

T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FINDIĞIN DÖNMELİ AKIŞLI AKIŞKAN YATAKLI
KIZILÖTESİ IŞINIMLI KURUTMA DAVRANIŞININ
DENEYSEL İNCELENMESİ VE MATEMATİKSEL
MODELLENMESİ

Abdullah ÇİRAK

DANIŞMAN
Prof. Dr. Haydar KÜÇÜK

RİZE
2022



**T.C.
RECEP TAYYIP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**FINDIĞIN DÖNMELİ AKIŞLI AKIŞKAN YATAKLI
KIZILÖTESİ İŞINIMLI KURUTMA DAVRANIŞININ
DENEYSEL İNCELENMESİ VE MATEMATİKSEL
MODELLENMESİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

Abdullah ÇİRAK

**Danışman
Prof. Dr. Haydar KÜÇÜK**

**İkinci Danışman
Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ**

**RİZE
2022**

KABUL VE ONAY

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalında, Prof. Dr. Haydar KÜÇÜK danışmanlığında, Abdullah ÇİRAK tarafından hazırlanan *Fındığın Dönmeli Akışlı Akışkan Yataklı Kızılötesi Işınımlı Kurutma Davranışının Deneysel İncelenmesi ve Matematiksel Modellenmesi* adlı bu tez çalışması, 22.09.2022 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği/oy çokluğuyla başarılı bulunarak jürimiz tarafından **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Unvanı, Adı SOYADI	İmza
Başkan :	Prof. Dr. İsmet SEZER	
Üye :	Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ	
Üye :	Prof. Dr. Haydar KÜÇÜK	
Üye :	Doç. Dr. Uğur AKBULUT	
Üye :	Doç. Dr. Lütfü NAMLI	

ETİK BEYAN

Makine Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programından mezun olmak üzere teslim ettiğim “ Fındığın Dönmeli Akışlı Akışkan Yataklı Kızılötesi Işınımlı Kurutma Davranışının Deneysel İncelenmesi ve Matematiksel Modellenmesi ” adlı tezim, bilim ve araştırma etiği prensiplerine riayet edilerek tarafımdan yazılmıştır.

Tez çalışmamda, başka kaynaklardan aktarılan bütün bilgi ve alıntılar, Enstitünüz Tez Yazım Kılavuzuna uygun olarak açıkça gösterilmiştir. Kaynağı gösterilenler dışında kalan bütün bilgiler uygun araştırma yöntemi kullanılarak tarafımdan edinilmiş ve esere bu şekilde yansıtılmıştır. Şahsıma ait olmayan hiçbir bilgi, kasıt veya kusurlar, şahsıma aitmiş gibi gösterilmemiştir. İnternet kaynakları dâhil, sahibine/kaynağına atıf yapılmaksızın hiçbir bilgi kullanılmamıştır. Aksinin ortaya çıkması halinde doğacak bütün hukuki, idari, akademik ve etik sorumluluk tarafıma ait olacaktır. Eserin tesliminden sonra herhangi bir zamanda, bilim etiğine aykırılık tespit edilmesi ve / veya eserimle ilgili intihal veya intihal şeklinde anlaşılabilecek bir durumun ortaya çıkması halinde; Üniversiteniz ve eğitim kadronuzun hiçbir şekilde sorumlu tutulmayacağını hür irademle kabul, beyan ve taahhüt ederim.

22/09/2022

Abdullah ÇİRAK

ÖN SÖZ

Fındığın Dönmeli Akışlı Akışkan Yataklı Kızılötesi Işınımlı Kurutma Davranışının Deneysel İncelenmesi ve Matematiksel Modellenmesi başlıklı tez konumu öneren, bu çalışmanın hayata geçirilmesinde değerli bilgi ve tecrübeleri ile yol gösteren, çalışmamın her aşamasında beni yönlendiren ve bana yardımcı olan danışman hocalarım sayın Prof. Dr. Haydar KÜÇÜK'e ve sayın Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ'ye sonsuz saygı ve şükranlarımı sunarım.

Deney düzeneğinin imal edilmesinde maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen Torsan Makina Ltd. Şti. kıymetli çalışanlarına ve sac metal ustası Ahmet ALBAYRAK'a teşekkür ederim. Yine bu çalışmamda yardımlarına başvurduğum arkadaşlarım Mert Köse'ye ve Özge OKUR'a desteklerinden dolayı ayrıca teşekkür ederim.

Bizi bugünlere kadar büyütüp okutan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen annem Aslıhan ÇİRAK'a ve babam Adnan ÇİRAK'a, tez çalışmamda her zaman yanımda olan kıymetli eşim Zeynep ÇİRAK'a ve moral kaynağım olan biricik kızım Azra ÇİRAK'a minnet, sevgi ve saygılarımı sunarım.

Abdullah ÇİRAK
2022 / RİZE

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	I
ETİK BEYAN.....	II
ÖN SÖZ	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÖZET	VI
ABSTRACT.....	VII
KISALTMALAR.....	VIII
TABLolar LİSTESİ.....	IX
ŞEKİLLER LİSTESİ	X
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	2
1.1. Literatür Taraması.....	2
1.2. Fındık Meyvesi.....	8
1.2.1. Fındığın Kökeni	8
1.2.3. Fındığın Ekonomik Değeri.....	9
1.3. Kurutma Hakkında Genel Bilgiler	11
1.4. Kurutma Sistemleri	12
1.5. Kızılötesi Işınım ile Kurutma	13
1.5.1. Kurutma Prensibi	13
1.5.2. Kızılötesi Işınım ile Kurutucunun Avantajları.....	14
1.6. Akışkan Yatakta Kurutma.....	14
1.6.1. Akışkanlaştırma	14
1.6.2. Minimum Akışkanlaşma Hızı	15
1.6.3. Akışkan Yataklı Kurutma Sistemleri	15
1.6.4. Akışkan Yataklı Kurutucuların Avantajları	16
1.6.5. Akışkan Yataklı Kurutucuların Sınıflandırılması	18
1.7. Çalışmanın Amacı ve Önemi	19
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	21
2.1. Materyal	21

2.2. Yöntem.....	22
2.2.1. Kurutma Deney Düzenegi.....	22
2.2.2. Çalışmada Kullanılan Ölçü Aletleri	24
2.3. Matematiksel Modelleme.....	27
2.4. Kurutmada Kullanılan Formüller	28
2.5. Değerlendirme Kriterleri	29
2.6. Bulgular.....	31
3. TARTIŞMA VE SONUÇ	50
3.1. Öneriler	59
KAYNAKÇA.....	60

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Ana Bilim Dalı : Makine Mühendisliği

Tez Türü : Yüksek Lisans Tezi

Danışman : Prof. Dr. Haydar KÜÇÜK

II. Danışman : Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ

Hazırlayan : Abdullah ÇİRAK

Yıl : 2022

Sayfa Sayısı : 65

ÖZET

FINDIĞIN DÖNMELİ AKIŞLI AKIŞKAN YATAKLI KIZILÖTESİ IŞINIMLI KURUTMA DAVRANIŞININ DENEYSEL İNCELENMESİ VE MATEMATİKSEL MODELLENMESİ

Bu çalışmada, kabuklu ve kabuksuz fındıkların dönmeli akışlı akışkan yataklı kızılötesi ışınlı kurutma davranışı deneysel olarak araştırılmış ve matematiksel modellemesi gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar, 100 g kabuklu fındık için 250 W, 500 W, 750 W ve 1000 W, 100 g kabuksuz fındık için 250 W ve 1000 W kızılötesi ışınlı güç değerlerinde yapılmış ve zamana bağlı olarak kütle kayıpları ölçülmüştür. Boyutsuz kütle oranı, kütleli büzülme oranı, nem içeriği ve kurutma hızı gibi kurutma karakteristikleri zamana ve kütle kaybına bağlı olarak hesaplanmıştır. Kabuklu ve kabuksuz fındıkların, dönmeli akışlı akışkan yataklı kızılötesi kurutucudaki kurutma eğri denklemini belirlemek için literatürde sunulan 22 adet ince tabaka kurutma denklemi dikkate alınmıştır. En iyi modeli belirlemek için 14 farklı değerlendirme kriteri kullanılmıştır. Sonuç olarak, kabuklu fındığın kurutulması için dönmeli akışlı akışkan yataklı kurutma yönteminde ideal kızılötesi ışınlı güç değerlerinin 1000 W ve en iyi kurutma modelinin ise Alibas (Modified Midilli-Kucuk) olduğu belirlenmiştir. Kabuksuz fındığın kurutulması için ise dönmeli akışlı akışkan yataklı kurutma yönteminin uygun olmadığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kabuklu Fındık, Kabuksuz Fındık, Kızılötesi Işınlı Kurutma, Akışkan Yataklı Kurutma, Dönmeli Akışlı Kurutma, Matematiksel Modelleme

Recep Tayyip Erdogan University Institute of Graduate Studies

Department : Makine Mühendisliği

Thesis Type : Yüksek Lisans Tezi

Supervisor : Prof. Dr. Haydar KÜÇÜK

II. Supervisor : Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ

Author : Abdullah ÇİRAK

Year : 2022

Pages : 65

ABSTRACT

EXPERIMENTAL INVESTIGATION AND MATHEMATICAL MODELING OF SWIRLING FLOW FLUIDIZED BED INFRARED DRYING BEHAVIOR OF HAZELNUT

In this study, swirling flow fluidized bed infrared drying behavior of shelled and unshelled hazelnuts was experimentally investigated, and mathematical modeling was performed. Drying experiments were carried out at 250 W, 500 W, 750 W and 1000 W infrared power values for 100 g shelled hazelnut and at 250 W and 1000 W infrared power values for 100 g unshelled hazelnut, and mass losses were measured depending on drying time. Drying characteristics such as dimensionless mass ratio, mass shrinkage ratio, moisture content and drying rate were calculated based on time and mass loss. Mathematical modeling was performed to determine the thin layer drying behavior of shelled and unshelled hazelnuts in swirling flow fluidized bed infrared dryer by using 22 thin layer drying equations in the literature. 14 different evaluation criteria were used to determine the best model. As a result, it was determined that the suitable infrared power value was 1000 W for drying of shelled hazelnut in swirling flow fluidized bed infrared drying method and the best drying model was Alibas (Modified Midilli-Kucuk). It was concluded that swirling flow fluidized bed infrared drying method was not suitable for drying of unshelled hazelnut.

Keywords: Shelled Hazelnut, Unshelled Hazelnut, Infrared Drying, Fluidized Bed Drying, Swirling Flow Drying, Mathematical Modeli

KISALTMALAR

aw	: Su Aktivitesi
DR	: Kurutma Hızı
EF	: Modelleme Verimliliği
HAD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
IR	: Kızılötesi ışıınım
KİB	: Karadeniz İhracatçılar Birliği
M	: Kütle (kg, gr)
MID-IR	: Orta Dalga Boyu Kızılötesi Işınım
MR	: Boyutsuz Kütle Oranı
NIR	: Kısa Dalga Boyu Kızılötesi Işınım
R	: Korelasyon Katsayısı
residuals	: Residuals
RMSE	: Ortalama Karesel Hata
RSS	: Kalanların Kareleri Top
RSSE	: Azaltılmış Toplam Karesel Hata
SEE	: Standart Tahmini Hata
SST	: Toplam Kareler Toplamı
T	: Sıcaklık (°C)
T	: Zaman (s, dak)
TBA	: Tiyobarbitürik Asit
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
TPA	: Tekstür Profil Analizi
V	: Ortalama Hız (m/s)
M _{ilk}	: Ürünün İlk Kütlesi
M _t	: “ t ” Anlık Kütle (kg)
M _e	: Kuru Kütle (kg)
R ⁻²	: Düzeltilmiş Belirleme Katsayısı
R ²	: Belirleme Katsayısı
S _{mr}	: Kütle Büzülme Oranı
W _{ilk}	: İlk Nem
WR	: Nem Oranı
W _r	: Toplam Hata
W _s	: Son Nem
W _t	: “ t ” Anlık Nem
χ ²	: Azaltılmış “ ki ” Kare
y.y.	: Yüz Yıl

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. Minimum akışkanlaşma hızı korelasyonları.	15
Tablo 2. Deneyde kullanılan ölçüm aletleri.	24
Tablo 3. Matematiksel modellemede kullanılan model denklemleri.	27
Tablo 4. Matematiksel modelleme kuruma eğrisi değerlendirme kriterleri.....	30
Tablo 5. 1000 W Kabuklu fındık kurutma değerlendirme kriteri.	32
Tablo 6. 750 W Kabuklu fındık kurutma değerlendirme kriteri.	34
Tablo 7. 500 W Kabuklu fındık kurutma değerlendirme kriteri.	36
Tablo 8. 250 W Kabuklu fındık kurutma değerlendirme kriteri.	38
Tablo 9. 1000 W kabuksuz fındık kurutma değerlendirme kriteri.....	40
Tablo 10. 250 W kabuksuz fındık kurutma değerlendirme kriteri.....	42

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. İller bazında yıllık fındık üretimi.	10
Şekil 2. Yıllar itibariyle ülkeler bazında Türkiye'nin fındık ihracat miktarı.....	10
Şekil 3. Dünya fındık ihracatı.....	11
Şekil 4. Akışkan yataklı kurutucuların sınıflandırılması.	18
Şekil 5. Toplanan yeşil kabuklu fındık ve tanelerine ayrılmış taze fındık.	21
Şekil 6. Tasarlanıp imal edilen deney düzeneği.	22
Şekil 7. Deney düzeneği üç boyutlu tasarımı.	23
Şekil 8. Deney düzeneği üç boyutlu tasarımı.	23
Şekil 9. Kurutma sistem elemanları.....	25
Şekil 10. Sistem akış diyagramı.	26
Şekil 11. 1000 W kabuklu fındık kurutma deneyi için boyutsuz kütle oranı.	33
Şekil 12. 750 W kabuklu fındık kurutma deneyi için boyutsuz kütle oranı.	35
Şekil 13. 500W kabuklu fındık kurutma deneyi için boyutsuz kütle oranı.	37
Şekil 14. 250 W kabuklu fındık kurutma deneyi için boyutsuz kütle oranı.	39
Şekil 15. 1000 W kabuksuz fındık kurutma deneyi için boyutsuz kütle oranı.	41
Şekil 16. 250 W kabuksuz fındık kurutma deneyi için boyutsuz kütle oranı.	43
Şekil 17. Kabuklu fındığın farklı IR güçlerindeki kurutma hızı değişimi.....	44
Şekil 19. Kabuklu fındığın farklı IR güçlerindeki nem içeriği değişimi.....	46
Şekil 20. Kabuksuz fındığın farklı IR güçlerindeki nem içeriği değişimi.....	47
Şekil 21. Kabuklu fındığın farklı IR güçlerindeki kütleli büzülme oranı değişimi.	48
Şekil 22. Kabuksuz fındığın farklı IR güçlerindeki kütleli büzülme oranı değişimi.....	49
Şekil 23. Deney öncesi kurutulacak kabuklu fındık görünümü.....	50
Şekil 24. Birinci deney sonrası gözlemlenen kütle değişimi.	51
Şekil 25. Birinci deney sonrası gözlemlenen değişimler.....	51
Şekil 26. İkinci deney sonrası gözlemlenen kütle değişimi.....	52
Şekil 27. İkinci deney sonrası gözlemlenen değişimler.....	52
Şekil 28. Üçüncü deney sonrası gözlemlenen kütle değişimi.....	53
Şekil 29. Üçüncü deney sonrası gözlemlenen değişimler.	53
Şekil 30. Dördüncü deney sonrası gözlemlenen kütle değişimi.	54

Şekil 31. Dördüncü deney sonrası gözlemlenen değişimler.....	54
Şekil 32. Beşinci deney sonrası gözlemlenen kütle değişimi.....	55
Şekil 33. Beşinci deney sonrası gözlemlenen değişimler.....	56
Şekil 34. Altıncı deney sonrası gözlemlenen kütle değişimi.....	57
Şekil 35. Altıncı deney sonrası gözlemlenen değişimler.....	58



GİRİŞ

Tarımsal ürünlerin bozulmadan uzun süre saklanması, besin, tat ve aroma özelliklerinin korunması kurutmaya olan ihtiyacı zorunlu kılmıştır. Kurutulacak gıdaların raf ömrünün artırılabilmesi için, denge nemi değerine ulaşıncaya kadar kurutma işlemi yapılmalıdır (Türkan, 2020). Ülkemizde birçok tarımsal ürün doğal kurutma olarak bilinen güneşe sererek kontrolsüz kurutma yapılmaktadır. Bunun sonucunda üründe istenmeyen mikrobiyolojik bozulmalar ortaya çıkmaktadır (Aktaş, 2007).

Kurutma işleminde kullanılan kurutucunun kullanılabilir olması için maksimum kurutma hızı için uygun değerlerde ısı ve kütle transferi gerçekleştirilebilmelidir (Delfiya vd. 2021). Günümüzde kurutulan tarımsal ürünlerin kurutma sonrası su aktivitesi, aflotoksin miktarı, hoş koku ve ürün rengi parametreleri ürünün kalitesini belirlemektedir (Aktaş, 2007). Kurutulacak ürünlerin kimyasal ve biyolojik özelliklerine göre kurutma yöntemi seçilmesi ürün kalitesi, enerji verimliliği ve zaman tasarrufu sağlanması açısından oldukça önemlidir.

Kurutma işlemine sanayide birçok sektörlerde örneğin gıda, kimya, seramik, deri, kağıt, kereste ve tekstil sanayilerinde kurutma işlemine genel olarak ihtiyaç duyulmaktadır. Kurutulacak ürünün yapısına ve özelliklerine göre raflı, tünel, spreyl, dondurmali, akışkan yataklı, kızılötesi ışınlı ve mikrodalga kurutucular yaygın olarak kullanılmaktadır (Kurtuluş, 2007).

Türkiye'nin sanayi ürünleri olarak incir, domates, üzüm, bakliyatlar, fındık, ceviz, çay vb. olarak sıralayabilir. Bu tezde konu olan tarımsal sanayi ürünlerinden biri olan fındığın kuruma kabiliyetini artırmak için dönmeli akışlı akışkan yataklı kızılötesi ışınlı bir kurutucu kullanılmıştır. Bu araştırmada fındık alınmasının nedeni, ülkemizde üretilen fındık miktarının yıllık 400.000-450.000 ton ile dünyanın ortalama %70-80'nini karşılamasına rağmen, bu önemli ürünün kurutulmasında halen çoğunlukla geleneksel yöntemlerin kullanılmasıdır. Geleneksel kurutma yönteminde güneş altında doğal kurutma yapılması nedeniyle iklim koşulların bağımlılığın artırması, sergi yapılacak yer sorunlarının oluşması, homojen kurutma yapılamaması gibi dezavantajlar ortaya çıkabilmektedir (Turan ve İslam, 2016).

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Literatür Taraması

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen literatür araştırması sonucunda aşağıda sistematik olarak sunulan kritik bilgilere ulaşılmıştır.

Topuz (2002), fındık meyvesinin akışkan yataktaki kuruma özelliklerinin araştırılması ve diğer kurutma sistemlere göre nasıl bir etki gösterdiği belirlenmiştir. Deneyde kullanılan ürünler bir yıl önce hasat edilmiş, güneşte sererek kurutulmuş fakat depolama sonucu nemlenmiş fındık ile yeni hasat edilmiş taze fındıklar kullanılmıştır. Kurutuma işlemi elde edilen veriler ile matematiksel modelleme yapılmıştır.

Aktaş (2007), ısı pompası destekli otomatik kontrollü bir kurutuma fırını deney düzeneği imal edilmiş ve fındık meyvesinin kuruma işlemleri deneysel olarak incelenmiştir. Isı pompalı kurutucuda fındık meyvesinin kurutma işlemi test edilmiş ve enerji analizler yapılmıştır. Deney düzeneğindeki kurutma havası sıcaklıkları 50 °C, 45 °C ve 40 °C olarak seçilmiştir. Isı pompalı kurutucuda kurutma havası sıcaklığının 50 °C olduğu durumda fındıklar 24 saatte kurutulurken 45 °C’de 27saatte 40 °C ise 30 saatte kurutulmuştur. Kurutma havasındaki hız farklılıkları 50 °C için 0.25 m/s, 45 °C için 0.32 m/s ve 40 °C için 0.38 m/s olacak şekilde değişmiştir. Yapılan deney sonucunda ısı pompalı kurutucuya ait CO Pws değeri 50 °C kurutma havası sıcaklığı için 1.70, 45 °C için 1.58 ve 40 °C için 1.40 olarak bulunmuştur.

Altınsu (2017), fındığın çötanaklarından ayrılması için ön kurutma ihtiyaç duyulmaktadır. Kurutma işlemin yapmak için güneş kolektörü kabin tipi kurutma düzeneği imal edilmiştir. Kurutma işlemi 3’er saatlik seanslar halinde toplamda 30 saat sürmüştür. Kurutma işlemi sırasında azalan nem miktarı hassas terazi ile ölçülmüştür. Kurutma işlemi sonucunda 28.630 g numuneden 2.000 (± 10) g nemin buharlaştırıldığı belirlenmiştir. Numunede % 7 oranında bir kayıp olduğu görülmüştür.

Kandemir (2019), fındık meyvesinin doku örgüsünü koruyacak, kurutma süresini kısaltacak, enerji verimliliği yüksek, LED teknolojisinden yararlanılarak kurutma sistemi deney düzeneği imal edilmiştir. Deneyde üç farklı LED gücünde

3000 K, 4000 K ve 6500 K seçilmiştir ve ışınlama ısı transferinin kütle transferine etkileri incelenmiştir. Araştırmada fındık meyvesi ile LED'ler arasındaki mesafe ile fındık meyvesinin hacminin kuruma süresine etkisi belirlenmiştir. Ayrıca yapılan çalışmanın verimliliğini ölçmek adına güneşte ve etüv de kurutma yapılmıştır. Sonuç olarak, LED'li fındık kurutma sistemi, güneşte kurutmaya göre daha kısa sürede denge nemine (%6) ulaşmıştır. Aynı zamanda, fındıkla LED arasındaki mesafe ve fındık hacmi arttıkça kuruma süresi de artmıştır.

Batman (2016), pastırma üretimindeki kurutma aşamalarından biri olan ve oldukça zaman alan terli kurutma işlemini infrared (IR) kurutma yöntemi ile daha kısa sürede tamamladığını göstermiştir. Araştırmada kullanılan kurutma tekniğinin ürünün fizikokimyasal, mikrobiyolojik ve duyu kalitesi üzerine etkisi incelenmiştir. Ayrıca çalışmada, pH, % nem, su aktivitesi (aw), % tuz, % protein, % yağ, nitrit, TBA, renk ve TPA değişkenleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda IR kurutma yöntemiyle kurutulan pastırmanın diğer kurutma yöntemlerine göre daha hızlı kuruduğu ve pastırmanın özelliklerinde kalite kaybı yaşanmadığı görülmüştür. Deney sonucunda kurutulan pastırmanın lezzet, renk, biçim, doku örgüsü gibi duyu özellikleri diğer kurutma yöntemleri ile elde edilen ürünlerden nitelikli bulunmuştur.

Çiftçi (2021), fanlı etüv ve kızılötesi kurutma yöntemlerinin arı polenin bazı fiziksel özellikleri ve uçucu bileşen profili üzerine etkisi araştırılmıştır. Fanlı etüv ve kızılötesi kurutma sıcaklığının (40, 45, 50, 55, 60, 65 ve 100°C) polenin kalitesi üzerine etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda arı poleninde 59 uçucu bileşen tespit edilmiştir. Fanlı etüv ve kızılötesi ile kurutulmuş arı poleni örneklerinde benzer uçucu bileşikler gözlenmiş ancak uçucu bileşiklerin yüzde değerlerinin farklı olduğu belirlenmiştir. Kurutma sırasında taze polendeki en yüksek uçucu bileşen oranına (%43.79) sahip fenetil alkolün (meyve, bal, leylak, gül, şarap aroması) yüzdesi tüm numunelerde azalmıştır. Fanlı etüv ve kızılötesi ile kurutma sonrasında arı poleni örneklerinde Maillard reaksiyonları sonucu oluşan aroma bileşenlerinden α -etilfuran, furfural, furfural pirolün yüzdesi fanlı etüv ile kurutulan arı poleni örneklerinde daha yüksek bulunmuştur.

Öztürk Erdem (2018), kızılötesi ve mikrodalga teknolojileri ile kurutma yöntemlerini kullanarak Hicaz nar tanelerini kurutmuştur. Yapılan deneylerde 50 ve

90 °C' deki sıcak hava ile birlikte kızılötesi ışınlam enerjisi kullanılmıştır. Mikrodalga kurutma fırınının 180, 360, 540 ve 720 W olmak üzere 4 farklı güçte olduğu deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney sonucunda ürünlerin renk parametreleri analiz edilmiştir. Deney de kurtulan ürünlerin kurutma davranışlarının belirlenmesi için 9 farklı matematiksel model kullanılmıştır. İşlenen veriler sonucunda Midilli Modeli ile Henderson & Pabis modelinin uygunluğu belirlenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda görülmüştür ki taze narlar ile kurutulmuş narlar renk değişimi bakımından Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi kullanılarak kıyaslanmıştır. 90 °C kızılötesi enerjisi ve 180 W mikrodalga güçte kurutulan nar tanelerinin $L^*a^*b^*$ değerleri taze nar taneleriyle benzerlik gösterdiği görülmüştür.

Okur (2022), yeşil çayın sabit yataklı infrared kurutucuda ve dönmeli akışlı akışkan yataklı infrared kurutucularda kurutma davranışları incelendi ve matematiksel modellemesi yapıldı. Kurutma, 100 W, 250 W, 500 W, 750 W ve 1000 W olmak üzere 5 farklı kızılötesi ışınlam gücünde yapıldı. Yapılan çalışmada zamana ve kütle kaybına bağlı olarak boyutsuz kütle oranı, içerdiği nem miktarı, kütle büzülme oranı ve kurutma hızı hesaplanmıştır. Kurutma davranışını belirlemek için 22 adet model denklem kullanılmıştır. Modellerin değerlendirilmesi için 14 farklı kriter kullanılmıştır. Ayrıca, kurutulan yeşil çay için su ekstraktı, toplam kül, toplam polifenol, kafein, ham selüloz ve rutubet ölçümleri yapılmıştır. İşlenen veriler sonucunda, sabit yatakta 750W, dönmeli akışlı akışkan yatak için 500W en uygun güç değerleri olarak belirlenmiştir. En iyi kurutma yönteminin ise Midilli-Kucuk ve Aghbashlo vd. olduğu görülmüştür.

Köse (2022), yeşil çayı kurutmak için dönmeli akışlı akışkan yataklı mikrodalga bir kurutucu geliştirip bu kurutucuda yeşil çayın kurutma performansı deneysel olarak incelemiştir. Deney de (100 W, 300 W, 600 W ve 800 W) 4 farklı mikrodalga gücünde kütle kayıpları ve kuruma süreleri ölçmüştür. Yapılan ölçüm sonuçlarından boyutsuz kütle oranı, nem içeriği, kütle büzülme oranı ve kurutma hızını hesaplanmıştır. Bu çalışmadan 23 adet ince tabaka kurutma modeli kullanılarak elde edilen verilerin matematiksel modellemesi yapılmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, kalite parametreleri bakımında, yeşil çay için dönmeli akışlı akışkan yataklı kurutucunun, sabit yataklı kurutucuya göre daha uygun bir kurutucu olduğu sonucuna varılmıştır.

Dağcı (2014), kivi meyvesini ozmotik kurutma ve ardından etüv kullanılarak yapılan ön kurutma işlemlerinden sonra iki ayrı yöntemle kurutarak toplam % 80 oranında kuru madde sağlamıştır. İlk yöntemde sıcak hava ve akışkan yataklı kurutucuda, ikinci yöntemde ise kızılötesi ışınlı sıcak hava destekli akışkan yataklı kurutucuda deneyler yapılmıştır. Yapılan çalışmada kızılötesi ışınlı kurutucunun ürün kalitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda kivi meyvesinin 70°C de sıcak hava ile akışkan yataklı kurutucudaki kalite değerleri ile 60°C de sıcak hava destekli kızılötesi ışınlı akışkan yataklı kurutucuda yapılan kurutma sonrasındaki kalite değerlerinde herhangi bir fark gözlenmemiştir.

Selbaş (1998), odun yongalarının kurtulması için akışkan yataklı bir kurutucu deney düzeneği imal edilmiştir. Yapılan araştırmada sıcaklık, ürün hacmi, distribütör tipi, miktarı ve hızı çalışmada değiştirilerek kurutma hızı eğrileri elde edilmiştir. Çalışma sonucunda yonga hacmi artması nem oranında artışa sebep olmuştur. Gaz yakıtın artması hava sıcaklığının artmasına ve kurutma hızının yükselmesini sağlamış ve ısı kütle transferini artırarak nem oranını düşürmüştür. Aynı zamanda gaz dağıtıcı tiplerinin uygun seçilmesi kabarcık oluşumunu engellediğinden kurutma hızını artırmıştır. Yine besleme miktarının artırılması kurutma süresinde artışa neden olmuştur. Bu çalışma akışkan yataklı sürekli kurutuculara için nicel bir örnek oluşturması ve tasarlanacak kurutma sistemleri için sistem elemanlarının boyutlandırılmasına katkı sağlayacaktır.

Banı (2014), kızılötesi ışınlar kullanılarak kızılçık meyvesinin kurutulmasına yönelik deneyler uygulanmıştır. Deneyler sırasında infrared çıkış gücünün; ürünlerin kuruma zamanı ve hızının yanı sıra kinetiği, kütle transfer değişkenleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Kütle transferine karşı dış direncin ihmal edildiği ve edilmediği durumların ayrı olarak ele alındığı çalışmada bu sayede kütle transfer modeli ortaya konulmaya çalışılmıştır. Ayrıca kalite parametreleri ve doku özütündeki değişimler incelenmiştir. Sonuç olarak, kızılötesi gücü arttıkça kurutma hızının arttığı gözlemlenmiştir. Kurutma süreci ilk olarak kısa süreli bir ısınma aralığının ardından sabit kuruma aralığı ve devamında azalan kurutma hızı şeklinde gerçekleşmiştir. Sabit aralıkta kızılötesi kaynağın gücü artmasına rağmen kurutma hızında azalma görülmüştür.

Onin (2012), yeşilbiber, kırmızı biber, maydanoz ve çilek ürünlerinin kuruma davranışları ve infrared ışınlama kurutmanın ürünlerin kalite parametreleri üzerinde ki etkisi ve ön işlemin etkisi araştırmıştır. Sonuç olarak, ön işlemin uygulanmadığı maydanoz örneğinin kuruma süresi aralığının 14-33 dakika, aynı şekilde çilek örneğinin kuruma süresi aralığının 78-165 dakika, kırmızıbiber örneğinin kuruma süresi aralığının 66-110 dakika ve yeşilbiber örneklerinin kuruma süresi aralığının ise 61-118 dakika arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Ayrıca etkin nem difüzyon hızları da gözlemlenmiştir. Ön işlem görmüş numunelerin kuruma sürelerinde bir farklılık gözlemlenmemiştir.

Aktaş vd. (2013), kızılötesi ışınlı bir kurutucu kullanılarak kurutma havası sıcaklığını oransal olarak incelemiştir. Enerjide verimlilikle ilgili, bir ısı geri kazanım cihazı ile kirli havanın enerjisinden yararlanılmıştır. Araştırmada ayva meyvesinin dilimleri, 3,89 g su/g ilk nem miktarından 0,16 g su / g kuru madde son nem miktarına ulaşıncaya kadar kurutulma işlemine devam edilmiştir. Deneyde kullanılan ayva dilimleri 4-5 mm kalınlıkta dilimlenmiş, 35°C ve 40°C sıcak hava ve 1,22 m/s, 1,83 m/s ve 2,45 m/s hava hızlarında altı deneyler yapılmıştır. Elde edilen veriler ile enerji ve psikometri tablolar çizilmiştir. Sonuç olarak kurutma süresi, özgül nem çekme oranı ve ısı geri kazanım cihazının verimliliği hesaplanmıştır.

Özbey ve Söylemez (2005), buğday tanelerinin dönmeli akışlı akışkan yataklı kurutucuda kurutulması performansını incelemiştir. Çalışma sonucunda dönmeli akış sayesinde kurutma performansının arttığı belirtilmiştir. Bunun yanında yapılan deneyler sırasında artan hava sıcaklığı ile kurutucu verimi artarken hava kütle akış hızının artırılması sonucunda ise verimin azaldığı görülmüştür. Bu nedenle sıcaklığın kütle akış hızından daha önemli bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir.

Gaewsondee ve Duangkhamchan(2019) dönmeli akışlı akışkan yataklı bir kurutucuda 70-90°C hava sıcaklığında ve 2-4 bar hava basıncında pirincin kurutulmasına yönelik deneyler gerçekleştirmişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda kurutma performansını tanımlamak için sırasıyla dehidrasyon, rehidrasyon ve antosiyanin bozunması için Page, Weibull ve birinci dereceden modeller belirlemiştir. Çalışmada en uygun hava basıncının 3,88 bar, en uygun hava sıcaklığının ise 90°C olduğu belirtilmiştir. Kurutma hızının ise düşük basınçta ve yüksek sıcaklıkta arttığı gözlemlenmiştir.

Zulkarnain vd. (2019), dönmeli akışlı akışkan yataklı bir kurutucuda 0,324kg/s hava debisinde kakao çekirdeklerinin kuruma davranışlarını incelemiştir. Yapılan deneyler sonucunda dönmeli akışlı akışkan yataklı kurutmanın güneş ışığı altında kurutma yöntemine göre daha etkili olduğu belirlenmiştir.

Basrawi vd. (2019), dönmeli akışlı akışkan yataklı bir kurutucuda yatak en boy oranının biberin kuruma hızına oranı incelenmiştir. Çalışma sonucunda en boy oranının iki kat artması sonucunda nem oranının %53-55 azaldığı; biber oranının iki kat artması sonucunda ise nem oranının %6-7 azaldığı belirlenmiştir.

Chuwattanakul ve Eiamsa-ard (2019), dönmeli akışlı akışkan yataklı bir kurutucuda biber ve çeltiklerin kuruma davranışı incelemiştir. Çalışma sonucunda dönmeli akışlı akışkan yataklı kurutucuda nem miktarının azaltılmasının akışkan yataklı kurutucuya göre daha hızlı gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Ayrıca biberlerin kuruma davranışını belirlemek için logaritmik model en iyi model olarak belirlenmiştir.

Sitorus vd. (2021), dönmeli akışlı akışkan yataklı bir kurutucuda, 55°C hava sıcaklığında çeltik bitkisinin kurutma karakteristiği belirlemeye yönelik deneyler gerçekleştirmişlerdir. Deneyler sonucunda kuruma süresi uzadıkça kuruma hızının azaldığını belirlemişlerdir. Ayrıca çeltik kurutma karakteristiği belirlemede en modelin lineer artı üssel model olarak bulunmuştur.

Yapılan çalışmalarda parçacık şeklindeki ürünün silindirik, küresel ve elipsoidal olarak yatak basıncı düşüşüne etkisi incelenmiştir. Bunun yanında hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) kullanılarak hava hızı dağılımı ve polietilen (PE) boncuklar ve kum gibi parçacık karışımının ısı transferi ve hidrodinamiği dönmeli akışlı bir akışkan yatak sisteminde incelenmiştir (Venkiteswaran vd. 2012; Faizal vd. 2012; Tawfik vd. 2020). Venkiteswaran vd. (2012), en yüksek basınç düşüşünün küresel şekilli parçacıklar için gerçekleştiğini belirtmiştir. Faizal vd. (2012), dairesel kanat dağıtıcılı akışkan yataklı bir sistemde eksenel, teğetsel ve radyal hız bileşenlerinin mükemmel bir karışım sağladığını belirlemiştir.

1.2. Fındık Meyvesi

1.2.1. Fındığın Kökeni

Fındık kelimesi Antik çağda, Karadeniz kelimesi olarak isimlendirilen “ Pont Exinus ” kelimesinden üretilerek “Pontik” olarak adlandırılmıştır. Roma komutanı ve Filozof Plinus belgelerinde Fındığın Pontos kıyılarında getirildiği için “ Pontos Cevizi ” olarak bahsedildiğini yazmıştır (URL-1).

Eski ve Orta Çağ kaynaklarında birçok tarihçi yazar farklı görüşler ileri sürmüştür. Yapılan arkeolojik kazılarda MÖ 10000 li yıllarda mezolitik diyet olarak tüketilmiştir. MÖ 2800’lü yıllarda Çin ’ de tarımı yapıldığı ve inançlarına göre fındığın Tanrıları tarafından insanlara ikram edilen beş kutsal meyveden biri olduğu Çin yazılı kaynaklarında geçmektedir (Duman, 2008).

MÖ 490-425 yıllarında yaşamış ünlü tarihçi Heredotos eserinde, Fındığın Karadeniz’ in doğusunda yetiştiğinden ve Fındık yağının sıkma yöntemi ile elde edildiğinden bahsetmektedir. Yine MÖ 372-287 yılları arasında yaşamış Filozof Theophrastos, Pontus cevizinin ehlileştirilmesi için asıl kökten alınıp farklı bir yere dikilmesinin yeterli olduğunu belirtmiş; bu sayede kışa daha dayanıklı olan fındığın yuvarlak yani tombul ve uzunca sivri olmak üzere iki cinsinin olduğunu ifade etmiştir (Barrett, vd., 2005).

Ünlü İslam Bilim İnsanlarından İbn-i Sina’nın El Kanun Fi’t-Tıbb adlı eserinde birçok hastalığın tedavisinde ilaç olarak kullanıldığı geçmektedir (Duman, 2008).

1.2.2. Ülkemizde Tarımı Yapılan Fındık Türleri

Dünyada kültür fındıklarının temeli olan 8 farklı türdeki fındığın tarımı yapılmaktadır. Bu türler içerisinde Türk fındığına kaynak olan Corylus Colurna, Corylus Avellana, ve Corylus Maxima önemlidir (İslam vd., 2019). Bu sekiz türden kaynaklanan fındık çeşitleri ise fiziki görünümüne, içerisinde barındırdığı yağ ve protein oranına, iç oranına ve yetiştirildiği coğrafi bölgeye göre farklı özelliklere sahiptir (Topçuoğlu, 2008).

Ülkemizde fındık üretimi eski bölge (Bölge 1) ve yeni bölge (Bölge 2) olmak üzere iki bölgede yapılmaktadır. Eski bölge sınırları içerisinde Ordu, Giresun,

Trabzon, Rize, Artvin, Gümüşhane ve Tokat illeri yer almaktadır. Yeni üretim bölgesi içerisinde Samsun, Sinop, Kastamonu, Bartın, Zonguldak, Düzce, Sakarya, Kocaeli ve Bolu illeri yer almaktadır (Erdoğan, 2018).

Türk fıındığı şekillerine göre yuvarlak, sivri ve uzun olmak üzere üç ana başlık altında sınıflandırılmıştır (Köksal, 2006).

Yuvarlak fıındıklar, orta büyüklükte, yüksek kalite değerlerinde fıındık türüdür. Bu fıındık türü protein, yağ ve randıman oranları yüksektir. Fakat iç meyvesi kabuk kısmına çok yakın olduğundan kırma işlemlerinde iç kısmında zedelenmeler olmaktadır. Yuvarlak fıındık türü dünyanın en kaliteli fıındık türü olarak kabul edilmemektedir. Bunlardan en yaygın türleri Foşa, Palaz ve Mincane olarak bilinmektedir (Ceran, 2018).

Sivri fıındıklar, şekil yönünden boyu en ve kalınlığından daha uzun olan fıındık çeşitlidir. Kırma işleminde fire çok verildiğinden dolayı genellikle kabuklu pazarlanır.

Uzun fıındıklar, badem fıındık olarak da bilinen türdür. Boyutları büyük olmasına rağmen düşük kaliteli fıındıklardır (Ceran, 2018).

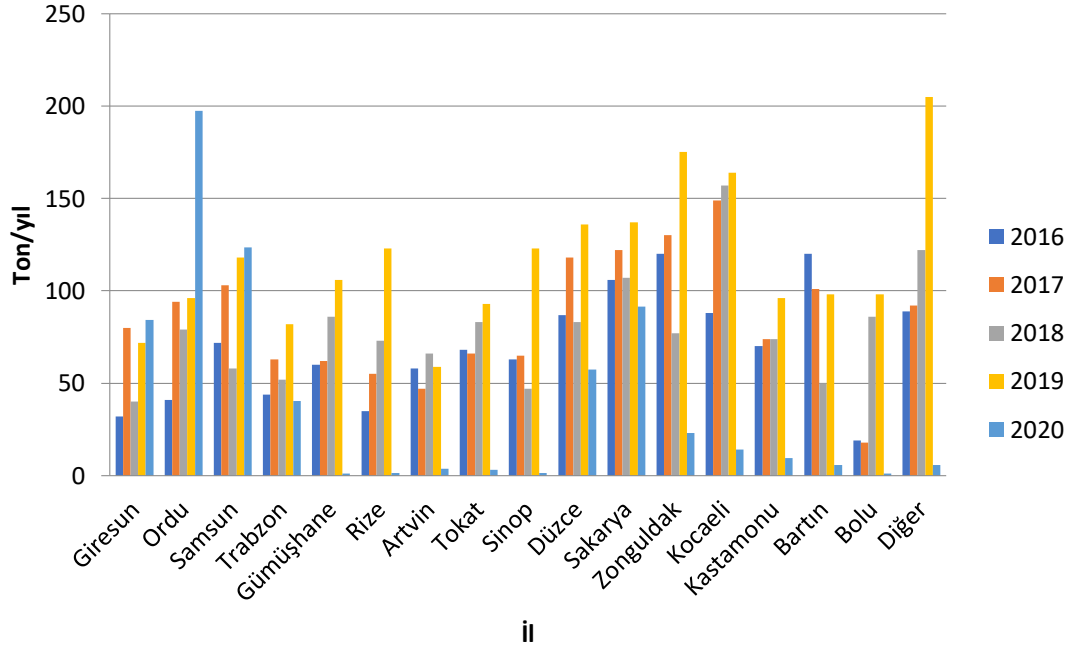
1.2.3. Fıındığın Ekonomik Değeri

Türkiye’de yetiştirilen en önemli sert kabuklu meyvelerden biri olan fıındık, 2019-2020 piyasa döneminde %563,9 oranı ile yeterlilik derecesi en fazla olan sert kabuklu meyve olmuştur (TÜİK, 2021). Ülkemizde 2020 yılı verilerine göre kabuklu fıındık üretiminde 197 bin ton ile birinci olan Ordu ilinin ardından 124 bin ton ile Samsun, 91 bin ton ile Sakarya illeri gelmektedir. Şekil 1 (TÜİK, 2021)’de görüldüğü gibi Türkiye’de fıındık üretiminin %82’sini Ordu, Samsun, Düzce, Giresun, Trabzon, Zonguldak, Kastamonu ve Bartın illeri karşılamaktadır (TÜİK, 2021).

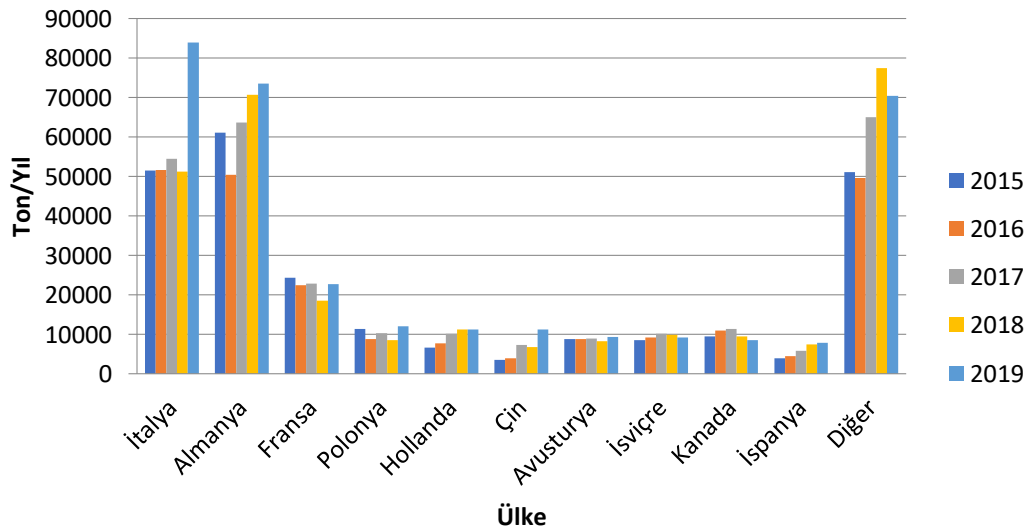
Ülkemiz fıındık meyvesinin yetiştirilme alanı ve elde edilen ürün miktarının yanı sıra Şekil 3’te görüldüğü gibi ihracatında da dünyada birinci sırada yer almaktadır. Bu durum ülkemize önemli bir ekonomik getiri sağlamanın yanında dünya fıındık fiyatlarında söz sahibi yapmıştır (TEBGE, 2021).

Dünyada fıındık tüketiminde Avrupa ülkeleri ön planda yer almaktadır. Üretilen fıındığın büyük çoğunluğu çikolata ve şekerleme gibi ürünlerin üretilmesinde

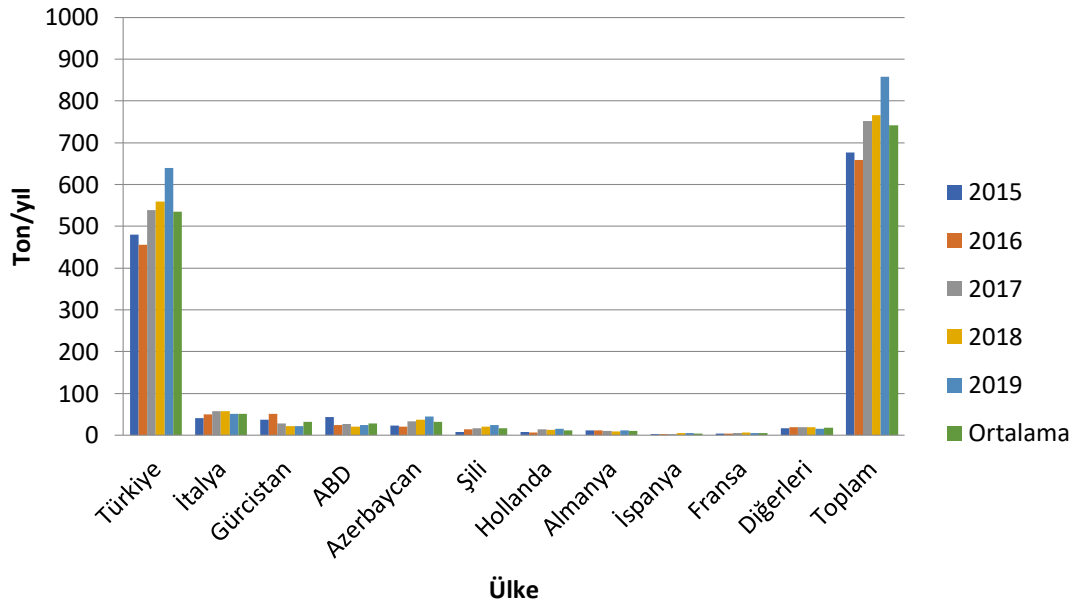
ham madde kaynağı sağlamaktadır. Şekil 2 (URL-2)'de görüldüğü gibi Dünya fındık ihtiyacının önemli bir bölümünü karşılayan ülkemizde üretilen fındığın %80-85 oranlarında ihraç edilirken %15-20'si ise ülke içinde tüketilmektedir (URL-2). 2020 yılı fındık ihracatının %56'lık bir payla doğal kabuksuz fındık olurken, %18'si işlenmiş fındık, %26'sı ise ileri işlenmiş fındık olmuştur (KİB, 2020).



Şekil 1. İller bazında yıllık fındık üretimi.



Şekil 2. Yıllar itibariyle ülkeler bazında Türkiye'nin fındık ihracat miktarı.



Şekil 3. Dünya fındık ihracatı.

1.3. Kurutma Hakkında Genel Bilgiler

Tarım ürünlerinin yılın belirli dönemlerinde fazla miktarda hasat edilmesi, elde edilen fazla miktardaki ürünün tüketicilere ulaşana kadar depolanarak saklanması ihtiyacını doğurmuştur. Tarım ürünleri ise hasat edildikten sonra kısa sürede bozulmaya başlamaktadır (Alibaş, 2012; Darıcı ve Şen, 2012). Ürünlerin muhafaza edilerek kullanım sürelerinin artırılmasında ve depolanmasında kullanılan yöntemler oldukça çeşitlidir. Kurutma yöntemi de kullanılan bu yöntemler içerisinde yer almaktadır (Alibaş, 2012; Darıcı ve Şen, 2012).

Kurutma yöntemi ürünü olumsuz çevre koşullarından korumanın yanında ucuz ve kolaydır. Kurutma sayesinde ürün içerisindeki nem miktarının düşürülmesi, mikrobiyal ve biyokimyasal tepkimelerinin hızını düşürerek ürün kalitesinin korunması sağlanır (Midilli vd.,1999). Kurutma işleminin uygulanmasının amaçları şu şekilde sıralanabilir (İşsever, 2019; Midilli ve Kucuk, 2003).

- Ürünün nemini mikrobiyal gelişmeleri kısıtlayacak şekilde düşürerek depolama süresini uzatmak, ürünün bozulmasını engellemek (Yalçın, 2012; Midilli, 2001),

- Ürün neminin düşürülmesiyle koku ve besin değeri kalite özelliklerinin korunması (Kucuk vd., 2014),
- Kurutma sonunda ürün hacminin azalması sayesinde ürünün taşınmasında ve depolanmasında kolaylık sağlanması,
- Kullanımı kolay olan ürün geliştirilmesi ya da üretilmesi (Evranuz, 1988; Teymur, 1999).

1.4. Kurutma Sistemleri

Kurutma katı, sıvı veya gaz maddelerinden su veya diğer sıvı maddelerin uzaklaştırılması işlemi olmakla birlikte en yaygın kullanımı katı haldeki maddeden ısıtılma işlemleriyle su veya uçucu maddelerin uzaklaştırılması olarak ifade edilmektedir (Güngör ve Özbalta, 1997). Kurutma işleminde ve işlem sırasında kullanılacak kurutucu seçiminde göz önünde bulundurulacak en önemli noktalar; istenen özelliklere sahip ürünün elde edilmesinde enerji tasarrufunun ve kurutma hızının olabildiğince yüksek olmasıdır (Güngör ve Özbalta, 1997). Kurutma sırasında aşağıdaki özellikler dikkate alınarak farklı kurutucu tipleri geliştirilmiştir (Güngör ve Özbalta, 1997).

Bu özellikler;

- Ürünün fiziksel ve kimyasal özellikleri,
- Kurutma işlemi öncesi ürünün içerdiği nem oranı,
- Üründen uzaklaştırılacak nem oranı,
- Ürünün içerdiği nem miktarı,
- Kurutma işlemi için en uygun sıcaklık,
- Kurutucunun kurutma kapasitesi,
- Kurutma işleminin sürekli veya kesikli olması,
- Geri kazanım sorunlarıdır.

Literatürde geliştirilen kurucu tipleri de aşağıdaki gibi sıralanabilir (Güngör ve Özbalta, 1997).

- Döner kurutucular,
- Püskürtmeli kurutucular,
- Tünel kurutucular
- Dielektrik ve mikrodalga kurutucular,

- Bantlı kurutucular,
- Kızılötesi (Radyant) kurutucular,
- Pnömatik kurutucular,
- Dondurarak kurutucular,
- Silindir kurutucular,
- Akışkan kurutucular,
- Kabinli kurutucular,

1.5. Kızılötesi Işınlama Kurutma

Yeryüzünde maddeyi oluşturan moleküllerin atomlardan meydana geldiği bilinmektedir. Atom denilen bu yapının merkezinde ise çekirdek ve çekirdeğin yörüngesinde dönen elektronlar bulunmaktadır. Kararlı atomların etrafındaki elektronlar sürekli dönmektedir. Ancak farklı dış etmenlerden dolayı bu kararlı yapı bozulduğundan elektron bir üst yörüngeye çıkmaktadır. Daha sonra ise yapısını korumak amacıyla tekrar bir önceki seviyesine geri dönmektedir. Bu sebeple foton enerjisi denilen bu iki enerji seviyesi arasındaki fark kadar bir enerji meydana gelmektedir (Onin, 2012). Bu foton enerjisi elektromanyetik spektrumda bulunan ışımalardan birisidir. Atomun sahip olduğu özelliklere göre bu foton bir dalga boyuna ve bir ışıma enerjisine sahiptir. Kızılötesi (infrared) ışınlar, 0.75-1000 mikrometre dalga boyuna sahip fotonlardır (Onin, 2012).

1.5.1. Kurutma Prensibi

Kurutma prensibi literatürde şu şekilde kısaca ifade edilmektedir (Skjöldebrand, 2001). Kurutma işlemi için gerekli olan ısı, kızılötesi foton enerjisinden elde edilmektedir. Kurutma işlemi sırasında, kızılötesi fotonlar katı olan ürünün üzerine gelmektedir. Bu sırada ortaya çıkan ısı kondüksiyonla katı ürünün içerisinden iletilerek kurutma işlemi yapılmaktadır (Skjöldebrand, 2001). Kurutma prensibi yaygın olarak radyant ısıtıcıdan katı ürün üzerine radyasyonla ısı transferi, katı ürün kabuksuz kısmında ise kondisyonla (iletimle) ısı transferi ve katı üründen dış çevreye (havaya) nem transferi aşamalarından oluşur. Katı ürün nem transferini katı içinde difüzyonla yapar (Akosman, 2003).

1.5.2. Kızılötesi Işınımlı Kurutucunun Avantajları

Kızılötesi kurutma teknolojisinin; bazı ürün ve maddelerin kurtulmasında diğer kurutma teknoloji ve yöntemlerden daha yüksek enerji verimliliği, kurutma süresinin kısalığı ve kurutma sonrası daha iyi ürün doku örgüsü sahip olduğu yapılan araştırmalardan elde edilmiştir (Hebbar vd., 2004). Yapılan araştırmalar sonucu, kızılötesi kurutma teknolojisinin yatırım maliyetinin düşük olması birçok kullanıcı tarafından ulaşılabilir kılmıştır. Kurulum ve kullanım kolaylığı, ısıtma ve kurutmada yüksek hız, anlaşılabilir ve ulaşılabilir donanım gibi bazı avantajları olduğu araştırmaların sonucunda elde etmişlerdir (Hebbar vd., 2004).

Bu kurutucunun sahip olduğu en önemli özellikler: çevreye zarar vermemesi ve kullanımında mevsim değişikliklerinden etkilenmemesidir. Bu özellikleri sayesinde ise kurutma alanında tercih edilebilir (Aktaş vd. 2013).

1.6. Akışkan Yatakta Kurutma

Akışkan yataklı kurutucular endüstride oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Diğer kurutuculara göre tanecikli maddelerin kurutulmasında birçok üstünlükleri vardır (Kunii, 1977). Bu sayede tarım, ilaç, tekstil vb. oldukça geniş kullanım alanına sahiptir. Silindirik şeklinde bir kabinde, delikli sac veya mesh tel üzerindeki tanecikli maddelere ürünlerin alt kısmından gönderilen akışkan gaz veya sıvı ile akışkanlaştırıldığı sisteme akışkan yataklı sistem denir. (Kurtuluş, 2007).

1.6.1. Akışkanlaştırma

Akışkanlaştırma tanımlayacak olursak, fan aracılığıyla basınçlandırılan havanın veya pompa aracılığıyla basınçlandırılan sıvı akışkanın; akışkanlaştırılmak istenen katı parçacıkların arasından, ürüne etki eden yer çekimi kuvvetini yenecek kadar yüksek hızla dolaştırılarak, katı parçacıkların havada askıda kaması işlemidir (Kurtuluş, 2007; Bozkurt vd., 2020). Akışkanlaştırılacak katı parçacık silindirik bir malzeme içerisine yerleştirilir. Sistemde akışkan yatağın silindirik seçilmesinin sebebi, yatak yüzeylerinde sivri köşe olması durumunda hava veya akışkanın oluşan boşluktan kaçarak homojen bir dağılım sağlanamamasıdır (Kurtuluş, 2007). Katı parçacıklar havada askıda kalarak homojen bir yapı oluşturulmuş olur. Dolayısıyla

sistemimizin içindeki katı parçacıklar bir akışkan gibi davranışta bulunur (Kurtuluş, 2007).

1.6.2. Minimum Akışkanlaşma Hızı

Sistemde, tanecikli maddelerin alt kısmından akışkanın debisi artırılarak hava gönderilir. Ürünlerin kütlelerinden kaynaklanan aşağı yönde bir yer çekim kuvveti ve sisteme gönderilen yukarı yönde ürünlere uygulanan havanın kaldırma kuvvetleri karşılaşır (Köse, 1995). Bu kaldırma kuvveti yer çekim kuvvetini yenmeye başladığı hıza minimum akışkanlaşma hızı denir (Köse, 1995). Literatürde araştırmacıların min. akışkanlaştırma hızı için çeşitli korelasyonlar Tablo 1’de verilmiştir (Köse, 1995).

Tablo 1. Minimum akışkanlaşma hızı korelasyonları.

Araştırmacılar	Korelasyonlar
Wen & Yu	$U_m = B[1135,7 + 0,0408Ar - 33,7]^{1/2}$
Davies & Richardson	$U_m = B_1 (7,8 \times 10^{-4})$
Chyang & Huang	$U_m = B[(33,3^2 + 0,033Ar)^{1/2} - 33,3]$
Broadhurst & Becker	$U_m = B[(25,28^2 + 0,0571Ar)^{1/2} - 25,28]$
Babu	$U_m = B[(25,25^2 + 0,0651Ar)^{1/2} - 25,25]$
Richardson & Da St. Jeromino	$U_m = B[(25,7^2 + 0,0365Ar)^{1/2} - 25,7]$

1.6.3. Akışkan Yataklı Kurutuma Sistemleri

Tarih boyu yöntem, mamul, çalışma güvenilirliği ve beklentiler göz önüne alındığında birçok endüstriyel sistemler için farklı akışkan yataklı kurutucular üzerine araştırmalar yapılmıştır. Düşük maliyetli ve doğru bir seçim yapabilmek için farklı akışkan tiplerinin belirli özelliklerine aşina olmak çok önemlidir. Bazı akışkan yataklı kurutma sistemleri şunlardır (Gürel, 2015).

Geleneksel Akışkan Yataklı Kurutucular (Gürel, 2015).

- Yığın Tip Akışkan Yataklı Kurutucu

- Yarı Zamanlı Akışkan Yataklı Kurutucu
- Tam Zamanlı Akışkan Yataklı Kurutucu

Farklı Tipteki Akışkan Yataklı Kurutucular (Gürel, 2015).

- Kademeli ve Çok Süreçli Akışkan Yataklı Kurutucular
- Hibrid Akışkan Yataklı Kurutucular
- Titreşimli Akışkan Yataklı Kurutucular
- Çevrimli Akışkan Yataklı Kurutucular
- Karıştırıcı Akışkan Yataklı Kurutucular
- Daldırmalı Isı Değiştiricili Akışkan Yataklı Kurutucular
- Isı Pompalı Akışkan Yataklı Kurutucular

1.6.4. Akışkan Yataklı Kurutucuların Avantajları

Akışkan yataklı kurutucuların avantaj ve dezavantajları incelenecek olursa (Kunii, 1977).

Akışkan yataklı kurutucu kullanmanın avantajları (Kunii, 1977) şunlardır;

- Kurutma sırasında akışkan yatak içerisinde homojen karışım oluşmaktadır. Oluşan bu karışım sayesinde akışın sürekli sağlanması ve kontrol edilmesi diğer sistemlere göre daha kolaydır.
- Akışkan yatak içerisinde karışımın sıcaklığı sabit tutarak uygun şartlar yaratır, karışımın sıcaklığını kontrol etmek kolaylaşır.
- Akışkan yataklı sistemlerde mekanik parçaların azlığı sayesinde bakım masrafları azdır.
- Sabit sıcaklık sağlandığından ötürü homojen ve kaliteli bir kurutma sağlanır.
- Bu kurutucuların diğer konvansiyonel kurutma sistemlerine göre ısı ve kütle transferi verimleri daha fazladır.
- Akışkan yataklı kurutucularda kurutma veriminin fazla olması sayesinde kurutma süresi kısadır.

1.7.5. Akışkan Yataklı Kurutucuların Dezavantajları

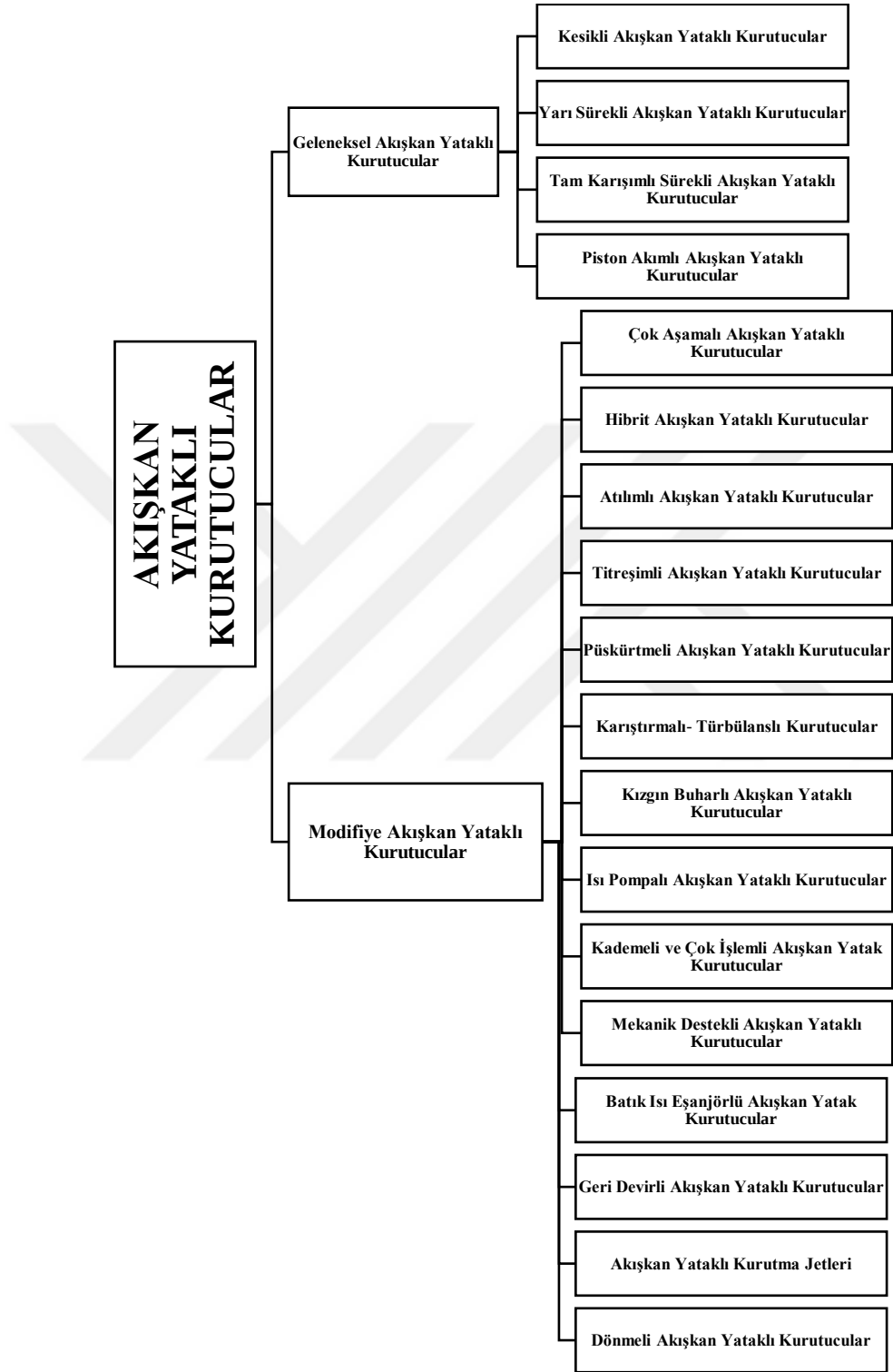
Akışkan yataklı kurutucu kullanmanın dezavantajları ise şunlardır (Gürel, 2015).

- Akışkanlaşmış olan taneciklerin akışkan yatakta belli bir karakteristik tanımlamak zordur. Taneciklerde sapmalardan dolayı hava ile temas azalmaktadır.
- Basınç düşüşlerinin fazla olması.
- Elektrik tüketiminin yüksek olması.
- Yatakta boru ve kanallarda aşınma ve erozyonların oluşması.
- Tanecili yapıların aşınması ürün kayıplarının artması.
- Homojen olmayan tanecikli yapıların yüksek hızda hareket etmeleri homojen olmayan karşımalara sebebiyet vermektedir bu da kurutmanın verimliliğini olumsuz etkilemektedir.

İncelemeler sonucunda akışkan yataklı kurutucuların sağladığını faydaların daha fazla olduğundan tercih edilmektedir.

1.6.5. Akışkan Yataklı Kurutucuların Sınıflandırılması

Şekil 4'te akışkan yataklı kurutucuların sınıflandırılması verilmiştir (Topuz, 2009).



Şekil 4. Akışkan yataklı kurutucuların sınıflandırılması.

1.7.6. Dönmeli Akışlı Akışkan Yataklı Kurutucular

Hava, belli bir açı ile distribütörden geçer ve yatağa giren hava yatay ve dikey olmak üzere iki yöne ayrılır (Kuprianov vd., 2009). Dikey yönde ki hava parçacıklara kaldırma kuvveti uygular uygulanan bu kaldırma kuvveti akışkanlaştırma başlatan temel kuvvettir. Yatay yöndeki hava ise yataktaki katı parçacıklar üzerinde dönme hareketi kuvveti meydana getirir. Katı parçacığa dönme hareketi sağlayan dönmeli akışlı akışkan yataklı kurutucular, birçok farklı tasarımda kullanılabilmekte olup ileri daha da geliştirilip yaygınlaşması beklenen kurutma yöntemidir (Yudin ve Raghavan, 2011). Dönmeli akışlı akışkan yataklı kurutucuların geleneksel akışkan yataklı kurutuculardan temel farkı spiral distribütörün girdap oluşturmamasından dolayı katı parçacığın dönme hareketi yapmasıdır (Venkiteswaran vd., 2013). Geleneksel akışkan yatak ile ilgili yaygın sorunların giderilmesini sağlamak için kullanılan gelişmiş yöntemlerden biridir (Francis vd., 2015).

Katı parçacıkların kısıtlı dairesel bir dönme hareketi mevcuttur (Jun vd., 2012). Dönmeli akışlı akışkan yataklı kurutucular, önemli bir yükseklik-çap oranına sahip bir kabin, dairesel bir yatak ve eğimli bir gaz enjeksiyonuna sahiptir (Tawfik vd., 2019).

1.7. Çalışmanın Amacı ve Önemi

Bu çalışmanın amacı, yeni bir yöntem olan dönmeli akışlı akışkan yataklı kızılötesi kurutma yöntemi ile kabuklu ve kabuksuz fındık meyvesi kurutma özelliklerinin belirlenmesidir. Bu amaç için literatürde bulunan 22 farklı matematiksel modeller ve 14 farklı değerlendirme kriteri kullanıldı (Kucuk vd., 2014). Bu amaçla kabuklu fındık için 250 W, 500 W, 750 W ve 1000 W IR güçte, kabuksuz fındık için 250 W ve 1000 W IR güçle kurutma deneyleri yapıldı. Deneylerde giriş sıcaklığı 18 °C ile 24,5 °C, bağıl nem % 20 ile % 28, çevre sıcaklığı 25 °C ile 28 ve hava hızı 4 m/s ile 5 m/s arasında değişmektedir. Kütle kaybı zamana bağlı boyutsuz kütle oranı, kütle büzülme oranı, nem içeriği ve kuruma hızı hesaplanmıştır. Dönmeli akışlı akışkan yataklı kızılötesi kurutma teknolojisinin ilk kez fındık meyvesi kurutulmasında kullanılmış olması çalışmanın bilimsel özgünlüğünü göstermektedir.

Ayrıca elde edilen verilerin fındık meyvesi ile ilgilenen işletmeler, üreticiler, politika geliştiriciler, araştırmacılar ve sanayiciler için kaynak teşkil edeceği gerçeği çalışmanın endüstriyel ve teknolojik önemine işaret etmektedir.



2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Materyal

Bu deneysel çalışmada, yuvarlak şekilli fındık grubundan tombul türü kullanılmıştır. Bu fındıklar Trabzon'un Sürmene ilçesinin Yemişli mahallesinden toplanmıştır. Günlük olarak toplanan taze fındıklar yeşil kabuklarından ayrılıp Kett marka nem ölçüm cihazıyla kabuklu fındıkların nem oranları %35 ve kabuksuz fındıkların nem oranı %40 olarak belirlendi ve 100 gr olarak deneylerde kullanıldı. Hazırlanan numuneler, öncesinden tasarlanıp imal edilen kurutma fırınında, deneyler yapılmak üzere Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü İDEA-L İnovasyon laboratuvarına getirilmiş.



Şekil 5. Toplanan yeşil kabuklu fındık ve tanelerine ayrılmış taze fındık.

2.2. Yöntem

2.2.1. Kurutma Deney Düzeneği

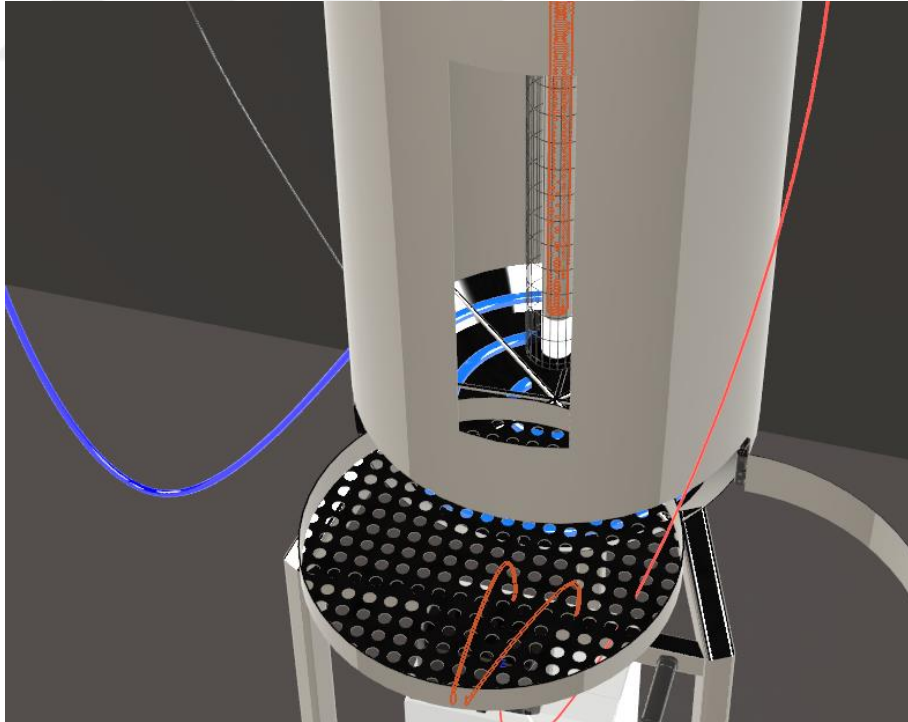
Fındık kurutma deneylerinin yapılabilmesi için imal edilmiş dönmeli akışlı akışkan yataklı kızılötesi kurutma fırını ve kontrol ekipmanlarının kapsamlı görünümü Şekil 6. da verilmiştir. Deney düzeneğinin 3b tasarım görüntüleri Şekil 7 ve Şekil 8’de, sistem elemanları Şekil 9’da ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Deney düzeneğinde kullanılan ölçüm aletleri Tablo 2’de , sistematik akış şeması Şekil 10’da verilmiştir.



Şekil 6. Tasarlanıp imal edilen deney düzeneği.



Şekil 7. Deney düzeneği üç boyutlu tasarımı.

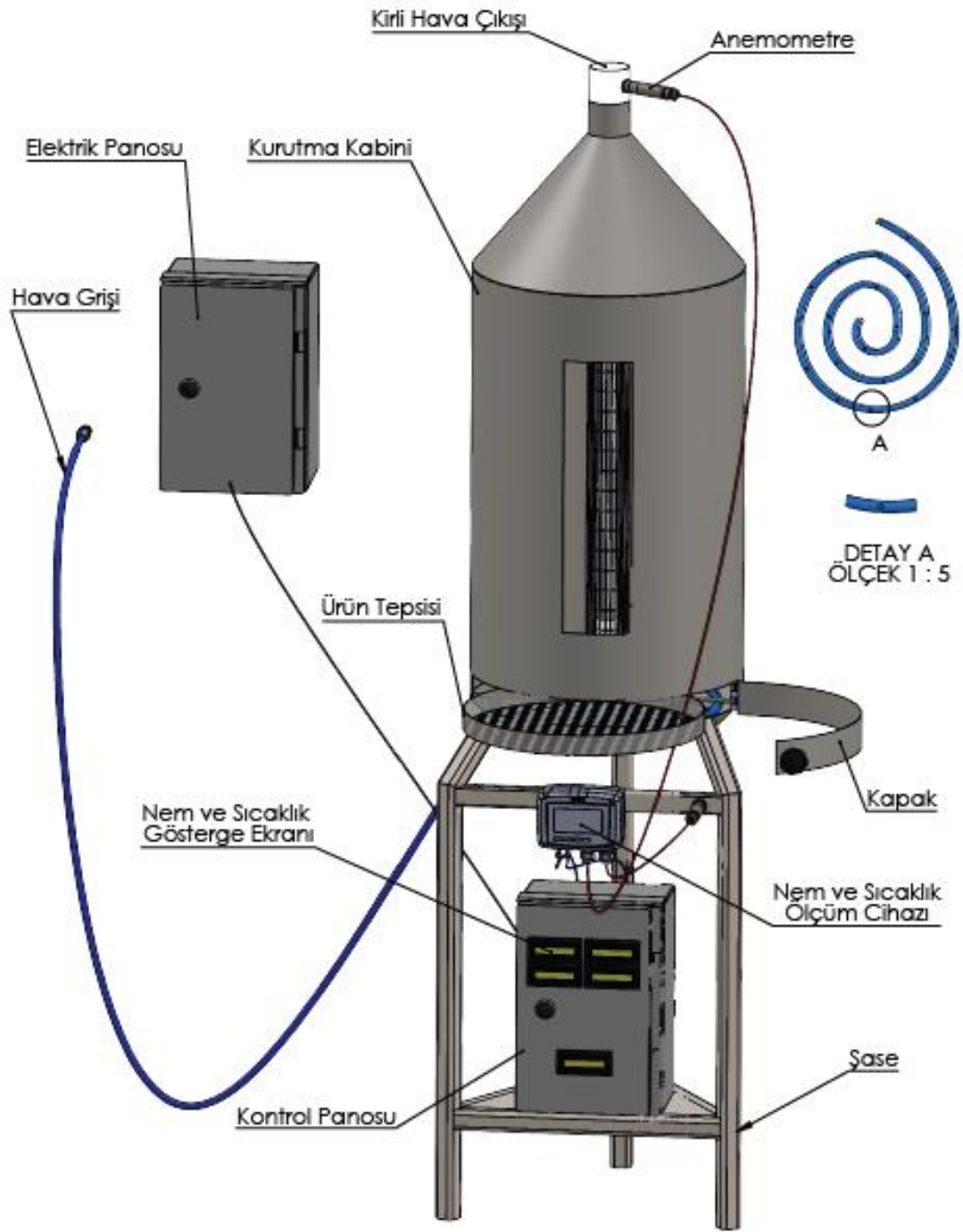


Şekil 8. Deney düzeneği üç boyutlu tasarımı.

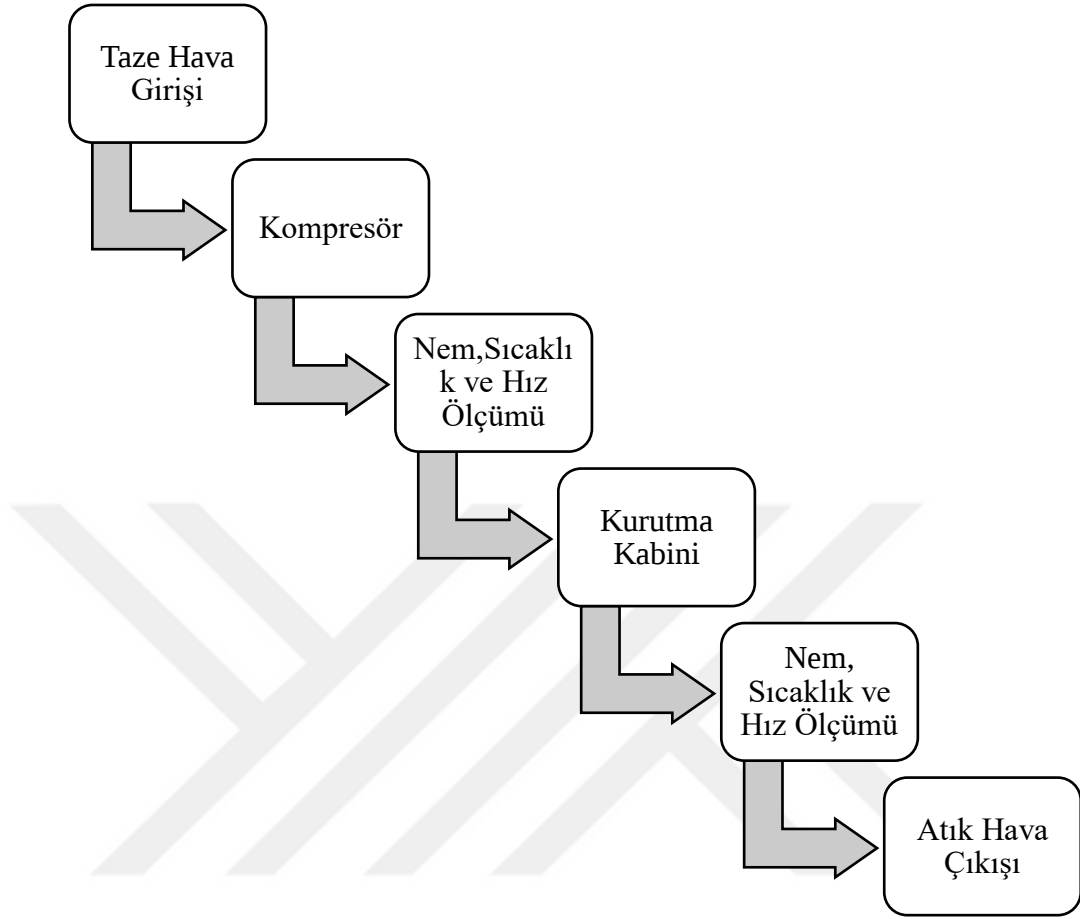
2.2.2. Çalışmada Kullanılan Ölçü Aletleri

Tablo 2. Deneyde kullanılan ölçüm aletleri.

Ölçüm Aleti	Teknik Özellikleri
	Elektrik gücü kontrol ve ölçüm cihazı; WellHise marka PM-004+ LCD
	Çok fonksiyonlu ölçüm cihazı; Çalışma sıcaklığı -20/+50°C ve saklama sıcaklığı -30/+70°C olan Testo 435 ölçüm cihazı ile hava hızı değeri alınmıştır
	Kütle ölçüm cihazı; TEM marka ETEKOTER+LCD/00/00 plastik çukur kefe tartım terazi (1 g hassasiyet)
	Sıcaklık ve nem ölçüm cihazı; EMKO Pronem Mini PMI-P Sıcaklık ölçüm aralığı -20/80°C ($\pm 0,1$), Nem ölçüm aralığı %0–%100 (± 2)
	Dijital nem ve sıcaklık kontrol; EMKO marka ESM-3723 76X34,5X71mm boyutlarındaki ve - 40°C ile +85°C / 0°C ile +50°C



Şekil 9. Kurutma sistem elemanları.



Şekil 10. Sistem akış diyagramı.

2.3. Matematiksel Modelleme

Yapılan bu araştırmada ürünlerin kurutma işlemi esnasında alınan zamana bağlı nem oranı verilerini en iyi tanımlayan matematiksel modeli tespit edebilmek için literatürde var olan 22 farklı model denklemi incelenmiştir. Hesaplamalarda kullanılmış olan 22 adet matematiksel modelleme denklemleri Tablo 3'te gösterilmiştir (Kucuk vd., 2014).

Tablo 3. Matematiksel modellemede kullanılan model denklemleri.

No	Model Adı	Model Denklemi	Denklem Sabiti	Denklem Numarası
1	Newton Lewis	$MR = \exp(-kt)$	k	(1)
2	Page	$MR = \exp(-kt^n)$	k, n	(2)
3	Modifiye Page	$MR = \exp(-(kt)^n)$	k, n	(3)
4	Modifiye Page - I	$MR = \exp((-kt)^n)$	k, n	(4)
5	Modifiye Page - II	$MR = \exp\left(-c \left(\frac{t}{L^2}\right)^2\right)$	c, L, n	(5)
6	Henderson ve Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	a, k	(6)
7	Logaritmik	$MR = a \exp(-kt) + c$	a, k, c	(7)
8	Midilli-Kucuk	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	a, k, n, b	(8)
9	Demir vd.	$MR = a \exp(-kt)^n + b$	a, k, n, b	(9)
10	İki Terimli	$MR = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t)$	a, k ₀ , b, k ₁	(10)
11	İki Terimli Eksponansiyel	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kat)$	a, k	(11)
12	Verma vd.	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-gt)$	a, k, g	(12)
13	Difüzyon Yaklaşımı	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kbt)$	a, k, b	(13)
14	Modifiye Henderson ve Pabis	$MR = a \exp(-kt) + b \exp(-gt) + c \exp(-ht)$	a, k, b, g, c, h	(14)
15	Wang ve Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	a, b	(15)

Tablo 3 (Devam). Matematiksel modellemede kullanılan model denklemleri.

No	Model Adı	Model Denklemi	Denklem Sabiti	Denklem Numarası
16	Hii vd.	$MR = a \exp(-kt^n) + c \exp(-gt^n)$	a,k,n,c,g	(16)
17	Basitleştirilmiş Fick Difüzyon (SFFD)	$MR = a \exp\left(-c \left(\frac{t}{L^2}\right)\right)$	a,c,L	(17)
18	Weibull	$MR = \exp\left(-\left(\frac{t}{a}\right)^b\right)$	a,b	(18)
19	Aghbashlo vd.	$MR = \exp\left(-\frac{k_1 t}{1+k_2 t}\right)$	k ₁ ,k ₂	(19)
20	Parabolic	$MR = a + bt + ct^2$	a,b,c	(20)
21	Balbay ve Şahin	$MR = (1 - a) \exp(-kt^n) + b$	a,k,n,b	(21)
22	Alibas (Modifiye MidilliKucuk)	$MR = a \exp(-kt^n) + bt + g$	a,k,n,b,g	(22)

2.4. Kurutmada Kullanılan Formüller

Bu çalışmada yer alan boyutsuz kütle oranı, nem içeriği, kütle büzülme oranı ve kurutma hızı gibi değişkenler aşağıda tanımlanmıştır (Midilli vd., 2002; Midilli ve Kucuk, 2003; Kucuk vd., 2014).

Boyutsuz Kütle Oranı ;

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_i - M_e} \quad (23)$$

MR : Boyutsuz kütle oranı

M_t : “t” anındaki kütle (kg)

M_e : Kuru kütle (kg)

M_i : Ürünün ilk kütlesi (kg)

Nem İçeriği ;

$$MC(\%) = \frac{M_t - M_e}{M_i} \quad (24)$$

Kütle Büzülme Oranı;

$$S_{mr} = \frac{M_t}{M_i} \quad (25)$$

Kurutma Hızı;

$$DR = -\frac{dM}{dt} = -\frac{M_{t+dt} - M_t}{dt} \quad (26)$$

M_{t+dt} : M_{t+dt} anındaki kütle (kg)

d_t : Zaman aralığı

2.5. Değerlendirme Kriterleri

Araştırmalar sonucunda Modified Page, Modified Page II, Midilli- Kucuk, Alibas (Modified Midilli-Kucuk) ve Balbay and Şahin modelleri dikkate alınan kriterlerle kabuklu fındık kurutma kinetiği davranışını en iyi temsil ettiği sonucuna ulaşılmıştır. Literatürde var olan 14 adet ince tabakalı kuruma eğrisi denklemlerinin değerlendirme kriterleri Tablo 4'te gösterilmiştir (Kucuk vd., 2014).

Tablo 4. Matematiksel modelleme kuruma eğrisi değerlendirme kriterleri.

No	Değerlendirme Parametreleri	Denklem	Denklem No
1	Korelasyon Katsayısı	$r = \frac{N \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i})(MR_{exp,i}) - (\sum_{i=1}^N MR_{pre,i})(\sum_{i=1}^N MR_{exp,i})}{\sqrt{N \left(\sum_{i=1}^N MR_{pre,i}^2 - (\sum_{i=1}^N MR_{pre,i})^2 \right) \left(\sum_{i=1}^N MR_{exp,i}^2 - (\sum_{i=1}^N MR_{exp,i})^2 \right)}}$	(27)
2	Toplam Kareler Toplamı	$SST = \sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{avg})^2$	(28)
3	Standart Tahmini Hata	$SSE = \sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2$	(29)
4	Kalanların Kareleri Toplamı	$RSS = \sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2$	(30)
5	Belirleme Katsayısı	$R^2 = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST}$	(31)
6	Düzeltilmiş R ²	$\bar{R}^2 = 1 - (1 - R^2) \frac{N - 1}{N - k - 1}$	(32)
7	Azaltılmış Ki-Kare	$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - n}$	(33)
8	Ortalama Karesel Hata	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{N}}$	(34)
9	Residuals	$residuals = \sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})$	(35)
10	Modelleme Verimliliği	$EF = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{exp,ave})^2 - \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{exp,ave})^2}$	(36)
11	Tahmini Standart Hata	$SEE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{cal,i})^2}{N - n_p}}$	(37)
12	İndirgenmiş Kare Hata	$RSSE = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{cal,i})^2}{N}$	(38)
13	Ortalama Sapma Hata	$MBE = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})}{N}$	(39)
14	Ortalama GörelîYüzde Hata	$P = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{ MR_{exp,i} - MR_{pre,i} }{MR_{exp,i}}$	(40)

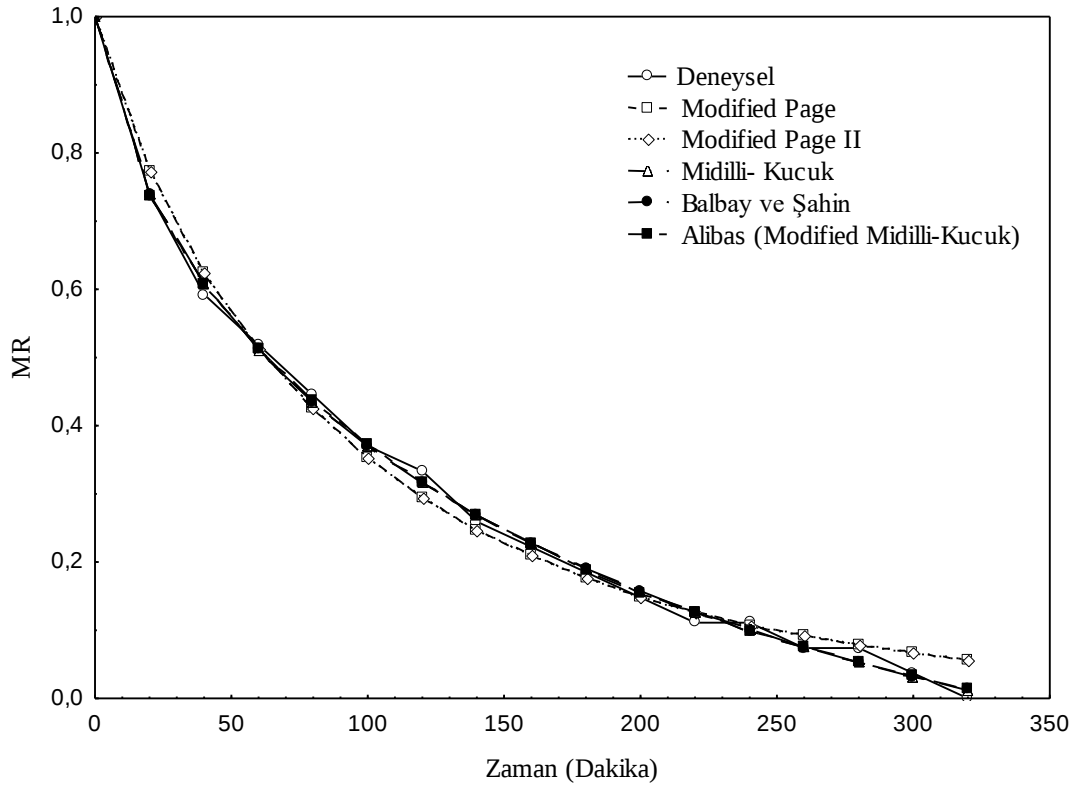
2.6. Bulgular

Dönmeli akışkan yataklı infrared kurutucuda 250 W, 500 W, 750 W ve 1000 W olmak üzere 4 farklı IR güç seçeneğinde kabuklu fındık, 250 W ve 1000 W olmak üzere 2 farklı IR güç seçeneğinde kabuksuz fındık kurutma deneyleri yapılmıştır. Deneylerde giriş sıcaklığı 18 °C ile 24,5 °C arasında ve hava hızı 4 m/s ile 5 m/s arasında değişmektedir. Kütle kaybı zamana bağlı boyutsuz kütle oranı, kütle büzülme oranı, nem içeriği ve kuruma hızı hesaplanmıştır.

Deneylerden elde edilen veriler ile matematiksel modellemeler oluşturulmuştur. Oluşturulan modellemeler Tablo 4'te verilen değerlendirme kriterlerine göre en iyi 5 model belirlenerek MR – zaman grafikleri çizilmiştir. Belirlenen 5 modelden en iyi model seçilerek katsayılarıyla formülize edilmiştir.

Tablo 5. 1000 W Kabuklu fındık kurutma değerlendirme kriteri.

Model Name	r	RSS-SSE	SST	R2-EF	χ^2	$\bar{R}^2$	RMSE	residuals	SEE	RSSE	MBE	P
Newton Lewis	0,99475	0,01751	2,50191	0,993	0,00109	0,99254	0,03209	-0,06332	0,00109	0,00103	0,00372	0,44381
Page	0,99626	0,00946	2,50191	0,99622	0,00063	0,99568	0,02359	-0,07685	0,00063	0,00056	0,00452	0,34729
Modified Page	1	0,00529	2,50069	0,99789	0,00035	0,99758	0,01763	-0,0299	0,00035	0,00031	0,00176	4,74844
Modified Page-I	-	-	2,50191	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Modified Page-II	1	0,00529	2,50069	0,99789	0,00038	0,9974	0,01763	-0,0299	0,00038	0,00031	0,00176	4,74877
Henderson and Pabis	0,99504	0,01207	2,50191	0,99517	0,0008	0,99448	0,02665	-0,00897	0,0008	0,00071	0,00053	0,39502
Logarithmic	0,99506	0,01201	2,50191	0,9952	0,00086	0,99409	0,02658	-	0,00086	0,00071	-	0,38682
Midilli-Kucuk	0,9992	0,00196	2,50191	0,99922	0,00015	0,99896	0,01074	-0,0002	0,00015	0,00012	0,00001	0,1688
Demir et al.	-	8,43213	2,49126	-2,38468	0,64863	-3,51291	0,70428	-11,08183	0,64863	0,49601	0,65187	2,48267
Two-Term	0,99789	0,00553	2,50191	0,99779	0,00043	0,99705	0,01803	-0,05213	0,00043	0,00033	0,00307	0,23457
Two-Term Exponential	0,99747	0,00638	2,50191	0,99745	0,00043	0,99709	0,01937	-0,06015	0,00043	0,00038	0,00354	0,27373
Verma et al.	0,99789	0,00553	2,50191	0,99779	0,00039	0,99728	0,01803	-0,05212	0,00039	0,00033	0,00307	0,23456
Approximation of Diffusion	0,99789	0,00553	2,50191	0,99779	0,00039	0,99728	0,01803	-0,05229	0,00039	0,00033	0,00308	0,2345
Modified Henderson and Pabis	-	-	2,50191	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Wang and Singh	0,98397	0,06914	2,50191	0,97237	0,00461	0,96842	0,06377	-0,29322	0,00461	0,00407	0,01725	0,97159
Hii et al.	0,99645	0,00906	2,50191	0,99638	0,00075	0,99473	0,02309	-0,05402	0,00075	0,00053	0,00318	0,35064
Simplified diffusion (SFFD)	0,99504	0,01207	2,50191	0,99517	0,00086	0,99406	0,02665	-0,00983	0,00086	0,00071	0,00058	0,39488
Weibull	0,99626	0,00946	2,50191	0,99622	0,00063	0,99568	0,02359	-0,07682	0,00063	0,00056	0,00452	0,34734
Aghbashlo et al.	0,99458	0,01425	2,50191	0,99431	0,00095	0,99349	0,02895	-0,08857	0,00095	0,00084	0,00521	0,42055
Parabolic	0,98645	0,03285	2,50191	0,98687	0,00235	0,98384	0,04396	-	0,00235	0,00193	-	0,64214
Balbay and Şahin	0,99922	0,0019	2,50191	0,99924	0,00015	0,99899	0,01058	0,00003	0,00015	0,00011	-	0,16555
Alibas (Modified Midilli-Kucuk)	0,99923	0,00189	2,50191	0,99925	0,00016	0,9989	0,01054	-0,00035	0,00016	0,00011	0,00002	0,16391



Şekil 11. 1000 W kabuklu fındık kurutma deneyi için boyutsuz kütle oranı.

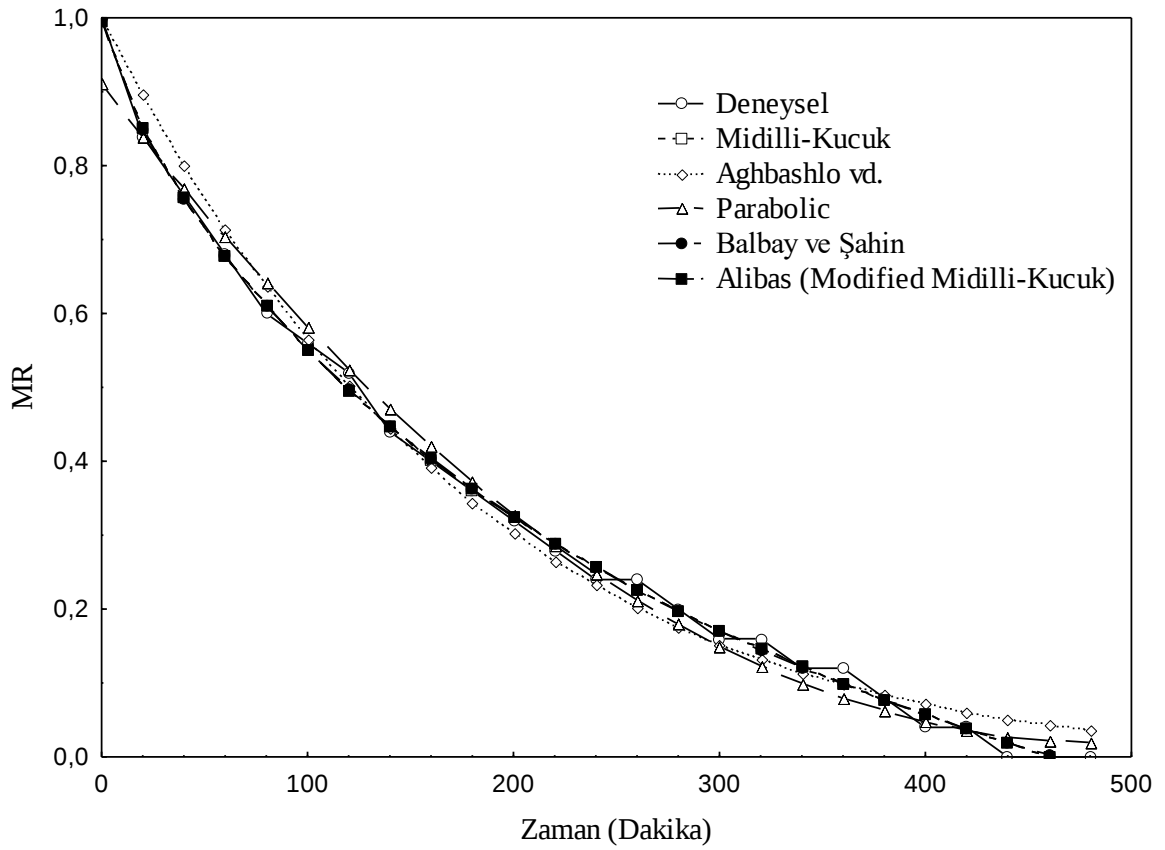
Tablo 5’te 1000 W IR gücünde akışkan yatakta kabuklu fındık kurutma değerlendirme kriteri sonucu en iyi model Alibas (Modified Midilli-Kucuk) modeli olmuştur. Şekil 11’de ise kabuklu fındığın 1000 W infrared gücünde akışkan yatakta boyutsuz kütle oranının zamanla değişimi grafiği verilmiştir. Bu formül denklem (41)’den elde edilmiştir.

Bu grafiğe baktığımızda neredeyse tüm modeller çok yakın sonuçlar ortaya koymuştur. Belirleme katsayılarının çoğu 1’e çok yakın şekilde çıkmıştır. Bu grafik en yakın 5 modeli göstermektedir.

$$MR = 1,710533 \exp(-0,024315t^{0,655781}) + 0,000430t - 0,710585 \quad (41)$$

Tablo 6. 750 W Kabuklu fındık kurutma değerlendirme kriteri.

Model Name	r	RSS-SSE	SST	R ² -EF	χ^2	$\bar{R}^2$	RMSE	residuals	SEE	RSSE	MBE	P
Newton Lewis	0,99416	0,0243	4,23789	0,99427	0,00101	0,99402	0,03118	-0,1813	0,00101	0,00097	0,00725	0,30857
Page	0,99424	0,02361	4,23789	0,99443	0,00103	0,99392	0,03073	-0,187	0,00103	0,00094	0,00748	0,30792
Modified Page	-	0,01783	4,23789	0,99579	0,00078	0,99541	0,0267	-0,0571	0,00078	0,00071	0,00228	-
Modified Page-I	-	-	4,23789	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Modified Page-II	-	0,01783	4,23789	0,99579	0,00081	0,99519	0,0267	-0,0571	0,00081	0,00071	0,00228	-
Henderson and Pabis	0,99448	0,02392	4,23789	0,99436	0,00104	0,99384	0,03093	-0,1602	0,00104	0,00096	0,00641	0,30543
Logarithmic	-	-	4,23789	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Midilli-Kucuk	0,99915	0,00329	4,23789	0,99922	0,00016	0,99907	0,01147	-0,00028	0,00016	0,00013	0,00001	0,11279
Demir et al.	0	11,4077	20,45467	0,44229	0,54322	0,33075	0,67551	15,39565	0,54322	0,45631	0,61583	2,61698
Two-Term	0,99456	0,02393	4,23789	0,99435	0,00114	0,99322	0,03094	-0,16821	0,00114	0,00096	0,00673	0,30384
Two-Term Exponential	0,99459	0,02369	4,23789	0,99441	0,00103	0,9939	0,03078	-0,16716	0,00103	0,00095	0,00669	0,29416
Verma et al.	0,99459	0,02369	4,23789	0,99441	0,00108	0,99361	0,03078	-0,16638	0,00108	0,00095	0,00666	0,29415
Approximation of Diffusion	0,99459	0,02369	4,23789	0,99441	0,00108	0,99361	0,03078	-0,16732	0,00108	0,00095	0,00669	0,29406
Modified Henderson and Pabis	0,99448	0,02392	4,23789	0,99436	0,00126	0,99247	0,03093	-0,16035	0,00126	0,00096	0,00641	0,30542
Wang and Singh	0,99336	0,04505	4,23789	0,98937	0,00196	0,9884	0,04245	-0,28915	0,00196	0,0018	0,01157	0,42657
Hii et al.	0,9924	0,03262	4,23789	0,9923	0,00163	0,99028	0,03612	-0,1739	0,00163	0,0013	0,00696	0,3662
Simplified Fick's diffusion (SFFD)	-	-	4,23789	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Weibull	0,99424	0,02361	4,23789	0,99443	0,00103	0,99392	0,03073	-0,18611	0,00103	0,00094	0,00744	0,30806
Aghbashlo et al.	0,99554	0,0193	4,23789	0,99545	0,00084	0,99503	0,02778	-0,16287	0,00084	0,00077	0,00651	0,28001
Parabolic	0,995	0,0193	4,23789	0,99545	0,00088	0,99479	0,02779	0	0,00088	0,00077	0	0,26202
Balbay and Şahin	0,99917	0,00323	4,23789	0,99924	0,00015	0,99909	0,01136	0,00007	0,00015	0,00013	0	0,11316
Alibas (Modified Midilli-Kucuk)	0,99915	0,00328	4,23789	0,99923	0,00016	0,99902	0,01146	0,00081	0,00016	0,00013	0,00003	0,11289



Şekil 12. 750 W kabuklu fındık kurutma deneyi için boyutsuz kütle oranı.

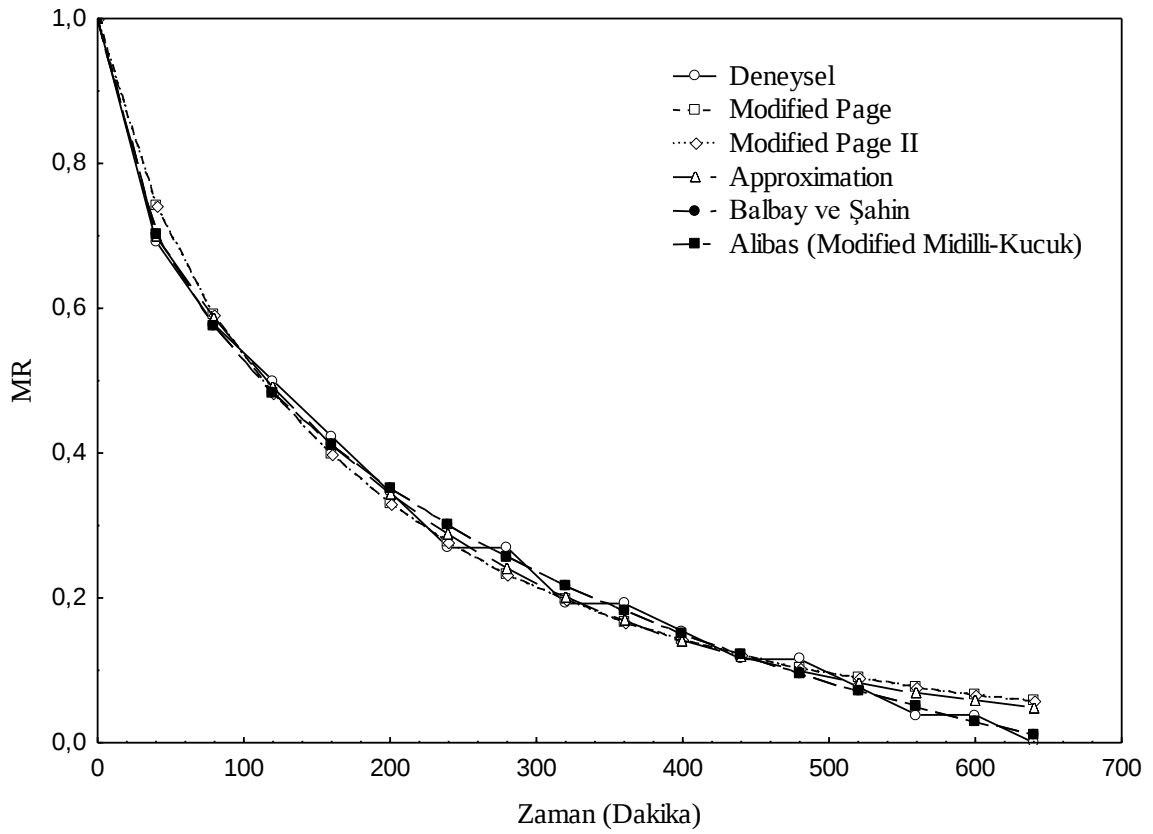
Tablo 6’da 750 W IR gücünde akışkan yatakta kabuklu fındık kurutma değerlendirme kriteri sonucu en iyi model Balbay and Şahin modeli olmuştur. Şekil 12’de ise kabuklu fındığın 750 W infrared gücünde akışkan yatakta boyutsuz kütle oranının zamanla değişimi grafiği verilmiştir. Bu formül denklem (42) den elde edilmiştir.

Bu grafiğe baktığımızda neredeyse tüm modeller çok yakın sonuçlar ortaya koymuştur. Belirleme katsayılarının çoğu 1’e çok yakın şekilde çıkmıştır. Bu grafik en yakın 5 modeli göstermektedir.

$$MR = (1 - 0,398126)\exp(-0,011221t^{0,768040}) - 0,400221 \quad (42)$$

Tablo 7. 500 W Kabuklu fındık kurutma değerlendirme kriteri.

Model Name	r	RSS-SSE	SST	R ² -EF	χ^2	$\bar{R}^2$	RMSE	residuals	SEE	RSSE	MBE	P
Newton Lewis	-	-	2,33771	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Page	0,99036	0,03135	2,33771	0,98659	0,00209	0,98467	0,04295	-0,03614	0,00209	0,00184	0,00213	0,70279
Modified Page	1	0,00789	2,3364	0,99662	0,00053	0,99614	0,02154	-0,0281	0,00053	0,00046	0,00165	4,297
Modified Page-I	-	-	2,33771	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Modified Page-II	1	0,00789	2,3364	0,99662	0,00056	0,99585	0,02154	-0,0281	0,00056	0,00046	0,00165	4,29746
Henderson and Pabis	0,9919	0,01888	2,33771	0,99192	0,00126	0,99077	0,03333	0,01497	0,00126	0,00111	0,00088	0,50655
Logarithmic	0,99195	0,01873	2,33771	0,99199	0,00134	0,99014	0,03319	0,00003	0,00134	0,0011	0	0,51049
Midilli-Kucuk	0,94203	0,14477	2,33771	0,93807	0,01114	0,91743	0,09228	-0,47204	0,01114	0,00852	0,02777	1,59583
Demir et al.	0	8,29049	13,36907	0,37988	0,63773	0,17317	0,69834	11,01784	0,63773	0,48768	0,64811	4,04617
Two-Term	-	-	2,33771	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Two-Term Exponential	0,99582	0,01041	2,33771	0,99555	0,00069	0,99491	0,02474	-0,05962	0,00069	0,00061	0,00351	0,37802
Verma et al.	-	-	2,33771	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Approximation of Diffusion	0,99742	0,00635	2,33771	0,99728	0,00045	0,99665	0,01933	-0,0488	0,00045	0,00037	0,00287	0,3034
Modified Henderson and Pabis	-	-	2,33771	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Wang and Singh	0,97649	0,0992	2,33771	0,95756	0,00661	0,9515	0,07639	-0,35339	0,00661	0,00584	0,02079	1,25381
Hii et al.	0,99522	0,01158	2,33771	0,99505	0,00097	0,99279	0,0261	-0,05726	0,00097	0,00068	0,00337	0,43811
Simplified Fick's diffusion (SFFD)	-	-	2,33771	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Weibull	0,99502	0,01198	2,33771	0,99487	0,0008	0,99414	0,02655	-0,0795	0,0008	0,0007	0,00468	0,42734
Aghbashlo et al.	0,99203	0,01986	2,33771	0,9915	0,00132	0,99029	0,03418	-0,09635	0,00132	0,00117	0,00567	0,51199
Parabolic	0,9799	0,04649	2,33771	0,98011	0,00332	0,97552	0,05229	0	0,00332	0,00273	0	0,83409
Balbay and Şahin	0,99864	0,00317	2,33771	0,99865	0,00024	0,99819	0,01365	0	0,00024	0,00019	0	0,22556
Alibas (Modified Midilli-Kucuk)	0,99864	0,00317	2,33771	0,99865	0,00026	0,99803	0,01365	-0,0003	0,00026	0,00019	0,00002	0,2255



Şekil 13. 500W kabuklu fındık kurutma deneyi için boyutsuz kütle oranı.

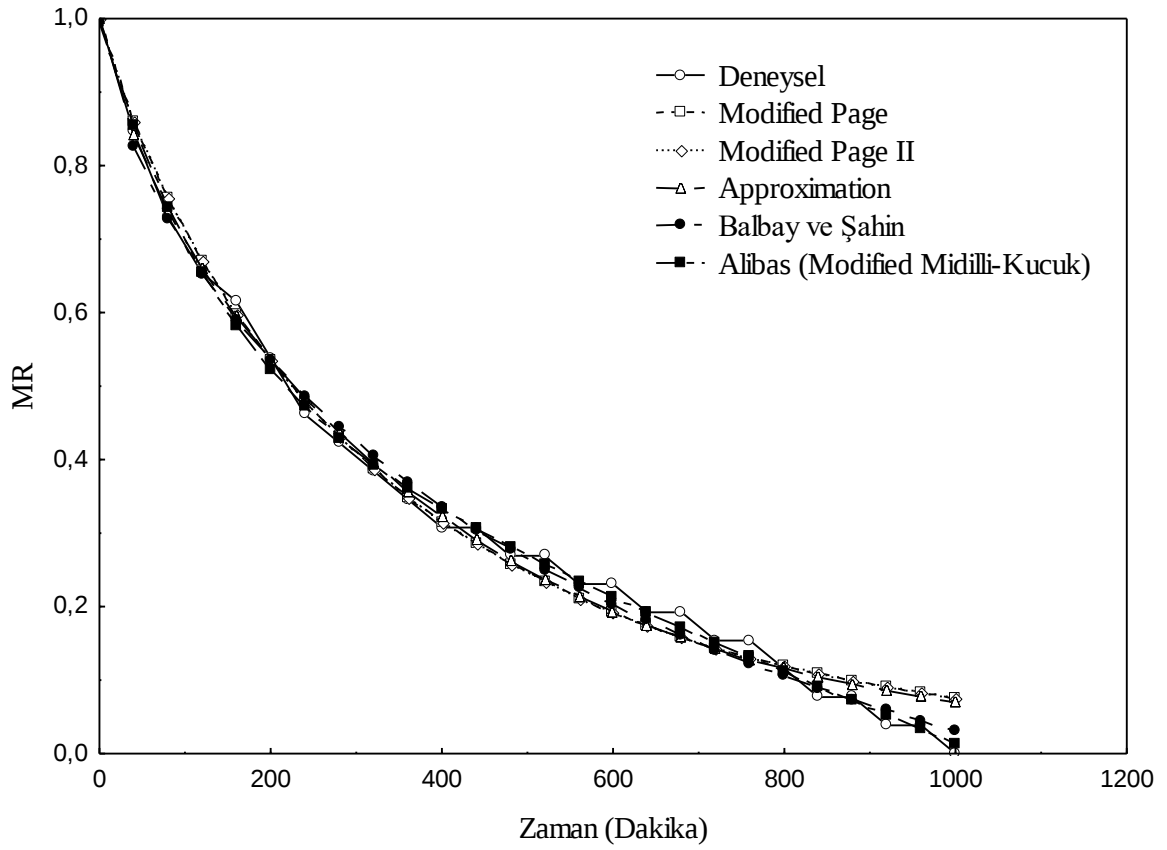
Tablo 7’de 500 W IR gücünde akışkan yatakta kabuklu fındık kurutma değerlendirme kriteri sonucu en iyi model Balbay and Şahin modeli olmuştur. Şekil 13’te ise kabuklu fındığın 500 W infrared gücünde akışkan yatakta boyutsuz kütle oranının zamanla değişimi grafiği verilmiştir. Bu formül denklem (43)’ten elde edilmiştir.

Bu grafiğe baktığımızda neredeyse tüm modeller çok yakın sonuçlar ortaya koymuştur. Belirleme katsayılarının çoğu 1’e çok yakın şekilde çıkmıştır. Bu grafik en yakın 5 modeli göstermektedir.

$$MR = (1 - 0,359177) \exp(-0,027189t^{0,598470}) - 0,359983 \quad (43)$$

Tablo 8. 250 W Kabuklu fındık kurutma değerlendirme kriteri.

Model Name	r	RSS-SSE	SST	R ² -EF	χ^2	$\bar{R}^2$	RMSE	residuals	SEE	RSSE	MBE	P
Newton Lewis	-	-	4,2494	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Page	0,99439	0,01951	4,2494	0,99541	0,00081	0,99501	0,02739	-0,0874	0,00081	0,00075	0,00336	0,24674
Modified Page	1	0,01191	4,24803	0,9972	0,0005	0,99695	0,02141	-0,04399	0,0005	0,00046	0,00169	4,39886
Modified Page-I	-	-	4,2494	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Modified Page-II	1	0,01191	4,24803	0,9972	0,00052	0,99681	0,0214	-0,04399	0,00052	0,00046	0,00169	4,39916
Henderson and Pabis	0,99348	0,02231	4,2494	0,99475	0,00093	0,99429	0,02929	-0,013	0,00093	0,00086	0,0005	0,28764
Logarithmic	0,99352	0,02216	4,2494	0,99479	0,00096	0,99407	0,02919	-0,00249	0,00096	0,00085	0,0001	0,28732
Midilli-Kucuk	0,97178	0,1339	4,2494	0,96849	0,00609	0,96249	0,07176	0,15071	0,00609	0,00515	0,0058	0,7101
Demir et al.	0,99352	0,02216	4,2494	0,99479	0,00101	0,99379	0,02919	-0,00001	0,00101	0,00085	0	0,2874
Two-Term	-	-	4,2494	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Two-Term Exponential	0,99519	0,01677	4,2494	0,99605	0,0007	0,99571	0,0254	-0,06495	0,0007	0,00065	0,0025	0,22915
Verma et al.	-	-	4,2494	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Approximation of Diffusion	0,99523	0,01671	4,2494	0,99607	0,00073	0,99553	0,02535	-0,05926	0,00073	0,00064	0,00228	0,22907
Modified Henderson and Pabis	-	-	4,2494	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Wang and Singh	0,98229	0,10043	4,2494	0,97637	0,00418	0,97431	0,06215	-0,41378	0,00418	0,00386	0,01591	0,62516
Hii et al.	0,99454	0,0191	4,2494	0,99551	0,00091	0,99438	0,0271	-0,0618	0,00091	0,00073	0,00238	0,24995
Simplified Fick's diffusion (SFFD)	-	-	4,2494	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Weibull	0,99439	0,01951	4,2494	0,99541	0,00081	0,99501	0,02739	-0,08772	0,00081	0,00075	0,00337	0,24695
Aghbashlo et al.	0,993	0,02505	4,2494	0,99411	0,00104	0,99359	0,03104	-0,11246	0,00104	0,00096	0,00433	0,28359
Parabolic	0,98549	0,04942	4,2494	0,98837	0,00215	0,98678	0,0436	0	0,00215	0,0019	0	0,41404
Balbay and Şahin	0,99735	0,00908	4,2494	0,99786	0,00041	0,99746	0,01869	-0,00055	0,00041	0,00035	0,00002	0,1821
Alibas (Modified Midilli-Kucuk)	0,99854	0,00499	4,2494	0,99883	0,00024	0,99853	0,01386	-0,00005	0,00024	0,00019	0	0,1305



Şekil 14. 250 W kabuklu fındık kurutma deneyi için boyutsuz kütle oranı.

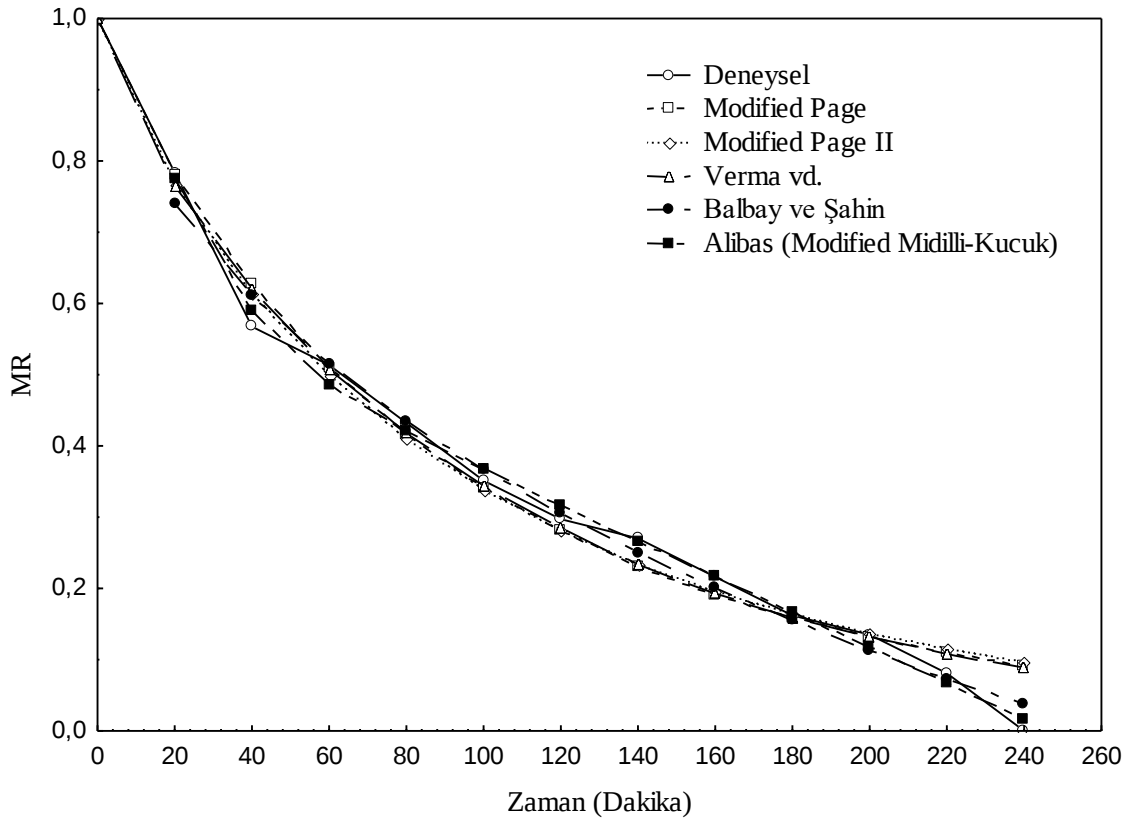
Tablo 8’de 250 W IR gücünde akışkan yatakta kabuklu fındık kurutma değerlendirme kriteri sonucu en iyi model Alibas (Modified Midilli-Kucuk) modeli olmuştur. Şekil 14’te ise kabuklu fındığın 250 W infrared gücünde akışkan yatakta boyutsuz kütle oranının zamanla değişimi grafiği verilmiştir. Bu formül denklem (44) den elde edilmiştir.

Bu grafiğe baktığımızda neredeyse tüm modeller çok yakın sonuçlar ortaya koymuştur. Belirleme katsayılarının çoğu 1’e çok yakın şekilde çıkmıştır. Bu grafik en yakın 5 modeli göstermektedir.

$$MR = 0,496062 \exp(0,006312t^{1,021904}) - 0,000485t - 0,498286 \quad (44)$$

Tablo 9. 1000 W kabuksuz fındık kurutma değerlendirme kriteri.

Model Name	r	RSS-SSE	SST	R ² -EF	χ^2	$\bar{R}^2$	RMSE	residuals	SEE	RSSE	MBE	P
Newton Lewis	0,991282	0,01846	2,360156	0,99217 8	0,00153 8	0,99146 7	0,037683	-0,053993	0,00153 8	0,00142	0,00415 3	0,58379 4
Page	0,99012	0,02411	2,36016	0,98978	0,00219	0,98774	0,04307	-0,00416	0,00219	0,00185	0,00032	0,66877
Modified Page	1	0,00637	2,35455	0,9973	0,00058	0,99675	0,02213	-0,0288	0,00058	0,00049	0,00222	2,73237
Modified Page-I	-	-	2,36016	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Modified Page-II	1	0,00543	2,35455	0,99769	0,00054	0,99692	0,02044	-0,03464	0,00054	0,00042	0,00266	3,28644
Henderson and Pabis	0,99153	0,01676	2,36016	0,9929	0,00152	0,99148	0,03591	-0,01677	0,00152	0,00129	0,00129	0,55479
Logarithmic	-	-	2,36016	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Midilli-Kucuk	0,99058	0,01903	2,36016	0,99194	0,00211	0,98791	0,03826	-0,04954	0,00211	0,00146	0,00381	0,55301
Demir et al.	0,99176	0,01624	2,36016	0,99312	0,0018	0,98968	0,03535	0	0,0018	0,00125	0	0,54436
Two-Term	0,9931	0,01398	2,36016	0,99408	0,00155	0,99112	0,03279	-0,04064	0,00155	0,00108	0,00313	0,47384
Two-Term Exponential	-	-	2,36016	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Verma et al.	0,99311	0,01398	2,36016	0,99408	0,0014	0,9921	0,0328	-0,0388	0,0014	0,00108	0,00298	0,47111
Approximation of Diffusion	-	-	2,36016	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Modified Henderson and Pabis	0,9931	0,01398	2,36016	0,99408	0,002	0,98815	0,03279	-0,04067	0,002	0,00108	0,00313	0,47383
Wang and Singh	0,9833	0,04475	2,36016	0,98104	0,00407	0,97725	0,05867	-0,17194	0,00407	0,00344	0,01323	0,9682
Hii et al.	0,99231	0,01546	2,36016	0,99345	0,00193	0,98877	0,03449	-0,03616	0,00193	0,00119	0,00278	0,50601
Simplified Fick's diffusion (SFFD)	-	-	2,36016	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Weibull	0,99222	0,01556	2,36016	0,99341	0,00141	0,99209	0,03459	-0,04669	0,00141	0,0012	0,00359	0,49278
Aghbashlo et al.	0,99124	0,01764	2,36016	0,99252	0,0016	0,99103	0,03684	-0,05466	0,0016	0,00136	0,0042	0,54896
Parabolic	0,98499	0,02949	2,36016	0,98751	0,00295	0,98334	0,04762	0	0,00295	0,00227	0	0,78478
Balbay and Şahin	0,99649	0,00694	2,36016	0,99706	0,00077	0,99559	0,0231	0,00004	0,00077	0,00053	0	0,37132
Alibas (Modified Midilli-Kucuk)	0,99851	0,00294	2,36016	0,99875	0,00037	0,99786	0,01504	0	0,00037	0,00023	0	0,26307



Şekil 15. 1000 W kabuksuz fındık kurutma deneyi için boyutsuz kütle oranı.

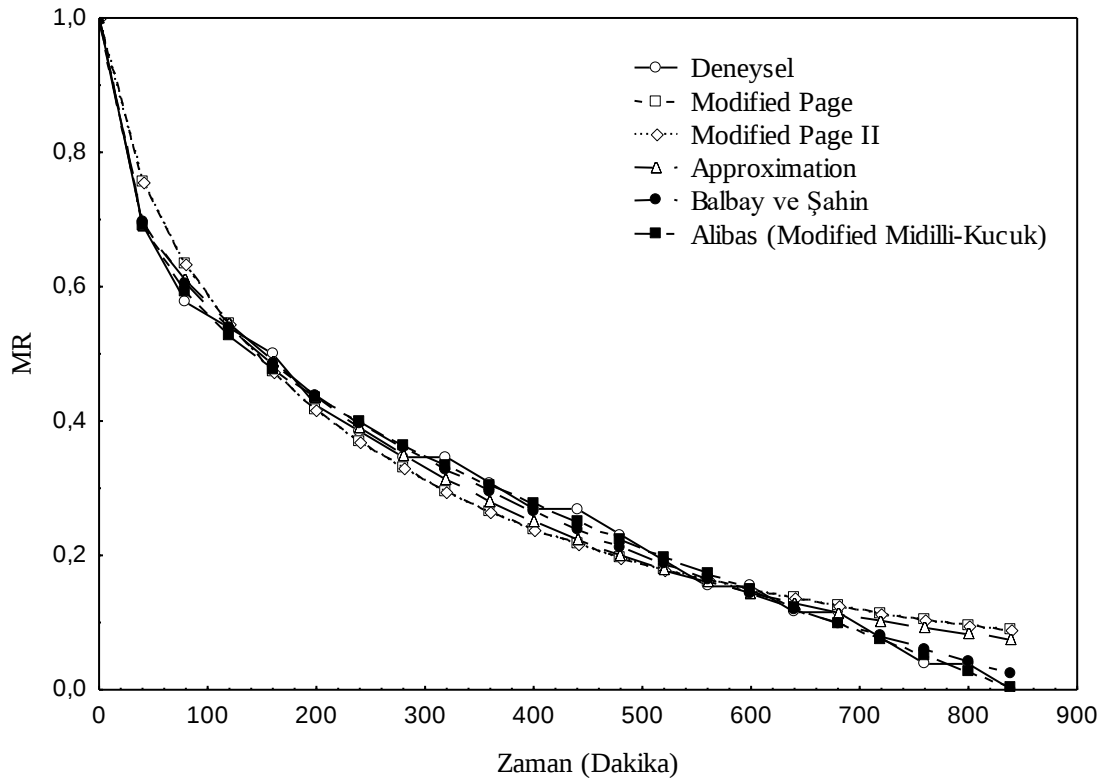
Tablo 9’da 1000 W IR gücünde akışkan yatakta kabuksuz fındık kurutma değerlendirme kriteri sonucu en iyi model Alibas (Modified Midilli-Kucuk) modeli olmuştur. Şekil 15’te ise kabuklu fındığın 1000 W infrared gücünde akışkan yatakta boyutsuz kütle oranının zamanla değişimi grafiği verilmiştir. Bu formül denklem (45)’ten elde edilmiştir.

Bu grafiğe baktığımızda neredeyse tüm modeller çok yakın sonuçlar ortaya koymuştur. Belirleme katsayılarının çoğu 1’e çok yakın şekilde çıkmıştır. Bu grafik en yakın 5 modeli göstermektedir.

$$MR = 0,384850 \exp(0,008077t^{1,443554}) - 0,002498t - 0,616696 \quad (45)$$

Tablo 10. 250 W kabuksuz fındık kurutma değerlendirme kriteri.

Model Name	r	RSS-SSE	SST	R ² -EF	χ^2	$\bar{R}^2$	RMSE	residuals	SEE	RSSE	MBE	P
Newton Lewis	-	-	3,03539	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Page	-	-	3,03539	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Modified Page	1	0,0243	3,03405	0,99199	0,00121	0,99115	0,03323	-0,05843	0,00121	0,0011	0,00266	6,90478
Modified Page-I			3,03539	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Modified Page-II	1	0,0243	3,03405	0,99199	0,00128	0,99066	0,03324	-0,05842	0,00128	0,0011	0,00266	6,90433
Henderson and Pabis			3,03539	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Logarithmic	0,97894	0,05203	3,03539	0,98286	0,00274	0,98	0,04863	-0,00032	0,00274	0,00236	0,00001	0,55622
Midilli-Kucuk	0,43873	2,39436	3,03539	0,21119	0,13302	0,02558	0,3299	1,92916	0,13302	0,10883	0,08769	3,87922
Demir et al.	0,97894	0,05203	3,03539	0,98286	0,00289	0,97883	0,04863	0	0,00289	0,00236	0	0,55596
Two-Term	-	-	3,03539	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Two-Term Exponential	-	-	3,03539	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Verma et al.	-	-	3,03539	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Approximation of Diffusion	0,99306	0,0181	3,03539	0,99404	0,00095	0,99304	0,02869	-0,0808	0,00095	0,00082	0,00367	0,31712
Modified Henderson and Pabis	-	-	3,03539	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Wang and Singh	0,96028	0,20018	3,03539	0,93405	0,01001	0,92711	0,09539	-0,60419	0,01001	0,0091	0,02746	1,12968
Hii et al.	0,98657	0,03426	3,03539	0,98871	0,00202	0,98519	0,03946	-0,08587	0,00202	0,00156	0,0039	0,47777
Simplified Fick's diffusion (SFFD)	-	-	3,03539	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Weibull	0,9859	0,03568	3,03539	0,98825	0,00178	0,98701	0,04027	-0,12614	0,00178	0,00162	0,00573	0,4754
Aghbashlo et al.	0,97629	0,0633	3,03539	0,97915	0,00316	0,97695	0,05364	-0,17372	0,00316	0,00288	0,0079	0,61985
Parabolic	0,96949	0,07501	3,03539	0,97529	0,00395	0,97117	0,05839	0	0,00395	0,00341	0	0,61413
Balbay and Şahin	0,99794	0,00514	3,03539	0,99831	0,00029	0,99791	0,01529	-0,00349	0,00029	0,00023	0,00016	0,18922
Alibas (Modified Midilli-Kucuk)	0,99869	0,00327	3,03539	0,99892	0,00019	0,99858	0,0122	0	0,00019	0,00015	0	0,15459

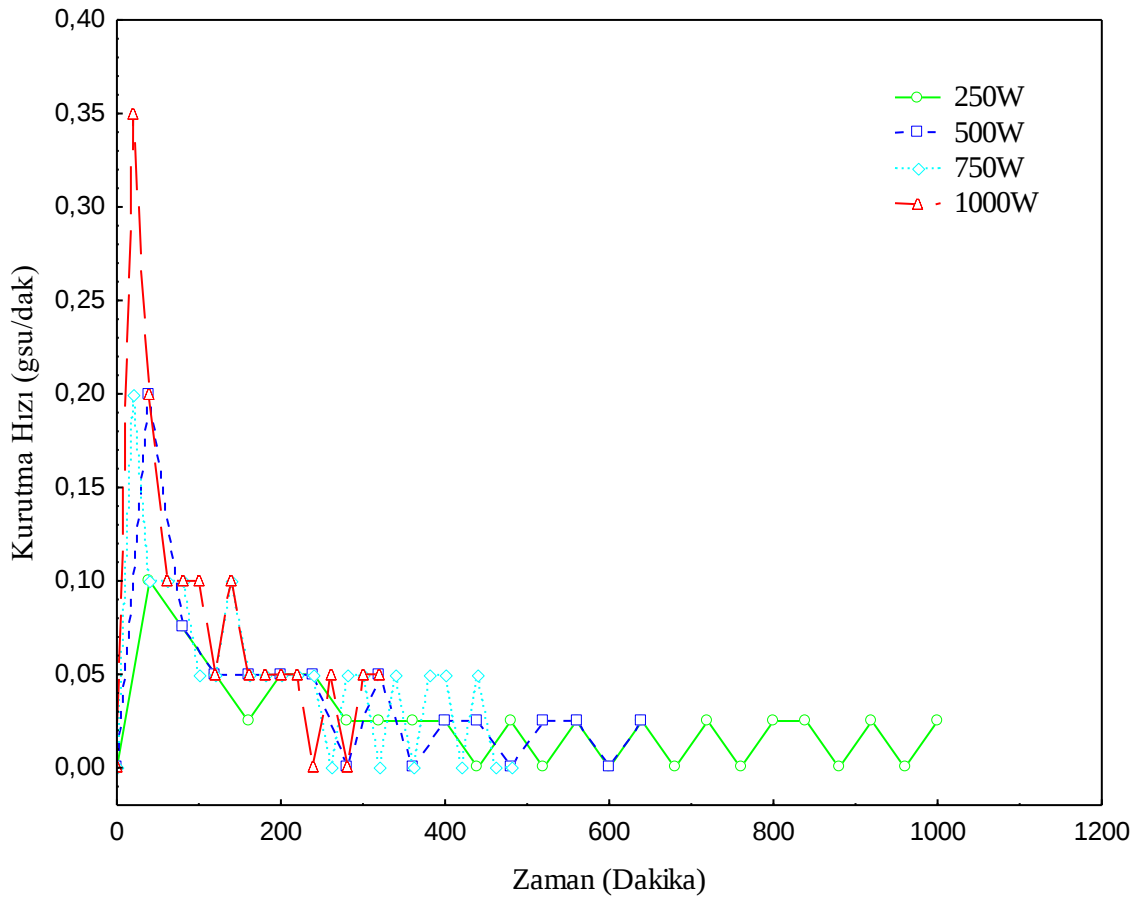


Şekil 16. 250 W kabuksuz fındık kurutma deneyi için boyutsuz kütle oranı.

Tablo 10’da 250 W IR gücünde akışkan yatakta kabuksuz fındık kurutma değerlendirme kriteri sonucu en iyi model Alibas (Modified Midilli-Kucuk) modeli olmuştur. Şekil 16’da ise kabuklu fındığın 250 W infrared gücünde akışkan yatakta boyutsuz kütle oranının zamanla değişimi grafiği verilmiştir. Bu formül denklem (46)’dan elde edilmiştir.

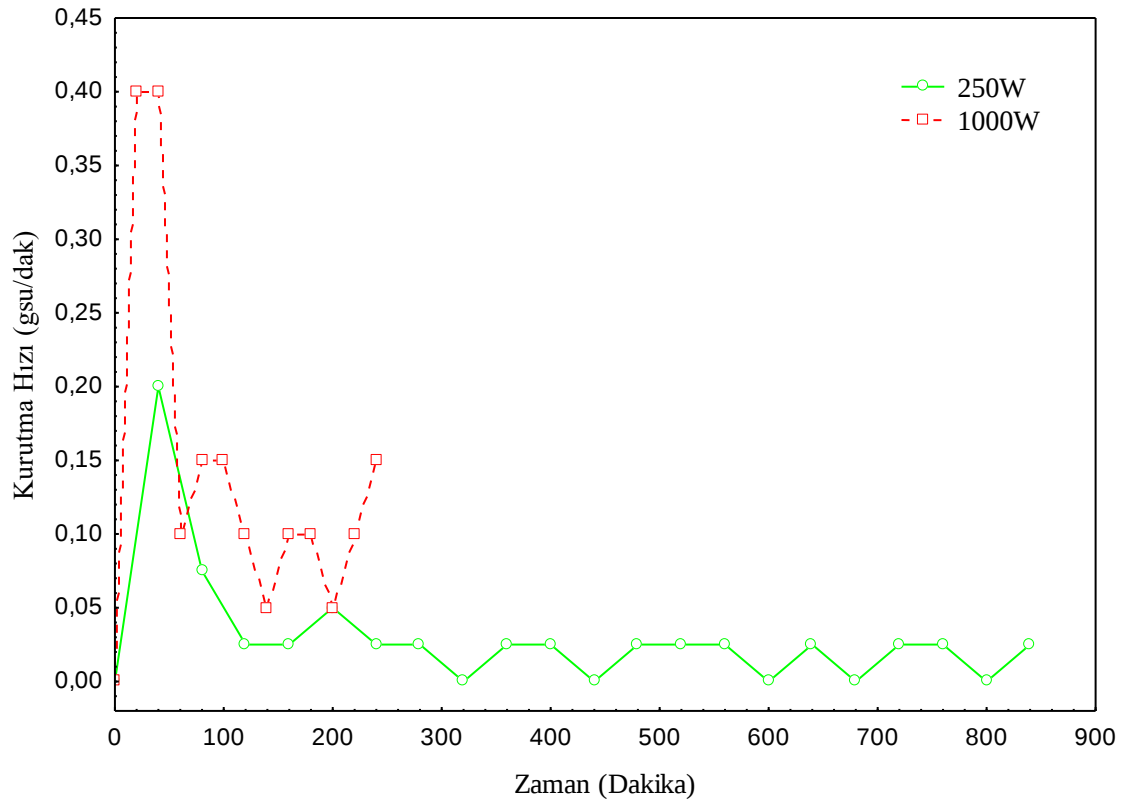
Bu grafiğe baktığımızda neredeyse tüm modeller çok yakın sonuçlar ortaya koymuştur. Belirleme katsayılarının çoğu 1’e çok yakın şekilde çıkmıştır. Bu grafik en yakın 5 modeli göstermektedir. İlk 100 dakikada boyutsuz kütle oranında değişim yaklaşık %35 olmuştur.

$$MR = 0,526227 \exp(0,099046t^{0,563306}) - 0,000566t - 0,473764 \quad (46)$$



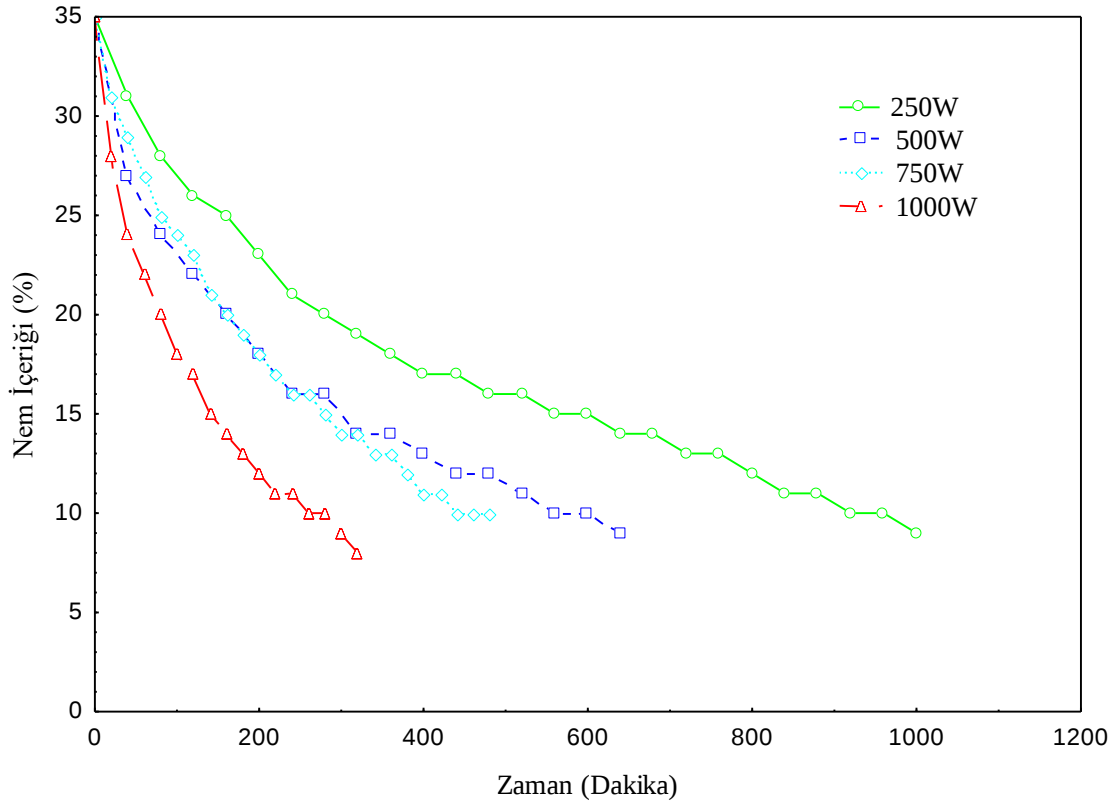
Şekil 17. Kabuklu fındığın farklı IR güçlerindeki kurutma hızı değişimi.

Şekil 17’de dönmeli akışlı akışkan yatakta kabuklu fındığın farklı IR güçlerde kurutma hızlarının zamana göre değişimi gösterilmektedir. Grafiği incelediğimizde ilk 200 dakikada IR güç ile kurutma hızı doğru orantılı artarken 200 dakikadan sonra 0 - 0,05 aralığında artıp azalmaktadır. Kabuklu fındığın kurutma hızı en yüksek olduğu 250 W, 500 W, 750 W ve 1000 W güç değerleri için sırasıyla; 40. dakikada 0,10 gsu/dak., 40. dakikada 0,20 gsu/dak., 20. dakikada 0,20 gsu/dak. ve 20. dakikada 0,35 gsu/dak. gözlemlenmiştir. Aynı güç değerleri için kuruma süreleri sırasıyla 1000, 640, 480 ve 320 dakika şeklindedir.



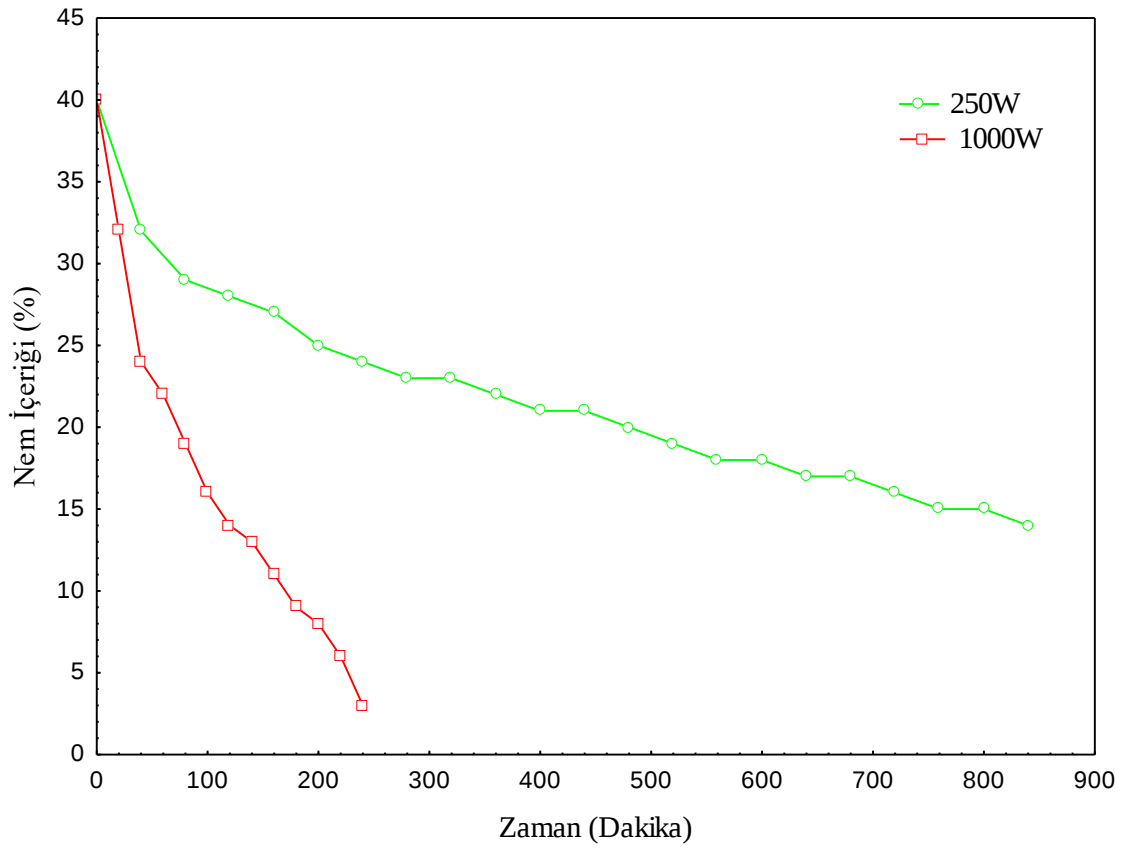
Şekil 18. Kabuksuz fındığın farklı IR güçlerindeki kurutma hızı değişimi.

Şekil 18’de dönmeli akışlı akışkan yatakta kabuksuz fındığın farklı IR güçlerde kurutma hızlarının zamana göre değişimi gösterilmektedir. Grafiği incelediğimizde IR güç ile kurutma hızı doğru orantılı olduğu görülmektedir. kabuksuz fındığın kurutma hızı en yüksek olduğu 250 W ve 1000 W güç değerleri için sırasıyla; 40. dakikada 0,20 gsu/dak ve 20-40. dakikada 0,40 gsu/dak. gözlemlenmiştir. Aynı güç değerleri için kuruma süreleri sırasıyla 840 ve 240 dakika şeklindedir.



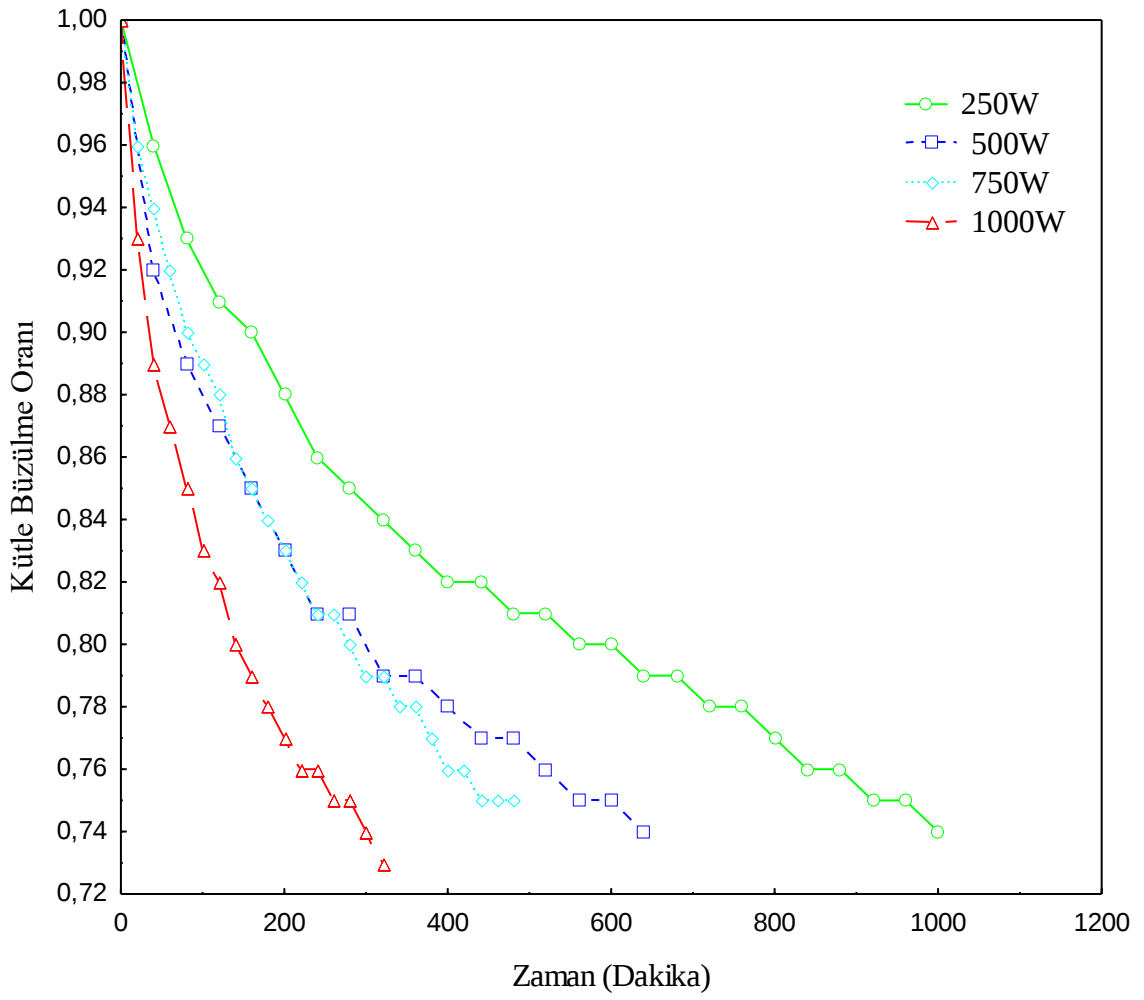
Şekil 19. Kabuklu fındığın farklı IR güçlerindeki nem içeriği değişimi.

Şekil 19’da dönmeli akışlı akışkan yatakta kabuklu fındık için zamana bağlı olarak nem içeriğinin değişimini göstermektedir. Kabuklu fındık için başlangıç nem içeriği %35 olarak belirlenmiştir. Nem içeriği, kabuklu fındık için tüm IR güçler için zamanın artmasıyla azalmaktadır. Ayrıca, IR güç arttığında, kabuklu fındıktaki nem transfer süresinin oldukça azaldığı gözlemlenmiştir. Nem içeriklerinin zamana göre kıyas edecek olursak 250 W, 500 W, 750 W ve 1000 W IR güçlerde sırasıyla 1000 dakika, 640 dakika, 480 dakika ve 320 dakika olduğu görülmektedir.



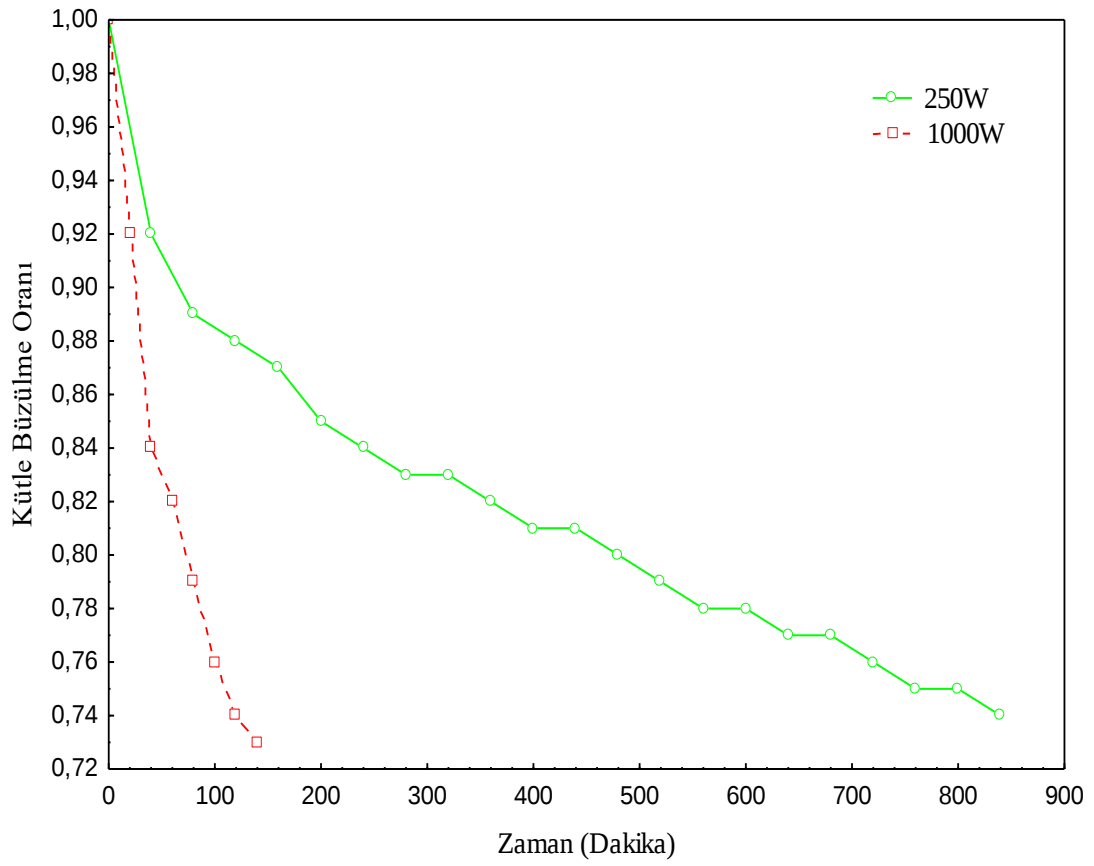
Şekil 20. Kabuksuz fındığın farklı IR güçlerindeki nem içeriği değişimi.

Şekil 20’de dönmeli akışlı akışkan yatakta kabuksuz fındık için zamana bağlı olarak nem içeriğinin değişimini göstermektedir. Kabuksuz fındık için başlangıç nem içeriği %40 olarak belirlenmiştir. Nem içeriği, kabuksuz fındık için tüm IR güçlerde zamanın artmasıyla azalmaktadır. Ayrıca, IR güç arttığında, kabuksuz fındıktaki nem transfer süresinin oldukça azaldığı gözlemlenmiştir. Nem içeriklerinin zamana göre kıyas edecek olursak 250 W ve 1000 W IR güçlerde sırasıyla 840 dakika ve 240 dakika olduğu görülmektedir.



Şekil 21. Kabuklu fıındığın farklı IR güçlerindeki kütleli büzölme oranı değışimi.

Şekil 21’de kabuklu fıındığın farklı IR güçlerindeki kütleli büzölme oranının zamana göre dağılımı göstermektedir. Kütle büzölme oranı kabuklu fıındık için artan zaman ile lineer olarak azaldığı gözlemlenmiştir. Kabuklu fıındık için IR gücü arttığında kütle büzölme oranı zamanı azaldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 22. Kabuksuz fındığın farklı IR güçlerindeki kütle büzülme oranı değişimi

Şekil 22’de kabuksuz fındığın farklı IR güçlerindeki kütle büzülme oranının zamana göre dağılımı göstermektedir. Kütle büzülme oranı kabuksuz fındık için artan zaman ile lineer olarak azaldığı gözlemlenmiştir. Kabuksuz fındık için IR gücü arttığında kütle büzülme oranı zamanı azaldığı gözlemlenmiştir.

3. TARTIŞMA VE SONUÇ

Çalışmada dönmeli akışlı akışkan yataklı infrared kurutmada zamana bağlı olarak kütle kayıpları ölçüldü. Yapılan 6 farklı deney için giriş havası hızı, nem ve sıcaklığı yaklaşık olarak sabit tutuldu ve kalite parametreleri belirlendi.



Şekil 23. Deney öncesi kurutulacak kabuklu fındık görünümü.

Birinci deney 1000 W infrared gücünde, 100 ± 1 gram kabuklu fındık ile başlatıldı. Kütle değişimleri 20'şer dakika aralıklarla 1 gram hassasiyette teraziyle ölçülerek kayıt edildi. 320 dakika sonunda kurutma işlemi bitirildiğinde kütle kaybı 27 gram olarak ölçüldü. Bu deneyden elde edilen veriler ışığında Tabo 4' teki 14 değerlendirme kriteri sonucu en iyi 5 matematiksel model Modified Page, Modified Page II, Midilli- Kucuk, Alibas (Modified Midilli-Kucuk) ve Balbay and Şahin olarak belirlendi. Bu 5 model arasından en iyi model Alibas (Modified Midilli-Kucuk) olarak belirlendi ve (47) numaralı denklemlerle formülize edildi.

$$MR = 1,710533 \exp(-0,024315t^{0,655781}) + 0,000430t - 0,710585 \quad (47)$$



Şekil 24. Birinci deney sonrası gözlemlenen kütle değişimi.



Şekil 25. Birinci deney sonrası gözlemlenen değişimler.

İkinci deney 750 W infrared gücünde, 100 ± 1 gram kabuklu fındık ile başlatıldı. Kütle değişimleri 20' şer dakika aralıklarla 1 gram hassasiyette teraziyle ölçülerek kayıt edildi. 480 dakika sonunda kurutma işlemi bitirildiğinde kütle kaybı 26 gram olarak ölçüldü. Bu deneyden elde edilen veriler ışığında Tablo 4'teki 14 değerlendirme kriteri sonucu en iyi 5 matematiksel model Aghbashlo et al, Parabolic, Midilli- Kucuk, Balbay and Şahin ve Alibas (Modified Midilli-Kucuk) olarak belirlendi. Bu 5 model arasında en iyi model ise Balbay and Şahin olarak belirlendi ve (48) numaralı denklemle formülize edildi.

$$MR = (1 - 0,398126)\exp(-0,011221t^{0,768040}) - 0,400221 \quad (48)$$



Şekil 26. İkinci deney sonrası gözlemlenen kütle değişimi.



Şekil 27. İkinci deney sonrası gözlemlenen değişimler

Üçüncü deney 500 W infrared gücünde, 100 ± 1 gram kabuklu fındık ile başlatıldı. Kütle değişimleri 40' ar dakika aralıklarla 1 gram hassasiyette teraziyle ölçülerek kayıt edildi. 640 dakika sonunda kurutma işlemi bitirildiğinde kütle kaybı 26 gram olarak ölçüldü. Bu deneyden elde edilen veriler ışığında Tablo 4'teki 14 değerlendirme kriteri sonucu en iyi 5 matematiksel model Modified Page-II, Approximation of Diffusion, Modified Page, Alibas (Modified Midilli-Kucuk) ve

Balbay and Şahin olarak belirlendi. Bu 5 model arasında en iyi model ise Balbay and Şahin olarak belirlendi ve (49) numaralı denklemle formülize edildi.

$$MR = (1 - 0,359177)\exp(-0,027189t^{0,598470}) - 0,359983 \quad (49)$$



Şekil 28. Üçüncü deney sonrası gözlemlenen kütle değişimi.



Şekil 29. Üçüncü deney sonrası gözlemlenen değişimler.

Dördüncü deney 250 W infrared gücünde, 100 ± 1 gram kabuklu fındık ile başlatıldı. Kütle değişimleri 40' ar dakika aralıklarla 1 gram hassasiyette teraziyle ölçülerek kayıt edildi. 1000 dakika sonunda kurutma işlemi bitirildiğinde kütle kaybı 26 gram olarak ölçüldü. Bu deneyden elde edilen veriler ışığında Tablo 4'teki 14 değerlendirme kriteri sonucu en iyi 5 matematiksel model Modified Page-II,

Approximation of Diffusion, Modified Page, Alibas (Modified Midilli-Kucuk) ve Balbay and Şahin olarak belirlendi. Bu 5 model arasında en iyi model ise Alibas (Modified Midilli-Kucuk) olarak belirlendi ve (50) numaralı denklemle formülize edildi.

$$MR = 0,496062 \exp(0,006312t^{1,021904}) - 0,000485t - 0,498286 \quad (50)$$



Şekil 30. Dördüncü deney sonrası gözlemlenen kütle değişimi.



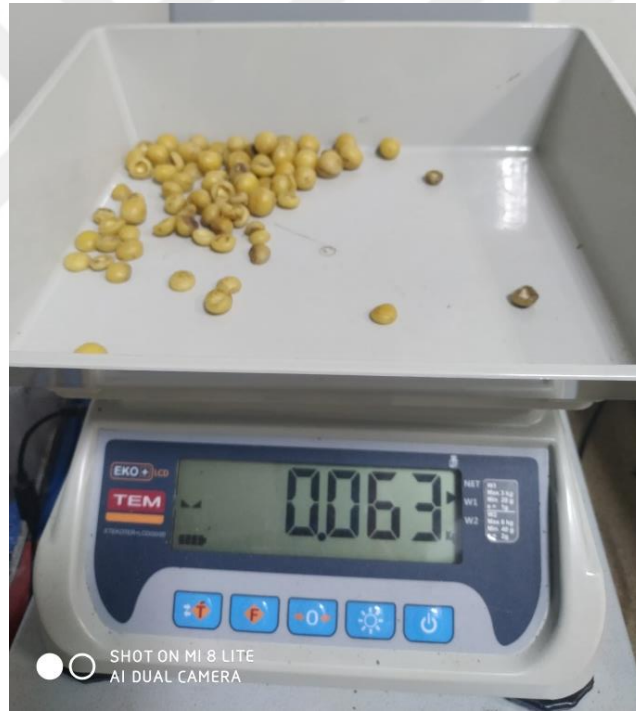
Şekil 31. Dördüncü deney sonrası gözlemlenen değişimler.

Beşinci deney 1000 W infrared gücünde, 100 ± 1 gram kabuksuz fındık ile başlatıldı. Kütle değişimleri 20' şer dakika aralıklarla 1 gram hassasiyette teraziyle ölçülerek kayıt edildi. 240 dakika sonunda kurutma işlemi ürünlerde yağlanma,

parçalanma ve yüzey aşınmasından dolayı bitirildiğinde kütle kaybı 37 gram olarak ölçüldü. Araştırmada yapılan 5.deney sonucunda üründe oluşan yağlanma ve deformasyon, dönmeli akışkan yatakta ürünün kurutma kabine sürtünmesi sonucu meydana geldiği görülmüştür. Bu nedenle yapılan tasarımın ve kurutma tipinin kabuksuz fındığın kurutulmasına uygun olmadığı sonucuna varılmıştır.

Araştırmadaki 5. deneyden elde edilen veriler ışığında Tablo 4'teki 14 değerlendirme kriteri sonucu en iyi 5 matematiksel model Modified Page-II, Verma et al., Modified Page, Alibas (Modified Midilli-Kucuk) ve Balbay and Şahin olarak belirlendi. Bu 5 model arasında en iyi model ise Alibas (Modified Midilli-Kucuk) olarak belirlendi ve (51) numaralı denklemle formülize edildi.

$$MR0,384850 \exp(0,008077t^{1,443554}) - 0,002498t - 0,616696 \quad (51)$$



Şekil 32. Beşinci deney sonrası gözlemlenen kütle değişimi.



Şekil 33. Beşinci deney sonrası gözlemlenen değişimler.

Altıncı deney 250 W infrared gücünde, 100 ± 1 gram kabuksuz fındık ile başlatıldı. Kütle değişimleri 40'ar dakika aralıklarla 1 gram hassasiyette teraziyle ölçülerek kayıt edildi. 840 dakika sonunda ürünlerde meydana gelen yağlanma, parçalanma ve yüzey aşınmasından dolayı kurutma işlemi bitirildi ve kütle kaybı 26 gram olarak ölçüldü.

Bu deneyin yapılmasındaki amaç yüksek İnfrared güçte gözlemlenen olumsuzlukların düşük güçte de olup olmayacağını belirlemesidir. Yapılan gözlemler sonucunda bu tasarım ve kurutma yönteminin kabuksuz fındığın kurutulmasına uygun olmadığı tespit edilmiştir.

Bu deney sonrasında değerlendirme amacı ile elde edilen veriler ışığında Tablo 4'teki 14 değerlendirme kriterine göre en iyi 5 matematiksel model Modified Page-II, Verma et al., Modified Page, Alibas (Modified Midilli-Kucuk) ve Balbay and Şahin olarak belirlendi. Bu 5 model arasında en iyi model ise Alibas (Modified Midilli-Kucuk) olarak belirlendi ve (52) numaralı denklemlerle formülize edildi.

$$MR = 0,526227 \exp(0,099046t^{0,563306}) - 0,000566t - 0,473764 \quad (52)$$



Şekil 34. Altıncı deney sonrası gözlemlenen kütle değişimi.



Şekil 35. Altıncı deney sonrası gözlemlenen değişimler.

Bu araştırmada, kabuklu ve kabuksuz fındık meyveleri hasat edildikten hemen sonra dönmeli akışlı akışkan yataklı kızılötesi kurutma fırınında kurutulmuş ve matematiksel modellemeleri yapılmıştır. Çalışma neticesinde genel olarak aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Fındıkta meyve içlerinin dolgun ve özellikle kurutmadan sonra küçük göbek boşluklu olması istenilmektedir (Lagerstedt, 1975). Göbek boşluğu her ne kadar birçok faktöre göre değişse de genel olarak kalıtsal olduğu düşünülmekle birlikte kabuk inceldikçe bu boşluk artmaktadır (Çetiner ve ark., 1984).

- Kurutmada kabuklu fındık meyvesi için 250 W, 500 W, 750 W ve 1000 W IR güçlerde en iyi matematiksel modellemeler sırasıyla Alibas (Modified Midilli-Kucuk), Balbay and Şahin, Balbay and Şahin ve Alibas (Modified Midilli-Kucuk) olmuştur.

- Kurutmada kabuksuz fındık meyvesi için 250 W ve 1000 W IR güçlerde en iyi matematiksel modelleme Alibas (Modified Midilli-Kucuk) olmuştur.
- Araştırma sonucunda elde edilen verilere göre genel olarak IR gücü arttıkça kuruma hızı artarken kütle büzülme oranı ve nem içeriği azalmaktadır.
- Kabuklu ve kabuksuz fındık meyvesi kurutma deneylerinde IR güç arttıkça kuruma süresi azalmaktadır.
- Araştırmada yapılan gözlemler sonucunda bu tasarım ve kurutma yönteminin kabuksuz fındık meyvesi kurutulmasına uygun olmadığı tespit edilmiştir.
- Kabuklu fındık meyvesi için ideal IR güç 1000 W olarak gözlemlenmiştir.

3.1. Öneriler

Yapılan çalışmalar neticesinde gelecek çalışmalara ışık tutması bakımından aşağıdaki öneriler sıralanmıştır:

- a. Yapılan değerlendirmede örnekler üzerinde tat ve görünüm bakımından büyük farklılıklar gözlenmiştir, bu çalışmaya ek olarak protein, yağ ve lif tayini bakımından kalite analizi yapılabilir.
- b. Yapılan kurutma sisteminde farklı ürünlerin de kurutulması için çalışmalar yapılabilir.
- c. Yapılan araştırmaya ek olarak dönmeli akışlı akışkan yataklı kızılötesi kurutma sisteme sıcak hava girişi sağlanarak hem dönmeli akışlı akışkan yataklı sıcak havalı hem de dönmeli akışlı akışkan yataklı kızılötesi ışınlı sıcak havalı kurutma yöntemlerinin kabuklu ve kabuksu fındığın kurutma karakteristiklerine etkileri incelenebilir.
- d. Tasarlanan sistemin endüstriyel boyutlarda kullanılabilirliğinin belirlenmesi için enerji, ekserji, ekonomik ve çevresel sürdürülebilirlik analizleri yapılabilir.

KAYNAKÇA

- Akosman C. (2003) K p  ekerin infrared enerjisi ile kurutulması, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15(4), 561-568.
- Akta , M. (2007). Isı pompası destekli kurutma fırını. *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Ankara, Türkiye.
- Akta , M., İlba , M., Yalçın, A. and  ahin, M. (2013). Kızılötesi ı ınımllı bir kurutucuda kuruma davranışlarının deneysel incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(4), 767-775.
- Aliba , İ. (2012). Asma yaprağının mikrodalga enerjisiyle kurutulması ve bazı kalite parametrelerinin belirlenmesi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 18, 43-53.
- Altunsu A. (2017), Güneş enerjili sistem ile fındık kurutulması zaman ve sıcaklık otomasyonunun sağlanması, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, Türkiye, 34s.
- Banı, A. (2014). Kızıl ı ın infrared ısısı ile kurutulmasında kütle transfer katsayılarının ve vitamin kayıplarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İ n n  Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya, Türkiye, 90 s.
- Barrett, D.M., Laszlo, S., Ramaswamy, H., (2005) Processing Fruits, Science and Technology. 841 s.
- Basrawi, F., Redzlan, F., Ibrahim, T. K. and Yudin, A. S. M. (2019). Experimental study on the effect of bed aspect ratio to the drying rate of chilli for swirling fluidized bed dryer. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 863, Symposium on Energy Systems 2019 (SES 2019) 1-2 October 2019, Kuantan, Malaysia. 10.1088/1757-899X/863/1/012048.
- Batman, S. G. (2016). Pastırma  retiminde infrared kurutma yönteminin kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, Türkiye, 88 s.
- Bozkurt, S., Altay,  ., Ko , M. and Kaymak Ertekin, F. (2020). Fluidized bed applications in powder food processes. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 8(4), 818-825. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v8i4.818-825.2861>
- Ceran, D. (2018). Türkiye’de üretilen farklı fındık çeşitlerinin fındık zarı ve fındık küspesinin bileşimi, fenolik madde miktarı ve antioksidan aktivitelerinin

belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin Üniversitesi*. Mersin, Türkiye. Ceylan, İ., Doğan, H. (2004), “Nem kontrollü kondenzasyonlu kereste kurutma fırını”, *II. Ulusal Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi*, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, Türkiye.

Chuwattanakul, V. and Eiamsa-Ard, S. (2019). Hydrodynamics investigation of pepper drying in a swirling fluidized bed dryer with multiple-group twisted tape swirl generators. *Case Studies in Thermal Engineering*, 13, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2018.100389>.

Çetiner, E., Okay, A.N., Baş, F., (1984), “ Yuvarlak pomolojik fındık grubunda çeşit ve tozlayıcı ön seçimi ”, Sonuç Raporu. Tarım Orman ve Köy İşleri Bakanlığı, Proje ve Uygulamaları Genel Müdürlüğü, Fındık Araştırma ve Eğitim Merkezi Müdürlüğü, 54 s, Giresun.

Dağcı, G. (2014). Ozmotik ön kurutma yapılmış kivi meyvesinin kızılötesi dalga destekli akışkan yatak kurutucu ile kurutulması. Yüksek Lisans Tezi. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa, Türkiye, 159 s.

Darıcı, S., Şen, S. (2012). Kivi meyvesinin kurutulmasında kurutma havası hızının kurumaya etkisinin incelenmesi. *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 13-16 Nisan, 51-58.

Delfiya, D. S. A., Prashob, K., Murali, S., Alfiya, P. V., Samuel, M. P. and Pandiselvam, R. (2021). Drying kinetics of food materials in infrared radiation drying: A review. *Journal of Food Process Engineering*, e13810, 1–19. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13810>

Duman, M. (2008), Fındık Kitabı, 180 s.

Erdoğan, V. (2018). Fındık: yetiştiricilik, Sorunlar, öneriler ve yenilikler. *Türkiye Tohumcular Birliği Dergisi*, 27, 4-10.

Evranuz, Ö. (1988). Gıda maddelerinin kurutulması sırasında kuruma kinetiğini kontrol eden faktörler ve kalite üzerine etkileri. *Gıda*, 13(1), 51-58.

Faizal, M., Seri, S. M., Al-Hafiz, M. and Raghavan, V. R. (2012). CFD studies on velocity distribution of air in a swirling fluidized bed. *Advanced Materials Research*, 468-471, 25-29. 0.4028/www.scientific.net/AMR.468-471.25.

Francis, N. K., Viswanadhan, K. G. and Paulose, M. M. (2015). Swirling abrasive fluidized bed machining: Effect of process parameters on machining performance. *Materials and Manufacturing Processes*, 30(7) 852–857. <https://doi.org/10.1080/10426914.2014.973580>

Gaewsondee, T. and Duangkhamchan, W. (2019). A novel process for preparing instant riceberry using fluidized bed drying assisted with swirling compressed-air: Kinetic aspects. *Food and Bioprocess Technology*, 12:1422–

1434. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02306-x>.

- Güngör, A., Özbalta, N. (1997, Kasım 20-23)III. Ulusal tesisat mühendisliği kongresi ve sergisi, 97' *Teskom Program Bildirileri*, (s.737-747), İzmir, TMMOB.
- Gürel, A. E. (2015), Güneş enerjisi destekli, ısı pompalı akışkan yataklı bir kurutucunun tasarımı, imalatı ve deneysel analizi, Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, Türkiye, 120
- İslam A., Öger İ., Karagöl S., Turan A., (2019), Farklı IBA uygulamalarının *Corylus colurna L.*'nin odun çelikleriyle köklenmesi üzerine etkisi, *Akademik Ziraat Dergisi Cilt: 8 Özel Sayı: 45-48*
- İşsever, M. (2019). Farklı kurutma yöntemleri ile zencefilin kurutulması ve bazı kalite özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 82 s.
- Kandemir L. (2019), LED teknolojisi ile fındık kurutma, Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu, Türkiye, 68s.
- Köse M. (2022), Dönmeli akışlı akışkan yataklı mikrodalga yeşil çay kurutucunun imalatı ve kurutma performansının deneysel belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Rize, Türkiye, 91 s.
- Köse, R. (1995), “Akışkanlaştırma Hızı ile Akışkan Yataklı Yakıcılar Arasındaki İlişkinin İncelenmesi”, *Uluslararası Yanma Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, (4), 286-296.
- Kucuk, H., Midilli, A., Kilic, A. and Dincer, I. (2014). A review on thin-layer drying-curve equations. *Drying Technology: An International Journal*, 32(7), 757–773. <https://doi.org/10.1080/07373937.2013.873047>
- Kucuk, İ. and Doymaz, İ. (2019). Experimental and modeling investigation of mass transfer during infrared drying of kumquat slices. *Adıyaman University Journal of Science*, 9(1), 48-65.
- Kunii, Daizo, Levenspiel, Octave, (1977), “Fluidization Engineering”, John Wiley & Sons Inc., ISBN 0-88275-542-0.
- Kuprianov, V. I., Kaewklum, R., Sirisomboon, K., Arromdee, P. and Chakritthakul, S. (2010). Combustion and emission characteristics of a swirling fluidized-bed combustor burning moisturized rice husk. *Applied Energy*, 87(9), 2899–2906. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.09.009>

- Kurtuluş, O. (2007). Akışkan yatakta kurutma prosesinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 64 s.
- Lagerstedt, H.B., 1975. Filberts. *Advances in Fruit Breeding*, (Edited by Jules Janick and James N. Moore) Purdue Univ. Press, West Lafayette, p: 456- 489.
- Midilli, A., Olgun, H. and Ayhan, T. (1999). Experimental studies on mushroom and pollen drying. *International Journal of Energy Research*, 23(13), 1143–1152.
- Midilli, A. (2001). Determination of pistachio drying behaviour and conditions in a solar drying system. *International Journal of Energy Research*, 25(8), 715–725. <https://doi.org/10.1002/er.715>
- Midilli, A. and Kucuk, H. (2003). Mathematical modeling of thin layer drying of pistachio by using solar energy. *Energy Conversion and Management*, 44(7), 1111–1122. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(02\)00099-7](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(02)00099-7)
- Okur Ö. (2022), Dönmeli akışlı akışkan yataklı kızılötesi ışınlı yeşil çay kurutma işleminin matematiksel modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Rize, Türkiye, 110 s.
- Onin M. (2012), Bazı meyve ve sebzelerin infrared kurutucuda kurutulmasının deneysel ve teorik olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya, Türkiye, 110s.
- Özbey, M. and Söylemez, M.S. (2005). Effect of swirling flow on fluidized bed drying of wheat grains. *Energy Conversion and Management*, 46(9–10), 1495–1512. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2004.08.005>.
- Öztürk Erdem, B. (2018). Hicaz narı (punica granatum l.) tanelerinin kızılötesi, mikrodalga ve konvektif kurutma yöntemleriyle kurutulması. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Türkiye, 75 s.
- Selbaş R. (1998), Akışkan yataklı sistemlerin analizi ve sunta kurtulmasında uygulanabilirliğinin araştırılması, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, Türkiye, 68s.
- Sitorus, A., Novrinaldi, N., Putra, S. A., Cebro, I. S. and Bulan, R. (2021). Modelling drying kinetics of paddy in swirling fluidized bed dryer. *Case Studies in Thermal Engineering*, 28, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101572>.
- Skjöldebrand, C., (2001). Infrared Heating. In *Thermal Technologies in Food Processing*, Edited by R. Richardson, Boca Raton, Florida, 208-227p
- Tawfik, M. H. M., Diab, M. R. and Abdelmotalib, H. M. (2020). Heat transfer and hydrodynamics of particles mixture in swirling fluidized bed. *International Journal of Thermal Sciences*, 147, 1-8.

<https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2019.106134>.

- Teymur, N. (1999). Maydonoz ve dereotunun kurutulması ve kuruma karakteristiklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 74s.
- Topçuoğlu, G. (2008). Uluslararası piyasada fındığın türkiye ekonomisine katkısı ve sorunları. Yüksek Lisans Tezi. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, Türkiye, 81 s.
- Topuz A. (2002), Akışkan yatakta fındık kurutma prosesinde ısı ve kütle geçişinin incelenmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye, 126s.
- Topuz P. (2009), Akışkan yataklı fırında farklı çeliklerin borlanması ve borlama parametrelerinin geliştirilmesi, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 145s.
- Turan A., İslam A. (2016). Çakıldak fındık çeşidinde kurutma ortamları ve muhafaza süresinebağlı olarak meydana gelen değişimler. Ordu Üniv. Bil. Tek. Derg., Cilt:6, Sayı:2, 2016,272-285/Ordu Univ. J. Sci. Tech.,Vol:6, No:2,2016,272-285
- Türkan, B. (2020). Endüstriyel malzemelerde eşzamanlı ısı ve kütle transferinin deneysel ve nümerik incelenmesi. Doktora Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, Türkiye, 192 s.
- URL-1. <https://www.giresuntb.org.tr/FindikTicaretTarihi>
- URL-2, (2022). http://zmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=30070&tipi=38&sube=0(12 Nisan 2022).
- URL-3, (2012) <https://ordu.tarimorman.gov.tr/Belgeler/Gıda%20Liflet/aflatoksin.pdf> (12 Nisan 2022).
- Venkiteswaran, V. K., Jun, G. J., Sing, C. Y., Sulaiman, S. A. and Raghavan,V. R. (2012). Variation of bed pressure drop with particle shapes in a swirling fluidized bed. Journal of Applied Sciences, 12(24), 2598-2603. 10.3923/jas.2012.2598.2603.
- Yalçın, A. (2012). Kızılötesi ışınlı bir kurutucuda kuruma davranışlarının deneysel incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 66 s.
- Yudin, A. S. M., Raghavan, V. R. and Narahari, M. (2011). A mathematical model for residence time distribution analysis in swirling fluidized bed. *National Postgraduate Conference - Energy and Sustainability: Exploring the*

InnovativeMinds, Malezya, 19-20 Eylül, 1–5.
<https://doi.org/10.1109/NatPC.2011.6136392>

Zulkarnain, M. A., Shahrman, M. K. and Yudin, A. S. M. (2019). Experimental study of drying characteristics of cocoa bean in a swirling fluidized bed dryer. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 863, Symposium on Energy Systems 2019 (SES 2019) 1-2 October 2019, Kuantan, Malaysia. 10.1088/1757-899X/863/1/012048.

