
180°C	a=1,0081 k=0,6751 c=-0,0087	1,0000	0,0036	$3,8248 \cdot 10^{-5}$
230°C	a=1,0342 k=0,6495 c=-0,0343	0,9998	0,0093	0,0003

Çizelge 6. Ispanak örneklerinin mikrodalga, mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ve sıcak havayla çalışma koşullarında **Wang ve Singh** modeline ilişkin model katsayıları (a, k ve c), kalanların kareleri toplamı (RSS), tahminin standart hatası (SEE) ve belirtme katsayısı (R^2) Değerleri

Kontrollü değişken parametreleri	Sabiteler		R^2	SEE ($\pm$)	RSS
<i>MW</i>					
180W	a=-0,1099	b=0,0015	0,9971	0,0341	0,0116
360W	a=-0,2498	b=0,0113	0,9984	0,0288	0,0033
540W	a=-0,4013	b=0,0397	0,9968	0,0413	0,0051
720W	a=-0,4918	b=0,0556	0,9984	0,0333	0,0022
900W	a=-0,6383	b=0,1011	0,9974	0,0404	0,0033
<i>MW+Fan</i>					
180W-100 ⁰ C	a=-0,1201	b=0,0012	0,9988	0,0233	0,0043
180W-180 ⁰ C	a=-0,1320	b=0,0024	0,9971	0,0351	0,0098
180W-230 ⁰ C	a=-0,1132	b=0,0011	0,9972	0,0344	0,0107
540W-100 ⁰ C	a=-0,3815	b=0,0346	0,9959	0,0476	0,0068
540W-180 ⁰ C	a=-0,3653	b=0,0149	0,9992	0,0243	0,0012
540W-230 ⁰ C	a=-0,3533	b=0,0130	0,9994	0,0214	0,0009
<i>Fan</i>					
100 ⁰ C	a=-0,1229	b=0,0039	0,9998	0,0081	0,0009
180 ⁰ C	a=-0,4799	b=0,0584	0,9914	0,0536	0,0115
230 ⁰ C	a=-0,4846	b=0,0587	0,9938	0,0453	0,0082

Çizelge 7. Ispanak örneklerinin mikrodalga, mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ve sıcak havayla çalışma koşullarında **Difüzyon yaklaşımı** modeline ilişkin model katsayıları (a, k ve b), kalanların kareleri toplamı (RSS), tahminin standart hatası (SEE) ve belirtme katsayısı (R^2) Değerleri

Kontrollü değişken parametreleri	Sabiteler	R^2	SEE ($\pm$)	RSS
<i>MW</i>				
180W	a=-11,8436 k=0,0117 b=1,6542	0,9970	0,0365	0,0120
360W	a=-9,5107 k=0,8580 b=0,9002	0,9986	0,0311	0,0029
540W	a=-7,3280 k=1,2770 b=0,8713	0,9989	0,0299	0,0018
720W	a=-10,1674 k=1,7372 b=0,8880	0,9997	0,0212	0,0005
900W	a=-14,9390 k=2,4895 b=0,8894	1,0000	0,0040	$1,6281.10^{-5}$
<i>MW+Fan</i>				
180W-100°C	a=-21,2163 k= 0,0077 b=1,6538	0,9988	0,0250	0,0044
180W-180°C	a=-8,5293 k=0,4886 b=0,8856	0,9976	0,0340	0,0081
180W-230°C	a=-17,7345 k=0,0077 b=1,7267	0,9971	0,0367	0,0108
540W-100°C	a=-8,2959 k=1,2684 b=0,8783	0,9988	0,0312	0,0019
540W-180°C	a=-14,0747 k=0,03358 b=1,6106	0,9992	0,0349	0,0012
540W-230°C	a=-15,0826 k=0,0317 b=1,6307	0,9994	0,0306	0,0009
<i>Fan</i>				
100°C	a=-6,1071 k=0,3109 b=0,8969	0,9996	0,0113	0,0015
180°C	a=-0,0323 k=0,2305 b=2,8852	1,0000	0,0040	$4,8278.10^{-5}$
230°C	a=-0,5458 k=0,3652 b=1,5188	0,9998	0,0086	0,0002

Çizelge 8. Ispanak örneklerinin mikrodalga, mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ve sıcak havayla çalışma koşullarında **Verma** modeline ilişkin model katsayıları (a, k ve c), kalanların kareleri toplamı (RSS), tahminin standart hatası (SEE) ve belirtme katsayısı (R^2) Değerleri

Kontrollü değişken parametreleri	Sabiteler	R^2	SEE ($\pm$)	RSS
<i>MW</i>				
180W	a=-1,8929 k=-0,0055 g=0,0344	0,9969	0,0367	0,0121
360W	a=-1,6497 k=0,0113 g=0,1021	0,9982	0,0351	0,0037
540W	a=-1,6744 k=0,1165 g=0,2292	0,9955	0,0600	0,0072
720W	a=-0,8928 k=0,0535 g=0,2944	0,9979	0,0547	0,0030
900W	a=-1,5246 k=0,2505 g=0,4271	0,9950	0,0795	0,0063
<i>MW+Fan</i>				
180W-100°C	a=-1,3683 k=-1,0219 g=0,0382	0,9987	0,0254	0,0045
180W-180°C	a=-1,8744 k=-0,0040 g=0,0433	0,9970	0,0383	0,0103
180W-230°C	a=-1,7960 k=-0,0133 g=0,0319	0,9971	0,0370	0,0109
540W-100°C	a=-1,2874 k=-0,0745 g=0,2131	0,9948	0,0656	0,0086
540W-180°C	a=-1,1430 k=-0,0613 g=0,1388	0,9992	0,0356	0,0013
540W-230°C	a=-1,8739 k=-0,0286 g=0,1047	0,9994	0,0309	0,0010
<i>Fan</i>				
100°C	a=-1,6629 k=0,0497 g=0,0810	0,9994	0,0135	0,0022
180°C	a=0,0954 k=0,6915 g=0,6909	0,9999	0,0059	0,0001
230°C	a=-0,5152 k=0,3606 g=0,5570	0,9998	0,0086	0,0002

Çizelge 9. Ispanak örneklerinin mikrodalga, mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ve sıcak havayla çalışma koşullarında **iki terimli üssel** modeline ilişkin model katsayıları (a, k ve c), kalanların kareleri toplamı (RSS), tahminin standart hatası (SEE) ve belirtme katsayısı (R^2) Değerleri

Kontrollü değişken parametreleri	Sabiteler	R^2	SEE ($\pm$)	RSS
<i>MW</i>				
180W	a=1,000 k=0,0966	0,9722	0,2248	0,5055
360W	a=0,9964 k=0,3678	0,9835	0,0928	0,0344
540W	a=0,9774 k=0,5477	0,9857	0,0875	0,0230
720W	a=1,0081 k=0,7020	0,9864	0,0977	0,0191
900W	a=1,5727 k=1,0000	0,9874	0,0892	0,0159
<i>MW+Fan</i>				
180W-100 ⁰ C	a=1,0000 k=0,1115	0,9000	0,2097	0,3519
180W-180 ⁰ C	a=1,0000 k=0,1147	0,8857	0,2204	0,3886
180W-230 ⁰ C	a=1,0000 k=0,1040	0,8836	0,2207	0,4385
540W-100 ⁰ C	a=2,1556 k=0,8864	0,9985	0,0286	0,0025
540W-180 ⁰ C	a=0,9959 k=0,5804	0,9809	0,1217	0,0296
540W-230 ⁰ C	a=1,0094 k=0,5635	0,9850	0,1157	0,0268
<i>Fan</i>				
100 ⁰ C	a=1,0000 k=0,0160	0,8060	0,2397	0,7464
180 ⁰ C	a=31,5872 k=0,9996	0,8749	0,2045	0,1673
230 ⁰ C	a=0,0100 k=13,9377	0,9989	0,0189	0,0014

Çizelge 10. Ispanak örneklerinin mikrodalga, mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ve sıcak havayla çalışma koşullarında **basitleştirilmiş Fick difüzyon eşitliği** modeline ilişkin model katsayıları (a, k ve c), kalanların kareleri toplamı (RSS), tahminin standart hatası (SEE) ve belirtme katsayısı (R^2) Değerleri

Kontrollü değişken parametreleri	Sabiteler	R^2	SEE ($\pm$)	RSS
<i>MW</i>				
180W	a=1,1201 c=0,1995 L=1,0164	0,9802	0,0932	0,0781
360W	a=1,0625 c=0,3982 L=1,0091	0,9859	0,0990	0,0294
540W	a=1,0403 c=0,3395 L=0,7741	0,9869	0,1028	0,0211
720W	a=1,0281 c=0,8344 L=1,0765	0,9870	0,1351	0,0182
900W	a=1,0202 c=0,8750 L=0,9815	0,9857	0,1343	0,0180
<i>MW+Fan</i>				
180W-100°C	a=1,1004 c=0,1107 L=0,7239	0,9841	0,0895	0,0561
180W-180°C	a=1,1046 c=0,1488 L=0,8154	0,9832	0,0904	0,0572
180W-230°C	a=1,1169 c=0,1453 L=0,8453	0,9799	0,0973	0,0758
540W-100°C	a=1,0457 c=0,3376 L=0,7837	0,9847	0,1127	0,0254
540W-180°C	a=1,0393 c=0,7488 L=1,1079	0,9820	0,1668	0,0278
540W-230°C	a=1,0386 c=0,7297 L=1,1155	0,9840	0,1585	0,0251
<i>Fan</i>				
100°C	a=1,0607 c=0,1555 L=2,1219	0,9953	0,0390	0,0182
180°C	a=1,0009 c=0,8190 L=1,0883	0,9999	0,0059	0,0001
230°C	a=1,0051 c=0,2938 L=0,6426	0,9990	0,0206	0,0013

Çizelge 11. Ispanak örneklerinin mikrodalga, mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ve sıcak havayla çalışma koşullarında **Midilli ve Küçük** modeline ilişkin model katsayıları (a, k ve c), kalanların kareleri toplamı (RSS), tahminin standart hatası (SEE) ve belirtme katsayısı (R^2) Değerleri

Kontrollü değişken parametreleri	Sabiteler	R^2	SEE ($\pm$)	RSS
<i>MW</i>				
180W	a=0,9952 k=0,0493 m=1,5880 b=-0,0092	0,9998	0,0109	0,0009
360W	a=0,9994 k=0,1961 m=1,4660 b=-0,0150	0,9999	0,0090	0,0002
540W	a=0,9976 k=0,3643 m=1,5878 b=0,0018	0,9993	0,0340	0,0012
720W	a=0,9997 k=0,5106 m=1,6180 b=-0,0027	1,0000	0,0067	0,0004
900W	a=1,0000 k=0,6894 m=1,8140 b=0,0002	1,0000	0,0018	0,0003
<i>MW+Fan</i>				
180W-100°C	a=1,0000 k=0,0667 m=1,4444 b=-0,0187	0,9999	0,0064	0,0002
180W-180°C	a=0,9940 k=0,0672 m=1,5972 b=-0,0076	0,9997	0,0120	0,0009
180W-230°C	a=0,9946 k=0,0510 m=1,6139 b=-0,0108	0,9997	0,0120	0,0010
540W-100°C	a=0,9972 k=0,3309 m=1,6583 b=0,0021	0,9993	0,0330	0,0011
540W-180°C	a=0,9976 k=0,3688 m=1,6900 b=-0,0081	0,9993	0,0328	0,0011
540W-230°C	a=0,9978 k=0,3565 m=1,6404 b=-0,0100	0,9995	0,0288	0,0008
<i>Fan</i>				
100°C	a=0,9976 k=0,0150 m=1,1930 b=-0,0007	0,9999	0,0066	0,0005
180°C	a=1,0001 k=0,1404 m=0,9837 b=-0,0005	1,0000	0,0034	0,0002
230°C	a=0,9995 k=0,1282 m=1,0263 b=-0,0010	0,9998	0,0120	0,0003

Çizelge 12. Mikrodalga çalışma koşulunda kurutulmuş ıspanakların L*,a*,b*,C ve α değerlerinin varyans analizi

Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
L	GÜÇ	4,284	5	0,857	0,407	0,835
	Hata	25,241	12	2,103		
	Toplam	23597,178	18			
Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
a	GÜÇ	11,503	5	2,301	4,334	0,017
	Hata	6,370	12	0,531		
	Toplam	3553,156	18			
Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
b	GÜÇ	73,032	5	14,606	18,488	0,000
	Hata	9,480	12	0,790		
	Toplam	7714,813	18			
Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
Chroma	GÜÇ	77,266	5	15,453	14,329	0,000
	Hata	12,942	12	1,082		
	Toplam	11268,324	18			
Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
Hue	GÜÇ	44,516	5	8,903	6,605	0,004
	Hata	16,176	12	1,348		
	Toplam	55796,394	18			

Çizelge 13. Mikrodalga fanlı kombinasyon çalışma koşulunda kurutulmuş ıspanakların L*, a*, b*, C ve α değerlerinin varyans analizi

Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
L	MUAMELE	24,100	6	4,017	1,166	0,378
	Hata	48,237	14	3,446		
	Toplam	29437,487	21			
Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
a	MUAMELE	33,440	6	5,573	3,663	0,021
	Hata	21,302	14	1,522		
	Toplam	4653,989	21			
Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
b	MUAMELE	127,101	6	21,183	6,513	0,002
	Hata	45,538	14	3,253		
	Toplam	10147,186	21			
Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
Chroma	MUAMELE	151,067	6	25,178	5,464	0,004
	Hata	64,507	14	4,608		
	Toplam	14801,050	21			
Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
Hue	MUAMELE	52,358	6	8,726	9,551	0,000
	Hata	12,791	14	0,914		
	Toplam	65234,057	21			

Çizelge 14. Fanlı çalışma koşulunda kurutulmuş ıspanakların L*,a*,b*,C ve α değerlerinin varyans analizi

Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
	FANLI	12,018	3	4,006	4,816	0,034
	Hata	6,654	8	0,832		
	Toplam	15789,757	12			
Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
	FANLI	26,793	3	8,931	3,170	0,085
	Hata	22,540	8	2,818		
	Toplam	1327,218	12			
Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
	FANLI	47,003	3	15,668	9,037	0,006
	Hata	13,869	8	1,734		
	Toplam	4561,452	12			
Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
	FANLI	21,565	3	7,188	2,252	0,160
	Hata	25,535	8	3,192		
	Toplam	5888,502	12			
Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
	FANLI	381,641	3	127,214	15,619	0,001
	Hata	65,158	8	8,145		
	Toplam	46308,240	12			

EK-2

Çizelge 1. Kırmızıbiber örneklerinin mikrodalga, mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ve sıcak havayla çalışma koşullarında **Newton** modeline ilişkin model katsayıları (a, k ve c), kalanların kareleri toplamı (RSS), tahminin standart hatası (SEE) ve belirtme katsayısı (R^2) Değerleri

Kontrollü değişken parametreleri	Sabiteler	R^2	SEE ($\pm$)	RSS
<i>MW</i>				
180W	k=0,2556	0,9941	0,0545	0,0149
360W	k=0,5946	0,9981	0,0300	0,0027
540W	k=0,8778	0,9999	0,0070	0,0009
720W	k=1,1948	0,9998	0,0099	0,0002
900W	k=0,0211	0,9957	0,0450	0,0061
<i>MW+Fan</i>				
180W-100°C	k=0,2578	0,9922	0,0386	0,0209
180W-180°C	k=0,2978	0,9892	0,0489	0,0263
180W-230°C	k=0,2749	0,9904	0,0476	0,0249
540W-100°C	k=0,8831	0,9990	0,0174	0,0012
540W-180°C	k=0,7939	0,9967	0,0324	0,0042
540W-230°C	k=0,7784	0,9967	0,0329	0,0043
<i>Fan</i>				
100°C	k=0,0172	0,9949	0,0369	0,0341
180°C	k=0,0344	0,9723	0,1041	0,1084
230C	k=0,0655	0,9885	0,0573	0,0262

Çizelge 2. Kırmızıbiber örneklerinin mikrodalga, mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ve sıcak havayla çalışma koşullarında **Page** modeline ilişkin model katsayıları (a, k ve c), kalanların kareleri toplamı (RSS), tahminin standart hatası (SEE) ve belirtme katsayısı (R^2) Değerleri

Kontrollü değişken parametreleri	Sabiteler	R^2	SEE ($\pm$)	RSS
<i>MW</i>				
180W	k=0,1610 n=1,4016	0,9998	0,0118	0,0006
360W	k=0,5352 n=1,1856	0,9995	0,0189	0,0007
540W	k=0,8628 n=1,0612	1,0000	0,0014	0,0002
720W	k=1,1711 n=1,1113	1,0000	0,0014	0,0002
900W	k=0,0061 n=1,3165	0,9995	0,0189	0,0007
<i>MW+Fan</i>				
180W-100°C	k=0,2008 n=1,1686	0,9950	0,0321	0,0134
180W-180°C	k=0,1900 n=1,3348	0,9979	0,0225	0,0051
180W-230°C	k=0,1807 n=1,2976	0,9977	0,0245	0,0060
540W-100°C	k=0,8629 n=1,0573	0,9991	0,0187	0,0011
540W-180°C	k=0,7050 n=1,2591	0,9994	0,0158	0,0007
540W-230°C	k=0,7020 n=1,2219	0,9986	0,0243	0,0018
<i>Fan</i>				
100°C	k=0,0073 n=1,2071	0,9986	0,0196	0,0092
180°C	k=0,0024 n=1,8008	0,9972	0,0350	0,0110
230°C	k=0,0209 n=1,3997	0,9997	0,0095	0,0006

Çizelge 3. Kırmızıbiber örneklerinin mikrodalga, mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ve sıcak havayla çalışma koşullarında **Geliştirilmiş Page** modeline ilişkin model katsayıları (a, k ve c), kalanların kareleri toplamı (RSS), tahminin standart hatası (SEE) ve belirtme katsayısı (R^2) Değerleri

Kontrollü değişken parametreleri	Sabiteler	R^2	SEE ($\pm$)	RSS
<i>MW</i>				
180W	k=0,5056 n=0,5056	0,9999	0,0098	0,0966
360W	k=0,7711 n=0,7711	0,9981	0,0368	0,0027
540W	k=0,9369 n=0,9369	0,9999	0,0098	0,0096
720W	k=1,0931 n=1,0931	0,9998	0,0140	0,0002
900W	k=1,3979 n=0,0151	0,9957	0,0552	0,0061
<i>MW+Fan</i>				
180W-100°C	k=1,6936 n=0,1522	0,9922	0,0401	0,0209
180W-180°C	k=1,6245 n=0,1834	0,9892	0,0513	0,0263
180W-230°C	k=1,5792 n=0,1741	0,9904	0,0499	0,0249
540W-100°C	k=1,7305 n=0,5103	0,9990	0,0201	0,0012
540W-180°C	k=1,6477 n=0,4818	0,9967	0,0374	0,0042
540W-230°C	k=1,6406 n=0,4745	0,9967	0,0380	0,0043
<i>Fan</i>				
100°C	k=0,0630 n=1,3997	0,9997	0,0095	0,0006
180°C	k=0,0347 n=1,8007	0,9972	0,0350	0,0110
230°C	k=0,0630 n=1,3997	0,9997	0,0095	0,0006

Çizelge 4. Kırmızıbiber örneklerinin mikrodalga, mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ve sıcak havayla çalışma koşullarında **Henderson ve Pabis** modeline ilişkin model katsayıları (a, k ve c), kalanların kareleri toplamı (RSS), tahminin standart hatası (SEE) ve belirtme katsayısı (R^2) Değerleri

Kontrollü değişken parametreleri	Sabiteler	R^2	SEE ($\pm$)	RSS
<i>MW</i>				
180W	k=0,2729 a=1,0508	0,9955	0,0532	0,0113
360W	k=0,6015 a=1,0117	0,9982	0,0358	0,0026
540W	k=0,8788 a=1,0013	0,9999	0,0097	0,0094
720W	k=1,1957 a=1,0011	0,9998	0,0140	0,0002
900W	k=0,8968 a=1,0000	0,7000	0,4629	0,4285
<i>MW+Fan</i>				
180W-100°C	k=0,2715 a=1,0551	0,9939	0,0353	0,0162
180W-180°C	k= 0,3162 a=1,0672	0,9919	0,0445	0,0198
180W-230°C	k=0,2927 a=1,0683	0,9931	0,0424	0,0180
540W-100°C	k=0,8850 a=1,0027	0,9990	0,0200	0,0012
540W-180°C	k=0,8012 a=1,0116	0,9968	0,0367	0,0040
540W-230°C	k= 0,7853 a=1,0107	0,9967	0,0374	0,0042
<i>Fan</i>				
100°C	k=0,0181 a=1,0533	0,9962	0,0322	0,0249
180°C	k= 0,0389 a=1,1192	0,9792	0,0953	0,0817
230°C	k=0,0695 a=1,0654	0,9911	0,0539	0,0203

Çizelge 5. Kırmızıbiber örneklerinin mikrodalga, mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ve sıcak havayla çalışma koşullarında **Logaritmik** modeline ilişkin model katsayıları (a, k ve c), kalanların kareleri toplamı (RSS), tahminin standart hatası (SEE) ve belirtme katsayısı (R^2) Değerleri

Kontrollü değişken parametreleri	Sabiteler	R^2	SEE ($\pm$)	RSS
<i>MW</i>				
180W	a=2,0371 k=0,1019 c=-1,0157	0,9986	0,0344	0,0036
360W	a=1,1242 k=0,4859 c=-0,1192	0,9989	0,0394	0,0016
540W	a=1,0399 k=0,8116 c=-0,0399	1,0000	İnf	0,0000
720W	a=1,0358 k=1,0970 c=-0,0358	1,0000	İnf	0,0038
900W	a=1,2204 k=0,0149 c=-0,2136	0,9982	0,0508	0,0026
<i>MW+Fan</i>				
180W-100°C	a=1,0486 k=0,2798 c=0,0106	0,9940	0,0364	0,0159
180W-180°C	a=1,0956 k=0,2867 c=-0,0394	0,9929	0,0439	0,0174
180W-230°C	a=1,0965 k=0,2662 c=-0,0389	0,9938	0,0422	0,0160
540W-100°C	a=0,9971 k=0,9009 c=0,0063	0,9990	0,0242	0,0012
540W-180°C	a=1,0495 k=0,7220 c=-0,0422	0,9977	0,0387	0,0030
540W-230°C	a=1,0328 k=0,7381 c=-0,0247	0,9970	0,0438	0,0038
<i>Fan</i>				
100°C	a=1,2248 k=0,0123 c=-0,2134	0,9991	0,0157	0,0057
180°C	a=4,8912 k=0,0048 c=-3,8532	0,9977	0,0337	0,0091
230°C	a=1,2200 k=0,0484 c=-0,1846	0,9974	0,0317	0,0060

Çizelge 6. Kırmızıbiber örneklerinin mikrodalga, mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ve sıcak havayla çalışma koşullarında **Wang ve Singh** modeline ilişkin model katsayıları (a, k ve c), kalanların kareleri toplamı (RSS), tahminin standart hatası (SEE) ve belirtme katsayısı (R^2) Değerleri

Kontrollü değişken parametreleri	Sabiteler	R^2	SEE ($\pm$)	RSS
<i>MW</i>				
180W	$a=-0,1909b=0,0065$	0,9985	0,0314	0,0039
360W	$a=-0,4932b=0,0700$	0,9996	0,0176	0,0006
540W	$a=-0,7387b=0,1606$	1,0000	0,0143	0,0002
720W	$a=-0,9198b=0,2298$	1,0000	0,0143	0,0004
900W	$a=-0,0167b=7,5582.10^{-5}$	0,9990	0,0268	0,0014
<i>MW+Fan</i>				
180W-100°C	$a=-0,1843b=0,0087$	0,9874	0,0508	0,0336
180W-180°C	$a=-0,2191b=0,0123$	0,9950	0,0351	0,0123
180W-230°C	$a=-0,2078b=0,0113$	0,9957	0,0334	0,0112
540W-100°C	$a=-0,6175b=0,0964$	0,9947	0,0465	0,0065
540W-180°C	$a=-0,5751b=0,0844$	0,9986	0,0243	0,0018
540W-230°C	$a=-0,5751b=0,0854$	0,9986	0,0242	0,0018
<i>Fan</i>				
100°C	$a=-0,0132b=4,5885.10^{-5}$	0,9989	0,0178	0,0076
180°C	$a=-0,0207b=7,3961.10^{-6}$	0,9970	0,0359	0,0116
230°C	$a=-0,0483 b=0,0006$	0,9986	0,0212	0,0031

Çizelge 7. Kırmızıbiber örneklerinin mikrodalga, mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ve sıcak havayla çalışma koşullarında **Difüzyon yaklaşımı** modeline ilişkin model katsayıları (a, k ve b), kalanların kareleri toplamı (RSS), tahminin standart hatası (SEE) ve belirtme katsayısı (R^2) Değerleri

Kontrollü değişken parametreleri	Sabiteler	R^2	SEE ($\pm$)	RSS
<i>MW</i>				
180W	a=-0,4721 k=1,1643 b=0,3222	0,9984	0,0369	0,0041
360W	a=-1,8166 k=0,2752 b=1,3315	0,9990	0,0385	0,0015
540W	a=-0,8210 k=0,5266 b=1,3239	0,9995	0,0169	0,0006
720W	a=-0,8033 k=0,6886 b=1,3464	0,9998	0,0141	0,0002
900W	a=-2,4987 k=0,0078 b=1,3662	0,9983	0,0497	0,0025
<i>MW+Fan</i>				
180W-100°C	a=-0,3598k=0,01679b=1,3649	0,9924	0,0412	0,0204
180W-180°C	a=-1,4602k=0,1562b=1,2938	0,9920	0,0467	0,0196
180W-230°C	a=-1,7119k=0,1466b=1,2576	0,9927	0,0459	0,0189
540W-100°C	a=-0,1285k=0,6591b=1,2938	0,9990	0,0246	0,0012
540W-180°C	a=-1,7418k=0,4529b=1,2203	0,9980	0,0361	1,2825
540W-230°C	a=-0,9312k=0,4601b=1,3030	0,9973	0,0421	1,2900
<i>Fan</i>				
100°C	a=0,6463 k=0,0171 b=0,9939	0,9949	0,0385	0,0341
180°C	a=0,8801 k=0,0344 b=0,9842	0,9723	0,1164	0,1084
230°C	a=0,9972 k=0,0640 b=0,8149	0,9883	0,0667	0,0267

Çizelge 8. Kırmızıbiber örneklerinin mikrodalga, mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ve sıcak havayla çalışma koşullarında **Verma** modeline ilişkin model katsayıları (a, k ve c), kalanların kareleri toplamı (RSS), tahminin standart hatası (SEE) ve belirtme katsayısı (R^2) Değerleri

Kontrollü değişken parametreleri	Sabiteler	R^2	SEE ($\pm$)	RSS
<i>MW</i>				
180W	$a=-1,1749k=-0,0084g=0,0835$	0,9984	0,0371	0,0041
360W	$a=0,03282k=0,59231g=0,5923$	0,9981	0,0521	0,0027
540W	$a=-0,0004k=0,8564g=0,8563$	0,9998	İnf	0,0002
720W	$a=-0,0011k=1,0965g=1,0964$	0,9986	İnf	0,0016
900W	$a=-0,8184k=0,0055g=0,0122$	0,9982	0,0501	0,0025
<i>MW+Fan</i>				
180W-100°C	$a=-0,3421k=0,1721g=0,2309$	0,9924	0,0412	0,0204
180W-180°C	$a=-0,9533k=0,1469g=0,2096$	0,9919	0,0468	0,0197
180W-230°C	$a=-0,5631k=0,1205g=0,2030$	0,9926	0,0462	0,0192
540W-100°C	$a=2,0246k=-2,2561g=0,8899$	0,9992	0,0217	0,0009
540W-180°C	$a=-1,5069k=0,4467g=0,5581$	0,9980	0,0361	0,0026
540W-230°C	$a=-0,9087k=0,4596g=0,6020$	0,9973	0,0420	0,0035
<i>Fan</i>				
100°C	$a=-0,3164k=0,0012g=0,0113$	0,9991	0,0162	0,0060
180°C	$a=-1,5722k=-0,0050g=0,0050$	0,9970	0,0384	0,0118
230°C	$a=-1,2037k=0,0190g=0,0345$	0,9970	0,0339	0,0069

Çizelge 9. Kırmızıbiber örneklerinin mikrodalga, mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ve sıcak havayla çalışma koşullarında **iki terimli üssel** modeline ilişkin model katsayıları (a, k ve c), kalanların kareleri toplamı (RSS), tahminin standart hatası (SEE) ve belirtme katsayısı (R^2) Değerleri

Kontrollü değişken parametreleri	Sabiteler		R^2	SEE ($\pm$)	RSS
<i>MW</i>					
180W	a=1,7783	k=1,0000	0,7731	0,3794	0,5759
360W	a=1,2585	k=1,0000	0,9534	0,1840	0,0677
540W	a=1,5291	k=1,0000	0,9992	0,0309	0,0010
720W	a=1,0000	k=1,0000	0,9942	0,0803	0,0064
900W	a=1,0000	k=0,8968	0,7000	0,4629	0,4285
<i>MW+Fan</i>					
180W-100°C	a=1,8009	k=1,0000	0,7445	0,2292	0,6828
180W-180°C	a=1,7462	k=1,0000	0,7836	0,2302	0,5299
180W-230°C	a=1,7877	k=1,0000	0,7622	0,2483	0,6164
540W-100°C	a=1,5757	k=1,0000	0,9974	0,0326	0,0032
540W-180°C	a=1,1168	k=1,0000	0,9861	0,0772	0,0179
540W-230°C	a=1,1256	k=1,0000	0,9843	0,0823	0,0203
<i>Fan</i>					
100°C	a=0,0017	k=10,0893	0,9948	0,0380	0,0347
180°C	a=0,0030	k=11,5932	0,9720	0,1104	0,01097
230°C	a=0,0018	k=35,5970	0,9884	0,0616	0,0265

Çizelge 10. Kırmızıbiber örneklerinin mikrodalga, mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ve sıcak havayla çalışma koşullarında **basitleştirilmiş Fick difüzyon eşitliği** modeline ilişkin model katsayıları (a, k ve c), kalanların kareleri toplamı (RSS), tahminin standart hatası (SEE) ve belirtme katsayısı (R^2) Değerleri

Kontrollü değişken parametreleri	Sabiteler	R^2	SEE ($\pm$)	RSS
<i>MW</i>				
180W	a=1,0508 c=0,2019 L=0,86031	0,9955	0,0614	0,0113
360W	a=1,0117 c=0,3858 L=0,80081	0,9982	0,0506	0,0026
540W	a=1,0013 c=0,5680 L=0,8039	0,9999	İnf	0,0009
720W	a=1,0011 c=0,6743 L=0,7509	0,9998	İnf	0,0002
900W	a=1,0175 c=0,0135 L= 0,7947	0,9960	0,0759	0,0058
<i>MW+Fan</i>				
180W-100°C	a=1,0551 c=0,1000 L=0,6068	0,9939	0,0368	0,0162
180W-180°C	a=1,0672 c=0,1311 L=0,6440	0,9919	0,0469	0,0198
180W-230°C	a=1,0683 c=0,1300 L=0,6665	0,9931	0,0447	0,0180
540W-100°C	a=1,0027 c=0,3674 L=0,6443	0,9990	0,0245	0,0012
540W-180°C	a=1,0116 c=0,3650 L=0,6749	0,9968	0,0450	0,0040
540W-230°C	a=1,0107 c=0,3600 L=0,6771	0,9967	0,0459	0,0042
<i>Fan</i>				
100°C	a=1,0533 c=0,0104 L=0,7567	0,9962	0,0329	0,0249
180°C	a=1,1193 c=0,0267 L=0,8294	0,9792	0,1010	0,0817
230°C	a=1,0655 c=0,0360 L=0,7202	0,9911	0,0582	0,0203

Çizelge 11. Kırmızıbiber örneklerinin mikrodalga, mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ve sıcak havayla çalışma koşullarında **Midilli ve Küçük** modeline ilişkin model katsayıları (a, k ve c), kalanların kareleri toplamı (RSS), tahminin standart hatası (SEE) ve belirtme katsayısı (R^2) Değerleri

Kontrollü değişken parametreleri	Sabiteler	R^2	SEE ($\pm$)	RSS
<i>MW</i>				
180W	a=0,9995 k=0,1667 m=1,5316 b=0,0177	1,0000	0,0049	$4,7830.10^{-5}$
360W	a=0,9998 k=0,5778 m=1,4479 b=0,0337	1,0000	0,0049	$2,4014.10^{-5}$
540W	a=1,0001 k=0,9318 m=1,2085 b=0,0270	1,0000	0,0116	0,0001
720W	a=1,0001 k=1,2289 m=1,2857 b=0,0168	1,0000	0,0158	0,0003
900W	a=0,9999 k=0,0030 m=1,5374 b=0,0008	1,0000	0,0020	$3,8309.10^{-5}$
<i>MW+Fan</i>				
180W-100°C	a=1,0134 k=0,1808 m=1,3229 b=0,0045	0,9986	0,0183	0,0037
180W-180°C	a=1,0030 k=0,1748 m=1,4613 b=0,0042	0,9996	0,0104	0,0009
180W-230°C	a=1,0069 k=0,1656 m=1,4378 b=0,0050	0,9996	0,0111	0,0010
540W-100°C	a=1,0001 k=0,8715 m=1,2368 b=0,0104	0,9999	0,0097	0,0002
540W-180°C	a=1,0001 k=0,7105 m=1,3865 b=0,0081	1,0000	0,0076	0,0005
540W-230°C	a=1,0001 k=0,7088 m=1,4322 b=0,0127	1,0000	0,0074	0,0005
<i>Fan</i>				
100°C	a=1,0019k=0,0109m=1,0723b=-0,0007	0,9992	0,0156	0,0054
180°C	a=1,0005k=0,0040m=1,5462b=-0,0035	0,9987	0,0267	0,0050
230°C	a=1,0039k=0,0228m=1,3606b= -0,0003	0,9998	0,0100	0,0005

Çizelge 12. Mikrodalga çalışma koşulunda kurutulmuş kırmızıbiberin L*,a*,b,C ve α değerlerinin varyans analizi

Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
L	GÜÇ	455.211	5	91.042	47.229	0.000
	Hata	23.132	12	1.928		
	Toplam	28723.706	18			
Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
a	GÜÇ	1066.500	5	213.300	52.212	0.000
	Hata	49.023	12	4.085		
	Toplam	7557.909	18			
Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
b	GÜÇ	673.297	5	134.659	56.250	0.000
	Hata	28.727	12	2.394		
	Toplam	9777.063	18			
Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
Chroma	GÜÇ	1616.437	5	323.287	66.653	0.000
	Hata	58.204	12	4.850		
	Toplam	17337.489	18			
Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
Hue	GÜÇ	628.204	5	125.641	22.275	0.000
	Hata	67.687	12	5.641		
	Toplam	48741.819	18			

Çizelge 13. Mikrodalga fanlı kombinasyon çalışma koşulunda kurutulmuş kırmızıbiberin L*,a*,b,C ve α değerlerinin varyans analizi

Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
L	MUAMELE	742.439	6	123.740	113.534	0.000
	Hata	15.259	14	1.090		
	Toplam	33628.366	20			
Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
a	MUAMELE	966.645	6	161.108	30.581	0.000
	Hata	73.756	14	5.268		
	Toplam	6831.589	21			
Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
b	MUAMELE	641.303	6	106.884	24.837	0.000
	Hata	60.247	14	4.303		
	Toplam	10176.573	21			
Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
Chroma	MUAMELE	1480.411	6	246.735	28.393	0.000
	Hata	121.661	14	8.690		
	Toplam	17010.679	21			
Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
Hue	MUAMELE	545.849	6	90.975	12.384	0.000
	Hata	102.847	14	7.346		
	Toplam	60555.015	21			

Çizelge 14. Fanlı çalışma koşulunda kurutulmuş ıspanakların L*,a*,b,C ve α değerlerinin varyans analizi

Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
L	FANLI	221.493	3	73.831	12.096	0.000
	Hata	97.664	16	6.104		
	Toplam	36486.670	20			
Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
a	FANLI	88.242	3	29.414	4.218	0.022
	Hata	111.576	16	6.973		
	Toplam	10862.780	20			
Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
b	FANLI	117.502	3	39.167	4.635	0.016
	Hata	135.216	16	8.451		
	Toplam	11796.730	20			
Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
Chroma	FANLI	136.452	3	45.484	3.841	0.030
	Hata	189.451	16	11.841		
	Toplam	22659.510	20			
Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
Hue	FANLI	220.313	3	73.438	7.193	0.003
	Hata	163.347	16	10.209		
	Toplam	42790.406	20			

EK-3

Çizelge 1. Çay örneklerinin mikrodalga, mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ve sıcak havayla çalışma koşullarında **Newton** modeline ilişkin model katsayıları (a, k ve c), kalanların kareleri toplamı (RSS), tahminin standart hatası (SEE) ve belirtme katsayısı (R^2) Değerleri

Kontrollü değişken parametreleri	Sabiteler	R^2	SEE ($\pm$)	RSS
<i>MW</i>				
180W	k=0,1526	0,9739	0,0803	0,1160
360W	k=0,2945	0,9581	0,1133	0,1156
540W	k=0,6581	0,9790	0,0723	0,0313
720W	k=0,8144	0,9765	0,0888	0,0316
900W	k=1,0134	0,9875	0,0708	0,0150
<i>MW+Fan</i>				
180W-100°C	k=0,1935	0,9677	0,0961	0,1201
180W-180°C	k=0,2923	0,9680	0,0972	0,0851
180W-230°C	k=0,3248	0,9782	0,0803	0,0516
540W-100°C	k=0,7100	0,9794	0,0767	0,0294
540W-180°C	k=0,7806	0,9842	0,0729	0,0212
540W-230°C	k=0,7904	0,9832	0,0671	0,0225
<i>Fan</i>				
100°C	k=0,0381	0,9985	0,0173	0,0213
180°C	k=0,1139	0,9930	0,0324	0,0314
230°C	k=0,2028	0,9947	0,0273	0,0149

Çizelge 2. Çay örneklerinin mikrodalga, mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ve sıcak havayla çalışma koşullarında **Page** modeline ilişkin model katsayıları (a, k ve c), kalanların kareleri toplamı (RSS), tahminin standart hatası (SEE) ve belirtme katsayısı (R^2) Değerleri

Kontrollü değişken parametreleri	Sabiteler	R^2	SEE ($\pm$)	RSS
<i>MW</i>				
180W	k=0,1440 n=1,6046	0,9983	0,0212	0,0076
360W	k=0,2778 n=1,9602	0,9993	0,0155	0,0019
540W	k=0,6048 n=1,7088	0,9995	0,0118	0,0007
720W	k=0,7350 n=1,9078	0,9997	0,0106	0,0003
900W	k=0,9003 n=1,8983	1,0000	0,0036	$2,586 \cdot 10^{-5}$
<i>MW+Fan</i>				
180W-100°C	k=0,1834 n=1,7525	0,9986	0,0208	0,0052
180W-180°C	k=0,2744 n=1,7697	0,9991	0,0170	0,0023
180W-230°C	k=0,3071 n=1,5928	0,9990	0,0187	0,0025
540W-100°C	k=0,7145 n=1,6756	0,9999	0,0074	0,0002
540W-180°C	k=0,6511 n=1,7460	0,9998	0,0082	0,0003
540W-230°C	k=0,7165 n=1,6712	0,9996	0,0116	0,0005
<i>Fan</i>				
100°C	k=0,0376 n=1,1063	0,9999	0,0046	0,0015
180°C	k=0,1192 n=0,8222	0,9995	0,0087	0,0022
230°C	k=0,2119 n=0,8367	0,9999	0,0045	0,0004

Çizelge 3. Çay örneklerinin mikrodalga, mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ve sıcak havayla çalışma koşullarında **Geliştirilmiş Page** modeline ilişkin model katsayıları (a, k ve c), kalanların kareleri toplamı (RSS), tahminin standart hatası (SEE) ve belirtme katsayısı (R^2) Değerleri

Kontrollü değişken parametreleri	Sabiteler	R^2	SEE ($\pm$)	RSS
<i>MW</i>				
180W	k=0,1440 n=1,6046	0,9983	0,0212	0,0076
360W	k=0,2778 n=1,9602	0,9993	0,0155	0,0019
540W	k=0,6048 n=1,7088	0,9995	0,0118	0,0007
720W	k=0,7350 n=1,9078	0,9997	0,0106	0,0003
900W	k=0,9003 n=1,8983	1,0000	0,0036	$2,5861 \cdot 10^{-5}$
<i>MW+Fan</i>				
180W-100°C	k=0,1834 n=1,7525	0,9986	0,0208	0,0052
180W-180°C	k=0,2744 n=1,7697	0,9991	0,0170	0,0023
180W-230°C	k=0,3071 n=1,5928	0,9990	0,0187	0,0025
540W-100°C	k=0,6511 n=1,7460	0,9999	0,0074	0,0002
540W-180°C	k=0,7145 n=1,6756	0,9998	0,0082	0,0003
540W-230°C	k=0,7165 n=1,6712	0,9996	0,0116	0,0005
<i>Fan</i>				
100°C	k=0,0376 n=1,1063	0,9999	0,0046	0,0015
180°C	k=0,1192 n=0,8222	0,9995	0,0087	0,0022
230°C	k=0,2119 n=0,8367	0,9999	0,0045	0,0004

Çizelge 4. Çay örneklerinin mikrodalga, mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ve sıcak havayla çalışma koşullarında **Henderson ve Pabis** modeline ilişkin model katsayıları (a, k ve c), kalanların kareleri toplamı (RSS), tahminin standart hatası (SEE) ve belirtme katsayısı (R^2) Değerleri

Kontrollü değişken parametreleri	Sabiteler	R^2	SEE ($\pm$)	RSS
<i>MW</i>				
180W	k= 0,1692 a=1,1208	0,9812	0,0701	0,0837
360W	k= 0,3276 a=1,1342	0,9679	0,1053	0,0887
540W	k= 0,6785 a=1,0423	0,9803	0,0766	0,0293
720W	k= 0,8326 a=1,0323	0,9773	0,1008	0,0305
900W	k= 1,0237 a=1,0147	0,9876	0,0860	0,0148
<i>MW+Fan</i>				
180W-100°C	k=0,2163 a=1,1311	0,9764	0,0856	0,0878
180W-180°C	k= 0,3193 a=1,1078	0,9746	0,0920	0,0678
180W-230°C	k= 0,9477 a=1,0799	0,9820	0,0780	0,0426
540W-100°C	k=0,7295 a=1,0376	0,9805	0,0835	0,0279
540W-180°C	k=0,7966 a=1,0281	0,9849	0,0825	0,0204
540W-230°C	k= 0,8065 a=1,0289	0,9839	0,0735	0,0216
<i>Fan</i>				
100°C	k=0,0395 a=1,0341	0,9990	0,0138	0,0134
180°C	k= 0,1041 a=0,9206	0,9968	0,0223	0,0145
230°C	k= 0,1911 a=0,9463	0,9965	0,0227	0,0098

Çizelge 5. Çay örneklerinin mikrodalga, mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ve sıcak havayla çalışma koşullarında **Logaritmik** modeline ilişkin model katsayıları (a, k ve c), kalanların kareleri toplamı (RSS), tahminin standart hatası (SEE) ve belirtme katsayısı (R^2) Değerleri

Kontrollü değişken parametreleri	Sabiteler	R^2	SEE ($\pm$)	RSS
<i>MW</i>				
180W	$a=1,3111k=0,1069c=-0,2441$	0,9934	0,0429	0,0295
360W	$a=1,4192k=0,1903c=-0,3287$	0,9855	0,0757	0,0401
540W	$a=1,1178k=0,5548c=-0,0860$	0,9870	0,0696	0,0194
720W	$a=1,2002k=0,5759c=-0,1801$	0,9892	0,0853	0,0145
900W	$a=1,1613k=0,7380c=-0,1537$	0,9942	0,0833	0,0069
<i>MW+Fan</i>				
180W-100°C	$a=1,4365k=0,1198c=-0,3623$	0,9919	0,0523	0,0301
180W-180°C	$a=1,4112k=0,1787c=-0,3500$	0,9917	0,0561	0,0220
180W-230°C	$a=1,3476k=0,2040c=-0,3083$	0,9951	0,0441	0,0117
540W-100°C	$a=1,1794k=0,5668c=-0,1637$	0,9936	0,0654	0,0086
540W-180°C	$a=1,1408k=0,5659c=-0,1143$	0,9883	0,0747	0,0167
540W-230°C	$a=0,1151k=0,6440c=-0,0954$	0,9913	0,0622	0,0116
<i>Fan</i>				
100°C	$a=1,0663k=0,0346c=-0,0527$	0,9998	0,0070	0,0034
180°C	$a=0,9048k=0,1181c=0,0364$	0,9977	0,0194	0,0105
230°C	$a=0,9303k=0,2219c=0,0405$	0,9987	0,0142	0,0036

Çizelge 6. Çay örneklerinin mikrodalga, mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ve sıcak havayla çalışma koşullarında **Wang ve Singh** modeline ilişkin model katsayıları (a, k ve c), kalanların kareleri toplamı (RSS), tahminin standart hatası (SEE) ve belirtme katsayısı (R^2) Değerleri

Kontrollü değişken parametreleri	Sabiteler	R^2	SEE ($\pm$)	RSS
<i>MW</i>				
180W	a=-0,1101 b=0,0030	0,9954	0,0347	0,0205
360W	a=-0,2098 b=0,0104	0,9855	0,0706	0,0399
540W	a=-0,4434 b=0,0470	0,9934	0,0445	0,0099
720W	a=-0,5674 b=0,0779	0,9952	0,0464	0,0065
900W	a=-0,7162 b=0,1272	0,9984	0,0307	0,0019
<i>MW+Fan</i>				
180W-100°C	a=-0,1373 b=0,0044	0,9921	0,0494	0,0293
180W-180°C	a=-0,2065 b=0,0101	0,9931	0,0481	0,0185
180W-230°C	a=-0,2325 b=0,0131	0,9969	0,0322	0,0073
540W-100°C	a=-0,4946 b=0,0593	0,9958	0,0387	0,0060
540W-180°C	a=-0,5508 b=0,0747	0,9982	0,0287	0,0025
540W-230°C	a=-0,5249 b=0,0655	0,9965	0,0343	0,0047
<i>Fan</i>				
100°C	a=-0,0295 b=0,0002	0,9987	0,0159	0,0177
180°C	a=-0,0822 b=0,0018	0,9690	0,0695	0,1400
230°C	a=-0,1348 b=0,0046	0,9558	0,0774	0,1138

Çizelge 7. Çay örneklerinin mikrodalga, mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ve sıcak havayla çalışma koşullarında **Difüzyon Yaklaşımı** modeline ilişkin model katsayıları (a, k ve b), kalanların kareleri toplamı (RSS), tahminin standart hatası (SEE) ve belirtme katsayısı (R^2) Değerleri

Kontrollü değişken parametreleri	Sabiteler	R^2	SEE ($\pm$)	RSS
<i>MW</i>				
180W	a=1,0000 k=0,1526b=1,0000	0,9739	0,00852	0,1160
360W	a=1,0000 k=0,2947 b=1,0000	0,9581	0,1285	0,1156
540W	a=1,0000 k=0,6583b=1,0000	0,9790	0,0885	0,0313
720W	a= 1,0000k=0,8136 b=1,0000	0,9765	0,1256	0,0316
900W	a=1,0000 k=1,0133 b=1,0000	0,9875	0,1225	0,0150
<i>MW+Fan</i>				
180W-100 ⁰ C	a=1,0000 k=0,1936 b=1,0000	0,9677	0,1045	0,1201
180W-180 ⁰ C	a=1,0000 k=0,2924b=1,0000	0,9680	0,1103	0,0851
180W-230 ⁰ C	a=1,0000k=0,3249b=1,0000	0,9782	0,0927	0,0516
540W-100 ⁰ C	a=1,0000k=0,7104b=1,0000	0,9794	0,0990	0,0294
540W-180 ⁰ C	a= 1,0000k=0,7802b=1,0000	0,9842	0,1030	0,0212
540W-230 ⁰ C	a=1,0000k=0,7903b=1,0000	0,9832	0,0866	0,0225
<i>Fan</i>				
100 ⁰ C	a=1,0000k=0,0381b=1,0000	0,9985	0,0176	0,0213
180 ⁰ C	a=1,0000k=0,1138b=1,0000	0,9930	0,0335	0,0314
230 ⁰ C	a=1,0000k=0,2028b=1,0000	0,9947	0,0287	0,0149

Çizelge 8. Çay örneklerinin mikrodalga, mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ve sıcak havayla çalışma koşullarında **Verma** modeline ilişkin model katsayıları (a, k ve c), kalanların kareleri toplamı (RSS), tahminin standart hatası (SEE) ve belirtme katsayısı (R^2) Değerleri

Kontrollü değişken parametreleri	Sabiteler	R^2	SEE ($\pm$)	RSS
<i>MW</i>				
180W	$a=-1,6444k=0,0374g=0,0675$	0,9919	0,0475	0,0361
360W	$a=-1,4560k=0,0512g=0,1185$	0,9818	0,0848	0,0503
540W	$a=-1,4273k=0,2795g=0,3954$	0,9881	0,0666	0,0177
720W	$a=-1,0598k=0,2336g=0,4341$	0,9898	0,0827	0,0137
900W	$a=-1,8351k=0,3711g=0,5297$	0,9948	0,0792	0,0063
<i>MW+Fan</i>				
180W-100°C	$a=-1,6835k=0,0330g=0,0734$	0,9896	0,0592	0,0385
180W-180°C	$a=-1,7266k=0,0562g=0,1144$	0,9902	0,0610	0,0261
180W-230°C	$a=-1,4646k=0,0693g=0,1410$	0,9946	0,0462	0,0128
540W-100°C	$a=-1,2245k=0,2662g=0,4130$	0,9892	0,0718	0,0155
540W-180°C	$a=-0,8848k=0,2254g=0,4406$	0,9941	0,0629	0,0079
540W-230°C	$a=-1,2768k=0,3163g=0,4693$	0,9926	0,0578	0,0100
<i>Fan</i>				
100°C	$a=-1,4571k=0,0208g=0,0266$	0,9998	0,0065	0,0029
180°C	$a=0,8068k=0,0920g=0,6362$	0,9999	0,0049	0,0007
230°C	$a=0,7123k=0,1526g=0,5896$	0,9999	0,0042	0,0003

Çizelge 9. Çay örneklerinin mikrodalga, mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ve sıcak havayla çalışma koşullarında **İki terimli Üssel** modeline ilişkin model katsayıları (a, k ve c), kalanların kareleri toplamı (RSS), tahminin standart hatası (SEE) ve belirtme katsayısı (R^2) Değerleri

Kontrollü değişken parametreleri	Sabiteler	R^2	SEE ($\pm$)	RSS
<i>MW</i>				
180W	a=0,0057 k=26,2607	0,9731	0,0839	0,1196
360W	a=0,0041 k=69,0442	0,9594	0,1265	0,1121
540W	a=0,9997 k=0,6416	0,9792	0,0882	0,0311
720W	a=1,0394 k=0,7956	0,9789	0,1192	0,0284
900W	a=4,1416 k=2,2395	1,0000	0,0010	$2,1218 \cdot 10^{-6}$
<i>MW+Fan</i>				
180W-100°C	a=0,00449 k=38,9440	0,9670	0,1012	0,1229
180W-180°C	a=0,0021 k=137,992	0,9700	0,1068	0,0798
180W-230°C	a=0,0027 k=118,0057	0,9779	0,0864	0,0522
540W-100°C	a=1,0500 k=0,7091	0,9794	0,0858	0,0294
540W-180°C	a=2,4072 k=1,3587	0,9995	0,0178	0,0006
540W-230°C	a=0,9630 k=0,7715	0,9858	0,0975	0,0190
<i>Fan</i>				
100°C	a=0,0023 k=16,2646	0,9984	0,0179	0,0225
180°C	a=0,1858 k=0,5048	0,9996	0,0079	0,0018
230°C	a=0,2527 k=0,6263	0,9998	0,0047	0,0004

Çizelge 10. Çay örneklerinin mikrodalga, mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ve sıcak havayla çalışma koşullarında **Basitleştirilmiş Fick Difüzyon Eşitliği** modeline ilişkin model katsayıları (a, k ve c), kalanların kareleri toplamı (RSS), tahminin standart hatası (SEE) ve belirtme katsayısı (R^2) Değerleri

Kontrollü değişken parametreleri	Sabiteler	R^2	SEE ($\pm$)	RSS
<i>MW</i>				
180W	$a=1,1206c=0,0840L=0,7048$	0,9812	0,0723	0,0837
360W	$a=1,1340c=0,1730L=0,7269$	0,9679	0,1126	0,0887
540W	$a=1,0423c=0,2394L=0,6064$	0,9803	0,0856	0,0293
720W	$a=1,0321c=0,3848L=0,6803$	0,9773	0,1234	0,0305
900W	$a=1,0147c=0,5049L=0,7022$	0,9876	0,1216	0,0148
<i>MW+Fan</i>				
180W-100°C	$a=1,1310c=0,1171L=0,7359$	0,9764	0,0894	0,0878
180W-180°C	$a=1,1075c=0,1694L=0,7284$	0,9746	0,0984	0,0678
180W-230°C	$a=1,0801c=0,1852L=0,7295$	0,9820	0,0843	0,0426
540W-100°C	$a=1,0376c=0,3038L=0,6454$	0,9805	0,0964	0,0279
540W-180°C	$a=1,0281c=0,3788L=0,6895$	0,9849	0,1010	0,0204
540W-230°C	$a=1,0287c=0,3050L=0,6152$	0,9839	0,0849	0,0216
<i>Fan</i>				
100°C	$a=1,0341c=0,0187L=0,6885$	0,9990	0,0139	0,0134
180°C	$a=0,9206c=0,0400L=0,6199$	0,9968	0,0227	0,0145
230°C	$a=0,9462c=0,0619L=0,5692$	0,9965	0,0234	0,0098

Çizelge 11. Çay örneklerinin mikrodalga, mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ve sıcak havayla çalışma koşullarında **Midilli ve Küçük** modeline ilişkin model katsayıları (a, k ve c), kalanların kareleri toplamı (RSS), tahminin standart hatası (SEE) ve belirtme katsayısı (R^2) Değerleri

Kontrollü değişken parametreleri	Sabiteler	R^2	SEE ($\pm$)	RSS
<i>MW</i>				
180W	$a=0,9765k=0,0402m=1,6260b=-0,0011$	0,9988	0,0190	0,0054
360W	$a=1,0085k=0,0864m=1,9083b=-0,0011$	0,9994	0,0169	0,0017
540W	$a=0,9982k=0,4215m=1,7059b=-0,0005$	0,9996	0,0149	0,0007
720W	$a=1,0001k=0,5506m=1,8611b=-0,0040$	1,0000	0,0024	0,0005
900W	$a=1,0000k=0,8231m=0,0018b=1,9338$	1,0000	Inf	0,0001
<i>MW+Fan</i>				
180W-100°C	$a=0,9876k=0,0495m=-0,0016b=1,7414$	0,9989	0,0201	0,0040
180W-180°C	$a=0,9922k=0,1018m=-0,0031b=1,7222$	0,9996	0,0130	0,0010
180W-230°C	$a=0,9914k=0,1528m=-0,0040b=1,5366$	0,9995	0,0160	0,0013
540W-100°C	$a=0,9991k=0,4715m=-0,0006b=1,7405$	0,9998	0,0112	0,0003
540W-180°C	$a=0,9998k=0,5665m=-0,0026b=1,6442$	1,0000	0,0074	0,0005
540W-230°C	$a=0,9995k=0,5694m=-0,0029b=1,6363$	0,9999	0,0098	0,0002
<i>Fan</i>				
100°C	$a=0,9861k=0,0247m=0,0014-b=1,1207$	1,0000	0,0029	0,0006
180°C	$a=1,0039k=0,1902m=-0,0013b=0,7612$	0,9999	0,0035	0,0003
230°C	$a=1,0015k=0,2714m=-0,0003b=0,8454$	0,9999	0,0044	0,0003

Çizelge 12. Mikrodalga çalışma koşulunda kurutulmuş çayın L*,a*,b,C ve α değerlerinin varyans analizi

Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
L	GÜÇ	361.743	5	72.349	11.845	0.000
	Hata	73.298	12	6.108		
	Toplam	30215.242	18			
Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
a	GÜÇ	219.290	5	43.858	28.741	0.000
	Hata	18.312	12	1.526		
	Toplam	1650.063	18			
Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
b	GÜÇ	102.351	5	20.470	15.843	0.000
	Hata	15.505	12	1.292		
	Toplam	10124.265	18			
Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
Chroma	GÜÇ	170.377	5	34.075	18.319	0.000
	Hata	22.321	12	1.860		
	Toplam	11777.147	18			
Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
Hue	GÜÇ	775.964	5	155.193	31.385	0.000
	Hata	59.338	12	4.945		
	Toplam	88968.115	18			

Çizelge 13. Mikrodalga fanlı kombinasyon çalışma koşulunda kurutulmuş çayın L*,a*,b,C ve α değerlerinin varyans analizi

Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
L	MUAMELE	278.934	6	46.489	10.907	0.000
	Hata	59.672	14	4.262		
	Toplam	31848.172	21			
Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
a	MUAMELE	80.945	6	13.491	13.222	0.000
	Hata	14.285	14	1.020		
	Toplam	2415.733	21			
Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
b	MUAMELE	21.512	6	3.585	3.862	0.017
	Hata	12.998	14	0.928		
	Toplam	10937.475	21			
Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
Chroma	MUAMELE	50.591	6	8.432	6.755	0.002
	Hata	17.476	14	1.248		
	Toplam	13356.069	21			
Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
Hue	MUAMELE	256.544	6	42.757	11.150	0.000
	Hata	53.687	14	3.835		
	Toplam	90080.894	21			

Çizelge 14. Fanlı çalışma koşulunda kurutulmuş çayın L*,a*,b,C ve α değerlerinin varyans analizi

Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
L	FANLI	309.991	3	103.330	9.318	0.005
	Hata	88.712	8	11.089		
	Toplam	17337.513	12			
Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
a	FANLI	274.012	3	91.337	242.087	0.000
	Hata	3.018	8	0.377		
	Toplam	867.133	12			
Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
b	FANLI	60.513	3	20.171	12.190	0.002
	Hata	13.238	8	1.655		
	Toplam	5298.765	12			
Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
Chroma	FANLI	168.241	3	56.080	31.671	0.000
	Hata	14.166	8	1.771		
	Toplam	6168.634	12			
Renk Uzayı Koordinatörü	Faktör	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Sig.
Hue	FANLI	1022.765	3	340.922	160.923	0.000
	Hata	16.948	8	2.119		
	Toplam	64754.327	12			