

T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

AKILLI OTOMATİK MEYVE VE SEBZE KURUTUCU
TASARIM VE GERÇEKLENMESİ

MEHMET TÜMAY

AĞUSTOS 2021

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında Mehmet TÜMAY tarafından hazırlanan “AKILLI OTOMATİK MEYVE VE SEBZE KURUTUCU TASARIM VE GERÇEKLENMESİ” adlı Doktora Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Atilla ERGÜZEN
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin Doktora Tezi olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Doç. Dr. Halil Murat ÜNVER
Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan	: Prof. Dr. Necaattin BARIŞCI	_____
Üye (Danışman)	: Doç. Dr. Halil Murat ÜNVER	_____
Üye	: Doç. Dr. Murat LÜY	_____
Üye	: Doç. Dr. Bülent Gürsel EMİROĞLU	_____
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Nurettin GÖKŞENLİ	_____

...../...../.....

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Doktora derecesini onaylamıştır.

Prof. Dr. Recep ÇALIN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYANI

Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

(İmza)

Mehmet TÜMAY

(Tarih)

Bu doktora tez çalışmamı hayatımdaki her aşamada bana destek veren ve bugünlere gelmemde üzerimde çok emeği olan ve maddi manevi desteğini üzerimden hiç eksik etmeyen rahmetli sevgili annem Hadice TÜMAY'ın aziz hatırasına ithaf ederim.



ÖZET

AKILLI OTOMATİK MEYVE VE SEBZE KURUTUCU TASARIM VE GERÇEKLENMESİ

TÜMAY Mehmet

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi

Danışman: Doç. Dr. Halil Murat ÜNVER

Ağustos 2021, 71 sayfa

Yaş sebze ve meyveler yılın belli dönemlerinde olgunlaşarak tüketime hazır hale gelirler. Ancak üretilen yaş meyve ve sebzelerin yaklaşık üçte biri tüketim fazlası olmakta ve bozularak israf olma tehlikesi yaşamaktadır. Bu ihtiyaç fazlası taze sebze ve meyveyi farklı usullerle korumak ve ileriki zamanlarda kullanmak insanlığın önemli bir uğraşı olmuştur. Meyve ve sebzelerin olgunlaşma dönemlerinde kurutulmaları en yaygın saklama yöntemlerinden biridir. İlk zamanlarda güneşte kurutma yöntemi kullanılırken, teknolojinin gelişmesi ile birlikte bu soruna çözüm olarak meyve ve sebzelerin kuruma kinematiğini dikkate alan otomatik ve akıllı kurutma yöntemleri geliştirilmiştir. Hâlihazırda gıdaları ısıtarak kurutma, dondurarak kurutma ve mikrodalga teknikleri ile kurutma gibi pek çok farklı yaklaşıma yönelik ARGE faaliyetleri devam etmektedir. Isıtarak kurutma yöntemlerinde kurutulan nesnelerin ağırlığı ve/veya ortamdaki nem ya da her iki parametre birlikte kontrol edilmeye çalışılarak kurutma işlemi yönetilmektedir. Tez kapsamındaki çalışmada kurutma işlemini gerçekleştirmek için ısıtma yönteminin kullanılması tercih edilmiştir. Geliştirilen yöntem kapsamında ortamındaki nem kontrol edilerek sürecin gerçek zamanlı olarak yönetilebildiği akıllı bir kurutma fırını tasarlanmıştır. Geliştirilen sistemin akıllı olması kapsamında kurutulması planlanan ürünlere ilişkin kuruma modelleri oluşturulmuş ve ortamdaki nem bu modeller kullanılarak kontrol edilmiş ve kurutma süreci yönetilmiştir. Ayrıca bu sayede her gıda için toplam kurutma süresi de sağlıklı bir şekilde tahmin edilebilmiştir. Çalışma sırasında öncelikle kurutma fırınında

kurutulacak her bir ürün için kurutma deneyleri yapılarak ürünlerin kuruma aşamalarının içeren veriler elde edilmiştir. Kurutma deneyleriyle elde edilen bu veriler Matlab ortamında polinomial eğri uydurma yöntemi kullanarak işlenmiş ve kurutulmak istenen her bir ürün için kurutma modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan bu kurutma modelleri fırında bulunan Raspberry Pi işlemcisine yüklenerek ürün kurutma sürecinin gerçek zamanlı olarak bu işlemciyle yönetilmesi sağlanmıştır. Geliştirilen bu akıllı ve otomatik meyve sebze kurutma fırını çözüm yöntemiyle ürün kurutma süresi yönetildiği için enerji tasarrufu sağlanmış ve gıda israfının önüne geçilmeye çalışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Gıda kurutma, gıda kurutma kinetiği, Raspberry Pi ile gömülü fırın kontrol sistemi uygulaması, ikinci dereceden polinom çözümü.

ABSTRACT

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF SMART AUTOMATIC FRUIT AND VEGETABLE DRYER

TÜMAY Mehmet

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Computer Engineering, Ph. D. Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Halil Murat ÜNVER

August 2021, 71 pages

Fresh vegetables and fruits ripen at certain times of the year and become ready for consumption. However, approximately one third of the fresh fruits and vegetables produced are overconsumption and are in danger of being wasted by spoiling. Preserving these surplus fresh vegetables and fruits with different methods and using them in the future has been an important occupation of humanity. Drying fruits and vegetables during their ripening period is one of the most common storage methods. While the method of drying in the sun was used in the early days, with the development of technology, automatic and intelligent drying methods that take into account the drying kinematics of fruits and vegetables have been developed as a solution to this problem. Currently, R&D activities are continuing for many different approaches such as drying foods by heating, freeze-drying and drying with microwave techniques. In heating drying methods, the drying process is managed by trying to control the weight of the dried objects and/or the humidity in the environment or both parameters together. In the study within the scope of the thesis, it was preferred to use the heating method to perform the drying process. Within the scope of the developed method, an intelligent drying oven was designed in which the process can be managed in real time by controlling the humidity in its environment. Within the scope of the smartness of the developed system, drying models for the products planned to be dried were created and the humidity in the environment was controlled using these models. In addition, in this way, the total drying time for each food could be estimated in a healthy way. During the study, firstly, drying experiments were performed for each product to be dried in the drying oven, and data containing the drying stages of the products were

obtained. These data obtained by drying experiments were processed using the polynomial curve fitting method in Matlab environment and a drying model was created for each product to be dried. These drying models created were loaded on the Raspberry Pi processor in the oven, and the product drying process was managed in real-time with this processor. With this developed smart and automatic fruit and vegetable drying oven solution method, energy saving was achieved as the product drying time was managed and food wastage was tried to be prevented.

Keywords: Food drying, food drying kinetics, embedded oven control system implementation with Raspberry Pi, second-order polynomial solution



TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması esnasında hiçbir yardımcı esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Halil Murat ÜNVER'e, tez çalışmalarıml süresince bilimsel konularda daima yardımcımlı gördüğüm Sayın Doç. Dr. Murat LÜY'e ve Sayın Doç. Dr. Bülent Gürsel EMİROĞLU'na teşekkür ederim.

Tez sürecince anlayış ve sabır gösteren ve çalışmalarıml aksatmamam için sayısız fedakârlıkta bulunan ve her aşamada destek verip beni güçlendiren eşim S. Reyhan TÜMAY'a evlatlarıml Halit, Zeynep Asel, Fatma Erva ve Muhammed Selim'e teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
SİMGELER DİZİNİ	xi
KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	3
1.2. Tezin Organizasyonu.....	4
2. MATERYAL ve METOT	5
2.1. Kurutma.....	5
2.2. Meyve ve Sebzelerde Bulunan Su Formları.....	5
2.3. Kurutma İşlemini Kontrol Eden Unsurlar	6
2.4. Gıda Kurutma Türleri.....	6
2.5. Gıdaların Kurutulmasında Ele Alınması Gereken Konular.....	7
2.6. Kuruma Hızını Etkileyen Etkenler	8
2.6.1. Sıcaklık.....	9
2.6.2. Kurutma Havasının Hızı	9
2.6.3. Kurutulan Maddenin Yüzey Alanı	9
2.6.4. Kurutma Havasının Nemi	10
2.6.5. Ortam Basıncı.....	10
2.6.6. Nemlilik Ölçüsü	10
2.7. Denge Nemi.....	11
2.8. Kurutmanın Modellenmesi	11
2.9. Gıdalarda Kurutma Hızı	12
2.10. Kurutma Eğrisi.....	12
2.11. Modelleme	15
2.12. Polinom Modeli	15

2.13.	Veri Üretimi.....	20
2.14.	Model Geliştirme	31
2.15.	Kurutma Algoritması	32
2.16.	Donanım Sistem Tasarımı	43
2.16.1.	Raspberry Pi 3	43
2.16.2.	DHT 22	43
2.16.3.	Solid State Röle.....	44
2.16.4.	Sinyal Genişlik Modülasyonu	46
2.17.	Yazılım sistemi tasarımı: Sıcaklık kontrol programı	48
2.18.	Nem izleme: Nem değişimi izleme devresi	48
2.19.	Fırının Fiziksel Yapısı	49
3.	TARTIŞMA ve SONUÇ	50
	KAYNAKLAR	53
	EKLER.....	58
	ÖZGEÇMİŞ.....	71

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Ürün nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi [45].....	13
Şekil 2.2. Kurutma hızının kurutma süresi ile değişimi [45].	13
Şekil 2.3. Nem değişimi grafiği	14
Şekil 2.4. 1. dereceden eğri uydurma.....	16
Şekil 2.5. 2. dereceden eğri uydurma.....	17
Şekil 2.6. 3. dereceden eğri uydurma.....	17
Şekil 2.7. 5. dereceden eğri uydurma.....	18
Şekil 2.8. 7. dereceden eğri uydurma.....	18
Şekil 2.9. 9. dereceden eğri uydurma.....	19
Şekil 2.10. Çilek için 2. dereceden eğri uydurma	21
Şekil 2.11. Çilek için 3. dereceden eğri uydurma	21
Şekil 2.12. Elma için 2. dereceden eğri uydurma	22
Şekil 2.13. Elma için 3. dereceden eğri uydurma	22
Şekil 2.14. Kabak için 2. dereceden eğri uydurma	23
Şekil 2.15. Kabak için 3. dereceden eğri uydurma	23
Şekil 2.16. Kiwi için 2. dereceden eğri uydurma.....	24
Şekil 2.17. Kiwi için 3. dereceden eğri uydurma.....	24
Şekil 2.18. Patlıcan için 2. dereceden eğri uydurma.....	25
Şekil 2.19. Patlıcan için 3. dereceden eğri uydurma.....	25
Şekil 2.20. Kuru soğan için 2. dereceden eğri uydurma	26
Şekil 2.21. Kuru soğan için 3. dereceden eğri uydurma	26
Şekil 2.22. Trabzon hurması için 2. dereceden eğri uydurma	27
Şekil 2.23. Trabzon hurması için 3. dereceden eğri uydurma	27
Şekil 2.24. Armut için 2. dereceden eğri uydurma	28
Şekil 2.25. Armut için 3. dereceden eğri uydurma	28
Şekil 2.26. Havuç için 2. dereceden eğri uydurma	29
Şekil 2.27. Havuç için 3. dereceden eğri uydurma	29
Şekil 2.28. Portakal için 2. dereceden eğri uydurma	30
Şekil 2.29. Portakal için 3. dereceden eğri uydurma	30
Şekil 2.30. Akıllı otomatik meyve ve sebze kurutucu fırın algoritması	33
Şekil 2.31. Çilek kurutma öncesi	34
Şekil 2.32. Çilek kurutma sonrası	34
Şekil 2.33. Armut kurutma öncesi	35
Şekil 2.34. Armut kurutma sonrası	35
Şekil 2.35. Havuç kurutma öncesi	36
Şekil 2.36. Havuç kurutma sonrası	36
Şekil 2.37. Elma kurutma öncesi	37
Şekil 2.38. Elma kurutma sonrası	37
Şekil 2.39. Kabak kurutma öncesi	38

Şekil 2.40. Kabak kurutma sonrası	38
Şekil 2.41. Patlıcan kurutma öncesi.....	39
Şekil 2.42. Patlıcan kurutma sonrası.....	39
Şekil 2.43. Kuru soğan kurutma öncesi	40
Şekil 2.44. Kuru soğan kurutma sonrası	40
Şekil 2.45. Kiwi kurutma öncesi.....	41
Şekil 2.46. Kiwi kurutma sonrası.....	41
Şekil 2.47. Portakal kurutma öncesi	42
Şekil 2.48. Portakal kurutma sonrası	42
Şekil 2.49. Trabzon hurması kurutulup paketlenmiş	43
Şekil 2.50. DHT22 sıcaklık ve nem sensörü devresi	44
Şekil 2.51. SSR içyapısı.....	44
Şekil 2.52. PWM sayısal kontrolü	46
Şekil 2.53. Raspberry Pi 3 ile sıcaklık kontrolü devresi	47
Şekil 2.54. Nem değişimi takip devresi	49
Şekil 2.55. Akıllı otomatik kurutma fırını	49

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Gıda kurutmada kullanılan matematiksel modeller.....	12
Çizelge 2.2. Polinom modellerinin eğri uydurma performansları	19
Çizelge 2.3. 2. derece polinom modeli eğri uydurma performansı.....	31
Çizelge 2.4. 3. derece polinom modeli eğri uydurma performansı.....	31
Çizelge 2.5. Tahmini ürün kuruma süreleri (x_1, x_2)	32
Çizelge 2.6. DC girişli ve AC çıkışlı SSR'ler	45
Çizelge 3.1. İlgili çalışmalarla geliştirilen modelin karşılaştırılması	51



SİMGELER DİZİNİ

GHz	gigahertz
χ^2	kikare
kHz	kilohertz
Φ	Kurutma hızı
mm	milimetre
$^{\circ}\text{C}$	santigrat derece
Σ	Toplam fonksiyonu
NaCl	Tuz

KISALTMALAR DİZİNİ

AC	Alternatif Akım / Alternating current
ANO	Ayrılabilen nem oranı
R²	Belirleme Katsayısı
DC	Doğru Akım / Direct Current
kb	Kuru Baz
RMSE	Ortalama Karekök Hatası / Root Mean Square Error
PWM	Sinyal Genişlik Modülasyonu / Pulse Width Modulation
SSR	Solid State Röle / Solid State Relay
y_b	Yaş Baz

1. GİRİŞ

Yaş meyve ve sebzelerin yaklaşık üçte biri, eve gelinceye kadar muhafaza yöntemleri uygulanmadığı için üretim zincirinde bozulmaktadır [1]. Taze sebze ve meyvelerde bulunan mikroorganizmalar, ürünlerdeki su nedeniyle zamanla çoğalır. Bu çoğalan mikroorganizmalar tarafından üretilen enzimler, ürünün kimyasal bileşiminde değişikliklere neden olmakta ve ürünlerde bozulma ve çürümeye neden olmaktadır [2]. Meyve ve sebzelerin uzun süre bozulmadan saklanabilmesi için içlerindeki serbest suyun uzaklaştırılması ve kurutulması gerekmektedir. Gıdaların uygun yöntemlerle kurutulması raf ömürlerini uzatır. Yaş meyve ve sebzeleri kurutarak saklamak israfı önleyerek ekonomik fayda sağlar [3]. Kurutma, ısı ve nem transferinin aynı anda meydana geldiği karmaşık bir termal süreçtir.[4]

Literatürde taze sebze ve meyvelerin kurutulmasıyla ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Kullanılan tekniklere bakıldığında ilk defa kullanılan güneşte kurutma tekniği bilinen ilk yöntemlerden biridir. Günümüzde kurutma kinetiği dikkate alınarak çözümlerin üretildiği birçok teknik bulunmaktadır. Kurutulan ürünün ağırlığının ve kurutma hızının sürekli izlendiği kurutma işlemlerinin kinetiği dikkate alınarak yapılan kurutma çalışmaları geliştirilmiştir. Kurutma hızının istenilen seviyede yapılması ve kullanılan enerjinin optimize edilmesi kurutma işleminde iyileştirmeye açık alanlardır [5,6].

Kurutulan gıdalarda yeterli su bulamayan mikroorganizmalar büyüyüp çoğalamadıkları için gıdanın kimyasal bileşiminde istenmeyen değişikliklere neden olan enzimlerin faaliyetleri kısıtlanmış olur böylelikle de bozulma ve çürümenin önüne geçilir [7]. Gıdaların kurutulması, gıda muhafazası için iyi bilinen bir tekniktir. Sıcak havayla kurutma, gıdaları kurutmanın en eski yöntemlerinden biridir. Gıdalardaki bağlı su, ortamdaki bağıl nem, hava akış hızı ve sıcaklık, kurutmanın önemli bileşenleridir [8-10]. Meyve ve sebzeleri kurutmak için sıcak hava, mikrodalga, vakum, kızılötesi radyasyon, dondurma, güneş enerjisi, ısı pompası ve elektro-spreyle kurutma gibi farklı yöntemler kullanılır [11,12]. Güneş enerjisi ile geleneksel kurutma en ekonomik yöntemdir. Ancak bu yöntemde kurutma işlemi ile

ilgili hiçbir parametre kontrol edilemediği için kurutmada zaman kaybı ve kurutma yapılan üründe kalite kaybı olabilmektedir [13].

Konvektif kurutma yönteminde sıcak hava atmosferik basınç altında uygulanır. Bu yöntemle gıda ile hava arasında ısı ve kütle transferi gerçekleşir [14]. Bu ısı iletim tekniğine dayalı kurutma yöntemlerinde tepsi veya tünel kurutma sistemleri kullanılır. Kurutulacak gıda bir tepsiye konularak üzerinden sıcak hava geçirilir. Alternatif olarak, kurutulacak gıda sıcak hava içeren bir tünelden kaydırılır. Kurutma işlem sırasında ısı farkından dolayı sıcak havadan gıdaya akan ısı üründe bulunan fazla suyun buharlaşmasını sağlar. Gıdanın içindeki su buharlaşarak hava ile karışır ve gıda bu şekilde kurutulur [15,16].

Günümüzde kurutma sistemlerinin %85'i sıcak havayla kurutma yöntemini kullanmaktadır. Bu yöntem basit ve ucuz olmasına rağmen ürün kalitesi düşüktür. Kuru ürünlerin kalitesini artırmak için mikrodalgada vakumlu kurutmayı sıcak hava ile birleştirmeye çalışan hibrit yöntemler kullanılmaktadır [17,18].

Herhangi bir geri bildirim veya optimizasyon içermeyen bu geleneksel yöntemlerin yanı sıra, kurutma kinetiğine ilişkin verileri kullanan deneysel kurutma yöntemleri de bulunmaktadır. Bu yöntemlerde periyodik veya gerçek zamanlı kütle izleme veya kurutma fırınında su buharı değişimi kullanılarak kurutma eğrisi veya kurutma hızı eğrisi elde edilir ve kurutma işlemi bu eğrilere göre yönlendirilir [19-21]

Eğri uydurma aracı kullanılarak sıcak hava ile konvektif kurutmada nem içeriği değişim grafikleri elde edilebilir [22]. Bu arada, kurutma sürecini yönetmek için ürünlerin kurutma aşamaları modellenenabilir.

Kurutma işlemlerinin matematiksel modelleri, yeni veya mevcut kurutma sistemlerini tasarlamak ve hatta kurutma sürecini kontrol etmek için kullanılır. Kurutulmuş tarımsal malzemelerin simülasyon modellerine ve kurutma özelliklerine kurutma sistemlerinin tasarımında, yapımında ve işletilmesinde ihtiyaç duyulmaktadır. Pek çok araştırmacı, doğal ve zorlamalı konveksiyonlu kurutma sistemleri için simülasyon modelleri geliştirmiştir [23,24]

Kurutma süresi tahmininde, süreci kontrol etmek için kurutulmuş ürünün ağırlık değişimini parametre olarak kullanan bilgisayar bağlantılı sistemler de geliştirilmiştir [25].

1.1. Tezin Amacı

Bu tez çalışması, meyve ve sebzeleri kurutmak için akıllı bir kurutma fırını tasarlamayı amaçlamaktadır. Bu çalışma, mevcut çalışmalardan farklı olarak iki konuya odaklanmaktadır. İlki, nem ve sıcaklık sensörleri yardımıyla hâlihazırda yaygın olarak kullanılan sıcak havayla kurutmayı iyileştirmek için bilgisayar yerine daha küçük bir çözüm olarak Raspberry Pi 3 işlemcisinin kullanılması, ikinci olarak, yaş meyve ve sebzelerin kurutma kinematiğini dikkate alarak oluşturulan ve karmaşık aşamalar içeren hibrit yöntemlere alternatif olarak, ağırlık değişim takibi olmaksızın sadece ortamdaki nem verilerini kullanarak ürün kalitesini optimize etmeye çalışan bir kurutma yöntemi geliştirmektir.

Kurutma süresinin tahmini, bir kurutma tesisinde kurutma işleminin planlanması açısından önemlidir. Ayrıca kurutma sürecinde tüketilecek enerjinin planlanması ve kurutma sürecinin kontrolü ile ilgili gereksiz sistem müdahaleleri nedeniyle enerji kayıplarının önüne geçmek için kurutma süresinin olabildiğince doğru tahmin edilmesi gerekmektedir.

Çalışmada 10 farklı taze sebze ve meyvenin kurutma deneylerinin yapılması planlanmıştır. Kurutma kinetiği incelenirken, uygun maliyetli ve verimli bir yol olduğu için kurutma fırınındaki nem verilerinin toplanması tercih edilmiştir. Toplanan verilerle her ürün için Matlab ortamında bir kurutma modeli geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Sonuç olarak, deneysel çalışmalarla geliştirilecek kurutma modelleri, Raspberry Pi tabanlı gömülü kontrol devresi sayesinde kurutma fırınına uygulanarak kurutma süresinin gerçek zamanlı olarak tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu akıllı ve otomatik meyve sebze kurutma fırını çözüm yöntemiyle ürün kurutma süreci yönetildiği için enerji tasarrufu sağlanırken, gıda israfının da önüne geçilmesi sağlanmış olacaktır.

1.2. Tezin Organizasyonu

Bu tez üç bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın amacı ve ilgili çalışmalar "Giriş" bölümünde verilmiştir. Meyve sebzelerin kurutma yöntemleri, kuruma kinetiği, kurutma sürecinde karşılaşılan ve dikkat edilmesi gereken etkenler, kurutma eğrilerinin nasıl elde edildiği ve çalışmada geliştirilen kurutma fırını "Materyal ve Metot" bölümünde açıklanmıştır. Deneysel sonuçların incelenmesi ve geliştirilen sistemin artı ve eksilerinin değerlendirilmesi "Tartışma ve Sonuç" bölümünde verilmiştir.



2. MATERYAL ve METOT

2.1. Kurutma

Meyve ve sebze gibi gıdaları kurutmak eski zamanlardan bu yan kullanılan muhafaza yöntemlerinden biridir. Meyve ve sebzelerin muhafazasında kurutma yöntemini kullanmak bugün de önemini korumaktadır. Gıda maddelerine uygulanan kurutmanın birçok amacı vardır ve bunların belki de en belirgin olanı, uzun süreli depolamalarda ürünün bozulmasını önlemektir. Kurutulmuş gıdalarda yeterli su bulamayan mikroorganizmalar bozulmaya ve çürümeye neden olacak şekilde çoğalamazlar. Gıdaların kimyasal bileşiminde istenmeyen değişikliklere neden olan enzimlerin aktiviteleri kurutmaya kısıtlanmış olur. Kurutma işlemi uzun süreli depolamalarda ürünün bozulmadan kalmasını sağlar. Ürünün nemini yeterli seviyeye düşürmek mikrobik gelişime engel olur ve istenmeyen reaksiyonları sınırlamayı sağlar. Buna ek olarak ürünün nem miktarının düşürülmesiyle aroma ve besin değeri gibi kalite özelliklerinin muhafazası da sağlanmaktadır. Kurutma işleminin diğer bir amacı ürün hacmini azaltarak, gıda maddesinin önemli bileşenlerinin taşınmasında ve depolanmasında verimliliği artırmaktır.

2.2. Meyve ve Sebzelerde Bulunan Su Formları

Gıdalarda su aşağıdaki formlarda bulunmaktadır:

Bağlı su: Meyve ve sebze gibi gıdaların içerisinde diğer moleküllere bağlı olarak yer alan sudur. Bağlı suyun gıda içerisinde kısıtlı bir hareketi vardır ve bu su dondurulamaz. Kimyasal, biyokimyasal tepkimelerde ve mikroorganizma hareketlerinde bu su kullanılamamaktadır.

Serbest su: Gıda içerisindeki dokularda yığın olarak tutulan fazla miktardaki su serbest sudur. Serbest su, saf suyun buharlaşmasına benzer yapıya sahiptir. Çözücü özellik gösteren serbest su soğutulduğunda donabilir ve mikroorganizma hareketlerinde ve biyokimyasal tepkimelerde etkin rol üstlenmektedir.

Kapanlanmış su: Gıdalardaki makro moleküllerin arasında kalan sudur

Gıdalarda yer alan serbest su ve kapanlanmış su; dondurulabilir, kurutmaya gıdadan uzaklaştırılabilir. Su aktivitesi genel olarak bu sular tarafından kontrol edilir. Kurutma, gıdanın içerdiği serbest su ve kapanlanmış suyun buharlaştırılmasıyla veya donmuş haldeki suyun sıvı hale geçmeden buharlaştırılmasıyla gerçekleştirilir.

2.3. Kurutma İşlemini Kontrol Eden Unsurlar

Gıdalarda kurutma işlemini kontrol eden iki unsur vardır.

Isı transferi: Kurutulan gıda yüzeyinde yer alan suyun buharlaşmasını veya süblimasyonunu sağlayan ısının aktarımı ısı transferiyle sağlanır.

Kütle Transferi: Kurutulan gıda içerisinde yer alan su ya da su buharının hareketlenmesidir.

2.4. Gıda Kurutma Türleri

Kurutulacak gıdanın yapısına göre veya istenilen kurutma seviyesini elde edebilmek için birçok kurutma yöntemi geliştirilmiştir. Kurutma uygulamalarında en çok kullanılan temel kurutma yöntemleri aşağıda belirtilen şekillerde sıralanabilir.

2.4.1. Kontakt Kurutma

Kurutma için gerekli ısının, kurutulacak gıdaya ısıtılmış yüzeyden aktarılması yoluyla iletildiği yöntemdir. Kurutulacak ürüne aktarılan ısı, sıcak yüzeye temas eden yağ materyalin ısıl iletkenliğine ve sıcak yüzeyin ısı iletme katsayısına bağlıdır.

2.4.2. Taşınım (Konvektif) Kurutma

Kurutma ortamındaki sıcak havanın gıdaya taşınım yoluyla iletildiği yöntemdir. Kurutulan gıdanın üstünden veya içinden sıcak hava geçirilerek yapılır. Kontakt

kurutmaya göre ısıl iletkenliği daha azdır. Akışkan yataklı, püskürtmeli ve tünel kurutucular bu yöntemle çalışır.

2.4.3. Işınımla Kurutma

Kurutulacak gıdaya kızılötesi ışınlar kullanarak ısıtmanın gerçekleştirildiği bir yöntemdir. Kızılötesi ışınları emen gıda ısınmaktadır. İnce tabaka halinde yerleştirilmiş gıdaların kurutulmasında kullanılmaktadır.

2.4.4. Dielektrik Kurutma

Yüksek frekanslı 2 kHz- 100 kHz gibi bir alana yerleştirilen gıdanın her noktasının ısınmasıyla elde edilen pahalı bir kurutma yöntemidir.

2.4.5. Dondurarak Kurutma

Sıfırın altında 25, 30°C'ye kadar dondurulan gıdanın içerisindeki suyun süblimleşmesiyle yapılan kurutma yöntemidir. Bu kurutmada vakumlu bir ortamda donmuş suyun sıvı faza geçmeden buharlaşması sağlanmaktadır. Dondurarak kurutma iyi kalitede kurutulmuş gıda elde edilen bir kurutma yöntemidir.

2.4.6. Ozmotik Kurutma

Gıdanın yapısına göre meyvelerde şeker, sebzelerde tuz (NaCl) kullanılarak hazırlanan eriyiğin içine daldırılan ürün iç kısmında ozmotik basınç etkisiyle nem azalmasının gerçekleştiği kurutma yöntemidir [26].

2.5. Gıdaların Kurutulmasında Ele Alınması Gereken Konular

Meyve sebze kurutma fırınlarında ürüne gönderilen havanın hızı ya da ürüne aktarılan ısının artırılması; harcanan enerjinin artmasına neden olur. Bununla birlikte, ürün içeriğindeki suyun buharlaştırılması için verilen enerjinin az bir zamanda sisteme verilmesinden dolayı, kurutma süresi de kısalmış olur. Kurutmada kullanılan havanın

sıcaklığı ve nemi, kurutulan ürünün içeriğindeki nem, kurutma hızını belirler. Kurutulan ürüne gönderilen havanın neminin azaltılması da kurutma şiddetini arttırdığından ürünün kurutulma süresini azaltır. Bundan dolayı; kurutma süresinin kısaltılmasıyla kurutulan üründen erken faydalanma sağlanmış olur. Genelde katı bir maddeyi kuruturken; kurutulan maddeye ısı geçişi sağlayarak maddedeki suyu buharlaştırmak ve buhar halindeki suyun kütle geçişini sağlayarak kurutulan maddeden uzaklaştırmak şeklinde iki fiziksel olayla karşılaşılmaktadır. Meyve sebze kurutma işlemi ısı ve kütle transferlerinin birlikte gözlendiği karmaşık bir süreçtir. Kurutma işlemi esnasında kurutucu fırında dolaştırılan havadan kurutulan ürüne ısı aktarımı gerçekleşirken, kurutulan üründen kurutma havasına da kütle aktarımı gerçekleşmektedir. Kurutulan ürünün kalitesinin iyi olması için kurutma sürecinin kontrollü bir şekilde yapılması gerekmektedir [27].

Gıdaların kurutmasında ele alınması gereken en önemli konular şu şekilde sıralanabilir:

Kurutma Kinetiği: Püskürtmeli kurutma gibi dikkate değer istisnalar dışında kurutma nispeten yavaş bir işlemdir. Kurutma sistemlerinin en uygun tasarımı ve çalışması için kurutma oranını etkileyen faktörlerin bilinmesi önemlidir.

Ürün Kalitesi: Suyun giderilmesi çoğu kurutma işleminin tek sonucu değildir. Kurutma sırasında tat, aroma, görünüm ve besleyici değerde değişiklikler meydana gelebilir. Bu değişikliklerin kapsamı, işlem koşullarına bağlıdır.

Enerji Tüketimi: En yaygın kurutma süreçleri nispeten düşük verimlilikte çok miktarda enerji kullanır. Enerji bakımından, kurutma, buharlaştırma su giderme işlemleri savurgan işlemlerdir.

2.6. Kuruma Hızını Etkileyen Etkenler

Meyve sebze kuruma hızı, ısı ve kütle aktarımına etki eden etkenlerce kontrol edilir. Bu etkenlerin başlıcaları; kullanılan sıcaklık, ürün nemi ve kurutma fırınında akan havanın hızıdır. Kurutulacak ürünün yüzey alanını genişletecek şekilde yapılan yapısal

düzenlemeler ve kurutulan ürünün yapısındaki ürüne özgü nitelikler de kurutma hızını etkileyen etkenlerdendir. Kurutma hızını etkileyen etkenlerin başlıcaları şunlardır [28]:

2.6.1. Sıcaklık

Ürün kuruma hızını etkileyen en önemli etkenlerden biri sıcaklıktır. Kurutmada kullanılan sıcak hava ile kurutulan ürün sıcaklığı arasındaki fark arttıkça kuruma hızı başlangıçta artmaktadır. Bu aşamada ürün yüzeyindeki nem buharlaştığı için ürün sıcaklığı yükselmemektedir. Devamında ürün yüzeyine yakın nem azaldığında ürünün iç katmanlarındaki nemin dışarı çıkması aşamasında ürün sıcaklığı ile kullanılan sıcak havanın sıcaklığı arasındaki fark azalmaktadır ve kuruma hızı yavaşlamaktadır.

2.6.2. Kurutma Havaının Hızı

Kuruma hızına etkileyen diğer bir etken kurutma fırınında kullanılan havanın hızıdır. Kurutma havaının hızı arttıkça kuruma hızı da artmaktadır. Kurutulan ürünün dış yüzeyinde kurutma sırasında hareketsiz bir buhar tabakası oluşmaktadır. Eğer bu buhar tabakasının oluşumu önlenirse, yani bu tabaka, kurutma yüzeyinden uzaklaştırılırsa, üründeki suyun buharlaşması hızlanır. Kurutma havaının hızı, kurutulan ürünü dış yüzeyine yakın yer alan suyun hızla buharlaşmasını sağlarken sonraki aşamada iç tabakalarda yer alan suyun dışarı çıkmasında etki etmediğinden kuruma hızını etkilemez

2.6.3. Kurutulan Maddenin Yüzey Alanı

Özellikle meyve ve sebzelerde kurutulacak ürünün yüzey alanı ve kalınlığı önemlidir. Kurutulan ürünün yüzey alanı arattıkça kuruma hızı artmakta, ürünün kalınlığı arttıkça kuruma hızı azalmaktadır. Bundan dolayı kurutulacak ürünlerin yüzey alanının büyük olması ve ince kalınlıkta olması kurutmayı hızlandırmaktadır.

2.6.4. Kurutma Havaasının Nemi

Kurutma hızını etkileyen diğer bir etken kurutma havaasının nemidir. Kurutma fırınındaki havanın nemi az olduğunda kurutulan üründeki suyun buharlaşarak kütle transferinin gerçekleşmesi daha kolay olmaktadır. Kurutulan üründeki nemin kuru hava aktarımı çok olurken nemli havaya aktarımı daha az olmaktadır.

2.6.5. Ortam Basıncı

Saf su deniz seviyesinde, 760 mm cıva basıncında 100°C'de kaynarken, basınç azaldıkça kaynama sıcaklığı düşmektedir. Düşük basınçlı ortamlarda kurutulacak ürünler daha düşük sıcaklıklarda daha hızlı kuruyabilmektedir.

2.6.6. Nemlilik Ölçüsü

Kurutulan ürünlerin nem miktarı iki şekilde ifade edilmektedir. Bunlardan ilki Yaş Bazdır (yb). Genellikle ticari kurutma uygulamalarında kullanılan yb kurutulan üründeki suyun kütlesinin ürünün toplam kütlesine oranı olarak tanımlanmaktadır ve Denklem 2.1 kullanılarak hesaplanmaktadır. Nem miktarının ikinci gösterim şekliyse Kuru Bazdır (kb). Daha çok bilimsel kurutma çalışmalarda kullanılan kb kurutulan üründeki suyun kütlesinin ürünün kuru madde kütlesine oranı tanımlanmaktadır ve Denklem 2.2 kullanılarak hesaplanmaktadır [29].

$$M_{yb} = \% \frac{W_s}{W_s + W_k} \quad (2.1)$$

$$M_{kb} = \% \frac{W_s}{W_k} \quad (2.2)$$

Burada, W_s kurutulan üründeki suyun kütlesini, W_k ürünün kuru madde kütlesini göstermektedir.

2.7. Denge Nemi

Gıda maddeleri buldukları ortamda, ortam sıcaklığı ve ortamın bağıl nemine bağlı olarak, ortamdaki nem alırlar veya ortama nem verirler. Gıdada tutulan suyun buhar basıncı, gıdanın bulunduğu ortamın hava basıncından yüksekse gıda maddesi ortama nem verir. Gıdanın bulunduğu ortamın hava basıncı, gıdada tutulan suyun buhar basıncından yüksekse de gıda maddesi ortamdaki nem alır. Her iki taraftaki buhar basıncının eşit olması durumunda nem alma verme gerçekleşmez. Bu durumdaki gıda maddelerinin içerdiği nemi denge nemi denir. Gıda kurutma sürecinde denge nemi, kurutucu sıcaklığı ve kurutucuda kullanılan havanın bağıl nemine bağlı olarak kurutulmuş ürünün içerebileceği minimum su değerini gösterir [30].

2.8. Kurutmanın Modellenmesi

Gıdalarda, kurutma sürecini modellemek oldukça zordur. Gıdaların kurutma kinetiğini tam anlamıyla açıklayabilen bir model mevcut olmamakla birlikte bilim insanları tarafından yapılan teorik ve deneysel çalışmalar neticesinde çeşitli matematiksel modeller geliştirilmiştir. Bu modellerden yaygın olarak kullanılanları Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Bu kurutma modellerinde “ANO” olarak kullanılan terim, ayrılabilen nem oranını ifade eder ve Denklem 2.3’le gösterilir [31].

$$ANO = \frac{M}{M_0} \quad (2.3)$$

Burada, M kurutulmuş gıdanın belirli bir t anındaki nem içeriğini, M_0 kurutulmuş gıdanın ilk nem içeriğini göstermektedir.

Çizelge 2.1 Gıda kurutmada kullanılan matematiksel modeller

Model	Model Adı	Kaynak
$ANO = \exp(-kt)$	Newton	[32]
$ANO = \exp(-kt^n)$	Page	[33]
$ANO = \exp[-(kt)^n]$	Geliştirilmiş Page I	[34]
$ANO = \exp[-(kt)^n]$	Geliştirilmiş Page II	[35]
$ANO = a \exp(-kt)$	Henderson ve Pabis	[36]
$ANO = a \exp(-kt) + c$	Logaritmik	[37]
$ANO = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t)$	İki terimli	[38]
$ANO = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	İki terimli exponansiyel	[39]
$ANO = 1 + at + bt^2$	Wang ve Sing	[40]
$ANO = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$	Difüzyon yaklaşım	[41]
$ANO = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$	Verma ve ark.	[42]
$ANO = a \exp(-kt) + b \exp(-gt) + c \exp(-ht)$	Geliştirilmiş Henderson ve Pabis	[43]
$ANO = a \exp(-kt^n) + bt$	Midilli ve ark.	[23]

2.9. Gıdalarda Kurutma Hızı

Kurutma hızı kurutma fırınının üretim kapasitesini belirlediği için kurutma uygulamalarında önemlidir. Kurutma hızı (Φ) birim zamanda, birim kuru maddenin kütlesinden uzaklaştırılan suyun kütlesidir ve Denklem 2.4’le gösterilir.

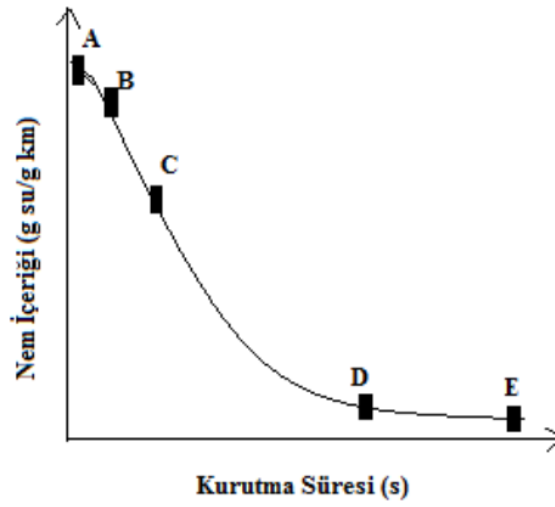
$$\Phi = - \frac{dW}{Mdt} \quad (2.4)$$

Burada, W gıda içerisindeki suyun kütlesini, M gıdanın kuru maddesinin kütlesini göstermektedir.

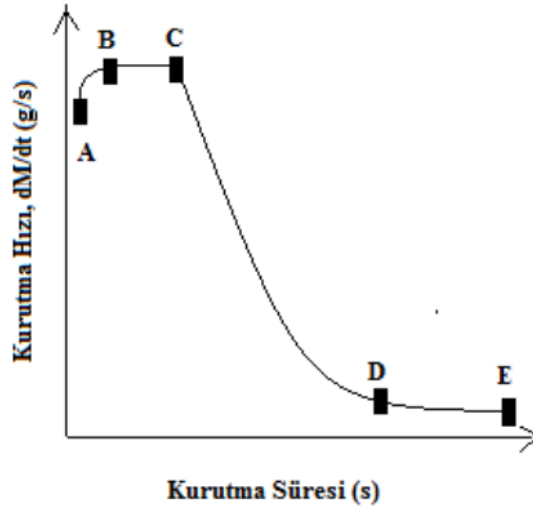
2.10. Kurutma Eğrisi

Kurutma işlemi sırasında kurutulan gıda maddelerinin nemi kuruma süresince azalmakta, bir noktadan sonra durağan hal almaktadır. Kurutulan bu gıda maddelerinin nem değişimini gösteren grafik Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Kurutma işlemi sırasında kurutulan gıda maddelerinin kuruma hızı başlangıçta hızlı seyrederken ilerleyen

zamanlarda yavaşlamaktadır. Kurutulan bu gıda maddelerinin kurutma hızı değişimini gösteren grafik Şekil 2.2’de gösterilmiştir [44].



Şekil 2.1. Ürün nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi [45].



Şekil 2.2. Kurutma hızının kurutma süresi ile değişimi [45].

Şekil 2.1 ve Şekil 2.2’de gösterilen grafiklerde A-B arasında kalan kısım 1. bölge olarak adlandırılır ve artan hız aşamasını gösterir. Bu aşamada kurutulan üründe hızlı bir kuruma yani ürün neminde hızlı bir azalma gözlenir. Kurutulan ürün sıcaklığının kurutma fırınındaki kurutma havasının sıcaklığına ulaştığı aşamadır. Bu olay çok kısa

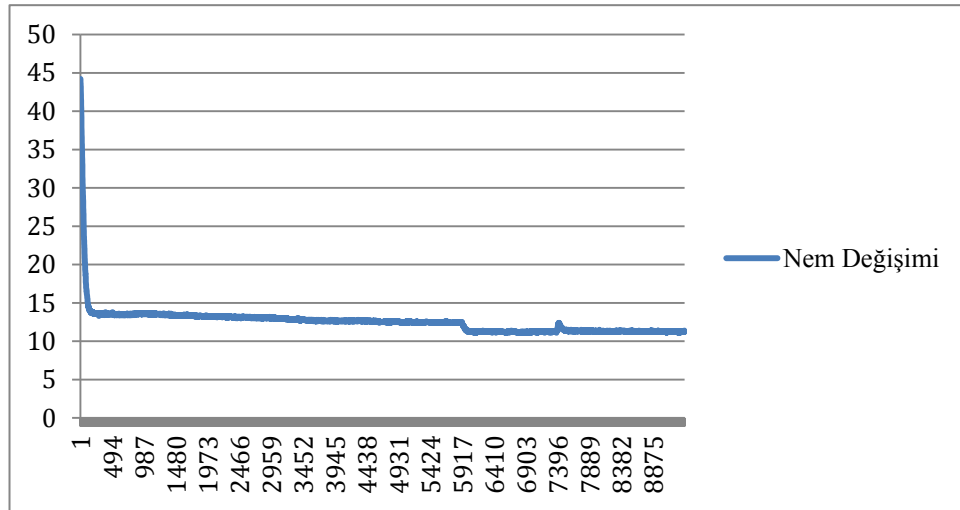
sürede gerçekleştiği için kurutma hız hesaplamalarında bu aşama kullanılmamaktadır [46].

B-C arasında kalan kısım 2. bölge olarak adlandırılır ve sabit hız aşamasını göstermektedir. Bu aşamada kurutma hızı sabit seyrederek. Sabit hız aşamasında kurutulan ürün ıslaktır. Kurutulan ürünün iç tabakalarından dış yüzeyine su akışı gerçekleşen bu aşama çok kısa bir sürede gerçekleştiğinden kurutma hız hesaplamalarında kullanılmamaktadır [47].

C-D arasında kalan kısım 3. bölge olarak adlandırılır ve azalan hız aşamasını gösterir. Azalan hız aşamasında ürünün kurumaya başladığı düşünülür. Kuruma hızının azaldığı bu aşamada kurutulan ürünün dış yüzeyinde kuruluklar oluşmaya başlar [48].

D-E arasında kalan kısım 4. bölge olarak adlandırılır ve ikinci azalan hız aşamasını gösterir. Kurutmanın bittiği aşamadır. Kurutmaya devam edilirse kurutulan ürün gıda özelliğini yitirmektedir [46].

Şekil 2.3'te kiwi kurutmasının nem değişim grafiği verilmiştir. Grafikte de görüldüğü gibi 1. ve 2. bölge çok hızlı gerçekleşmekte 3. ve 4. bölgede grafik durağan seyretmektedir.



Şekil 2.3. Nem değişimi grafiği

Şekil 2.3'te kurutma nem değişimi 1. ve 2. bölgelerin hızlı bir şekilde gerçekleştiği ve 3. bölge kuruma aşamasının azalan bir hızda gerçekleştiği görülmektedir.

2.11. Modelleme

Bu tez çalışmasında, kurutma işleminde gıdaların kurutma kinetiğini kullanan akıllı bir yöntem geliştirilmiştir. Yöntem geliştirilirken kurutma kinetiğine ilişkin kurutma ortamındaki nem verilerinin kullanılması planlanmıştır. Bu veriler kullanılarak, her gıda türü için kurutma eğrileri oluşturulmuştur. Kurutma işlemi sırasında bu eğrileri kullanarak, kurutma işlemi gerçek zamanlı olarak yönetilir. Bu sayede istenilen nem oranında kurutma yapılabilen ve bu oran elde edilirken kurutma işleminin toplam süresi hesaplanarak fırının çalışması ve böylelikle enerji kullanımı optimize edilmektedir.

Gıda kurutmada deneysel verilere en uygun model geliştirilirken, kurumuş malzemenin kütlesinin sürekli ölçümü yerine ortamdaki nem kullanılmıştır. Endüstriyel ortamlarda daha kolay çözüm sağlamak için nem verilerinin kullanılması tercih edilmiştir. Piyasada endüstriyel ortamlarda nemin izlenmesi için geliştirilmiş hassas sensörler bulunmaktadır.

2.12. Polinom Modeli

Deneysel çalışmalardan toplanan veriler nokta değerlerdir. Veriler arasında sürekli bir fonksiyon tanımı yoktur. Bu tür durumlarda, veriler $(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$ nokta çiftleri olarak alınır. Bu verileri üretebilecek sürekli bir fonksiyon ($j = 1, \dots, N$ için $f(x_j) = y_j$) tanımlanabiliyorsa, kurutma işleminin kinetiği modellenenir. Bu fonksiyonun elde edilmesi literatürde eğri uydurma problemi olarak tanımlanmaktadır [49]. Bu çalışmada elde edilmeye çalışılan eğri uydurma probleminde Matlab yazılım aracı kullanılmıştır. Karmaşık olmayan verileri modellemede yeterli olan, hesaplama kolaylığı sağlayan ve kullanımının basit olması nedeniyle eğri uydurmada en sık kullanılan deneysel modellerden biri olan polinom modeli tercih edilmiştir. Polinom, modeline ait matematiksel ifade Denklem 2.5'de gösterilmiştir.

$$y = \sum_{i=1}^{n+1} p_i x^{n+1-i}, 1 \leq n \leq N \quad (2.5)$$

Burada n polinom derecesini, p_i katsayıları ifade etmektedir.

Eğri uydurma performansını değerlendirmek için kullanılan belirlilik katsayısı (R^2), ki-kare (χ^2) ve karekök ortalama hataya (RMSE) ait matematiksel ifadeler ise Denklem 2.6, Denklem 2.7 Denklem 2.8’te sunulmuştur [50].

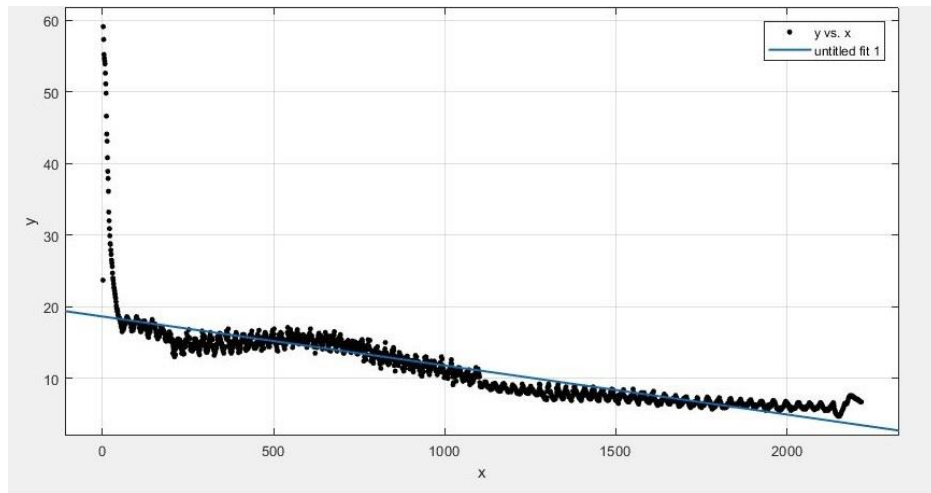
$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - \underline{y})^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \underline{y})^2} \quad (2.6)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (2.7)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - y_i)^2}{N - n} \quad (2.8)$$

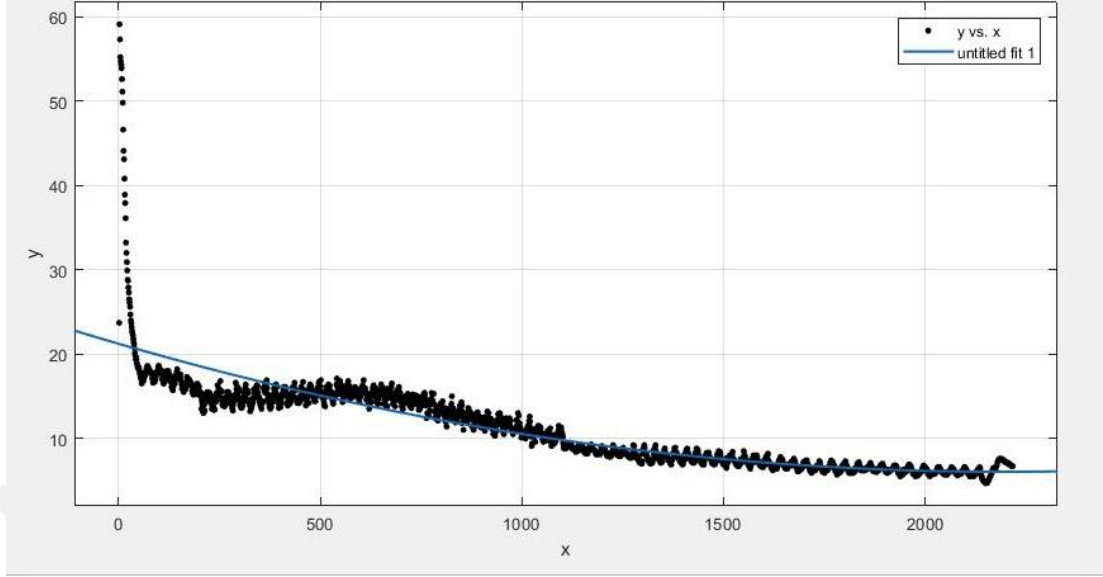
Burada, N deneysel veri sayısını, n polinomdaki katsayı sayısını, y_i tahmini değeri, y_i deneysel değeri ifade etmektedir.

Şekil 2.4, Şekil 2.5, Şekil 2.6, Şekil 2.7, Şekil 2.8 ve Şekil 2.9’da sırasıyla birinci, ikinci, üçüncü, beşinci, yedinci ve dokuzuncu dereceden Matlab eğri uydurma grafikleri verilmiştir. Bu grafiklerin eğri uydurma yoluyla elde edilen denklemleri Denklem 2.9, Denklem 2.10, Denklem 2.11, Denklem 2.12, Denklem 2.13 ve Denklem 2.14’te verilmiştir. Bu grafiklerin polinom modellerinin eğri uydurma performansları Çizelge 2.2’de verilmiştir. Matlab eğri uydurma kodları için Bkz. EK 1.



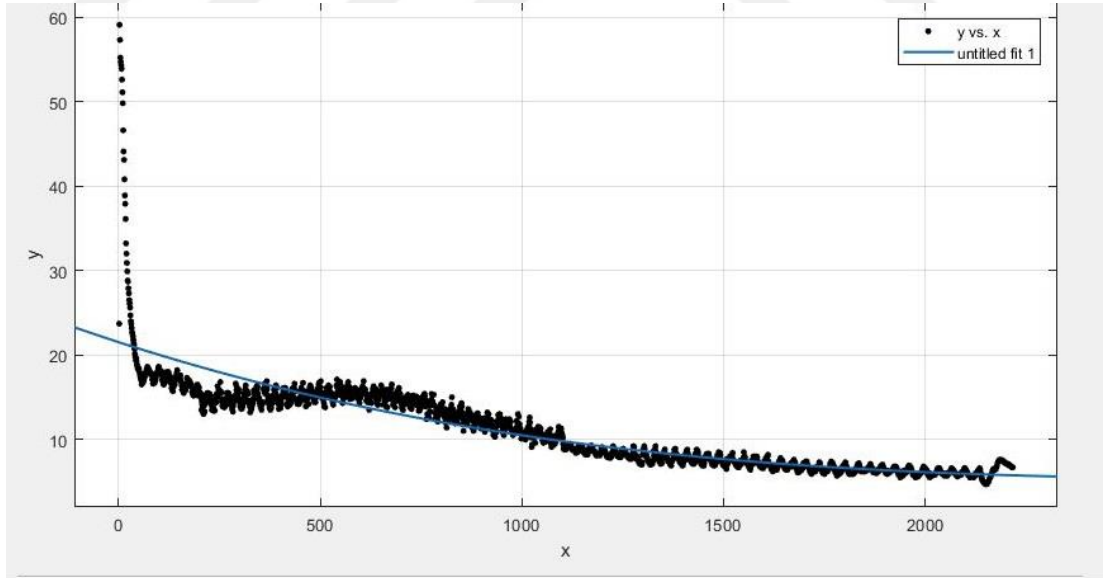
Şekil 2.4. 1. dereceden eğri uydurma

$$f(x) = -4,38x + 11,04 \quad (2.9)$$



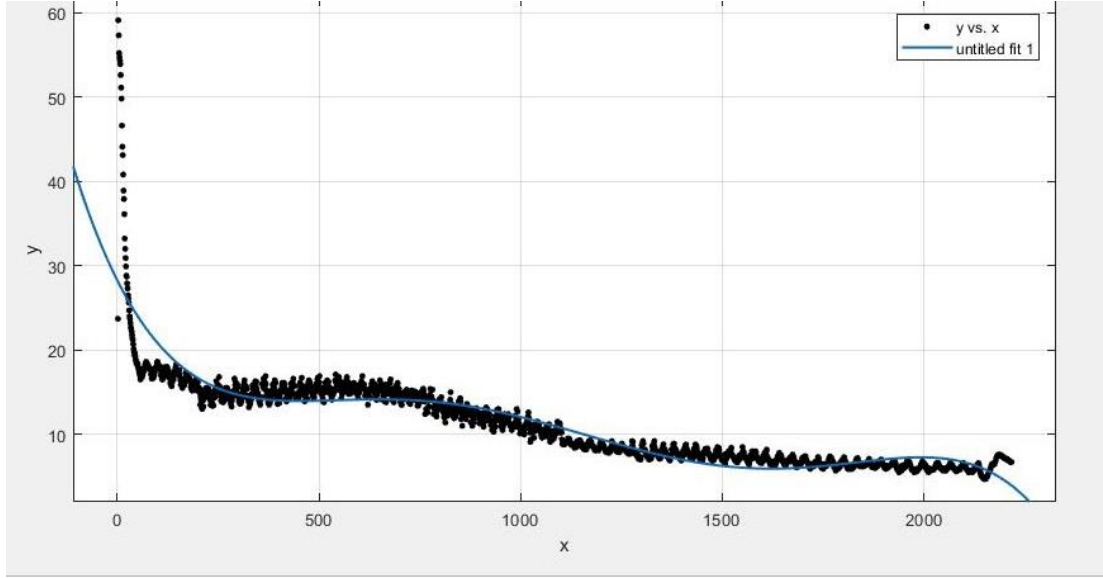
Şekil 2.5. 2. dereceden eğri uydurma

$$f(x) = 1,295x^2 - 4,38x + 9,743 \quad (2.10)$$



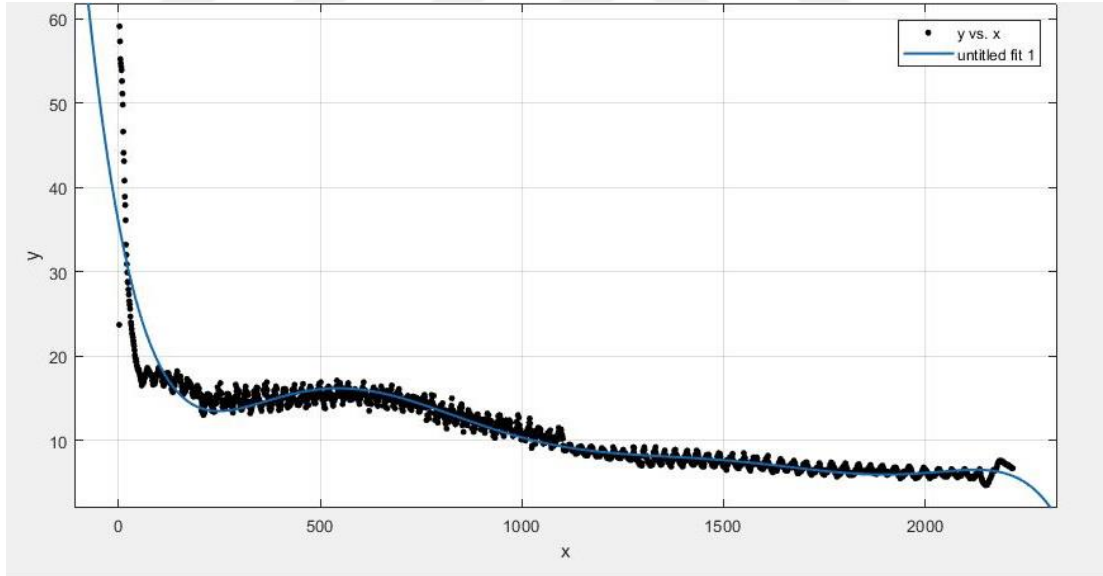
Şekil 2.6. 3. dereceden eğri uydurma

$$f(x) = -0,1412x^3 + 1,295x^2 - 4,126x + 9,743 \quad (2.11)$$



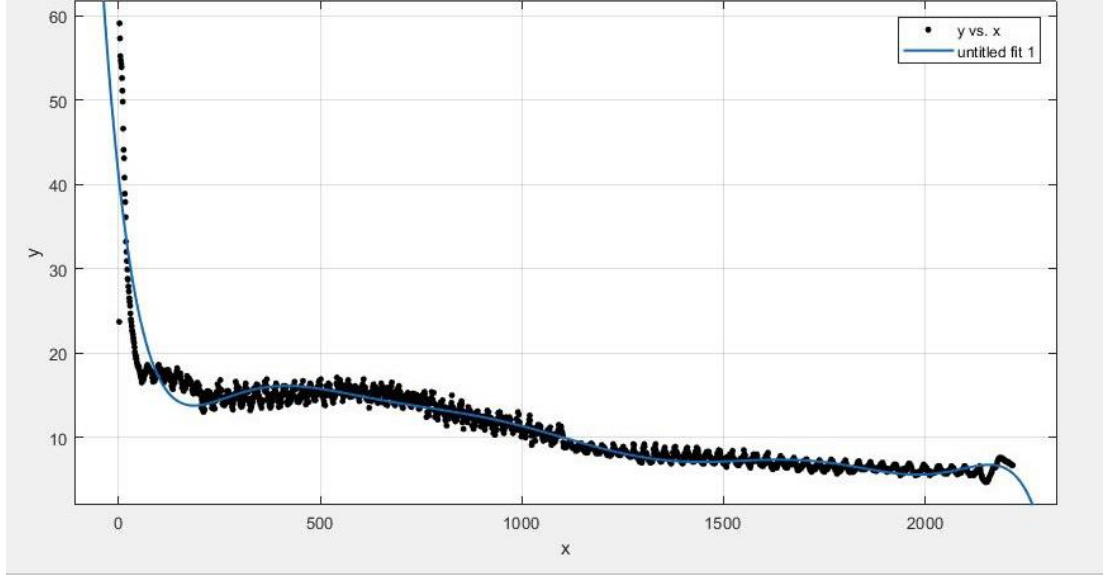
Şekil 2.7. 5. dereceden eğri uydurma

$$f(x) = -2,147x^5 + 1,174x^4 + 7,012x^3 - 1723x^2 - 8,723x + 10,65 \quad (2.12)$$



Şekil 2.8. 7. dereceden eğri uydurma

$$f(x) = -1,59x^7 + 2,477x^6 + 5,557x^5 - 8,953x^4 - 3,488x^3 + 8,4x^2 - 5,224x + 9,202 \quad (2.13)$$



Şekil 2.9. 9. dereceden eğri uydurma

$$\begin{aligned}
 f(x) = & -1,739x^9 + 1,563x^8 + 9,449x^7 - 6,27x^6 \\
 & - 17,62x^5 + 6,179x^4 + 14,33x^3 \\
 & + 0,1498x^2 - 8,867x + 9,89
 \end{aligned}
 \tag{2.14}$$

Çizelge 2.2. Polinom modellerinin eğri uydurma performansları

Model	R ²	RMSE
Birinci dereceden eğri uydurma	0,6723	3,059
İkinci dereceden eğri uydurma	0,7194	2,831
Üçüncü dereceden eğri uydurma	0,7198	2,83
Beşinci dereceden eğri uydurma	0,7999	2,392
Yedinci dereceden eğri uydurma	0,8755	1,888
Dokuzuncu dereceden eğri uydurma	0,9007	1,687

Modelde nem verilerini kullanırken, tahmini standart hata verileri, gerçek ortamda çalışırken sistemin sapmasını izlemek için kullanılmaktadır, RMSE tahmin ile gerçek gözlem arasındaki farkın ortalama kareköküdür ve hatanın ortalama boyutunu ölçer. Ortalamadan önce hataların karesi alındığından, küçük bir hata büyür ve dolayısıyla hataya duyarlılık artar.

Ayrıca model çıktısı ile gerçek veriler arasındaki uyumu belirlemek için R^2 değerleri kullanılmıştır. R^2 için hesaplanan değer 0,85 ile 1 arasında olduğunda, modelin verilere uygun olduğu kabul edilir. R^2 ne kadar yüksekse (1'e yakın), geliştirilen modelin

verilerimiz için o kadar uygun olduğu söylenebilir. İyi bir eğri uydurma çalışmasında bu değer 1'e yaklaşması istenir [51]. Modelin ideal durumunda, bu verilerin yaklaşık değerlerinin RMSE için sıfıra yakın ve R^2 için bire yakın olması beklenir [52].

Meyve sebze kurutma işleminin birinci ve ikinci aşamalarında çok hızlı nem değişimleri gözlenmektedir. Üçüncü aşamadaysa nem değişimi hızlı gerçekleşmemektedir. Kurutma grafiği oluştururken ilk iki aşamayı göz ardı edip üçüncü aşamadan itibaren elde edilen kurutma değerleri kullanılarak oluşturulan grafiklerle eğri uydurma yapılırsa polinom model performansında daha iyi sonuç elde edileceği düşünülmüştür.

Söz konusu verilerin modellenmesi aşamasında ise, Matlab ortamında daha iyi performans gösterdikleri için 2. ve 3. dereceden polinom modelleri esas alınmıştır. İkinci derece kurutma fonksiyonu Denklem 2.15'te verilmiştir. Üçüncü derece kurutma fonksiyonu Denklem 2.16'da verilmiştir.

$$f(x) = p_1x^2 + p_2x + p_3 \quad (2.15)$$

Burada, x ; 2. derece denklem fonksiyon değeri, p_1 ; x^2 'nin katsayısı, p_2 ; x 'in katsayısı ve p_3 sabit katsayıdır.

$$f(x) = p_1x^3 + p_2x^2 + p_3x + p_4 \quad (2.16)$$

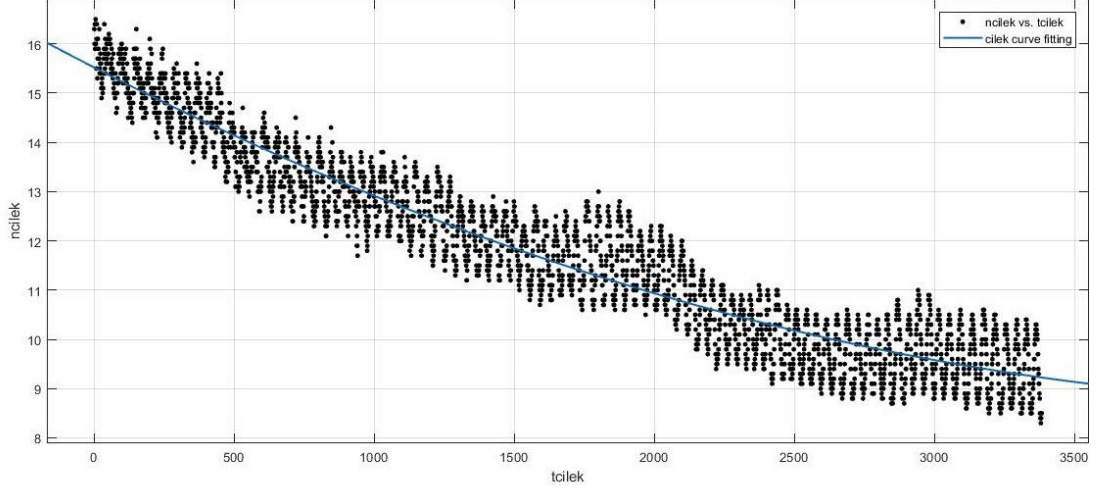
Burada, x ; 3. derece denklem fonksiyon değeri, p_1 ; x^3 'ün katsayısı, p_2 ; x^2 'nin katsayısı, p_3 ; x 'in katsayısı ve p_4 sabit katsayıdır.

2.13. Veri Üretimi

Bu işlem için kullanılan veriler, mevcut bir ısıtma fırınında 10 farklı taze sebze ve meyve için periyodik ısıtma ve nem ölçümleri ile üretilmiştir. Veriler ölçülürken aşağıdaki sistematik takip edilmiştir:

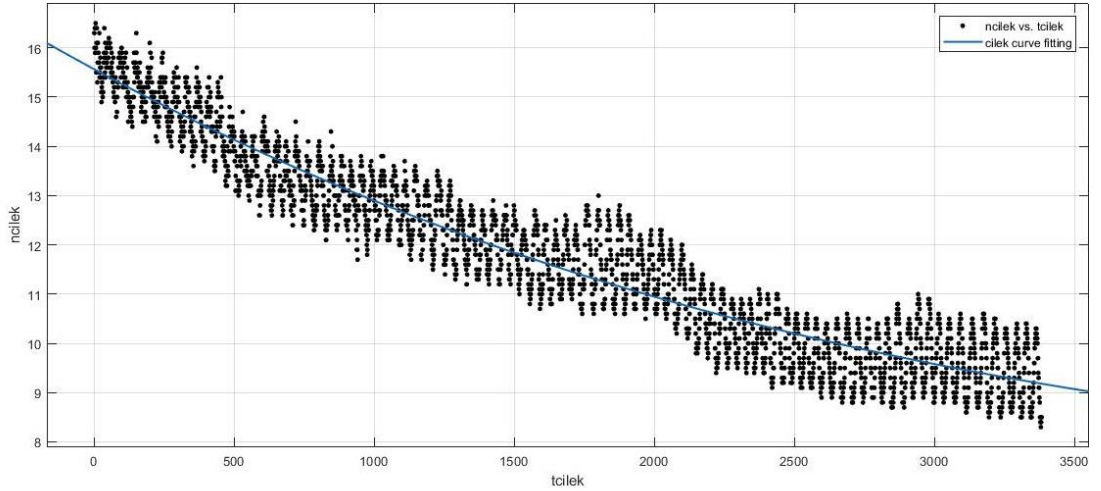
- 10 farklı taze sebze ve meyve için 500 gr ürün 5 mm kalınlığında doğranarak hazırlanmıştır.

- Kıyılmış ürünler, tasarlanan fırında 80 °C sıcaklıkta ısıtılmıştır.
- Isıtma devam ederken fırının üç farklı kısmındaki nem üç farklı nem sensörüyle ölçülmüştür.
- Aynı deney, her ürün için 20 kez tekrarlanarak veri üretimi yapılmıştır.



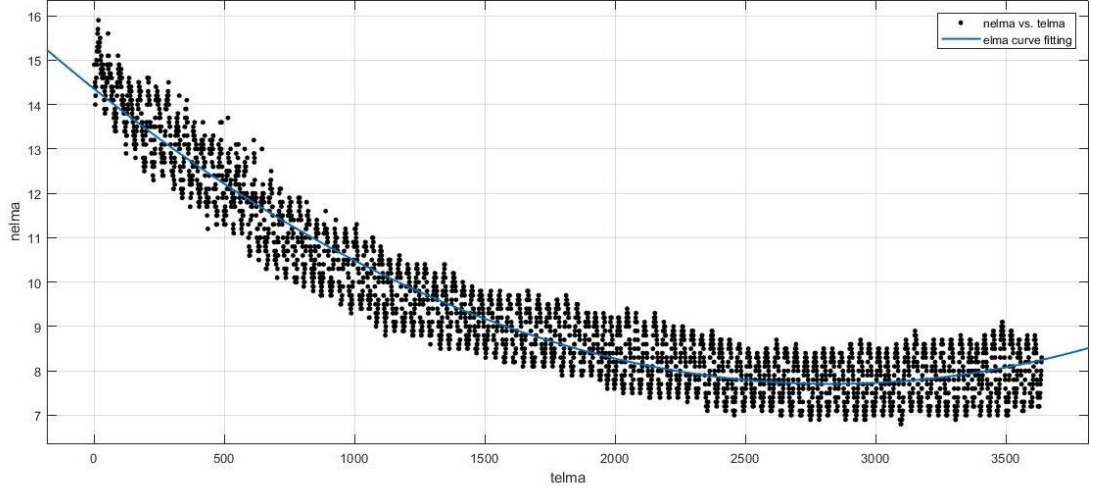
Şekil 2.10. Çilek için 2. dereceden eğri uydurma

$$f(x) = 3,123E - 07 x^2 + -0,00292 x + 15,52 \quad (2.17)$$



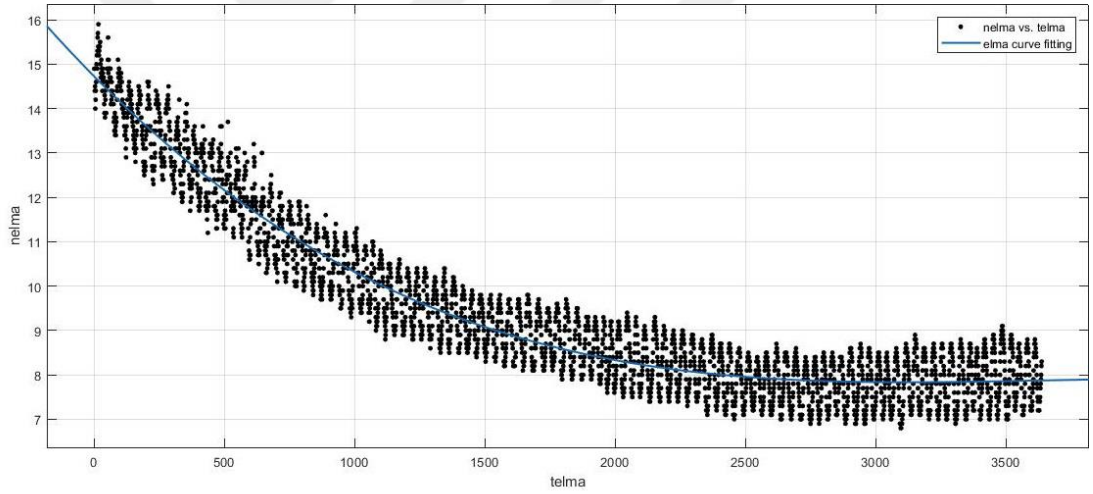
Şekil 2.11. Çilek için 3. dereceden eğri uydurma

$$f(x) = -0,02165 x^3 + 0,298 x^2 - 1,778 x + 11,48 \quad (2.18)$$



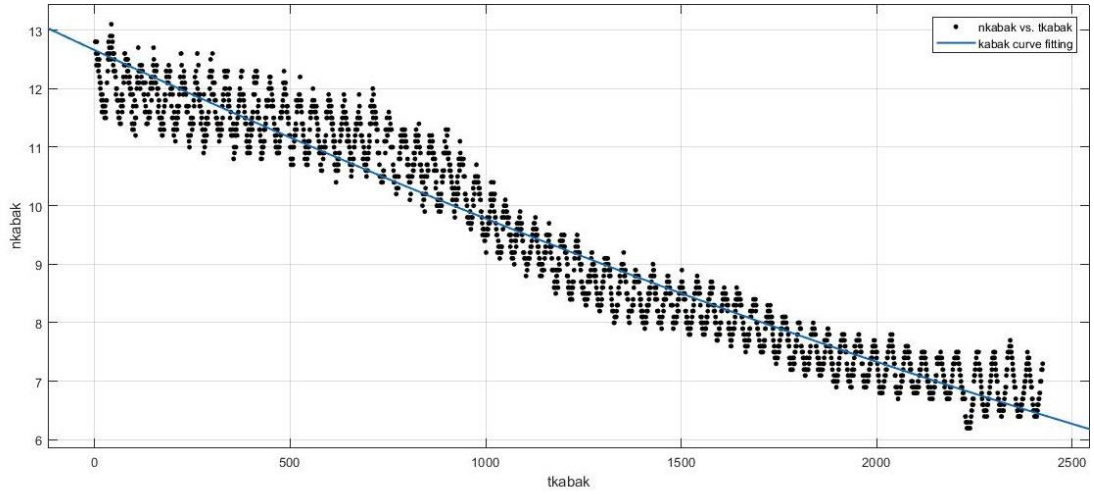
Şekil 2.12. Elma için 2. dereceden eğri uydurma

$$f(x) = 8,30E - 07 x^2 + -0,0047 x + 14,36 \quad (2.19)$$



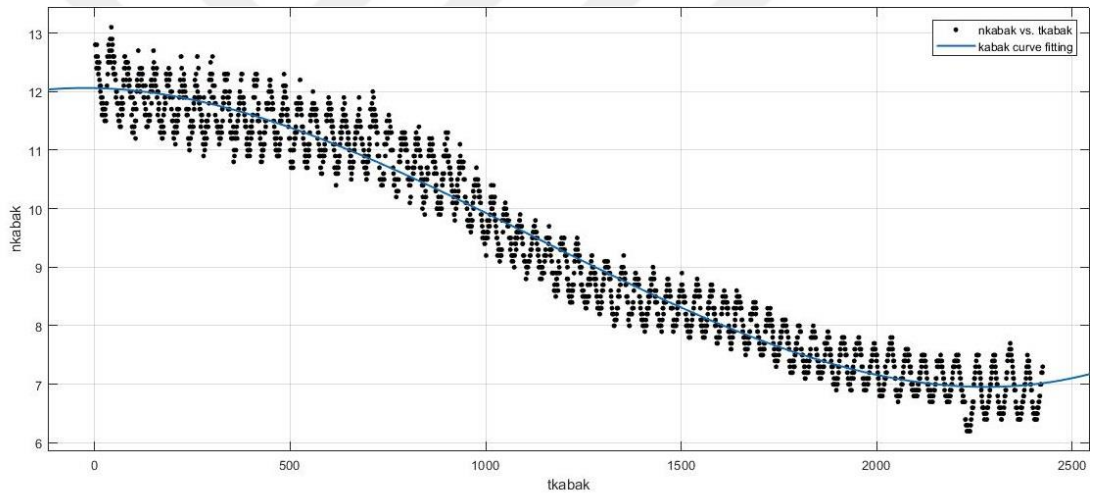
Şekil 2.13. Elma için 3. dereceden eğri uydurma

$$f(x) = -0,1794 x^3 + 0,9156 x^2 - 1,44 x + 8,555 \quad (2.20)$$



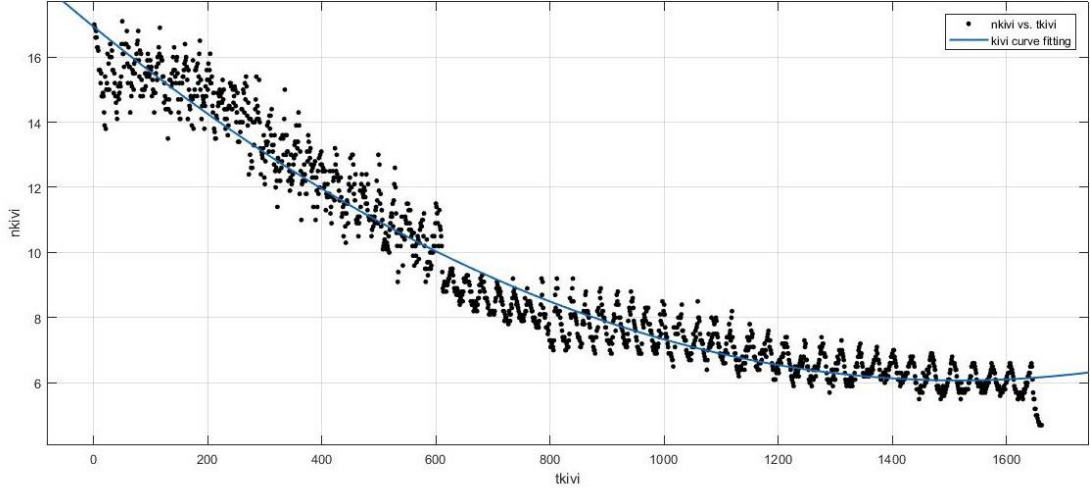
Şekil 2.14. Kabak için 2. dereceden eğri uydurma

$$f(x) = 2,15E - 07 x^2 + -0,00309 x + 12,66 \quad (2.21)$$



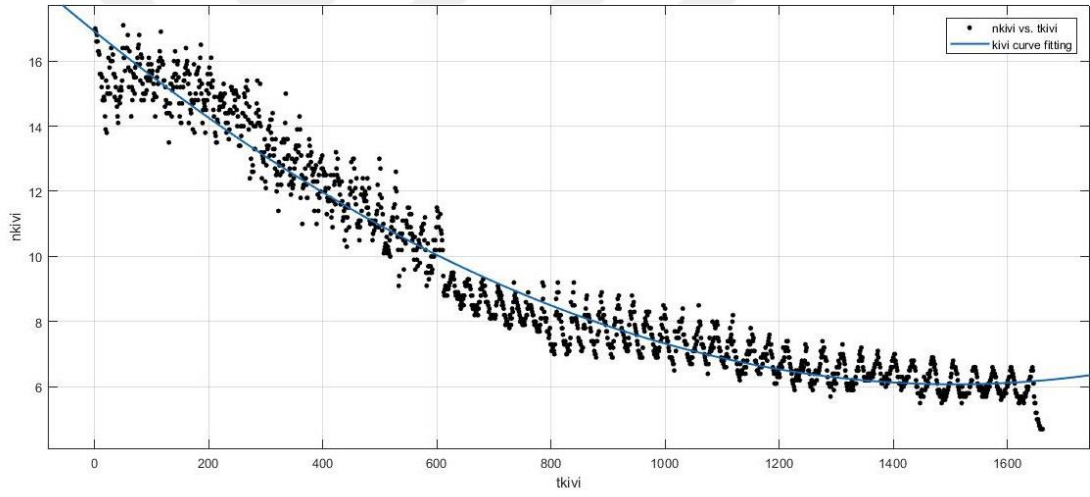
Şekil 2.15. Kabak için 3. dereceden eğri uydurma

$$f(x) = 0,2861 x^3 + 10,58 x^2 - 2,314 x + 9,223 \quad (2.22)$$



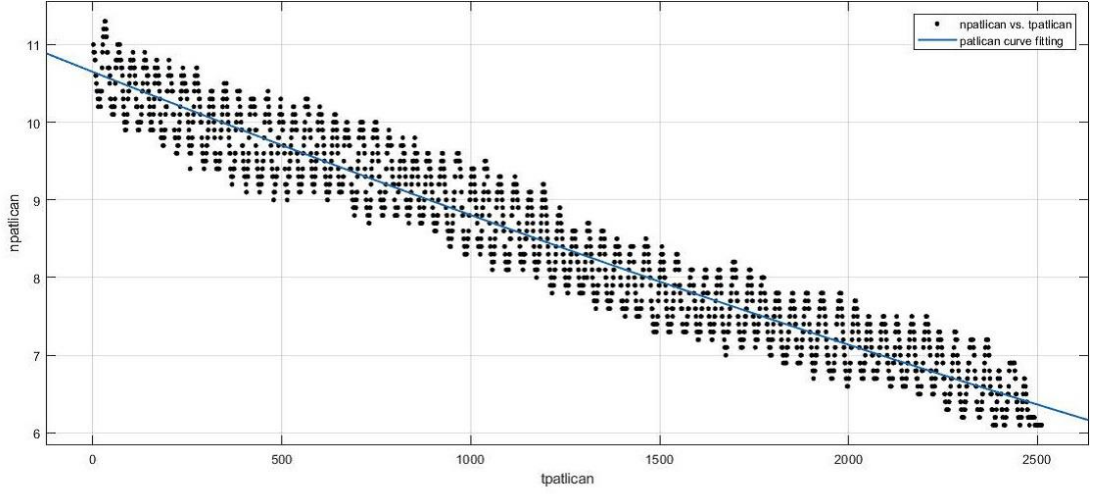
Şekil 2.16. Kiwi için 2. dereceden eğri uydurma

$$f(x) = 47,2E - 07 x^2 + -0,01432 x + 16,93 \quad (2.23)$$



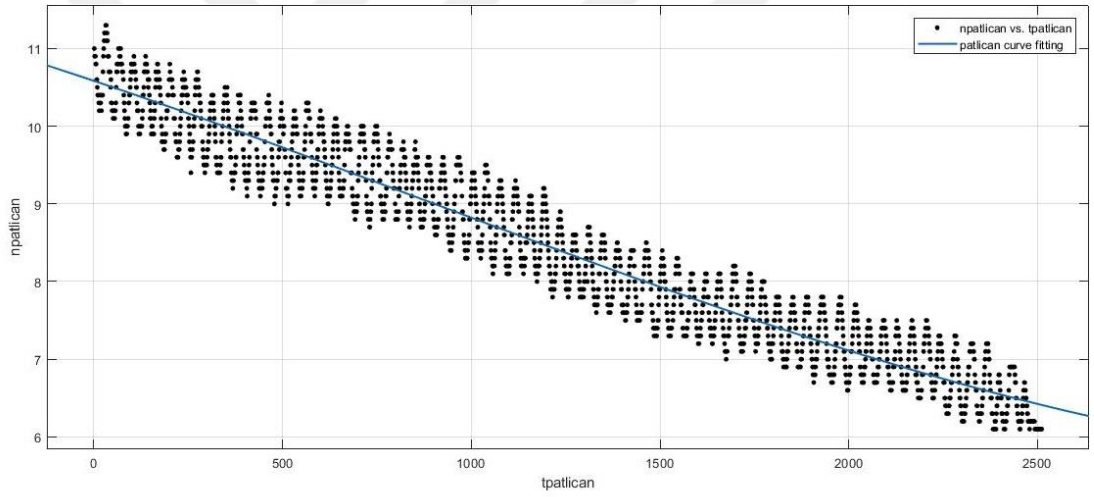
Şekil 2.17. Kiwi için 3. dereceden eğri uydurma

$$f(x) = 9,872E - 11 x^3 + 4,473E - 06 x^2 - 0,01415 x + 16,91 \quad (2.24)$$



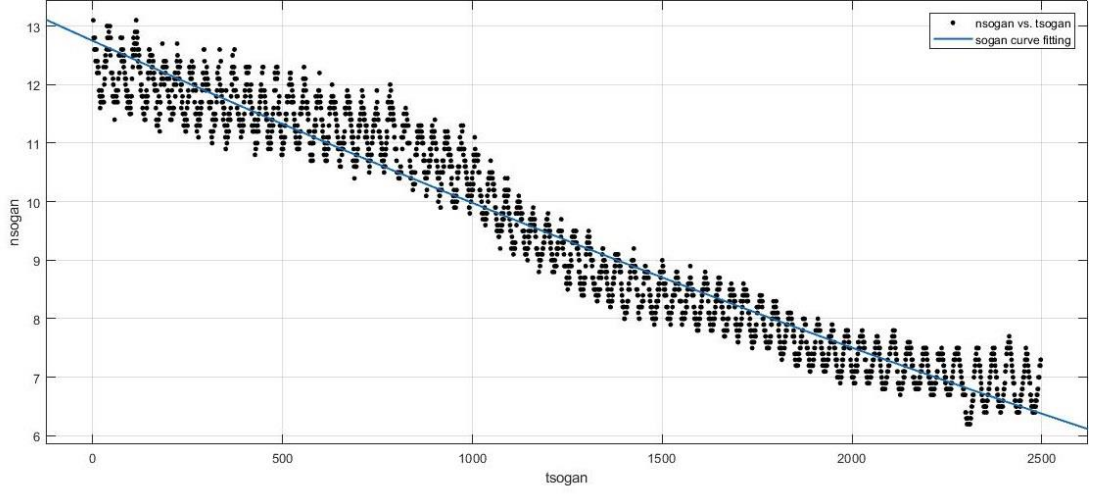
Şekil 2.18. Patlıcan için 2. dereceden eğri uydurma

$$f(x) = 8,652E - 08 x^2 + -0,00193 x + 10,65 \quad (2.25)$$



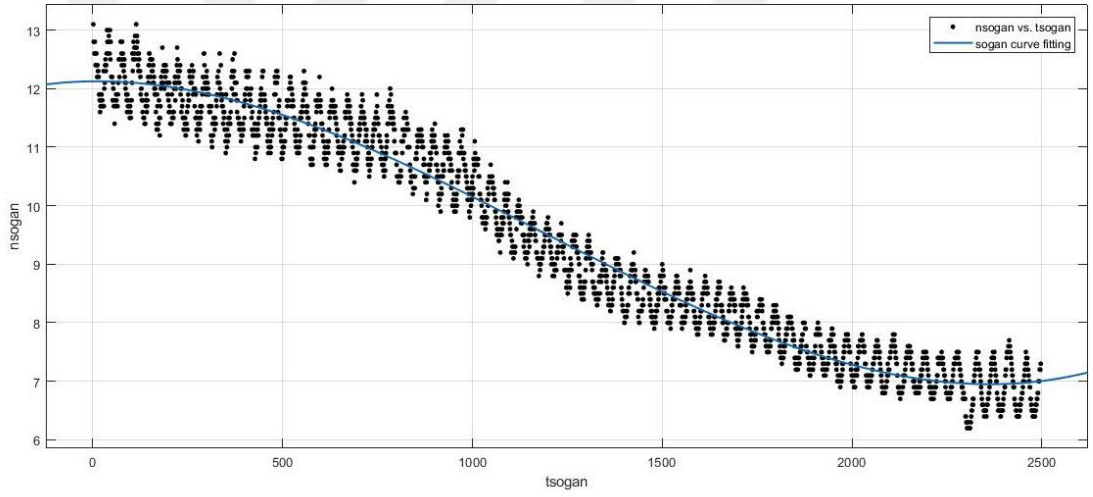
Şekil 2.19. Patlıcan için 3. dereceden eğri uydurma

$$f(x) = 0,03028 x^3 + 0,04548 x^2 - 1,296 x + 8,361 \quad (2.26)$$



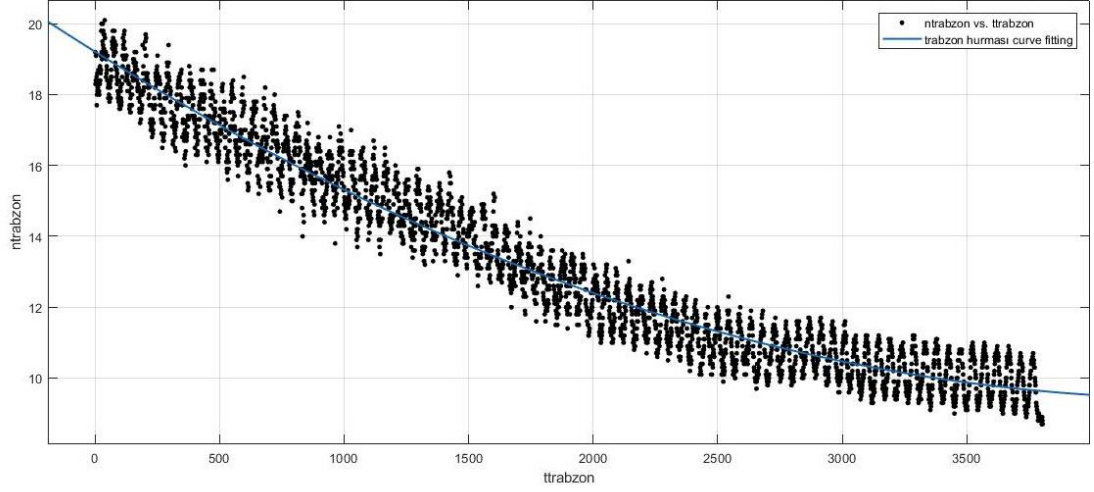
Şekil 2.20. Kuru soğan için 2. dereceden eğri uydurma

$$f(x) = 1,468E - 07 x^2 + -0,00291 x + 12,75 \quad (2.27)$$



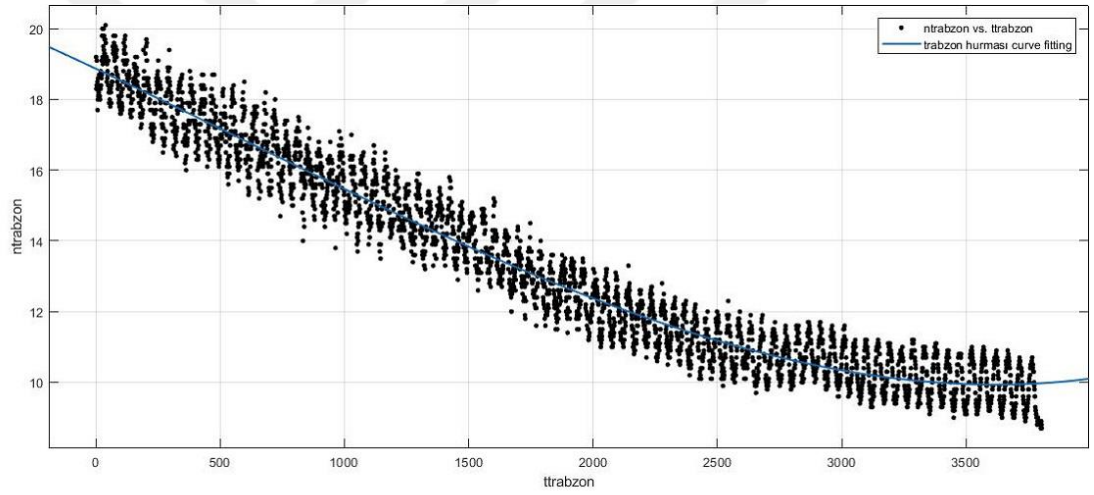
Şekil 2.21. Kuru soğan için 3. dereceden eğri uydurma

$$f(x) = 0,02985 x^3 + 0,07629 x^2 - 2,374 x + 9,336 \quad (2.28)$$



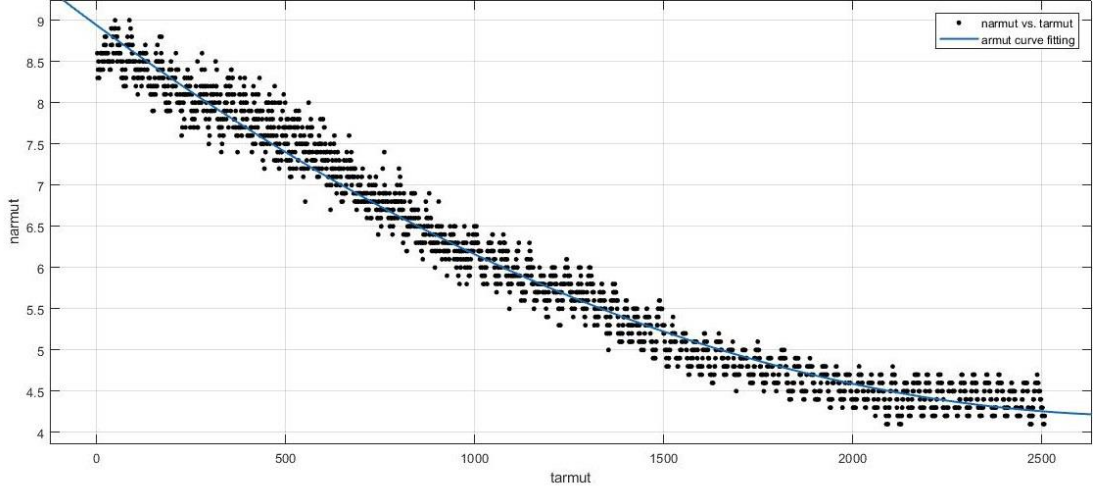
Şekil 2.22. Trabzon hurması için 2. dereceden eğri uydurma

$$f(x) = 4,916E - 07 x^2 + -0,00439 x + 19,21 \quad (2.29)$$



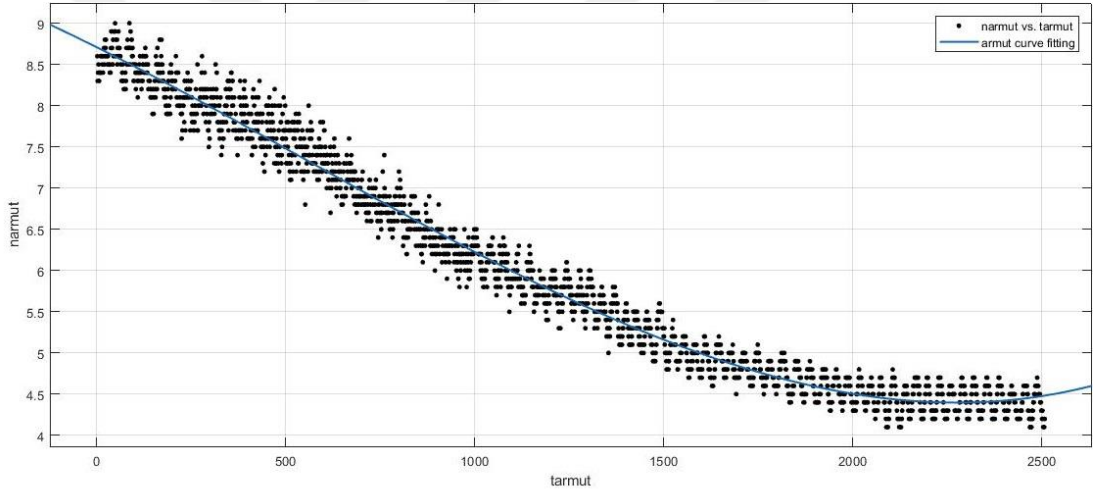
Şekil 2.23. Trabzon hurması için 3. dereceden eğri uydurma

$$f(x) = 0,1647 x^3 + 0,593 x^2 - 3,062 x + 12,64 \quad (2.30)$$



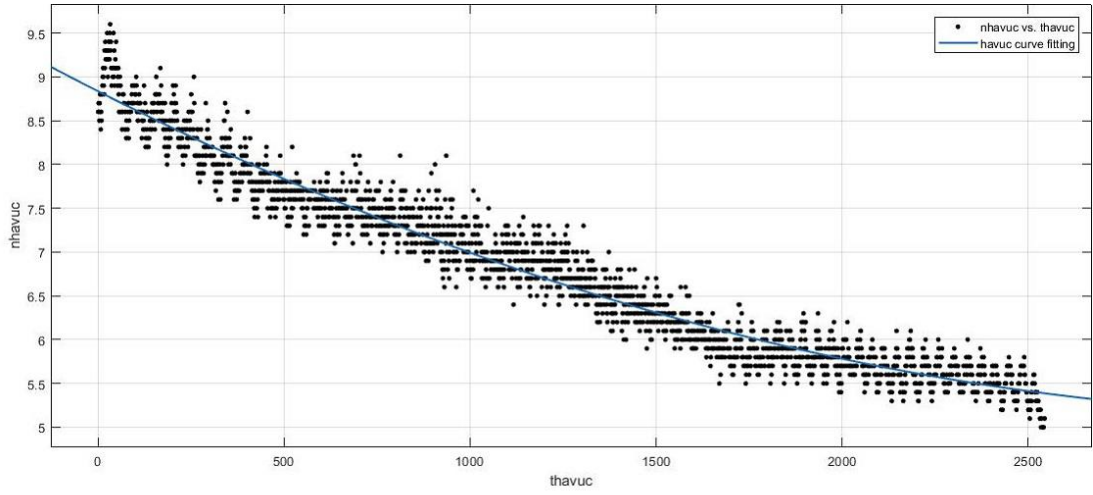
Şekil 2.24. Armut için 2. dereceden eğri uydurma

$$f(x) = 6,038E - 07 x^2 + -0,003382 x + 8,937 \quad (2.31)$$



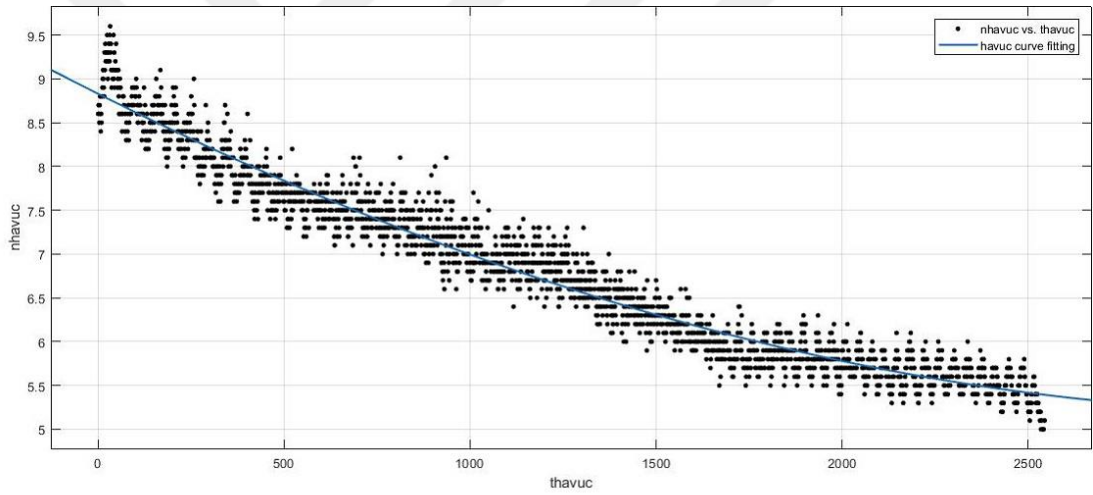
Şekil 2.25. Armut için 3. dereceden eğri uydurma

$$f(x) = 0,1102 x^3 + 0,3164 x^2 - 1,55 x + 5,645 \quad (2.32)$$



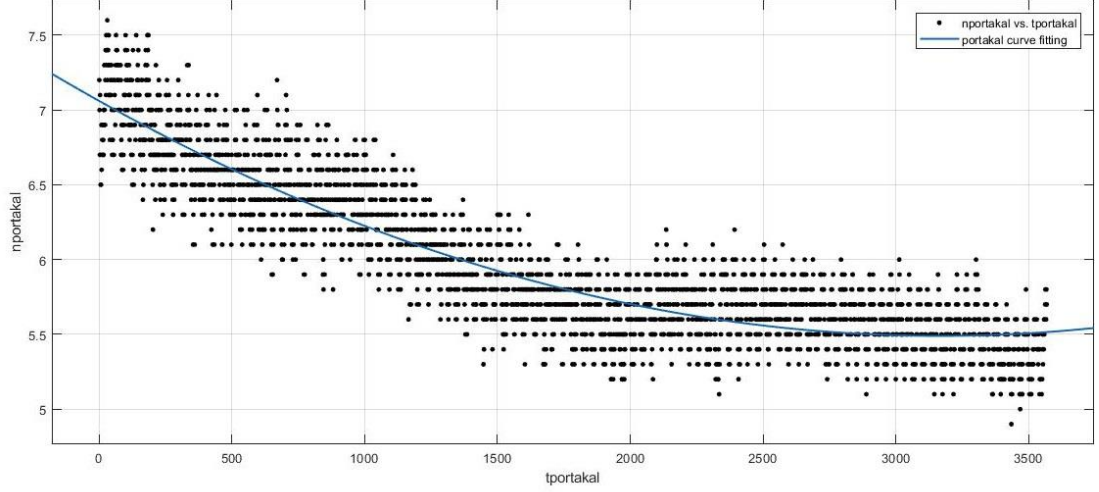
Şekil 2.26. Havuç için 2. dereceden eğri uydurma

$$f(x) = 6,038E - 07 x^2 + -0,003382 x + 8,937 \quad (2.33)$$



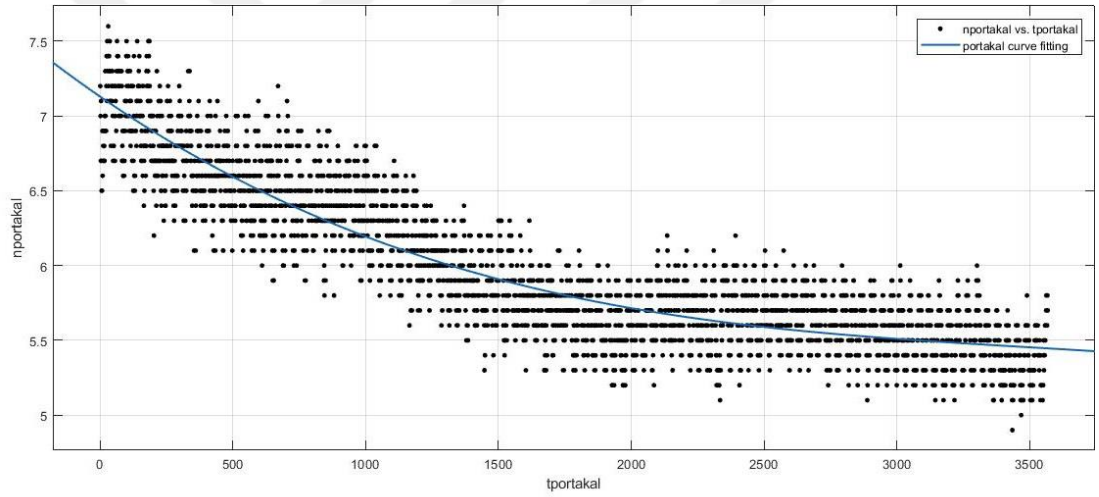
Şekil 2.27. Havuç için 3. dereceden eğri uydurma

$$f(x) = 0,002842 x^3 + 0,1703 x^2 - 1,001 x + 6,601 \quad (2.34)$$



Şekil 2.28. Portakal için 2. dereceden eğri uydurma

$$f(x) = 1,569E - 07 x^2 + -0,000993 x + 7,061 \quad (2.35)$$



Şekil 2.29. Portakal için 3. dereceden eğri uydurma

$$f(x) = -0,03318 x^3 + 0,1664 x^2 - 0,3864 x + 5,789 \quad (2.36)$$

Eğri uydurma yöntemiyle elde edilen bu 2. dereceden ve 3. dereceden polinom modellerinin hata bakımından uyumlulukları Çizelge 2.3 ve Çizelge 2.4'te verilmiştir. Çizelgelerde de görüldüğü gibi uyumluluk açısından modeller arasında büyük bir fark bulunmamaktadır. Bundan dolayı sonraki aşamada kurutma modellemesi yapılırken 2. dereceden polinom modelleri üzerinden hesaplamalara devam edilmiştir.

Çizelge 2.3. 2. derece polinom modeli eğri uydurma performansı.

Ürün	R ²	RMSE
Çilek	0,9056	0,5932
Elma	0,9159	0,5893
Kabak	0,9428	0,4438
Kiwi	0,9597	0,6666
Patlıcan	0,9192	0,3684
Kuru Soğan	0,9434	0,4505
Trabzon Hurması	0,9511	0,6386
Armut	0,9771	0,2114
Havuç	0,9552	0,2183
Portakal	0,817	0,2226

Çizelge 2.4. 3. derece polinom modeli eğri uydurma performansı.

Ürün	R ²	RMSE
Çilek	0,9057	0,5931
Elma	0,9207	0,5723
Kabak	0,9575	0,3827
Kiwi	0,9597	0,6667
Patlıcan	0,9195	0,3677
Kuru Soğan	0,9587	0,3847
Trabzon Hurması	0,9531	0,6254
Armut	0,981	0,1929
Havuç	0,9552	0,2183
Portakal	0,8195	0,2211

2.14. Model Geliştirme

Tasarlanan fırın kullanılarak yapılan kurutma çalışmasında 10 farklı ürün için toplanan veriler kullanılarak Matlab ortamında 2. derece polinom fonksiyonları ve polinom katsayıları bulunmuştur. $f(x) = p_1 x^2 + p_2 x + p_3$ biçimindeki fonksiyonlar istenilen ürün kuruluk seviyesinde ürün elde etmek için 2. derece fonksiyon olarak kullanılmıştır. Örneğin %5.5 seviyesinde kuruluk elde etmek için fonksiyon 5.5'e eşitlenmiş ($f(x) = p_1 x^2 + p_2 x + p_3 = 5.5$) ve 2. derece fonksiyon köklerini bulma işlemi yapılmıştır. 2. derece fonksiyonların kök değerlerini bulmak için Denklem 2.37 kullanılmıştır. Bulunan bu köklerden küçük olanı tahmini kuruma süresidir. Çizelge 2.5'te kurutması yapılan 10 ürün için kök değerleri yani tahmini kuruma süreleri (x_1 , x_2) verilmiştir.

$$x_{1,2} = \frac{-p_2 \pm \sqrt{p_2^2 - 4p_1p_3}}{2p_1} \quad (2.37)$$

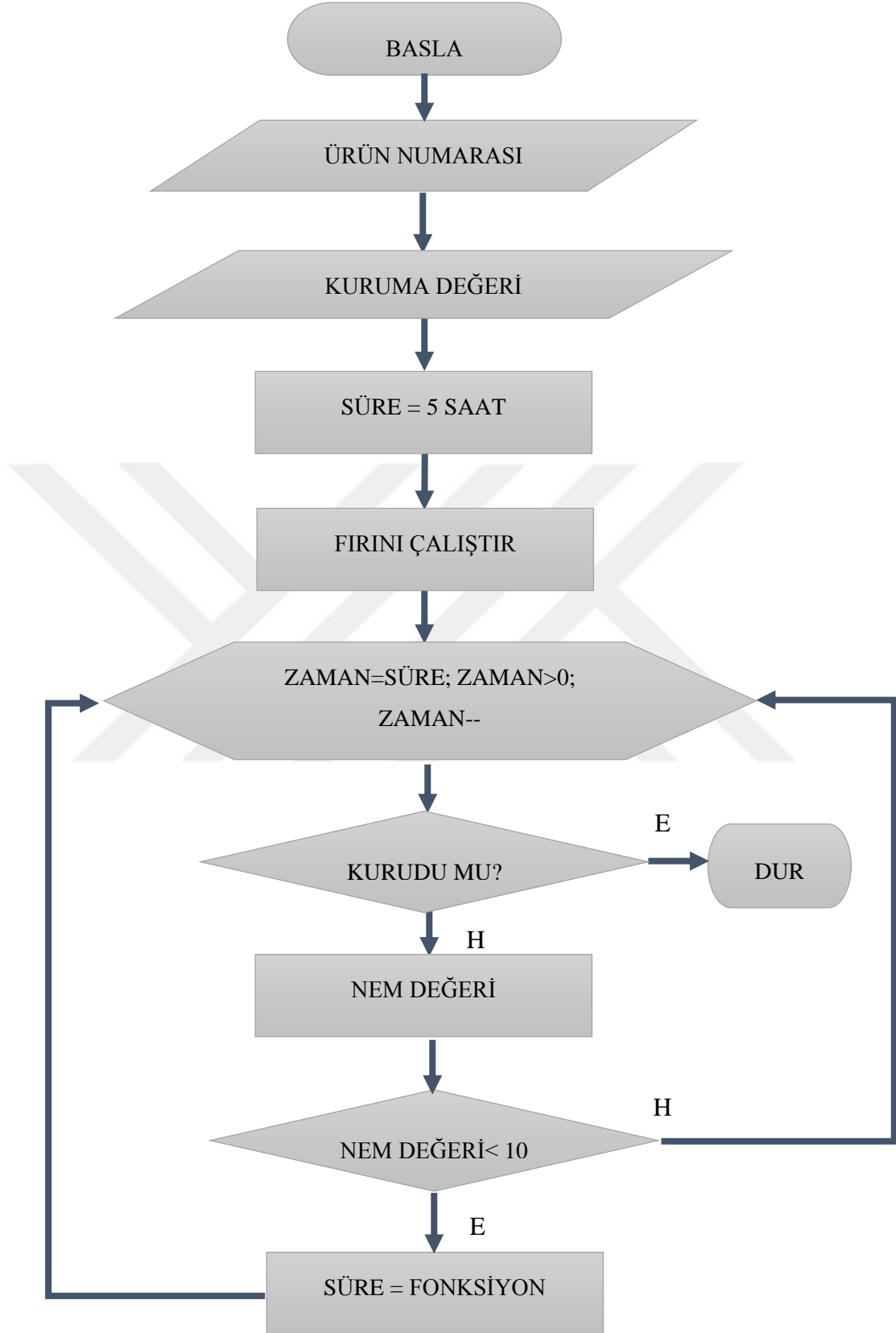
Çizelge 2.5. Tahmini ürün kuruma süreleri (x_1, x_2)

Ürün	p_1	p_2	p_3	$f(x)=5,5$	x_1	x_2
Çilek	3,123E-07	-0,00292	15,52	10,02	7874,744	1468,836
Elma	8,304E-07	-0,0047	14,36	8,86	4461,18	1198,743
Kabak	2,158E-07	-0,00309	12,66	7,16	11423,69	2904,392
Kiwi	0,00000472	-0,01432	16,93	11,43	1864,045	1169,853
Patlıcan	8,652E-08	-0,00193	10,65	5,15	19194,3	3101,118
Kuru Soğan	1,468E-07	-0,00291	12,75	7,25	16933,64	2916,498
Trabzon Hurması	4,916E-07	-0,00439	19,21	13,71	7285,568	1642,422
Armut	0,0003164	-1,352	5,645	0,145	4272,965	0,107251
Havuç	3,157E-07	-0,00216	8,837	3,337	4478,647	2360,124
Portakal	1,569E-07	0,000993	7,061	1,561	2917,609	3409,988

2.15. Kurutma Algoritması

Kurutma fırının çalışması aşağıdaki algoritmayla gerçekleşmektedir: Kurutulması istenen ürün 1 ile 10 arasında tanımlanmıştır ve ürün numarası girilmesi istenir. Ürünün istenilen kurutma seviyesi, kurutma değeri olarak kullanıcı tarafından atanır. Tahmini kuruma süresi 5 saat olarak başlatılır. Fırın çalışmaya başlar. Zamanlayıcı geriye doğru sayarken fırın içi nem değeri üç farklı noktadan okunur ve ortalaması alınır. Fırın içi ortalama nem değeri 10'dan küçük olduğu müddetçe nem okuma gerçekleştirilir ve kurutulan ürüne göre önceden tanımlanmış fonksiyonu kullanılarak 2. derece fonksiyonun kök değeri bulunur. Zamanlayıcının değeri bulunan kök değerine göre güncellenir. Kurutma son bulana kadar sürekli olarak bu işlem devam eder. Şekil 2.30'da kurutma fırın algoritması verilmiştir. Algoritma yazılım kodların için Bkz. EK 2.

Şekil 2.31, 2.32, 2.33, 2.34, 2.35, 2.36, 2.37, 2.38, 2.39, 2.40, 2.41, 2.42, 2.43, 2.44, 2.45, 2.46, 2.47, 2.48, 2.49'da kurutma öncesi ve kurutma sonrası ürün resimleri verilmiştir.



Şekil 2.30. Akıllı otomatik meyve ve sebze kurutucu fırın algoritması



Şekil 2.31. Çilek kurutma öncesi



Şekil 2.32. Çilek kurutma sonrası



Şekil 2.33. Armut kurutma öncesi



Şekil 2.34. Armut kurutma sonrası



Şekil 2.35. Havuç kurutma öncesi



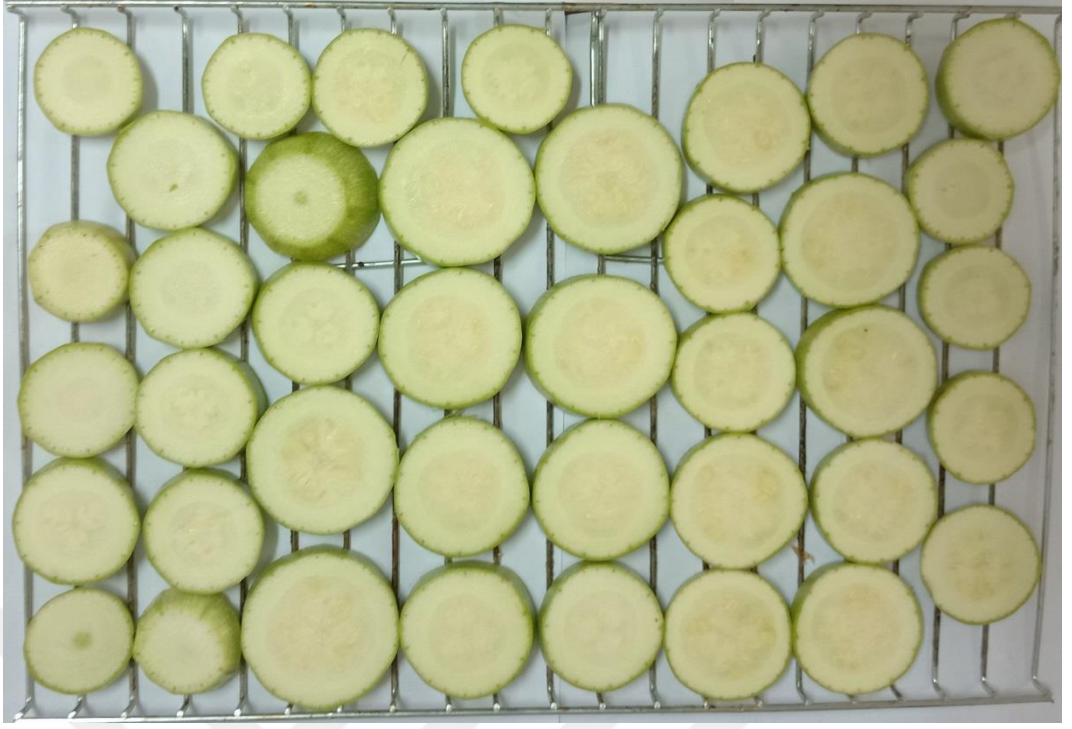
Şekil 2.36. Havuç kurutma sonrası



Şekil 2.37. Elma kurutma öncesi



Şekil 2.38. Elma kurutma sonrası



Şekil 2.39 Kabak kurutma öncesi



Şekil 2.40. Kabak kurutma sonrası



Şekil 2.41. Patlıcan kurutma öncesi



Şekil 2.42. Patlıcan kurutma sonrası



Şekil 2.43. Kuru soğan kurutma öncesi



Şekil 2.44. Kuru soğan kurutma sonrası



Şekil 2.45. Kiwi kurutma öncesi



Şekil 2.46. Kiwi kurutma sonrası



Şekil 2.47. Portakal kurutma öncesi



Şekil 2.48. Portakal kurutma sonrası



Şekil 2.49. Trabzon hurması kurutulup paketlenmiş

2.16. Donanım Sistem Tasarımı

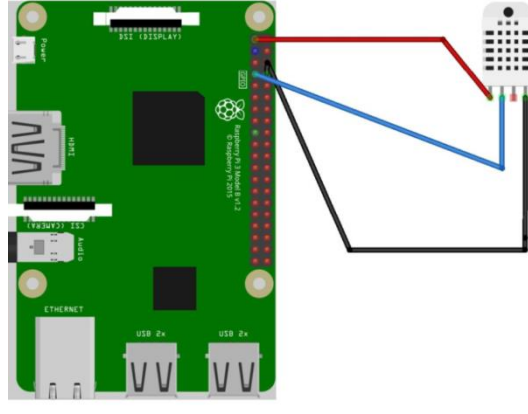
Bu tez çalışmasında sistem çözümünde donanım olarak Raspberry Pi 3 işlemci ve entegre nem ve sıcaklık sensörleri kullanılmıştır. Böylelikle günümüzde yaygın olarak kullanılan endüstriyel bilgisayarların kullanıldığı çözümler yerine daha küçük ölçekli bir çözüm geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında geliştirilen akıllı fırında otomatik kontrol sürecini yönetmek için Raspberry Pi 3 kullanılmıştır. Raspberry Pi 3 kullanılarak farklı çözümler farklı sektörlerde kullanılmaktadır [53].

2.16.1. Raspberry Pi 3

Raspberry Pi 3, şimdiye kadarki en güçlü Raspberry Pi modelidir. Broadcom tarafından üretilen BCM 2837 SoC (yonga üzerinde sistem), kart üzerinde 1.2 GHz 64 bit 4 çekirdekli ARM Cortex A 53 işlemciye sahiptir. Bu sayede Raspberry Pi'nin ilk modeline göre yaklaşık 10 kat daha fazla işlem gücü sunmaktadır.

2.16.2. DHT 22

Tasarlanan sistemde Raspberry Pi 3 ve DHT22 kullanılarak sıcaklık kontrolü yapılmıştır. Şekil 2.50'de gösterilen DHT22 sıcaklık ve nem sensörü, dijital çıkışlı gelişmiş bir sensördür. DHT22, DHT serisinin yüksek performanslı modellerinden biridir. 3.3–5V DC çalışma voltajıdır. Nem ölçüm aralığı % 0/100 bağıl nemdir.

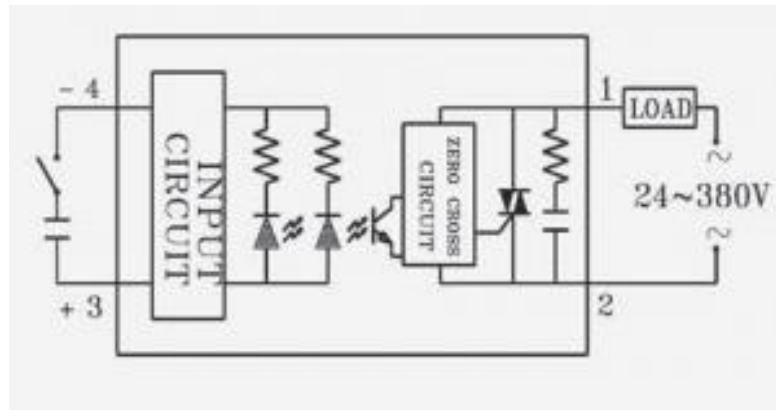


Şekil 2.50. DHT22 sıcaklık ve nem sensörü devresi

2.16.3. Solid State Röle

Tasarlanan sistemde geçiş için Solid State Röle (SSR) kullanılmaktadır. Kararlı, uzun ömürlü, modern elektronik anahtarlardır. Özellikle yüksek gerilim ve yüksek akım değerlerine sahip enerji hatlarının kontrolü için güvenli ve kullanımı kolay bir çözümdür.

SSR, kontrol edilecek elektrik hattına seri olarak bağlanır. Kontrol girişinden verilen değere göre hat üzerindeki elektrik akım akışını açar veya kapatır. Ayrıca, besleme sinyalini (örn. Ana şebeke hattı) belirli bir ölçüde zayıflatmak için de kullanılır. Örnek SSR iç yapısı Şekil 2.51'de verilmiştir.



Şekil 2.51. SSR iç yapısı

Kontrol giriş yöntemi, SSR modellerinde farklılık gösterir. SSR'lerin, doğru akım girişi (DC) ve alternatif akım girişi (AC) ile açılabilen modelleri vardır [54]. Giriş değerleri teknik özelliklerde belirtilen kapama geriliminin altına düştüğünde akım geçişini kapatır. Çizelge 2.6 DC girişli ve AC çıkışlı SSR'ler için örnek spesifikasyonları gösterir.

Çizelge 2.6. DC girişli ve AC çıkışlı SSR'ler

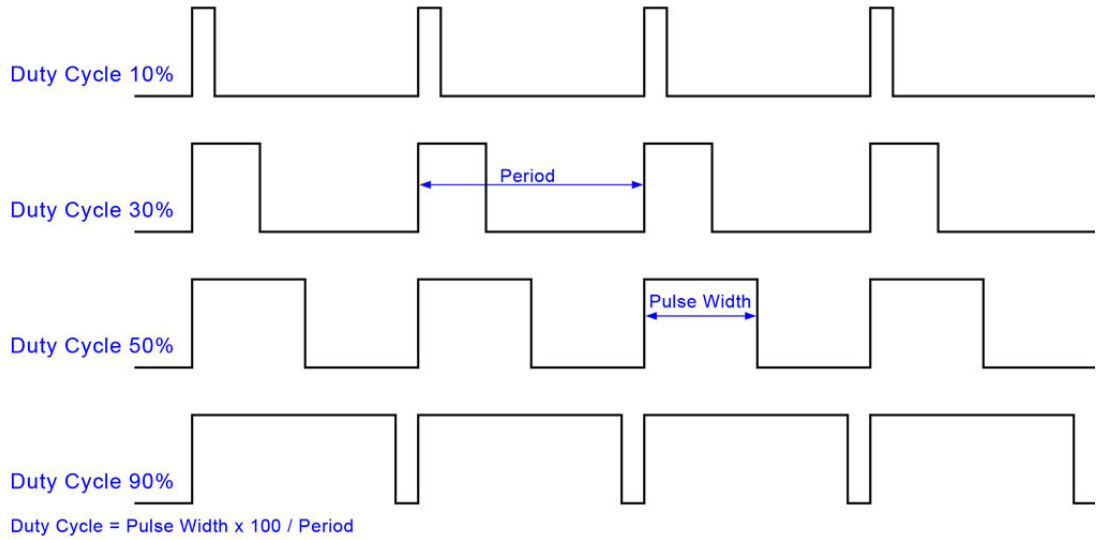
Tip	Standart Tip				
Model	SSR-10DA	SSR-25DA	SSR-40DA	SSR-50DA	SSR-75DA
Yük Akımı	Max. 10A	Max.25A	Max. 40A	Max. 50A	Max. 75A
Sigorta I _{2t} Değeri	144A ² S	259A ² S	664A ² S	518A ² S	1328A ² S
Ani Akım	135A	275A	410A	550A	820A
Tepe Voltaj	Min. 1200VAC				
Çıkış Voltajı	24~380VAC				
Genel Özellikler					
Giriş Voltajı	4~32 VDC				
Kapama Voltajı	<3.5 VDC				
Tetikleme Akımı	Max. 12.0 mA				
Kontrol Methodu	Zero cross switching				
Sızıntı Akımı	Max. 5 mA				
Tepki Süresi	Max. 8.3 ms (60 Hz)				
Giriş Voltaj Bağışıklığı	2 KV (EN61000-4-4)				
İzolasyon Gücü	4 KVrms (EN60950/VDE0805)				
Yalıtım Gücü	100MΩ / 500VDC (EN60950/VDE0805)				
Kaplama Malzemesi	ABS (UL:94V0)				
Ortam Şartları	-40°C ~ +80°C ; 35~85%RH				

2.16.4. Sinyal Genişlik Modülasyonu

Çalışmada, geliştirilen sistemde Sinyal Genişlik Modülasyonu (PWM) prensiplerine dayalı bir kontrol devresi kullanılmıştır. Benzer havalandırma sistemi ihtiyaçları için mikrodenetleyici tabanlı asenkron motor voltaj/frekans hız kontrol devreleri literatürde mevcuttur [55].

Birçok modern mikrodenetleyici, dahili programlama arabirimleri aracılığıyla, harici çıkışlarına bağlanan çevresel aygıtlara yazılımsal olarak PWM kontrolü yapabilmektedir.

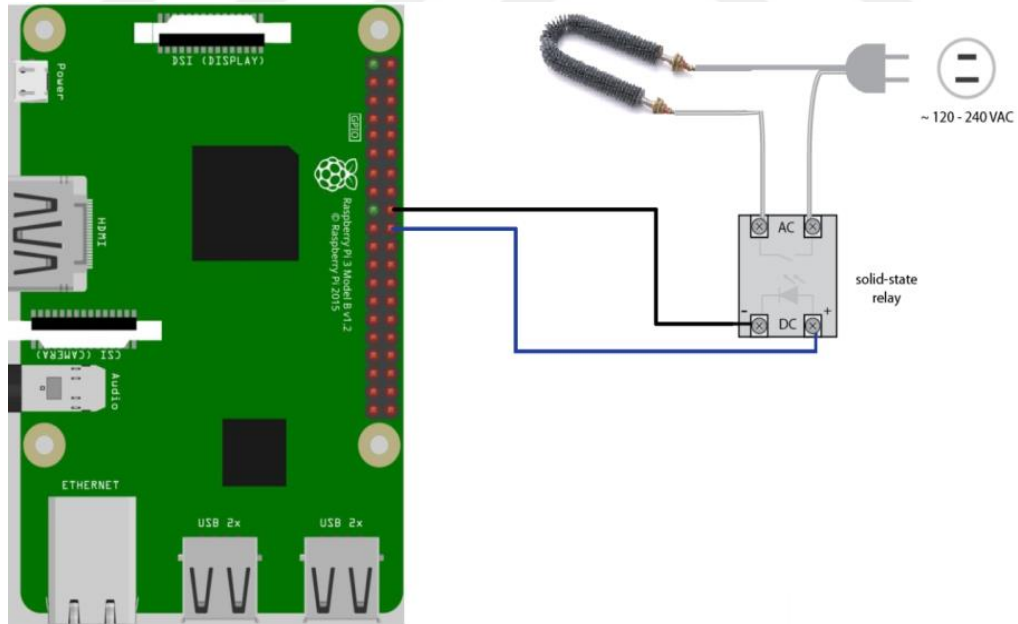
PWM'nin temel avantajı, anahtarlama cihazlarındaki güç kaybının çok düşük olmasıdır. Bir anahtar kapalıyken neredeyse hiç akım yoktur ve açıldığında ve güç yüke aktarılırken, anahtar boyunca neredeyse hiç voltaj düşüşü olmaz. Gerilim ve akımın ürünü olan güç kaybı, bu nedenle her iki durumda da sıfıra yakındır. PWM ayrıca, açık/kapalı yapıları nedeniyle gerekli görev döngüsünü Şekil 2.52'de gösterildiği gibi kolayca ayarlayabilen dijital kontrollere de iyi çalışır.



Şekil 2.52. PWM sayısal kontrolü

Görev döngüsü terimi, "açık" zamanın normal zaman aralığı veya "periyot" ile oranını tanımlar; düşük görev döngüsü, güç çoğu zaman kapalı olduğu için düşük güce karşılık gelir. Görev döngüsü yüzde olarak ifade edilir.

PWM sinyalinde bir periyotta darbelerin ne kadar + 5V seviyesinde, ne kadar 0V seviyesinde olduğu kontrol edilir. PWM sinyalinde, + 5V seviyesindeki bir darbenin süresi darbe genişliğidir, bu darbe genişliğinin bir periyoda olan yüzdesi Görev Döngüsü olarak adlandırılır. Çıkış bir periyot boyunca sürekli olarak + 5V ise, Görev Döngüsü % 100, darbe genişliği bir periyot boyunca sürekli olarak 0V ise, Görev Döngüsü % 0'dır. Görev Döngüsü, darbe genişliğinin 100 ile çarpılması ve periyoda bölünmesi ile elde edilir. PWM sinyalindeki darbe genişliğine göre çıkıştan 0 ile 5V arasında bir analog sinyal alıyormuş gibi bir değer alınır. Ancak analog gibi görünen bu sinyali osiloskopa ölçtüğümüzde dijital bir sinyal olduğunu görürüz. Bir PWM sinyaliyle bir lambanın parlaklığı ayarlanabilir. MOSFET üzerinden DC motor hız kontrolü yapılabilir. PWM sinyali olan bir servomotor sürülebilir. Bu tezde, ısıtma fırınının 80 °C sabit sıcaklıkta tutmasını sağlamak için PWM kullanılmıştır.



Şekil 2.53. Raspberry Pi 3 ile sıcaklık kontrolü devresi

2.17. Yazılım sistemi tasarımı: Sıcaklık kontrol programı

Çalışma kapsamında geliştirilen akıllı fırında kontrol süreçlerini yönetmek için Raspberry Pi 3 kullanılmıştır. Raspberry Pi'yi programlarken birçok alternatif dil kullanılabilirken bu çalışmada Python dili tercih edilmiştir.

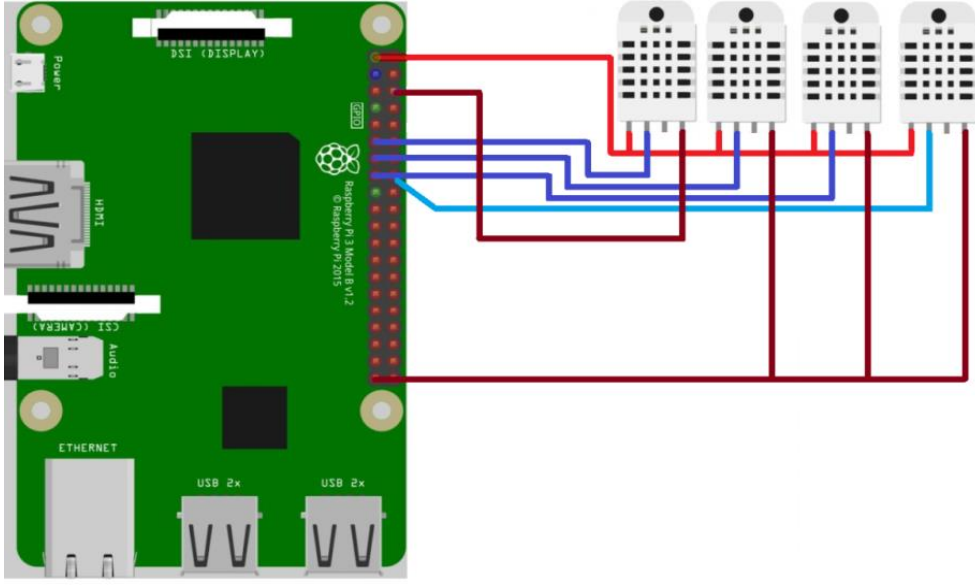
Python, Web geliştirme, GUI, otomasyon ve makine öğrenimi gibi farklı endüstrilerdeki uygulamalarda kullanışlıdır [56]. Python dili, özellikle büyük hazır kütüphaneleri nedeniyle kodlamada tercih edilir.

Çalışmada geliştirilen kodlar için örnek bir kod aşağıda paylaşılmıştır.

```
##### firin isisini bekletiyoruz
setdeger=80
humidity1, temperature1 = Adafruit_DHT.read_retry(model, sensor1)
while temperature1<setdeger:      #firin set isi degeri   and temperature1 is not
None
    humidity1, temperature1 = Adafruit_DHT.read_retry(model, sensor1)
    temperature1=round(temperature1,2)
    GPIO.output(18, GPIO.HIGH)
    if temperature1!=ytemp:
        ytemp=temperature1
        print temperature1
        sleep(2)
print "Kurutma Firini ISISI istenen seviyeye ulasti..."
```

2.18. Nem izleme: Nem değişimi izleme devresi

Raspberry Pi 3, DHT22 kullanılarak Şekil 2.54'te gösterildiği gibi nem değişimi izlenir. Kurutma fırınında farklı noktalara yerleştirilen üç DHT22 sensör ile yapılan ölçümlerin ortalaması alınarak kurutma fırınındaki nem değişimi izlenmektedir.



Şekil 2.54. Nem değişimi takip devresi

2.19. Fırının Fiziksel Yapısı

Kurutma işleminde kullanılacak fırın şekil 2.55'te gösterildiği gibi özel olarak tasarlanmıştır. Isıyı etkin kullanmak için sandviç yapı içerisinde iki kat olarak 3mm galvaniz sacdan imal edilmiştir. 1000 watt'lık dirençle ısıtılır. Fırında 1 m / s hızında hava sirkülasyonu için fan bulunmaktadır. Nemli havanın sistemden dışarı atılması için bacası vardır.



Şekil 2.55. Akıllı otomatik kurutma fırını

3. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada taze sebze ve meyvelerin kurutulmasında kullanılacak akıllı bir fırın tasarımı yapılmıştır. Araştırmada taze sebze ve meyvelerin kurutma kinematiği Matlab ile formüle edilmiştir. Bu formüller, fırının kontrolü için kullanılan Raspberry Pi tabanlı kontrol sistemine yüklenmiştir. Sistem çalışmaya başladığında taze sebze ve meyveler, formüllerden elde edilen kurutma kinetiği ile hedef nem değerine kadar ısıtılarak kurutulur ve istenilen nem seviyesine ulaşıldığında fırın kurutma işlemini otomatik olarak sonlandırır. Bu amaçla, 10 farklı taze sebze ve meyve için 500 gr'lık ürünler için 2. derece kurutma fonksiyonu tanımlanmış ve başarıyla test edilmiştir.

Çalışma kapsamında geliştirilen akıllı sistem, ürünün kurutma kinematiği ile birlikte ortamdaki nemi kontrol etme prensibi ile çalıştığı için, ağırlık ölçümü prensibi ile çalışan mevcut sistemlere göre daha etkili ve basitleştirilmiş bir çözüm olmuştur.

Fırının çalışması sırasında kurutma sürecini yönetirken, ürünlerin kurutma kinematiğini modelleyerek kullanmak, kurutma süresinin ön ve son kurutmada sürecin tahmin edilmesine ve planlanmasına olanak sağladığından işletmeler için verimliliği artırma potansiyeli taşır.

Taze sebze ve meyvelerin kurutulmasının için geliştirilen sistemle, kurutma işlemi istenilen nem seviyesinde yapılabilen ve böylelikle kurutulan ürünlerin aromaları korunurken uzun süreli saklamaya elverişli kurutulmuş ürünler elde edilmektedir.

Geliştirilen akıllı sistem, ürünün kurutma kinematiği ile birlikte ağırlık yerine ortamdaki nemi kullanarak kurutma işlemini gerçek zamanlı olarak yönetir. Böylece sistemin karmaşıklığı basitleştirilmiştir. Buna ek olarak sistem, ürünlerin giriş durumuna göre kurutma işleminin tamamlanması için gereken süreyi tahmin eder ve süreci takip edenlere geri bildirimde bulunur. Model kendini geliştirir ve istenen kurum düzeyi elde edilene kadar süreci otomatik olarak kontrol eder. Kurutma işleminin süresi belirlenebildiği için işletme sahipleri kurutma işleminin öncesi ve sonrası faaliyetlerini kolaylıkla planlayabilmektedir.

Bu süreçte ürünlerin ağırlığını ölçmek için kurutma aşamalarının gereksiz açılıp kapanması engellenerek enerji kaybının önüne geçilmektedir. Son olarak istenilen nem seviyesi tanımlanabildiği için gereksiz ısınma önlenir ve böylelikle enerji verimli bir şekilde kullanılır.

Çizelge 3.1 İlgili çalışmalarla geliştirilen modelin karşılaştırılması

	Ağırlık	Nem Takibi	Eğri Uydurma	Farklı Sıcaklık	Farklı Hava Akış Hızı	Otomatik Durma	Kurutulan Ürün Sayısı
Pasban, A. ve ark. [4]	√	√	x	√	x	x	1
Saavedra, J. ve ark. [7]	√	√	x	√	√	x	2
Su, D. ve ark. [10]	√	x	x	x	x	x	1
Doymaz I. ve ark. [13]	√	x	x	√	x	x	1
Wang, Z. ve ark. [14]	√	x	x	√	x	x	1
Karthikeyan, A. K. ve ark. [16]	√	x	x	x	x	x	1
Yanyang, X. ve ark. [17]	√	x	x	x	x	x	1
Sturm, B. ve ark. [18]	√	x	x	√	√	x	1
Özdemir, M. ve ark. [20]	√	x	x	√	x	x	1
Doymaz, İ. ve ark. [21]	√	x	x	√	x	x	2
Midilli, A. ve ark. [23]	√	x	x	x	x	x	4
Toğrul, H. [24]	√	x	x	√	x	x	1
Kılıç, F. [25]	√	x	x	√	x	√	1
Abuşka, M. [26]	√	√	x	X	x	x	1
Doymaz, İ. [30]	√	x	x	√	x	x	2
Kutlu, N. [31]	√	x	x	√	x	x	3
Ayensu, A. [32]	√	x	x	X	x	x	4
Sarsavadia, P. N. ve ark. [33]	√	x	x	√	√	x	1
Yaldız, O. ve ark. [35]	√	x	x	x	√	x	5
Sarsılmaz, C. [44]	√	x	x	x	x	x	1
Çakmak, H. ve ark. [49]	√	x	x	√	x	x	1
Toğrul, İ. ve ark. [51]	√	x	x	√	x	x	1
Önerilen Akıllı Fırın Modeli	x	√	√	x	x	√	10

Çizelge 3.1’de geliştirilen akıllı kurutucu modelinin benzer çalışmalarla, kurutmada kullanılan kontrolör ve kurutulan ürün sayısı bakımından karşılaştırılması sunulmuştur. Çizelge 3.1’de de görüldüğü gibi tasarlanan model diğer modellerden

farklı olarak ağırlık kontrolü yerine eğri uydurma yoluyla nem takibi yaprak daha fazla ürünü kuruturken otomatik sonlandırma yapabilmektedir. Tasarlanan kurutma fırını farklı sıcaklıklarda ve farklı hava akış hızlarında kurutma yapacak şekilde geliştirilebilir.

Geliştirilen sistemin tam kapasite kullanılmadığı durumlarda yeni çözüm yaklaşımlarına ihtiyaç duyulacaktır. Tam kapasitenin kullanılmadığı durumlarda, ilk kurutma süresi tahminleri, sensörlerin ortamdaki nem ölçüm değerleri ve geliştirilen modellere uyumsuzluk sonucuna bağlı olarak yanıltıcı olabilir. Bu gibi durumlar için fırına yerleştirilen ürün miktarını göz önüne alan yeni modeller tasarlamak gerekecektir.

Geliştirilen sistemin kapasitesi sınırlıdır. Farklı kapasitelerde sistemler geliştirilmek istendiğinde veya mevcut sistem tam kapasite dışında kullanıldığında çözülmesi gereken yeni bir sorun ortaya çıkmaktadır. Bu problem kurutma fırınındaki ölçülen nem miktarının fırında kullanılan kurutma modeline uyumsuzluğu problemidir. Bu uyumsuzluk kurutma süresi tahmininde sapmalara neden olur. Bir sonraki adım olarak, farklı miktarlardaki ürünler için ve farklı cinsteki ürünler için kurutma modelleri çıkartmak olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Ishangulyyev, R., Kim, S. ve Lee, S. H. (2019). Understanding food loss and waste —Why are we losing and wasting food?. *Foods*, 8(8), 297.
- [2] Esbelin, J., Santos, T. ve Hébraud, M. (2018). Desiccation: an environmental and food industry stress that bacteria commonly face. *Food microbiology*, 69, 82-88.
- [3] Sahin, A. Z. ve Dincer, I. (2005). Prediction of drying times for irregular shaped multi-dimensional moist solids. *Journal of food engineering*, 71(1), 119-126.
- [4] Pasban, A., Sadrnia, H., Mohebbi, M. ve Shahidi, S. A. (2017). Spectral method for simulating 3D heat and mass transfer during drying of apple slices. *Journal of Food Engineering*, 212, 201-212.
- [5] Jayaraman, K. S. ve Gupta, D. D. (2020). *Drying of fruits and vegetables. In Handbook of industrial drying* pp. 643-690, CRC Press.
- [6] Facchini, F., Digiesi, S. ve Mossa, G. (2020). Optimal dry port configuration for container terminals: A non-linear model for sustainable decision making. *International Journal of Production Economics*, 219, 164-178.
- [7] Saavedra, J., Córdova, A., Navarro, R., Díaz-Calderón, P., Fuentealba, C., Astudillo-Castro, C. ve Galvez, L. (2017). Industrial avocado waste: Functional compounds preservation by convective drying process. *Journal of Food Engineering*, 198, 81-90.
- [8] Rahman, M. S. ve Perera, C. O. (2007). *Drying and food preservation. In Handbook of food preservation.* pp. 421-450. Baco Raton: CRC Press.
- [9] Ratti , C. (2001). Hot air and freeze-drying of high-value foods : a review . *Journal of food engineering* , 49 (4), 311-319.
- [10] Su, D., Lv, W., Wang, Y., Li, D. ve Wang, L. (2020). Drying characteristics and water dynamics during microwave hot-air flow rolling drying of *Pleurotus eryngii*. *Drying Technology*, 38(11), 1493-1504.
- [11] Krokida, M. K., Maroulis, Z. B. ve Saravacos, G. D. (2001). The effect of the method of drying on the colour of dehydrated products. *International journal of food science & technology*, 36(1), 53-59..
- [12] Sokhansanj S and Jayas DS. (2006). *Drying of foodstuffs. In: Mujumdar AS (eds.) Handbook of industrial drying. 3rd ed.* pp.546–571. Baco Raton: CRC Press.

- [13] Doymaz I and Pala M. (2003). The thin-layer drying characteristics of corn. *J Food Eng*; 60(2): 125–130.
- [14] Wang, Z., Sun, J., Liao, X., Chen, F., Zhao, G., Wu, J., & Hu, X. (2007). Mathematical modeling on hot air drying of thin layer apple pomace. *Food Research International*, 40(1), 39-46.
- [15] Lewicki, P. P. (2006). Design of hot air drying for better foods. *Trends in Food Science & Technology*, 17(4), 153-163.
- [16] Karthikeyan, A. K., & Murugavelh, S. (2018). Thin layer drying kinetics and exergy analysis of turmeric (*Curcuma longa*) in a mixed mode forced convection solar tunnel dryer. *Renewable Energy*, 128, 305-312.
- [17] Yanyang, X., Min, Z., Mujumdar, A. S., Le-qun, Z., & Jin-cai, S. (2004). Studies on hot air and microwave vacuum drying of wild cabbage. *Drying Technology*, 22(9), 2201-2209..
- [18] Sturm, B., Hofacker, W. C., & Hensel, O. (2012). Optimizing the drying parameters for hot-air-dried apples. *Drying Technology*, 30(14), 1570-1582.
- [19] Kemp, I. C., Fyhr, B. C., Laurent, S., Roques, M. A., Groenewold, C. E., Tsotsas, E., ... & Kind, M. (2001). Methods for processing experimental drying kinetics data. *Drying technology*, 19(1), 15-34.
- [20] Özdemir, M., & Devres, Y. O. (1999). The thin layer drying characteristics of hazelnuts during roasting. *Journal of Food Engineering*, 42(4), 225-233.
- [21] Doymaz, İ., Tugrul, N., & Pala, M. (2006). Drying characteristics of dill and parsley leaves. *Journal of Food Engineering*, 77(3), 559-565.
- [22] Zhang, Z., Yang, Y., Hou, J., & Gong, Y. (2020). Modeling and simulation on speed prediction of bypass pipeline inspection gauge in medium of water and crude oil. *Measurement and Control*, 53(9-10), 1851-1860.
- [23] Midilli, A., Küçük, H., & Yapar, Z. (2002). A new model for single-layer drying. *Drying technology*, 20(7), 1503-1513.
- [24] Toğrul, H. (2006). Suitable drying model for infrared drying of carrot. *Journal of food engineering*, 77(3), 610-619.
- [25] Kılıç, F. (2021). Effects of three drying methods on kinetics and energy consumption of carrot drying process and modeling with artificial neural networks. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 43(12), 1468-1485.
- [26] Abuşka, M. (2010). Endüstriyel Tip Isı Pompalı Kurutucuda, Çekirdeksiz Üzümün Kurutulması Ve Enerji Analizinin Deneysel Olarak Yapılması. Doktora Tezi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 62-63. Ankara.

- [27] Başaran, B., Bitlisli, B. O., Sarı, Ö., Özbalta, N., & Güngör, A. (2004). Deri Kurutulmasında Yeni Teknolojiler: Isı Pompalı Kurutucular. *I. Ulusal Deri Sempozyumu*, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 7-8 Ekim.
- [28] Van Arsdel, W. B., & Copley, M. J. (1963). *Food dehydration. Volume I*. Albany, California: Principles. 178
- [29] Abuşka, M., & Doğan, H. (2010). Endüstriyel Tip Isı Pompalı Kurutucuda Çekirdeksiz Üzümün Kurutulması. *Politeknik Dergisi*, 13(4), 271-279.
- [30] Doymaz, İ. (1998). Üzüm ve Kahramanmaraş biberinin kuruma karakteristiklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, *Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, s11.
- [31] Kutlu, N. (2013). Domates, Kabak ve Patlıcanın Kurutma Karakteristiklerinin Belirlenmesi Ve Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, s20.
- [32] Ayensu, A. (1997). Dehydration of food crops using a solar dryer with convective heat flow. *Solar energy*, 59(4-6), 121-126.
- [33] Sarsavadia, P. N., Sawhney, R. L., Pangavhane, D. R., & Singh, S. P. (1999). Drying behaviour of brined onion slices. *Journal of food Engineering*, 40(3), 219-226.
- [34] Yıldız, O., Ertekin, C., Uzun, H.I., (2000). Çekirdeksiz Üzümün İnce Tabaka Halinde Güneş Enerji ile Kurutulmasının Matematiksel Modellemesi Üzerinde Bir Araştırma. *19. Ulusal Tarımsal Mekanizasyon Kongresi Bildiri Kitabı*, 345-350 s. Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, 1-2 Haziran.
- [35] Yıldız, O., & Ertekin, C. (2001). Thin layer solar drying of some vegetables. *Drying Technology*, 19(3-4), 583-597.
- [36] Bengtsson, G. B., Rahman, M. S., Stanley, R. A., & Perera, C. O. (2003). Apple rings as a model for fruit drying behavior: Effects of surfactant and reduced osmolality reveal biological mechanisms. *Journal of food science*, 68(2), 563-569.
- [37] Yağcıoğlu, A., Değirmencioğlu, A., Çağatay, F., (1999). Drying Characteristics of Laurel Leaves under Different Drying Condition. *7th Int. Congress on Agricultural Mechanization and Energy*, 565-569. Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 26-27 Mayıs.
- [38] Madamba, P. S., Driscoll, R. H., & Buckle, K. A. (1996). The thin-layer drying characteristics of garlic slices. *Journal of food engineering*, 29(1), 75-97.
- [39] Sharaf-Eldeen, Y. I., Blaisdell, J. L., & Hamdy, M. Y. (1980). A model for ear corn drying. *Transactions of the ASAE*, 5(4), 1261-1265.

- [40] Wang, C.Y., Sing, R.P., 1978. A Single Layer Drying Equation for Rough Rice. *Am. Soc. Agr. Eng, St. Joseph, MI*, 78, 3001.
- [41] Kassem, A.S., 1998. Comparative Studies on Thin Layer Drying Models for Wheat. *13th Int. Congress on Agriculture Mechanization and Energy*, Morocco, 2-6 Feb,
- [42] Verma, L. R., Bucklin, R. A., Endan, J. B., & Wratten, F. T. (1985). Effects of drying air parameters on rice drying models. *Transactions of the ASAE*, 28(1), 296-301.
- [43] Karathanos, V. T. (1999). Determination of water content of dried fruits by drying kinetics. *Journal of Food Engineering*, 39(4), 337-344.
- [44] Sarsılmaz, C. 1998. Güneş Enerjisi Destekli Kayısı Kurutma Sistemi. Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, s. 49-51, Elazığ.
- [45] Demirtas, C., Ayhan, T. and Kaygusuz, K. (1998). Drying behaviour of hazelnuts. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Vol:76; pp. 559-564.
- [46] Geankopolis, C.J. (2011). *Taşınma Süreçleri ve Ayırma Süreci İlkeleri*. ISBN: 978-975- 6240-40-3 (Çev: S. Yapıcı). İzmir: İzmir Güven Kitabevi.
- [47] Hall, C.W., Kunze, O.R., Calderwood, D.L., Hall, C.W., Maddex, R.L., Shove, G.C. and Davis, D.C. (1980). *Drying and storage of agricultural crops*. Washington State Univ., Pullman, WA 99164, pp. 381, USA.
- [48] Roberts, J.S., 1999. Understanding The Heat and Mass Transfer of Hygroscopic Porous Materials, Doktora Tezi. *The State University Of New Jersey, Food Science, New Brunswick, New Jersey*.
- [49] Cakmak, H., Kumcuoglu, S., & Tavman, S. (2013). Thin Layer Drying of Bay Leaves *Laurus nobilis* L. in Conventional and Microwave Oven. *Akademik Gıda*, 11(1), 20-26.
- [50] Yeşilbudak, M., Çolak, M., & Bayındır, R. (2018). Ankara İlinin Uzun Dönem Global Güneş Işınım Şiddeti, Güneşlenme Süresi ve Hava Sıcaklığı Verilerinin Analizi ve Eğri Uydurma Metotlarıyla Modellenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 6(1), 189-203.
- [51] Toğrul, İ. T., & Pehlivan, D. (2003). Modelling of drying kinetics of single apricot. *Journal of Food Engineering*, 58(1), 23-32.
- [52] Pangavhane, D. R., Sawhney, R. L., & Sarsavadia, P. N. (1999). Effect of various dipping pretreatment on drying kinetics of Thompson seedless grapes. *Journal of Food Engineering*, 39(2), 211-216.

- [53] Teke, M., & Duran, F. (2019). The design and implementation of road condition warning system for drivers. *Measurement and Control*, 52(7-8), 985-994.
- [54] Wang, D., Zou, H., & Tao, J. (2019). A new design of fractional-order dynamic matrix control with proportional–integral–derivative-type structure. *Measurement and Control*, 52(5-6), 567-576.
- [55] Kivrak, S., Özer, T., & Oğuz, Y. (2019). Design and implementation of dspic33fj32mc204 microcontroller–based asynchronous motor voltage/frequency speed control circuit for the ventilation systems of vehicles. *Measurement and Control*, 52(7-8), 1039-1047.
- [56] Karahan, M., Kurt, H., & Kasnakoglu, C. (2020, October). Autonomous face detection and tracking using quadrotor UAV. In *2020 4th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)* (pp. 1-4). IEEE, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu, Türkiye, 22-24 October.

EKLER

EK 1. Eğri Uydurma Matlab Kodları

```
clear all; close all; clc;
a=xlsread('dr.xlsx');
a1=a(:,1);
a2=a(:,2);
plot( a1, a2, 'ko' )
[p1, gof1] = fit( a1, a2, 'poly1','Normalize','on')
[p2, gof2] = fit( a1, a2, 'poly2','Normalize','on')
[p3, gof3] = fit( a1, a2, 'poly3','Normalize','on' )
[p5, gof5] = fit( a1, a2, 'poly5','Normalize','on' )
[p7, gof7] = fit( a1, a2, 'poly7','Normalize','on' )
[p9, gof9] = fit( a1, a2, 'poly9','Normalize','on' )
hold on
plot( p1, 'c');
plot( p2, 'g' );
plot( p3, 'r' );
plot( p5, 'm');
plot( p7, 'y' );
plot( p9, 'b' );
hold off
legend( 'nem v zaman', '1. derece', '2. derece', '3. derece','5.
derece','7. derece','9. derece','Location', 'NorthEast' );
p1 =
Linear model Poly1:
p1(x) = p1*x + p2
where x is normalized by mean 1109 and std 640.1
Coefficients (with 95% confidence bounds):
p1 = -4.38 (-4.508, -4.253)
p2 = 11.04 (10.91, 11.16)
gof1 =
```

struct with fields:

sse: 2.0720e+04

rsquare: 0.6723

dfe: 2215

adjrsquare: 0.6722

rmse: 3.0585

p2 =

Linear model Poly2:

$$p2(x) = p1*x^2 + p2*x + p3$$

where x is normalized by mean 1109 and std 640.1

Coefficients (with 95% confidence bounds):

1

p1 = 1.295 (1.163, 1.427)

p2 = -4.38 (-4.498, -4.262)

p3 = 9.743 (9.566, 9.92)

gof2 =

struct with fields:

sse: 1.7747e+04

rsquare: 0.7194

dfe: 2214

adjrsquare: 0.7191

rmse: 2.8312

p3 =

Linear model Poly3:

$$p3(x) = p1*x^3 + p2*x^2 + p3*x + p4$$

where x is normalized by mean 1109 and std 640.1

Coefficients (with 95% confidence bounds):

p1 = -0.1412 (-0.2913, 0.008918)

p2 = 1.295 (1.163, 1.427)

p3 = -4.126 (-4.421, -3.832)

p4 = 9.743 (9.566, 9.92)

gof3 =

struct with fields:

sse: 1.7720e+04

rsquare: 0.7198

dfe: 2213

adjrsquare: 0.7194

rmse: 2.8297

p5 =

Linear model Poly5:

$$p5(x) = p1*x^5 + p2*x^4 + p3*x^3 + p4*x^2 + p5*x + p6$$

where x is normalized by mean 1109 and std 640.1

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$p1 = -2.147 (-2.314, -1.98)$$

$$p2 = 1.174 (1.029, 1.32)$$

$$p3 = 7.012 (6.441, 7.583)$$

$$p4 = -1.723 (-2.113, -1.333)$$

$$p5 = -8.723 (-9.159, -8.287)$$

$$p6 = 10.65 (10.46, 10.83)$$

gof5 =

struct with fields:

2

sse: 1.2653e+04

rsquare: 0.7999

dfe: 2211

adjrsquare: 0.7995

rmse: 2.3922

p7 =

Linear model Poly7:

$$p7(x) = p1*x^7 + p2*x^6 + p3*x^5 + p4*x^4 + p5*x^3 + p6*x^2 + p7*x + p8$$

where x is normalized by mean 1109 and std 640.1

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$p1 = -1.59 (-1.765, -1.416)$$

$$p2 = 2.477 (2.325, 2.628)$$

$$p3 = 5.557 (4.699, 6.414)$$

p4 = -8.953 (-9.584, -8.322)

p5 = -3.488 (-4.727, -2.249)

p6 = 8.4 (7.707, 9.092)

p7 = -5.224 (-5.74, -4.708)

p8 = 9.202 (9.03, 9.374)

gof7 =

struct with fields:

sse: 7.8710e+03

rsquare: 0.8755

dfc: 2209

adjrsquare: 0.8751

rmse: 1.8876

p9 =

Linear model Poly9:

$p9(x) = p1 \cdot x^9 + p2 \cdot x^8 + p3 \cdot x^7 + p4 \cdot x^6 +$

$p5 \cdot x^5 + p6 \cdot x^4 + p7 \cdot x^3 + p8 \cdot x^2 + p9 \cdot x + p10$

where x is normalized by mean 1109 and std 640.1

Coefficients (with 95% confidence bounds):

p1 = -1.739 (-1.946, -1.531)

p2 = 1.563 (1.383, 1.743)

p3 = 9.449 (8.121, 10.78)

p4 = -6.27 (-7.287, -5.253)

p5 = -17.62 (-20.49, -14.74)

p6 = 6.179 (4.346, 8.012)

p7 = 14.33 (11.93, 16.73)

p8 = 0.1498 (-0.9848, 1.284)

p9 = -8.867 (-9.501, -8.233)

p10 = 9.89 (9.717, 10.06)

gof9 =

3

struct with fields:

sse: 6.2807e+03

rsquare: 0.9007

dfe: 2207

adjrsquare: 0.9003

rmse: 1.6869

EK 2. Kurutma Algoritması Yazılım Kodları

```
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
```

```
signed int gerisayim=0;
```

```
SoftwareSerial mySerial(17, 18); // RX, TX
```

```
unsigned long previousMillis = 0;
```

```
const long interval = 6000;
```

```
int sebze[]={ };
```

```
long y=0;
```

```
int sayac=0,c,nem=3,secme=1,a=1,b=1,d=1,e=1,formul,esayac;
```

```
char gelen;
```

```
//byte gelen;
```

```
int srlgdn[3];
```

```
int saatzaman,dkklnzaman,snklnzaman,dkzaman;
```

```
boolean onay=0,frnhazir=0;
```

```
float P1=0,P2=0,P3=0,delta=0,k1=0,k2=0,f,x=3;
```

```
void setup() {
```

```
Serial.begin(9600);pinMode(2,INPUT);pinMode(3,INPUT);pinMode(4,OUTPUT);p
```

```
inMode(12,OUTPUT);
```

```
Serial.println("Meyve Kurutma Makinesi");
```

```
digitalWrite(12,0);
```

```

dht.begin();

mySerial.begin(9600);

}

void loop() {

// if (mySerial.available()) { gelen = mySerial.read(); Serial.println(gelen); }

//         dkzaman=gerisayim/60;

//         snklnzaman=gerisayim%60;

//         saatzaman=dkzaman/60;

//         dkklnzaman=dkzaman%60;

//         sprintf(srlgdn,"Kurutmaya Kalan
Süre=%d:%d:%d",saatzaman,dkklnzaman,snklnzaman);

//         Serial.write(srlgdn);

if(secme==1)
    { meyve(); }

if(secme==2)
    { kilo(); }

if(secme==3)
    { hesapla(); }

if(secme==4)
    { onayla(); }

if(secme==5)
    { frnhazirla(); }

if(secme==6)
    {

```

```

    if (mySerial.available()) { gelen=mySerial.read();}

    if((digitalRead(2)==1 && digitalRead(3)==1) || gelen=='B'
){mySerial.print(110);mySerial.print(",");mySerial.print(110);mySerial.print(",");my
Serial.print("Kurutma
iptal");gelen=0;secme=1;digitalWrite(4,0);digitalWrite(12,0);Serial.println("Kurutma
islemini iptal ettiniz..");delay(500);} //mySerial.print("Kurutma iptal");

    int h = dht.readHumidity();

    float t = dht.readTemperature();

    Serial.print(F("Humidity: "));Serial.print(h);Serial.print(F("% Temperature: "));
Serial.println(t);
// mySerial.print(t);delay(50);

    if(t<27)
    { digitalWrite(4,1);digitalWrite(12,1);}
    else
    { digitalWrite(4,0);digitalWrite(12,0);}

    unsigned long currentMillis = millis();

    if (currentMillis - previousMillis >= interval)
    {
        previousMillis = currentMillis;

        if(gerisayim>0)
        {
            gerisayim-=600;

//mySerial.print(h);mySerial.print(",");mySerial.print(t);mySerial.print(",");mySerial.

```



```
print(gerisayim);delay(100);Serial.print("Kurutmaya Kalan Süre:");
");//Serial.println(gerisayim);
```

```
dkzaman=gerisayim/60;snklnzaman=gerisayim%60;saatzaman=dkzaman/60;dkklnzaman=dkzaman%60;
```

```
String stringOne = String(saatzaman);String stringtwo = String(dkklnzaman);String stringthree = String(snklnzaman);
```

```
String stringOn = String(stringOne + ":" + stringtwo + ":" + stringthree);
```

```
Serial.println(stringOn);
```

```
String strh = String(h);String strt = String(t);
```

```
String strblue = String(strt + "," + strh + "," + stringOn);
```

```
mySerial.print(strblue);
```

```
}//mySerial.print(x);
```

```
else
```

```
{ mySerial.print(110);mySerial.print(",");mySerial.print(110);mySerial.print(",");mySerial.print("Meyve Sec");delay(2500);mySerial.print("Kurutma tamamlandı");delay(500);Serial.println("Kurutma islemi sona erdi.... "); frnhazir=0; secme=1;e=1;digitalWrite(4,0);digitalWrite(12,0);} //buranın içine nem kontrolü yapılıpp süre ilavesi yapılacak
```

```
}
```

```
}
```

```
}
```

```
void meyve()
```

```
{ if(e==1){Serial.println("Lütfen kurutulacak meyveyi seciniz ");
```

```

mySerial.print("Meyve Sec");mySerial.print(",");mySerial.print("
");mySerial.print(",");mySerial.print(" "); e=0; }

if (mySerial.available()) { gelen=mySerial.read();}

if(digitalRead(2)==1 || gelen=='A')

    { gelen=0;sayac++;delay(250);if(sayac>10)sayac=0;
Serial.println(sayac);while(digitalRead(2)); }

    if(sayac!=esayac){

        if(sayac==1)

            { Serial.println("Cilek seçtiniz");mySerial.print("Cilek
");mySerial.print(",");mySerial.print(" ");mySerial.print(",");mySerial.print(" ");
P1=0.0000003123; P2=-0.002918; P3=15.52; formul=1; }

        else if(sayac==2)

            { Serial.println("Elma seçtiniz");mySerial.print("Elma
");mySerial.print(",");mySerial.print(" ");mySerial.print(",");mySerial.print(" ");
P1=0.0000008304; P2=-0.0047; P3=14.36; formul=2; }

        else if(sayac==3)

            { Serial.println("Kivi seçtiniz");mySerial.print("Kivi
");mySerial.print(",");mySerial.print(" ");mySerial.print(",");mySerial.print(" ");
P1=0.00000472; P2=-0.01432; P3=16.93; formul=3; }

        else if(sayac==4)

            { Serial.println("Armut seçtiniz");mySerial.print("Armut
");mySerial.print(",");mySerial.print(" ");mySerial.print(",");mySerial.print(" ");
P1=0.3164; P2=-1.352; P3=5.645; formul=4; }

        else if(sayac==5)

            { Serial.println("Havuc seçtiniz");mySerial.print("Havuc
");mySerial.print(",");mySerial.print(" ");mySerial.print(",");mySerial.print(" ");
P1=0.0000003157; P2=-0.002159; P3=8.837; formul=5; }

        else if(sayac==6)

```

```

        { Serial.println("Kabak seçtiniz");mySerial.print("Kabak
");mySerial.print(",");mySerial.print(" ");mySerial.print(",");mySerial.print(" ");
P1=0.0000002158; P2=-0.003092; P3=12.66; formul=6; }

    else if(sayac==7)

        { Serial.println("Patlican seçtiniz");mySerial.print("Patlican
");mySerial.print(",");mySerial.print(" ");mySerial.print(",");mySerial.print(" ");
P1=0.00000008652; P2=-0.001929; P3=10.65; formul=7; }

    else if(sayac==8)

        { Serial.println("Portakal seçtiniz");mySerial.print("Portakal
");mySerial.print(",");mySerial.print(" ");mySerial.print(",");mySerial.print(" ");
P1=0.0000001569; P2=-0.0009928; P3=7.061; formul=8; }

    else if(sayac==9)

        { Serial.println("Sogan seçtiniz");mySerial.print("Sogan
");mySerial.print(",");mySerial.print(" ");mySerial.print(",");mySerial.print(" ");
P1=0.0000001468; P2=-0.002914; P3=12.75; formul=9; }

    else if(sayac==10)

        { Serial.println("Hurma seçtiniz");mySerial.print("Hurma
");mySerial.print(",");mySerial.print(" ");mySerial.print(",");mySerial.print(" ");
P1=0.0000004916; P2=-0.004389; P3=19.21; formul=9; }

    else

        { if(b==1){ Serial.println("Meyve seciniz
");mySerial.print("myvesc");mySerial.print(",");mySerial.print("
");mySerial.print(",");mySerial.print(" "); b=0; } }

        esayac=sayac;

    }

    if((digitalRead(3)==1 && sayac!=0) ||
gelen=='B'){ while(digitalRead(3));secme=2; Serial.println("Meyve secimi
tamamlandi.");mySerial.print("Meyve secimi

```

```
Ok");mySerial.print(",");mySerial.print(" ");mySerial.print(",");mySerial.print(" ");
delay(1550);gelen=0;}
```

```
}
```

```
void kilo()
```

```
{ if(a==1){mySerial.print("Kuruluk oranı
giriniz");mySerial.print(",");mySerial.print(" ");mySerial.print(",");mySerial.print("
"); Serial.println("Yüzde cinsinden kuruluk giriniz... "); a=0;}
```

```
if (mySerial.available()) {gelen=mySerial.read();}
```

```
if(digitalRead(2)==1 || gelen=='A')
```

```
{gelen=0;
```

```
nem+=1;delay(300);if(nem>9)nem=3;while(digitalRead(2));Serial.println(nem);
```

```
mySerial.print(nem);mySerial.print(",");mySerial.print("
");mySerial.print(",");mySerial.print(" "); y=nem; }
```

```
if((digitalRead(3)==1 && nem!=0) || gelen=='B'){ while(digitalRead(3));secme=3;
mySerial.print("onaylayın");mySerial.print(",");mySerial.print("
");mySerial.print(",");mySerial.print(" "); Serial.println("Kuruluk seçimi tamam
onaylama yapınız");d=1; a=1; gelen=0;}
```

```
}
```

```
void hesapla()
```

```
{ P3=P3-y;Serial.print(P1,9);Serial.print(" "); Serial.print(P2,9);Serial.print("
");Serial.println(P3,9);
```

```
f = P1*pow(x,2)+P2*x+P3;
```

```
delta = (P2*P2)-4*P1*P3;
```

```
if(delta<0)
```

```
delta=delta*(-1);
```

```
Serial.print("deltas= ");Serial.println(delta,9);
```

```

k1 = (-P2- pow(delta,0.5))/(2*P1);
k2 = (-P2+ pow(delta,0.5))/(2*P1);
Serial.print("kok1= ");Serial.print(k1);Serial.print(" ");Serial.print("kok2= ");
Serial.println(k2);

if(k1>k2)
    x=k2;
else
    x=k1;

Serial.print("secili kok= ");Serial.println(x);
x=x*4;//kurutma için örnek sayısı ile süre çarpımı
Serial.print("4xkalan zaman= ");Serial.println(x);delay(2000);
secme=4;
gerisayim=x; // gerisayimmm
}

void onayla(){
if(d==1){ Serial.println("FIRINLAMAYI baslatmak icin onaylayin"); d=0;}
if (mySerial.available()) {gelen=mySerial.read();}
if(digitalRead(2)==1 || gelen=='A')
    {gelen=0; onay=!onay;
if(onay==1){Serial.println("onay");mySerial.print("onay");mySerial.print(",");mySerial.print(" ");mySerial.print(",");mySerial.print(",");mySerial.print(" ");}else
{Serial.println("iptal");mySerial.print("iptal");mySerial.print(",");mySerial.print(" ");mySerial.print(",");mySerial.print(",");mySerial.print(" ");} while(digitalRead(2));delay(300); }
if(digitalRead(3)==1 ||
gelen=='B'){gelen=0;while(digitalRead(3));if(onay==1){mySerial.print("ISINIYOR");mySerial.print(",");mySerial.print(" ");mySerial.print(",");mySerial.print(" ");Serial.println("ISI kontrolu yapiliyor"); secme=5;delay(500);} else
{mySerial.print("Meyve secin");mySerial.print(",");mySerial.print("

```

```
");mySerial.print(",");mySerial.print(" ");Serial.println("Meyve Secme islemine geri
donuluyor...");e=1;nem=3;c=0;secme=1;delay(500);} }
}
```

```
void frnhazirla(){
    if (mySerial.available()) {gelen=mySerial.read();}
    if(digitalRead(2)==1 ||
gelen=='B'){ gelen=0;secme=1;digitalWrite(4,0);digitalWrite(12,0);mySerial.print("
Kurutma iptal");mySerial.print(",");mySerial.print("Meyve
Sec");mySerial.print(",");mySerial.print("Meyve Sec");Serial.println("Kurutma
islemine iptal ettiniz..");delay(500);}
    float h = dht.readHumidity();
    float t = dht.readTemperature();
    Serial.print(F("Humidity: "));Serial.print(h);Serial.print(F("% Temperature: "));
Serial.println(t);
    mySerial.print(t);mySerial.print(",");mySerial.print("
");mySerial.print(",");mySerial.print(" ");delay(250);
    if(t<80)
    { digitalWrite(4,1);digitalWrite(12,1);}
    else
    { digitalWrite(4,0);digitalWrite(12,0);secme=6;Serial.println("FIRIN Kurutmaya
HaziR");mySerial.print(2);mySerial.print(",");mySerial.print(109);mySerial.print(",")
;mySerial.print(" "); delay(100);delay(2500);} //mySerial.println("FIRIN Kurutmaya
HaziR");
```

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mehmet TÜMAY
Doğum Tarihi : 20/09/1972
Yabancı Dil : İngilizce
Eğitim Durumu :
Lisans : Ankara Üniversitesi 1990-1995, Elektronik Müh.
Yüksek Lisans : Karabük Üniversitesi 2009-2013, Bilgisayar Müh.

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl/Yıllar:

Ankara Üniversitesi, Çankırı Meslek Yüksekokulu Teknik Programlar Bölümü

Öğretim Görevlisi 1996-2007

Çankırı Karatekin Üniversitesi Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon
Bölümü Öğretim Görevlisi 2007-Devam ediyor.

Yayımları (SCI-Expanded) :

- 1- Tümay, M., & Ünver, H. M. (2021). Design and implementation of smart and automatic oven for food drying. *Measurement and Control*, 54(3-4), 396-407.

Araştırma Alanları:

Kablosuz Haberleşme, Gömülü Sistemler.