

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BAZI MEYVE VE SEBZELERİN İNFRARED KURUTUCUDA
KURUTULMASININ DENEYSEL VE TEORİK İNCELENMESİ

MELTEM ONİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

MALATYA

2012

Tez Başlığı : Bazı Meyve ve Sebzelerin İnfrared Kurutucuda Kurutulmasının
Deneyssel ve Teorik İncelenmesi

Tezi Hazırlayan : Meltem ONİN

Sınav Tarihi : 16 Ocak 2012

Yukarıda adı geçen tez jürimizce değerlendirilerek Kimya Mühendisliği Ana Bilim
Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jürisi Üyeleri

Prof. Dr. Asım KÜNKÜL (Jüri Başkanı)

İnönü Üniversitesi

Doç. Dr. Ayşe SARIMEŞELİ (Danışman)

İnönü Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Mehmet YÜCEER (Üye)

İnönü Üniversitesi

İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı

Prof. Dr. Asım KÜNKÜL
Enstitü Müdürü

ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum "Bazı Meyve ve Sebzelerin İnfrared Kurutucuda Kurutulmasının Deneysel ve Teorik İncelenmesi" başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Meltem ONİN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BAZI MEYVE VE SEBZELERİN INFRARED KURUTUCUDA KURUTULMASININ DENEYSEL VE TEORİK İNCELENMESİ

Meltem Onin

İnönü Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

92+xv sayfa

2012

Danışman: Doç. Dr. Ayşe Sarımeşeli

Bu çalışmada, maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biber örneklerinin kuruma karakteristikleri ve kuru ürünlerin kalite parametreleri üzerinde infrared ısıtma gücünün ve ön işlemlerin etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmalar 300, 400 ve 500 W infrared kurutma güçlerinde yapılmıştır. Bu şartlar altında, ön işlemsiz maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biber örneklerinin kuruma sürelerinin sırasıyla 14-33 dk, 78-165 dk, 66-110 dk ve 61-118 dk arasında değiştiği ve etkin nem difüzivitelerinin sırasıyla 3.126×10^{-11} - 1.524×10^{-11} m²/s, 6.389×10^{-10} - 2.738×10^{-10} m²/s, 14.605×10^{-10} - 8.114×10^{-10} m²/s ve 12.424×10^{-10} - 6.212×10^{-10} m²/s arasında değiştiği bulunmuştur. Kuruma hızı ve etkin difüzivitenin infrared gücünün artması ile arttığı saptanmıştır. Ön işlem görmüş örneklerin kuruma sürelerinde bir değişiklik olmadığı belirlenmiştir. Bütün kurutma deneylerinde sabit hızda kuruma periyodu ve bunu takiben azalan hızda kuruma periyodu gözlenmiştir. Literatürden seçilen modeller arasında Page modelinin en düşük χ^2 ve tahminin standart hatası (RMSE) ile en yüksek R² değerleri ile bütün kurutma şartlarında en uygun model olduğu bulunmuştur. Maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biber örneklerinin aktivasyon

enerjisi sırasıyla 20.854, 4.871, 4.371, 5.421 W/g olarak bulunmuştur. Rehidrasyon kapasitesinin infrared gücü arttıkça arttığı saptanmıştır. Ön işlemleri maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biber örneklerinin rehidrasyon kapasitesinin ön işlemsiz örneklerden daha yüksek olduğu fakat etil oleat çözeltisi ile ön işlem görmüş çilek örneklerinin rehidrasyon kapasitesinde bir değişiklik olmadığı bulunmuştur. Ön işlemsiz ve ön işlemleri kuru örneklerin renk parametrelerinde farklılıklar görülmekle birlikte, infrared gücünün bu parametreler üzerinde önemli bir etkisi kaydedilmemiştir. Ön işlemsiz kuru örneklerin C vitamini değerlerinin taze örneklerinkinden daha düşük olduğu ve infrared gücünün C vitamini kayıpları üzerinde önemli rol oynadığı saptanmıştır. Öte yandan, ön işlem görmüş ve görmemiş örneklerin C vitamini değerleri arasında farklılıkların olmadığı görülmüştür. Araştırma materyallerinin infrared ısı ile kurutulmasında kuru ürün içerisinde optimum C vitamini kalmasını sağlayacak kurutma şartlarının belirlenmesi için Yanıt Yüzey Metodu kullanılmıştır. Bu amaçla merkezi kompozit tasarım yaklaşımı kullanarak bağımsız değişkenler maydanoz için; taze madde miktarı (A, 10.3-18.7 g), infrared gücü (B, 316-484 W) ve kuruma zamanı (C, 5.3-13.7 dk), çilek için; taze madde miktarı (A, 83-117 g), infrared gücü (B, 316-484 W) ve kuruma zamanı (C, 23-56 dk), kırmızı biber ve yeşil biber için; taze madde miktarı (A, 50-100 g), infrared gücü (B, 316-484 W) ve kuruma zamanı (C, 29-49 dk) olarak seçilmiştir. C vitamini üzerinde bu değişkenlerin etkilerini tanımlayan kuadratik regresyon denklemleri geliştirilmiştir. Bağımsız değişkenlerin optimum değerleri maydanoz için; A= 12.00 g, B= 350.01 W, C= 7.00 dk, çilek için; A= 90.00 g, B= 350.00 W, C= 30.00 dk, kırmızı biber için; A= 60.00 g, B= 350.08 W, C= 33.00 dk ve yeşil biber için; A= 73.98 g, B= 350.00 W, C= 33.00 dk olarak bulunmuştur. Maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biber örneklerinin bu optimum noktalarda tahmin edilen C vitamini değerleri sırasıyla 97.51 mg/100 g, 47.77 mg/100 g, 139.88 mg/100 g ve 160.81 mg/100 g olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Infrared kurutma, kuruma kinetiği, kinetik model, etkin nem difüzyon hızı, aktivasyon enerjisi, rehidrasyon kapasitesi, renk değişimi, Yanıt Yüzey Metodu (RSM), C vitamini

ABSTRACT

MSc Thesis

EXPERIMENTAL AND THEORETICAL INVESTIGATION OF DRYING OF SOME FRUITS AND VEGETABLES IN AN INFRARED DRYER

Meltem Onin

İnönü University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Chemical Engineering

92+xv pages

2012

Supervisor: Doç. Dr. Ayşe Sarımeşeli

In this study, effects of infrared heating power on drying characteristics of parsley, strawberry, red pepper, green pepper samples and dried quality parameters investigated. Experimental studies were carried out at 300, 400 and 500 W. Under these conditions, the drying times of untreated parsley, strawberry, red pepper, green pepper samples were found to be in the range of 14-33 min, 78-165 min, 66-110 min and 61-118 min, and effective moisture diffusivities to be in the range of $3.126 \cdot 10^{-11}$ - $1.524 \cdot 10^{-11}$ m²/s, $6.389 \cdot 10^{-10}$ - $2.738 \cdot 10^{-10}$ m²/s, $14.605 \cdot 10^{-10}$ - $8.114 \cdot 10^{-10}$ m²/s and $12.424 \cdot 10^{-10}$ - $6.212 \cdot 10^{-10}$ m²/s respectively. Drying rates and effective diffusivities were determined to be increasing with the increased infrared power. No changes were recorded in the drying times of the pretreated samples. Constant drying rate followed by a falling rate was observed in all drying experiments. The among models chosen from the literature, Page model was found to be the most suitable model with the highest values of R^2 , and the lowest values of the χ^2 and root mean square error (RMSE) under all drying conditions. The activation energies of the parsley, strawberry, red pepper, green pepper samples were found as

20.854, 4.871, 4.371, 5.421 W/g respectively. It was determined that rehydration capacities were increased with increasing infrared power. Rehydration capacities of the pretreated parsley, red pepper, green pepper samples were found to be higher than those of the untreated ones, however, that of strawberry treated with ethyl oleate solution did not change. While, differences were recorded between the colour parameters of the pretreated and untreated samples, no significant effect of the infrared power on these parameters were detected. It was found that the vitamin C values of the untreated dried samples were lower than those of the raw ones, and the infrared drying power has an important role in the losses of vitamin C amount. On the other hand, it was seen that there were no differences between the vitamin C values of the pretreated and untreated samples. In order to determine the drying conditions which would provide the optimum amount of vitamin C in dried materials during infrared drying, Response Surface Methodology was used. For this purpose, the independent variables were chosen as raw matter amount (A, 10.3-18.7 g), infrared power (B, 316-484 W), drying time (C, 5.3-13.7 min) for parsley, raw matter amount (A, 83-117 g), infrared power (B, 316-484 W), drying time (C, 23-56 min) for strawberry, raw matter amount (A, 50-100 g), infrared power (B, 316-484 W), drying time (C, 29-49 min) for red pepper and green pepper, by using the three-level central composite rotate design (CCRD). Quadratic regression equations describing the effects of these factors on vitamin C amount were developed. Real values of the independent variables were found as A= 12.00 g, B= 350.01 W, C= 7.00 min for parsley, A= 90.00 g, B= 350.00 W, C= 30.00 min for strawberry, A= 60.00 g, B= 350.08 W, C= 33.00 min for red pepper, A= 73.98 g, B= 350.00 W, C= 33.00 min for green pepper. At these optimum points, vitamin C values of parsley, strawberry, red pepper, green pepper samples were recorded as 97.51 mg/100 g, 47.77 mg/100 g, 139.88 mg/100 g and 160.81 mg/100 g respectively.

Keywords: Infrared drying, drying kinetics, kinetic model, effective moisture diffusivity, activation energy, rehydration capacity, colour change, Response Surface Methodology (RSM), vitamin C

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her aşamasında değerli bilgileri ile beni yönlendiren, yardım eden ve destekleyen saygı değer tez danışman hocam Doç. Dr. Ayşe SARIMEŞELİ' ye teşekkür ederim.

Yüksek Lisans eğitimimde bana emeği geçen Dekanımız Sayın Prof. Dr. Kadim CEYLAN' a, Bölüm Başkanımız Sayın Prof. Dr. Ahmet Ekmekyapar' a ve Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürümüz Sayın Prof. Dr. Asım KÜNKÜL' e teşekkür ederim. Yanıt Yüzey Metodu ile ilgili çalışmalarımda beni tavsiye ve önerileri ile yönlendiren Sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet YÜCEER' e teşekkür ederim. Her zaman benden yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşım Arş. Gör. Mehmet Ali COŞKUN' a teşekkür ederim.

Her zaman olduğu gibi Yüksek Lisans çalışmalarım esnasında da maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen değerli AİLEM' e, özellikle annem Esin ONİN ve babam Şahabettin ONİN' e teşekkür ederim.

2010/105 No' lu proje kapsamında maddi desteklerinden dolayı İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	2
3. GIDALARIN KURUTULMASI.....	6
3.1. Gıdaların Kurutularak Saklanması Tarihçesi.....	6
3.2. Kurutma Teknikleri ve Kurutucular.....	6
3.2.1. Güneşte Kurutma.....	6
3.2.2. Dondurarak Kurutma.....	7
3.2.3. Sıcak Havalı Kurutma.....	7
3.2.3.1. Kabin Kurutucular.....	7
3.2.3.2. Tünel Kurutucular.....	7
3.2.3.3. Konveyör Kurutucular.....	8
3.2.4. Sprey Kurutucular.....	8
3.2.5. Döner Kurutucular.....	9
3.2.6. Akışkan Yataklı Kurutucular.....	9
3.2.7. Mikrodalga Kurutma.....	9
3.2.8. İnfrared Kurutma.....	10
3.2.8.1. İnfraredin Tarihçesi.....	10
3.2.8.2. İnfrared Hakkında Genel Bilgiler.....	10
3.2.8.3. İnfrared Kurutma Mekanizması.....	11
3.2.8.4. İnfrared Kurutma Tekniğinin Konvansiyonel Tekniklere Göre Avantajları.....	12
3.3. Kurutmanın Prensipleri.....	12
3.4. Kurutmanın Temel Aşamaları.....	13
3.4.1. Sabit Hızda Kuruma Periyodu.....	14
3.4.2. Azalan Hızda Kuruma Periyodu.....	14
3.5. Kuruma Hızını Etkileyen Genel Faktörler.....	14
3.5.1. Sıcaklık.....	14
3.5.2. Kurutulan Materyal Boyutları.....	15

3.5.3. Havanın Nemi.....	15
3.5.4. Ürünün Kimyasal Bileşimi.....	15
3.6. Gıdaların Kurutulması Sırasında Meydana Gelen Başlıca Değişiklikler.....	15
3.6.1. Rehidrasyon Kapasitesi.....	16
3.6.2. Vitamin Kayıpları.....	16
3.6.3. Renk Değişimleri.....	17
4. MAYDANOZ, ÇİLEK VE BİBER HAKKINDA GENEL BİLGİ.....	18
4.1. Maydanoz.....	18
4.2. Çilek.....	18
4.3. Biber.....	19
5. MATERYAL VE YÖNTEM.....	20
5.1. Araştırmada Kullanılan Materyaller.....	20
5.2. İnfrared Kurutucu.....	20
5.3. Deneylerin Yapılışı.....	22
5.3.1. Materyallerin Hazırlanması.....	22
5.3.2. Kuruma Süresi ve Kuruma Hızlarının Belirlenmesi.....	23
5.3.3. Rehidrasyon Kapasitesinin Belirlenmesi.....	23
5.3.4. Renk Değişimlerinin Belirlenmesi.....	23
5.3.5. Kurutulmuş Ürünlerdeki C Vitamini Miktarının Belirlenmesi.....	24
5.3.5.1. Çözeltilerin Hazırlanması ve Kimyasal Analizler.....	24
5.3.5.2. C Vitamininin Optimizasyonu.....	25
5.4. Deneysel Hesaplamalar.....	27
5.4.1. Nem İçeriklerinin Hesaplanması.....	27
5.4.2. Kuruma Hızlarının Hesaplanması.....	28
5.4.3. Nem Oranlarının Hesaplanması.....	28
5.4.4. Kuruma Kinetiğine Ait Modellerin Hesaplanması.....	28
5.4.4.1. Page Modeli.....	28
5.4.4.2. Newton Modeli.....	29
5.4.4.3. Handerson and Pabis Modeli.....	29
5.4.4.4. Wang and Singh Modeli.....	29
5.4.5. Etkin Difüzyon Katsayılarının Hesaplanması.....	29
5.4.6. Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması.....	32
5.4.7. Regresyon Analizi.....	32
5.4.8. Rehidrasyon Kapasitesinin Hesaplanması.....	33

6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	34
6.1. Kuruma Süreleri.....	34
6.2. Nem Oranındaki Değişimler.....	35
6.3. Kuruma Hızındaki Değişimler.....	37
6.4. Kuruma Kinetiğine Ait Modelleme Çalışmaları.....	40
6.5. Etkin Difüzivite Katsayılarının Hesaplanması.....	45
6.6. Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması.....	49
6.7. İnfrared Gücünün Araştırma Materyallerinin Rehidrasyon Kapasitesi Üzerindeki Etkisi.....	52
6.8. İnfrared Gücünün Araştırma Materyallerinin Renk Değişimi Üzerindeki Etkisi.....	53
6.9. İnfrared Gücünün Araştırma Materyallerinin C Vitamini Kayıpları Üzerindeki Etkisi.....	56
6.10. Optimum C Vitamini Değeri İçin Kurutma Şartlarının Belirlenmesi.....	58
6.10.1. Uygun Regresyon Modeli.....	58
6.10.2. C Vitamini İçin Optimum Kurutma Şartları.....	71
7. SONUÇLAR.....	77
KAYNAKLAR.....	79
EKLER.....	85
EK 1. Maydanoz kurutma prosesi için elde edilen deneysel veriler.....	85
EK 2. Çilek kurutma prosesi için elde edilen deneysel veriler.....	86
EK 3. Kırmızı biber kurutma prosesi için elde edilen deneysel veriler.....	88
EK 4. Yeşil biber kurutma prosesi için elde edilen deneysel veriler.....	90
ÖZGEÇMİŞ.....	92

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1.	Elektromanyetik spektrum.....	11
Şekil 3.2.	Gıdaların kuruma eğrisi.....	13
Şekil 3.3.	Gıdaların kurutulması esnasında meydana gelen C vitamini oksidasyonu.....	16
Şekil 5.1.	İnfrared kurutma düzeneği.....	20
Şekil 5.2.	İnfrared kurutucunun genel görünümü.....	21
Şekil 6.1.	Maydanozun nem oranının kuruma zamanı ile değişimi ve kinetik modelleri.....	35
Şekil 6.2.	Çileğin nem oranının kuruma zamanı ile değişimi ve kinetik modelleri.....	36
Şekil 6.3.	Kırmızı biberin nem oranının kuruma zamanı ile değişimi ve kinetik modelleri.....	36
Şekil 6.4.	Yeşil biberin nem oranının kuruma zamanı ile değişimi ve kinetik modelleri.....	37
Şekil 6.5.	Maydanozun farklı kurutma güçlerinde nem içeriği ile kuruma hızının değişimi.....	38
Şekil 6.6.	Çileğin farklı kurutma güçlerinde nem içeriği ile kuruma hızının değişimi.....	38
Şekil 6.7.	Kırmızı biberin farklı kurutma güçlerinde nem içeriği ile kuruma hızının değişimi.....	39
Şekil 6.8.	Yeşil biberin farklı kurutma güçlerinde nem içeriği ile kuruma hızının değişimi.....	39
Şekil 6.9.	Maydanozun farklı kurutma güçlerinde kuruma zamanı ile $\ln(MR)$ ' nin değişimi.....	46
Şekil 6.10.	Çileğin farklı kurutma güçlerinde kuruma zamanı ile $\ln(MR)$ ' nin değişimi.....	46
Şekil 6.11.	Kırmızı biberin farklı kurutma güçlerinde kuruma zamanı ile kuruma zamanı ile $\ln(MR)$ ' nin değişimi.....	47
Şekil 6.12.	Yeşil biberin farklı kurutma güçlerinde kuruma zamanı ile $\ln(MR)$ ' nin değişimi.....	47

Şekil 6.13. Maydanozun farklı infrared güçlerinde m/P oranı ile	
$\ln(D_{\text{eff}})$ değerlerinin değişimi.....	50
Şekil 6.14. Çileğin farklı infrared güçlerinde m/P oranı ile	
$\ln(D_{\text{eff}})$ değerlerinin değişimi.....	50
Şekil 6.15. Kırmızı biberin farklı infrared güçlerinde m/P oranı ile	
$\ln(D_{\text{eff}})$ değerlerinin değişimi.....	51
Şekil 6.16. Yeşil biberin farklı infrared güçlerinde m/P oranı ile	
$\ln(D_{\text{eff}})$ değerlerinin değişimi.....	51
Şekil 6.17. Maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biberin kurutulması	
sonucunda C vitamini değerlerinin deneysel - model uyumu.....	76

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 5.1.	Maydanozda optimum C vitamini seviyesinin belirlenmesi için deneysel tasarım değişkenlerinin kodları ve gerçek seviyeleri.....	26
Çizelge 5.2.	Çilekte optimum C vitamini seviyesinin belirlenmesi için deneysel tasarım değişkenlerinin kodları ve gerçek seviyeleri.....	27
Çizelge 5.3.	Kırmızı biberde ve yeşil biberde optimum C vitamini seviyesinin belirlenmesi için deneysel tasarım değişkenlerinin kodları ve gerçek seviyeleri.....	27
Çizelge 6.1.	Maydanozun farklı infrared güçlerinde kurutulmasından elde edilen deneysel sonuçların kurutma modelleri ile kıyaslanması ve istatistiksel değerlendirmesi.....	41
Çizelge 6.2.	Çileğin farklı infrared güçlerinde kurutulmasından elde edilen deneysel sonuçların kurutma modelleri ile kıyaslanması ve istatistiksel değerlendirmesi.....	42
Çizelge 6.3.	Kırmızı biberin farklı infrared güçlerinde kurutulmasından elde edilen deneysel sonuçların kurutma modelleri ile kıyaslanması ve istatistiksel değerlendirmesi.....	43
Çizelge 6.4.	Yeşil biberin farklı infrared güçlerinde kurutulmasından elde edilen deneysel sonuçların kurutma modelleri ile kıyaslanması ve istatistiksel değerlendirmesi.....	44
Çizelge 6.5.	Maydanozun farklı infrared güçlerinde hesaplanan etkin difüzivite değerleri.....	48
Çizelge 6.6.	Çileğin farklı infrared güçlerinde hesaplanan etkin difüzivite değerleri.....	48
Çizelge 6.7.	Kırmızı biberin farklı infrared güçlerinde hesaplanan etkin difüzivite değerleri.....	48
Çizelge 6.8.	Yeşil biberin farklı infrared güçlerinde hesaplanan etkin difüzivite değerleri.....	49
Çizelge 6.9.	Ön işlemsiz ve ön işlemlili maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biberin rehidrasyon kapasitesi üzerinde kurutma şartlarının etkisi.....	52

Çizelge 6.10. Ön işlemsiz olarak kurutulan maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biberin L, a ve b değerleri üzerinde infrared gücünün etkisi.....	54
Çizelge 6.11. Ön işlemli olarak kurutulan maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biberin L, a ve b değerleri üzerinde infrared gücünün etkisi.....	55
Çizelge 6.12. % 10 nem içeriğine kadar kurutulan maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biber örneklerinin C vitamini kayıpları üzerinde infrared gücünün etkisi.....	57
Çizelge 6.13. Maydanoz için üç seviyeli merkezi kompozit tasarım ve bağımlı değişkenin deneysel yanıtları.....	59
Çizelge 6.14. Çilek için üç seviyeli merkezi kompozit tasarım ve bağımlı değişkenin deneysel yanıtları.....	60
Çizelge 6.15. Kırmızı biber için üç seviyeli merkezi kompozit tasarım ve bağımlı değişkenin deneysel yanıtları.....	61
Çizelge 6.16. Yeşil biber için üç seviyeli merkezi kompozit tasarım ve bağımlı değişkenin deneysel yanıtları.....	62
Çizelge 6.17. Maydanozun C vitamini üzerinde polinom modeli için değişken Analizi (ANOVA).....	64
Çizelge 6.18. Çileğin C vitamini üzerinde polinom modeli için değişken analizi (ANOVA).....	65
Çizelge 6.19. Kırmızı biberin C vitamini üzerinde polinom modeli için değişken analizi (ANOVA).....	66
Çizelge 6.20. Yeşil biberin C vitamini üzerinde polinom modeli için değişken analizi (ANOVA).....	67
Çizelge 6.21. Maydanozun Yanıt Yüzey Modeli ile regresyon parametrelerinin değişken analizi (ANOVA)	69
Çizelge 6.22. Çileğin Yanıt Yüzey Modeli ile regresyon parametrelerinin değişken analizi (ANOVA).....	69
Çizelge 6.23. Kırmızı biberin Yanıt Yüzey Modeli ile regresyon parametrelerinin değişken analizi (ANOVA).....	70
Çizelge 6.24. Yeşil biberin Yanıt Yüzey Modeli ile regresyon parametrelerinin değişken analizi (ANOVA).....	70
Çizelge 6.25. Maydanoz kurutma prosesi için deneysel-model kıyaslaması.....	72

Çizelge 6.26. Çilek kurutma prosesi için deneysel-model kıyaslaması.....	73
Çizelge 6.27. Kırmızı biber kurutma prosesi için deneysel-model kıyaslaması.....	74
Çizelge 6.28. Yeşil biber kurutma prosesi için deneysel-model kıyaslaması.....	75

SİMGELER VE KISALTMALAR

Y	Deneysel yanıt
Y_{ik}	Kodlanmış C vitamini değerleri
Y_{ig}	Gerçek C vitamini değerleri
Y_i	Deneysel C vitamini değerleri
e	Rastgele hata
i, j	Lineer ve kuadratik katsayılar
b	Regresyon katsayısı (ikinci dereceden polinom denklemde kullanılan)
M_t	t anındaki nem içeriği
m_t	Ölçüm anındaki numunenin ağırlığı
M_0	Materyalin başlangıçtaki nem içeriği
m	Taze örneğin kütlesi
m_{kuru}	Materyalin içerdiği kuru madde miktarı
DR	Kuruma hızı
M_{t+dt}	$t+dt$ anındaki nem içeriği
Δt	Zaman aralığı
MR	Nem oranı
M_e	Denge nem miktarı
M_0	Materyalin başlangıçtaki nem içeriği
k	Kinetik sabit (Page, Handerson ve Pabis, Newton modellerinde kullanılan)
n	Page modeline ait bir katsayı
t	Kuruma zamanı
a, b	Katsayı (Handerson ve Pabis, Wang ve Singh modellerinde kullanılan)
D_{eff}	Etkin difüzyon katsayısı
L	Katıda difüzyonun olduğu boyutun yarı kalınlığı
D_0	Ön-eksponansiyel faktör
E_a	Aktivasyon enerjisi
P	İnfrared gücü
$RMSE$	Tahminin standart hatası
χ^2	Ki-kare
R^2	Belirleme katsayısı

$MR_{exp, i}$	Deneysel nem oranı değerleri
$MR_{pre, i}$	Tahmin edilen nem oranı değerleri
N	Deneysel veri sayısı
z	Kullanılan parametre sayısı
RK	Rehidrasyon kapasitesi
m_{rehid}	Rehidrasyon sonrası ürünün ağırlığı
L	Parlaklık (Renk ölçüm cihazında okunan parametreler)
a	(+) kırmızılık, (-) yeşillik
b	Sarılık
df	Serbestlik derecesi
RSM	Yanıt Yüzey Metodu
ANOVA	Değişken analizi
CCRD	Merkezi kompozit deneysel tasarım

1.GİRİŞ

Meyve ve sebzelerin bünyelerinde bulunan % 80-95 oranındaki suyun % 10-15 oranına indirilerek uzun süre dayandırılmasını sağlama işlemine kurutma denir [1].

Kurutma, bozulmaya sebep olan mikroorganizmaların ve kimyasal reaksiyonların durdurulduğu ya da yavaşlatıldığı bir işlemdir [2]. Ayrıca, tat, koku ve besin değeri gibi kalite parametrelerinin korunmasını sağlar; ürün hacmini azaltarak, taşınma ve depolanmaları esnasında verimliliği artırır [3].

Ülkemizde ve dünyada kullanılan en eski kurutma yöntemlerinin başında doğal kurutma (güneşte ve gölgede) gelir, fakat bu yöntemin dış etkilere ve kirlenmelere açık olması ve kurutma işleminin uzun zaman almasından dolayı yüksek enerji, iş gücü ihtiyacı ve kalite kaybı gibi pek çok dezavantajları vardır [4, 5]. Bu nedenle gıdaları hızlı, ayrıca besin ve görünüm açısından da optimum kalitede kurutabilecek kapalı sistemlerin geliştirilmesine gereksinim duyulmuştur [6]. Bu amaçla kontakt, konvektif, ısıtım, dondurma, mikrodalga ve osmotik dehidrasyon gibi çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Son yıllarda infrared ışınlarını kullanan kurutucular oldukça önem kazanmıştır [7].

Bölüm 2' de literatürde bulunan gıdaların kurutulması ile ilgili bazı çalışmalar özetlenmiştir. Bölüm 3' de gıdaların kurutularak saklanması tarihçesi, kurutma teknikleri ve kurutucular, infrared kurutma, kurutmanın prensipleri, kurutmanın temel aşamaları, kuruma hızını etkileyen faktörler ve gıdaların kurutulması sırasında meydana gelen değişiklikler hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir. Bölüm 4' te maydanoz, çilek ve biber hakkında genel bilgi verilmiştir. Bölüm 5' te araştırmada kullanılan materyaller, geliştirilen infrared kurutucunun şematik olarak gösterimi ve özellikleri ile deneylerin yapılışı ve hesaplamalar anlatılmıştır. Bölüm 6' da araştırma bulgularına yer verilmiştir. Bölüm 7' de ise deneysel çalışmalardan bulunan sonuçlar özetlenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde, farklı kurutma teknikleri, kurutucular ve infrared kurutma ile ilgili bazı gıdalara ait yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Doymaz ve arkadaşlarının [8], 2000 yılında kabin ve mikrodalga kurutucularda maydanozu kurutmak için her iki sistemde de yapmış oldukları denemeler sonucunda mikrodalga kurutucuda kurutma işleminin çok daha kısa bir sürede gerçekleştiğini belirlemişlerdir. Ayrıca kabin ve mikrodalga kurutucularda parlaklık ve renk kalitesinin korunması açısından, düşük sıcaklıklarda çalışmanın daha avantajlı olduğunu tespit etmişlerdir. Elde ettikleri deney verilerinin Page modeli [9-11] ile çok iyi uyum sağladığını bulmuşlardır.

Doymaz ve Pala [12], 2000 yılında yapmış oldukları çalışmada etil oleat çözeltisi ile ön işleme tabi tutulan ve ön işlemsiz kırmızı biberleri bir sıcak havalı kurutucuda 55-65 °C’ de kurutmuşlardır. Deneylerin sonucunda etil oleat çözeltisine daldırılan kırmızı biber örneklerinin kuruma süresinin daha kısa olduğunu ve daha parlak kırmızı renge sahip olduklarını saptamışlardır.

İsmail [13], 2005 yılında yapmış olduğu çalışmada potasyum karbonatın farklı konsantrasyonlarındaki çözeltilerine daldırılan üzümleri yatay hava akımlı bir kurutma cihazında, 1.5 m/s hava akımı hızında, 60 ve 70 °C sıcaklıklarda kurutmuştur. Sonuçta, % 5 K₂CO₃-% 0.5 zeytin yağı çözeltisine daldırılarak kurutulan üzümün daha kısa sürede kuruduğu ve renk analizinde en iyi sonuçları verdiği saptanmıştır.

Doymaz [14], 2005 yılında yapmış olduğu çalışmada bamyanı laboratuvar ölçekli bir sıcak havalı kurutucuda 50-70 °C sıcaklıklarda ve % 8-25 arasında değişen relatif hava nemliliğinde kurutmuştur. Deneysel sonuçlar kurutmanın azalan hız periyodunda meydana geldiğini göstermiştir. Kurutma davranışının, Page modeline [9-11] uyduğu bulunmuştur. Etkin difüzivite değerlerinin 4.270x10⁻¹⁰-1.300x10⁻⁹ m²/s arasında değiştiği ve sıcaklık arttıkça etkin difüzivitenin arttığı gözlenmiştir. Aktivasyon enerjisi değeri 51.260 kJ/mol olarak bulunmuştur.

Dikbasan [15], 2007 yılında yapmış olduğu çalışmada küp şeklinde kesilmiş elmalar, tasarlanan bir tünel kurutucuda çeşitli sıcaklık (40.1-65.3 °C), hava hızı (1.1- 2.5 m/s) ve bağıl nem değerlerinde (% 4.6-20.5) kurutmuştur. Kurutma hız eğrileri, kurutmanın çoğunlukla azalan kuruma hızı bölgesinde gerçekleştiğini göstermiştir. Deneysel veriler literatürde bulunan on dört farklı kurutma modeline

uygulanmış ve verilere en uygun modelin Midilli ve Küçük modeli [16] olduğu tespit edilmiştir. Etkin difüzyon katsayılarının 0.486×10^{-9} - 5.630×10^{-9} m²/s arasında değiştiği bulunmuştur. Kuruma zamanı, rehidrasyon süresi ve renk verileri dikkate alınarak kurutmanın en iyi 53.5-65.3 °C sıcaklık aralığı ile 2.5 m/s hava hızı ve % 20.5 bağıl nemde meydana geldiği belirlenmiştir.

Kocabıyık ve Demirtürk [17], 2008 yılında yapmış oldukları çalışmada nane yapraklarını infrared enerji ile kurutmak için geliştirmiş oldukları kurutucuda 1080 W/m² infrared radyasyon yoğunluğunda ve 0.5-2.0 m/s hava hızlarında yapmış oldukları denemeler sonucunda, bütün kurutma koşullarında kuruma süresinin 64-180 dk, özgül enerji tüketiminin 37.040-106.580 MJ/(kg-buharlaşan su) arasında değiştiğini bulmuşlardır. Ayrıca kuruma hızının hava hızının azalmasıyla arttığını tespit etmişlerdir. Kuru nanenin renk özelliklerinin ise işlem değişkenlerinden etkilendiğini belirlemişlerdir.

Dadalı ve Özbek [18], 2008 yılında yapmış oldukları çalışmada pırasanın beyaz ve yeşil kısımlarının bir mikrodalga kurutucuda 180 W sabit mikrodalga çıkış gücünde ve 100-300 g arasında farklı örnek miktarları olarak yapmış oldukları denemeler sonucunda, pırasanın beyaz ve yeşil kısımlarının sırasıyla kurutma zamanının 52-130 dk ve 55-135 dk, etkin nem difüzyon hızlarının 0.618×10^{-10} - 2.128×10^{-10} m²/s ve 0.256×10^{-10} - 0.611×10^{-10} m²/s arasında değiştiğini bulmuşlardır. Ayrıca önerilen modeller arasında uygulanan bütün kurutma şartları için en uygun modelin Midilli ve Küçük modeli [16] olduğu tespit edilmiştir. Pırasanın beyaz ve yeşil kısımları için elde edilen aktivasyon enerjileri sırasıyla 0.953 W/g ve 1.204 W/g olarak bulunmuştur.

Doymaz [19], 2008 yılında yapmış olduğu çalışmada, alkali etil oleat çözeltisi ile ön işlem yapılan ve ön işlem yapılmayan çilekler bir kabin kurutucuda 1.2 m/s sabit hava hızında 50-65 °C sıcaklıklarda kurutulmuştur. Kuruma hız eğrileri kurutmanın sadece düşen hız periyodunda gerçekleştiğini göstermiştir. Ayrıca önerilen modeller arasında 50 ve 55 °C sıcaklıklarda çileğin kuruma kinetiğini tanımlamak için en uygun modelin Logaritmik model [9, 11], 65 °C sıcaklıkta ise Wang ve Singh modeli [9, 20] olduğu tespit edilmiştir. Etkin difüzyon hızlarının 4.950×10^{-10} - 1.420×10^{-9} m²/s arasında değiştiği bulunmuştur.

Kocabıyık ve Tezer [21], 2009 yılında yapmış oldukları çalışmada havuç dilimlerini bir infrared kurutucuda 8.52 kg su/kg kuru madde başlangıç nem içeriğinden 0.11 kg su/kg kuru madde nem içeriğine kadar kurutmuşlardır.

Denemeleri üç farklı infrared gücünde ve üç farklı hava hızında gerçekleştirmişlerdir. Kuruma zamanının 1.0-2.0 m/s hava hızlarında, 300-500 W infrared güçlerinde sırasıyla 252-277 dk, 205-236 dk, 145-155 dk arasında değiştiğini bulmuşlardır. Kuruma hızının infrared gücünün artmasıyla arttığını tespit etmişlerdir. Spesifik enerji tüketimi değerlerinin bütün kurutma şartları için 12.220-14.580 MJ/(kg –buharlaşan su) arasında değiştiğini bulmuşlardır. Ayrıca rehidrasyon oranı ve renk parametrelerinin kurutma şartlarından etkilendiğini belirlemişlerdir.

Nasıroğlu ve Kocabıyık [22], 2009 yılında yapmış oldukları çalışmada kırmızı biber dilimlerini bir infrared kurutucuda üç farklı infrared gücünde (300-500 W) ve üç farklı hava hızında (1.0-2.0 m/s) gerçekleştirdikleri kurutma deneyleri sonucunda, 1.0-2.0 m/s hava hızlarında kuruma zamanının 300-500 W infared gücünde sırasıyla 314-455 dk, 213-297 dk ve 196-230 dk arasında değiştiğini bulmuşlardır. Bütün kurutma deneylerinin azalan hız periyodunda meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Spesifik enerji tüketiminin bütün kurutma şartları için 4.620-7.590 kWh/kg arasında değiştiğini bulmuşlardır. Renk parametreleri ve rehidrasyon oranının hava hızı ve infrared gücünden önemli ölçüde etkilendiğini belirlemişlerdir.

Polatçı ve Tarhan [23], 2009 yılında yapmış oldukları çalışmada reyhanı beş farklı kurutma yöntemi kullanarak (doğrudan temaslı kurutucuda kurutma, etüvde kurutma, gölgede kurutma, güneşte kurutma ve mikrodalga fırında kurutma) kurutmuşlardır. Bu denemeler sonucunda doğrudan temaslı kurutucuda kurutma işleminin 63-66 saat sürdüğünü bulmuşlardır. Ayrıca doğrudan temaslı kurutucuda iki farklı karıştırma sıklığında kurutma yaparak karıştırmanın kuruma zamanına ve kuru ürünün kalitesine önemli bir etkisinin olmadığını görmüşlerdir. Etüvde 45 ve 55 °C’ de yapılan kurutma işleminin sırasıyla 50 ve 34 saat sürdüğünü bulmuşlardır. Mikrodalgada ise iki farklı güç seviyesinde (280, 595 W) kurutma işlemi yapmışlardır ve kurutma işleminin diğer yöntemlere kıyasla çok hızlı olduğunu ve 9-22 dakikada tamamlandığını bulmuşlardır. Fakat mikrodalgada kurutma yapmanın kalite özellikleri açısından reyhan bitkisini kurutmak için elverişli olmadığını belirlemişlerdir. Reyhan bitkisini gölgede ve güneşte kurutmanın kalite özelliklerini bozduğunu görmüşlerdir. Sonuçta reyhan bitkisi için etüvde kurutmanın daha uygun olduğunu tespit etmişlerdir.

Sarımeşeli [9], 2011 yılında yapmış olduğu çalışmada kişniş yaprakları bir mikrodalga kurutucuda, 180-900 W arasında değişen mikrodalga çıkış güçlerinde kurutmuştur. Bu denemelerin sonucunda etkin nem difüzivitesinin 6.300×10^{-11} -

$2.190 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değiştiği bulunmuştur ve sonuca en uygun modelin Midilli ve K       tarafından önerilen model [16] olduğu tespit edilmiştir. Kurutulmuş yaprakların renk parametrelerinin taze   rneklerinkine oldukça yakın olduğu ve mikrodalga gücünden etkilenmediği bulunmuştur. Ayrıca 180 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan örneklerin en yüksek rehidrasyon kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmadaki temel amaç, infrared enerjisi kullanarak   n işlemli ve   n işlemsiz maydanoz,   ilek, kırmızı biber ve yeşil biberin kurutulması prosesinde kütle transfer mekanizmasının araştırılması, kuru ürünün kalite parametreleri (C vitamini, renk değişimi ve rehidrasyon yeteneği)   zerine etkilerinin incelenmesi ve kuru maddedeki C vitamininin optimizasyonudur. Ayrıca bu malzemelerin kontrollü ve optimum şartlar altında kurutulmasından elde edilecek sonuçlar doğrultusunda, infrared ışınları ile kurutma tekniğinin mekanizması hakkında sektörün bilinçlendirilmesi, literatüre katkı sağlanması ve endüstriyel ölçekli üretime geçilmesi için gerekli ön bilgilerin derlenmesi konusunda oldukça faydalı olacağı düşünülmektedir.

3. GIDALARIN KURUTULMASI

3.1. Gıdaların Kurutularak Saklanması Tarihçesi

Gıdaların kurutulması, gıdaların içerisinde bulunan nemin uzaklaştırılması anlamına gelir [3]. Kurutma işlemi ilk kez 18. Yüzyılda başlamıştır. Kurutulan gıda sebze olmuştur. Daha sonra kurutmacılık savaşlarla birlikte büyük bir gelişme göstermiştir. 1854-1856 yılları arasında yapılan Crimea savaşında süvarilerin ülkelerinden gönderilmiş olan kurutulmuş sebzelerle beslenme ihtiyaçlarını karşılamışlardır. 1. Dünya Savaşında ise yaklaşık olarak 4500 ton kurutulmuş sebze ABD’ den savaş alanlarına gemilerle gönderilmiştir. ABD’ de kurutmacılık 1800’ lü yılların sonunda ve 1900’ lü yılların başında çok önemli bir ilerleme göstermiştir. Daha sonra yapay kurutma sistemleri yaygınlaşarak zamanla doğal (güneşte) kurutmacılığın yerini almıştır. 2. Dünya Savaşı’ ndan önceki dönemde kondüksiyon ve püskürtmeli kurutucular kullanılmış, bu sistemlerde en çok süt ve yumurta kurutulmuştur. Kurutmacılığın tanınması ve yaygınlaşmasında askeri amaçlı kullanımının etkisi büyüktür [24]. 1960’ lı yıllarda Kaliforniya Üniversitesi’ nden bir grup bilim adamı tünel kurutucuları geliştirerek başarılı sonuçlar almışlardır [10].

3.2. Kurutma Teknikleri ve Kurutucular

3.2.1. Güneşte Kurutma

Güneş enerjisinden faydalanılarak açık havada yapılan kurutma işlemidir. Doğal kurutma da denir [1]. Meyve ve sebzelerin kurutulması, birçok ülkede ve ülkemizin birçok bölgesinde güneş altında açık havada yapılmaktadır. Bu işlem meyve ve sebzelerin cinsine göre farklı sürelerde tamamlanmaktadır. Güneşte kurutmanın bazı dezavantajları vardır. Bunlar; kurutmanın uzun zaman alması, yüksek işçilik masrafları, iklimsel bazı olumsuzluklar, kurutma işleminin yapılması için geniş alanlara ihtiyaç duyulması, kurutma alanına serilen ürünlerin tek düze bir şekilde kurutulamaması, alanın kontrolünün zor olması, kurutma alanının ve ürünün çevresel kirlenmeden korunamaması ve güneş ışınlarının farklı dalga boylarında gelmesinden dolayı kimyasal yapısının ve renginin değişmesidir [17, 25, 26].

3.2.2. Dondurarak Kurutma

Kurutulacak ürün ilk önce dondurulur. Oluşan buz, vakumla buhar halinde emilir ve su buharı buz kondansatörlerinde dondurularak uzaklaştırılır. Bu yöntemle kurutulan ürünler, duyuşal özellikleri ve besin ögesi değeri açısından üstündür, fakat yatırım masrafı oldukça yüksektir. Bu yöntem daha çok su ilavesiyle hazırlanan hazır çorbaların üretiminde sıkça kullanılır [1].

3.2.3. Sıcak Havalı Kurutma

3.2.3.1. Kabin Kurutucular

Çok çeşitli kabin kurutucu tipleri vardır, fakat hepsinin çalışma ilkesi aynıdır. Kurutulacak ürün alt tarafı ızgara şeklinde bir çeşit tepsi olan kerevetlere yerleştirilir. Kerevetlerin üst üste getirilmesiyle oluşturulan arabalar daha sonra, arka arkaya arabalardan oluşan bir vagon haline getirilerek kurutma kabinine alınır. Tüm kurutma süresince kerevetler hareketsizdir. Sıcak hava kabinin yan duvarlarında bulunan ayarlanabilen panjurlardan girerek kerevetler arasından geçer. İçeride bulunan nemli havada yan duvarlardan kabin dışına çıkarak ısıtıcıya ulaşır.

Kabin kurutucularda bulunan en önemli sorun, kerevetler üzerinde her yerde aynı kurutma hızının sağlanamamasıdır. Bunun başlıca nedeni kerevetin her tarafında hava hızı, sıcaklığı ve nemin aynı seviyede tutulamayıdır. Bu sorunu önlemek için hava sirkülasyon fanı zaman zaman pozisyon değiştirilerek çalıştırılır yada uygun pozisyona yerleştirilmiş çift fan kullanılır.

Kabin kurutucular çoğunlukla, az miktarda ürün kurutacak kapasitede yapılırlar [1, 27].

3.2.3.2. Tünel Kurutucular

Tünel kurutucular, kabin kurutucuların daha gelişmiş bir şeklidir. Bu kurutucuların kabin kurutuculardan en önemli farkı, kerevetlerin üst üste getirilmesiyle oluşturulan arabaların bir tünel boyunca ray üzerinde hareket etmesidir. Bu kurutucularda, kurutulacak taze ürün taşıyan bir araba tünele sokulurken, tünelin diğer tarafından kurumuş ürün taşıyan başka bir araba dışarıya

çıkartılır. Böylece her araba, tünelde belirli sürelerde hareket ederek kurumuş halde tünelin sonunu gelir.

Bazı tünel kurutucu çeşitlerinde hava ve ürünün birbirlerine göre hareket yönleri farklıdır. Arabalarla sıcak havanın aynı yönde hareket ettiği tünellere paralel akış tüneli denir. Bu tip tünel kurutucu çeşitlerinde sıcak hava, ilk önce taze ürün ile karşılaşır ilerledikçe soğuyup nemi artar ve en son ileri düzeyde kurumuş olan ürünle temas eder.

Arabalarla sıcak havanın zıt yönde hareket ettiği tünellere zıt akış tüneli denir. Bu tip tünel kurutucu çeşitlerinde sıcak ve kuru hava ilk önce en fazla kurumuş olan ürünle temas eder ilerledikçe soğuyup nemi artar ve en son ıslak ürünle temas eder [1, 27].

3.2.3.3. Konveyör Kurutucular

Bu kurutuculara sürekli bant sistemi de denir. Çalışma ilkesi tünel kurutuculara benzer. Tünel kurutucularda bulunan kerevet ve vagonların yerini sürekli çalışan bir bant sistemi almıştır. Paslanmaz çelikten yapılmış elek biçiminde bir bantla taşınan ürüne alttan ve üstten sıcak hava verilmektedir.

Konveyör kurutucular, büyük miktarlarda ürün kurutmaya elverişlidir. Elma, soğan, fasulye ve havuç gibi doğranmış, kıyılmış veya parça halinde bulunan gıdaların kurutulmaları için elverişlidir [1, 27].

3.2.4. Sprey Kurutucular

Sprey kurutmada prensip, ürünün bir kurutucu hücresinde bulunan sıcak hava içerisine atomize edilerek dehidre edilmesidir. Sprey kurutucular genel olarak, bir sıcak hava üretim düzeni, bir atomizer, kurutma hücresi ve bir siklondan oluşmaktadır. Ayrıca pompalar, kontrol aletleri, borulu iletim sistemi, çeşitli yardımcı ekipmanlar ve gerekli olduğunda eklenen otomatik kontrol düzeni de sistemin tamamlayıcı üniteleridir.

Sprey kurutucularda işlem iki aşamada gerçekleşir. Birinci aşamada sıvı atomize edilir, ikinci aşama da ise oluşan partiküller kurutulur. Böylece bir besleme vasıtasıyla giren ürün, sıvı faz halinde iken sıcak bir ortamda kuruyarak katı faza geçmektedir [24].

3.2.5. Döner Kurutucular

Döner kurutucular silindirik metal bir gövdeye sahiptir. Bir motorla hareket ettirilen silindirik gövde, yatayla belli bir açı yapacak şekilde kendi ekseninde dönmektedir. Kurutulacak olan ürün kurutucunun yüksekte olan ucundan kurutucuya verilir. Kurutucunun dönme hareketinden dolayı ürün yavaş yavaş kurutucunun alçakta olan ucuna doğru ilerler ve buradan kurumuş ürün dışarıya alınır. Bu kurutucularda ısıtma, kurutucu içerisinde dolaşan sıcak hava ile yapılmaktadır. Kurutulacak ürünün kurutucu içerisinde ilerlemesini, karışmasını ve sıcak hava ile iyi bir şekilde temas gelmesini silindirik gövdenin iç yüzeyinde bulunan raf ve kanatlar sağlamaktadır [28].

3.2.6. Akışkan Yataklı Kurutucular

Akışkan yataklı kurutucularda, kurutulacak ürünün parçacıkları, sıcak bir hava akımı içerisinde ürünün kurutulması için gereken süre kadar asılı tutularak kurutulmaktadır.

Akışkan yataklı kurutucular genel olarak; akışkan yatak, besleme sistemi, çekiş fanları ve siklondan oluşmaktadır. Nemli ürün bir besleyici tarafından akışkanlaşma odasına beslenir. Burada yukarıya doğru hareket eden sıcak hava akımı ile temas ederek hızlı bir şekilde kurumaktadır. Kuruyan ürün siklonda toplanarak buradan dışarıya alınır. Kurutma için gerekli olan hava bir fan ve ona bağlı bir ısı değiştirici tarafından sağlanmaktadır. Bu kurutucular, serbestçe akan tanecik halindeki ürünlerin kurutulması için elverişlidirler [28].

3.2.7. Mikrodalga Kurutma

Mikrodalgalar yüksek frekanslı radyo dalgalarıdır ve çeşitli tipteki vericilerle oluşturulurlar. Bu mikrodalgalar, bir mikrodalga fırında dalga boyları birkaç santimetre olan, birçok kısa radyo dalgası veren bir lamba tarafından oluşturulur [29].

Bir gıda maddesinde bulunan su moleküllerindeki pozitif ve negatif yükler gıda içerisinde rastgele dağılmış bir şekilde bulunurlar. Eğer bu gıda maddesine mikrodalgalar gönderilirse öncelikle gıda içerisindeki su molekülleri tarafından

emilir ve mikrodalgaları emen moleküller, bu mikrodalgaların elektrik alanına göre dizilim gösterirler. Elektrik alan, saniyede milyonlarca defa salınarak gıda içerisindeki molekülleri uyarır ve konumlarının değişmesine sebep olur. Bu hızlı molekül salınımları sonucunda ısı oluşarak gıda maddesinin ısınmasını sağlar [8] .

3.2.8. İnfrared Kurutma

3.2.8.1. İnfraredin Tarihçesi

İnfrared bilimsel olarak 18. Yüzyılda keşfedilmiştir. Sir Frederic William Hearshel beyaz ışığı oluşturan renk tayflarının ne kadar ısı taşıdığını bulmak için yapmış olduğu deneylerde, ısıyı en fazla kırmızı ışığın taşıdığını tespit etmiştir. İnfraredin sanayide yaygın olarak kullanımı 1980 yılından sonra başlamıştır. İnfraredin imalatı olumlu sonuçlar vermesi ve ürün kalitesinin keşfedilmesiyle sanayide kullanımı hızla yaygınlaşarak birçok sektörde; kurutma, tavlama, pişirme vs. amaçlarla kullanılmaya başlanmıştır [30]. İnfraredin tıpta ve sanayide kullanımı uzun yıllara dayanmaktadır.

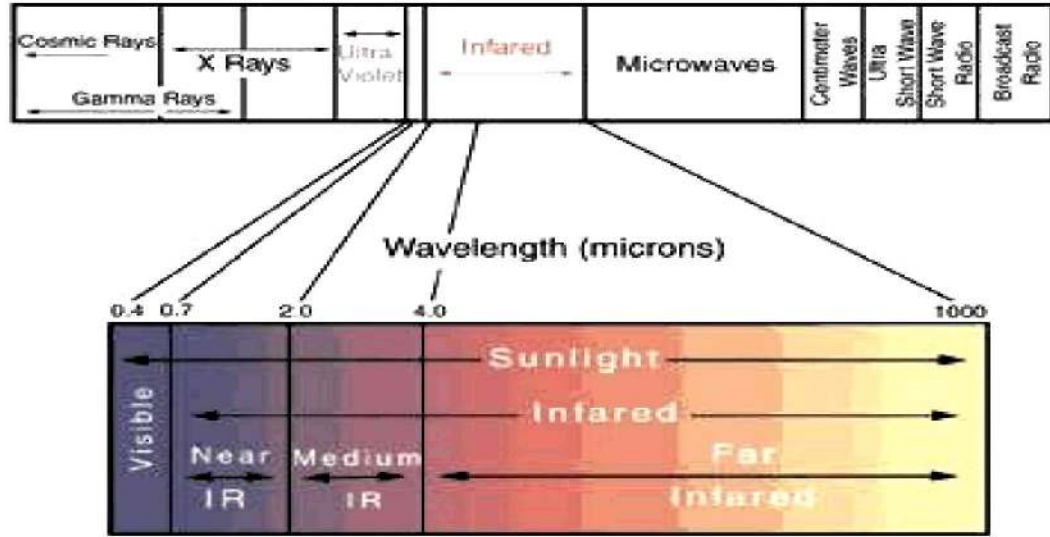
Günümüzde ısınma amaçlı kullanılmaya da başlanmıştır. Isıtılması zor olan yerleri ve alanları ekonomik, sağlıklı ve verimli bir şekilde ısıtabildiğinden hızla yaygınlaşmıştır [31].

3.2.8.2. İnfrared Hakkında Genel Bilgiler

Evrende bulunan bütün maddeler moleküllerden moleküller ise atomlardan oluşmaktadır. Atomların merkezinde bir çekirdek bulunur ve bu çekirdeğin yörüngesinde dönen farklı sayılarda elektronlar mevcuttur. Kararlı durumda bir atomda bulunan bu elektronlar düzenli olarak döner. Fakat çeşitli dış etkilere dolaylı bu düzen bozulduğu zaman elektron üst yörüngeye çıkar ve doğasını korumak için tekrar eski seviyesine iner. Bu iki enerji seviyesinin arasındaki fark kadar bir enerji açığa çıkar ve böylece bir foton enerjisi oluşur. Bu foton, elektromagnetik spektrumunda bulunan ışımalardan birisidir. Atomun özelliğine göre bu foton bir dalga boyuna ve bir ışıma enerjisine sahiptir. Bu ışıyan foton 0.76-300 mikrometre aralığında bulunan bir dalga boyuna sahip ise infrarede temsil eder. Görünür ışık ile

mikrodalgalar arasında kalan kısımdır ve ışık hızıyla ilerlerler. Kızıl ötesi ışınlar olarak da bilinir [31].

İnfrared ışıınıyı yakın, orta ve uzak infrared olmak üzere üç bölgede tanımlanır [30]. Elektromanyetik spektrumda (Şekil 3.1), Yakın infrared ışıınıyı, görünür bölge ışıınıının dalga boyuna çok yakinken, Uzak infrared ışıınıyı ise mikrodalga bölgesinin dalga boyuna çok yakındır [32]. Sıcaklığı -273°C nin üzerinde olan bütün maddeler infrared ışıını yaymaktadır [31].



Şekil 3.1. Elektromanyetik spektrum [33]

Elektromanyetik spektrum uzun dalga boyundan (düşük frekans, düşük enerjili radyo dalgaları) kısa dalga boyuna (yüksek frekans, yüksek enerjili gama ışınları) uzanan bir aralığı içermektedir. Elektromanyetik spektrum radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızıl ötesi ışıma, görünür ışık, mor ötesi ışınlar, x ışınları ve gama ışınları bölgelerine ayrılır [29].

3.2.8.3. İnfrared Kurutma Mekanizması

İnfrared kurutmada kurutma işlemi için gerekli olan ısı infrared enerjisinden elde edilmektedir. İnfrared ışınları katı ürün üzerine düşürölünce oluşan ısı katı ürün içerisinde iletilir ve kurutma olayı gerçekleşir.

Kuruma mekanizması radyant ısıtıcıdan katı ürüne radyasyonla ısı transferi, katı ürün içerisinde konduksiyonla ısı transferi ve katı üründen dış ortama nem transferi

basamaklarını içermektedir. İzotermal kuruma şartlarında, kütle transferi katı ürünün iç kısımlarında bulunan nemin yüzeye ve yüzeyden de dış ortama taşınması şeklinde gerçekleşir. Katı ürünün bünyesinde bulunan nemin taşınımı katı içi difüzyonla gerçekleşmektedir [34].

3.2.8.4. İnfrared Kurutma Tekniğinin Konvansiyonel Tekniklere Göre Avantajları

- Düşük yatırım maliyetine sahiptir.
- Kurulumu kolaydır.
- Önemli oranda enerji tasarrufu sağlar.
- Kalite kayıpları ve besinsel kayıplar azaltılır.
- Kısa sürede düzgün bir ısıtma sağlanır.
- Ekipmanları basittir ve esnek bir kullanım alanına sahiptir.
- Isıtma ve kurutmada hızlıdır, bu sayede aflatoxin gibi kanserojen maddelerin oluşmasını engeller.
- İnfrared enerji kullanılarak yapılan kurutma sistemlerinde tüketilen ana enerji kaynağı elektrik enerjisi olduğu için çevreye herhangi bir olumsuz etkisi yoktur [7, 21, 22, 30, 35, 36]. Bu avantajlarından dolayı infrared ışınlarıyla kurutma yönteminin patates [37-39], havuç [21, 39-41], elma [42-44], elma püresi [45], çekirdeksiz üzüm [46], muz [47], soğan [48, 49], şeftali [50], nane [17] gibi materyallere başarı ile uygulandığı çalışmalar bulunmaktadır.

3.3. Kurutmanın Prensipleri

Bir katı maddenin kuruması sırasında aynı anda iki işlem gerçekleşir.

1. Maddenin içerisinde bulunan sıvının buharlaştırılması için ısının kurutulan maddeye transfer edilmesi işlemi,
2. Materyaldeki suyun buhar halinde uzaklaşması şeklinde gerçekleşen kütle transfer işlemi,

Kurutma için gerekli olan ısı üç yöntemle verilebilir. Bunlar;

1. **Isı İletimi (kondüksiyon):** Kurutulacak materyalin ısı kaynağına temas edilerek materyalin bünyesindeki nemin buharlaştırılması için gerekli olan ısı materyale taşınarak kurutma işlemi gerçekleştirilir.

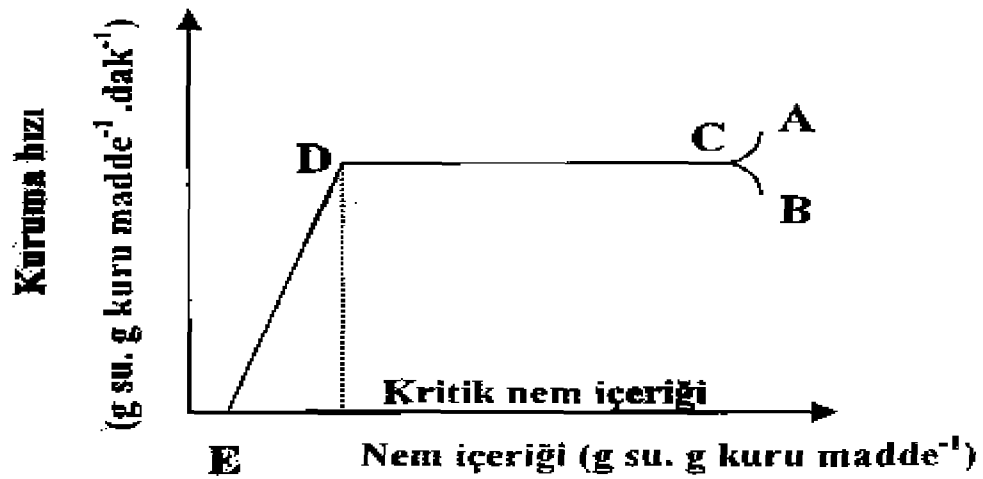
2. Isı Taşınımı (konveksiyon): Gerekli olan ısı hava aracılığıyla materyal üzerine taşınarak kurutma işlemi gerçekleştirilir.

3. Radyasyon (ışınım): Kurutulacak materyalin bünyesindeki nemin uzaklaştırılması için gerekli olan ısı infrared ışını kaynağından sağlanarak kurutma işlemi gerçekleştirilir [35].

3.4. Kurutmanın Temel Aşamaları

Genel olarak gıdaların kurutulması esnasında iki farklı kuruma periyodu gözlemlenir. Bunlar sabit hız periyodu ve azalan hız periyodudur.

Gıdaların kurutulması sırasında elde edilen tipik bir eğri Şekil 3.2’ deki gibidir. Bu şekildeki CD hattı sabit hız ile kurumanın olduğu, DE hattı azalan hız ile kurumanın olduğu kısımlardır. AC hattı gıdanın kurutma işlemi başlangıcında sıcak olması durumunda oluşur. BC hattı ise, gıdanın kurutma işlemi başlangıcında soğuk olması durumunda sağlanan eğridir. C noktasında sistem dengeye gelir ve kurutma işlemi kararlı bir durumda devam eder [10].



Şekil 3.2. Gıdaların kuruma eğrisi

3.4.1. Sabit Hızda Kuruma Periyodu

Sabit hızda kuruma periyodunun başlangıcında katının yüzey kısmı epeyce nemlidir ve kuruma yüzeyi ince bir su tabakası ile kaplıdır. Su, bağlı olmayan suyun özelliğini taşır ve buharlaşma işlemi katının varlığından bağımsız bir şekilde gerçekleşmektedir. Buharlaşma işleminin gerçekleştiği yüzeye katının iç kısımlarından nem transferi, yüzeyde gerçekleşen buharlaşmadan daha hızlı olduğu sürece sabit hızda kuruma periyodu devam eder [3].

3.4.2. Azalan Hızda Kuruma Periyodu

Kurutulan materyalin içerisindeki su oranı kritik nem miktarına düştüğü zaman, sabit hızda kuruma periyodu biter ve kuruma hızının git gide düştüğü azalan hızda kuruma periyodu başlar. Bu periyot esnasında kurutulmuş materyalin yüzeyi tamamıyla ıslak değildir. Bu sebeple kuruma hızı düşmeye başlar. Kuruma hızında değişimin başladığı andaki nem miktarına kritik nem miktarı denir. Serbest nem miktarı sıfır olduğu zaman, kuruma hızı da sıfıra yaklaşır ve kuruma işlemi sona erer [3].

3.5. Kuruma Hızını Etkileyen Genel Faktörler

Kuruma hızı; ısı ve kütle transferine etki eden faktörler tarafından kontrol edilir. Bu faktörlerin başlıcaları havanın sıcaklık ve nemi, havanın kurutucudaki hızı, kurutulacak materyallerin boyutları gibi fiziksel faktörlerle, kurutulmuş ürünlerin, başta bileşimi olmak üzere, kendine özgü olan diğer özellikleridir [27].

3.5.1. Sıcaklık

Kurutulacak olan gıdanın kurutulmadan önceki sıcaklığı ve kurutma ortamının sıcaklığı oldukça önemlidir. Çünkü gıdanın sıcaklığı ne kadar düşük ve kurutma ortamının sıcaklığı ne kadar yüksek olursa ısı transfer hızı da o derece etkili olur [1].

Kurutma işlemi esnasında sıcaklık arttıkça difüzyon hızı artar, buna bağlı olarak daha hızlı bir kuruma meydana gelir ve kuruma süresi kısalmır [10].

3.5.2. Kurutulan Materyal Boyutları

Gıdanın kuruma hızı, parçacıkların yüzey alanı ile doğru, fakat kalınlıkları ile ters orantılı olarak değişir. Kurutulan parçacıklar küçüldükçe yüzey alanı büyür. Dolayısıyla kuruma hızı olumlu yönde etkilenir [1]. Sonuçta ısıнын kurutulan gıdanın iç kısmına ulaşma süresini azaltarak gıdanın neminin daha kısa sürede uzaklaştırılmasını sağlar [10].

3.5.3. Havanın Nemi

Havanın nisbi nemi, kurutmanın hangi seviyeye kadar sürdürüleceğini belirtir. Kurutulan gıdayla hava nemi arasında bir denge meydana gelinceye kadar kurutma işlemine devam edilir [1].

3.5.4. Ürünün Kimyasal Bileşimi

Kuruma süresince ürünün kimyasal bileşimi değişiklik gösterir.

- Küçük molekülü erimiş (tuz, şeker gibi) maddelerce zengin gıdalar, bu maddelerce daha fakir gıdalarla kuruma açısından kıyaslanırsa, çözünmüş maddelerin suyun buhar basıncını düşürerek suyun buharlaşmasını güçleştirdikleri için daha zor kurudukları görülür.
- Ortamda yağ bulunması kuruma hızını olumsuz yönde etkiler. Yağın sürekli faz olduğu bir emülsiyonda, su damlacıkları yağ tarafından sarıldığı için, böyle bir sistemde suyun buharlaşarak uzaklaşması güçtür.
- Glikoz içeren ürünler geç kururlar.
- Nişasta ve pektince zengin olan maddelerin kurutulması oldukça güçtür [1, 10].

3.6. Gıdaların Kurutulması Sırasında Meydana Gelen Başlıca Değişiklikler

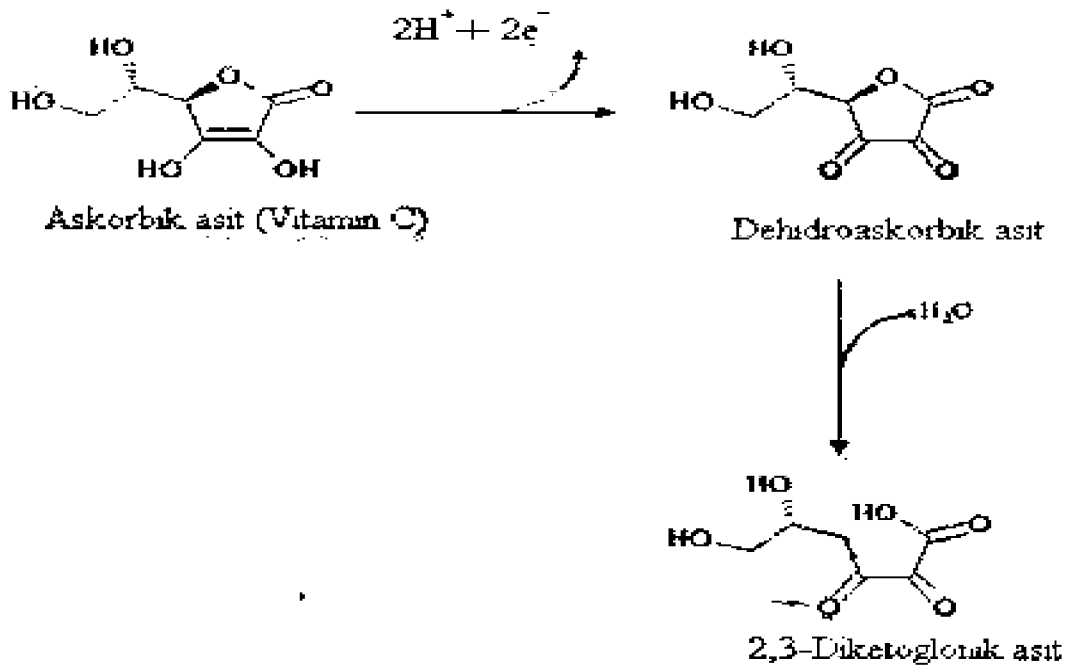
Kurutma esnasında meydana gelen kimyasal ve fiziksel değişimler gıdalarda kalite kaybına, besin değerinin düşmesine ve dolayısıyla kalitesiz olarak değerlendirilmesine sebep olmaktadır [10]. Bu amaçla kurutulmuş gıdaların rehidrasyon kapasitesi, vitamin kayıpları ve renk değişimleri gibi kalite özelliklerinin belirlenmesi gerekir.

3.6.1. Rehidrasyon Kapasitesi

Kurutulmuş bir üründe aranan en önemli özellik suda bekletildiğinde taze iken içerdiği miktar kadar su absorplayarak eski haline ve şekline dönebilme yeteneğidir. Kurutma şartlarına bağlı olarak materyalin yapısında meydana gelen değişiklikler sebebiyle değişen oranlarda rehidrasyon kapasitesi sağlanır. Bu kapasite işlem sırasında materyalin kazandığı su miktarıdır. Rehidrasyon sıcaklığı ve süre rehidrasyon kapasitesini önemli ölçüde etkiler [27].

3.6.2. Vitamin Kayıpları

Gıdaların kurutulması, besin kayıplarına sebep olabilir. Gıdaların yapılarında mevcut olan çeşitli vitaminlerin kurutma işlemi esnasında oluşan oksidasyon ürünleri ile reaksiyona girmeleri sonucunda gıdaların besin değerlerinde azalmalar olur. Vitamin kayıplarını en aza indirmek için kurutma süresi kısa olmalı ve depolanmaları esnasındaki nem miktarı, sıcaklık ve oksijen seviyesi düşük olmalıdır. Örneğin kurutulması esnasında C vitamini (askorbik asit) bozunması ile oluşan kimyasal değişimler Şekil 3.3’ deki gibidir [10].



Şekil 3.3. Gıdaların kurutulması esnasında meydana gelen C vitamini oksidasyonu [10]

3.6.3. Renk Değişimleri

Kurutma esnasında meydana gelen renk değişimleri tüketici tercihini önemli ölçüde etkileyen özelliklerdendir. Çünkü sebze ve meyvelere renk veren karoten pigmentleri kurutma prosesi esnasında ısı ile oksidasyona uğrar ve bozunur. Sonuçta kurutulan maddede renk değişimleri gözlenir. Bu değişimler yine kurutucu tipine ve kurutma şartlarına önemli ölçüde bağlıdır [10].

4. MAYDANOZ, ÇİLEK VE BİBER HAKKINDA GENEL BİLGİ

4.1. Maydanoz

Şemsiye çiçekligillerden olan iki yıllık otsu bir bitkidir. İlk yılında 30-40 cm kadar uzayabilen bitki, bol yapraklı bir rozet oluşturmaktadır. İkinci yılında ise gövdeleri oluşur ve bunların arasından 80-100 cm kadar uzayan saplarının ucunda şemsiye biçiminde başı bulunan ufak, sarı renkli pek çok çiçek açar. Maydanozun gövdesi ve sapları yuvarlaktır, içi dolu ve hoş kokuludur. Yaprakları çok parçalıdır. Üst kısımları koyu yeşil ve alt kısımları daha açık yeşil renklidir. Bitkinin ikinci yılında olgunlaşan çiçeklerden oluşan minik tohumlar esmer renkli ve ufaktır [51, 52].

100 gram taze maydanozun içerisinde bulunan besin değerleri: 34 kalori, 7.7 mg demir, 760 mg potasyum, 200 mg kalsiyum, 4.040 mcg A vitamini kaynağı olan betakaroten, 10 mg folik asit ve 190 mg C vitamini şeklindedir [51].

4.2. Çilek

Çilek meyvesini veren çilek bitkisi, gülgillerdendir. Birçok türü ve çeşidi mevcut olan *Fragaria* cinsi çok yıllık otsu ve sürüngen bitki olan çilekler; kök gövde, kök, yaprak, stolon (kol), çiçek ve meyve salkımlarından oluşur. Kök gövdesinden çıkan ana kökler sertleştiği zaman renkleri koyu kahverengi olur ve sayıları 20-30 kadardır. Yan kökleri beyaz renklidir ve sayıca fazladır. Süzek topraklarda çileğin kökleri 60-70 cm kadar derine ulaşırken, ağır topraklarda ise yüzeysel olarak uzama gösterirler. Bitkinin kök gövdesi, bodurlaşmış bir gövdedir. Kenarları dişli olan yeşil renkli yaprakları genellikle üç yapraklıktan oluşmaktadır. Çilek bitkisi yaz süresince yaprak koltuklarından tomurcuklar oluşturarak stolonlar çıkarırlar ve bu stolonlar yapraktan aldıkları suyu iletebilecek özellikte olan gerçek gövde parçalarıdır. Köklenerek kendi yaşamlarını sürdürebilirler. Çilek bitkisi ilkbaharda beyaz çiçek açar. Bu çiçekler tozlaşmadan 30-35 gün sonra olgunlaşarak üzüm, bileşik ve ufak çekirdeklere sahip kırmızı, pembe ve bazen beyaz renkli olan meyvelere dönüşür.

100 gram taze çileğin içerisinde bulunan besin değerleri: 37 kalori, 0.7 g protein, 8.4 g karbonhidrat, 0.5 g yağ, 1.3 g lif, 21 mg fosfor, 21 mg kalsiyum, 1 mg demir, 1 mg sodyum, 164 mg potasyum, 12 mg magnezyum, 60 IU A vitamini,

0.03 mg B1 vitamini, 0.07 mg B2 vitamini, 0.6 mg B3 vitamini, 0.055 mg B6 vitamini, 4.6 mcg folik asit, 77 mg C vitamini ve 0.2 mg E vitamini şeklindedir [51].

4.3. Biber

Biber sebzelerini veren biber bitkisi patlıcangillerdendir. Biberin 700 kadar türü mevcuttur. 50-100 cm kadar uzanan bir yıllık otsu bitki olan biberin sap ve dalları zamanla sertleşir. Bazı yerlerde iki yıllık bir bitki olarak gelişip, çalimsı bir görünüş kazanmaktadır. Tropik bölgelerde ise ağaççık halini almaktadır. Biber bitkisinin türlerine göre değişmekle birlikte, uzunca oval şekilli, kenarları düz olan yapraklarının rengi açık yeşilden koyu yeşile kadar değişen tonlardadır. Yaz aylarında beyaz ve nadir olarak menekşe renginde çiçek açar. Biberler renk, biçim, tat ve büyüklük açısından türlerine göre farklılıklar gösterir.

100 gram dolmalık veya sivri taze biberin içerisinde bulunan besin değerleri: 22 kalori, 1.2 g protein, 4.8 g karbonhidrat, 0.2 g yağ, 1.4 g lif, 22 mg fosfor, 9 mg kalsiyum, 0.7 mg demir, 13 mg sodyum, 213 mg potasyum, 420 IU A vitamini, 0.08 mg B1 vitamini, 0.08 mg B2 vitamini, 0.5 mg B3 vitamini, 0.26 mg B6 vitamini, 9.8 mcg folik asit, 128 mg C vitamini ve 0.7 mg E vitamini şeklindedir.

Acı kırmızı biberlerin bazı besin değerleri daha yüksektir. Bunlar; 32 kalori, 3.840 mcg A vitamini kaynağı olan betakaroten, 140 mg C vitamini ve 0.8 mg E vitamini şeklindedir [51].

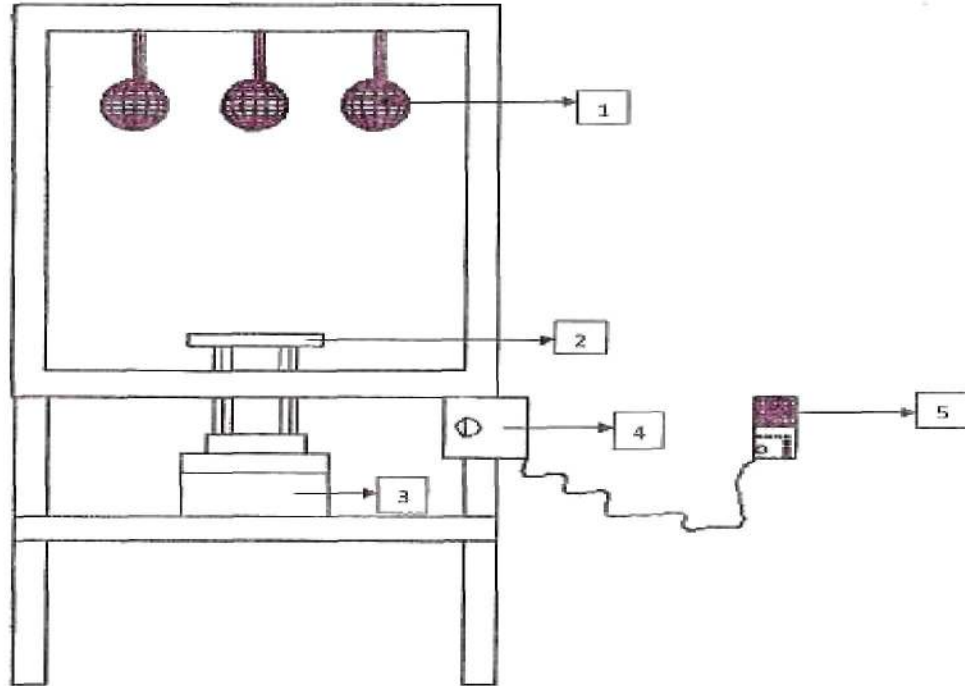
5. MATERYAL VE YÖNTEM

5.1. Araştırmada Kullanılan Materyaller

Bu çalışmada, araştırma materyalleri olarak maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biber seçilmiştir. Kurutma için seçilen bu materyaller yerel bir marketten temin edilerek $+4^{\circ}\text{C}$ ' de muhafaza edilmiştir. Kurutma denemelerine başlamadan önce örnekler laboratuvar ortamına alınarak ortam sıcaklığına ulaşması için 2-3 saat bekletilmişlerdir. Daha sonra bu örneklerden 50' şer gram alınarak kurutma öncesi nem içerikleri 105°C ' de 24 h bir etüvde bekletilerek belirlenmiştir [6, 10]. Başlangıç nem miktarları; taze maydanoz için % 83, taze çilek için % 92.6, taze kırmızı biber için % 90.4 ve taze yeşil biber için % 92.5 olarak bulunmuştur.

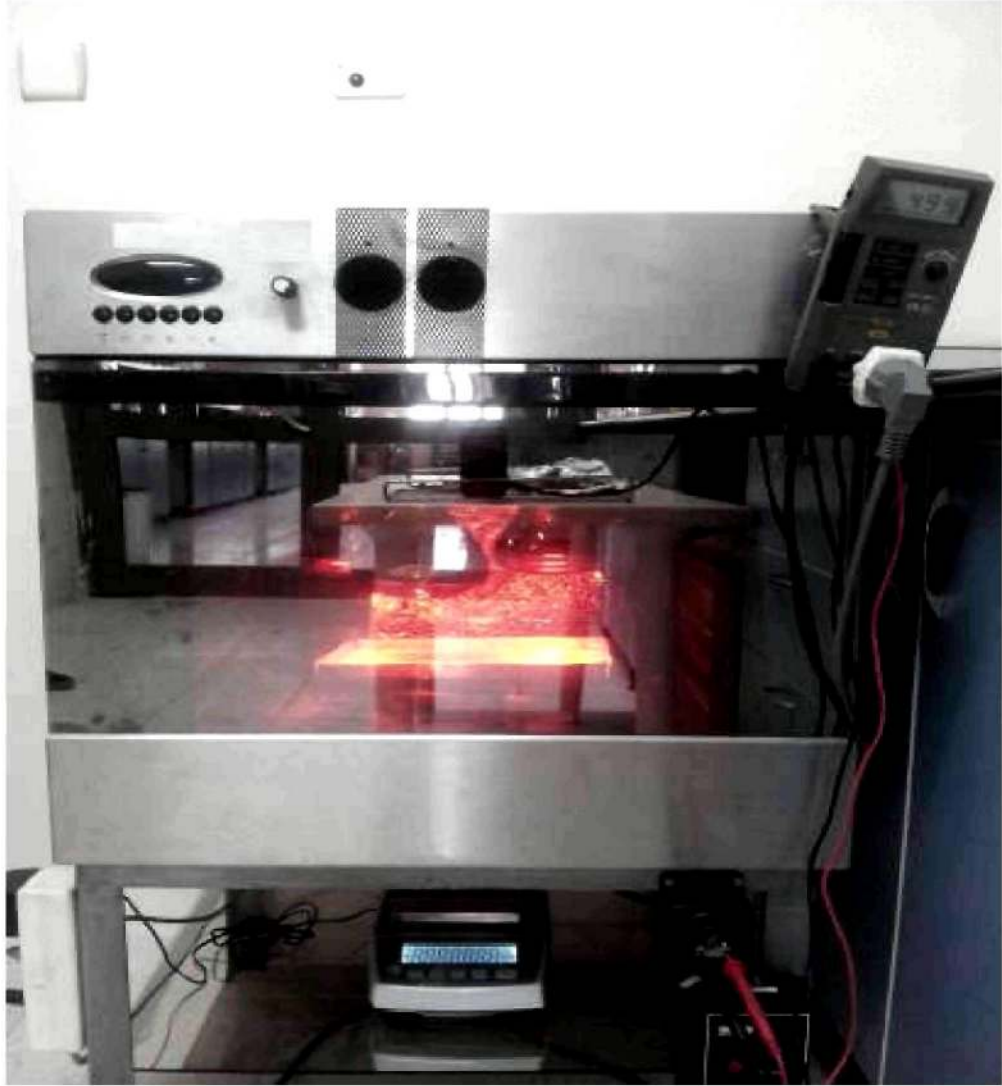
5.2. İnfrared Kurutucu

İnfrared enerjisi kullanarak çeşitli sebze ve meyveleri kurutmak için geliştirilen infrared kurutma düzeneği Şekil 5.1' de, infrared kurutucunun genel görünümü ise Şekil 5.2' de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. İnfrared kurutma düzeneği

- 1- İnfrared lamba (250 W)
- 2- Kurutma tepsisi
- 3- Hassas terazi
- 4- Dimmer
- 5- Wattmetre



Şekil 5.2. İnfrared kurutucunun genel görünümü

Kurutma bölmesi 53.5 cm eninde, 54 cm boyunda ve 57 cm yüksekliğindedir. İç kısım ışığı yansıtıcı alüminyum folyo ile kaplanmıştır ve kurutma odasının ön kısmında açılıp kapanabilen bir kapı bulunmaktadır. İnfrared ısı kaynağı olarak 250 W gücünde 3 adet infrared lamba kurutma bölmesinin tavanına monte edilmiştir. Lambalardan farklı infrared güçleri elde etmek için Dimmer (Promed) kullanılmıştır. Dimmerden ayarlanan güç değerlerinin okumaları bir Wattmetre (Lutron DV6060)

vasıtasıyla yapılmıştır. Üründen buharlaştırılan nemin uzaklaştırılması için bir tane fan kullanılmıştır.

Kurutma esnasında örnekleri üzerinde kurutmak için tel ızgaradan yapılmış 26.5x18.5 cm ebatlarında bir adet kurutma tepsi kullanılmıştır. Kurutma tepsi, kurutma esnasında örnekte meydana gelen kütle kaybının belirlenmesi için dijital bir terazi (Kern PCB) üzerine yerleştirilmiştir.

5.3. Deneylerin Yapılışı

5.3.1. Materyallerin Hazırlanması

Kurutma işleminden önce, maydanoz yaprakları saplarından ayıklanmıştır. Daha sonra su ile yıkanıp süzildikten sonra bir filtre kağıdı ile kurulanmıştır. Bir elektronik mikrometre ile örneklerin kalınlığı 0.32 mm olarak ölçülmüştür. Çilek örnekleri önce su ile yıkanıp süzildikten sonra bir filtre kağıdı ile kurulanmıştır. Daha sonra 0.3 cm kalınlığında halka şeklinde kesilmiştir. Kırmızı biber örnekleri su ile yıkanıp süzildikten sonra bir filtre kağıdı ile kurulanmıştır. Daha sonra 0.65x0.65 cm ebatlarında kesilmiştir ve örneklerin kalınlığı 0.4 cm olarak ölçülmüştür. Yeşil biber örnekleri su ile yıkanıp süzildikten sonra bir filtre kağıdı ile kurulanmıştır. Daha sonra 0.7x0.7 cm ebatlarında kesilmiştir ve örneklerin kalınlığı 0.35 cm olarak ölçülmüştür. Örnekler tepsiye düzgün bir şekilde ve tek sıralı olarak yerleştirilmiştir. Denemeler 300-500 W infrared kurutma güçlerinde ön işlemsiz yapılmıştır. Ayrıca ön işlemin kurutma prosesine etkisinin incelenmesi amacıyla maydanoz, kırmızı biber ve yeşil biber örneklerinin bir kısmı su banyosunda ısıtılan (Nüve NB9) 80 °C distile suda 3 dk bekletildikten sonra, çilek örneklerinin bir kısmının ise % 2 Etil Oleat+% 5 K₂CO₃ çözeltisinde 1 dk bekletildikten sonra soğuk distile sudan geçirilip iyice süzümüştür ve aynı kurutma çalışmaları ön işlemleri olarak gerçekleştirilmiştir.

Her denemeden önce ayarlanan kurutma güç değerlerinde kararlı hale ulaşabilmek için kurutucu 5 dakika boşa çalıştırılmıştır.

5.3.2. Kuruma Süresi ve Kuruma Hızlarının Belirlenmesi

Kuruma zamanı maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biber materyallerinin ilk nem içeriğinden (sırası ile % 83, % 92.6, % 90.4 ve % 92.5) yaklaşık % 10 son nem içeriğine ulaşıncaya kadar geçen süre olarak belirlenmiştir.

Maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biber materyallerinin infrared kurutma tekniği kullanılarak kurutulmasına ait deneylerde; 20 gram maydanoz, 130 gram çilek, 100 gram kırmızı biber ve 100 gram yeşil biber ön işlemsiz ve ön işlemli olarak 300-500 W infrared kurutma güçlerinde kurutulmuştur.

5.3.3. Rehidrasyon Kapasitesinin Belirlenmesi

Infrared kurutma tekniğinin maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biber materyallerinin rehidrasyon kapasitesi üzerindeki etkisini incelemek için 300-500 W infrared kurutma güçlerinde kurutulmuş ön işlemsiz ve ön işlemli örnekler soğutulduktan sonra 1' er gram tartılarak su banyosunda ısıtılan 85 °C' deki distile suda 5' er dakika bekletilip soğuk distile sudan geçirilerek iyice süzölmüştür. Daha sonra kurutulmuş örnekler tarafından absorplanan su miktarları tartılarak belirlenmiştir.

5.3.4. Renk Değişimlerinin Belirlenmesi

Infrared kurutma tekniğinin maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biber materyallerinin renk değişimi üzerindeki etkisini incelemek için; öncelikle materyallerin kurutma öncesinde ve daha sonra da 300-500 W infrared kurutma güçlerinde ön işlemsiz ve ön işlemli olarak kurutulduktan sonra renk değişim değerleri Konica Minolta firmasının ürettiği CR-100 renk ölçüm cihazı ile belirlenmiştir. Renk ölçümleri yapılmadan önce renk ölçüm cihazı beyaz standart kalibrasyon plakası ile kalibre edilmiştir. Kurutulan maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biber numunelerinin renk değişimlerinin bütün numunenin renk değişimini kapsamaları için beş farklı noktadan renk ölçümü yapılarak elde edilen değerlerin ortalamaları alınmıştır.

5.3.5. Kurutulmuş Ürünlerdeki C Vitamini Miktarının Belirlenmesi

Maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biber örneklerinin C vitamini analizi için Anaitik Kimya Birliği tarafından belirlenen standart titrimetrik metod kullanılmıştır [53].

5.3.5.1. Çözeltilerin Hazırlanması ve Kimyasal analizler

Deneyler için gerekli L-askorbik asit standart kimyasalı, metafosforik asit, asetik asit çözeltisi, 2,6- dikloroindofenol ve sodyum hidrojen karbonat MERCK (İstanbul, Türkiye) tarafından sağlanmıştır ve bu kimyasallar analitik saflıktadır.

2,6- dikloroindofenol çözeltisinin hazırlanması: 50 mg 2,6- dikloroindofenol tozu 50 ml distile suda çözülmüştür ve 42 mg sodyum hidrojen karbonat tozu eklenmiştir. Hacim distile su ile 200 ml' ye tamamlandıktan sonra çözelti süzgeç kağıdı kullanılarak süzölmüştür ve deneylerde kullanıllana kadar koyu sarı renkli cam şişede saklanmıştır.

% 3' lük (w/v) metafosforik asit/asetik asit çözeltisinin hazırlanması: 15 g metafosforik asit taneleri 40 ml asetik asitte çözülmüştür ve çözelti distile su ile 500 ml' ye seyreltilmiştir. Sonra bu çözelti süzgeç kağıdı kullanılarak süzölmüştür ve cam şişeye konularak buzdolabında 4 ± 0.5 °C' de bekletilmiştir.

Askorbik asit standart çözeltisinin hazırlanması: 50 mg L-askorbik asit standart kimyasalı tartılmıştır ve % 3' lük (w/v) metafosforik asit/asetik asit çözeltisinde çözülmüştür.

Kontrol çözeltisi: 30 ml distile su 7 ml % 3' lük (w/v) metafosforik asit/asetik asit çözeltisine eklenmiştir ve 2,6- dikloroindofenol çözeltisi ile kalıcı gül pembesi rengi oluşana kadar titrasyon yapılmıştır. Daha sonra kullanılan titrantın hacmi kontrol çözeltisi için kaydedilmiştir.

Standart çözelti: Standart L-askorbik asit çözeltileri hazırlamak için, 0.5, 1, 1.5 ve 2 ml standart L-askorbik asit çözeltilerinin herbiri 6 ml % 3' lük (w/v) metafosforik asit/asetik asit çözeltisi ile karıştırılmıştır ve 30 ml distile su ile seyreltilmiştir. Çözeltiler 2,6-dikloroindofenol çözeltisi ile titre edilmiştir. Daha sonra kullanılan titrant hacimleri kaydedilmiştir.

Örnek çözelti: 5 g kurutulmuş örnek tartılmıştır ve 150 ml % 3' lük (w/v) metafosforik asit/asetik asit çözeltisi ile blenderda yüksek hızda karıştırılmıştır.

Sonra süzgeç kağıdı kullanılarak süzölmüştür. Süzölen çözelti 250 ml' ye % 3' lük (w/v) metafosforik asit/asetik asit çözeltisi ile seyreltilmiştir. Örnek çözeltiler titrasyon işlemi yapılacağı zaman hazırlanmıştır. Sonra 1 ml örnek çözeltisi 6 ml % 3' lük (w/v) metafosforik asit/asetik asit çözeltisi ve 30 ml distile su ile tekrar seyreltilmiştir. Bu çözelti 2,6-dikloroindofenol çözeltisi ile titre edilmiştir ve kullanılan titrantın hacmi kaydedilmiştir.

Standart L-askorbik asit çözeltisi ve örnek çözeltisi için kullanılan titrant hacimleri, bu standart ve örnek çözeltilerinden kontrol çözeltisi için kullanılan titrant hacminin çıkarılmasıyla hesaplanmıştır [54]. Taze maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biber örneklerinin ortalama C vitamini içeriği sırasıyla 129, 57, 160 ve 195 mg L-askorbik asit/ 100 g olarak bulunmuştur.

5.3.5.2. C Vitamininin Optimizasyonu

Deneyisel tasarım çalışmaları Yanıt Yüzey Metodu (RSM, DX-6 trial software) kullanılarak yapılmıştır. Bu amaçla merkezi kompozit tasarım (CCRD) seçimi 3 bağımsız ve 1 bağımlı değişkenden yararlanarak 20 deneme ile oluşturulmuştur. Bağımsız değişkenler maydanoz için; taze madde miktarı (A, 10.3-18.7 g), infrared gücü (B, 316-484 W) ve kuruma zamanı (C, 5.3-13.7 dk), çilek için; taze madde miktarı (A, 83-117 g), infrared gücü (B, 316-484 W) ve kuruma zamanı (C, 23-56 dk), kırmızı biber ve yeşil biber için; taze madde miktarı (A, 50-100 g), infrared gücü (B, 316-484 W) ve kuruma zamanı (C, 29-49 dk) olarak seçilmiştir. Bağımlı değişken C vitamini (mg/100 g) olarak seçilmiştir. İkinci dereceden polinom denklemle bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi tanımlayan matematiksel modeller geliştirilmiştir. Değişkenler Denklem 5.1' e göre kodlanmıştır [55].

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i + \sum_{i=1}^k b_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j}^k \sum_{j=1}^k b_{ij} X_i X_j + e \quad (5.1)$$

Burada; Y deneysel yanıt, e rastgele hata, b regresyon katsayısı, i, j lineer ve kuadratik katsayılarıdır

İşlem parametrelerini incelemek ve bu parametrelerin yanıt parametresine katkısını istatistiksel olarak belirlemek için değişken analizi (ANOVA) ve F testi uygulanmıştır [56]. Değişken analizi (ANOVA) DX6 trial software çalıştırılarak yapılmıştır. Türetilen denklemlerin yeterliliği ve uygunluğu F testi uygulanarak saptanmıştır. Hesaplanan belirleme katsayısı (R^2) ile bağımlı değişkenler ile bağımsız değişkenler arasında kuvvetli bir ilişki olup olmadığı belirlenmiştir [57].

ANOVA analizi sonucunda P değerinin 0.0000 olması bu değerin $P < 0.0001$ olduğunu ifade etmektedir. Bu değer 0.01' den küçük oldukça istatistiksel olarak ölçülen ve hesaplanan yanıt değerleri arasında % 99 güvenilirlikte bir ilişki olduğu ve modelin istatistiksel olarak geçerli olduğu anlaşılmaktadır [58].

F değerinin büyük olması işlem değişkeninin performans yanıtları üzerinde etkisinin büyük olduğunu ifade etmektedir [57].

Deney tasarımında kullanılan bağımsız değişkenlerin (taze madde miktarı, infrared gücü, kuruma zamanı) gerçek seviyeleri ve kodları Çizelge 5.1-5.3' te verilmiştir.

Çizelge 5.1. Maydanozda optimum C vitamini seviyesinin belirlenmesi için deneysel tasarım değişkenlerinin kodları ve gerçek seviyeleri

Bağımsız değişkenler	Semboller	Kodlar ve Seviyeler				
		-1.68	-1	0	1	1.68
Taze madde miktarı (g)	A	10.3	12	14.5	17	18.7
Infrared gücü (W)	B	316	350	400	450	484
Kuruma zamanı (dk)	C	5.3	7	9.5	12	13.7

Çizelge 5.2. Çilekte optimum C vitamini seviyesinin belirlenmesi için deneysel tasarım değişkenlerinin kodları ve gerçek seviyeleri

Bağımsız değişkenler	Semboller	Kodlar ve Seviyeler				
		-1.68	-1	0	1	1.68
Taze madde miktarı (g)	A	83	90	100	110	117
İnfrared gücü (W)	B	316	350	400	450	484
Kuruma zamanı (dk)	C	23	30	40	50	56

Çizelge 5.3. Kırmızı biberde ve yeşil biberde optimum C vitamini seviyesinin belirlenmesi için deneysel tasarım değişkenlerinin kodları ve gerçek seviyeleri

Bağımsız değişkenler	Semboller	Kodlar ve Seviyeler				
		-1.68	-1	0	1	1.68
Taze madde miktarı (g)	A	50	60	75	90	100
İnfrared gücü (W)	B	316	350	400	450	484
Kuruma zamanı (dk)	C	29	33	39	45	49

5.4. Deneysel Hesaplamalar

5.4.1. Nem İçeriklerinin Hesaplanması

Maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biber materyallerinin kuruma esnasındaki nem içeriği değerleri Denklem 5.2' den hesaplanmıştır [10].

$$M_t = \frac{m_t - m_{kuru}}{m_{kuru}} \quad (5.2)$$

M_t , t anındaki nem içeriği (g su/g kuru madde); m_t , ölçüm anındaki numunenin ağırlığı (g); m_{kuru} , materyalin içerdiği kuru madde miktarı (g)

5.4.2. Kuruma Hızlarının Hesaplanması

Kuruma hızı, birim zamanda materyalden uzaklaştırılan su miktarı olarak belirlenmiştir. Kuruma hızları Denklem 5.3' ten hesaplanmıştır [17, 59].

$$DR = \frac{M_{t+\Delta t} - M_t}{\Delta t} \quad (5.3)$$

DR, kuruma hızı (g su/g kuru madde. dk); $M_{t+\Delta t}$, $t+\Delta t$ anındaki nem içeriği (g su/g kuru madde); M_t , t anındaki nem içeriği (g su/g kuru madde); Δt zaman aralığı (dk)

5.4.3. Nem Oranlarının Hesaplanması

Nem oranları Denklem 5.4' ten hesaplanmıştır [10, 18, 60].

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (5.4)$$

MR, nem oranı (birimsiz); M_t , t anındaki nem içeriği (g su/g kuru madde); M_0 , materyalin başlangıçtaki nem içeriği (g su/g kuru madde); M_e , denge nem miktarı (g su/g kuru madde)

Denge nem miktarı t anındaki nem içeriği ve materyalin başlangıçtaki nem içeriğine kıyasla çok küçük olduğu için ihmal edilmiştir.

5.4.4. Kuruma Kinetiğine Ait Modellerin Hesaplanması

5.4.4.1. Page Modeli

Page modeli Denklem 5.5' te verilmiştir [9-11].

$$MR = \exp(-k \times t^n) \quad (5.5)$$

k, kinetik sabit (1/dk); n, Page modeline ait bir katsayı; t, kuruma zamanı (dk)

5.4.4.2. Newton Modeli

Newton modeli Denklem 5.6' da verilmiştir [9, 11].

$$MR = \exp(-k \times t) \quad (5.6)$$

k, kinetik sabit (1/dk); t, kuruma zamanı (dk)

5.4.4.3. Handerson ve Pabis Modeli

Handerson ve Pabis Modeli Denklem 5.7' de verilmiştir [9, 10].

$$MR = a \times \exp(-k \times t) \quad (5.7)$$

a, katsayı (birimsiz); k, kinetik sabit (1/dk); t, kuruma zamanı (dk)

5.4.4.4. Wang ve Singh Modeli

Wang ve Singh Modeli Denklem 5.8' de verilmiştir [9, 20] .

$$MR = 1 + a \times t + b \times t^2 \quad (5.8)$$

a, katsayı (1/dk); b, katsayı (1/dk²); t, kuruma zamanı (dk)

5.4.5. Etkin Difüzivite Katsayılarının Hesaplanması

Bir higroskopik katı içerisindeki nem hareketinin mekanizması etkin nem difüzivitesi ile temsil edilir. Kurutma işlemi boyunca, difüzivitenin materyal yüzeyine suyun transferi için fiziksel bir mekanizma olduğu varsayılır ve Denklem 5.9' da gösterildiği gibi kartezyen koordinatlarda Fick' in ikinci difüzyon yasasıyla ifade edilir [61].

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D_{eff} \frac{\partial M}{\partial X^2} \quad (5.9)$$

Bu kısmi diferansiyel denklemin çözümü için aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır.

1. Başlangıçtaki nem dağılımı materyal boyunca değişmez.
2. Kütle transferi merkeze göre simetrik.
3. Örneğin yüzey nem içeriği çevresi ile hemen dengeye gelir, yani kütle transferine gösterilen dış direnç iç dirence kıyasla ($Bi \gg 1$) ihmal edilebilir.
4. Difüzyon katsayısı sabittir ve büzülme ihmal edilebilir. Buna göre başlangıç ve sınır şartları Denklem 5.9a-5.9c' de verilmiştir.

$$t = 0, -L < x < L, M = M_0 \quad (5.9a)$$

$$t > 0, x = L, M = M_e \quad (5.9b)$$

$$t > 0, x = -L, M = M_e \quad (5.9c)$$

Ancak kütle transferi 2. varsayımda tanımlandığı gibi simetrik ise Denklem 5.9b aşağıdaki şekilde de yazılabilir.

$$t > 0, x = 0, \frac{\partial M}{\partial t} = 0 \quad (5.9d)$$

Böylece yukarıdaki sınır koşulları ve değişkenlerine ayırma metodu kullanılmasıyla Denklem 5.9' un çözümü aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(-\frac{(2n+1)^2 D_{eff} \pi^2}{4L^2} \times t\right) \quad (5.10)$$

Serinin sadece ilk teriminin önemli olduğu dikkate alınırsa çözüm Denklem 5.11' deki gibi yeniden yazılabilir [9, 10, 18].

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{D_{eff}\pi^2}{4L^2} \times t\right) \quad (5.11)$$

Denge nem miktarı sıfıra eşit olarak kabul edilirse MR aşağıdaki gibi yazılabilir [9].

$$MR = \frac{M_t}{M_0} = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{D_{eff}\pi^2}{4L^2} \times t\right) \quad (5.12)$$

Burada; D_{eff} , etkin difüzyon katsayısı (m^2/s); L, katıda difüzyonun olduğu boyutun yarı kalınlığı (m); t, kuruma zamanı (s)

Gıdaların kurutulması esnasında gerçekleşen kütle transferinin en önemli ölçütü olan etkin difüzyon katsayısı, çapı kalınlığından daha büyük olduğundan dilim kabulü yapılan maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biber materyalleri için Denklem 5.12' in her iki tarafının ln' inin alınmasıyla elde edilir [9, 10, 18, 62].

$$\ln(MR) = \ln\left(\frac{8}{\pi^2}\right) - \left(\frac{D_{eff} \times \pi^2}{4L^2} \times t\right) \quad (5.13)$$

Maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biber materyallerinin 300-500 W infrared kurutma güçlerinde kurutulmaları esnasında elde edilen verilerden yararlanılarak hesaplanan MR değerlerinden $\ln(MR)$ değerleri hesaplanarak t değerlerine karşı grafiğe geçirilmeleri sonucunda elde edilen grafiğin eğiminden

$\left(-\frac{D_{eff} \times \pi^2}{4L^2}\right)$ yararlanarak etkin difüzyon katsayıları hesaplanmıştır.

5.4.6. Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması

Aktivasyon enerjisi Denklem 5.14' den hesaplanmıştır [18].

$$D_{eff} = D_0 \times \exp\left(\frac{-E_a \times m}{P}\right) \quad (5.14)$$

Burada; D_0 , ön-eksponansiyel faktör (m^2/s); E_a , aktivasyon enerjisi (W/g); m , taze örneğin kütlesi (g); P , infrared gücü (W)

Denklem 5.14' ün her iki tarafının $\ln$ ' i alınırsa Denklem 5.15 elde edilir.

$$\ln(D_{eff}) = \ln(D_0) - \left(\frac{E_a \times m}{P}\right) \quad (5.15)$$

Denklem 5.12' den yararlanılarak elde edilen D_{eff} değerlerinden $\ln(D_{eff})$ değerleri hesaplanarak m/P değerlerine karşı grafiğe geçirilmeleri sonucunda elde edilen grafiğin eğiminden aktivasyon enerjisi (E_a) belirlenmiştir.

5.4.7. Regresyon Analizi

Regresyon analizlerinde Microsoft Office Excel Solver Programı kullanılmıştır. Belirleme katsayısı (R^2) materyallerin kuruma eğrilerini tanımlayan denklemi seçmek için temel kriter olarak alınmıştır. Tahminin standart hatası (RMSE) ve ki-kare (χ^2) değerleriyle kullanılan modelin uygunluğu belirlenmiştir. En düşük χ^2 ve RMSE ile en yüksek R^2 değerleri materyalin kuruma karakteristiğini tanımlayan en iyi modeldir.

Denklem 5.16' dan RMSE ve Denklem 5.17' den χ^2 hesaplanmıştır [60].

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N}} \quad (5.16)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - z} \quad (5.17)$$

Burada; RMSE, tahminin standart hatası; χ^2 , ki-kare; $MR_{exp, i}$ ve $MR_{pre, i}$ deneysel ve tahmin edilen nem oranı değerleri; N, deneysel veri sayısı; z, kullanılan parametre sayısıdır.

Tahminin standart hatası, ampirik ve deneysel değerler arasındaki sapmayı ifade eder.

5.4.8. Rehidrasyon Kapasitesinin Hesaplanması

Rehidrasyon kapasitesi Denklem 5.18' den hesaplanmıştır [19, 21].

$$RK = \frac{m_{rehid}}{m_{kuru}} \quad (5.18)$$

Burada; RK, rehidrasyon kapasitesi; m_{kuru} , materyalin içerdiği kuru madde miktarı (g); m_{rehid} , rehidrasyon sonrası ürünün ağırlığı (g)

6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

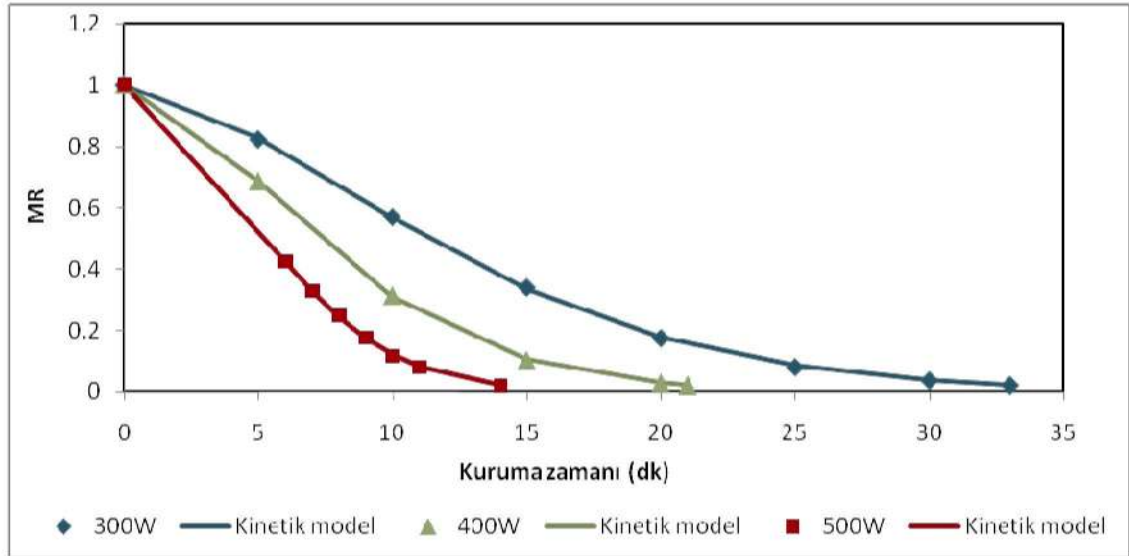
6.1. Kuruma Süreleri

Maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biber örneklerinin 300, 400 ve 500 W infrared kurutma güçlerinde ilk nem içeriğinden (sırası ile % 83, % 92.6, % 90.4 ve % 92.5) yaklaşık % 10 son nem içeriğine kadar kuruma süreleri sırasıyla maydanoz için; 33, 21, 14 dk, çilek için; 165, 110, 78 dk, kırmızı biber için; 110, 87, 66 dk ve yeşil biber için; 118, 80, 61 dk olarak belirlenmiştir. Görüldüğü gibi infrared gücü arttıkça kuruma zamanı kısalmaktadır. Benzer şekilde Das ve arkadaşları [63] üç farklı çeltik için, Afsal ve Abe [64] patates için, Sharma ve arkadaşları [65] ile Pathare ve Sharma [49] soğan dilimleri için infrared gücü veya infrared radyasyon yoğunluğu arttıkça kuruma zamanının azaldığını belirtmişlerdir.

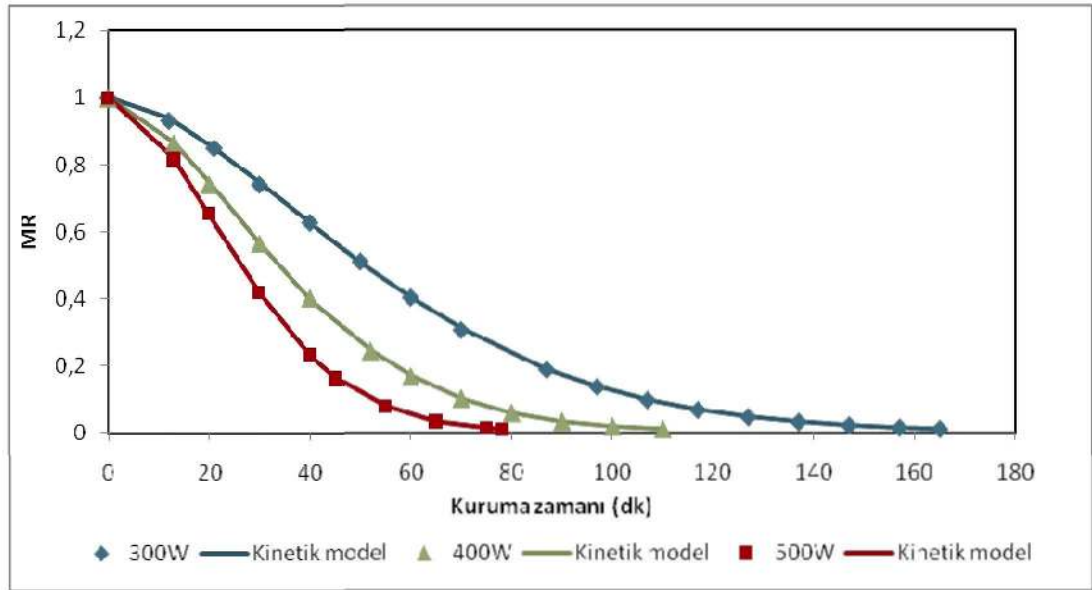
Maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil bibere uygulanan ön işlemler bu materyallerin kuruma sürelerinde bir değişikliğe sebep olmamıştır. Bunun aksine Doymaz [19], bir kabin kurutucuda bütün haldeki çileğin yaklaşık % 93.2 (w.b) başlangıç nem içeriğinden, yaklaşık olarak % 20 (w.b) son nem içeriğine kadar kuruma zamanını, 1.2 m/s sabit hava hızında ve 50-65 °C kurutma havası sıcaklıklarında sırasıyla etil oleat çözeltisi ile ön işlemlenmiş örnekler için 1110-690 dk ve ön işlemsiz örnekler için 1620-900 dk arasında değiştiğini bulmuştur. Ön işlemlenmiş örneklerin kuruma zamanının ön işlemsiz örneklerden yaklaşık % 23.4-31.5 daha kısa olduğunu belirlemiştir. Doymaz ve İsmail [66], bir sıcak havalı kurutucuda 2 m/s sabit hava hızında, 50, 70 ve 75 °C hava sıcaklıklarında ön işlemlenmiş ve ön işlemsiz örnekler için yapmış oldukları deneyler sonucunda, ön işlemlenmiş bütün haldeki kirazın yaklaşık % 22.6, % 19.5 ve % 20 kuruma zamanlarında azalmaya sebep olduğunu belirtmişlerdir. Nasıroğlu ve Kocabıyık [22], bir infrared kurutucuda kırmızı biberin 1-2 m/s hava hızında ve 300-500 W infrared gücünde kuruma zamanının sırasıyla 314-455 dk ve 213-297 dk ve 196-230 dk arasında değiştiğini bulmuşlardır. Doymaz ve arkadaşları [8], kabin ve mikrodalga kurutucuda ayrı ayrı 40-70 °C arasındaki sıcaklıklarda yapmış oldukları deneyler sonucunda maydanozun kuruma zamanının kabin kurutucuda 160-540 dk ve mikrodalga kurutucuda 25-80 dk arasında değiştiğini bulmuşlardır.

6.2. Nem Oranındaki Değişimler

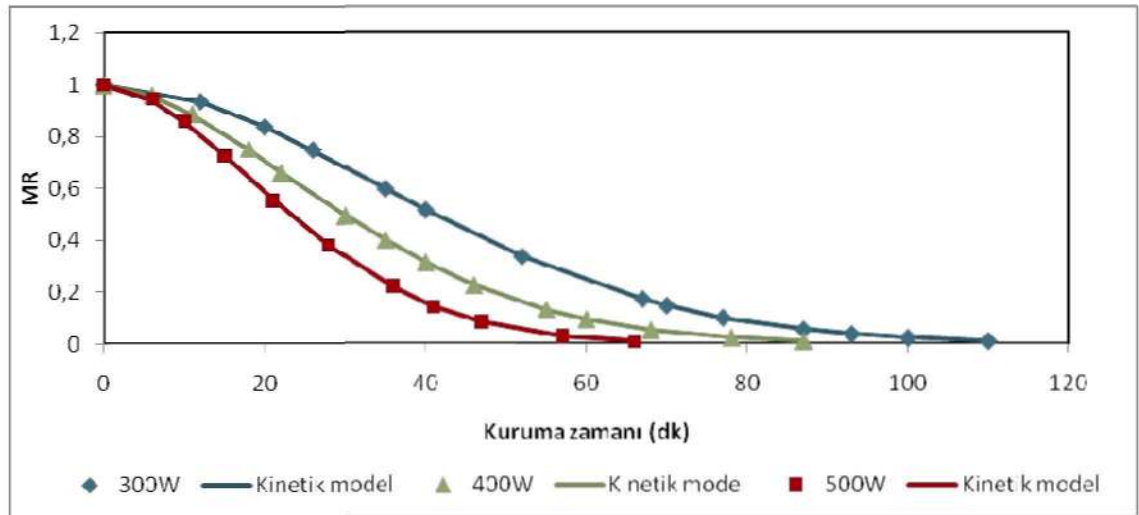
Bu çalışmada kullanılan maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biber örneklerinin ortalama toplam nem içeriği (M_0) sırasıyla 4.882, 12.513, 9.417 ve 12.333 g su/g kuru madde olarak hesaplanmıştır. İnfrared gücün nem oranı değişimi üzerindeki etkisini incelemek için 300-500 W infrared kurutma güçlerinde kurutulan 20 gram maydanoz, 130 gram çilek, 100 gram kırmızı biber ve 100 gram yeşil biber örneklerinin Denklem 5.4' den hesaplanan nem oranı değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi ve kinetik modelleri sırasıyla Şekil 6.1-6.4' de grafiksel olarak gösterilmiştir.



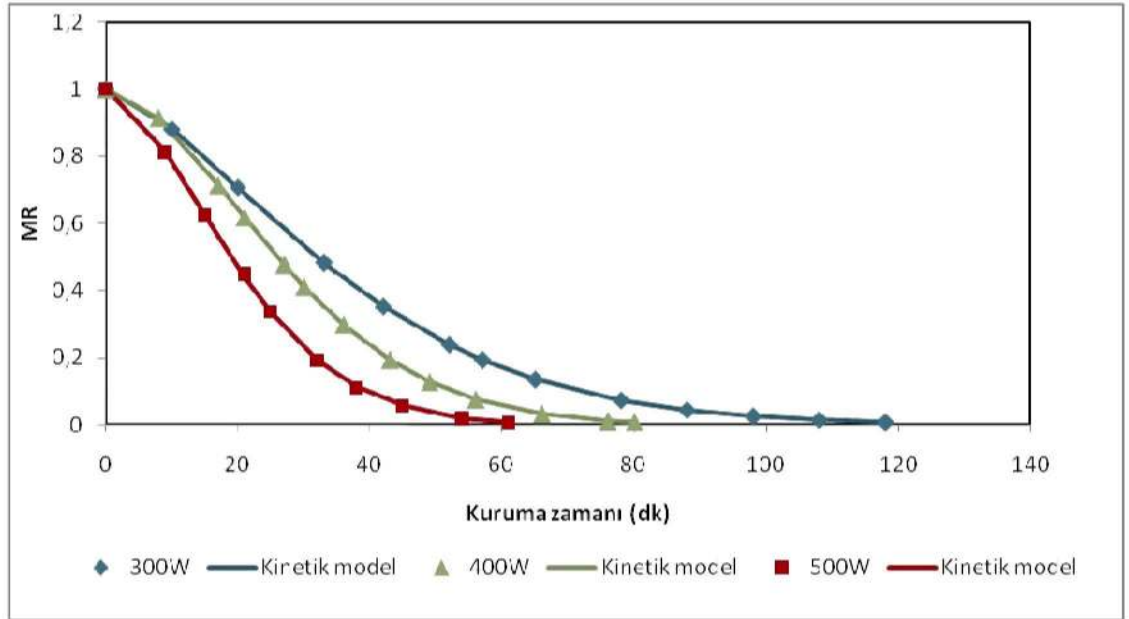
Şekil 6.1. Maydanozun nem oranının kuruma zamanı ile değişimi ve kinetik modelleri



Şekil 6.2. Çileğin nem oranının kuruma zamanı ile değişimi ve kinetik modelleri



Şekil 6.3. Kırmızı biberin nem oranının kuruma zamanı ile değişimi ve kinetik modelleri

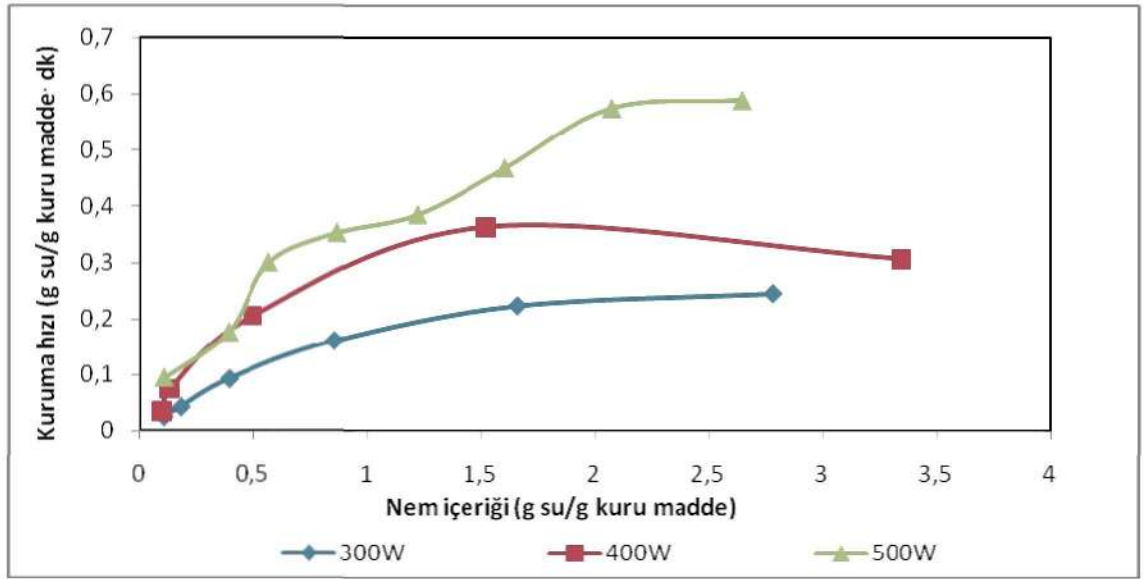


Şekil 6.4. Yeşil biberin nem oranının kuruma zamanı ile değişimi ve kinetik modelleri

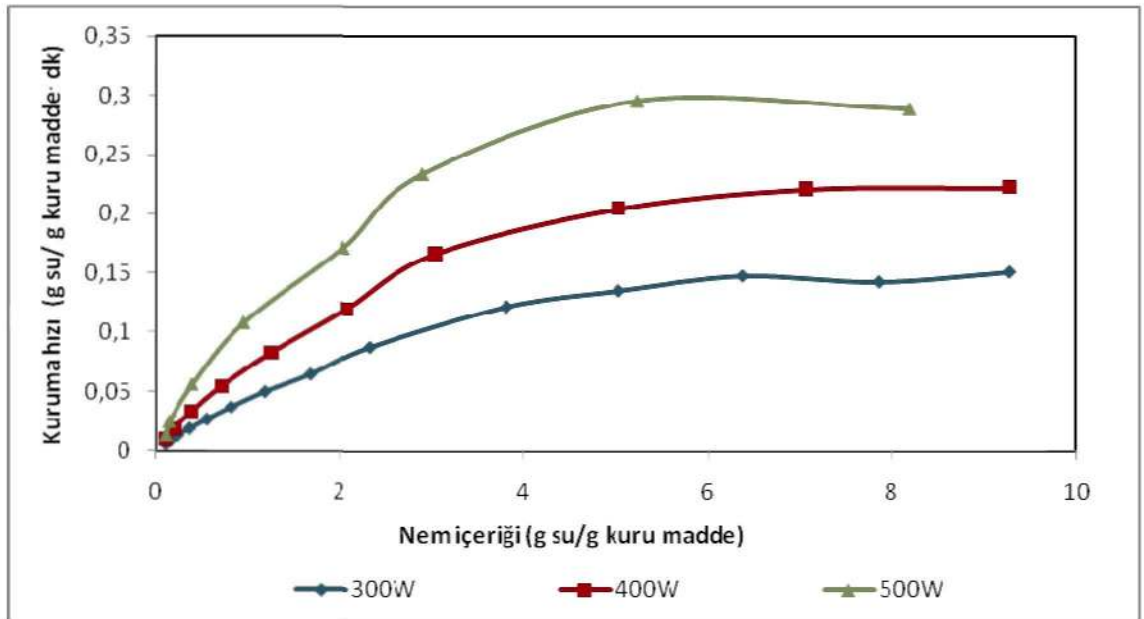
Şekil 6.1-6.4 incelendiği zaman, seçilen dört materyalde de infrared gücü 300 W' dan 500 W' a doğru arttıkça örneklerin kuruma zamanı maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biber için sırasıyla % 57.57, % 52.72, % 40 ve % 48.3 oranında kısalmaktadır ve örnekler daha çabuk kurumaktadır.

6.3. Kuruma Hızındaki Değişimler

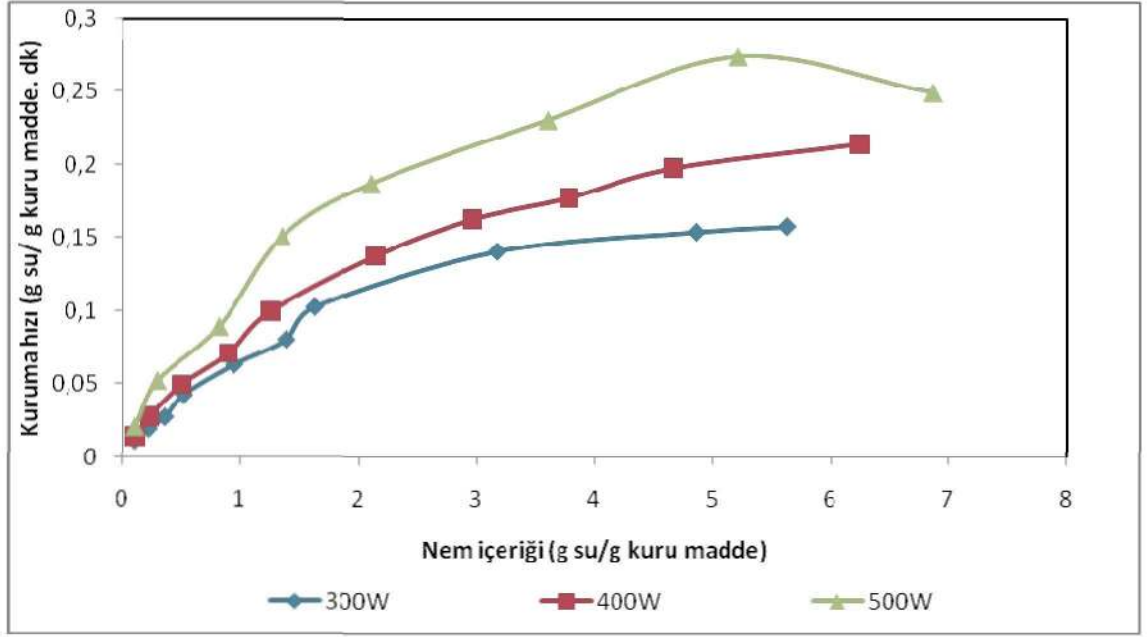
İnfrared gücünün kuruma hızı üzerindeki etkisini incelemek için 300-500 W infrared kurutma güçlerinde kurutulan örneklerin Denklem 5.3' ten hesaplanan kuruma hız değerlerinin Denklem 5.2' den hesaplanan nem içeriği değerleri ile değişimi sırasıyla Şekil 6.5-6.8' de grafiksel olarak gösterilmiştir.



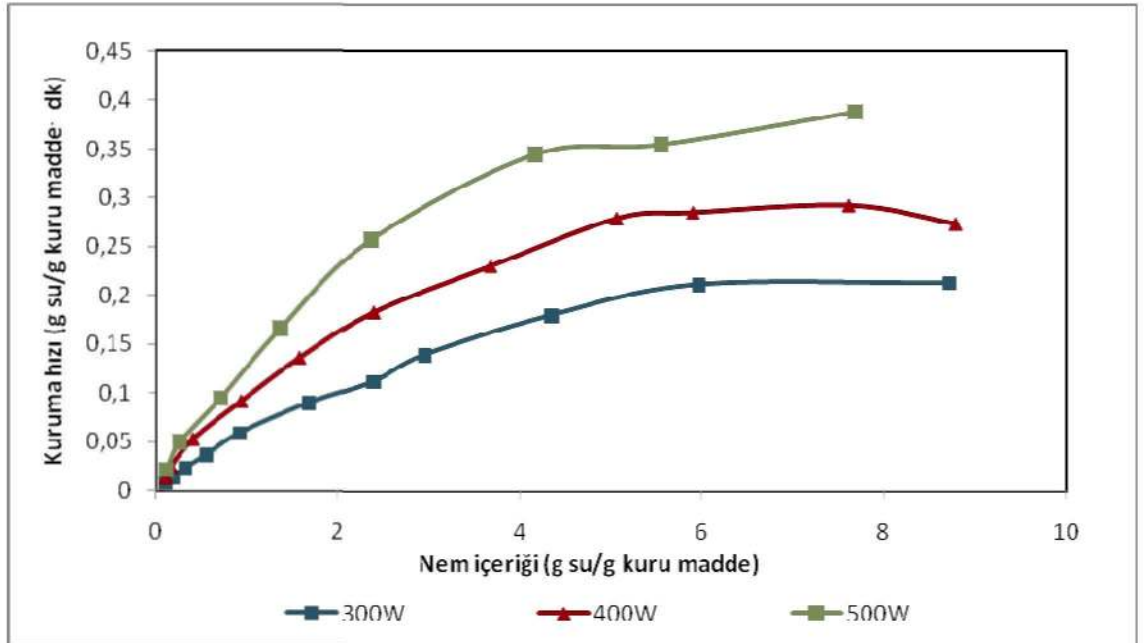
Şekil 6.5. Maydanozun farklı kurutma güçlerinde nem içeriği ile kuruma hızının değişimi



Şekil 6.6. Çileğin farklı kurutma güçlerinde nem içeriği ile kuruma hızının değişimi



Şekil 6.7. Kırmızı biberin farklı kurutma güçlerinde nem içeriği ile kuruma hızının değişimi



Şekil 6.8. Yeşil biberin farklı kurutma güçlerinde nem içeriği ile kuruma hızının değişimi

Şekil 6.5-6.8 incelendiği zaman, kurumanın iki aşamada gerçekleştiği görülmektedir. Sabit hızda kuruma periyodu ve bunu takiben azalan hızda kuruma periyodu gözlemlenmiştir. Benzer şekilde Soysal [5] maydanoz için, Mowlah ve arkadaşları [67] muz için, kurutmanın sabit hız periyodu ve düşen hız periyodunda

meydana geldiğini belirtmişlerdir. Ancak, Nasıroğlu ve Kocabıyık [22] kırmızı biber için, bütün kurutma şartlarında sabit kurutma hız periyodunun olmadığını, Kocabıyık ve Tezer [21] havuç için, bütün kurutma şartlarında, üç kurutma hız periyodunun (artma veya ısıtma, birinci azalan ve ikinci azalan periyod) olduğunu, Doymaz [19] çilek için, kurutmanın düşen hız periyodunda meydana geldiğini ve sabit hız periyodunun bulunmadığını belirtmişlerdir. Bu çalışmada sabit hızda kuruma periyodunun uzunluğu infrared gücüyle ters orantılı olarak değişmiştir. İnfrared lamba gücü, örneklerin kuruma hızını etkilemiştir. İnfrared lamba gücü arttıkça kuruma hızı da artış göstermiştir. Nowark ve Lewicki [43] elma dilimleri için, Mongpraneet ve arkadaşları [68] soğan için, Afsal ve Abe [64] patates için, Sharma ve arkadaşları [65] ile Pathare ve Sharma [49] soğan dilimleri için Wang ve Sheng [50] şeftali için, Das ve arkadaşları [63] üç farklı çeltik için infrared gücü veya infrared radyasyon yoğunluğu arttıkça kuruma hızının arttığını belirtmişlerdir.

6.4. Kuruma Kinetiğine Ait Modelleme Çalışmaları

İnfrared kurutma tekniği kullanılarak örneklerin 300-500 W infrared kurutma güçlerinde kurutulması esnasında elde edilen nem oranı değerlerinin kuruma zamanı ile değişimini içeren deneysel değerler literatürde sıkça kullanılan dört farklı kurutma modeli ile modellenmiştir. Matematiksel modellere ait istatistiksel veriler sırasıyla Çizelge 6.1-6.4'te verilmiştir.

Çizelge 6.1. Maydanozun farklı infrared güçlerinde kurutulmasından elde edilen deneysel sonuçların kurutma modelleri ile kıyaslanması ve istatistiksel değerlendirmesi

Model	P(W)	Tahmin edilen parametreler	χ^2	RMSE	R ²
Page	300	k= 0.014 n= 1.603	2.740×10^{-5}	0.042	0.999
	400	k= 0.027 n= 1.634	3.080×10^{-6}	0.025	0.999
	500	k= 0.035 n= 1.783	2.250×10^{-5}	0.039	1.000
Newton	300	k= 0.070	6.630×10^{-3}	0.174	0.967
	400	k= 0.111	6.770×10^{-3}	0.189	0.965
	500	k= 0.176	2.550×10^{-3}	0.133	0.976
Handerson ve Pabis	300	a= 1.065 k= 0.075	6.930×10^{-3}	0.167	0.961
	400	a= 1.036 k= 0.114	9.430×10^{-3}	0.185	0.963
	500	a= 1.014 k= 0.178	3.030×10^{-3}	0.132	0.975
Wang ve Singh	300	a= -0.048 b= 4.300×10^{-4}	1.290×10^{-3}	0.109	0.993
	400	a= -0.075 b= 9.200×10^{-4}	1.290×10^{-3}	0.113	0.994
	500	a= -0.115 b= 0.003	1.200×10^{-4}	0.059	0.999

Çizelge 6.2. Çileğin farklı infrared güçlerinde kurutulmasından elde edilen deneysel sonuçların kurutma modelleri ile kıyaslanması ve istatistiksel değerlendirmesi

Model	P(W)	Tahmin edilen parametreler	χ^2	RMSE	R ²
Page	300	k= 1.120x10 ⁻³ n= 1.637	9.380x10 ⁻⁶	0.030	0.999
	400	k= 2.160x10 ⁻³ n= 1.641	4.790x10 ⁻⁶	0.026	1.000
	500	k= 2.070x10 ⁻³ n= 1.778	6.780x10 ⁻⁶	0.029	1.000
Newton	300	k= 0.014	5.860x10 ⁻³	0.155	0.962
	400	k= 0.022	6.850x10 ⁻³	0.170	0.957
	500	k= 0.029	8.910x10 ⁻³	0.187	0.942
Handerson ve Pabis	300	a= 1.092 k= 0.016	4.530x10 ⁻³	0.141	0.953
	400	a= 1.082 k= 0.024	6.340x10 ⁻³	0.159	0.950
	500	a= 1.073 k= 0.032	9.470x10 ⁻³	0.180	0.934
Wang ve Singh	300	a= -0.009 b= -9.800x10 ⁻⁶	9.500x10 ⁻⁴	0.095	0.991
	400	a= -0.014 b= -8.800x10 ⁻⁶	9.500x10 ⁻⁴	0.099	0.992
	500	a= -0.016 b= -6.300x10 ⁻⁵	9.200x10 ⁻⁴	0.100	0.993

Çizelge 6.3. Kırmızı biberin farklı infrared güçlerinde kurutulmasından elde edilen deneysel sonuçların kurutma modelleri ile kıyaslanması ve istatistiksel değerlendirmesi

Model	P(W)	Tahmin edilen parametreler	χ^2	RMSE	R ²
Page	300	k= 5.910x10 ⁻⁴ n= 1.903	7.450x10 ⁻⁷	0.016	1.000
	400	k= 1.795x10 ⁻³ n= 1.754	2.550x10 ⁻⁶	0.021	1.000
	500	k= 2.465x10 ⁻³ n= 1.793	1.900x10 ⁻⁵	0.036	0.999
Newton	300	k= 0.018	1.180x10 ⁻²	0.185	0.937
	400	k= 0.026	8.870x10 ⁻³	0.164	0.961
	500	k= 0.033	1.110x10 ⁻²	0.182	0.957
Handerson ve Pabis	300	a= 1.127 k= 0.021	9.630x10 ⁻³	0.169	0.921
	400	a= 1.122 k= 0.029	6.545x10 ⁻³	0.148	0.95
	500	a= 1.127 k= 0.038	8.641x10 ⁻³	0.165	0.945
Wang ve Singh	300	a= -0.009 b= -4.600x10 ⁻⁵	1.510x10 ⁻³	0.107	0.988
	400	a= -0.016 b= 1.060x10 ⁻⁵	1.960x10 ⁻³	0.109	0.987
	500	a= -0.019 b= -1.900x10 ⁻⁵	2.420x10 ⁻³	0.120	0.985

Çizelge 6.4. Yeşil biberin farklı infrared güçlerinde kurutulmasından elde edilen deneysel sonuçların kurutma modelleri ile kıyaslanması ve istatistiksel değerlendirmesi

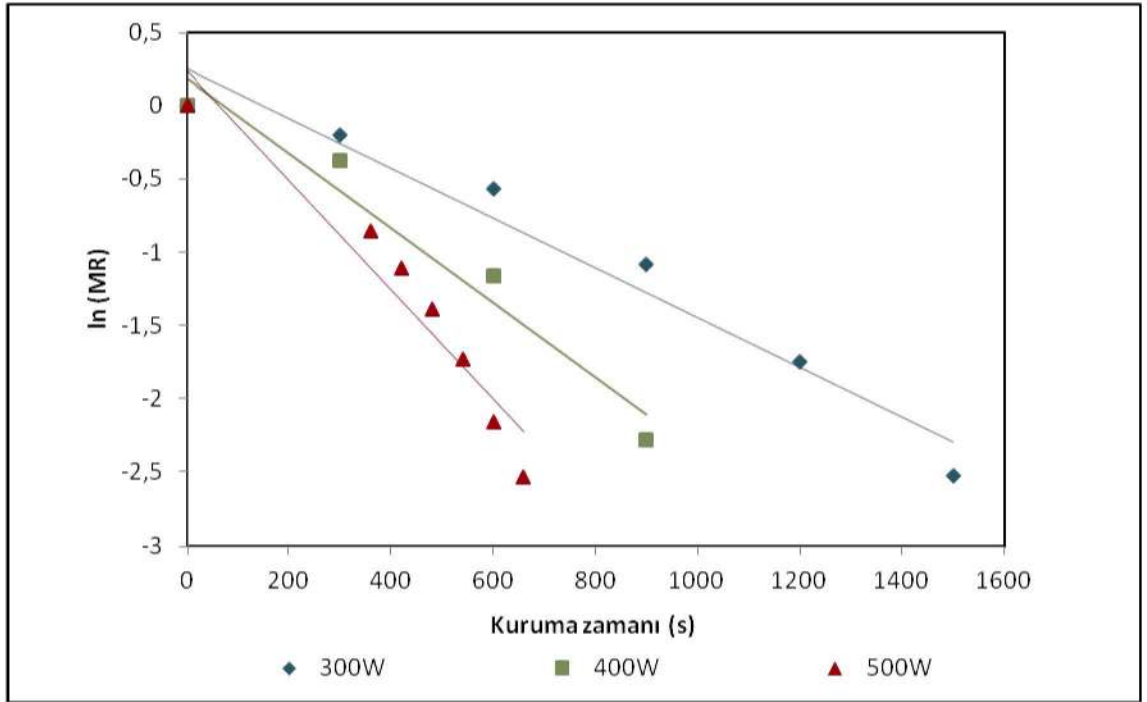
Model	P(W)	Tahmin edilen parametreler	χ^2	RMS E	R ²
Page	300	k= 4.150x10 ⁻³ n= 1.479	2.540x10 ⁻⁶	0.022	1.000
	400	k= 2.640x10 ⁻³ n= 1.709	1.450x10 ⁻⁶	0.018	1.000
	500	k= 5.460x10 ⁻³ n= 1.645	2.510x10 ⁻⁵	0.039	0.999
Newton	300	k= 0.024	4.120x10 ⁻³	0.146	0.977
	400	k= 0.030	7.530x10 ⁻³	0.161	0.959
	500	k= 0.041	6.390x10 ⁻³	0.167	0.959
Handerson ve Pabis	300	a= 1.070 k= 0.026	3.570x10 ⁻³	0.135	0.973
	400	a= 1.104 k= 0.034	6.380x10 ⁻³	0.150	0.949
	500	a= 1.069 k= 0.044	6.430x10 ⁻³	0.160	0.952
Wang ve Singh	300	a= -0.017 b= 5.190x10 ⁻⁵	6.900x10 ⁻⁴	0.089	0.995
	400	a= -2.057x10 ⁻² b= 5.960x10 ⁻⁵	1.620x10 ⁻³	0.107	0.988
	500	a= -0.027 b= 8.820x10 ⁻⁵	1.020x10 ⁻³	0.101	0.992

Çizelge 6.1-6.4 incelendiği zaman, elde edilen verilerden en yüksek R^2 , en düşük RMSE ve χ^2 değerleri ile Page modelinin [9-11] seçilen dört materyal için kuruma kinetiğini açıklayan en iyi model olduğu belirlenmiştir. Doymaz [19], Logaritmik modelin [9, 11] 50 ve 55 °C sıcaklıklarda, Wang ve Singh modelinin [9, 20] 65 °C sıcaklıkta çileğin karakteristiğini tanımlamak için en iyi model olduğunu bulmuştur. Doymaz ve arkadaşları [8] maydanoz için, elde etmiş oldukları verilerden yararlanarak Page modelinin, nem oranının kuruma süresi ile olan ilişkisini daha iyi bir şekilde ifade ettiğini belirlemişlerdir. Soysal [5], Page modelinin [9-11] maydanozun kuruma karakteristiğini tanımlamak için en iyi model olduğunu bulmuştur.

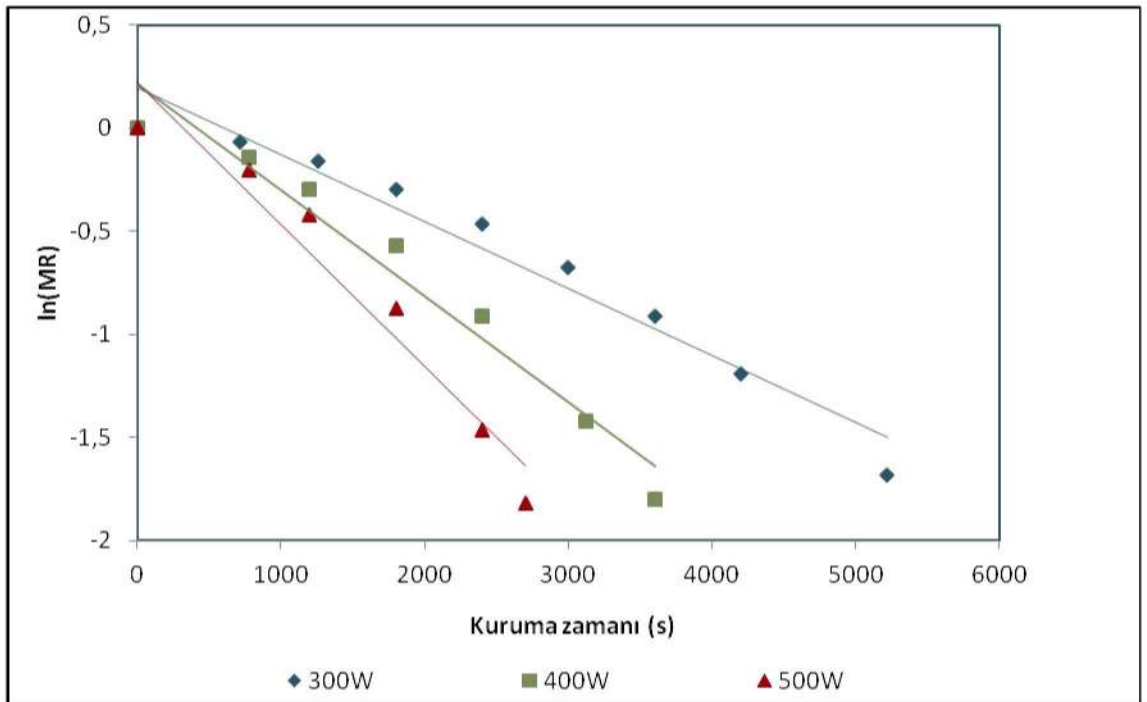
Page modeline ait kinetik sabiti değeri k' nın infrared gücü 300 W' dan 500 W' a doğru arttıkça genel olarak arttığı belirlenmiştir. Sarımeşeli [9] kişniş yaprakları için, Soysal [5] maydanoz için, yapmış oldukları çalışmada kurutma hız sabiti k' nın mikrodalga çıkış gücü arttıkça arttığını bulmuşlardır.

6.5. Etkin Difüzivite Katsayılarının Hesaplanması

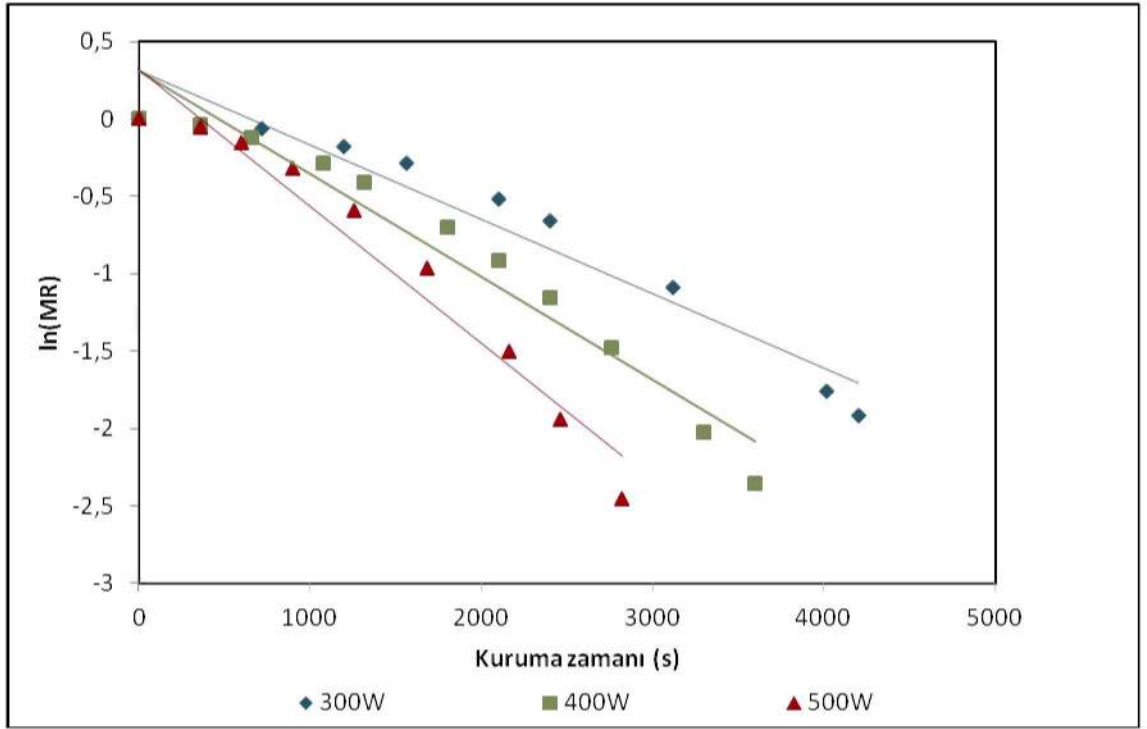
Etkin difüzivite katsayısı, örneklerin 300-500 W infrared kurutma güçlerinde kurutulmaları esnasında Denklem 5.13' te verilen lineer denklemin eğiminden yararlanılarak hesaplanmıştır. Şekil 6.9-6.12' de Denklem 5.13' deki $\ln(MR)$ ' nin t (kuruma zamanı) ile değişimini göstermektedir.



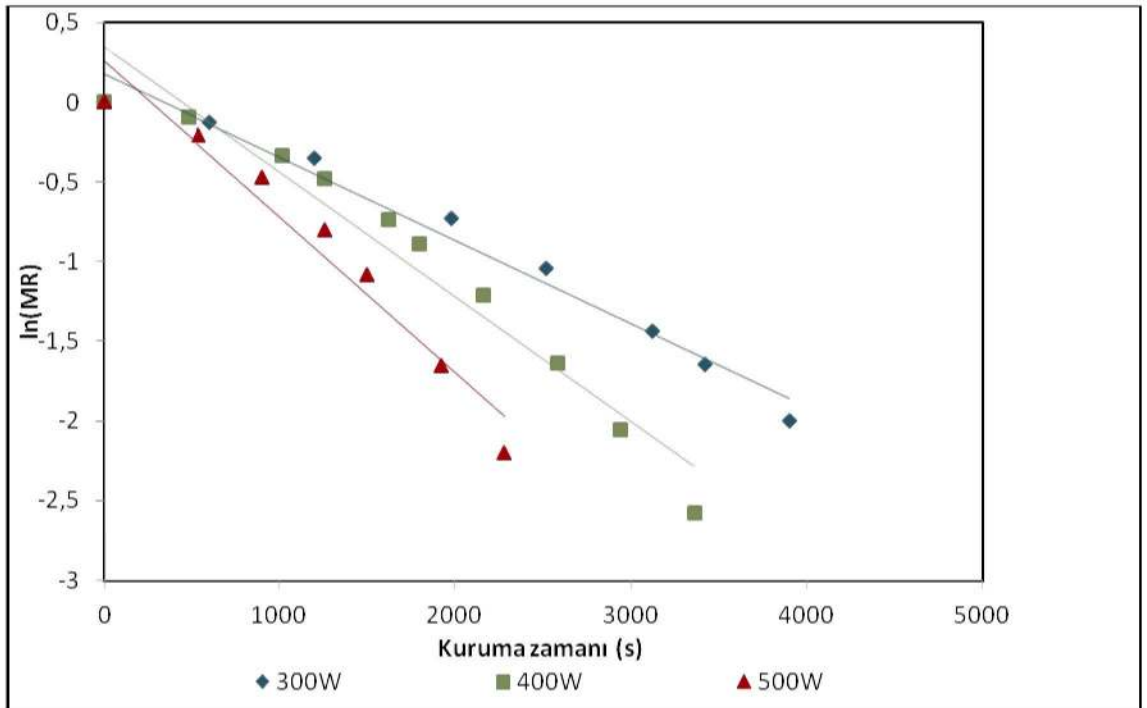
Şekil 6.9. Maydanozun farklı kurutma güçlerinde kuruma zamanı ile $\ln(MR)$ 'nin değişimi



Şekil 6.10. Çileğin farklı kurutma güçlerinde kuruma zamanı ile $\ln(MR)$ 'nin değişimi



Şekil 6.11. Kırmızı biberin farklı kurutma güçlerinde kuruma zamanı ile $\ln(MR)$ 'nin değişimi



Şekil 6.12. Yeşil biberin farklı kurutma güçlerinde kuruma zamanı ile $\ln(MR)$ 'nin değişimi

Şekil 6.9-6.12’ de 300-500 W infrared kurutma güçlerinde elde edilen eğim değerleri, bu eğim değerlerinden yararlanarak hesaplanan etkin difüzyivite değerleri ve R^2 değerleri Çizelge 6.5-6.8’ de verilmiştir.

Çizelge 6.5. Maydanozun farklı infrared güçlerinde hesaplanan etkin difüzyivite değerleri

İnfrared gücü (W)	Eğim	$D_{eff} \times 10^{11} (m^2/s)$	R^2
300	13×10^{-4}	1.524	0.957
400	2×10^{-3}	2.328	0.954
500	3×10^{-3}	3.126	0.927

Çizelge 6.6. Çileğin farklı infrared güçlerinde hesaplanan etkin difüzyivite değerleri

İnfrared gücü (W)	Eğim	$D_{eff} \times 10^{10} (m^2/s)$	R^2
300	3×10^{-4}	2.738	0.956
400	5×10^{-4}	4.564	0.958
500	7×10^{-4}	6.389	0.943

Çizelge 6.7. Kırmızı biberin farklı infrared güçlerinde hesaplanan etkin difüzyivite değerleri

İnfrared gücü (W)	Eğim	$D_{eff} \times 10^{10} (m^2/s)$	R^2
300	5×10^{-4}	8.114	0.935
400	7×10^{-4}	11.359	0.950
500	9×10^{-4}	14.605	0.951

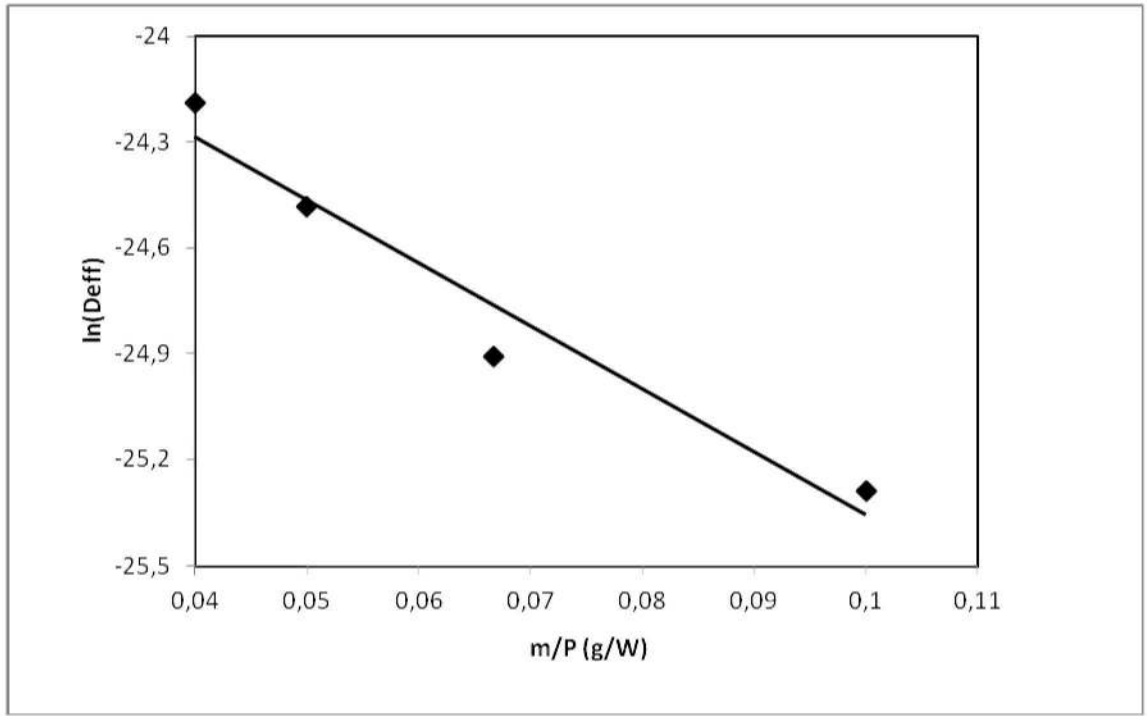
Çizelge 6.8. Yeşil biberin farklı infrared güçlerinde hesaplanan etkin difüzivite değerleri

İnfrared gücü (W)	Eğim	$D_{eff} \times 10^{10} (m^2/s)$	R^2
300	5×10^{-4}	6.212	0.977
400	8×10^{-4}	9.939	0.949
500	1×10^{-3}	12.424	0.949

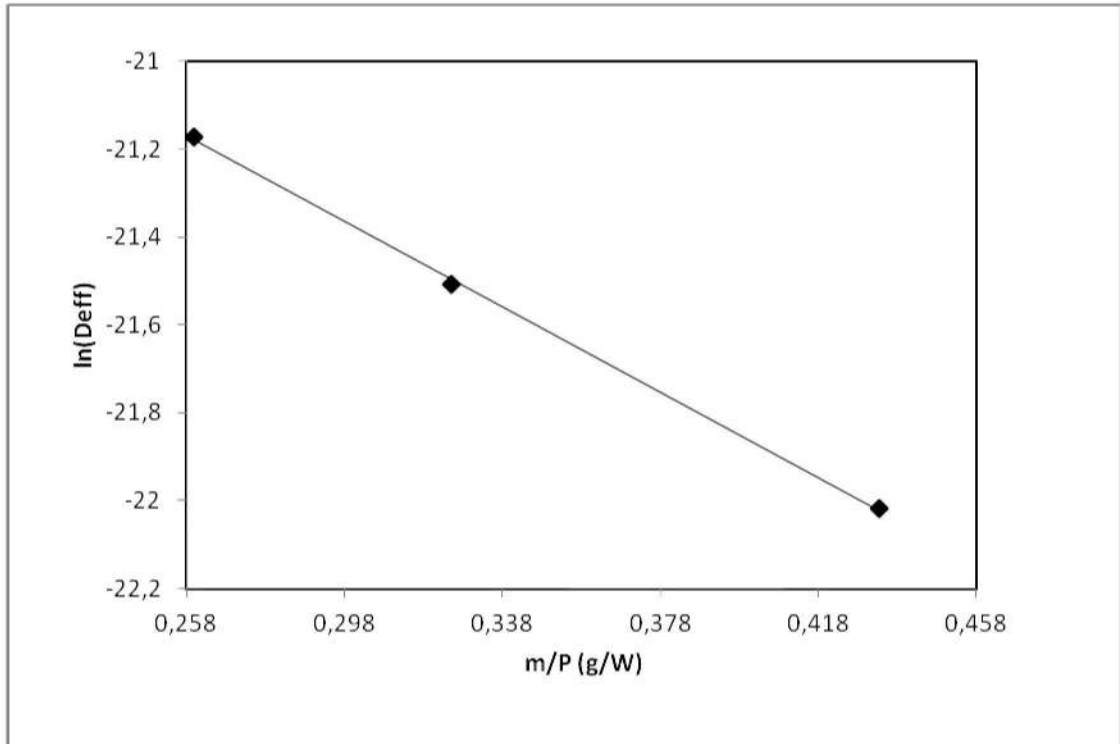
Çizelge 6.5-6.8 incelendiği zaman, infrared gücü 300 W' tan 500 W' a doğru arttıkça etkin difüzivite değerlerinin arttığı görülmektedir. Bunun sebebi, daha yüksek infrared güçlerinde gıda içerisinde daha fazla miktarda ısı absorplandığı için kütle transferinin artması ve kuruma sürelerinin kısalmasıdır. Düşük infrared güçlerinde ise, etkin difüzivite değerleri daha küçüktür. Bunun sebebi ise materyalin kurumasının daha yavaş gerçekleşmesi ile buharlaşması gereken suyun materyali daha geç terk etmesinden dolayı kütle transferinin yavaşlamasıdır. Bu çalışmada, farklı infrared güçlerinde dört değişik materyal için bulunan etkin difüzivite değerleri, gıda materyallerinin literatürde verilen 10^{-9} - 10^{-11} m²/s genel aralığının içindedir [69]. Doymaz [16], etkin difüzivitenin, 50-65 °C sıcaklık aralığında, ön işlemlili çilek örnekleri için 6.420×10^{-10} - 1.420×10^{-9} m²/s, ön işlemsiz çilek örnekleri için 4.950×10^{-10} - 1.090×10^{-9} m²/s aralığında değiştiğini bulmuştur ve etkin difüzivite değerlerinin sıcaklık arttıkça arttığını belirtmiştir. Benzer sonucu Doymaz [14] ile Gogus ve Maskan [70] bamya için, Akpınar ve Biçer [71] çilek için, Kaya ve arkadaşları [72] havuç için elde etmişlerdir. Dadalı [10] bamya ve ıspanak için, mikrodalga çıkış gücü arttıkça etkin difüzivite katsayısı değerlerinin arttığını belirtmiştir.

6.6. Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması

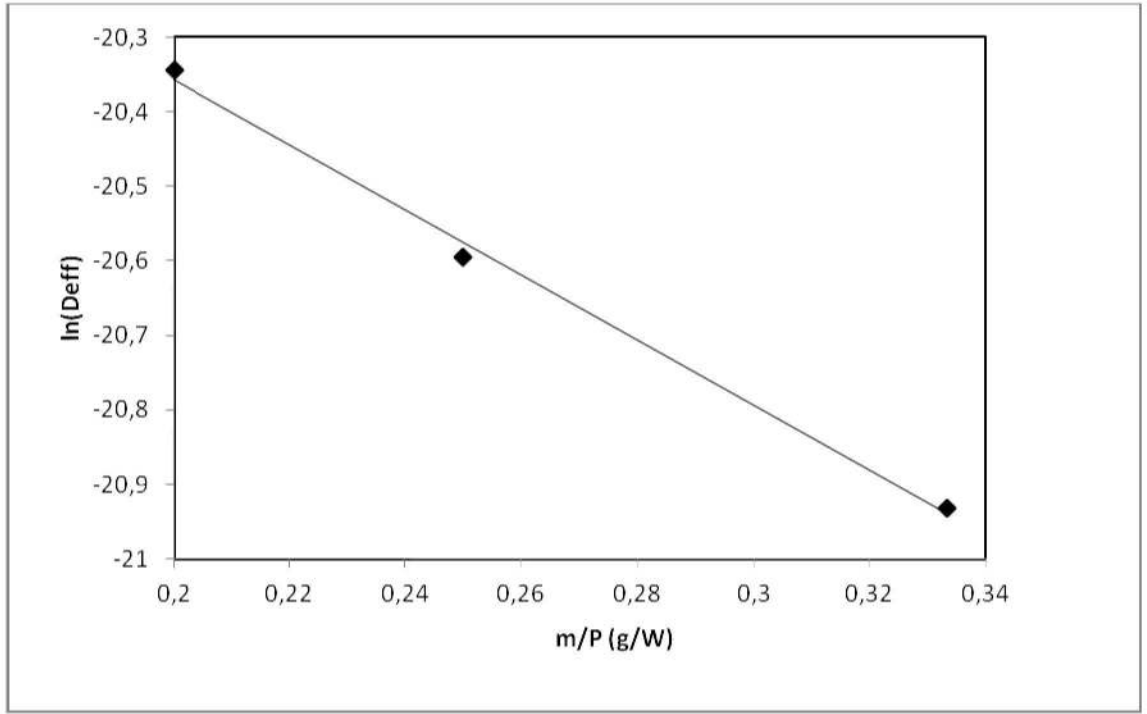
Aktivasyon enerjisi, örneklerin 300-500 W infrared kurutma güçlerinde kurutulmaları esnasında Denklem 5.15' te verilen lineer denklemin eğiminden yararlanılarak hesaplanmıştır. Şekil 6.13-6.16' da Denklem 5.15' deki $\ln(D_{eff})$ değerlerinin m/P oranı ile değişimi görülmektedir.



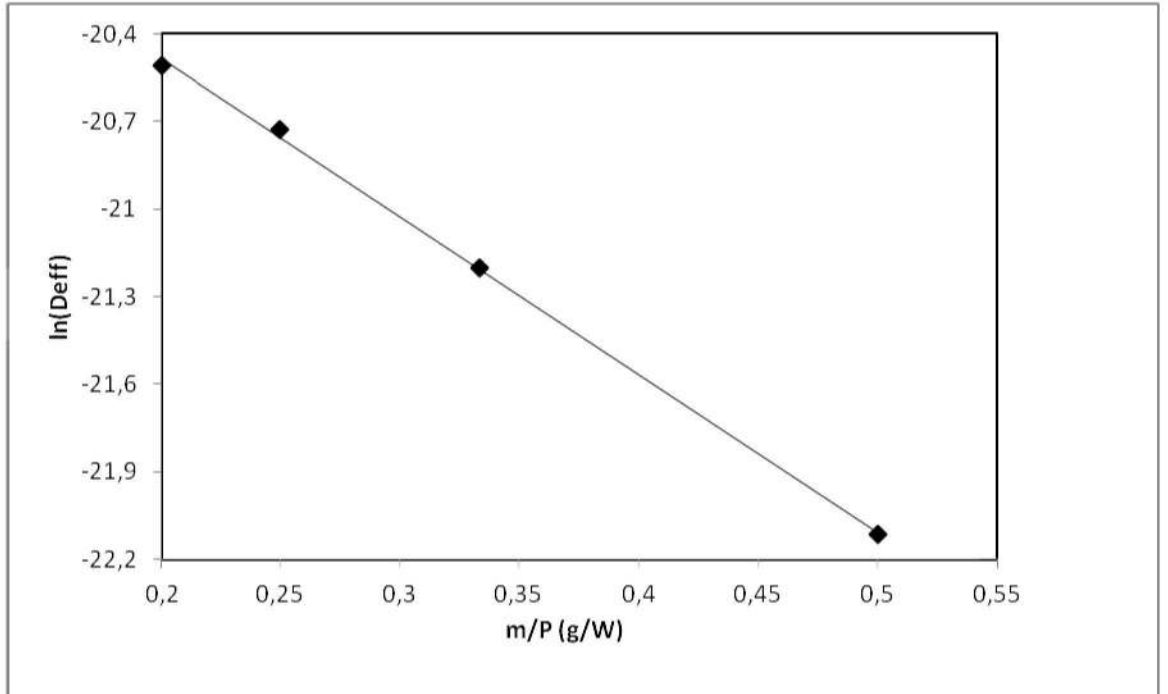
Şekil 6.13. Maydanozun farklı infrared güçlerinde m/P oranı ile $\ln(D_{eff})$ değerlerinin değişimi



Şekil 6.14. Çileğin farklı infrared güçlerinde m/P oranı ile $\ln(D_{eff})$ değerlerinin değişimi



Şekil 6.15. Kırmızı biberin farklı infrared güçlerinde m/P oranı ile $\ln(D_{eff})$ değerlerinin değişimi



Şekil 6.16. Yeşil biberin farklı infrared güçlerinde m/P oranı ile $\ln(D_{eff})$ değerlerinin değişimi

Şekil 6.13-6.16' nın eğiminden yararlanarak aktivasyon enerjisi (E_a) sırasıyla 20.854, 4.871, 4.371, 5.421 W/g ve kaymasından yararlanarak D_0 ; 7.880×10^{-11} , 2.250×10^{-9} , 3.460×10^{-9} , 3.760×10^{-9} m²/s olarak bulunmuştur. Dadalı ve Özbek [18], pırasanın beyaz ve yeşil kısımlarının aktivasyon enerjilerini sırasıyla 1.048 W/g ve 1.131 W/g olarak hesaplamışlardır.

6.7. İnfrared Gücünün Araştırma Materyallerinin Rehidrasyon Kapasitesi Üzerindeki Etkisi

Denklem 5.18' den ön işlemsiz ve ön işlemli örnekler için hesaplanan rehidrasyon kapasiteleri Çizelge 6.9' da verilmiştir.

Çizelge 6.9. Ön işlemsiz ve ön işlemli maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biberin rehidrasyon kapasitesi üzerinde infrared gücünün etkisi

Rehidrasyon kapasitesi			
Materyal	İnfrared gücü (W)	Ön işlemsiz	Ön işlemli
Maydanoz	300	3.16	3.21
	400	3.35	3.39
	500	3.66	3.69
Çilek	300	2.42	2.41
	400	3.09	3.10
	500	3.35	3.35
Kırmızı biber	300	2.65	2.69
	400	2.79	2.82
	500	2.92	2.97
Yeşil biber	300	3.56	3.61
	400	3.67	3.70
	500	3.74	3.78

Çizelge 6.9 incelendiği zaman, infrared gücü 300 W' dan 500 W'a doğru arttıkça rehidrasyon kapasitesi artmaktadır. Bunun nedeni yüksek infrared gücünde kurutma esnasında ürün daha çabuk kuruduğu için daha az infrared ışınına maruz kalır ve ürünlerin yapısında bir bozulma meydana gelmediği için de daha fazla suyu

absorplayabilmektedir. Ön işlemlı maydanoz, kırmızı biber ve yeşil biber örneklerinin rehidrasyon kapasitesinin ön işlemsiz örneklerden daha yüksek olduğu fakat etil oleat çözeltisi ile ön işlem yapılan çilek örneklerinde ise ön işlemsiz örneklere kıyasla rehidrasyon kapasitesinde bir değışiklik meydana gelmediği bulunmuştur. Bunun aksine; Doymaz [19], etil oleat çözeltisi ile ön işlemlı bütün haldeki çilek örneklerinin rehidrasyonunun ön işlemsiz örneklerden daha hızlı olduğunu belirtmiştir. Sarımeşeli [9], kurutulan kışniş yapraklarının rehidrasyon kapasitesinin mikrodalga çıkış gücü arttıkça azaldığını belirtmiştir. Nasıroğlu ve Kocabıyık [22], kurutulan kırmızı biber dilimlerinin rehidrasyon oranı değerlerinin bütün kurutma şartları için 2.10-3.78 arasında çeşitlendiğini bulmuşlardır. Rehidrasyon oranının infrared gücü arttıkça ve hava hızı azaldıkça arttığını belirtmişlerdir.

6.8. İnfrared Gücünün Araştırma Materyallerinin Renk Değişimi Üzerindeki Etkisi

Taze ve farklı infrared güçlerinde ön işlemsiz ve ön işlemlı olarak kurutulan örneklerin renk parametreleri Çizelge 6.10-6.11' de verilmiştir.

Çizelge 6.10. Ön işlemsiz olarak kurutulan maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biberin L, a ve b değerleri üzerinde infrared gücünün etkisi

Ön işlemsiz	İnfrared			
	gücü(W)	L	a	b
Maydanoz	taze	39.00±1.15	-13.21± 1.12	19.00±1.52
	300	37.35±1.03	-12.50±0.60	18.75±0.87
	400	36.10±1.05	-12.05±0.69	18.10±1.10
	500	36.55±1.33	-11.78±0.82	18.01±0.65
Çilek	taze	31.00±0.25	37.00±0.99	13.15±1.33
	300	29.11±0.33	36.78±1.23	11.75±1.01
	400	27.52±1.10	36.00±0.75	11.85±0.67
	500	26.16±1.20	35.80±0.89	11.05±1.19
Kırmızı biber	taze	39.00±1.25	37.00±0.99	12.75±1.10
	300	38.11±0.65	36.78±1.23	12.95±1.20
	400	37.52±0.88	36.00±0.75	13.05±0.99
	500	36.66±1.10	35.80±0.89	12.85±0.89
Yeşil biber	taze	41.00±1.50	-15.11± 1.22	21.00±2.50
	300	38.05±1.33	-14.50±0.50	20.80±0.80
	400	37.70±1.25	-14.45±0.62	20.75±0.74
	500	37.55±1.05	-14.38±0.55	20.82±0.65

Çizelge 6.11. Ön işlemleri olarak kurutulan maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biberin L, a ve b değerleri üzerinde infrared gücünün etkisi

Ön işlemleri	İnfrared			
	gücü(W)	L	a	b
Maydanoz	taze	39.00±1.15	-13.21± 1.12	19.00±1.52
	300	36.80±1.01	-12.03±0.50	18.47±0.65
	400	36.17±1.10	-11.92±0.75	17.95±1.19
	500	35.95±1.23	-11.46±0.92	17.81±0.75
Çilek	taze	31.00±0.25	37.00±0.99	13.15±1.33
	300	28.85±0.65	36.26±1.33	11.28±1.05
	400	27.01±1.23	35.91±0.50	11.43±0.65
	500	25.89±1.33	35.05±1.05	10.85±1.10
Kırmızı biber	taze	39.00±1.25	37.00±0.99	12.75±1.10
	300	37.83±0.89	36.46±1.15	12.65±1.33
	400	37.13±0.99	35.87±0.81	12.93±0.80
	500	36.05±1.11	35.58±0.75	12.34±0.75
Yeşil biber	taze	41.00±1.50	-15.11± 1.22	21.00±2.50
	300	37.89±1.23	-14.39±0.60	20.37±0.69
	400	37.35±1.10	-14.36±0.89	20.18±0.88
	500	37.08±0.89	-14.04±0.65	20.07±0.75

Çizelge 6.10-6.11 incelendiği zaman, ön işlemsiz ve ön işlemleri olarak kurutulan maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biber örneklerinin L (parlaklık) değerlerinin bütün kurutma şartlarında taze maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biberin L değerinden daha düşük olduğu bulunmuştur.

Kurutulan çilek ve kırmızı biber örneklerinin kırmızılık (+a) değerlerinin taze çilek ve kırmızı biber örneklerinin (+a) değerinden daha düşük olduğu, kurutulan maydanoz ve yeşil biber örneklerinin yeşillik (-a) değerlerinin taze maydanoz ve yeşil biber örneklerinin (-a) değerinden daha düşük olduğu bulunmuştur.

Kurutulan maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biber örneklerinin b (sarılık) değerleri bütün kurutma şartlarında taze maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biberin b değerinden daha düşük olduğu bulunmuştur.

Sonuç olarak kurutulan maydanoz ve yeşil biber örnekleri taze örneklerden daha az parlak yeşil renklere; çilek ve kırmızı biber örneklerinin ise daha az parlak kırmızı renklere sahip olduğu, kurutulan örneklerin renk değerlerinin birbirinden çok farklı olmadığı ve bu renk değerlerindeki değişikliğin infrared gücüne önemli ölçüde bağlı olmadığı belirlenmiştir. Benzer sonucu; Nasıroğlu ve Kocabıyık [22] kırmızı biber için bulmuştur. Taze örneklerle kıyasla bazı koyuluklar meydana gelmesine rağmen örneklerin hoş bir kırmızı ve yeşil renge sahip olduğu belirlenmiştir. Sarımeşeli [9] kişniş yaprakları için, Soysal [5] maydanoz için, Maskan [4] muz için renk değerlerindeki değişikliğin mikrodalga çıkış gücüne bağlı olmadığını belirtmişlerdir.

6.9. İnfrared Gücünün Araştırma Materyallerinin C Vitamini Kayıpları Üzerindeki Etkisi

Taze ve farklı infrared güçlerinde kurutulan örneklerin C vitamini değerleri Çizelge 6.12' de verilmiştir.

Çizelge 6.12. % 10 nem içeriğine kadar kurutulan maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biber örneklerinin C vitamini kayıpları üzerinde infrared gücünün etkisi

Materyal	İnfrared gücü (W)	C vitamini (mg/100 g)
Maydanoz	taze	129.00
	300	92.30
	400	49.00
	500	32.00
Çilek	taze	57.00
	300	30.00
	400	16.00
	500	10.20
Kırmızı biber	taze	160.00
	300	110.00
	400	84.50
	500	46.30
Yeşil biber	taze	195.00
	300	150.75
	400	129.00
	500	64.00

Çizelge 6.12 incelendiği zaman, infared gücü 300 W’ tan 500 W’ a doğru arttıkça C vitamini kayıplarının arttığı ve örneklerin C vitamini değerlerinin taze örneklere kıyasla düşük olduğu bulunmuştur. Bu değerlerdeki değişikliğin infrared gücüne bağlı olduğu tespit edilmiştir. C vitamini kaybı açısından ön işlem görmüş ve ön işlem görmemiş materyaller arasında herhangi bir fark gözlenmemiştir.

6.10. Optimum C Vitamini Değeri İçin Kurutma Şartlarının Belirlenmesi

6.10.1. Uygun Regresyon Modeli

Maydanoz, ilek, kırmızı biber ve yeşil biber örneklerinin C vitamini kayıplarının belirlenmesi için Yanıt Yüzey Metodu kullanılarak oluşturulan denemelerin sonuçları Çizelge 6.13-6.16’ da verilmiştir. Çizelgelerde gerçek değerler ve kodlanmış değerler birlikte verilmiştir. Kodlanmış değerler, gerçek değerlerin yanındaki parantezlerde yer almaktadır.

Çizelge 6.13. Maydanoz için üç seviyeli merkezi kompozit tasarım ve bağımlı değişkenin deneysel yanıtları

	Taze madde miktarı (g)	İnfrared gücü (W)	Kuruma zamanı (dk)	C Vitamini (mg/100 g)
Deneme no	A	B	C	Y₁
1	14.50(0)	400.00(0)	9.50(0)	60.00
2	17.00(1)	450.00(1)	12.00(1)	35.00
3	14.50(0)	316.00(1.68)	9.50(0)	110.00
4	14.50(0)	400.00(0)	9.50(0)	60.00
5	17.00(1)	350.00(-1)	12.00(1)	95.00
6	14.50(0)	400.00(0)	13.70(1.68)	53.00
7	14.50(0)	400.00(0)	9.50(0)	60.00
8	10.30(-1.68)	400.00(0)	9.50(0)	58.00
9	14.50(0)	484.00(1.68)	9.50(0)	39.00
10	12.00(-1)	350.00(-1)	7.00(-1)	102.00
11	14.50(0)	400.00(0)	9.50(0)	60.00
12	14.50(0)	400.00(0)	9.50(0)	60.00
13	14.50(0)	400.00(0)	5.30(-1.68)	70.00
14	12.00(-1)	450.00(1)	12.00(1)	37.00
15	17.00(1)	350.00(-1)	7.00(-1)	100.00
16	17.00(1)	450.00(1)	7.00(-1)	41.00
17	18.70(1.68)	400.00(0)	9.50(0)	57.00
18	14.50(0)	400.00(0)	9.50(0)	60.00
19	12.00(-1)	350.00(-1)	12.00(1)	98.00
20	12.00(-1)	450.00(1)	7.00(-1)	43.00

Çizelge 6.14. Çilek için üç seviyeli merkezi kompozit tasarım ve bağımlı değişkenin deneysel yanıtları

Deneme no	Taze madde miktarı	İnfrared gücü	Kuruma zamanı	C Vitamini
	(g)	(W)	(dk)	(mg/100 g)
	A	B	C	Y ₂
1	100.00(0)	400.00(0)	23.00(1.68)	40.00
2	100.00(0)	484.00(1.68)	40.00(0)	18.00
3	90.00(-1)	350.00(-1)	30.00(-1)	48.00
4	110.00(1)	450.00(1)	30.00(-1)	27.00
5	90.00(-1)	450.00(1)	50.00(1)	24.00
6	100.00(0)	400.00(0)	56.00(1.68)	25.00
7	100.00(0)	400.00(0)	40.00(0)	31.00
8	100.00(0)	400.00(0)	40.00(0)	29.00
9	117.00(1.68)	400.00(0)	40.00(0)	31.00
10	90.00(-1)	450.00(1)	30.00(-1)	29.00
11	90.00(-1)	350.00(-1)	50.00(1)	42.00
12	100.00(0)	316.00(1.68)	40.00(0)	47.00
13	100.00(0)	400.00(0)	40.00(0)	31.00
14	83.00(-1.68)	400.00(0)	40.00(0)	34.00
15	100.00(0)	400.00(0)	40.00(0)	31.00
16	100.00(0)	400.00(0)	40.00(0)	31.00
17	110.00(1)	350.00(-1)	30.00(-1)	45.00
18	100.00(0)	400.00(0)	40.00(0)	31.00
19	110.00(1)	450.00(1)	50.00(1)	22.00
20	110.00(1)	350.00(-1)	50.00(1)	38.00

Çizelge 6.15. Kırmızı biber için üç seviyeli merkezi kompozit tasarım ve bağımlı değişkenin deneysel yanıtları

	Taze madde miktarı (g)	İnfared gücü (W)	Kuruma zamanı (dk)	C Vitamini (mg/100 g)
Deneme no	A	B	C	Y ₃
1	75.00(0)	400.00(0)	39.00(0)	102.00
2	75.00(0)	400.00(0)	39.00(0)	102.00
3	75.00(0)	400.00(0)	49.00(1.68)	95.00
4	75.00(0)	400.00(0)	39.00(0)	102.00
5	90.00(1)	450.00(1)	33.00(-1)	66.00
6	60.00(-1)	350.00(-1)	33.00(-1)	140.00
7	90.00(1)	350.00(-1)	33.00(-1)	130.00
8	75.00(0)	400.00(0)	39.00(0)	102.00
9	60.00(-1)	350.00(-1)	45.00(1)	130.00
10	60.00(-1)	450.00(1)	45.00(1)	68.00
11	75.00(0)	316.00(-1.68)	39.00(0)	147.00
12	50.00(-1.68)	400.00(0)	39.00(0)	106.00
13	100.00(1.68)	400.00(0)	39.00(0)	96.00
14	75.00 (0)	400.00(0)	39.00(0)	102.00
15	75.00(0)	484.00(1.68)	39.00(0)	53.00
16	60.00(-1)	450.00(1)	33.00(-1)	74.00
17	90.00(1)	350.00(-1)	45.00(1)	118.00
18	75.00(0)	400.00(0)	29.00(-1.68)	114.00
19	90.00(1)	450.00(1)	45.00(1)	59.00
20	75.00(0)	400.00(0)	39.00(0)	102.00

Çizelge 6.16. Yeşil biber için üç seviyeli merkezi kompozit tasarım ve bağımlı değişkenin deneysel yanıtları

	Taze madde miktarı (g)	İnfared gücü (W)	Kuruma zamanı (dk)	C Vitamini (mg/100 g)
Deneme no	A	B	C	Y₄
1	75.00(0)	400.00(0)	39.00(0)	120.00
2	75.00(0)	400.00(0)	39.00(0)	120.00
3	75.00(0)	400.00(0)	39.00(0)	120.00
4	100.00(1.68)	400.00(0)	39.00(0)	105.00
5	60.00(-1)	450.00(1)	33.00(-1)	87.00
6	90.00(1)	350.00(-1)	45.00(1)	139.00
7	75.00(0)	400.00(0)	49.00(1.68)	100.00
8	75.00(0)	400.00(0)	39.00(0)	120.00
9	90.00(1)	350.00(-1)	33.00(-1)	150.00
10	60.00(-1)	350.00(-1)	33.00(-1)	157.00
11	90.00(1)	450.00(1)	33.0(-1)0	79.00
12	75.00(0)	484.00(1.68)	39.00(0)	71.00
13	60.00(-1)	350.00(-1)	45.00(1)	149.00
14	75.00(0)	400.00(0)	39.00(0)	120.00
15	90.00(1)	450.00(1)	45.00(1)	68.00
16	75.00(0)	316.00(-1.68)	39.00(0)	185.00
17	50.00(-1.68)	400.00(0)	39.00(0)	105.00
18	75.00(0)	400.00(0)	39.00(0)	120.00
19	75.00(0)	400.00(0)	29.00(-1.68)	127.00
20	60.00(-1)	450.00(1)	45.00(1)	84.00

Çizelge 6.13-6.16 incelendiği zaman maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biber örnekleri için elde edilen deneysel yanıtların 35-110 mg/100 g, 18-48 mg/100 g, 53-147 mg/100 g ve 68-185 mg/100 g arasında değiştiği bulunmuştur. Maydanoz ve çilek için; 3 ve 2 denemelerinin, kırmızı biber için; 11 ve 15 denemelerinin , yeşil biber için; 16 ve 15 denemelerinin maksimum ve minimum C vitaminlerine sahip olduğu bulunmuştur.

Türetilen modellerin yeterliliği ve geçerliliği ANOVA ve F testi uygulanarak tespit edilmiştir [57]. Bağımsız değişkenler arasındaki etkileşimi anlamak için gerekli olan her bir katsayının önemini kontrol etmek için P değerleri kullanılmıştır. Buna göre modelin istatistiksel önemini tanımlamak için $P < 0.0001$ ve yanıtlar üzerinde önemi büyük olan terimleri belirlemek için ise $P < 0.05$ kriteri kullanılmıştır. Ayrıca modellerin uygunluğu belirleme katsayısı (R^2) ile kontrol edilmiştir [73, 74].

C vitamini değerlerini temsil eden Y_1 , Y_2 , Y_3 ve Y_4 için, kuadratik regresyon modelinin ANOVA sonuçları Çizelge 6.17-6.20' de verilmiştir.

Çizelge 6.17. Maydanozun C vitamini üzerinde polinom modeli için değişken analizi (ANOVA)

C Vitamini				
Faktör	Karelerin toplamı	df	F Değeri	P > F
Model	10129.440	9	34.070	< 0.0001
A	8.350	1	0.250	0.626
B	9405.960	1	284.720	< 0.0001
C	180.070	1	5.450	0.042
A ²	4.800x10 ⁻³	1	1.450x10 ⁻⁴	0.991
B ²	517.450	1	15.660	2.700x10 ⁻³
C ²	28.080	1	0.850	0.378
A B	0.130	1	3.780x10 ⁻³	0.952
A C	0.130	1	3.780x10 ⁻³	0.952
B C	1.130	1	0.034	0.857
R ² = 0.968				

Çizelge 6.18. Çileğin C vitamini üzerinde polinom modeli için değişken analizi (ANOVA)

C Vitamini				
Faktör	Karelerin toplamı	df	F Değeri	P > F
Model	1279.500	9	62.630	< 0.0001
A	18.850	1	8.300	0.016
B	1050.410	1	462.750	< 0.0001
C	170.310	1	75.030	< 0.0001
A ²	15.000	1	6.610	0.028
B ²	15.000	1	6.610	0.028
C ²	15.000	1	6.610	0.028
A B	1.130	1	0.500	0.497
A C	0.130	1	0.0550	0.819
B C	1.130	1	0.500	0.497
R ² = 0.983				

Çizelge 6.19. Kırmızı biberin C vitamini üzerinde polinom modeli için değişken analizi (ANOVA)

C Vitamini				
Faktör	Karelerin toplamı	df	F Değeri	P > F
Model	12872.680	9	142.850	< 0.0001
A	228.140	1	22.790	8×10^{-4}
B	12254.170	1	1223.910	< 0.0001
C	328.250	1	32.780	2×10^{-4}
A ²	18.530	1	1.850	0.204
B ²	31.890	1	3.180	0.105
C ²	0.150	1	0.015	0.904
A B	3.130	1	0.310	0.589
A C	1.130	1	0.110	0.744
B C	10.130	1	1.010	0.338
R ² = 0.992				

Çizelge 6.20. Yeşil biberin C vitamini üzerinde polinom modeli için değişken analizi (ANOVA)

C Vitamini				
Faktör	Karelerin toplamı	df	F Değeri	P > F
Model	17345.920	9	131.760	< 0.0001
A	123.090	1	8.410	0.016
B	16087.350	1	1099.800	< 0.0001
C	450.170	1	30.780	2×10^{-4}
A ²	441.640	1	30.190	3×10^{-4}
B ²	97.110	1	6.640	0.028
C ²	92.290	1	6.310	0.031
A B	6.130	1	0.420	0.532
A C	15.130	1	1.030	0.333
B C	3.130	1	0.210	0.654
R ² = 0.992				

Çizelge 6.17-6.20 incelendiği zaman, bazı işlem değişkenlerinin P<0.0001' de istatistiksel olarak önemli olduğu bulunmuştur.

C vitamininin elde edilmesinde maydanoz için; B, C lineer terimleri ile B² ikinci dereceden terimin, çilek için; A, B, C lineer terimleri ile A², B², C² ikinci dereceden terimlerin, kırmızı biber için; A, B, C lineer terimlerinin ve yeşil biber için; A, B, C lineer terimleri ile A², B², C² ikinci dereceden terimlerin önemli etkiye sahip olduğu bulunmuştur (P<0.05 için). Fakat maydanoz için; A lineer terimi ve A², C² ikinci dereceden terimleri ile AB, AC, BC çapraz çarpım terimlerinin, çilek için; AB, AC, BC çapraz çarpım terimlerinin, kırmızı biber için; A², B², C² ikinci dereceden terimlerin ile AB, AC, BC çapraz çarpım terimlerinin ve yeşil biber için; AB, AC, BC çapraz çarpım terimlerinin yanıtlar üzerinde düşük bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur.

Maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biber örneklerinin Yanıt Yüzey Metodunda uygun bulunan kodlanmış (Y_{ik}) ve gerçek değerlere (Y_{ig}) göre üretilmiş modeller aşağıda verilmiştir.

Maydanoz için;

$$Y_{1k}=+59.87-0.78xA-26.24xB-3.63xC-0.018xA^2+5.99xB^2+1.40xC^2+0.13xAxB-0.13xAxC-0.37xBxC \quad (6.1)$$

$$Y_{1g}=+682.839-0.438xA-2.428xB-4.206xC-2.921x10^{-3}xA^2+2.397x10^{-3}xB^2+0.223xC^2+1x10^{-3}xAxB-0.02xAxC-3x10^{-3}xBxC \quad (6.2)$$

Çilek için;

$$Y_{2k}=+30.61-1.17xA-8.77xB-3.53xC+1.02xA^2+1.02xB^2+1.02xC^2+0.37xAxB-0.13xAxC+0.37xBxC \quad (6.3)$$

$$Y_{2g}=+347.314-2.408xA-0.607xB-1.344xC+0.01xA^2+4.081x10^{-4}xB^2+0.01xC^2+7.5x10^{-4}xAxB-1.25x10^{-3}xAxC+7.5x10^{-4}xBxC \quad (6.4)$$

Kırmızı biber için;

$$Y_{3k}=+102.12-4.09xA-29.95xB-4.90xC-1.13xA^2-1.49xB^2+0.10xC^2+0.62xAxB-0.38xAxC+1.12xBxC \quad (6.5)$$

$$Y_{3g}=+346.194+0.313xA-0.332xB-2.229xC-5.04x10^{-3}xA^2-5.95x10^{-4}xB^2+2.874x10^{-3}xC^2+8.33x10^{-4}xAxB-4.167x10^{-3}xAxC+3.75x10^{-3}xBxC \quad (6.6)$$

Yeşil biber;

$$Y_{4k}=+120.04-3.00xA-34.32xB-5.74xC-5.54xA^2+2.60xB^2-2.53xC^2-0.87xAxB-1.38xAxC+0.63xBxC \quad (6.7)$$

$$Y_{4g}=+320.569+4.553xA-1.511xB+4.839xC-0.025xA^2+1.038x10^{-3}xB^2-0.07xC^2-1.167x10^{-3}xAxB-0.015xAxC+2.083x10^{-3}xBxC \quad (6.8)$$

Elde edilen yüksek R^2 değerlerinden (maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biber için sırasıyla; 0.968, 0.983, 0.992 ve 0.992) ikinci dereceden polinom modellerle iyi uyum sağladığı görülmüştür. Bu değerlerin 1' e yakın olması, kurulan matematiksel modellerin bağımsız değişkenler ile yanıt değişkeni arasındaki ilişkiyi iyi temsil ettiğinin bir ölçüsü olarak kullanılmıştır [57].

Modellerin değişken analizi sonuçları Çizelge 6.21-6.24' de verilmiştir.

Çizelge 6.21. Maydanozun Yanıt Yüzey Modeli ile regresyon parametrelerinin değişken analizi (ANOVA)

Yanıt	Regresyon	df	Kareler toplamı	R ²	F değeri	P > F
C Vitamini	Lineer	3	9594.380	0.917	59.130	<0.0001
	Çapraz- çarpım	3	1.380	0.917	6.900x10 ⁻³	0.999
	<u>Kuadratik</u>	<u>3</u>	<u>533.690</u>	<u>0.968</u>	<u>5.380</u>	<u>1.820x10⁻²</u>
	Artık	6	53.740			
	Toplam	15	10183.190			

Çizelge 6.22. Çileğin Yanıt Yüzey Modeli ile regresyon parametrelerinin değişken analizi (ANOVA)

Yanıt	Regresyon	df	Kareler toplamı	R ²	F değeri	P > F
C Vitamini	Lineer	3	1239.570	0.952	105.560	<0.0001
	Çapraz- çarpım	3	2.380	0.954	0.170	0.914
	<u>Kuadratik</u>	<u>3</u>	<u>37.560</u>	<u>0.983</u>	<u>5.510</u>	<u>1.700x10⁻²</u>
	Artık	6	13.270			
	Toplam	15	1292.780			

Çizelge 6.23. Kırmızı biberin Yanıt Yüzey Modeli ile regresyon parametrelerinin değişken analizi (ANOVA)

Yanıt	Regresyon	df	Kareler toplamı	R ²	F değeri	P > F
C Vitamini	Lineer	3	12810.560	0.987	421.120	<0.0001
	Çapraz- çarpım	3	14.380	0.989	0.420	0.741
	<u>Kuadratik</u>	<u>3</u>	<u>47.740</u>	<u>0.992</u>	<u>1.590</u>	<u>0.253</u>
	Artık	6	43.680			
	Toplam	15	12916.360			

Çizelge 6.24. Yeşil biberin Yanıt Yüzey Modeli ile regresyon parametrelerinin değişken analizi (ANOVA)

Yanıt	Regresyon	df	Kareler toplamı	R ²	F değeri	P > F
C Vitamini	Lineer	3	16660.600	0.952	106.850	<0.0001
	Çapraz- çarpım	3	24.380	0.954	0.130	0.940
	<u>Kuadratik</u>	<u>3</u>	<u>660.950</u>	<u>0.992</u>	<u>15.060</u>	<u>5x10⁻⁴</u>
	Artık	6	3.880			
	Toplam	15	17349.810			

Çizelge 6.21-6.24 incelendiği zaman, araştırma materyallerinin C vitamini optimizasyonunda önerilen tüm modeller içinde en uygun modelin kuadratik regresyon modeli olduğu görülmektedir.

6.10.2. C Vitamini İçin Optimum Kurutma Şartları

Denklem 6.2, 6.4, 6.6 ve 6.8' de verilen regresyon modelleri infrared kurutucuda kurutulan maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biber örneklerinin C vitamini değerlerinden optimum işlem şartlarını belirlemek için kullanılmıştır. RSM tasarım programında (DX-6 trial software) nümerik optimizasyon yapılarak optimum değerler bulunmuştur. Bağımsız değişkenlerin optimum değerleri maydanoz için; A= 12.00 g, B= 350.01 W, C= 7.00 dk, çilek için; A= 90.00 g, B= 350.00 W, C= 30.00 dk, kırmızı biber için; A= 60.00 g, B= 350.08 W, C= 33.00 dk ve yeşil biber için; A= 73.98 g, B= 350.00 W, C= 33.00 dk olarak bulunmuştur. Maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biber örneklerinin bu optimum noktalarda tahmin edilen C vitamini değerleri sırasıyla 97.51 mg/100 g, 47.77 mg/100 g, 139.88 mg/100 g ve 160.81 mg/100 g olarak bulunmuştur.

Maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biber örneklerinin deneylerden ve gerçek modelden elde edilen C vitamini değerleri ile bu değerler arasındaki % bağıl hata değerleri Çizelge 6.25-6.28' de verilmiştir.

Çizelge 6.25. Maydanoz kurutma prosesi için deneysel-model kıyaslaması

Y₁	Y_{1g}	
(mg/100 g)	(mg/100 g)	% Bağlı hata
60.000	60.008	0.0127
35.000	36.351	3.861
110.000	120.970	9.973
60.000	60.008	0.013
95.000	89.291	6.009
53.000	57.813	9.082
60.000	60.008	0.013
58.000	61.269	5.637
39.000	32.871	15.715
102.000	97.650	4.265
60.000	60.008	0.013
60.000	60.008	0.013
70.000	70.069	0.099
37.000	37.915	2.473
100.000	96.086	3.914
41.000	44.646	8.893
57.000	58.643	2.882
60.000	60.008	0.013
98.000	91.355	6.781
43.000	45.710	6.302

Çizelge 6.26. Çilek kurutma prosesi için deneysel-model kıyaslaması

Y₂ (mg/100 g)	Y_{2g} (mg/100 g)	% Bağlı hata
40.000	37.413	6.467
18.000	16.386	8.967
48.000	45.941	4.289
27.000	24.729	8.410
24.000	20.509	14.545
25.000	24.906	0.376
31.000	28.250	8.871
29.000	28.250	2.586
31.000	28.454	8.213
29.000	26.889	7.278
42.000	38.061	9.378
47.000	45.873	2.397
31.000	28.250	8.871
34.000	33.826	0.512
31.000	28.250	8.871
31.000	28.250	8.871
45.000	42.281	6.042
31.000	28.250	8.871
22.000	17.849	18.867
38.000	33.901	10.786

Çizelge 6.27. Kırmızı biber kurutma prosesi için deneysel-model kıyaslaması

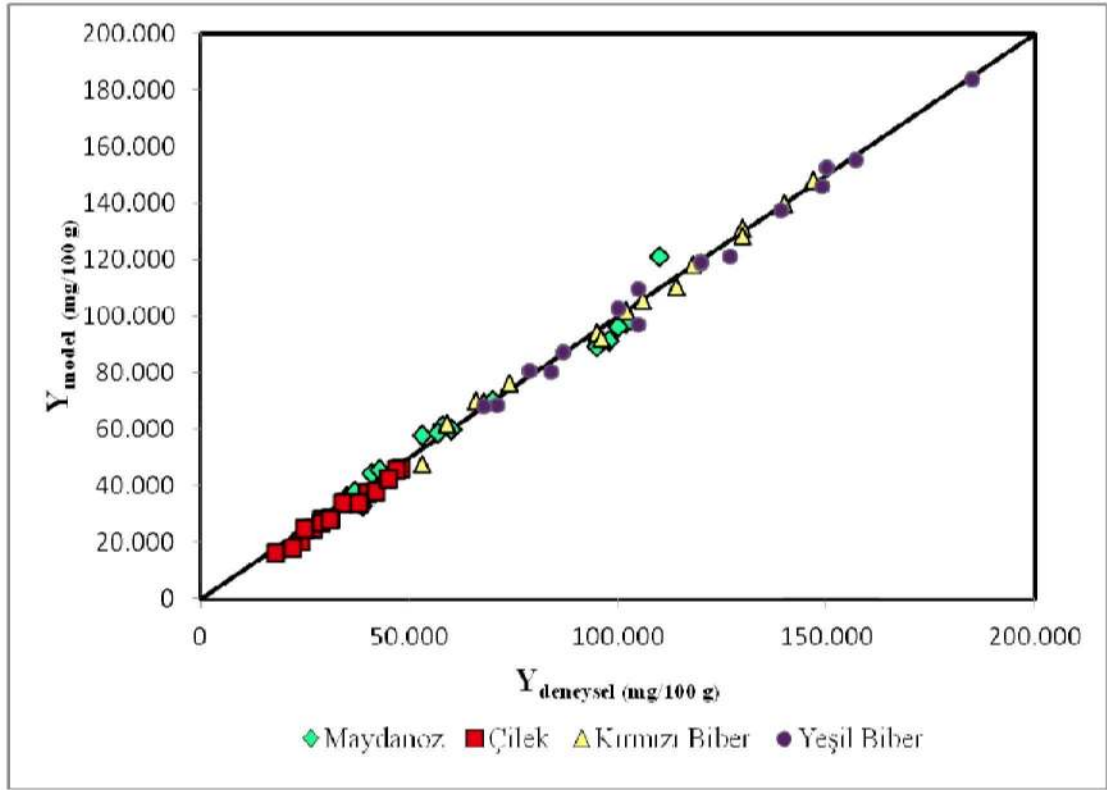
Y₃	Y_{3g}	
(mg/100 g)	(mg/100 g)	% Bağlı hata
102.000	102.061	0.060
102.000	102.061	0.060
95.000	94.175	0.869
102.000	102.061	0.060
66.000	70.273	6.475
140.000	139.870	0.093
130.000	131.201	0.924
102.000	102.061	0.060
130.000	128.562	1.106
68.000	69.635	2.404
147.000	148.202	0.817
106.000	105.719	0.265
96.000	92.103	4.059
102.000	102.061	0.060
53.000	47.523	10.333
74.000	76.443	3.301
118.000	118.393	0.333
114.000	110.522	3.051
59.000	61.965	5.025
102.000	102.061	0.060

Çizelge 6.28. Yeşil biber kurutma prosesi için deneysel-model kıyaslaması

Y₄	Y_{4g}	
(mg/100 g)	(mg/100 g)	% Bağıl hata
120.000	118.960	0.867
120.000	118.960	0.867
120.000	118.960	0.867
105.000	97.114	7.510
87.000	87.174	0.201
139.000	137.446	1.118
100.000	102.832	2.832
120.000	118.960	0.867
150.000	152.349	1.566
157.000	155.363	1.043
79.000	80.660	2.101
71.000	68.585	3.401
149.000	145.860	2.108
120.000	118.960	0.867
68.000	68.256	0.377
185.000	183.982	0.550
105.000	109.555	4.338
120.000	118.960	0.867
127.000	121.088	4.655
84.000	80.171	4.559

Maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biber örneklerinin deneylerden ve gerçek modelden elde edilen C vitamini değerleri arasındaki ortalama mutlak yüzde hata değerleri sırasıyla % 4.298, % 7.673, % 1.970 ve % 2.078 olarak bulunmuştur. Buna göre en iyi modelin kırmızı ve yeşil biber örnekleri için elde edildiği belirlenmiştir.

Maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biber örneklerinin Çizelge 6.25-6.28’ de verilen deneysel ve modelden hesaplanan C vitamini değerlerinin grafiksel olarak gösterimi Şekil 6.17’ de verilmiştir.



Şekil 6.17. Maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biberin kurutulması sonucunda C vitamini değerlerinin deneysel - model uyumu

Şekil 6.17 incelendiği zaman örneklerin deneysel ve modelden elde edilen C vitamini değerlerinin uyumlu olduğu görülmektedir.

7. SONUÇLAR

Bir infrared kurutucuda 300, 400 ve 500 W infrared kurutma güçlerinde maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biber örneklerinin kurutulmasında infrared gücünün ve ön işlemin etkileri araştırılmıştır. Infrared gücü arttıkça kuruma süresinin kısaldığı tespit edilmiştir. Ön işlemin maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biber örneklerinin kuruma sürelerinde bir değişikliğe sebep olmadığı, kurutma işleminin sabit hız periyodu ve bunu takiben azalan hız periyodunda meydana geldiği bulunmuştur. Kuruma hızı ve etkin difüzivitenin infrared gücü arttıkça arttığı tespit edilmiştir. Hesaplanan etkin nem difüzivite değerlerinin maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biber örnekleri için sırasıyla 3.126×10^{-11} - 1.524×10^{-11} m²/s, 6.389×10^{-10} - 2.738×10^{-10} m²/s, 14.605×10^{-10} - 8.114×10^{-10} m²/s ve 12.424×10^{-10} - 6.212×10^{-10} m²/s arasında değiştiği bulunmuştur. Maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biber örneklerinin kuruma kinetiğini tanımlamak için kullanılan 4 model arasında en düşük χ^2 ve RMSE ile en yüksek R² değerlerine sahip olan Page modelinin deneysel ve tahmin edilen nem oranı değerleri arasında iyi uyum sağlayan model olduğu bulunmuştur. Aktivasyon enerjisi maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biber örnekleri için sırasıyla 20.854, 4.871, 4.371, 5.421 W/g olarak hesaplanmıştır. Rehidrasyon kapasitesinin infrared gücü arttıkça arttığı tespit edilmiştir. Ön işlemlenmiş maydanoz, kırmızı biber ve yeşil biber örneklerinin rehidrasyon kapasitesinin ön işlemsiz örneklerle kıyasla yüksek olduğu fakat etil oleat çözeltisi ile ön işlem yapılan çileğin rehidrasyon kapasitesinde bir değişiklik meydana gelmediği bulunmuştur. Ön işlemlenmiş ve ön işlemsiz olarak kurutulan maydanoz ve yeşil biber örneklerinin taze örneklerden daha az parlak yeşil renklere; çilek ve kırmızı biber örneklerinin ise daha az parlak kırmızı renklere sahip olduğu bulunmuştur. Kurutulan örneklerin renk değerlerinin birbirinden çok farklı olmadığı ve bu renk değerlerindeki değişikliğin infrared gücüne bağlı olmadığı belirlenmiştir. Ön işlemsiz kuru örneklerin C vitamini değerlerinin taze örneklerinkinden düşük olduğu ve bu değerlerdeki değişikliğin infrared gücüne bağlı olduğu belirlenmiştir. Öte yandan, ön işlem görmüş ve ön işlem görmemiş örneklerin C vitamini değerleri açısından bir farklılık saptanmamıştır. Kurutulmuş maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biber içindeki C vitamininin belirlenmesi için Yanıt Yüzey Metodu (RSM) kullanılmıştır. Bu amaçla, C vitamini bağımsız değişkenlerin (taze madde miktarı, infrared gücü ve kuruma zamanı) fonksiyonu olarak modellenmiştir. Elde edilen modeller infrared

kurutucuda kurutulan maydanoz, ilek, kırmızı biber ve yeşil biber örneklerinin C vitamini değerlerinden optimum işlem şartlarını belirlemek için kullanılmıştır. RSM tasarım programında nümerik optimizasyon yapılarak optimum değerler bulunmuştur. Bağımsız değişkenlerin optimum değerleri maydanoz için; A= 12.00 g, B= 350.01 W, C= 7.00 dk, ilek için; A= 90.00 g, B= 350.00 W, C= 30.00 dk, kırmızı biber için; A= 60.00 g, B= 350.08 W, C= 33.00 dk ve yeşil biber için; A= 73.98 g, B= 350.00 W, C= 33.00 dk olarak bulunmuştur. Maydanoz, ilek, kırmızı biber ve yeşil biber örneklerinin bu optimum noktalarda tahmin edilen C vitamini değerleri sırasıyla 97.51 mg/100 g, 47.77 mg/100 g, 139.88 mg/100 g ve 160.81 mg/100 g olarak bulunmuştur. Maydanoz, ilek, kırmızı biber ve yeşil biber örneklerinin deneylerden ve gerçek modelden elde edilen C vitamini değerleri arasındaki ortalama mutlak yüzde hata değerleri sırasıyla % 4.298, % 7.673, % 1.970 ve % 2.078 olarak bulunmuştur. Buna göre en iyi modelin kırmızı ve yeşil biber örnekleri için elde edildiğı belirlenmiştir. Örneklerin deneysel ve modelden elde edilen C vitamini değerlerinin uyumlu olduğı saptanmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] T. C. Milli Eğitim Bakanlığı, "Gıda Teknolojisi, Sebzeleri Kurutma", **Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi**, Ankara, 2007.
- [2] G. Bingöl, Y. O. Devres, "Gıda İşlemede Kurutma Teknolojilerinin Temel İlkeleri" **İstanbul Sanayi Odası-İstanbul Teknik Üniversitesi Doktora/Yüksek Lisans Tezlerine Sanayi Desteği Projesi**, İstanbul, 2010.
- [3] J. Acar, V. Gökmen, F. Us, Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi 2. Cilt, **Hacettepe Üniversitesi Yayınları**, Ankara, 2006.
- [4] M. Maskan, "Microwave-Air and Microwave Finish Drying of Banana", **Journal of Food Engineering**, 44 (2000) 71-78.
- [5] Y. Soysal, "Microwave Drying Characteristics of Parsley", **Biosystem Engineering**, 89:2 (2004) 167-173.
- [6] İ. Doymaz, "Drying Characteristics of Sweet Cherry", **Food and Bioproduct Processing**, 8 (2010) 1-32.
- [7] K. Krishnamurthy, S.J. Khurana, J. Irudayaraj, A. Demirci, "Infrared Heating in Food Processing", **An Overview. Compr. Rev. Food Sci. Food Safety**, 7 (2008) 2-13.
- [8] İ. Doymaz, N. Tuğrul, M. Pala, "Maydanozun Kurutma Karakteristiklerinin İncelenmesi", **Araştırma Makalesi, Yıldız Teknik Üniversitesi**, İstanbul, 2000.
- [9] A. Sarımeşeli, "Microwave Drying Characteristics of Coriander Leaves", **Energy Conversion and Management**, 52 (2011) 1449-1453.
- [10] G. Dadalı, "Bamya ve Ispanağın Mikrodalga Tekniği Kullanılarak Kurutulması, Doku ve Renk Özelliklerinin İncelenmesi ve Modellenmesi", **Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi**, İstanbul, 2007.
- [11] A. Kaya, O. Aydın, " An Experimental Study on Drying Kinetics of Some Herbal Leaves ", **Energy Convers Manage**, 50 (2009) 118-24.
- [12] İ. Doymaz, M. Pala, "Daldırma Çözeltisi Kullanımının Biber Kuruma Sürelerine Etkisinin incelenmesi", **Araştırma Makalesi, Yıldız Teknik Üniversitesi**, İstanbul, 2000.
- [13] O. İsmail, "Investigation The Effect of Potasium Carbonate Solutions on Drying of Sultana Grapes", **Journal of Engineering and Natural Sciences**, 2005.
- [14] İ. Doymaz, "Drying Characteristics and Kinetics of Okra", **Journal of Food Engineering**, 69 (2005) 275-279.

- [15]T. Dikbasan, "Determination of Effective Parameters for Drying of Apples", **Master of Science, İzmir Institute of Technology**, December 2007.
- [16]A. Midilli, H. Kucuk, Z. Yapar, "A New Model for Single Layer Drying", **Dry Technol**, 20 (2002) 1503-13.
- [17]H. Kocabıyık, B. S. Demirtürk, "Nane Yapraklarının İnfrared Radyasyonla Kurutulması", **Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi**, 5:3 (2008).
- [18]G. Dadalı, B. Özbek, "Microwave Heat Treatment of Leek", **International Journal of Food Science and Technology**, 43 (2008) 1443-1451.
- [19]İ. Doymaz, "Convective Drying Kinetics of Strawberry", **Chemical Engineering and Processing**, 47 (2008) 914-919.
- [20]M. Özdemir, Y. O. Devres, "The Thin-layer Drying Characteristics of Hazelnuts During Roasting", **Journal of Food Engineering**, 42 (1999) 225-233.
- [21]H. Kocabıyık, D. Tezer, "Drying of Carrot Slices Using İnfrared Radiation", **International Journal of Food Science and Technology**, 44 (2009) 953-959.
- [22]Ş. Nasıroğlu, H. Kocabıyık, "Thin-Layer İnfrared Radiation Drying of Red Pepper Slices", **Journal of Food Process Engineering**, 32 (2009) 1-16.
- [23]H. Polatçı, S. Tarhan, "Farklı Kurutma Yöntemlerinin Reyhan Bitkisinin Kuruma Süresine ve Kalitesine Etkisi", **Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi**, 26:1 (2009) 61-70.
- [24]İ. Saldamlı, E. Saldamlı, Gıda Endüstrisi Makineleri, **Savaş Yayınevi**, Ankara, 2004.
- [25]İ. Doymaz, M. Pala, "Hot-air Drying Characteristics of Red Pepper", **Journal of Food Engineering**, 55 (2002) 331-335.
- [26]C. Ertekin, O. Yıldız, "Drying Eggplant and Selection of Suitable Thin-Layer Drying Model", **Journal of Food Engineering**, 63 (2004) 349-359.
- [27]B. Cemeröğlu, Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi 2.Cilt, **Bizim Grup Basımevi**, Ankara, 2009.
- [28]M. Ceylan, "Kurutma Prosesleri ve Kurutucu Tipleri", **Bitirme Tezi**, İnönü Üniversitesi, 2010.
- [29]**Kuantumevreni**, http://www.kuantumevreni.com/FileUpload/ks88721/File/em_tayf.doc
- [30]S. Ö. Özkoç, "Kızılötesi ve Kızılötesi-Kombinasyon Isıtma Teknolojilerinin Gıda İşleme Uygulamalarında Kullanımı", **Derleme**, 2009.
- [31]**Lamdaisi**, <http://www.lamdaisi.com/uygulama.html>

- [32]**Gozlemevi**, http://gozlemevi.omu.edu.tr/depo/elektromanyetik_spektrum.pdf
- [33]**Livengood**, http://www.livengood-lifestyles.com/smarty_fir.html
- [34]C. Akosman, "Küp Şekerin İnfrared Enerjisi ile Kurutulması", **F. Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 15:4 (2003) 561-568.
- [35]Ş. Nasıroğlu, "Kırmızı Biber, Elma ve Pırasanın Kurutulmasında İnfrared Kurutma Tekniğinin Kullanılması", **Yüksek Lisans Tezi**, Çanakkale OnSekiz Mart Üniversitesi, Eylül 2007.
- [36]R. Ranjan, J. Irudayaraj, S. Jun, "Simulation of Infrared Drying Process", **Drying Technology**, 20 (2002) 363-379.
- [37]T. M. Afzal, T. Abe, "Diffusion in Potato During Far-Infrared Radiation Drying", **Journal of Food Engineering**, 37 (1998) 353-365.
- [38]Y. P. Lin, J. H. Tsen, V. A. E. King, "Effects of Far-Infrared Radiation on the Freeze-Drying of Sweet Potato", **Journal of Food Engineering**, 68 (2005) 249-255.
- [39]H. U. Hebbar, K. H. Viswanathan, M. N. Ramesh, "Development of Combined Infrared and Hot-Air Dryer for Vegetables", **Journal of Food Engineering**, 65 (2004) 557-563.
- [40]G. Sumnu, E. Turabi, "Drying of Carrots in Microwave and Halogen Lamp–Microwave Combination Ovens", 2005, **LWT** 38, 549-553.
- [41]H. Toğrul, "Suitable Drying Model for Infrared Drying of Carrot", **Journal of Food Engineering**, 77 (2006) 610-619.
- [42]Y. Zhu, Z. Pan, T. Mchugh, "Effect of Dipping Treatments on Color Stabilization and Texture of Apple Cubes for Infrared Dry-Blanching Process", **Journal of Food Processing and Preservation** , 31 (2007) 632-648.
- [43]D. Nowark, P. P. Lewicki, "Infrared Drying of Apple Slices", **Innovative Food Sci. Emerging. Technol.** , 5 (2004) 353-360.
- [44]H. Toğrul, "Simple Modeling of Infrared Drying of Fresh Apple Slices", **J. Food Eng.** , 71 (2005) 311-323.
- [45]J. Sun, X. Hu, G. Zhao, J. Wu, Z. Wang, "Characteristics of Thin-Layer Infrared Drying of Apple Pomace with and without Hot Air Pre-Drying", **Food Science and Technology International**, 13 (2007) 91-95.
- [46]A. Çağlar, İ. Toğrul, H.Toğrul, "Moisture and Thermal Diffusivity of Seedless Grape Under Infrared Drying", **Food and Bioproducts Processing**, 2009, 292–300.

- [47]C. Nimmol, S. Devahastin, T. Swasdisevi and S. Soponronnarit, "Drying of Banana Slices Using Combined Low-pressure Superheated Steam and Far-Infrared Radiation", **J. Food Eng.** , 81 (2007) 624-633.
- [48]D. G. P. Kumar, H. U. Hebbar, M. N. Ramesh, "Suitability of Thin Layer Models for Infrared-hot Air Drying of Onion Slices", **Lebensmittel-Wissenschaft Und-Technologie**, 39 (2006) 700-705.
- [49]P. B. Pathare, G. P. Sharma, "Effective Moisture Diffusivity of Onion Slices Undergoing Infrared Convective Drying", **Biosystems Engineering**, 93 (2006) 285-291.
- [50]J. Wang, K. Sheng, "Far-Infrared and Microwave Drying of Peach", **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, 39 (2006) 247-255.
- [51]N. Ebcioğlu, Sağlığımızın Yapıtaşları Sebze ve Meyveler, **Remzi Kitabevi**, İstanbul, 2003.
- [52]Z. Kütevin, T. Türkeş, Sebzeçilik Genel Sebze Tarımı Prensipleri ve Pratik Sebzeçilik Yöntemleri, **İnkılap Kitabevi**, 1994.
- [53]AOAC, Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 13th ed. Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists, 1980.
- [54]G. Dadalı, B. Özbek, "Kinetic Thermal Degradation of Vitamin C During Microwave Drying of Okra and Spinach", **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, (2007) 1-11, First Article.
- [55]B. Koç, F. Kaymak-Ertekin, "Yanıt Yüzey Yöntemi ve Gıda İşleme Uygulamaları", **Derleme**, 35:1 (2010) 63-70.
- [56]S. Gangopadhyay, B. R. Sarkar and B. Bhattacharyya, "Modellig and Analysis of EDMed job surface integrity", **Journal of Materials Processing Technology**, 189 (2007) 169-177.
- [57]T. Ç. Deniz, C. Çağın, A. Özgedik, "Elektro Erozyon ile İşlemede İşleme Parametrelerinin Matematiksel Modellenmesi", **Makina Tasarım ve İmalat Dergisi**, Cilt 7, Sayı 1, 2005.
- [58]H. T. Lee and T. Y. Tai, "Relationship Between EDM Parameters and Surface Crack Formation", **J. Mater. Process. Technol.** , 142 (2003) 676–683.
- [59]E. Kavak-Akpınar, Y. Biçer, A. Midilli, "Modeling and Experimental Study on Drying of Apple Slices in a Convective Cyclone Dryer", **Journal of Food Process Engineering**, 26 (2003) 515-541.

- [60]E. Kavak Akpınar, Y. Biçer, "Siklon Tipi Bir Konvektif Kurutucuda Patlıcan Dilimlerinin Kuruma Kinetiğinin Ampirik Bağlıntılarla Açıklanması", **Araştırma Makalesi**, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2002.
- [61]J. Crank, The Mathematics of Diffusion, **Oxford, UK**, Clarendon Press, 1975.
- [62]G. Dadalı, D. Apar (Kılıç), B. Özbek, "Estimation of Effective Moisture Diffusivity of Okra by Microwave", **Drying Technology**, 25 (2007c) 1441-1446.
- [63]İ. Das, S. K. Das, S. Bal, "Drying Performance of A Batch Type Vibration Aided Infrared Dryer", **Journal of Food Engineering**, 64 (2004b) 129-133.
- [64]T. M. Afsal, T. Abe, "Some Fundamental Attributes of Far-Infrared Radiation Drying of Potato", **Drying Technology**, 17 (1999) 137-155.
- [65]G. P. Sharma, R. C. Verma, P. B. Pathare, "Mathematical Modeling of Infrared Radiation Thin-Layer Drying of Onion Slices", **Journal of Food Engineering**, 71 (2005b) 282-286.
- [66]İ. Doymaz, O. İsmail, "Drying Characteristics of Sweet Cherry", **Food and Bioproducts Processing**, 2008, doi: 10.1016/j.fbp.2010.03.006.
- [67]G. Mowlah, K. Takano, I. Kamoi, T. Obara, "Water Transport Mechanism and Some Aspects of Quality Changes During Air Dehydration of Bananas", **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, 16 (1983) 103-107.
- [68]S. Mongpraneet, T. Abe, T. Tsurusaki, "Far-Infrared-Vakum and Convection Drying of Welsh Onion", **Transaction of the American Society of Agricultural Engineers**, 45 (2002) 1529-1535.
- [69]P. S. Madamba, R. H. Griscoll, K. A. Buckle, "The Thin-Layer Drying Characteristics of Garlic Slices", **J. Food Eng.**, 29 (1996) 75-97.
- [70]F. Gogus, M. Maskan, "Water Adsorption and Drying Characteristics of Okra", **Drying Technology**, 17 (1999) 883-894.
- [71]E. K. Akpınar, Y. Biçer, "Mathematical Modeling and Experimental Study on Thin-Layer Drying of Strawberry", **International Journal of Food Engineering**, 2006, Vol. 2: Iss. 1, Article 1.
- [72]A. Kaya, O. Aydın, C. Demirtaş, "Experimental and Theoretical Analysis of Drying Carrots", **Desalination**, 237 (2009) 285-295.
- [73]P. Mitra, V. Meda, "Optimization of Microwave-Vacuum Drying Parameters of Saskatoon Berries Using Response Surface Methodology", **Drying Technology**, 27 (2009) 1089-1096.

[74]P. Manivanan, M. Rajasimman, "Osmotic Dehydration of Beetroot in Salt Solution: Optimization of Parameters Through Statistical Experimental Design", **International Journal of Chemical and Biomolecular Engineering**, 1:4 (2008).

EKLER

EK 1. Maydanoz kurutma prosesi için elde edilen deneysel veriler

İnfrared gücü (W)	t(dk)	m (g)	M_t	MR	DR
300	0	20.070	4.882	1.000	0.000
	5	17.100	4.012	0.822	0.174
	10	12.900	2.781	0.569	0.246
	15	9.070	1.658	0.340	0.224
	20	6.320	0.852	0.174	0.161
	25	4.740	0.389	0.080	0.093
	30	3.590	0.177	0.036	0.042
	33	3.510	0.102	0.021	0.025
400	0	20.050	4.882	1.000	0.000
	5	14.810	3.345	0.685	0.307
	10	8.600	1.523	0.312	0.364
	15	5.100	0.496	0.102	0.205
	20	3.540	0.129	0.026	0.073
	21	3.500	0.095	0.019	0.034
500	0	20.000	4.882	1.000	0.000
	6	10.440	2.070	0.424	0.469
	7	8.850	1.603	0.328	0.468
	8	7.540	1.218	0.249	0.385
	9	6.340	0.865	0.177	0.353
	10	5.320	0.565	0.116	0.300
	11	4.720	0.388	0.079	0.176
	14	3.500	0.105	0.021	0.094

EK 2. Çilek kurutma prosesi için elde edilen deneysel veriler

İnfrared gücü (W)	t(dk)	m (g)	M_t	MR	DR
300	0	130.050	12.513	1.000	0.000
	12	121.860	11.662	0.932	0.071
	21	111.970	10.635	0.850	0.114
	30	98.910	9.278	0.741	0.151
	40	85.200	7.853	0.627	0.142
	50	71.000	6.378	0.510	0.147
	60	58.000	5.027	0.402	0.135
	70	46.300	3.811	0.304	0.121
	87	32.000	2.325	0.186	0.087
	97	11.300	1.681	0.134	0.064
	107	10.810	1.184	0.095	0.050
	117	10.440	0.817	0.065	0.037
	127	10.180	0.552	0.044	0.026
	137	9.990	0.365	0.029	0.019
	147	9.860	0.237	0.019	0.013
	157	9.770	0.151	0.012	0.009
	165	9.730	0.104	0.008	0.006
400	0	130.230	12.513	1.000	0.000
	13	114.000	10.829	0.865	0.129
	20	99.000	9.273	0.741	0.222
	30	77.700	7.063	0.564	0.221
	40	58.000	5.018	0.401	0.204
	52	38.800	3.026	0.241	0.166
	60	29.590	2.070	0.165	0.119
	70	10.890	1.248	0.100	0.082
	80	10.350	0.709	0.057	0.054
	90	10.020	0.385	0.031	0.032
	100	9.840	0.199	0.016	0.018
	110	9.740	0.099	0.008	0.010

EK 2-devam

İnfrared gücü (W)	t(dk)	m (g)	M_t	MR	DR
500	0	130.140	12.513	1.000	0.000
	13	108.000	10.214	0.816	0.177
	20	88.500	8.1897	0.654	0.289
	30	60.000	5.230	0.418	0.296
	40	37.470	2.891	0.231	0.234
	45	29.200	2.032	0.162	0.172
	55	10.580	0.949	0.076	0.108
	65	10.020	0.389	0.031	0.056
	75	9.770	0.142	0.011	0.025
	78	9.730	0.103	0.008	0.013

EK 3. Kırmızı biber kurutma prosesi için elde edilen deneysel veriler

İnfrared gücü (W)	t(dk)	m (g)	M_t	MR	DR
300	0	100.050	9.417	1.000	0.000
	12	94.100	8.808	0.935	0.051
	20	83.970	7.890	0.838	0.115
	26	74.100	7.053	0.749	0.139
	35	59.280	5.630	0.598	0.158
	40	49.990	4.859	0.516	0.154
	52	32.760	3.167	0.336	0.141
	67	18.590	1.625	0.173	0.103
	70	16.900	1.384	0.147	0.080
	77	10.550	0.941	0.100	0.063
	87	10.120	0.516	0.055	0.042
	93	9.960	0.351	0.037	0.027
	100	9.820	0.215	0.023	0.019
	110	9.710	0.102	0.011	0.011
400	0	100.060	9.417	1.000	0.000
	6	96.400	9.036	0.959	0.063
	11	89.910	8.360	0.888	0.135
	18	77.820	7.101	0.754	0.180
	22	69.590	6.245	0.663	0.214
	30	54.400	4.663	0.495	0.198
	35	45.880	3.776	0.401	0.177
	40	38.070	2.963	0.315	0.163
	46	30.150	2.139	0.227	0.137
	55	21.580	1.246	0.132	0.099
	60	18.190	0.894	0.095	0.070
	68	10.100	0.498	0.053	0.049
	78	9.830	0.224	0.024	0.027
	87	9.710	0.102	0.011	0.013

EK 3-devam

İnfrared gücü (W)	t(dk)	m (g)	M_t	MR	DR
500	0	100.040	9.417	1.000	0.000
	6	95.200	8.913	0.946	0.084
	10	87.400	8.100	0.860	0.203
	15	75.430	6.854	0.728	0.249
	21	61.840	5.210	0.553	0.274
	28	44.140	3.596	0.382	0.230
	36	29.770	2.099	0.223	0.187
	41	22.530	1.346	0.143	0.151
	47	17.390	0.811	0.086	0.089
	57	9.890	0.288	0.0306	0.052
	66	9.700	0.099	0.0105	0.021

EK 4. Yeşil biber kurutma prosesi için elde edilen deneysel veriler

İnfrared gücü (W)	t(dk)	m (g)	M_t	MR	DR
300	0	100.010	12.333	1.000	0.000
	10	88.850	10.845	0.879	0.149
	20	72.850	8.712	0.706	0.213
	33	52.210	5.961	0.483	0.212
	42	40.050	4.339	0.352	0.180
	52	29.590	2.945	0.239	0.139
	57	25.390	2.385	0.193	0.112
	65	20.010	1.668	0.135	0.090
	78	8.410	0.908	0.074	0.058
	88	8.050	0.545	0.044	0.036
	98	7.820	0.318	0.026	0.023
	108	7.680	0.181	0.015	0.014
	118	7.600	0.100	0.008	0.008
400	0	100.070	12.333	1.000	0.000
	8	92.000	11.258	0.913	0.134
	17	73.480	8.790	0.713	0.274
	21	64.680	7.618	0.618	0.293
	27	51.810	5.903	0.479	0.286
	30	45.510	5.064	0.410	0.280
	36	35.110	3.678	0.298	0.231
	43	25.470	2.393	0.194	0.183
	49	19.330	1.575	0.128	0.136
	56	14.510	0.933	0.076	0.092
	66	7.910	0.405	0.033	0.053
	76	7.660	0.160	0.013	0.024
	80	7.610	0.107	0.009	0.013

EK 4-devam

İnfrared gücü (W)	t(dk)	m (g)	M_t	MR	DR
500	0	100.050	12.333	1.000	0.000
	9	82.610	10.009	0.811	0.258
	15	65.120	7.678	0.622	0.388
	21	49.130	5.547	0.450	0.355
	25	38.770	4.167	0.338	0.345
	32	25.230	2.362	0.191	0.258
	38	17.740	1.364	0.111	0.166
	45	8.210	0.703	0.057	0.094
	54	7.760	0.258	0.021	0.049
	61	7.610	0.109	0.009	0.021

ÖZGEÇMİŞ

Meltem Onin, 29 Temmuz 1985 yılında Malatya’ da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Malatya’ da tamamladı. İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü Lisans programından 2007 yılında bölüm ikincisi olarak mezun olmuştur. Daha sonra Besel Tekstil ve Ilsan Tekstilde laborant olarak çalışmıştır. 2009 yılında İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı’ nda Yüksek Lisans programına başlamıştır.