

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI ÖN İŞLEMLER UYGULANAN TAVUK GÖĞÜS ETİNİN AKIŞKAN  
YATAK VE MİKRODALGADA KURUTULMASININ İNCELENMESİ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÖZDE ARSLAN KÜÇÜKKAYA

OCAK 2024



**ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI ÖN İŞLEMLER UYGULANAN TAVUK GÖĞÜS ETİNİN AKIŞKAN**  
**YATAK VE MİKRODALGADA KURUTULMASININ İNCELENMESİ**

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Gözde ARSLAN KÜÇÜKKAYA**

**DANIŞMAN: Prof. Dr. Adnan TOPUZ**

**ZONGULDAK**

**Ocak 2024**



**KABUL:**

Gözde ARSLAN KÜÇÜKKAYA tarafından hazırlanan “Farklı Ön İşlemler Uygulanan Tavuk Göğüs Etinin Akışkan Yatak ve Mikrodalgada Kurutulmasının İncelenmesi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 22/01/2024.

**Danışman:** Prof. Dr. Adnan TOPUZ .....  
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine  
Mühendisliği Bölümü

**Üye:** Doç. Dr. Beytullah ERDOĞAN .....  
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine  
Mühendisliği Bölümü

**Üye:** Prof. Dr. Engin GEDİK .....  
Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

---

**ONAY:**

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım. ..../..../20....

Prof. Dr. Fikret GÖLGELEYEN  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü





*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Gözde ARSLAN KÜÇÜKKAYA



## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### FARKLI ÖN İŞLEMLER UYGULANAN TAVUK GÖĞÜS ETİNİN AKIŞKAN YATAK VE MİKRODALGADA KURUTULMASININ İNCELENMESİ

Gözde ARSLAN KÜÇÜKKAYA

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Adnan TOPUZ

Ocak 2024, 103 sayfa

Günümüzde gıda sektöründe alternatif ürün ve yöntemler hızla artmaktadır. Bununla birlikte gıda israfı da kayda değer bir ölçüde söz konusu olmaktadır. Özellikle et ve et ürünleri sektöründe benzer besin ve tat özelliklerine sahip alternatif ürün arayışı devam ederken, et ve et ürünlerinin üretiminin zorluğu, salgın hayvan hastalıkları, ürünü işlemenin daha manuel ve insana dayalı olması endüstriyel boyutlarında çeşitli zorlukları getirmektedir. Benzer şekilde et ve et ürünlerinin depolama, lojistik süreçlerinde tüketiciye soğuk zincir kırılmadan ulaşması çeşitli maliyetleri beraberinde getirmekte ve bu koşullar sağlanamadığında ise hem emek hem zaman hem de ürün israfı meydana gelmektedir. Bu sebeple ürünün raf ömrünü arttırmak, depolama lojistik süreçlerindeki hataları minimize etmek için et ve et ürünlerinde kurutma şeklini geleneksel halinden modernize edilmiş haline dönüşerek gelişmektedir.

## ÖZET (devam ediyor)

Bu tezin asıl amacı protein değeri yüksek olan tavuk göğüs etinin tüketiminde alternatifler oluşturmak, raf ömrünü arttırmak, depolama lojistik vb. esnada meydana gelen israfi önlemektir. Hem toz halinde hem de küp şeklinde cips benzeri kullanılacak bir atıştırmalık olması istenmiştir.

Geleneksel kurutma yöntemlerinin yanında tavuk göğüs etinin farklı kurutma makinelerinde alternatif ön işlemler uygulanarak kurutulması planlanmıştır. Endüstriyel havalı kurutucularda meydana gelen yapışma, kararma yanma vb. önlenmesi için tavuk göğüs etleri kurutma prosesi mikrodalga ve akışkan yatak ile gerçekleştirilmiştir. Bu kurutucu makinelerde kurutma işlemleri gerçekleştirilirken literatür araştırmalarına dayanarak haşlama ve un kaplama ön işlemlerinin proseslerdeki uygulanabilirlik ve verimliliği göz önünde bulundurulmuştur.

Piyasada bulunan çeşitli markalara ait tavuk göğüs etleri alınarak nem değerleri ölçülmüştür. Kesim süreleri, kesim koşulları, rasyon özellikleri, depolama ve lojistik süresindeki değişikliklere bağlı olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır. Kurutma öncesi ön işlemler belirlenirken ürünün mikrobiyel yükünün azaltılması, kurutma süresinin düşürülmesi ve akışkan yatakta akışkanlaşabilmesi için 1 cm<sup>3</sup> şeklinde parçalanmış tavuk göğüs etlerinde ön işlem olarak suda haşlama ve un ile kuru kaplanması tercih edilmiştir. Bu ön işlemlerin nem değerindeki düşüş ve renk değerlerine etkisi incelenmiştir. Mikrodalga ve akışkan yatak kurutma yöntemleri ise farklı ısı aktarım tekniklerine sahip olması ve endüstriyel olarak yüksek kapasitelerde kullanılabilir olması sebebiyle tercih edilmiştir. Nem değerlerinin bakteriyel riski düşürmek ve raf ömrünü arttırmak amacıyla %10 un altına inmesi hedeflenmiştir. Ön işlem uygulanan tavuk göğüs etinde mikrodalga ve akışkan yatak kurutma modeli ile nem, renk ve enerji tüketim değerleri kriter alınarak deneysel olarak gerçekleştirilmiştir.

Tasarlanan akışkan yatak kurutucu ile yapılan kurutma denemelerinde 3 Saat süren kurutma ile haşlanmış tavukgöğsü ile un kaplanmış ve haşlanmış tavukgöğsü ürünleri %10 nem değerinin altına inerken, 4 saat süren kurutma denemesinde un kaplanmış çiğ tavukgöğsü de

## ÖZET (devam ediyor)

%10 nemin altına inmiştir. Renk değerleri mikrodalga ile kurutmaya göre akışkan yatakta L değerleri daha yüksek değerlere yani daha açık renklere ulaşılmıştır. Mikrodalga ile 300 W gücünde yapılan denemelerde 30 dk da haşlanmış tavukgöğsü ile un kaplama yapılan haşlanmış tavukgöğsü ürünlerinin nem değerleri %10 altına inerken L renk değerleri akışkan yatağa göre daha düşük yani daha koyu renklere ulaşılmıştır. Çiğ tavuk 300 W 40 dakika en uygun nem değerlerini verirken renk değerlerinden L düşük bulunmuştur, yanma ve kahverengileşme tespit edilmiştir.

Sonuç olarak 2450 MHz mikrodalga kurutmada en uygun sonuçlar 300 W 30 dakika yapılan çalışmada önce haşlanmış daha sonra un ile kaplanmış tavuk etine aittir. Ürün %5,432 nem değerine, L: 64,06; a: 2,3;b: 18,39 renk değerlerine sahiptir. Akışkan yataklı kurutucu ile 12.07 m/s hava hızı, 75 °C kabin içi sıcaklığı ile yapılan kurutma işleminde en uygun değerler 4 saat sonunda önce haşlanmış daha sonra un ile kaplanmış tavuk etine aittir. Ürün %2,70 nem değerine, L: 69,3; a: 3,2;b: 20,7 renk değerlerine sahiptir. Akışkan yatak ile yapılan kurutma işlemlerinde daha açık renkli ve nem değerleri daha düşük ürünler elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Tavukgöğsü eti, Kurutma, Mikrodalga, Akışkan Yatak

**Bilim Kodu:** 625.04.00.



## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **INVESTIGATION OF THE FLUIDIZED BED AND MICROWAVE DRYING OF CHICKEN BREAST MEAT APPLIED WITH DIFFERENT PRE-TREATMENTS**

**Gözde ARSLAN KÜÇÜKKAYA**

**Zonguldak Bülent Ecevit University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering**

**Thesis Advisor: Prof. Dr. Adnan TOPUZ**

**January 2024, 103 pages**

Alternative products and methods are rapidly increasing in the food sector today. However, there is also a significant amount of food waste. Especially in the meat and meat products sector, while the search for alternative products with similar nutritional and taste characteristics continues, the difficulty of production of meat and meat products, epidemic animal diseases, and more manual and human-based processing of the product brings various difficulties in industrial dimensions. Similarly, in the storage and logistics processes of meat and meat products, reaching the consumer without breaking the cold chain brings various costs. When these conditions cannot be met, both labor, time, and product waste occur. For this reason, to increase the product's shelf life and minimize the errors in storage and logistics processes, the way of drying meat and meat products is evolving from its traditional form to its modernized form.

## **ABSTRACT (continued)**

The main purpose of this thesis is to create alternatives in the consumption of chicken breast meat with high protein value, to increase its shelf life, and to prevent waste in storage logistics processes. It was intended to be a chip-like snack that could be used both in powder and cube form and as a powder.

In addition to traditional drying methods, it was planned to dry chicken breast meat in different drying machines by applying alternative pre-treatments. To prevent sticking, blackening, burning, etc. that occur industrially in air dryers, the drying process of chicken breast meat was carried out with a microwave and fluidized bed. While drying in these dryers, the applicability and efficiency of scalding and flour coating pretreatments in the processes were taken into consideration based on literature research.

Moisture values were measured by taking chicken breast meat from various brands available in the market. No significant difference was found due to changes in slaughter times, slaughter conditions; ration characteristics, storage and logistics time. While determining the pre-treatments before drying, boiling in water and dry coating with flour were preferred as pre-treatment in order to reduce the microbial load of chicken breast meat cut into 1 cm<sup>3</sup> pieces, reduce the drying time and fluidize in the fluid bed. The effects of these pre-treatments on the decrease in moisture value and color values were examined. Microwave and fluidized bed drying methods were preferred because they have different heat transfer techniques and can be used industrially at high capacities. Humidity values are aimed to decrease below 10% in order to reduce bacterial risk and increase shelf life.

In the drying trials carried out with the designed fluidized bed dryer, boiled chicken breast and flour-coated and boiled chicken breast products decreased below 10% moisture value after 3 hours of drying, while flour-coated raw chicken breast products also in the 4 hour drying trial decreased below %10 moisture. Compared to microwave drying, higher L values were achieved in the fluidized bed, that is, lighter colors. In the experiments carried out with a microwave power of 300 W, the moisture values of boiled chicken breast and flour-coated boiled chicken breast products for 30 minutes decreased below 10%, while the L color values

## **ABSTRACT (continued)**

were lower than the fluidized bed, that is, darker colors were achieved. While 300 W and 40 min gave the optimum humidity values for raw chicken breast L was found to be lower than the color values, burning and browning were detected. While raw chicken 300 W 40 min gave the optimum humidity values, color values L were found to be lower, burning and browning were detected.

As a result, the most suitable results in 2450 MHz microwave drying belong to chicken meat that was first boiled and then coated with flour in the study performed at 300 W for 30 minutes. The product has a moisture value of 5.432% and color values (L: 64.06; a: 2.3; b: 18.39). In the drying process carried out with a fluidized bed dryer with an air speed of 12.07 m/s and an interior temperature of 75 °C, the most appropriate values belong to the chicken meat that was first boiled and then coated with flour after 4 hours. The product has a moisture content of 2.70% and color values of (L: 69.3; a: 3.2; b: 20.7). In fluidized bed drying processes, products with lighter colors and lower moisture values were obtained.

**Keywords:** Chicken breast meat, Drying, Microwave, Fluidized Bed

**Science Code:** 625.04.00.



## TEŞEKKÜR

Öncelikle sevgili eőim Burak Buęra KÜÇÜKKAYA' ya her zaman yanımda olduğu için bu süreç boyunca destekleri ve anlayıőı için Őükranlarımı sunarım.

Sayın danıőmanım Prof. Dr. Adnan TOPUZ 'a seneler geçmesine rağmen bu tezde beni desteklediği için baőta teőekkürlerimi sunarım. Teknik destekleriyle yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Mahmut ŞEKER ve Arő. Gör. Esra BOSTANCI SELBEŐ'e teşekkür ederim.

Canım annem Sevgil Emine ARSLAN ile canım babam Őerafettin ARSLAN'a da hayat boyu desteklerini sevgilerini eksik etmedikleri ve tez boyunca merak ve neőelerini benimle paylaőtıkları için, abim Eray ARSLAN'a ve tez sürecimde akıl danıőtıęım sevgili eőim Dr. Seval ARSLAN'a can-ı gönülden teőekkürü borç bilirim.



## İÇİNDEKİLER

|   | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| KABUL: .....                                    | ii           |
| ÖZET.....                                       | iii          |
| ABSTRACT .....                                  | vii          |
| TEŞEKKÜR .....                                  | xi           |
| İÇİNDEKİLER.....                                | xiii         |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                            | xviii        |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                         | xxi          |
| EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ.....                      | xxiii        |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....             | xxv          |
| <br>  |              |
| BÖLÜM 1 GİRİŞ .....                             | 1            |
| <br>  |              |
| 1.1 LİTERATÜR TARAMASI.....                     | 1            |
| 1.2 ÇALIŞMA KAPSAMI.....                        | 3            |
| 1.3 ÇALIŞMA İÇERİĞİ .....                       | 3            |
| <br>  |              |
| BÖLÜM 2 KURUTMA .....                           | 5            |
| <br>  |              |
| 2.1 KURUTMANIN TEMEL PRENSİBİ .....             | 5            |
| 2.1.1 Kurutmada Dikkat Edilecek Hususlar.....   | 5            |
| 2.2 KURUTMADA TEMEL İŞLEMLER .....              | 7            |
| 2.2.1 Kurutmada Isı ve Kütle Transferi.....     | 7            |
| 2.2.2 Isı ve Kütle Aktarımının Özellikleri..... | 8            |
| 2.3 SORPSİYON İZOTERMİ VE SU AKTİVİTESİ.....    | 11           |
| 2.4 KURUTMA HIZI.....                           | 14           |
| 2.4.1 Sabit ve Azalan Kurutma Hızı .....        | 14           |
| 2.4.2 Kurutma Hızına Etki Eden Faktörler .....  | 18           |

## İÇİNDEKİLER (deam ediyor)

|  | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| 2.5 KURUTUCU TÜRLERİ.....  | 18           |
| 2.6 AKIŞKAN YATAK SİSTEMLERİ.....  | 20           |
| 2.6.1 Akışkan Yatak Sistemlerne Giriş .....                                    | 20           |
| 2.6.2 Akışkan Yatak Kurutma Sisteminde Akışkanlaşma Evreleri .....             | 21           |
| 2.6.3 Akışkan Yatak Kurutma Sisteminde Kütle ve Isı Transferi.....             | 23           |
| 2.6.4 Akışkan Yatak Kurutma Sistemi Uygulanabilecek Materyal Özellikleri ..... | 24           |
| 2.6.5 Akışkan Yatak Sistemlerinin Diğer Endüstriyel Alanlarda Kullanımı .....  | 25           |
| 2.6.6 Akışkan Yataklı Kurutucu Türleri.....                                    | 27           |
| 2.6.6.1 Geleneksel Akışkan Yatak Kurutma Modelleri .....                       | 27           |
| 2.6.6.2 Modifiye Akışkan Yatak Kurutma Modelleri .....                         | 30           |
| <b>BÖLÜM 3 MİKRODALGA ENERJİ SİSTEMLERİ.....</b>                               | <b>33</b>    |
| 3.1 MİKRODALGA ENERJİSİNE GİRİŞ .....  | 33           |
| 3.1.1 Mikrodalga Uygulama Alanları .....                                       | 33           |
| 3.1.2 Mikrodalga Kurutma İlişkisi .....  | 34           |
| 3.2 MİKRODALGA TEKNOLOJİSİ .....   | 34           |
| 3.2.1 Mikrodalga Çalışma Prensipleri .....                                     | 36           |
| 3.2.1.1 İyonik Polarizasyon.....   | 36           |
| 3.2.1.2 Dipol Rotasyon.....  | 37           |
| 3.2.2 Manyetik Enerjinin Isıya Dönüşmesi .....                                 | 37           |
| 3.2.3 Mikrodalgada Isıya Etki Eden Faktörler .....                             | 38           |
| 3.2.3.1 Frekans .....  | 38           |
| 3.2.3.2 Dielektrik Özellik.....  | 38           |
| 3.2.3.3 Etki Derinliği.....  | 40           |
| 3.2.4 Mikrodalga Üretici ve Çalışma İlkeleri .....                             | 41           |

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

|  | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| BÖLÜM 4 TAVUK ETİNİN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ.....     | 45           |
| 4.1 BESLENME AÇISINDAN TAVUK ÜRÜNLERİ.....                     | 45           |
| 4.2 TAVUK ETİ KAS DOKUSU HAKKINDA GENEL BİLGİ.....             | 48           |
| <br>   |              |
| BÖLÜM 5 MATERYAL VE YÖNTEM.....                                | 49           |
| 5.1 MATERYAL.....  | 49           |
| 5.1.1 Tavuk Eti ve Ön İşlem Uygulamaları ve Hazırlanması ..... | 50           |
| 5.2 YÖNTEM.....  | 55           |
| 5.2.1 Kullanılan Ölçü Aletleri .....                           | 55           |
| 5.2.2 Akışkan Yatak Kurutma Deney Düzenegi .....               | 56           |
| 5.2.3 Mikrodalga Kurutma Deneylei .....                        | 69           |
| 5.3 ENERJİ TÜKETİM DEĞERLERİ .....                             | 87           |
| 5.3.1 Mikrodalga Kurutma Enerji Tüketim Değerleri.....         | 87           |
| 5.3.2 Akışkan Yatak Kurutma Enerji Tüketim Değerleri .....     | 88           |
| 5.4 DENEYSEL HATA VE SÜREKSİZLİK ANALİZİ.....                  | 90           |
| <br>   |              |
| BÖLÜM 6 SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....                            | 95           |
| <br>   |              |
| KAYNAKLAR.....   | 97           |
| EK AÇIKLAMALAR.....  | 101          |
| ÖZGEÇMİŞ .....   | 103          |



## ŞEKİLLER DİZİNİ

| <u>No</u>   | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| Şekil 2.1 Termal İletkenlik katsayısı ( $q$ ), kesit alanı ( $A$ ).....   | 7            |
| Şekil 2.2 Konveksiyon Hücreleri. ....   | 8            |
| Şekil 2.3 Elektromanyetik Spektrum. ....  | 8            |
| Şekil 2.4 Genel Sorpsiyon İzotermi .....  | 12           |
| Şekil 2.5 Histeresis Grafiği .....  | 13           |
| Şekil 2.6 Kurutma hızının kurutma süresi ile değişimi.....  | 14           |
| Şekil 2.7 Kurutma Hızı Zaman Değişimi.....  | 15           |
| Şekil 2.8 Kurutma parametreleri ve sıcaklık eğrisi .....  | 20           |
| Şekil 2.9 Gaz-Katı Akışkan yatak içinde oluşan akışkanlaşma rejimleri .....   | 22           |
| Şekil 2.10 Tipik akışkan yataklı kurutucu.....  | 27           |
| Şekil 2.11 Kesikli akışkan yataklı kurutucu .....   | 28           |
| Şekil 2.12 Yarı kesikli akışkan yataklı kurutucu.....   | 28           |
| Şekil 2.13 Tam karışımli sürekli akışkan yatak .....  | 29           |
| Şekil 2.14 Piston akımlı akışkan yataklı kurutucular a) düz yollu b) geri yollu .....   | 29           |
| Şekil 2.15 Modifiye kullanılan akışkan yataklı kurutucular .....  | 31           |
| Şekil 3.1 Elektromanyetik dalgaların şematik gösterimi .....  | 35           |
| Şekil 3.2 Elektromanyetik spektrumda mikrodalgalar .....  | 35           |
| Şekil 3.3 Kayıp Tanjantı.....   | 40           |
| Şekil 3.4 Materyale uygulanan elektrik alan ve polarizasyon arasındaki faz farkı.....   | 40           |
| Şekil 3.5 Magnetronun ve iç yapısı, katot anot parçaları .....  | 41           |
| Şekil 3.6 (a) Mikrodalga fırının çalışma şekli; (b) Magnetronun iç yapısı .....   | 42           |
| Şekil 3.7 Magnetron iç yapısı, (Anten, anten contası, soğutma kanatları, RX1 terazisi, kablo terminali, magnetron kutusu, OHM ölçeği) ..... | 42           |
| Şekil 3.8 Magnetron iç yapısı (a) Anot kanatları ve rezonatör boşluğu;(b) İndüktans .....   | 43           |
| Şekil 3.9 (a) Magnetron anot yapısı ve mıknatıs konumu; (b) Dönüştürücünün yapı şeması .  | 43           |
| Şekil 3.10 (a) (Lorentz yasası), manyetik alanın etkisiyle spiral yol; (b)İplikli tekerlek modeli; (c) Anten.....                           | 43           |

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

| <u>No</u>  | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| Şekil 5.1 Piliç göğüs bonfile (Piliç Bonfile, piliç filetonun ortadan ikiye bölünmesi ve küçük göğüs loblarının alınması ile elde edilir.) ..... | 49           |
| Şekil 5.2 Tavuk göğüs eti 1*1*1 cm parçalara ayrılmış ve deneme çalışmaları görseli.....   | 50           |
| Şekil 5.3 Tasarım optimizasyonu algoritması. ....  | 54           |
| Şekil 5.4 Proses uygulama şeması.....  | 55           |
| Şekil 5.5 Ölçme aletleri (a): Multimetre; (b): Anemometre; (c): Nem tayin cihazı (d): Nem sıcaklık ölçer. ....                                   | 56           |
| Şekil 5.6 (a) inverter; (b) fan; (c) elektrik motoru; (d) serpantinli rezistans. ....  | 57           |
| Şekil 5.7 (a) Kullanılan akışkan yatak mekanizması.....  | 57           |
| Şekil 5.8 (b) Kullanılan akışkan yatak mekanizması. ....   | 58           |
| Şekil 5.9 Boş akışkan yatağa ait sıcaklık nem değerleri. ....  | 58           |
| Şekil 5.10 Termal kamera ile çalışan durumdaki akışkan yatağın ısı görüntüsü. ....   | 59           |
| Şekil 5.11 Akışkan yatakta yapılan kurutma işlemi süre nem verileri grafiği. ....  | 61           |
| Şekil 5.12 Akışkan yatakta 1-2-3- 4 saat süre ile yapılan kurutma işlemi nem verilerinin SPSS programındaki veri grafiği. ....                   | 62           |
| Şekil 5.13 Akışkan yatakta kurutulan unlanmış çiğ tavukgöğsü görselleri. ....  | 66           |
| Şekil 5.14 Akışkan yatakta kurutulan haşlanmış tavukgöğsü görselleri. ....   | 67           |
| Şekil 5.15 Akışkan yatakta kurutulan haşlanmış unlanmış tavukgöğsü görselleri. ....  | 68           |
| Şekil 5.16 Mikrodalga fırın ve yapılan deneme örneği. ....   | 69           |
| Şekil 5.17 Mikrodalga deneyleri termal kamera görüntüleri ve sıcaklık verileri.....  | 69           |
| Şekil 5.18 Mikrodalga 300W gücü ile yapılan kurutma işlemi süre nem verileri grafiği.....  | 72           |
| Şekil 5.19 2450 MHz 300W mikrodalga iel 20-30-40 dakika sürelerindeki SPSS programı nem verileri grafikleri. ....                                | 73           |
| Şekil 5.20 Mikrodalga 450 W gücü ile yapılan kurutma deneyleri nem ve süre değerleri.....  | 76           |
| Şekil 5.21 450W mikrodalga iel 20-30 dakika sürelerindeki SPSS programına aktarılan nem veri grafikleri. ....                                    | 77           |
| Şekil 5.22 Mikrodalga 300 W ile kurutulan çiğ tavuk eti ürün görselleri.....   | 80           |
| Şekil 5.23 Mikrodalga 300 W ile kurutulan unlanmış çiğ tavuk eti ürün görselleri .....   | 81           |
| Şekil 5.24 Mikrodalga 300W ile kurutulan haşlanmış tavuk eti ürün görselleri.....  | 82           |
| Şekil 5.25 Mikrodalga 300W ile kurutulan unlanmış haşlanmış tavuk eti ürün görselleri.....   | 83           |
| Şekil 5.26 Mikrodalga 450W ile kurutulan çiğ tavuk eti ürün görselleri.....  | 84           |
| Şekil 5.27 Mikrodalga 450W ile kurutulan unlanmış çiğ tavuk eti ürün görselleri. ....  | 85           |

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

| <u>No</u>  | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| Şekil 5.28 Mikrodalga 450W ile kurutulan haşlanmış tavuk eti ürün görselleri.....  | 86           |
| Şekil 5.29 Mikrodalga 450W ile kurutulan unlanmış haşlanmış tavuk eti ürün görselleri. ....  | 87           |
| Şekil 5.30 Mikrodalga kurutucu 300 W 450 W deney sürecindeki enerji tüketim grafiği. ....  | 88           |
| Şekil 5.31 1,5 kW motor gücü ile çalışan akışkan yataklı kurutucu enerji tüketim grafiği (kWh). 89                                   |              |
| Şekil 5.32 Mikrodalga 300 W 30 dk ve Akışkan yataklı kurutucu 4 rezistans 4 saatlik optimum kurutmaların enerji karşılaştırması..... | 89           |
| Şekil A.1 Psikometrik Diyagram. ....   | 101          |





## ÇİZELGELER DİZİNİ

| <u>No</u>   | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| Çizelge 2.1 Çeşitli kurutma hızı modelleri için kuruma süresi .....                                   | 17           |
| Çizelge 4.1 Tüketime sunulan farklı hayvan etlerinin pişirilmiş bileşimi kalori değerleri.....        | 46           |
| Çizelge 4.2 Farklı hayvanlara ait pişirilmiş et ürünleri amino asit bileşimi .....                    | 46           |
| Çizelge 4.3 Çiğ tavuk ürünlerinin besin değerleri.....  | 47           |
| Çizelge 4.4 Çiğ ve pişmiş tavuk ürünleri vitamin içeriği.....   | 47           |
| Çizelge 4.5 Çiğ ve Pişmiş Tavuk Eti mineral madde miktarları .....                                    | 47           |
| Çizelge 4.6 Kanatlı etleri yağ asitleri kompozisyonu .....  | 48           |
| Çizelge 5.1 Uygulama grupları tablosu.....  | 51           |
| Çizelge 5.2 Et kurutmada kullanılan farklı yöntemler ve marinasyon, kaplama işlemlerine örnekler..... | 52           |
| Çizelge 5.3 Farklı markalara ait tavuk göğüs etlerinin nem değerleri. ....                            | 53           |
| Çizelge 5.4 Akışkan yatak kurutma testi 75 °C 1 saat nem değerleri. ....                              | 59           |
| Çizelge 5.5 Akışkan yatak kurutma testi 75 °C 2 saat nem değerleri. ....                              | 60           |
| Çizelge 5.6 Akışkan yatak kurutma testi 75 °C 3 saat nem değerleri. ....                              | 60           |
| Çizelge 5.7 Akışkan yatak kurutma testi 75 °C 4 saat nem değerleri. ....                              | 60           |
| Çizelge 5.8 Akışkan yatak kurutma testi 75 °C 1 saat renk ölçüm değerleri. ....                       | 64           |
| Çizelge 5.9 Akışkan yatak kurutma testi 75 °C 2 saat renk ölçüm değerleri. ....                       | 64           |
| Çizelge 5.10 Akışkan yatak kurutma testi 75 °C 3 saat renk ölçüm değerleri. ....                      | 64           |
| Çizelge 5.11 Akışkan yatak kurutma testi 75 °C 4 saat renk ölçüm değerleri. ....                      | 64           |
| Çizelge 5.12 Tavuk göğüs eti mikrodalga fırın kurutma ürün merkez sıcaklıkları.....                   | 70           |
| Çizelge 5.13 Mikrodalga kurutma testleri 300W 20 dakika. ....   | 70           |
| Çizelge 5.14 Mikrodalga kurutma testleri 300W 30 dakika. ....   | 70           |
| Çizelge 5.15 Mikrodalga kurutma testleri 300W 40 dakika .....   | 71           |
| Çizelge 5.16 Mikrodalga kurutma testleri 450W 20 dakika. ....   | 75           |
| Çizelge 5.17 Mikrodalga kurutma testleri 450W 30 dakika. ....   | 75           |
| Çizelge 5.18 Mikrodalga kurutma testleri 300W 20 dakika renk ölçüm değerleri.....                     | 78           |
| Çizelge 5.19 Mikrodalga kurutma testleri 300W 30 dakika renk ölçüm değerleri.....                     | 78           |

## ÇİZELGELER DİZİNİ (devam ediyor)

| <u>No</u>   | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| Çizelge 5.20 Mikrodalga kurutma testleri 300W 40 dakika renk ölçüm değerleri. ....  | 78           |
| Çizelge 5.21 Mikrodalga kurutma testleri 450W 20 dakika renk ölçüm değerleri. ....  | 79           |
| Çizelge 5.22 Mikrodalga kurutma testleri 450W 30 dakika renk ölçüm değerleri. ....  | 79           |
| Çizelge 5.23 Mikrodalga kurutucu 300 W 450 W deney sürecindeki enerji tüketim verileri. 87  |              |
| Çizelge 5.24 1.5 kW Motor gücü ile çalışan akışkan yataklı kurutucu enerji tüketim verileri 88  |              |
| Çizelge 5.25 Mikrodalga 300 W 30 dk ve akışkan yataklı kurutucu 4 rezistans 4 saatlik optimum kurutmaların enerji karşılaştırması. .... | 90           |



## EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ

Sayfa

EK A: Psiometrik Diagram ..... 101





## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

- $V_{kh}$  : Kuru havanın özgül hacmi ( $m^3/kg$ )  
 $R_h$  : Kuru havanın gaz sabiti ( $287,055 m^3.Pa/kg.°C$ )  
 $T_A$  : Kuru havanın mutlak sıcaklığı ( $°C$ )  
 $P_{kh}$  : Kuru havanın basıncı ( $kPa$ )  
 $C_{kh}$  : Kuru havanın özgül ısısı ( $J/kg°C$ )  
 $H_{kh}$  : Kuru havanın entalpisi ( $kJ/kg$ )  
 $T_h$  : Hava sıcaklığı ( $°C$ )  
 $T_0$  : Referans sıcaklığı ( $0 °C$ )  
 $C_{pnh}$  : Nemli havanın özgül ısısı ( $J/kg°C$ )  
 $X$  : mutlak nem ( $kg su / kg kh$ )  
 $V_{nh}$  : Nemli havanın özgül hacmi ( $m^3/kg$ )  
 $V_{nk}$  : Kuru havanın özgül hacmi ( $m^3/kg$ )  
 $T_h$  : Nemli havanın sıcaklığı ( $°C$ )  
 $H_{nh}$  : Nemli havanın entalpisi ( $kJ/kg$ )  
 $C_{ph}$  : Kuru havanın özgül ısısı ( $1.005 kJ/ kg kh °C$ )  
 $C_{pb}$  : Su buharının özgül ısısı ( $1.88 kJ/ kg kh °C$ )  
 $T$  : havanın sıcaklığı ( $°C$ )  
 $q$  : ısı enerjisi akış hızı ( $W$ )  
 $H_B$  : Havanın ısıtıldıktan sonraki entalpisi ( $kJ / kg kh$ )  
 $H_A$  : Havanın ısıtılmadan önceki entalpisi ( $kJ / kg kh$ )  
 $M$  : Havanın kütle akış hızı ( $kg kh/s$ )  
 $a_w$  : Bağlı nem değeri (%)  
 $P_{sb}$  : Gıdanın su buharı basıncı ( $kg/m.s^2$ )

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

- $P_0$  : Aynı sıcaklıktaki saf suyun su buharı basıncı ( $\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}^2$ )
- $R_c$  : Sabit kurutma hızı ( $\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}$ )
- $h_c$  : Konvektif ısı transfer katsayısı ( $\text{W} / \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ )
- $T_h$  : Havanın kuru termometre sıcaklığı ( $^\circ\text{C}$ )
- $T_y$  : Havanın ıslak termometre sıcaklığı ( $^\circ\text{C}$ )
- $H_{Li}$  : Islak termometre sıcaklığında suyun buharlaşma gizli ısısı ( $\text{kJ} / \text{kg}$ )
- $\rho_k$  : Materyalin kuru madde yoğunluğu ( $\text{kg} / \text{m}^3$  yaş materyal)
- $L$  : Dilim kalınlığı (m)
- $G$  : Havanın kütle akış hızı ( $\text{kg} / \text{m}^2 \cdot \text{s}$ )
- $\rho$  : Havanın yoğunluğu ( $\text{kg} / \text{m}^3$ )
- $V$  : Havanın hızı ( $\text{m/s}$ )  $L_s$  = Tepsi kapasitesi (kg)
- $A$  : Alan ( $\text{m}^2$ )
- $R_c$  : Kurutma hızı (m/s)
- $X_1$  : Serbest nem miktarı (kg su/ kg km)
- $X_2$  : Materyalin son nem miktarı (kg su/ kg km)
- $X_c$  : Kritik nem düzeyi (%)
- $\Delta P$  : Basınç Düşümü, (Pa)
- $L$  : Akışkan Yatak Uzunluğu, (m)
- $U_m$  : Min. Akışkanlaştırma Hızı (m/s)
- $\rho_f$  : Havanın Özgül Ağırlığı ( $\text{kg/m}^3$ )
- $\mu_f$  : Havanın Viskozitesi ( $\text{N} \cdot \text{s/m}^2$ )
- $D_p$  : Parçacık Efektif Çapı (m)
- $\varepsilon$  : Akışkan Yatak Boşluk Oranı (Boyutsuz)
- $\Phi$  : Silindiriklik Oranı (Boyutsuz)
- $dQ / dt$  : Isı aktarımı ( $\text{kJ} / \text{s}$ )
- $h$  : Isı transfer katsayısı ( $\text{kJ} / \text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$ )
- $A$  : Kurutulan ürünün yüzey alanı ( $\text{m}^2$ )
- $T_a$  : Havanın sıcaklığı ( $^\circ\text{C}$ )
- $T_s$  : Havanın sıcaklığı ( $^\circ\text{C}$ )
- $dW/dt$  : Kurutma hızı (kg/s)
- $K_g$  : Kütle transfer katsayısı ( $\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}$ )
- $A$  : Kurutma yüzey alanı ( $\text{m}^2$ )

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

|           |  |
|-----------|--|
| $H_s$     | : Yüzeyin nemi (kg su/kg kuru hava)            |
| $H_a$     | : Havanın nemi (kg su/kg kuru hava)            |
| $\rho$    | : Hacimsel yük yoğunluğu ( C/ m <sup>3</sup> ) |
| $\vec{B}$ | : Manyetik akı şiddeti ( Wb/m <sup>2</sup> )   |
| $\vec{D}$ | : Elektrik akı yoğunluğu ( C/ m <sup>2</sup> ) |
| $\vec{E}$ | : Elektrik alan şiddeti ( V/m)                 |
| $\vec{H}$ | : Manyetik alan şiddeti ( A/ m)                |
| D         | : D değeri (dakika)                            |
| $\lambda$ | : Dalga boyu (m)                               |
| $U_c$     | : ışık hızı, (m/s)                             |
| f         | : mikrodalganın frekansı (Hz)                  |



## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

#### 1.1 LİTERATÜR TARAMASI

Halk sağlığı açısından önemli olan et ve et ürünleri su içeriğinin yüksek olması, besin içeriğinin yüksek olması nedeniyle mikrobiyolojik olarak bozulma riski taşımaktadır. Et dokusunda suyun çoğunluğu miyofibrillerin içinde ve arasında bulunur. Bu sebeple suyun uzaklaştırılması diğer ürünlere göre zorlaşır ve daha çok zaman gerekir, etin işleme süreci içinde etin bozulma riski de artmaktadır. Ürün içerisinde suyun sebep olduğu bu mikrobiyolojik fiziksel ve kimyasal değişimlerin önlenmesi ya da kontrol altına alınabilmesi için sağlığa uygun şartlar altında suyun uzaklaştırılması gerekmektedir.

Kurutma; ilaç, ahşap, gıda ve tarım gibi birçok endüstride geniş çaplı kullanılmaktadır. Bir ürün muhafaza yöntemi olarak da kullanılan kurutma işleminde ürüne uygun kurutma metodunu seçmek ürünün kalite özelliklerini koruyabilmesi ve depolama süresi açısından önemlidir.

Bir gıda maddesi olarak et ve et ürünleri, hayvansal proteinler ve temel amino asitler açısından beslenmede geniş yer almaktadır. Bu besin ihtiyacını karşılamak için et türevleri kolay ulaşılabilir ve tüketilebilir olmalıdır. Kesim sonrası etin besin değerini korumak için uygun koşullarda depolamak, soğuk zincirin bozulmadan sevkiyatını sağlamak ve tüketiciye ulaştırmak yüksek enerji maliyeti oluşturmakta, lojistik ve depolama giderlerini arttırmaktadır. Üreticinin bu maliyeti karşılayamaması ve soğuk lojistikte meydana gelen hatalar ve eksiklikler, ağırlığın ve hacmin oluşturduğu taşıma ve depolama problemi et ve et türevi ürünlerin bozulmasına sebep olmaktadır. Yüksek besin değerine sahip bu ürünlerin israfına ve ekonomik kayba yol açmaktadır (Ayan 2010).

Kurutma, genel olarak ürün içeriğindeki nemin kabul edilebilir bir seviyeye kadar buharlaştırılması ya da üründen ayrılması ile oluşur. Ürün ile hava arasında aynı anda kütle ve ısı transferi gerçekleşmektedir (Kaya vd. 2015).

Geleneksel kurutma yöntemi olarak güneş ışığı ile açık havada kurutma uygulanmaktadır. Bu yöntemde ısının yüzeyden merkeze hareketi sonucu kurutma işlemlerinde kabuk oluşumu ile ürün neminin içinde kalması sebebiyle etkili bir kurutma gerçekleştirilememektedir. Ayrıca mikrobiyal risklere açık olması ve ısının kontrol edilebilir olmaması, hacim ve yüzey ihtiyacının fazlalığı, uzun zaman gerektirmesi sebebiyle endüstriyel anlamda etkili bir kullanıma sahip olmamaktadır. (Erbay ve Küçükönder 2008).

Akışkan yatak sistemleri, kontrol edilebilen yüksek ısı aktarımı nedeniyle daha çok endüstriyel yanma işlemlerinde tercih edilmiştir. Daha sonra kurutma ihtiyacı olan diğer materyaller içinde kullanılabilir olduğu tespit edilerek bu amaçla araştırma ve deneyler yapılmıştır. Akışkanlaşma; katı veya sıvı küçük taneciklerin gaz ya da sıvı ile temas etmesiyle akışkan özelliklerine benzeyen özellikler kazanması işlemleridir (Topuz 2002).

Endüstriyel üretimde zaman ve enerji tasarrufu için birçok yöntem kombine ve destekleyici olarak kullanılmaktadır. Isının üniform dağılması ve düşük sıcaklık uygulamaları, sistemin az yer kaplaması ve kurulum maliyetinin az olması istenmektedir. Günümüzde endüstriyel alanda ve tıpta ileri teknoloji ürünleri, yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar yaygın olarak kullanılmaktadır. Mikrodalga gibi yüksek frekanslı elektromanyetik enerjilerin diğer enerji uygulamalarına göre zaman ve enerji tasarrufu sağlamakta, bu alandaki çalışma konuları ve uygulama prensiplerinin önemi artmaktadır. Mikrodalga ile kurutma işlemlerinde diğer konvansiyonel proseslere göre daha dinamik bir nem aktarımı gerçekleşmektedir (Yoğurtçu 2014).

Mikrodalga gibi yüksek frekanslı elektromanyetik enerjilerin diğer enerji uygulamalarına göre zaman ve enerji tasarrufu sağlamakta, bu alandaki çalışma konuları ve uygulama prensiplerinin önemi artmaktadır (Kuş 2016).

Elektromanyetik alan enerjisinin, ısıtma ve kurutmadaki avantajlarının yanında, yaygın kullanılan enerji sistemlerine göre zamandan ve enerjiden edilen tasarruf bu çalışmalara verilen önemi arttırmıştır. Yapılan araştırmalarda mikrodalga fırında pişirilen tavuk göğüs etinin, konvansiyonel fırın ve haşlama yöntemlerine göre pişirme kaybının daha az, verimin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir (Soyer, Kolsarıcı ve Candoğan 1999).

Kurutma işlemi ile madde içerisinde nem en aza düşürülür. Bakteri, küf, maya vb mikroorganizmaların gelişmesi için ihtiyaç duydukları nem seviyesinin altına düşürülerek koruma sağlanmaktadır. Besin değeri oransal olarak arttırılmış yani yoğunlaştırılmış ürünler oluşur. Hacimsel ve kütleli olarak depolama kazancı oluşur. Paketleme açısından kolaylık sağlar. Az ekipman ihtiyacı, işçilik ve lojistik giderleri endüstriyel maliyeti düşürmektedir.

Kurutulmuş et ürünleri direkt olarak tüketilmesinin yansıra bebek maması formüllerinde, hazır çorbalarda, atıştırılabilir ürünlerde ve toz haline getirilerek çeşni şeklinde kullanılabilir. Ayrıca kurutulmuş gıda ürünleri rehidrasyona tabi tutularak tüketilebilmektedir.

## **1.2 ÇALIŞMA KAPSAMI**

Tezin amacı, tavuk göğüs etinin farklı ön işlemlerden geçirilerek kurutulması için mikrodalga ve akışkan yatak kurutma proseslerinin ürünün nem ve renk değerlerine etkisi araştırılmıştır. Tavuk göğüs etinin mikrodalga ve akışkan yatak kurutma makinelerinde endüstriyel boyutlarda da işlenebilmesi için haşlama ve un ile kaplama ön işlemleri uygulanarak proseslerin uygulanabilir olması sağlamak ve ürün nem düşüşünü hızlandırarak enerji maliyetlerini düşürebileceği ön görülmüştür. Bu amaçla herhangi bir işlem uygulanmayan, ön unlama, ön haşlama ve hem haşlama hem unlama yapılan tavuk göğüs etleri mikrodalga fırın ile ve akışkan yatak ile belirli sürelerde kurutma yapılarak nem değerleri ve renk değerleri karşılaştırılmıştır. Et ve et ürünlerinin kurutulmasında endüstriyel makinelerin çeşitlerini arttırmakla birlikte, gıda israfını önlemek amacıyla piyada et ürünlerine sağlıklı bir alternatif oluşturması düşünülmüştür.

## **1.3 ÇALIŞMA İÇERİĞİ**

Bu çalışma altı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm literatür araştırması ve giriş kısmını oluştururken, ikinci kısım kurutma prensibi ve kurutucu makineleri ele almaktadır. Üçüncü bölüm mikrodalganın çalışma prensibi ve makine parçaları ile kullanım alanlarını içermektedir. Dördüncü bölümde tavuk etinin tüketim verileri ve besin değerleri ile fiziksel ve kimyasal yapısına yer verilmiştir. Beşinci bölüm deneylerin yapılışı ve ölçülen sonuçlar ile bunların SPSS programına ait istatistiksel analizleri, altıncı bölümde ise sonuçların karşılaştırılması ve değerlendirilmesi yer almaktadır.



## BÖLÜM 2

### KURUTMA

Genel itibarıyla katı, sıvı veya gaz olan materyalden içerisindeki nemin uzaklaştırılmasıdır. Materyal üzerine ısı verilerek içerisinde bulunan suyun faz değiştirilerek havaya transferi, uzaklaştırılması esas alınır. Kurutma işlemi ile materyal mikrobiyel olarak bakterilerin küf vb üreyemeyeceği su aktivitesine sahip olduğu için depolama ömrü uzatılmış olur. Su uzaklaştırıldığı için kütle ve hacim düşer. Ürün içeriğinin oransal olarak yoğunluğu artar. Endüstride, mukavemet özelliklerini sağlamak, şekil vermek, toz haline getirmek için gıda sanayinde mikrobiyolojik koruma, besin değeri artırma, sterilizasyonda, kimya, seramik, mobilya, ormancılık, inşaat sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

#### 2.1 KURUTMANIN TEMEL PRENSİBİ

Teknik olarak madde bünyesindeki nemin gaz akımı içinde buharlaştırılarak gaz fazına geçirilerek alınması, ısı enerjisi verilerek ya da dış basınç düşürülerek buhar fazına geçmesini sağlanmasıdır. Kurutmada ısı ve kütle transferi beraber sağlanmaktadır. Ürün içerisinde serbest halde bulunan su ilk önce ısı enerjisi uygulanarak hal değiştirmesi, daha sonra buharın yüzeye taşınması sağlanır. Ancak hücreye bağlı su kalacaktır. Nem % 90 lardan maximum % 20 lerin altına çekilmesi hedeflenir. Üründe istenilen nem değerine kadar düşürülerek proses tasarımı yapılabilir.

##### 2.1.1 Kurutmada Dikkat Edilecek Hususlar

Kurutma işlemi gerçekleşirken; ürün fiziksel ve kimyasal özellikleri, kullanılan kurutucunun fiziksel özellikleri, tercih edilen kurutma şeklinin mekanik özellikleri etkilemektedir.

- Ürün boyutları: ürünün ısıya maruz bırakılan kesit alanı, tanecik yapısında olması ya da tabaka halinde kurutulması, kesim ve yapı sebebiyle keskin köşelerinin bulunması kurutma esnasında hem ısı transferini hem de kurutma homojenliğini etkilemektedir.
- Ürün dokusu ve gözenek özelliği: delikli yapı mikron ya da santim boyutlu olabilir. Yüzeyde ya da derinde olabilir. Bu durum yüzey alanını etkilemekle birlikte ısı ve kütle transferi süreçlerini etkilemektedir.
- Kurutma süresi: ürün miktarı ve şekil yapısına ve kurutucu türüne bağlı olarak saniye/ay aralığında değişmektedir.
- Kurutucu kapasiteleri: 0,10 kg/h ve 100 t/h arasında değişmektedir. Endüstriyel kurutucular, ev tipi ve laboratuvar tipler olmak üzere çeşitlendirilebilir.
- Akış hızları: bantlı ve beslemeli kurutucularda ürünün akış hızı kurutmayı belirlerken hava kurutmalı sistemlerde hava akış hızı kurutma süresini belirlemektedir.
- Kurutucu basınçları: kurutma yüksek basınç veya düşük basınç altında gerçekleşebilir. Vakumlu kurutucularda ürün şekil ve tekstür özelliğine değişmektedir, PUF kurutucular ve özellikle kimyasal kurutucular için önemlidir.
- Kurutma sıcaklıkları: üçlü noktanın düşey ekseninde aşağısı ve yukarısı arasında değişir. Dondurarak kurutma ve sıcak hava ile kurutucularda dikkat edilmesi gerekir, ürünün renk, tat, doku özelliklerini belirlemekle birlikte, üründen nem çıkışını etkilemektedir, örneğin sıcaklığın yüksek uygulanması gıdalarda kabuk oluşumuna sebep olmakla birlikte uzaklaşan nem miktarını düşürmektedir.
- Kurutmanın sürekli, kesikli gerekliliği: uygulanan prosesin sürekli uygulanması ve kesikli bir şekilde uygulanması ürünün renk ve kabuk oluşumuna etkisi vardır.
- Kurutma esnasında ürün üzerinde büzüşme, kabuk oluşumu, kristalleşme, şişme olabilir. Yine ürünün renk, tekstür, koku özelliklerinde değişimler meydana gelir. Kurutma esnasında sıcaklıktan dolayı meydana gelebilecek biyokimyasal ve kimyasal reaksiyonlar bunlara sebep olmaktadır.

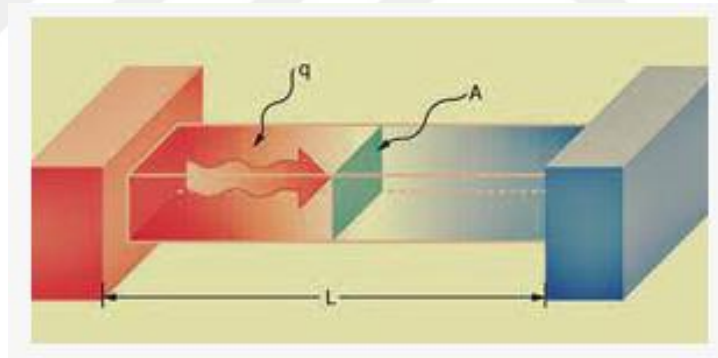
## 2.2 KURUTMADA TEMEL İŞLEMLER

Katı ürün kurutulurken ısı ve kütle transferi beraber meydana gelmektedir. Kurutucu olarak kullanılan hava (gaz) dan materyal içerisindeki sıvıya ısı transferi, katının merkez bölgelerinden yüzeye, yüzeyden havaya kütle transferi gerçekleşir. Bu işlemler gerçekleşirken; materyal bünyesindeki sıvının yüzeye hareketi için kılcallık etkisi, gözeneklilik, difüzyon gibi ürüne ait fiziksel özellikler, kurutucu türü, kurutmada kullanılan ısı kaynağı, kurutucu havanın hızı ve sıcaklığı gibi verilere dikkat edilir.

### 2.2.1 Kurutmada Isı ve Kütle Transferi

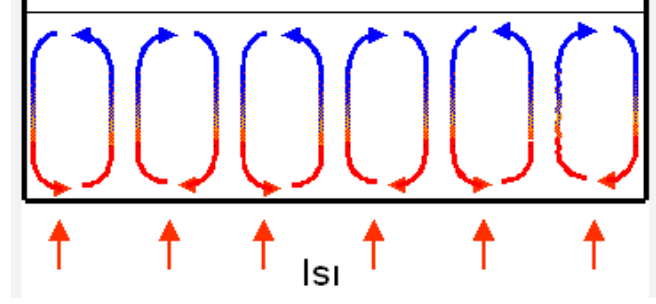
Isı transferi gerçekleşirken sıcaklık farkına bağlı olarak farklı üç yol ile gerçekleşir.

**Isı iletimi (kondüksiyon):** ürün ısı kaynağına bizzat temas ettirilerek yeterli ısı aktarımı ile nem uzaklaştırılır. Sıcaklık farkına bağlı olarak materyal katmanları içinde ısı geçişidir. Isı iletimi, materyalin termal iletkenlik özelliklerine ve materyal yoğunluğuna bağlı olarak değişir.



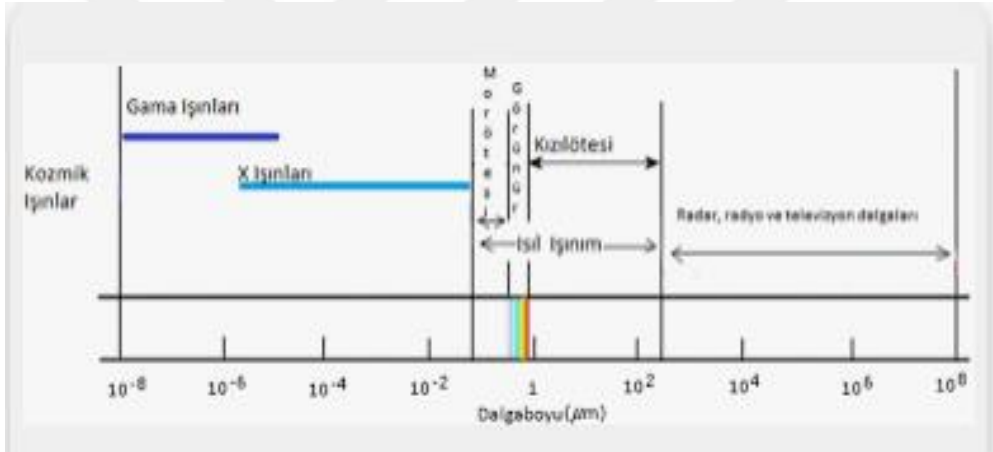
Şekil 2.1 Termal İletkenlik katsayısı ( $q$ ), kesit alanı ( $A$ ).

**Isı taşınımı (konveksiyon) :** gerekli ısı enerjisi genellikle bir akışkan (gaz veya sıvı ) ile ürüne taşınır ve ısı transferi sağlanır. Akışkan materyal yüzeyine temas etmesi ile ısı aktarımı sağlanır. Kurutma işlemlerinde, akışkanın sıcaklığı, nem miktarı ve akış hızına bağlı olarak ısı taşınım etkinliği değişiklik gösterir.



Şekil 2.2 Konveksiyon Hücreleri. (Wikimedia/Convection cell)

**Radyasyon (ışınım):** infrared ışınlarının materyale elektromanyetik dalgalar ve fotonlar vasıtasıyla oluşan ısı enerjisi sağlanır. Materyal yüzeyi ışıma yayan bir nesnenin ışımasını emer ve ısıyı bu şekilde emilim yoluyla iletir. Materyal yüzeyinin sıcaklığına, ışımanın dalga boyuna ve materyalin emilim özelliklerine bağlıdır.



Şekil 2.3 Elektromanyetik Spektrum. (Demirci E, 2010)

### 2.2.2 Isı ve Kütle Aktarımının Özellikleri

Isıtılan ortamdan ürün yüzeyine, ürünün kendi katmanları arasında, ürünün yağlı ve yapışkan yüzeyleri arası, mikrodalga etkisiyle gelişen hücre titreşiminin etrafına yaydığı ısı olmak üzere transferleri gerçekleşir.

Kurutmanın gerçekleştiği yüzeyin fiziksel özellikleri;

- Kurutma ortamının basıncı ve sıcaklığı,
- Kurutucu havanın bileşimi,
- Kurutma yüzeyine ve kesite etki eden kurutucu havanın hızı.

Katı- Sıvı ortamın fiziksel özellikleri

- Katı-sıvı yüzey gerilimi,
- Yağlı ve yapışkan tabakanın dokular arası kalınlığı,
- Yüzey alanının sıvı hacmine oranı

Katının fiziksel özelliği

- Tanecik boyutu ve katı taneciğin efektif alanı
- Katı gözenekliliği
- Dielektrik aktivite

Kütle ve ısı transferi denklileri incelenirken (Incropera ve Dewitt 2005);

**Kuru hava için kütle korunumu;**

$$\sum \dot{m}_{hg} = \sum \dot{m}_{hc} \quad (2.1)$$

**Nem için kütle korunumu;**

$$\sum (\dot{m}_{ng} + \dot{m}_{nm}) = \sum \dot{m}_{nc} \quad (2.2)$$

Eşitliklerde  $\dot{m}$  kütleli debi, g, giriş; ç, çıkış; n,nem; m, materyal olarak ifade edilmektedir.

**Enejinin korunumu;**

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_{\xi} \left( \frac{V_{\xi}^2}{2} + h_{\xi} \right) - \sum \dot{m}_{g} \left( \frac{V_g^2}{2} + h_g \right) \quad (2.3)$$

$\dot{W}$  birim zamandaki iş (kW),  $\dot{Q}$  ısı gücü (kJ/s), h entalpi (kJ/kg), V Akışkan hızı (m/s)

**Kurutma havasının bağıl nemi;**

$$\phi = \frac{wP}{(0.622 + w) P_{dbT}} \quad (2.4)$$

### **Kuru havanın entalpisi;**

$$h = c_{p_{kh}} T + w h_{dbT} \quad (2.5)$$

h: kuru havanın entalpisi

$c_{p_{kh}}$ : kuru havanın özgül ısısı

T: kuru havanın sıcaklığı

w: havanın özgül nemi

$h_{dbT}$ : doymuş buharın entalpisi

P: atmosfer basıncı

$P_{dbT}$ : doymuş buhar basıncı

$\phi$ : kuru havanın bağıl nemi

Psikrometrik hesaplamalar için hava entalpisi, 1 atm basınç altında ve 0 °C' de 1 kg kuru havanın entalpisini sıfır olarak alınarak referans nokta belirlenmiş olmaktadır. Özgül ısı; 1 kg kuru hava ve beraberinde bulunan su buharından oluşan karışımın sıcaklığını 1 °C yükseltmek için gerekli ısı miktarı olarak tanımlanır.

### **Kurutmada Havanın Isı Taşınım Katsayısı**

Kurutma havası, zorlanmış taşınım için Reynold ve Prandtl sayısının fonksiyonu olarak Nusselt Sayısı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır (Incropera Dewitt, Bergman and Lavine 2005);

$$\overline{Nu} = \frac{\overline{h}L}{k_f} = f(Re_L, Pr) \quad (2.6)$$

### **Havanın nem atma sürecindeki kullanılan ısı miktarı**

$$\dot{Q}_g = \dot{m}_g (h_g - h_\zeta) \quad (2.7)$$

$\dot{Q}_g$  : atılan ısı miktarı (kJ/s)

$\dot{m}$ : kütleli debi (kg/s)

$h_g$  : giren hava entalpisi (kJ/kg)

$h_\zeta$ : çıkan hava entalpisi (kJ/kg)

## 2.3 SORPSİYON İZOTERMİ VE SU AKTİVİTESİ

Ürün içerisindeki nem atmosfer ile denge haline gelir, belirli bir derece sıcaklıkta bağıl nem değeri farklı olan ortamlarda tutularak dengeye ulaşan materyalin nem içeriği ile ortamda bulunan havanın bağıl nemi arasındaki ilişkiyi gösteren grafiklere sorpsiyon izotermi grafikleri adı verilir. Her gıda maddesinin dengeye ulaştığı nem değeri farklıdır. Sorpsiyon izotermi eğrileri havanın bağıl neminin (%) gıdadaki nem değerine (%) oranı şeklindedir.

$$a_w = \frac{P_{sb}}{P_0} \quad (2.8)$$

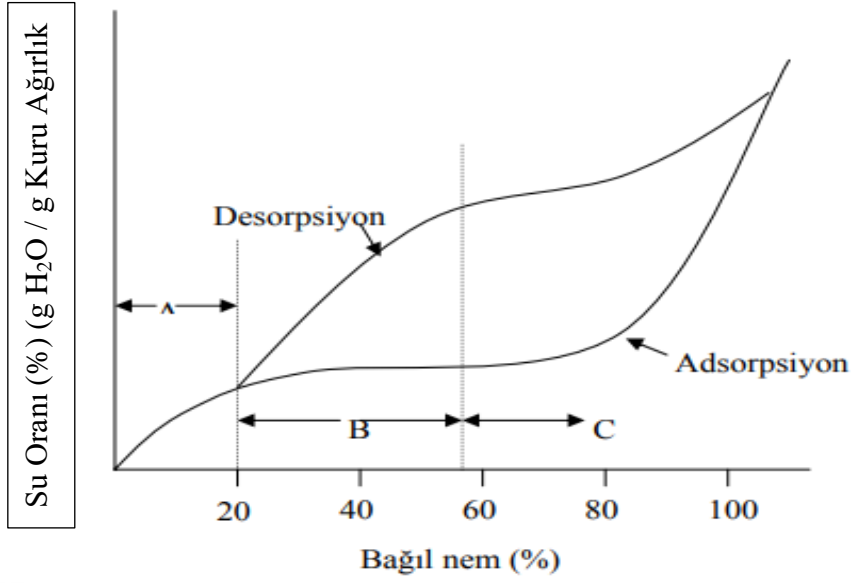
$a_w$ : su aktivitesi değeri

$P_{sb}$ : Gıdanın su buharı basıncı

$P_0$ : Aynı sıcaklıktaki saf suyun su buharı basıncı

Su aktivitesi değeri; denge bağıl nemin 100'e oranı şeklinde tanımlanır. 0-1 arasında değişir.

- Adsorpsiyon izotermi; kuru materyalin nem kazanarak dengeye ulaşmasıyla elde edilen izotermidir.
- Desorpsiyon izotermi; nemli materyalin nem kaybederek dengeye ulaşması sonucu elde edilen izotermidir.
- Su aktivitesi sabit sıcaklıkta çözelti ve çözünenin buhar basınçları oranı su aktivitesi olarak tanımlanır.



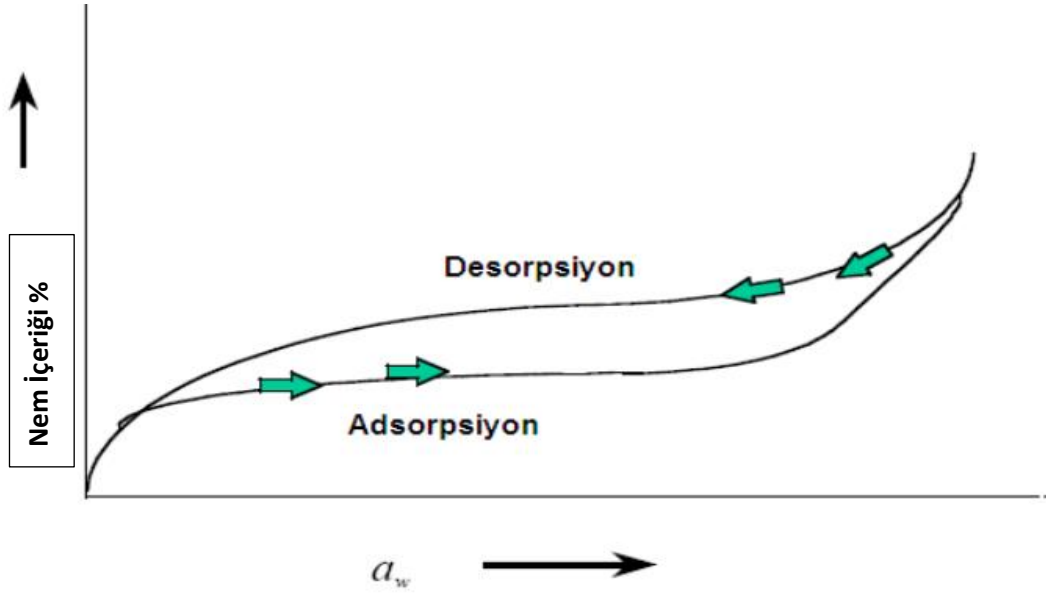
Şekil 2.4 Genel Sorpsiyon İzotermi ( Koroş 2007)

A Bölgesi; su monomoleküller bir katman olarak 0-0.25  $a_w$  aralığındadır. -40 °C de dahi donmaz.

B Bölgesi; multimoleküler, çoklu katman olarak 0.25-0.60  $a_w$  aralığındadır. -40 °C ye kadar donmaz.

C Bölgesi; dokular arası kılcallarda ve gözeneklerde bulunan sudur. Serbest su olarak nitelendirilebilir. Nem oranı yüksek gıdalardaki suyun %95 fazlasını oluşturur. 0.6 – 0,8  $a_w$  aralığındadır.(ERBAŞ 1998)

Histeresis; benzer su aktivitesi miktarı desorpsiyon ile ulaşılan denge nem değeri, adsorpsiyon ile elde edilene göre daha yüksektir. Desorpsiyon ve adsorpsiyon eğrilerinin çakışmamasına histeresis denir.



Şekil 2.5 Histeresis Grafiği (Rezende 2019).

Her materyalin ya da gıda ürünün kendine has sorpsiyon izotermi vardır ve meteryal içerisindeki nemin bağlanma özellikleri bu grafiklerden belirlenir.

Gıdaların sorpsiyon izotermi materyalin bulunduğu atmosferin neminin değişmesine karşın aynı su aktivitesi değerinde farklı nem değerleri gösterebilirler.

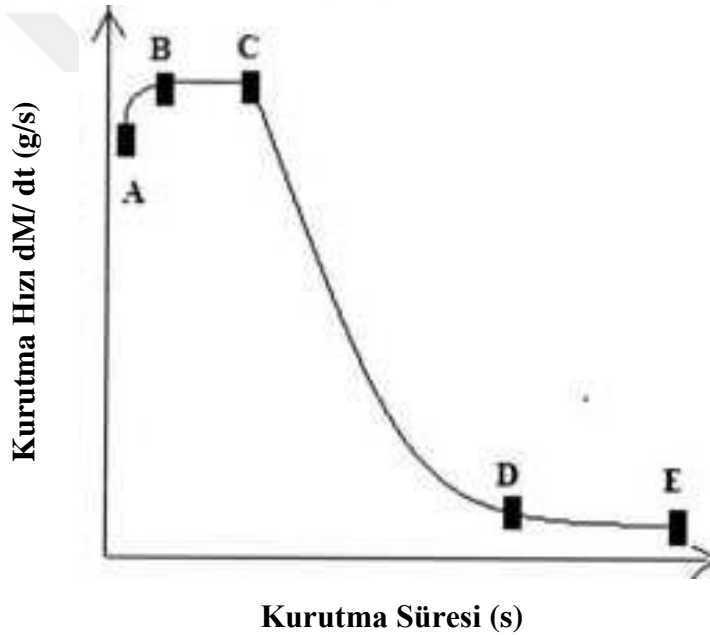
Sorpsiyon izotermi şu sebeplerden dolayı önemlidir; depolama koşullarının belirlenmesi, kuru ingrediyenlerin formüllere eklenmesinin belirlenmesinde, raf ömrü ve ambalaj seçimi. Özellikle su aktivitesi düşük gıdaların ambalajlanmasında önemlidir.

Su aktivitesine bağlı olarak gıdalarda bozulmaya neden olan etmenler; lipit oksidasyonu, enzimatik olmayan esmerleşme, küf mantarlarının oluşumu, maya oluşumu, bakteri oluşumu, enzim aktivasyonu şeklinde sıralanabilir (Pala ve Saygı 1983).

## 2.4 KURUTMA HIZI

Birim zamanda birim alandan uzaklaştırılan nem miktarı olarak tanımlanır. Materyalin içerdiği nem kurutma boyunca azalır belli bir noktadan sonra sabitlenir. Kurutma hızı; başlangıçta yüksek iken zamanla azalmaktadır. Kurutma hızı materyalin fiziksel özelliklerine göre değişebilir. Kurutma hızı; ürünün şekli, kalınlığı, yağlılık vb içerik kompozisyonu, miktarı; kurutucu havanın sıcaklığı ve hızı, nem oranı, mikrodalga kurutucu ekipmanın dalga boyuna bağlı olarak değişmektedir.

### 2.4.1 Sabit ve Azalan Kurutma Hızı



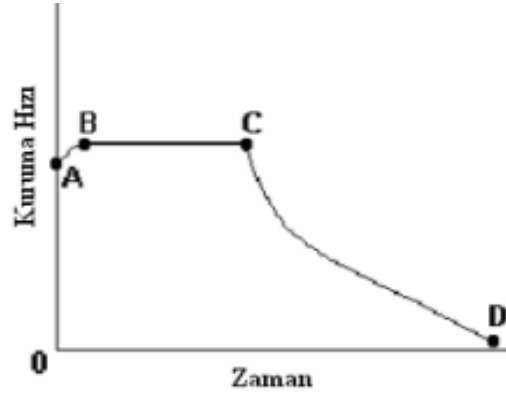
Şekil 2.6 Kurutma hızının kurutma süresi ile değişimi (Kutlu 2014).

A-B aralığı; kurutmada dengenin olduğu bölgedir. Kurutma hızı başlangıçta çok az artar, kurutmada bu bölge hesaplanmaz.

B-C aralığında; sabit hızda kurumanın gerçekleştiği bölgedir. Sabit kuruma bölgesi çok kısa olmakta ve çoğu gıda ürününde görülmemektedir.

C-D aralığında; kurutma işleminin azaldığı bölge ve kurutmanın gerçekleştiği bölgedir. İlk kuru bölge yani kritik nokta bu süreçte görülmektedir.

D noktasında; ürün yüzeyi tamamen kurudur, ikinci azalan hız periyodu başlar. Buharlaşma yüzeyden merkeze doğru çekilir. Buharlaşma katıdan sıvı bölgelere aktarılır.



Şekil 2.7 Kurutma Hızı Zaman Değişimi (Babayiğit 2010).

### Kurutma hızının hesaplanması;

Genel sabit kurutma hızı (Incropera Dewitt, Bergman and Lavine 2005);

$$R_c = \frac{h_c (T_h - T_y)}{H_{Li}} \quad (2.9)$$

$R_c$ : Sabit kurutma hızı ( $kg/m^2.s$ )

$h_c$ : Konvektif ısı transfer katsayısı ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )

$T_h$ : Havanın kuru termometre sıcaklığı

$T_y$ : Havanın ıslak termometre sıcaklığı

$H_{Li}$ : Islak termometre sıcaklığında suyun buharlaşma gizli ısısı ( $kJ/kg$ )

Kenar uzunluğu L olan küp şeklinde parçalarda tüm yüzeyde gerçekleşen kurutma (Incropera Dewitt, Bergman and Lavine 2005);

$$R_c = \frac{6h_c (T_h - T_y)}{L.H_{Li} \rho_k} \quad (2.10)$$

$\rho_k$  : Materyalin kuru madde yoğunluğu ( kg / m<sup>3</sup> yaş materyal)

L : Dilim kalınlığı (m)

Eğer buharlaşma dilimin her iki yüzeyinde birden gerçekleşiyorsa L : Dilim kalınlığının yarısına eşit olur.

**Eğer hava yüzeye dik akıyorsa;  $h_c = 413,5 \cdot G^{0,37}$**

$$G = \rho V \quad (2.11)$$

G =Havanın kütle akış hızı (kg / m<sup>2</sup> s)

$\rho$  = Havanın yoğunluğu (kg/ m<sup>3</sup>)

V = Havanın hızı (m/s)

Sabit hızda kurutma süresi (Incropera Dewitt, Bergman and Lavine 2005) (Geankopolis 1993);

$$t = \frac{L_s}{AR_C} (X_1 - X_2) \quad (2.12)$$

Azalan hızda kurutma süresi (Incropera Dewitt, Bergman and Lavine 2005) (Geankopolis 1993);

$$t = \frac{L_s X_c}{A R_C} \ln \left( \frac{X_c}{X_2} \right) \quad (2.13)$$

L<sub>s</sub>: Tepsi kapasitesi (kg)

X<sub>1</sub>: Serbest nem miktarı (kg su/ kg km)

A: Alan (m<sup>2</sup>)

X<sub>2</sub>: Materyalin son nem miktarı (kg su/ kg km)

R<sub>C</sub>: Kurutma hızı

X<sub>C</sub> : Kritik nem düzeyi

Çizelge 2.1 de belirtilen alt indisleri c ve f olan, sabit oran ve düşen oran periyotları açıklanmıştır. Toplam kuruma süresi, takip eden iki dönemde hesaplanan kuruma süresine eşittir. N değerinin fonksiyonel biçimine veya düşme hızını tanımlamak için belirtilen modele, kılcallık, sıvı difüzyon, buharlaşma-yoğunlaşma gibi örneklere bağlı olarak kurutma süreleri farklı analitik ifadeler ile elde edilir. Düşme oranlı tüm kurutma modellerinin, çeşitli çalışma koşulları ve ürün şekilleri üzerinde kurutma kinetik verilerinin güvenilir şekilde ekstrapolasyonunu sağlamak temel amacıdır.

**Çizelge 2.1** Çeşitli kurutma hızı modelleri için kuruma süresi (Geankopolis 1993).

| Model   | Kurutma Süresi  |
|---|---|
| Kinetik Model, $N = \frac{M_s dX}{A dt}$              | $t_d =$ Başlangıç nem içeriği $X_1$ 'den nihai nem içeriğine $X_2$ ulaşmak için kuruma süresi |
| $N = N(X)$ (Genel)                                    | $td = \frac{M_s}{A} \int_{X_2}^{X_1} \frac{dX}{N}$  |
| $N = N_c$ (Sabit Oran Periyodu)                       | $tc = \frac{M_s (X_2 - X_1)}{A N_c}$  |
| $N = aX + b$ (Düşme Oran Periyodu)                    | $tf = \frac{M_s (X_1 - X_2)}{A (N_1 - N_2)} \ln \frac{N_1}{N_2}$                              |
| $N = Ax$ ( $X^* \leq X_2 \leq X_c$ )                  | $tf = \frac{M_s X_c}{A N_c} \ln \frac{X_c}{X_2}$  |
| Sıvı Difüzyon Modeli                                  | $tf = \frac{4a^2}{\pi DL} \ln \frac{8X_1}{\pi 2X_2}$  |
| $DL =$ Sabit, $X_2 = X_c$                             | $X =$ Ortalama serbest nem sabiti   |
| $X$ 'te tek boyutlu difüzyon buharlaşan yüzey levhası | $a =$ Levha yarıçapı  |

## 2.4.2 Kurutma Hızına Etki Eden Faktörler

Ürünün fiziksel yapısı; suyun bulunduğu tabakalar arası ısı ve kütle geçişlerinin etkililiği için önemlidir. Parça kalınlığı, büyüklüğü, gözenekli yapısı, delikli ya da oluklu olması etkiler.

Ürünün kimyasal yapısı; su miktarı, suyun materyale hangi ölçüde bağlı olduğu, bağ yapısı, ürünün içeriğinde yağ bulunması, pektin bazlı bileşenler kurutmayı olumsuz etkilemektedir. Kabuk oluşumu ya da suyun ürüne hapsolması benzeri durumlar oluşabilir.

Akışkan yatağın; kurutucu hava hızı, havanın nemliliği, yataktaki hava sıcaklığı, havanın sürekliliği yatak içi kurutma hızını ve süresini belirlemektedir.

Mikrodalga; frekansı (Mhz), ürünün dielektrik özelliği ve etki derinliği mikrodalga etki mekanizmasını dolayısıyla kurutma süresini etkilemektedir. Maruz kaldığı güç özelliği de doğrudan etkilidir.

## 2.5 KURUTUCU TÜRLERİ

Kurutma uygulamaları ile ürünün işleme maliyeti, nakliye kolaylığı için kütesinin azaltılması, ürünün muhafazası ve sterilizasyonu sağlanmalıdır.

Endüstride kurutma için harcanan enerji oransal olarak yüksek miktarlara sahiptir. En yüksek kâğıt endüstrisi ile %33 lük pay devamına gıda ve tarım endüstrisi % 12 pay ile gelmektedir. Kurutma sürecinde verimlilik kurutucu tipine göre % 20- %90 arasında değişmektedir. Kurutucu seçiminde dikkat edilecek bir diğer nokta ise ürünün yapısal özelliklerine göre en çok faktörün değerlendirilmesi için ekonomik ve teknik açıdan uygunluk sağlayabilecek birden fazla sistemin uygulanabilirliğidir. Birden fazla sistem kullanılırken yapılan değişikliklerin ürün kalitesine etkisi önemlidir. Bu yüzden kurutucu seçilirken belirlenen proses, optimum ısı enerjisi, en kısa süre ve en yüksek verimlilikte nem alımı için uygun şartları kombine eden sistemler uygulanmalıdır.(Güngör 2013).

Kurutucu seçiminde aşağıdaki basamaklar uygulanır.

- Ürünün başlangıç nemi ölçülmeli. Ürünün kimyasal yapısı ve fiziksel özellikleri belirlenmeli. Buna uygun ısı transfer sistemi araştırılmalı.

- İlk aşama için ıslak başlangıç ürünü ve kuru son ürüne en uygun kurutucu türleri belirlenir.
- Belirlenen kurutucu türleri arasında verimlilik, etkililik ve maliyete göre uygunluk belirlenir, sıralama yapılır.
- Literatür araştırmasının ardından kurutma testleri yapılır. Testler sonucunda istenen değerler ve son ürün karakteristiği belirlenir.
- Testlerin sonucunda istenen değerler göz önünde bulundurularak karar verilir.

Kurutucu türlerinin farklı disiplinlere dayanan tasarımları ;

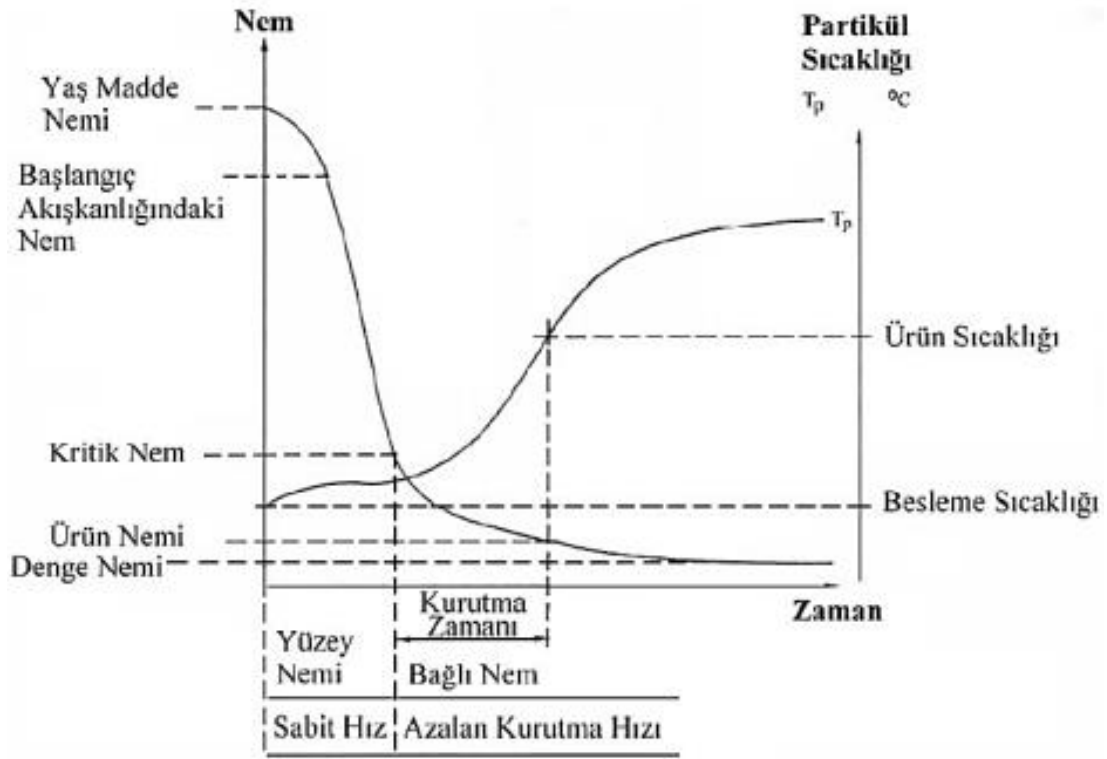
- Fırın Kurutucular
  - Kabin tepsili ; Atmosferik; Vakum tepsili
  - Konveyor Bantlı
  - Tünel Kurutucu
  - Döner (yatay silindir / Tambur) Kurutucu
  - Düşey silindir Kurutucu (helezonik)
- Akışkan Yataklı Kurutucular
- Sprey Kurutucular
- Pnömatik Flaşlı Kurutucu
- Düz yüzeyli (iki plaka arası)
- Film tip (silindir pres)
- Vakum kurutucular
- Dondurmalı Kurutucular (liyofilizasyon)
- Radyasyon Tip Kurutucu
- Infrared Kurutucu
- Radyo Frekans Kurutucu ( Ultrasound)
  - Mikrodalga Kurutucular
  - Ultrasonik Kurutucular
  - PUF Kurutucular
  - Kombine edilmiş dizaynlar

Kurutucu tiplerine örnek olarak gösterilebilir, teknolojinin ilerlemesiyle kombine dizaynların kullanımı daha çok tercih edilmektedir.

## 2.6 AKIŞKAN YATAK SİSTEMLERİ

### 2.6.1 Akışkan Yatak Sistemlerine Giriş

Akışkan yatak kurutma sistemleri genellikle gıda ürünleri, tarımsal endüstriyel kimyasallar, toz veya kapsül şeklindeki sağlık ürünleri, pigment renk maddeleri, atık yönetim materyalleri, yüzey aktif malzemeler gibi tanecikli yapıdaki akışkanlaşabilen yada küçük parçalara ayrılmış granüler katıların veya sıvıların sıcak hava veya gaz ile müdahale edilerek akışkan özelliklerine benzer özellik göstermesini sağlayan sistemlere akışkan yataklı sistemler denir.



Şekil 2.8 Kurutma parametreleri ve sıcaklık eğrisi (Vázquez 2004).

Akışkan yatak kurutma işlemleri homojen bir katı –gaz karışımı sağlanarak, yüksek hızlı kütle ve ısı transferi ve materyalin taşınması gibi avantajlar sağlamaktadır.

## 2.6.2 Akışkan Yatak Kurutma Sisteminde Akışkanlaşma Evreleri

Akışkanlaşma işlemi fan ile basınçlandırılan akışkanın, ürüne etki eden yer çekimi kuvvetini dengeleyecek ölçüde hızla geçirilerek ürünün askıda tutulmasıdır. Altta ürünlerin kolon içine düşmesini önlemek için dağıtıcı elek denilen delikli bir plaka bulunmakta, üstte ürünlerin basınçla kolondan çıkmasını önlemek için yapılmış başka bir elek bulunan bir kolon içerisinde ürün yığın halinde bırakılır.

Akışkan yatakta prosesin akışkanlaşmasında gözlemlenen evreler; akışkanlaşma noktası, akışkanlaşma hızı, türbülanslı akıştır. Başlangıçta düşük hızda hava verilir, hava bulduğu boşluklar arasından ilerler. Sisteme verilen hava hızlanmaya başladıkça yığına daha fazla kuvvet uygular. Havanın uyguladığı kuvvet ile yer çekiminin ürüne uyguladığı kuvvet eşit oluncaya kadar sabit yatak denir. Hava hızı arttırdıktan sonraki ilk akışkanlaşmada tanecikler hava molekülleri üzerinde yüzer haldedir, yığın hali dağılmış olur. Taneciklerin ağırlığı ile verilen havanın tanecikleri kaldırma kuvveti eşit olduğu an yatağın minimum akışkanlaşma noktası, bu an da ki hava hızına minimum akışkanlaşma hızı denir. Akışkanın hızı minimum akışkanlaşma hızının üzerine çıkarıldığında yatak kaynayan su görünümünü alır ve kabarcıklar oluşur. Akışkan madde içerisinde katı tanecikler bir akışkan gibi davranmaya başlar.

Minimum akışkanlaştırma hızından yola çıkılarak akışkan yatak içerisindeki basınç düşümü hesaplanabilir.

Ergun Denklemi:

$$\frac{\Delta P}{L} = 150x \left[ \frac{\mu_f U_m}{D_p^2 \phi^2} \right] \frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3} + 1.75 \left[ \frac{\rho_f u_m^2}{D_p \phi} \right] \frac{(1-\varepsilon)}{\varepsilon^3} \quad (2.14)$$

$\Delta P$ : Basınç Düşümü, [Pa]

L: Akışkan Yatak Uzunluğu, [m]

$U_m$ : Min. Akışkanlaştırma Hızı [m/s]

$\rho_f$ : Havanın Özgül Ağırlığı [kg/m<sup>3</sup>]

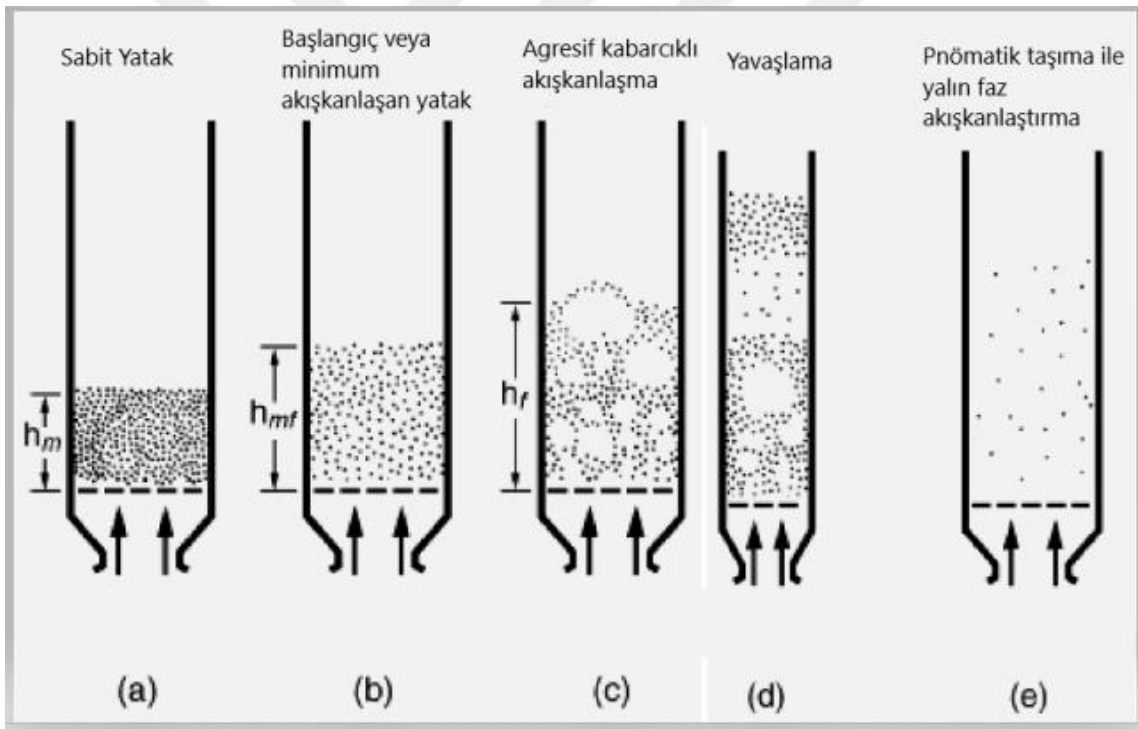
$\mu_f$ : Havanın Viskozitesi [N.s/m<sup>2</sup>]

$D_p$ : Parçacık Efektif Çapı [m]

$\epsilon$ : Akışkan Yatak Boşluk Oranı [Boyutsuz]

$\Phi$ : Silindiriklik Oranı [Boyutsuz]

Bir kolon içinde toz yada parçacık olarak yığın olarak bulunan materyale kolonun altından düşük hızlarda hava geçirilmeye başladığında, yığın içerisinde boşluklar oluşturularak yukarı yönlü hareket oluşturur. Kolona verilen havanın akış hızı arttırıldıkça her bir parçacığa daha fazla kuvvet uygulayarak parçacıklar arasında yer çekimi dolayısıyla oluşan kuvveti azaltarak, parçacık üzerindeki yer çekimi ve kaldırma kuvveti dengelenir ve vektörel kuvvet toplamı sıfır olur. Bu durumda parçacıklar havada asılı kalarak geçen hava baloncukları ile kaynama hareketi oluştururlar, hava akış hızı arttırıldığında ise kolon içerisindeki hava kabarcıkları büyüyerek boşluklar oluşturur, bu türbülanslı akış olarak adlandırılır.



**Şekil 2.9** Gaz-Katı Akışkan yatak içinde oluşan akışkanlaşma rejimleri (Kunii and Levenspiel 1991).

Sistem akışkanların bütün özelliklerini gösterir, yatak eğildiğinde yatağın yüzeyi yatay kalacak şekilde tanecikler şekillenir, derinlikleri farklı olan iki yatak birleştirildiğinde bileşik kaplar kanununa göre yataklar arası akış gerçekleşir. Yatak kolonunda bir delik oluşturulduğunda, akışkanın kolondan fışkırması gibi gaz ve tanecikler de delikten çıkar.

Akışkan yataklı kurutucuların avantajları;

- Fan kontrolü ile akış hızı kontrol edilebilir, yatak içi homojenliği sağlanır.
- Nem giderimi hızlı ve yüksek ısı verim oluşur.
- Homojen kurutulmuş ürün elde edilir.
- Kurutma süresi kısadır.
- Bakım maliyeti düşüktür.

Akışkan yatakların dezavantajları ise;

- Yüksek enerji tüketimine sahiptir.
- Granüler bazı partiküllerin akışkanlaşmaları düşük olmaktadır.
- Korozyona açıktır.
- Partiküllerin havalandırma zorluğu mevcuttur.
- İnce partiküllerde birikme sorunu yaşanmaktadır.

### 2.6.3 Akışkan Yatak Kurutma Sisteminde Kütle ve Isı Transferi

Kurutma işlemlerinin matematiksel modellemesinde kütle ve ısı transferi prensibi aynı anda gerçekleşmesine dayanmaktadır. Ürün içerisindeki nemin faz değiştirmesi ve su buharının ortamdaki uzaklaşması için sisteme buharlaşma gizli ısı verilmelidir. Kurutma prosesinde materyaldeki nem aşağıdaki şekillerde uzaklaşabilir;

- Kılcallık etkisi; materyal dokusunda bulunan kılcal kanalların yüzey stresi ve emme basıncı farklarından kaynaklı kılcal akışlar ortaya çıkmaktadır.
- Sıvı Yoğunluğu; yoğunluk farkına bağlı olarak sıvı akışındaki farklılıklar
- Buhar basıncı; kısmi buhar basıncına bağlı olarak meydana gelen buhar yayılımı
- Basınç farkı; toplam basınç farkına bağlı oluşan viskoz akış

Kurutma prosesinde kurutulacak ürün yüzeyi ve ürün içi ısı transferi aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$\frac{dQ}{dt} = h \cdot A \cdot (T_a - T_s) \quad (2.15)$$

$dQ / dt$  : Isı aktarımı ( kJ /s)

$h$ : Isı transfer katsayısı ( kJ /m<sup>2</sup>.s.°C)

$A$ : Kurutulan ürünün yüzey alanı ( m<sup>2</sup> )

$T_a$ :Kurutma havasının kuru termometre sıcaklığı (°C)

$T_s$  : Kurutma havasının yaş termometre sıcaklığı (°C)

Ürün iç kısmında ise yüzeye hareket eden ve ürün yüzeyinden de kurutma ortamına kütle transferi ise aşağıdaki gibidir.

$$\frac{dW}{dt} = K_g \cdot A \cdot (H_s - H_a) \quad (2.16)$$

$dW/dt$ : Kurutma hızı (kg/s)

$K_g$ : Kütle transfer katsayısı (kg/m<sup>2</sup>.s)

$A$ : Kurutma yüzey alanı (m<sup>2</sup>)

$H_s$ : Yüzeyin nemi (kg su/kg kuru hava)

$H_a$ : Havanın nemi (kg su/kg kuru hava)

#### 2.6.4 Akışkan Yatak Kurutma Sistemi Uygulanabilecek Materyal Özellikleri

Kurutma işleminde akışkan yatakta kurutma işleminin tercih edilmesi prosesin gerçekleşme bilirliliği, istenilen ürün oluşumu ve enerji tasarrufu için çeşitli özellikleri bulunduruyor olması gerekmektedir.

Partikül büyüklüğü; Kurutma prosesinde ürünün verimli kuruması ve homojen akışkanlaşma sağlanabilmesi için ve yığın oluşumunu engellemek amacıyla 20 µm - 10 mm olmalıdır. Daha küçük materyaller yüzey alanının geniş olması sebebiyle birikim ve yığın oluşumuna sebep olurken daha büyük partiküller ise kurutma verimliliğini düşürmektedir.

Partikül boyut dağılımı; partikül hacmi ve boyut dağılımının sınırlandırılmış olmalıdır.

Partikül şekli; Parçacıkların akışkanlaşma hareketi gerçekleştirebilmesi partiküllerin genellikle küresel ve küresele yakın şekile sahip olması gerekmektedir.

Partikülün fiziksel özellikleri; kabin içerisinde partiküllerin topaklaşma , kabine duvarına yapışma vb. durumları varsa akışkanlığın sağlanabilmesi için bunların dağıtılması ve parçalanması gerekmektedir.

Partikül dayanımı; kabin içerisinde hava akışına maruz kalan partiküllerin kurutma prosesi boyunca kabin içerisinde fiziksel koşullara dayanıklı olması gereklidir.

Partikül çıkış özellikleri; kurutma prosesi sonucunda kabinden çıkan nihai ürünün nemli yapışkan olmaması, istenilen nem değerinde olması, fiziksel şekil özelliklerini kaybetmemiş olması gerekmektedir.

### **2.6.5 Akışkan Yatak Sistemlerinin Diğer Endüstriyel Alanlarda Kullanımı**

Akışkan yataklı kurutucular, kurutma işlemi haricinde endüstriyel proseslerde granülasyon haline getirme, aglomerasyon, kaplama uygulamaları, toz giderme, yığın oluşturma, soğutma yada yakma, kül haline getirme gibi farklı işlemlerde de kullanılmaktadır.

Aglomerasyon; toz haline getirilmiş gıdaların endüstriyel olarak işlenebilirlik ve kullanılabilirlik özelliklerini iyileştirmek amacıyla ( çözünme, dağılma, ıslanma, batma vb.) depolama, lojistik ve ürün işleme süreçlerinde özelliklerini kaybetmeden farklı dayanıma sahip partiküllerin birleşmesiyle gözenekli ve daha büyük boyutlara sahip parçacıkların oluşturulması işlemidir. Gıda endüstrisinde toz içecekler, nişasta bazlı çözünen ürünler, hazır toz karışımlarda kullanılmaktadır. Akışkan yatak prosesinde aglomerasyon işlemi, yukarı yönlü hareket eden hava içerisinde katı parçacıkların akışkanlaştırılması ve bağlayıcı sıvının katı parçacıkların üzerine püskürtülmesi işlemidir. Ortama verilen damlacık halindeki sıvı parçacık yüzeyini yapışkan hale getirerek parçacıklar arasında sıvı bağlantısı oluşturarak adezyon sağlar. Kurutmanın devam etmesi ile ortama verilen çözücü sıvının buharlaşması ve parçacıkların oluşturduğu bağlantının katılaşması ve işlemin sürekli devamıyla parçacıkların daha büyük yapılar oluşturması sağlanır. (Turchiuli. 2005; Smith, 2008).

Granülasyon; ince toz halinde bulunan partiküllerin daha büyük parçacıklar oluşturduğu, toz materyalin sıkıştırma taşıma gibi özelliklerini geliştirmek ve parçacık boyutu ürün şeklinin yada partikül yoğunluğunu değiştirmek için uygulanmaktadır. Aglomerasyondan farklı olarak bu işlemde ortama verilen bağlayıcı sıvı toz parçacıklar arasında sıvı köprüleri oluşturur, kurutma işleminin devamıyla ortama verilen bağlayıcı sıvı oluşan katı parçacıklar üzerinde birikerek bir tabaka oluşturur. (Link ve Schlünder, 1997). Granülasyon işleminde amaç toz materyalin partikül büyüklüğünü ayarlamaktır, aglomerasyon ise sıvı içinde dağılıbilirlik, çözünübilirlik özellikleriyle ilgilidir.

Kaplama; akışkan yatak proseslerinde kaplama işlemleri özellikle gıda sektöründe yenilebilir kaplamaların özellikle raf ömrünü arttırıp ürünü koruma hedefiyle ön plana çıkmaktadır.

Parçacıkların oksijen, nem vb. çevresel koşullardan korunması veya kontrollü etkileşim sağlanması, tat ve renk benzeri fiziksel ve kimyasal özelliklerin korunması, parçacık şekli, dokusu, yapısal ve tektüre özelliklerini kazandırmak ayrıca parçacık kompozisyonu korumak ve homojenliğini sağlamak hedeflenmiştir. (werner ve ark., 2007; frey, 2014)

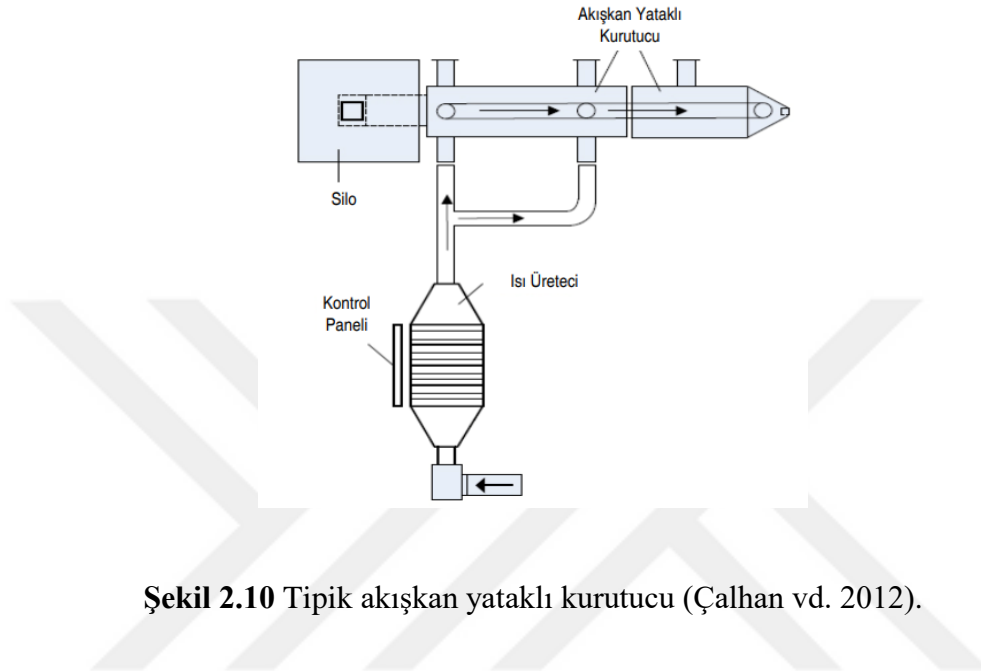
Çözücü eksraksiyonu, ekstrüzyon, konservasyon, ko-kristalizasyon, nozüller üzerinden spray şeklinde püskürtülerek kurutma sağlanan yöntemlerdir. Katı materyal, sıvı kaplama ve akışkanlaştırıcı gazdan oluşmaktadır. Katı haldeki materyalin üzerine farklı açı ve konumlardan kaplama materyali püskürtülerek kurutulmasıyla birlikte katı materyal üzerinde koruyucu katmanın oluşumuna dayanmaktadır. Üstten , açısız ve wurster kaplama yöntemleri mevcuttur. (Desai ve Park, 2005) (Bhandari ve ark., 2013)

Akışkan yatak içerisindeki kaplama prosesi; katı parçacık, sıvı kaplama materyali ve kurutucu gaz fazından oluşur, mevcut üç faz arasında aşağıdaki olaylar gerçekleşir;

- Akışkan yatak içindeki katı parçacıkların kurutucu hava içerisinde çözünmeden homojen karışım oluşturması ( süspansiyon)
- Parçacığın etkin damlacık sayısını arttırmak için nozul üzerinden spray olarak yatağa verilmesi, sıvı damlacık ve katı parçacık arasındaki ısı transferi
- Ortama verilen sıvı kaplama materyalinin katı parçacık üzerine tutunarak yüzey üzerine yayılması ve tabaka oluşturması ile kütle transferi

- Katı parçacık üzerine sıvı kaplama materyalinin tutunması ve diğer partiküller ile etkileşimi sonrası homojen kaplama sağlanması işlemleridir.

## 2.6.6 Akışkan Yataklı Kurutucu Türleri

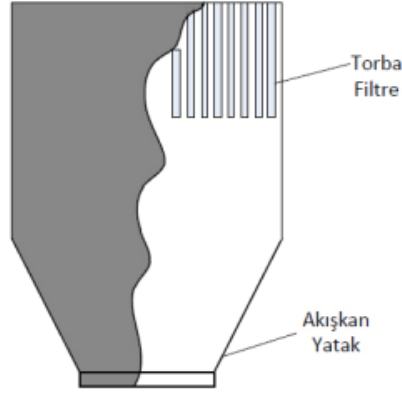


Şekil 2.10 Tipik akışkan yataklı kurutucu (Çalhan vd. 2012).

Şekil 2.10'da gösterilen standart tip akışkan yataklı kurutucu modelidir. 1 adet ısı üretici, 1 adet hava pompası, kontrol paneli ve silodan aktarım yapılan konveyörlü banttan oluşmaktadır.

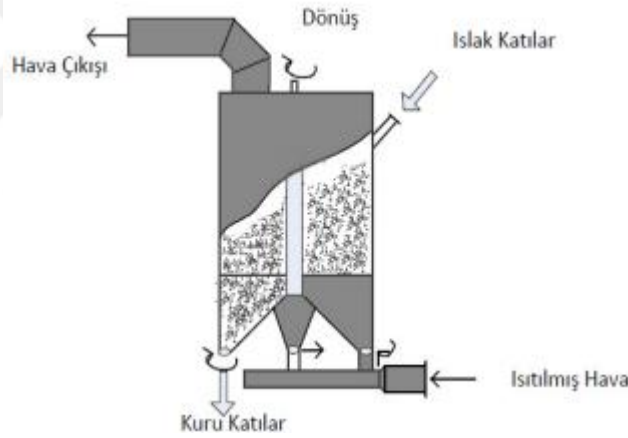
### 2.6.6.1 Geleneksel Akışkan Yatak Kurutma Modelleri

- Kesikli akışkan yataklı kurutucu:** Düşük üretim kapasitesi ve aynı hatta farklı ürün üretimleri için kullanılmaktadır. Eğer karıştırma, kurutma, granülasyon, kaplama gibi birkaç prosesin ardışık olarak yürütülecek ise kesikli akışkan yataklı kurutucu türleri tercih edilebilir. Kurutma sıcaklığı ve akış hızı sabit bir değerde tutulur, titreşim vb mekanik ekipmanla desteklenerek materyalin ilerlemesi sağlanabilir.



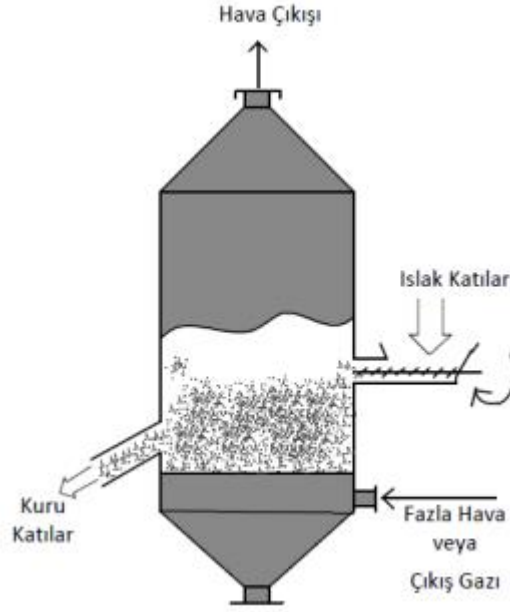
Şekil 2.11 Kesikli akışkan yataklı kurutucu (Çalhan vd. 2012).

- b) **Yarı sürekli akışkan yatak kurutucu:** Kurutma kabini seri alt işleyicilerden meydana gelir, nemli materyal doğrudan kabin içine belirli miktarlar ile beslenir. Ürün kabine spiral aktarıcı ile dönerek yada ön işleyiciden doğrudan yığın içinden alınarak ilerler.



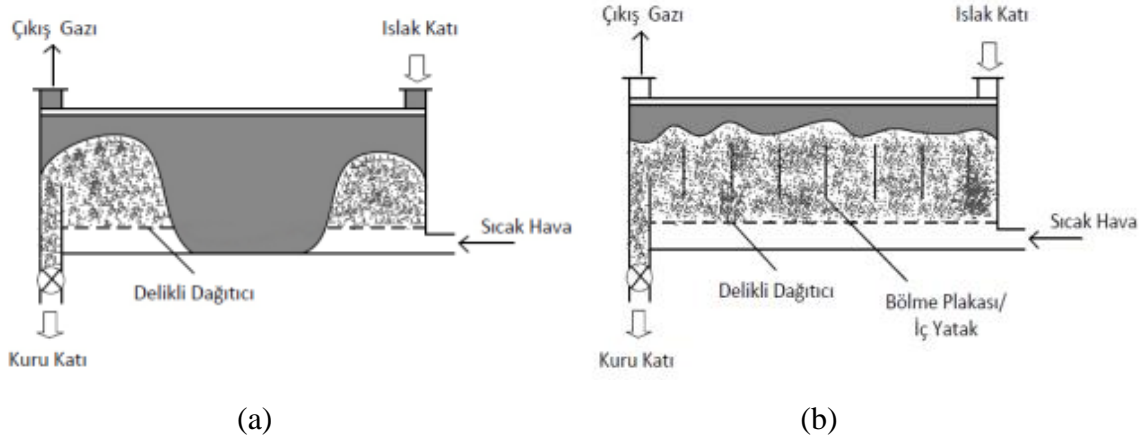
Şekil 2.12 Yarı kesikli akışkan yataklı kurutucu (Çalhan vd. 2012).

- c) **Tam karışımli sürekli akışkan yatak kurutucu:** Ürün sıcaklığı, yatak sıcaklığı ve hava çıkış sıcaklığıyla aynıdır. Tam karışımli sürekli akışkan yataklar seri halinde çalıştırılarak farklı proses koşulları amacıyla kullanılabilir.



Şekil 2.13 Tam karışımli sürekli akışkan yatak (Çalhan vd. 2012).

- d) **Piston akımlı akışkan yatak kurutucu:** Dikey sürgü kullanılarak daha dar materyal geçiş alanı bırakılarak, daha az materyal bekleme süresi ve dağılımı sağlanır.

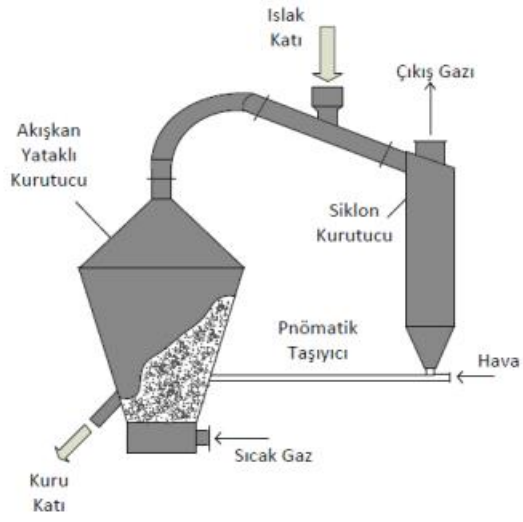


Şekil 2.14 Piston akımlı akışkan yataklı kurutucular a) düz yollu b) geri yollu (Çalhan vd. 2012).

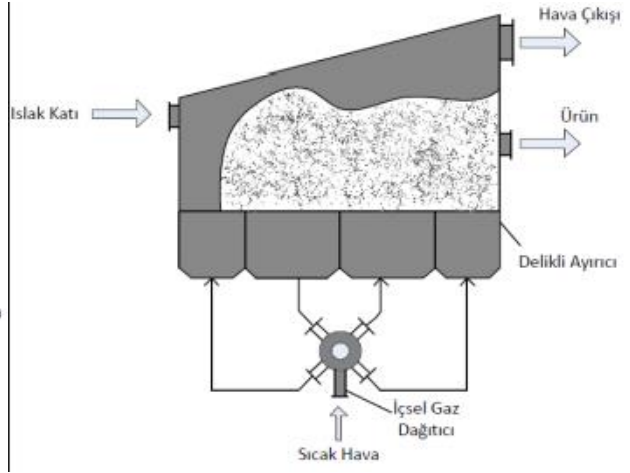
### 2.6.6.2 Modifiye Akışkan Yatak Kurutma Modelleri

Modifiye edilen akışkan yataklı kurutucular geleneksel akışkan yatak kurutma işlemlerindeki problemleri en aza indirmek ve enerji maliyetlerini azaltmak amacıyla dizayn edilmektedir

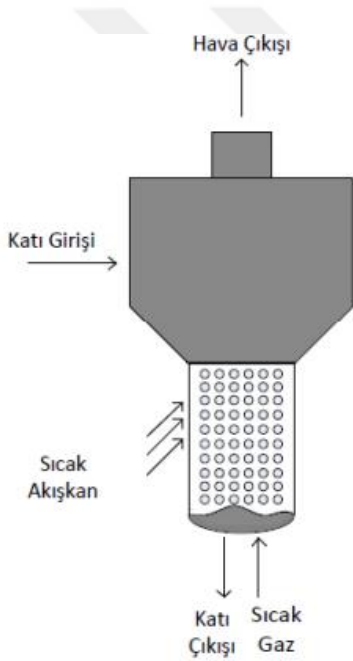
- Kademeli ve çok işlemlili akışkan yataklı kurutucu
- Hibrit akışkan yataklı kurutucu
- Atımlı akışkan yatak kurutucu
- Batık ısı eşanjörlü akışkan yatak kurutucu
- Mekanik destekli akışkan yatak kurutucu
- Titreşimli akışkan yatak kurutucu
- Karıştırmalı akışkan yatak kurutucu veya türbülanslı akışkanlaştırıcılar
- Püskürtmeli akışkan yatak kurutucu
- Geri devirli akışkan yataklı kurutucu
- Akışkan yataklı kurutma jetleri
- Bölmeli akışkan yatak kurutucu
- Kızgın buharlı akışkan yatak kurutucu
- Akışkan yataklı dondurucu kurutucu
- Isı pompalı akışkan yatak kurutucu



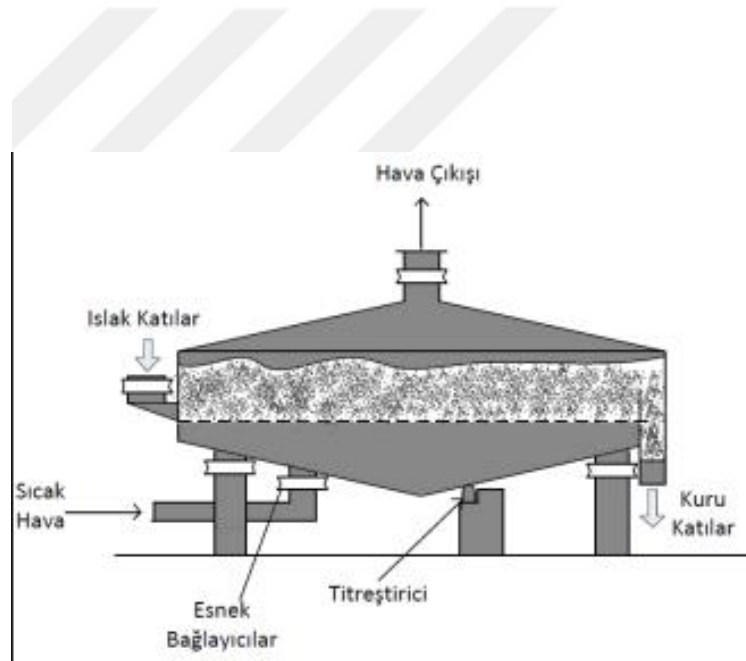
(a) Hibrit Siklon Akışkan Yataklı Kurutucu



b) Atımlı Akışkan Yataklı Kurutucu



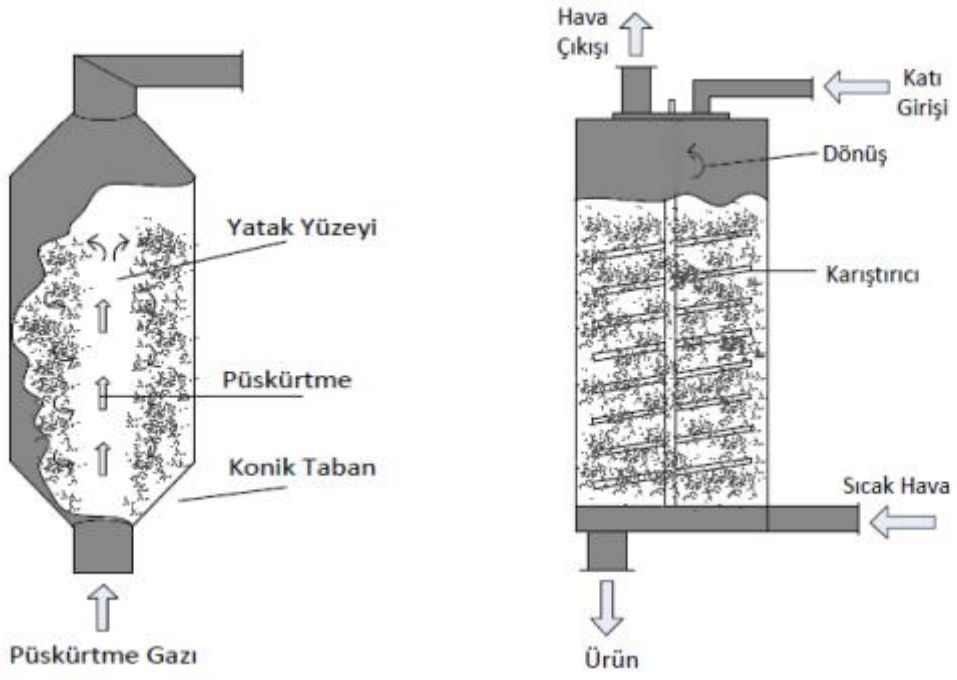
c) Batık Isı Eşanjörlü Akışkan Yataklı Kurutucu



d) Titreşimli akışkan yatak

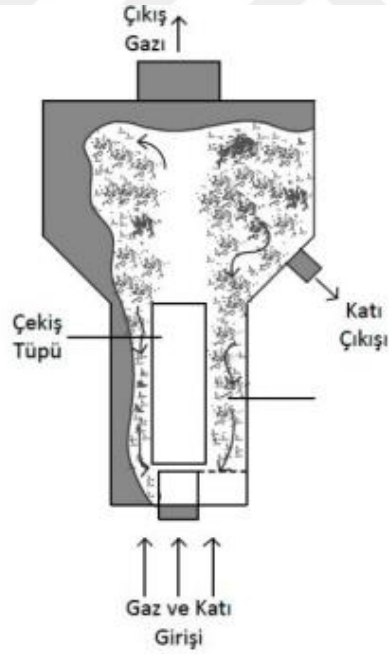
Şekil 2.15 Modifiye kullanılan akışkan yataklı kurutucular (Çalhan vd. 2012).

Şekil 2.15 (devam ediyor)



e) Püskürtmeli Akışkan Yatak Kurutucu

f) Karıştırırmalı Akışkan Yatak Kurutucu



g) Geri Devirli Akışkan Yataklı Kurutucu

## BÖLÜM 3

### MİKRODALGA ENERJİ SİSTEMLERİ

#### 3.1 MİKRODALGA ENERJİSİNE GİRİŞ

Mikrodalga elektro manyetik dalgaların molekülün fiziksel özellikleri üzerinde oluşan hareket ve titreşime bağlı olarak ısı oluşturmaktadır. Mikrodalga ile oluşan ısı enerji gıda ve kimya endüstrisi, bilimsel çalışmalar ve sağlık sektörü vb. birçok alanda kullanılmaktadır. ( Oktay, 2003). Bu bölümde mikrodalga'nın çalışma prensibini, makine parçaları ve işlevleri, ısıtmaya etki olan faktörleri belirtilmiştir. Ayrıca gıda ürünlerinde mikrodalga kullanımının avantaj ve dezavantajları, insan sağlığına olan etkileri konu edinmiştir.

##### 3.1.1 Mikrodalga Uygulama Alanları

Malzeme ve Metalurji alanında; Orman ürünleri ve malzeme alanında; kereste ve ağaç ürünlerinin kurutulması ve böceklenmeden arındırılması ve mantarların yok edilmesinde, kömür ürünlerinin kalite artırılmasında elyaf vb materyallerin kurutulmasında kullanılmaktadır.

Tıp alanında; Mikrodalga Tomografi ve Mikrodalga Radyometri benzeri fiziksel ve biyolojik tanı tekniklerinde, biyomedikal malzemelerin ve atıkların sterilizasyonu ve imhasında, Diş hekimliğinde dolgu ve protez materyallerinin şekillendirilmesinde yoğunlaşmıştır.

Kimya sanayinde; kimyasalların, boya ve benzeri maddelerin ısıtılması, kaynatılması, kurutulması gibi ısı işlemlerin yanı sıra kaynatma işlemlerinde, selüloz, polimer ve seramik ürünlerin kurutulması ve işlenmesi sağlanmaktadır.

Gıda alanında; kurutma, pişirme, sterilizasyon, pastörizasyon işlemlerinde ve istenmeyen mikrobiyolojik ve ya küf benzeri yapıların inhibe edilmesinde kullanılır (Kuş 2016).

### 3.1.2 Mikrodalga Kurutma İlişkisi

Mikrodalga oluşturduğu elektromanyetik alan 2. Dünya Savaşı döneminde askeri ekipman tasarlama, üretme ve kontrolü için yapılan çalışmalarda keşfedilmiştir. Mikrodalga teknolojisi; gıda işleme süreçleri; dehidrasyon, sterilizasyon, pastörizasyon, eritme, tavlama, ağartma, pişirme vb. proseslerde kullanılması araştırmaya başlanmıştır.

Kurutma sistemlerinde; mikrodalgaın ısı teknolojisi moleküler boyutta titreşim sağlayarak ısı enerjisi oluşturmakta ve sıcaklık artışı sağlamaktadır. Elektromanyetik alan malzemenin bütününe etkisi sebebiyle diğer kurutma modellerinden farklı olarak su molekülleri üzerinde doğrudan etki sağlamaktadır. Isı enerjisinin ürün içerisinde oluşmasıyla ürün içerisindeki nem kısa sürelerde buharlaşarak, buhar basıncı farkının etkisiyle kütle transferi merkezden dışa doğru hareket etmektedir, bu mekanizma ısı transferinde meydana gelen hataları ve kurutma süresini azaltmaktadır. (Karaaslan vd. 2012).

Mikrodalga enerjisi kurutma sistemlerinde, özellikle hava ile kurutma sistemlerinde gıda içeriğine bağlı oluşan yüzeyde kabuk oluşumundan kaynaklı hataların önüne geçebilmektedir (Konak vd. 2009).

## 3.2 MİKRODALGA TEKNOLOJİSİ

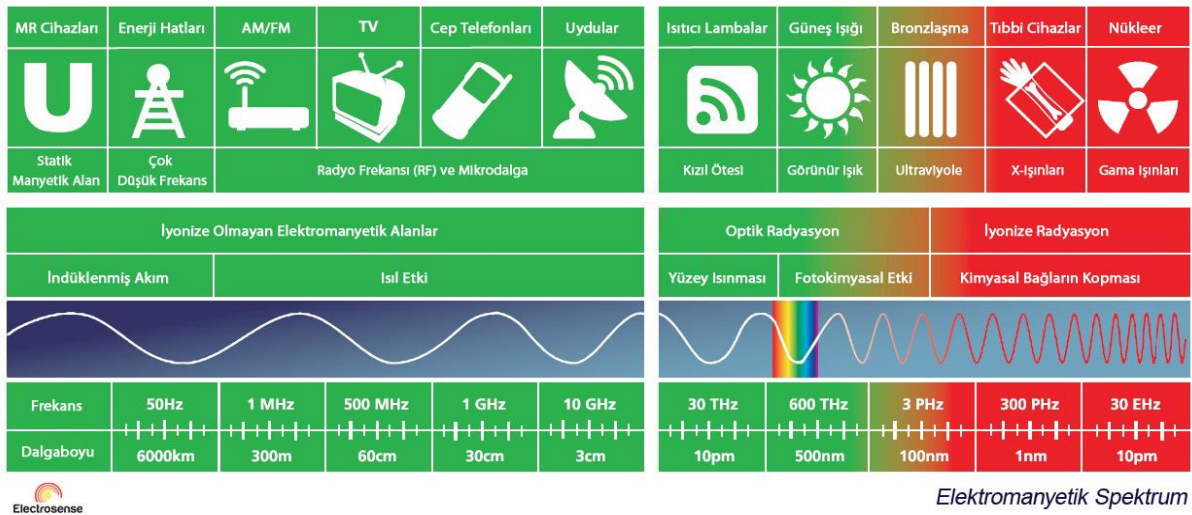
Mikrodalgalar elektromanyetik dalgaların bir çeşididir. Elektromanyetik spektrumda kızılötesi ve radyo teknolojilerinde kullanılan elektromanyetik dalgaların arasında kalan spektrumu ifade eder. Mikrodalgalar, 1 mm – 1 m arasındaki dalga boyları ile 300 MHz -300 GHz arasındaki frekansları kapsar, elektromanyetik dalga boyu 1 metreden kısa olan frekanslardır. Frekans ve güç yoğunluğu, teknolojik olarak karakterize eden iki fiziksel önemli özelliktir. (Oktay 2004). Mikrodalgalar, kesikli veya sürekli dalga salınımı oluşturan klistron ve magnetron cihazlarıyla üretilmektedir.

Elektromanyetik dalgaların bir çeşidi olarak mikrodalgaların oluşum temelleri elektromanyetik dalgalar ile benzerlik göstermektedir. Şekil 3.1'de elektromanyetik dalgaların şematik gösterimi bulunmaktadır.



Şekil 3.1 Elektromanyetik dalgaların şematik gösterimi (Yıldırım 2020).

Elektromanyetik dalgalar, elektriksel yüklerin dalgalandırılmasıyla oluşur. Dalgaların yayılma doğrultusuna ve birbirlerine dik hareket eden elektrik ve manyetik dalgalardan oluşur. Dalga oluşumu için alternatif akım gerekir (AC), durgun ve sabit akımlarda dalgalanma olmaz. Dalga boyları ve frekans aralıklarına göre farklı özellik gösterirler (Çalışkan 2002).



Şekil 3.2 Elektromanyetik spektrumda mikrodalga (Sayın 2017).

Mikrodalga elektromanyetik spektrum içinde bulunurlar. Radyo dalgalarına yakın olduğundan dolayı kullanım sırasındaki etkileşmeyi önlemek için ulusal ve uluslararası telekomünikasyon komisyonlarının onayladığı frekans ölçütünde sadece ısıtma amaçlı kullanılır. ISM (Industrial Scientific, Medical) şeklinde bilinen bu ışınlar 896, 915, 2450, 5800 ve 24125 MHz frekanslı ışınlardan oluşmaktadır. Özellikle gıda alanında kullanılan mikrodalga ışınlar, ev tipi fırınların 2450 MHz, sanayide 915 MHz frekanslı ışınlardır. (Özsoy ve ark. 2015) Gıda maddeleri mikrodalgaya maruz bırakıldığında ısı enerjisine bağlı etkiler

gözlemlenmiş bunun haricinde herhangi bir etki görülmemiştir. (Ulcay ve ark. 2002). Isı enerjisi ile kurutma sistemlerinde kullanılan mikrodalga frekanslar 14, 27-56, 12-40, 68-869, 915, 2450 MHz aralıklarındadır (Yağcıoğlu vd. 1999).

### **3.2.1 Mikrodalga Çalışma Prensibi**

Mikrodalga ısıtma, elektromanyetik enerjisinin absorbe edilmesi ve bu enerjinin malzeme üzerinde ısı enerjisine dönüşmesi prensibine dayanmaktadır. Oluşan enerjinin madde tarafından tutulması şeklinde açıklanır. Mikrodalgada ısıyı açığa çıkaran iki olay vardır; iyonik polarizasyon ve dipol rotasyondur (Kuş 2016). Sürekli yada kesikli salınım yapan klistron, magnetron cihazları tarafından üretilmektedir (Ekin 2013).

Mikrodalga fırınları; ana şebekeden gelen elektrik enerjisiyle magnetronun çalışması için gerekli voltajı üreten güç ünitesi, mikrodalgaları oluşturan magnetron, üretilen dalgaların fırının içine ulaştıran dalga kılavuzu, fırının içinde mikrodalgaların düzgün dağılımı için karıştırıcı ve fandan oluşur (İzli 2012).

Mikrodalga uygulama esnasında materyal davranışında ise; iletimi sağlanan, yansıtılan ya da absorbe edilen olarak ayrılmaktadır. Mikrodalga ile etkileşime girmeyen ve yapısını değiştirmeden mikrodalgayı olduğu gibi ileten transparan materyaller de mevcuttur (Mello vd. 2014).

#### **3.2.1.1 İyonik Polarizasyon**

Materyal içerisinde bulunan iyonlar manyetik alana maruz kaldığında bulundukları elektriksel yükler sebebiyle ivmeli hareket gösterirler. Hareket halindeki iyonlar çarpışma ve çarpışma sonucu kazandıkları hareket etkisiyle oluşan enerjinin ısı enerjisine dönüşür.

### 3.2.1.2 Dipol Rotasyon

Su molekülleri polar yapıdadır ve gelişigüzel dizilimlidir. Bir elektrik alana maruz bırakıldığında, elektrik alanın polarizasyonuna göre dizilmeye çalışırlar. Polarizasyon çok hızlı değişir, su molekülleri polarizasyonu yakalamak için sürekli değişen ve dönen bir hareket oluştururlar. Su moleküllerinin sürekli hareketi ısı açığa çıkar.

### 3.2.2 Manyetik Enerjinin Isıya Dönüşmesi

Isı moleküler olarak materyalin molekülleri üzerinde olduğu için konvansiyonel sistemin aksine her katmanda aynı anda oluşur. Mikrodalga ile ısıtma sistemlerinde elektromanyetik enerji direkt madde katmanlarında ısıya dönüşür.

Elektromanyetik enerji ısıtma sistemlerinde, özellikle su molekülleri manyetik alanı takip edememesi ve oluşan kayıp açıları ile iletim kayıpları sebebiyle açığa ısı çıkar.

Konvansiyonel ısıtma ile kıyaslandığında açılal kayıplara sahip maddelerde (dielektrik özellik), ısıl işlemlerin sürelerinin kısa ve dağılımın daha homojen olarak sağlandığı görülür. (Özsoy 2015).

Mikrodalga süreçlerinde Maxwell denklemleri elektrik alan oluşumunu açıklamaktadır. (Metaxas ve Meredith 1983).

$$\nabla \vec{D} = \rho \quad (3.1a)$$

$$\nabla \times \vec{E} = \frac{\delta \vec{D}}{\delta t} \quad (3.1b)$$

$$\nabla \vec{B} = 0 \quad (3.1c)$$

$$\nabla \vec{H} = \vec{j} + \frac{\delta \vec{D}}{\delta t} \quad (3.1d)$$

$$j = \sqrt{-1}$$

' $\rho$ ' = Hacimsel yük yoğunluğu ( C/ m<sup>3</sup>)

$\vec{B}$ =Manyetik akı şiddeti ( Wb/m<sup>2</sup>)

$\vec{D}$ =Elektrik akı yoğunluğu ( C/ m<sup>2</sup>)

$\vec{E}$ =Elektrik alan şiddeti ( V/m)

$\vec{H}$ =Manyetik alan şiddeti ( A/ m)

D= D değeri (dk)

### 3.2.3 Mikrodalgada Isıya Etki Eden Faktörler

#### 3.2.3.1 Frekans

300 MHz'den 300 GHz'e kadar değişen mikrodalga frekansları uluslararası telekomünikasyon birliği tarafından (ITU) endüstriyel, bilimsel ve tıp uygulamaları (ISM) bantlarına ayrılmıştır (Çalışkan 2012).

Endüstride kullanılan ısı işlemlerin 915 ve 2450 MHz arası frekanslar ile yapılmaktadır. Bunlar, 915 MHz frekansı endüstriyel proseslerde, 2450 MHz frekansı da ev tipi ticari fırınlarda pişirme amaçlı kullanılmaktadır. Bu frekansların oluşturduğu dalga boyları;

$$\lambda = \frac{U_c}{f} \quad (3.2)$$

$\lambda$  ; dalga boyu

$U_c$ ; (m/s) : ışık hızı,

$f$  (Hz) : mikrodalganın frekansı

#### 3.2.3.2 Dielektrik Özellik

Dielektrik özellikler, kullanılan materyalin elektriksel iletkenliği ve elektrik alan içindeki malzemenin tepkisini tanımlar. Mikrodalga frekans ile kurutma işlemi sırasında, malzemenin dielektrik özellikleri, mikrodalga enerjisinin nasıl etkileşime gireceğini ve enerjinin nasıl ısı enerjisine dönüşeceğini belirler. Su, dielektrik nitelikleri açısından dolayı önemlidir,

mikrodalga enerjisini çok iyi emer ve hızla ısınır. Bu sebeple, mikrodalga enerjisi ile kurutma işlemi su içeriğinin azaltılmasına odaklandığı, malzemenin dielektrik özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır. Materyalin dielektrik özelliği; frekansı, ürün kompozisyonu ve sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir (Kuşlu ve Bayramoğlu 2002).

Dielektrik özellikler, malzemenin nem içeriği, cinsi, kimyasal bileşimi gibi faktörlere bağlı olarak değişebilmektedir, bu sebeple mikrodalga ile kurutma işleminin verimliliğini arttırmak malzeme kalitesini korumak için önemlidir.

Mikrodalga işlemlerinde önemli elektriksel özellikler; ( $\epsilon'$ ) bağıl dielektrik sabiti, ( $\epsilon''$ ) bağıl dielektrik kayıp faktörüdür.

Dielektrik Sabiti ( $\epsilon'$ ): malzemenin elektriksel iletkenliğini ölçer ve malzemenin elektrik alan içindeki rektansını temsil eder. Dielektrik sabitinin yüksek olması malzemenin mikrodalga enerjisini daha iyi absorbe etme ve hızlı ısınmasını sağlar.

Dielektrik Kaybı Faktörü ( $\epsilon''$ ): Dielektrik kaybı faktörü, bir malzemenin elektrik enerjisini ısıya dönüştürme yeteneğini ölçer. Yüksek dielektrik kaybı faktörü, malzemenin mikrodalga enerjisini daha fazla ısıya dönüştürmesine neden olur. Dielektrik kayıp faktörünün dielektrik sabitine oranıdır.

Polarizasyon Yeteneği (P): Materyalin polarizasyon yeteneği, malzeme içerisinde bulunan dipol moleküllerin elektrik alan etkisiyle hızlanma yeteneğidir.

Geçirgenlik ( $\mu$ ): Geçirgenlik, bir malzemenin elektrik alan içindeki davranışını tanımlar. Bu, malzemenin içinden geçen mikrodalga enerjisinin hızını etkiler.

Mikrodalga içerisindeki materyalin ısınma sürecine materyalin dielektrik özellikleri belirlemektedir.

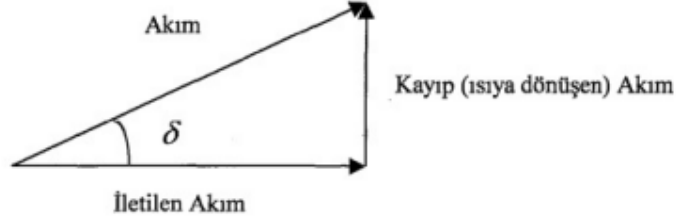
Dielektrik ısınma ile bağlantılı olan geçirgenlik değeri aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir. (Bradshaw vd. 1998).

$$\epsilon^* = \epsilon' + j\epsilon'' \quad (3.3)$$

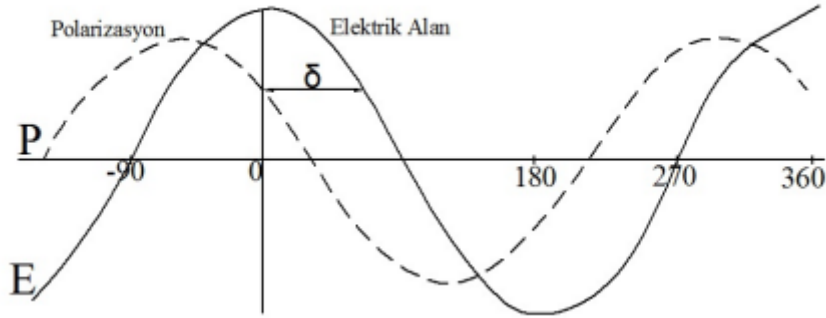
Bu özellikler materyalin elektriksel (dielektrik) yani yalıtkanlık kabiliyetini gösterir (Özsoy 2015).

$$\tan \delta = \varepsilon''_{eff} / \varepsilon'_r \quad \varepsilon'' = \varepsilon' \cdot \tan \delta \quad (3.4)$$

$\delta$  elektrik alanının yönü ve materyalin polarizasyonu arasında bulunan faz farkıdır.



Şekil 3.3 Kayıp Tanjantı (Özsoy 2015).



Şekil 3.4 Materyale uygulanan elektrik alan ve polarizasyon arasındaki faz farkı (Kuş 2016).

### 3.2.3.3 Etki Derinliği

Mikrodalga ve materyal arasındaki enerji aktarımı, materyalin ve mikrodalga üreticinin elektriksel ve fiziksel özelliklerine bağlıdır. Etki derinliği ( $Z$ ), materyal içindeki elektriksel alanın şiddeti, madde yüzeyine uygulanan elektriksel alan şiddetine oranının  $1/e$  oranına yani madde tarafından ısıya dönüştüğü derinlik olarak tanımlanır. ( $\lambda$ ); uygulanan elektromanyetik dalga boyu, ( $\varepsilon'$ ) bağl dielektrik sabiti, ( $\tan \delta$ ) kayıp tanjantıdır.

$$Z = \frac{\lambda}{2\pi} \left[ \frac{2}{\epsilon'(\sqrt{1+\tan^2 \delta}-1)} \right]^{(1/2)}$$

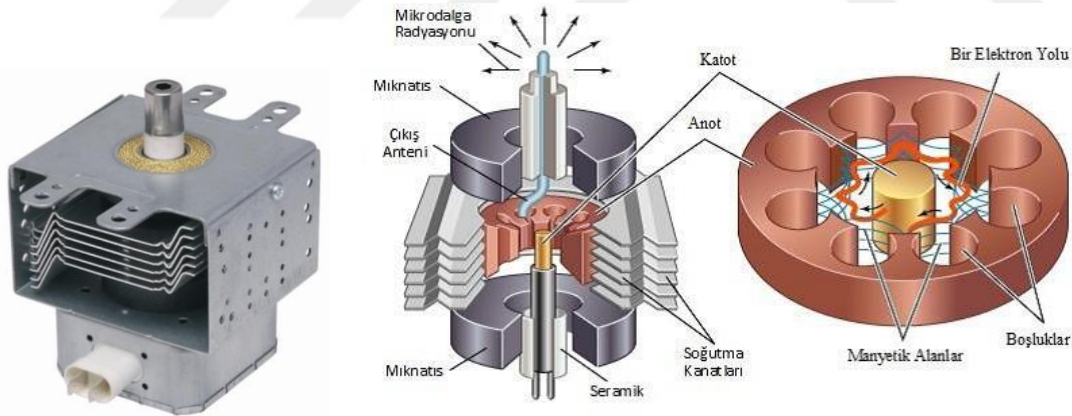
etki derinliği (Kuş 2016).

$$d_p = \frac{c}{2\pi f \sqrt{2\epsilon'} \left[ \sqrt{1+\left(\frac{\epsilon''}{\epsilon'}\right)^2} - 1 \right]}$$

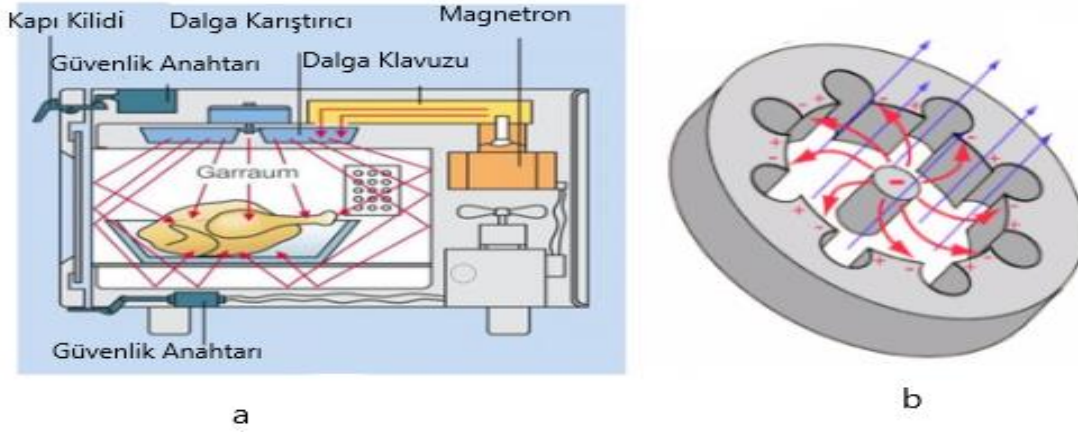
penetrasyon derinliği (Metaxas ve Meredith 1983).

Etki derinliği, frekans ( $f$ ) ile ters orantılı olarak ilerlemektedir, frekans arttıkça etki azalmakta, frekans azaldıkça etki derinliği artmaktadır. Materyal içindeki elektromanyetik dalga ilerledikçe güç yoğunluğu ve alanın zayıflaması sebebiyle mikrodalga ile işlenen materyalin kalınlıkları büyük önem taşımaktadır. Özellikle gıda güvenliği göz önüne alındığında ince yada küçük parçalar halindeki materyalin mikrodalga tasarım ve proses uygulaması etki derinliği ve materyalin fiziksel boyutları dikkate alınmalıdır.

### 3.2.4 Mikrodalga Üretici ve Çalışma İlkeleri

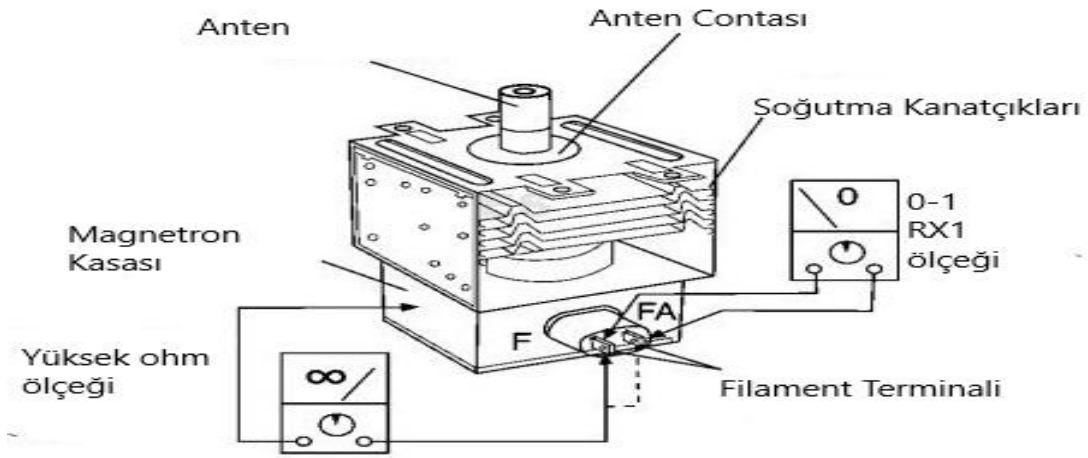


Şekil 3.5 Magnetronun ve iç yapısı, katot anot parçaları (<https://www.britannica.com/technology/magnetron> 2023)

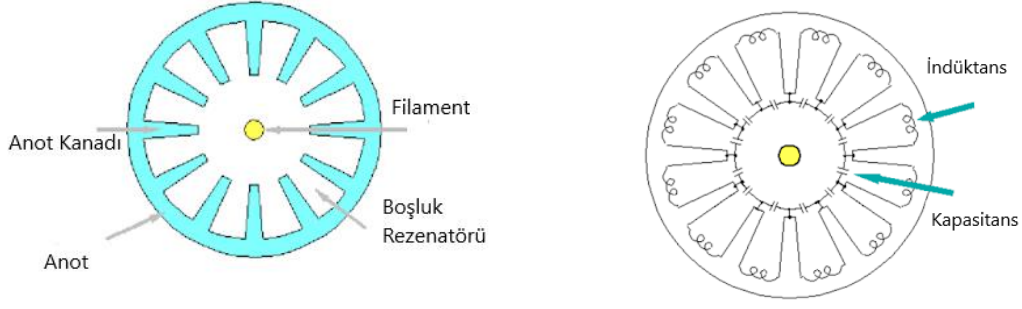


Şekil 3.6 (a) Mikrodalga fırının çalışma şekli; (b) Magnetronun iç yapısı (Atakan 2019).

(a) Mikrodalga fırının çalışması; Kapı kilidi, güvenlik anahtarı, dalga karıştırıcı, magnetron, güvenlik şalteri, pişirme alanı, güvenlik şalteri (b) Magnetronun iç yapısı; Merkezdeki sıcak katottan elektronlar çevredeki anoda doğru bükülerek yol alırlar, şekil (b) de bulunan B alanı kararlı manyetik alanı göstermektedir.

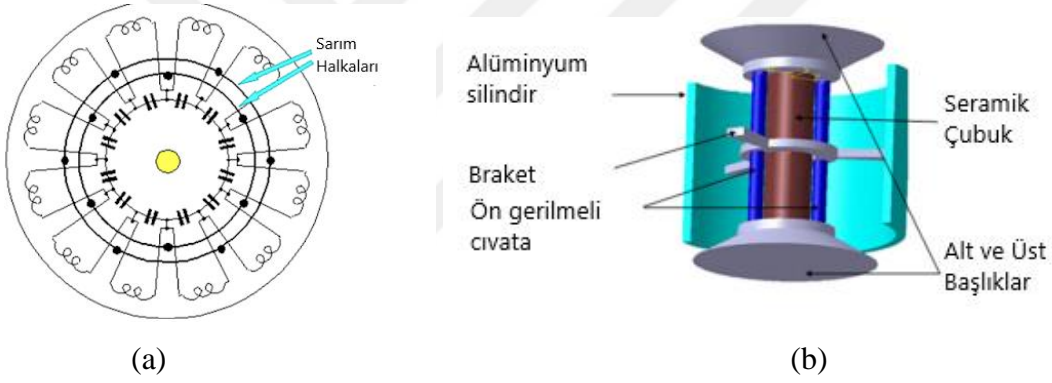


Şekil 3.7 Magnetron iç yapısı, (Anten, anten contası, soğutma kanatları, RX1 terazisi, kablo terminali, magnetron kutusu, OHM ölçeği) (Hazervazifeh 2012).

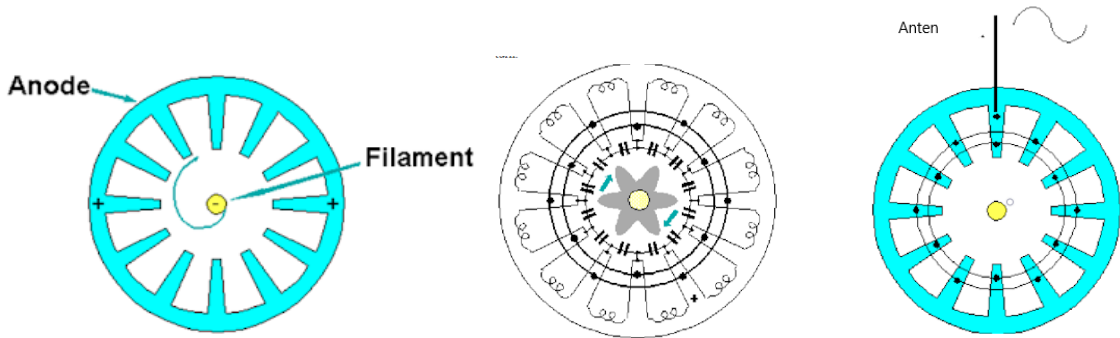


Şekil 3.8 Magnetron iç yapısı (a) Anot kanatları ve rezonatör boşluğu; (b) İndüktans

Magnetron, on iki anot kanadının oluşturduğu rezonatör boşluğu ve bir kablo milinden oluşmaktadır. Her bir rezonatör kavitesi indüktöre paralel bağlanmış bir kapasitörden oluşan paralel bağlı devre oluşturur. İnduktans ve kapasitans boşluğu arasında kalan boşluk dielektriktir. Aşağıdaki şemada, anlaşılmasını kolaylaştırmak için magnetron anotu ve bileşenleri gösterilmektedir.



Şekil 3.9 (a): Magnetron anot yapısı ve mıknatıs konumu; (b) Dönüştürücünün yapı şeması (Chen vd. 2022).



Şekil 3.10 (a) (Lorentz yasası), manyetik alanın etkisiyle spiral yol; (b) İplikli tekerlek modeli; (c) Anten (<https://sooriyamathy.blogspot.com/> 2024.)



## BÖLÜM 4

### TAVUK ETİNİN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Kanatlı eti genel olarak dengeli ve yeterli beslenmedeki yeri dikkate alındığında ekonomik bir besin kaynağı olmasıyla vazgeçilmez bir öneme sahiptir. Dünyada kanatlı eti 136 milyon ton üretim ile yüzde 40 paya sahiptir ve dünyada en çok tüketilen et ürünüdür. Türkiye 2022 yılı 2.417.995 ton piliç eti ve 53.646 ton hindi eti ile dünyada 10. Sırada yer almaktadır. Kişi başı kanatlı eti tüketimi ise yıllık 21 kg ortalaması ile devam etmektedir.

Hayvansal kaynaklı protein kaynaklarının elde edilmesi, hayvan yetiştirmedeki zorluk göze alındığında daha kısa sürede yetiştirilebilen kanatlı sektörü üne çıkmaktadır. Beyaz et sektöründe piliç eti büyük bir orana sahip olmakla birlikte, hindi, damızlık ve yumurtacı tavuk eti, kaz, ördek, bildircin ve sülün vb. hayvan etleri ticari değere sahip kanatlı etleri dâhildir. Kanatlı hayvanları; doğumdan itibaren kısa sürede yeterli olgunluğa ulaşması, yetiştirme koşullarının kolay ve kontrol edilebilir olması, yem konsantrasyonunun kas ve kütleye dönüşüm oranının yüksek olması, kesim ve işleme masraflarının diğer hayvanlara göre düşük olması, et veriminin arttırılabilmesine yönelik deneysel çalışmalara hızlı cevap vermesi ve hem etçil hem otçul beslenmeleri sebebiyle yem korelasyonunun değerlendirilebilir olması avantajlarıdır.

#### 4.1 BESLENME AÇISINDAN TAVUK ÜRÜNLERİ

Dengeli beslenme için ihtiyaç duyulan kalite ve miktarda gıda tüketilmesi gerekmektedir. İnsanın günlük tüketmesi gereken besin kombinasyonu % 20-35 yağlardan, % 55-60 karbonhidratlardan ve %12-15 kadarı ise proteinlerden oluşmalıdır. Kanatlı etleri protein içeriği açısından diğer et ürünleri açısından daha yüksektir. Derisiz tavuk göğsü protein değeri ortalama %21,39 oranındadır. Et ve et ürünleri temel aminoasitler açısından kaliteli besin kaynaklarıdır (Yerlikaya ve Özkaya 2020).

**Çizelge 4.1** Tüketime sunulan farklı hayvan etlerinin pişirilmiş bileşimi kalori değerleri.

| Hayvan Türü     | Nem (%) | Protein (%) | Yağ (%) | Kül (%) | Enerji (kcal/100g) |
|-----------------|---------|-------------|---------|---------|--------------------|
| Tavuk Göğüs Eti | 64,76   | 30,91       | 1,04    | 1,02    | 173,00             |
| Tavuk But Eti   | 63,06   | 27,37       | 1,09    | 1,02    | 205,00             |
| Hindi Göğüs Eti | 66,27   | 29,90       | 1,03    | 1,08    | 157,00             |
| Hindi But Eti   | 63,09   | 28,57       | 1,07    | 1,02    | 187,00             |
| Koyun But       | 61,50   | 27,00       | 1,08    | 2,00    | 200,00             |
| Dana But        | 63,00   | 29,00       | 1,05    | 1,01    | 175,00             |

**Çizelge 4.2** Farklı hayvanlara ait pişirilmiş et ürünleri amino asit bileşimi (g/ 100 g pr.).

| Aminoasit     | Koyun But | Dana But | Tavuk But (derili) | Tavuk But (derisiz) | Tavuk Göğüs (derili) | Tavuk Göğüs (derisiz) |
|---------------|-----------|----------|--------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|
| Triptofan     | 0,36      | 0,4      | 0,3                | 0,32                | 0,33                 | 0,36                  |
| Treonin       | 1,3       | 1,32     | 1,07               | 1,16                | 1,2                  | 1,3                   |
| İzolösin      | 1,45      | 1,61     | 1,29               | 1,45                | 1,46                 | 1,63                  |
| Lisin         | 2,38      | 2,54     | 2,11               | 2,33                | 2,37                 | 2,63                  |
| Lösin         | 2,19      | 2,23     | 1,88               | 2,05                | 2,12                 | 2,32                  |
| Metiyonin     | 0,7       | 0,7      | 0,69               | 0,76                | 0,78                 | 0,86                  |
| Sistin        | 0,34      | 0,36     | 0,35               | 0,35                | 0,39                 | 0,4                   |
| Fenilalanin   | 1,15      | 1,24     | 1,01               | 1,09                | 1,13                 | 1,23                  |
| Trosin        | 0,98      | 1,09     | 0,83               | 0,92                | 0,94                 | 1,04                  |
| Valin         | 1,42      | 1,57     | 1,26               | 1,36                | 1,41                 | 1,53                  |
| Arjinin       | 1,86      | 1,98     | 1,63               | 1,65                | 1,81                 | 1,86                  |
| Histidin      | 0,79      | 0,98     | 0,76               | 0,85                | 0,86                 | 0,96                  |
| Alanin        | 1,78      | 1,8      | 1,52               | 1,49                | 1,68                 | 1,69                  |
| Aspartikasıit | 2,64      | 2,99     | 2,32               | 2,44                | 2,59                 | 2,75                  |
| Glutamikasit  | 4,38      | 4,74     | 3,79               | 4,1                 | 4,25                 | 4,63                  |
| Glisin        | 1,57      | 1,45     | 1,72               | 1,34                | 1,82                 | 1,52                  |
| Prolin        | 1,29      | 1,23     | 1,28               | 1,13                | 1,38                 | 1,27                  |
| Serin         | 1,19      | 1,34     | 0,92               | 0,94                | 1,02                 | 1,03                  |

**Çizelge 4.3** Çiğ tavuk ürünlerinin besin değerleri (Akgün 2006).

| Ürün               | Protein | Yağ | Karbonhidrat | Kalori |
|--------------------|---------|-----|--------------|--------|
| Tavuk But          | 21      | 3   | -            | 122    |
| Tavuk Ciğer        | 22      | 5   | -            | 147    |
| Tavuk Göğüs        | 23      | 1   | -            | 104    |
| Tavuk Kanat        | 18      | 13  | -            | 191    |
| Tavuk Kıyma        | 17      | 8,1 | -            | 143    |
| Tavuk İncik Derili | 18,5    | 18  | -            | 238    |
| Tavuk Taşlık       | 20      | 3   | -            | 111    |

B grubu vitaminler açısından bir kaynak olan kanatlı etlerinden özellikle tavuk göğüs etleri niasin açısından daha zengindir. Benzer şekilde kanatlı etlerinde beslenme açısından ihtiyaç duyulan başlıca mineralleri içermektedir (Yücesoy ve Kaya 2022).

**Çizelge 4.4** Çiğ ve pişmiş tavuk ürünleri vitamin içeriği.

| Etin fiziksel durumu | Tiamin | Vit B2 | Niasin | Pantotenik | Vit B6 | Folik asit | Vit B12 | Vit A |
|----------------------|--------|--------|--------|------------|--------|------------|---------|-------|
|                      | (mg)   | (mg)   | (mg)   | asit (mg)  | (mg)   | (mg)       | (mg)    | (IÜ)  |
| Çiğ bütün karkas     | 0,06   | 0,12   | 6,8    | 0,91       | 0,35   | 6,00       | 0,31    | 140   |
| Pişmiş bütün karkas  | 0,06   | 0,17   | 0,49   | 1,03       | 0,4    | 5,00       | 0,30    | 141   |
| Çiğ Göğüs eti        | 0,06   | 0,09   | 8,91   | 0,79       | 0,48   | 4,00       | 0,34    | 99    |
| Pişmiş Göğüs eti     | 0,06   | 0,12   | 11,13  | 0,93       | 0,52   | 3,00       | 0,32    | 110   |
| Çiğ but eti          | 0,06   | 0,15   | 5,21   | 0,99       | 0,25   | 7,00       | 0,29    | 170   |
| Pişmiş but eti       | 0,07   | 0,21   | 6,36   | 1,11       | 0,31   | 7,00       | 0,29    | 201   |

**Çizelge 4.5** Çiğ ve Pişmiş Tavuk Eti mineral madde miktarları (mg/ 100 gr).

| Etin fiziksel durumu | Ca    | Fe   | Mg    | P      | K      | Na    | Zn   | Cu   |
|----------------------|-------|------|-------|--------|--------|-------|------|------|
| Çiğ bütün karkas     | 11,00 | 0,90 | 20,00 | 147,00 | 189,00 | 70,00 | 1,31 | 0,05 |
| Pişmiş bütün karkas  | 15,00 | 1,26 | 33,00 | 182,00 | 223,00 | 82,00 | 1,94 | 0,07 |
| Çiğ göğüs eti        | 11,00 | 0,79 | 23,00 | 163,00 | 204,00 | 65,00 | 0,93 | 0,04 |
| Pişmiş göğüs eti     | 15,00 | 1,14 | 25,00 | 200,00 | 227,00 | 75,00 | 1,23 | 0,05 |
| Çiğ but eti          | 11,00 | 0,98 | 19,00 | 136,00 | 178,00 | 73,00 | 1,58 | 0,05 |
| Pişmiş but eti       | 15,00 | 1,36 | 22,00 | 168,00 | 220,00 | 87,00 | 2,49 | 0,07 |

Derisiz kanatlı etinde kırmızı ete oranla yağ oranı daha düşük olmasına rağmen doymamış yağ asitleri miktarları daha yüksektir. Kanatlı etinde bulunan yağlar beslenme açısından

önemlidir, derisiz kanatlı etleri ise kilo kontrolü ve nitelikli protein açısından beslenme listesine alınmalıdır (Yerlikaya ve Özkaya 2020).

**Çizelge 4.6:** Kanatlı etleri yağ asitleri kompozisyonu (Demirci ve Yılmaz 1996).

| Türler   | Doymuş Yağ Asitleri (%) | Oleik asit (%) | Linoleik asit (%) | Linolenik asit (%) | Araşhidonik asit (%) |
|----------|-------------------------|----------------|-------------------|--------------------|----------------------|
| Tavuk    | 28-31                   | 47-51          | 14-18             | 0,7-1,0            | 0,3-0,5              |
| Hindi    | 28-33                   | 39-51          | 13-21             | 0,8-1,3            | 0,2-0,7              |
| Ördek    | 27,00                   | 42,00          | 24,00             | 1,04               | 0,20                 |
| Kaz      | 30,00                   | 57,00          | 8,00              | 0,40               | 0,05                 |
| Güvercin | 23,00                   | 56,00          | 17,00             | 0,70               | 0,04                 |

## 4.2 TAVUK ETİ KAS DOKUSU HAKKINDA GENEL BİLGİ

Et ve et ürünleri proseslerinde çevresel ve genotip özellikleri ürün verimi ve uygulanacak işlemlerin seçimi konusunda önemlidir. Kesim sonrası kasın ete dönüşümü kesim anı ile birçok kimyasal reaksiyon ile başlar. Postmortem dokuda kanın akıtılmasıyla birlikte ATP konsantrasyonunu korumak için çalışan dokular, oksijen yetersizliği ile anaerobik glikoliz vasıtasıyla parçalanmaya evrilir. Kasta ATP miktarı düşerek laktik asit birikir. ATP miktarının 1  $\mu\text{Mg}$  / g doku ile rigor mortis başlar 0,1  $\mu\text{Mg}$  / g doku ile tamamlanma eğrisine girer. Rigor mortis tamamlanma süresi; hayvan türü, maruz kalınan çevresel sıcaklık, kas ve lif çeşidi, glikoliz hızı, kesim esnası hayvanın maruz kaldığı strese bağlı olarak değişir. Kas dokusunda biriken laktik asit miktarı etin pH miktarını doğrudan kalite özelliklerini belirler. Kasın pH değerinin düşmesi ise protein denatürasyona sebep olur. Çiğ ette bulunan kas proteinlerinin fonksiyonel özellikleri etkiler. Kas dokusuna ait aktin ve miyozin proteinlerinin denatürasyonu etin su tutma kapasitesi ve renk değerlerinde olumsuz etkiye sahiptir.

Miyosin denatürasyonunda; miyosin uzunluğu azalarak aktin ile kas kasılmasıyla birleşerek filamentler arası boşluk daralır. Bu daralma ile hücre içi su dışarı itilir ve ışık yansımaya sebep olur ve et rengi soluk gözükür. Bu durum sonucu et soluk, yumuşak, sulu anlamını taşıyan 'Pale Soft and Exudative' (PSE) yani soluk-yumuşak ve eksüdatif olarak adlandırılır. Tavuk göğüs etlerinde (postmortem) ölüm sonrası fazda beyaz kas lifleri glikoliz aktivitesinin fazla olması PSE et ile karşılaştırılma oranı daha fazladır (Yaman 2015).

## BÖLÜM 5

### MATERYAL VE YÖNTEM

#### 5.1 MATERYAL

Mevcut çalışmada piyasada satışa sunulan ERPİLİÇ; Er Piliç Entegre Tavukçuluk Üretim Pazarlama Tic LTD. ŞTİ- Tabaklı Bonfile, BANVİT; Bandırma Vitamini Yem Sanayi – Piliç Bonfile Göğüs kullanılmıştır. Her bir marka ve seri tavukgöğsünden ayrı ayrı numune alınarak nem değerlerine bakılmıştır. Tavukgöğsüleri BOSCH marka ev tipi buzdolabında muhafaza edilerek kullanılmıştır. İşlem öncesi derisiz göğüs bonfilelerin dış zarları, parça üzerinde kalan damar, sinir, lenf benzeri yapılar ayrılmıştır. Piliç göğüs etleri 1\*1\*1 cm ölçülerinde küp şeklinde doğranmıştır.



**Şekil 5.1** Piliç göğüs bonfile (Piliç Bonfile, piliç filetonun ortadan ikiye bölünmesi ve küçük göğüs loblarının alınması ile elde edilir.)

### 5.1.1 Tavuk Eti ve Ön İşlem Uygulamaları ve Hazırlanması

Tavuk etleri ön işlemleri gıda üretimlerinde sıkça kullanılmaktadır. Bunlar, marinasyon, ıslak kaplama, kuru kaplama vb. uygulamalar ile ürüne tüketici beğenisi oluşturacak duyu özellikler kazandırılırken kurutma, pişirme, dondurma vb. süreçlerde birbirine ve konveyör banda yapışmayı önler yada yapışması istenen granüler olayları destekler. Ön işlemler, pişirme ve kurutma süreçlerinde yanmayı ayrıca dondurma süreçlerinde don yanığını engelleyebilmektedir, proses süresini kısaltabilir, bakteriyel yükü azaltarak bir sonraki prosesin kalitesini etkiler, renk, tekstür, gıdanın fiziksel özelliklerinde kalite parametrelerini önemli ölçüde etkiler. Ön işlemler ile özellikle gıda ürünlerine farklı fonksiyonel özellikler kazandırılabilir. Besin özelliklerine katkı sağlanabilir ve besin değerlerine depolama süresi boyunca azalma eğrisini yavaşlatabilir.

Bu sebeple tavuk göğüs etine kurutma işlemi uygulanmadan önce ön haşlama işlemine tabi tutulmuş daha sonra hem çiğ hem de ön haşlanmış ürünlere un kaplama işlemi uygulanarak nem düşüşü renk ve prosesin enerji tüketimi verileri karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.2 Tavuk göğüs eti 1\*1\*1 cm parçalara ayrılmış ve deneme çalışmaları görseli.

Kurutma öncesi parçalara ayrılan tavukgöğsü etlerine un kaplama, haşlama ve herhangi bir işlem uygulanmayan gruplar oluşturulmuştur. Uygulama grupları oluşturulurken literatür araştırması yapılmıştır. Akışkan yatak ile kurutma araştırmaları incelenmiş ve akışkanlaşma sağlanabilmesi için birbirine yapışma eğilimi olan ürünlerde ön işlemlerin uygulanarak küçük boyutlu materyalin akışkan yatak kurutma prosesi ile kurutulması planlanmıştır. Benzer bir şekilde ön haşlama işleminin nem oranı yüksek olan gıda ürünlerinin kurutma sürecine etkisi ölçülmek istenmiştir. İki kurutma disiplini ile mikrodalga ve akışkan yatak süreçlerinde tavuk eti ürününün ön işlemler neticesinde uygulanabilirliği, proses verimi, enerji tüketimi ve renk parametresi baz alınarak karşılaştırma yapılmıştır.

**Çizelge 5.1** Uygulama grupları tablosu.

| Numara | Uygulama Grubu                     | Uygulanan İşlem             |
|--------|------------------------------------|-----------------------------|
| 1      | Çiğ ve Kaplamasız Tavuk Göğsü      | Mikrodalga ve Akışkan Yatak |
| 2      | Un ile Kaplanan Tavuk Göğsü        | Mikrodalga ve Akışkan Yatak |
| 3      | Ön Haşlama Yapılan Tavuk Göğsü     | Mikrodalga ve Akışkan Yatak |
| 4      | Haşlama ve Un Kaplanan Tavuk Göğsü | Mikrodalga ve Akışkan Yatak |

Et kurutma tarihi çok eskiye dayanmakla birlikte güncel olarak geleneksel yöntemler de devam etmektedir. Endüstriyel olarak kalite parametrelerinin gelişmesi, bu anlamda kimyasal ve mikrobiyolojik analizleri de beraberinde getirmiştir. Geleneksel yöntemlerde yapılan çalışmalarda kırmızı dana eti ve kuzu etinde 63 °C, beyaz ette ise 74 °C lik ön pişirmenin mikrobiyel yükü azalttığı görülmüştür. Ancak yüksek sıcaklarının kas proteinlerinde oluşturduğu denatürasyon sebebiyle endüstriyel çözümler bulunması açısından marinasyon, asit ve tuz konsantrasyonları, farklı bakteri suşları denenmiştir. Güneş ile kurutma ve benzeri geleneksel kurutma yöntemlerinde diğer gıda ürünleri de dâhil olmak üzere küf sporlarına rastlanmıştır.

**Çizelge 5.2** Et kurutmada kullanılan farklı yöntemler ve marinasyon, kaplama işlemlerine örnekler.

| Ürün   | Et Çeşidi                               | İçerik  | Kurutma Yöntemi   | Referans                              |
|--|---|---|---|---------------------------------------|
| Biltong: Kuru et<br>Güney Afrika ve<br>Nambiya | Ceylan                                  | Tuz   | Sıcak hava ile kurutma  | (Zdanowska-Sasiadek Z vd 2018)        |
|  | Afrika<br>ceylanı<br>Afrika<br>antilobu | Sirke<br>Karabiber  | Güneşte Kurutma   | (Jones M vd 2017)                     |
|  | Devekuşu                                | Kişniş<br>Esmer şeker                                     |   |                                       |
| Kurutulmuş tavuk                               | Tavuk                                   | -   | Kızgın buhar ile kurutma<br>Isı pompası ile kurutma<br>Sıcak hava ile kurutma | (Nathakaranakule A vd.2007)           |
| Jerky: Kuru et                                 | Kuzu                                    |   |   | (Rao W vd. 2018)                      |
|  | Dana eti<br>Yak                         | Tuz   | Sıcak hava ile kurutma  | (Hou C vd. 2018)<br>(Kim DH vd. 2022) |
| Sucuk  | Dana eti                                | Tuz<br>Nitrate/ Nitrite<br>Glikoz                         | Sıcak hava ile kurutma  | (Kaban G vd. 2013)                    |
|  | Manda<br>Kuzu                           | Karabiber ve pul biber<br>Kimyon<br>Yenibahar<br>Sarımsak |   |                                       |
| Pastırma                                       | Dana eti                                | Tuz<br>Sükroz/ Glikoz                                     | Yaşlandırma ve kuru kürlenme  | (Kaban G vd. 2013)                    |
|  | Manda                                   | Sarımsak<br>Kırmızı biber                                 |   |                                       |
| Kadid: Kuru et /<br>Tunus                      | Dana eti                                |   | Güneş ile kurutma   | (Chabbouh M vd 2013)                  |
|  | Kuzu<br>Deve                            | Tuz   |   | (Gagaoua M vd 2018)                   |
| Cecina: Kuru et<br>İspanya Meksika             | Dana eti                                |   | Kuru kürlenme   | (Gutiérrez NO vd 2022)                |
|  | At                                      | Tuz   |   | (Lorenzo JM vd 2015)                  |
| Carne-de-sol:<br>Kuru et / Brezilya            | Dana eti                                | Tuz   | Güneş ile kurutma   | (Dinçer EA vd 2015)                   |
| Kurutulmuş<br>domuz eti                        | Domuz                                   | -   | Kuru sıcak hava ile kurutma   | (Yang ve ark, 2009)                   |
| Kurutulmuş dana<br>eti                         | Dana eti                                | -   |   |                                       |

**Çizelge 5.2** (devam ediyor)

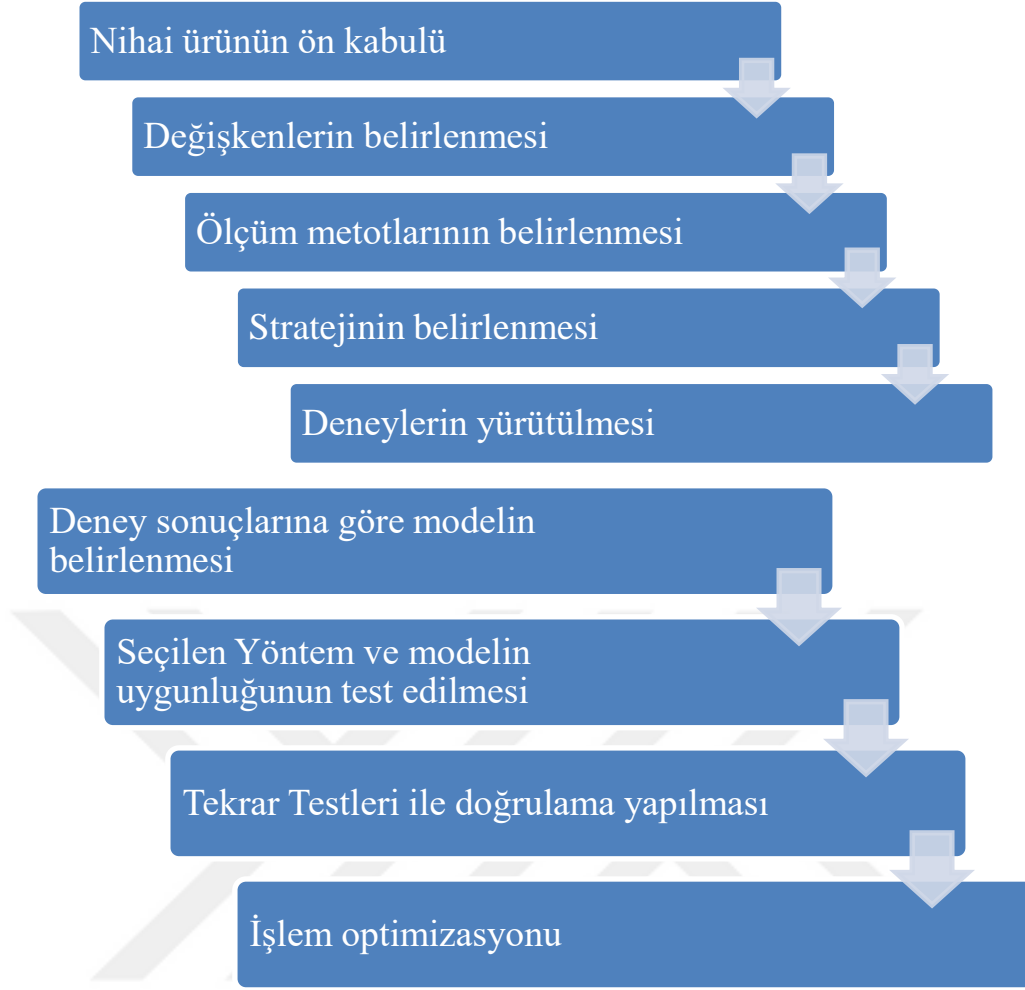
| Ürün                 | Et Çeşidi | İçerik                            | Kurutma Yöntemi                                       | Referans                |
|----------------------|-----------|-----------------------------------|---|-------------------------|
| Kurutulmuş Tavuk eti | Tavuk eti | Sodyum tuzu                       | 65- 75- 85 C sıcaklıktaki fırında kurutma             | (Luckose ve ark, 2017)  |
|                      |           | Potasyum tuzu                     |   |                         |
|                      |           | Şeker                             |   |                         |
|                      |           | Mısır unu                         |   |                         |
|                      |           | Zencefil tozu                     |   |                         |
|                      |           | Sarımsak Tozu                     |   |                         |
| Kurutulmuş et        | Dana eti  | Baharat karışımı                  | Güneşte Kurutma<br>Sıcak hava ile kurutma             | Nam ve ark, 2012        |
|                      |           | -                                 |   |                         |
|                      |           | -                                 |   |                         |
| Kurutulmuş Balık     | Balık eti | %3 ve %5 alg                      | 60 C fırın tipi kurutucu kuru hava                    | Hanjabam ve ark 2017    |
|                      |           | Tuz                               |   |                         |
|                      |           | Şeker                             |   |                         |
|                      |           | Soğan tozu                        |   |                         |
|                      |           | Sarımsak tozu                     |   |                         |
|                      |           | Karabiber                         |   |                         |
| Kurutulmuş et        | Dana eti  | Aside dirençli salmonella kuşları | 60 C hava ile kurutma                                 | Çalıcıoğlu ve ark, 2003 |
|                      |           | Sodyum laktat                     |   |                         |
|                      |           | Asetik asit                       |   |                         |
| Kurutulmuş et        | Dana eti  | %5 etanollü soya sosu             | 52- 57- 63 C hava ile kurutma                         | Yoon ve ark, 2006       |
|                      |           | Listeria monocytogenes            |   |                         |
| Kurutulmuş et        | Domuz eti | Lactobasilus bulgaris             | Mikrodalga ön işlemleri<br>60 C kuru hava ile kurutma | Zho ve ark, 2016        |

Deney süreci koşulları oluşturulurken değişkenlerin belirlenebilmesi için ön denemeler yapılmıştır. Piyasada bulunan farklı markalara ait tavuk göğüs etlerinin nem değerlerinin arasında farkın olup olmadığı test edilmiştir. Çiğ tavuk etleri blenderdan geçirilerek RADWAG MA 50 nem tayin cihazı ile nem ölçümleri her deneme öncesi yapılmıştır.

**Çizelge 5.3** Farklı markalara ait tavuk göğüs etlerinin nem değerleri.

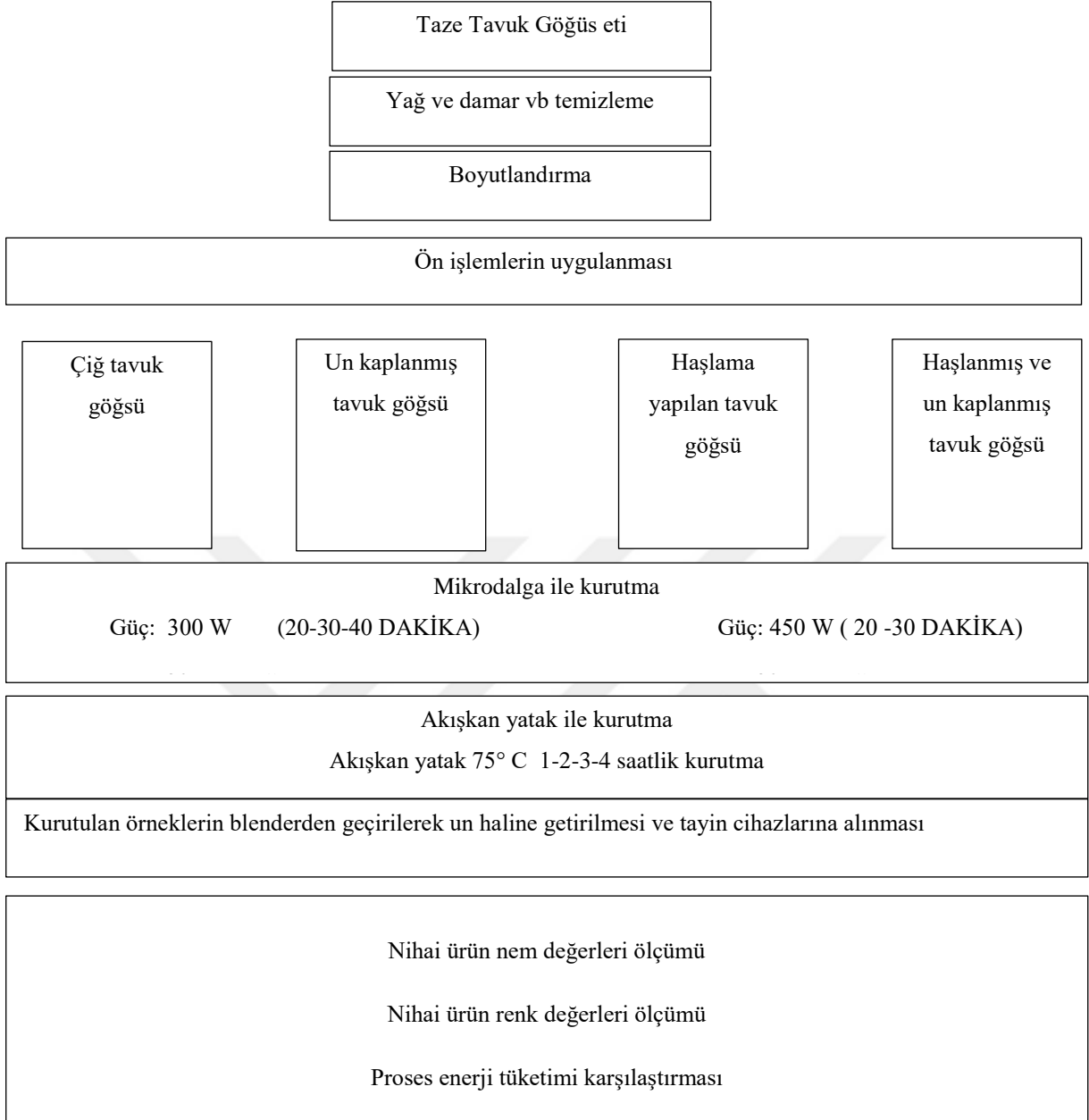
| Marka     | Nem Değeri | Başlangıç gr | Bitiş gr |
|-----------|------------|--------------|----------|
| ERPİLİÇ-1 | % 73,13    | 5,007        | 1,346    |
| ERPİLİÇ-2 | %73,29     | 5,030        | 1,344    |
| BANVİT-1  | %72,74     | 5,010        | 1,360    |
| BANVİT-2  | %72,93     | 5,010        | 1,36     |

Deney modeli, örnekler ve ölçüm metotları için aşağıdaki algoritma ile tasarlanmıştır.



**Şekil 5.3** Tasarım optimizasyonu algoritması.

Optimizasyon; sistemin maksimum fayda verebilmesi için sürecin ya da ürünün verimini iyileştirmeyi hedefler. Optimizasyon terimi, sistem performansının verebileceği en iyi yanıt için hangi prosedür ve koşulların uygulanması gerektiğinin bir aracıdır. Proses optimize edilirken sistem performansı ve ürün kalite kriterlerini belirleyen ve etkileyen birçok uygulama eş zamanlı olarak gerçekleşir. İstenilen nihai sonuca göre sistem performansı ve verimliliği bazıları artırılıp bazıları azaltılarak uygun hale getirilir.



**Şekil 5.4** Proses uygulama şeması.

## 5.2 YÖNTEM

### 5.2.1 Kullanılan Ölçü Aletleri

Akışkan yatak ve mikrodalga sistemlerinde yapılan kurutma işlemlerinde ve veri ölçümlerinde aşağıdaki aletler kullanılmıştır. Ölçme aletlerinin kalibrasyonları yapılmıştır, kalibrasyon sertifikaları ekte belirtilmiştir.

- TT Technic My-62 Multimetre ile sıcaklık nem değerlerinin ölçülmesi sağlanmıştır.
- TESTO 405 i Thermo Anemometre ile hava akış hızları ve sıcaklıkları kayıt altına alınmıştır.
- Elitech RC-4HC ile kanal içi nem ve sıcaklık değerleri ölçülmüştür.
- RADWAG MA 50.R Nem tayin cihazı ile kurutulan ürünlerin nem değerlerine bakılmıştır.
- SF 400 C kabinli hasas terazi ile tartımlar yapılmıştır.(0,01 gr hassasiyet)
- FLIR TG 167 termal kamera ile ısı görüntüleri alınmıştır.
- Arzum shakein take marka blender ile ürün parçalama işlemi yapılmıştır.



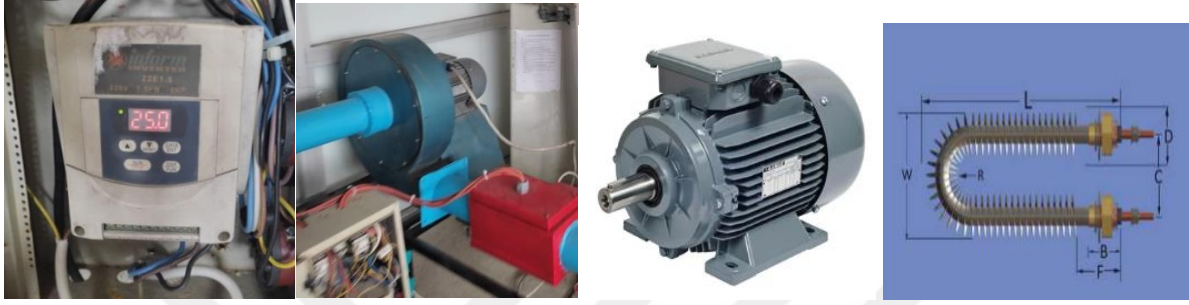
**Şekil 5.5** Ölçme aletleri (a): Multimetre; (b): Anemometre; (c): Nem tayin cihazı (d): Nem sıcaklık ölçer.

### 5.2.2 Akışkan Yatak Kurutma Deney Düzenegi

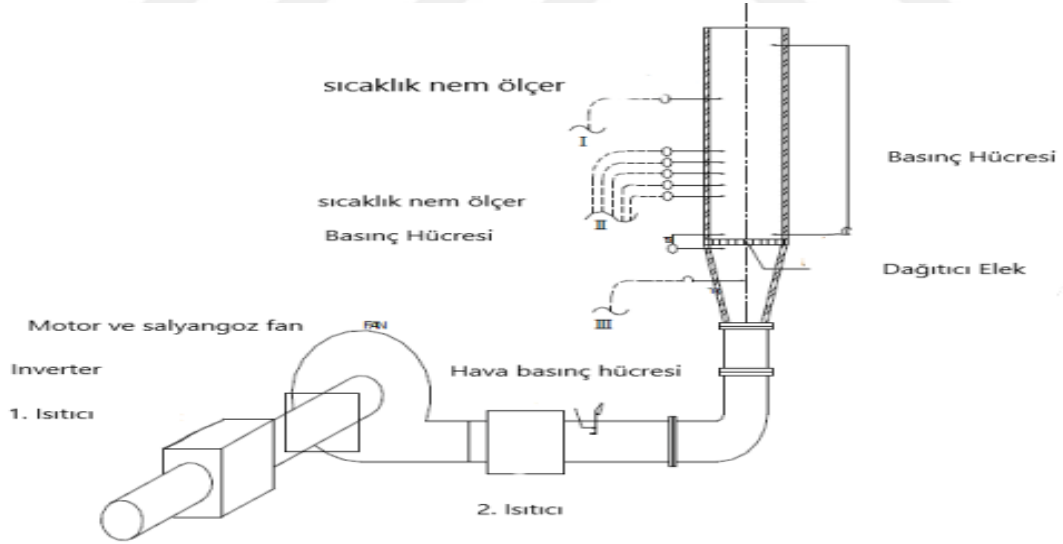
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümüne ait akışkan yatak mekanizması kullanılmıştır.

- Isıtıcı rezistansları; Baykal Rezistans firmasından alınan 6 adet 20 cm U tip serpantinli rezistans ile değiştirilmiştir.
- Hava akışı; 1 adet GAMAK marka (1005090370) AGM 90 S 2 tip 1,5 kW 3000d/dk 3 fazlı asenkron salyangoz motor kullanılmıştır.
- 1 adet INFORM marka inverter 22 E 1,5 220 V 1,5 kW 2HP
- 2 adet thermocouple ile ısıtma kabinlerindeki derece kontrolü sağlanmaktadır.

Deney seti 1,5 kW gücünde 3 fazlı bir salyangoz motorun önüne ve arkasına kurulan boru sistemi içerisine yerleştirilen 3 adet motor hava girişi, 3 adet motor sonrası olmak üzere 6 adet 20 cm lik 6 adet serpantinli rezistans ile sıcak hava sağlanmaktadır. Her bir ısıtma kabinine 1 adet thermocouple yerleştirilmiştir. 6 adet kontrol düğmesi ile rezistanslar aktifleştirilmektedir. Hava akış hızını ölçmek için ve hava sıcaklığını ölçmek için yatak dolu ve boş halinde iken ölçümler yapılmıştır.



(a) (b) (c) (d)  
**Şekil 5.6** (a) inverter; (b) fan; (c) elektrik motoru; (d) serpantinli rezistans.

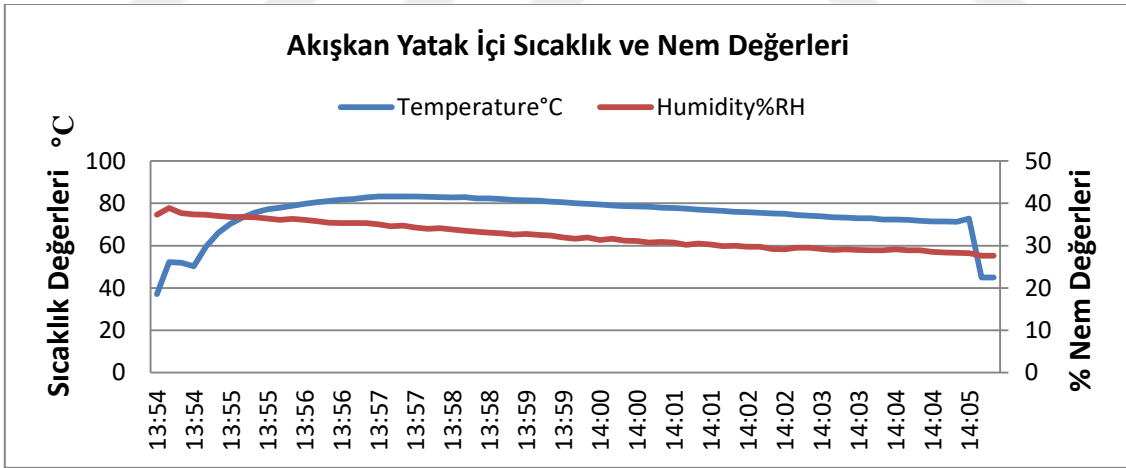


**Şekil 5.7** (a) Kullanılan akışkan yatak mekanizması.

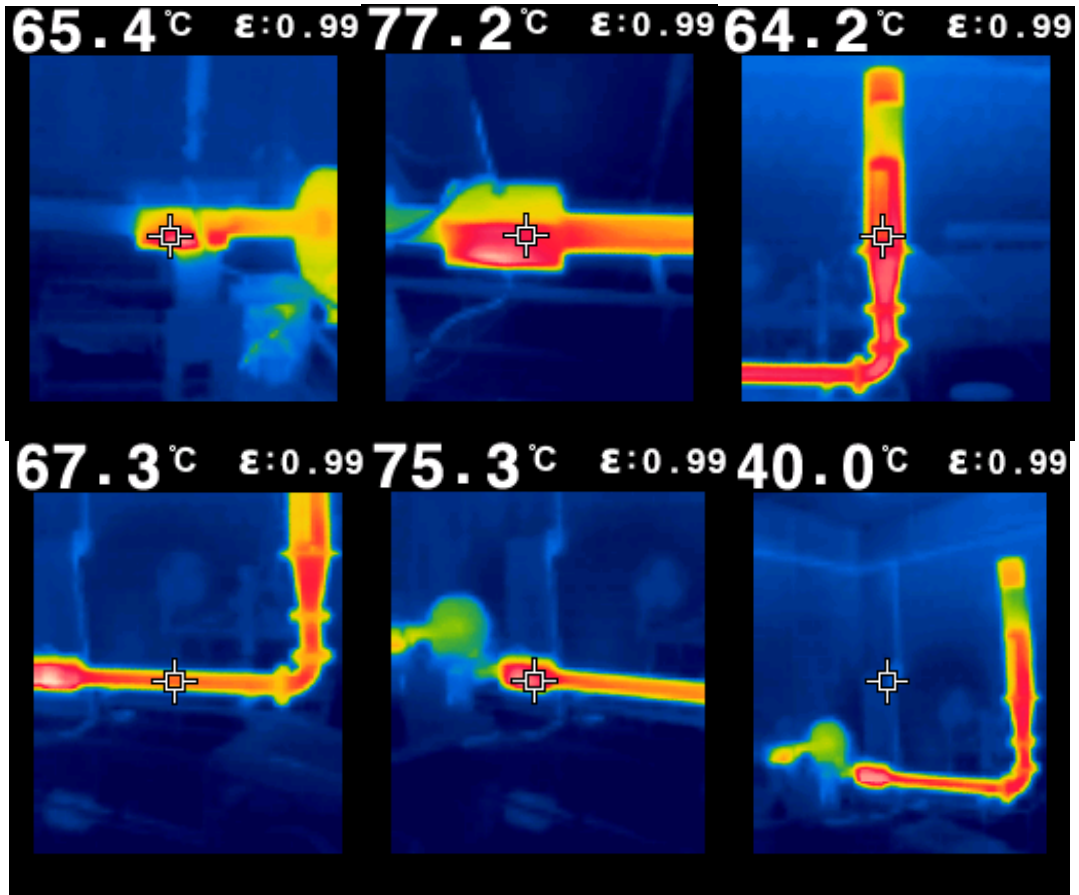
Akışkan yatak ile kurutma işlemleri yapılırken kurutucu hava hızının belirlenebilmesi için ön denemeler yapılmıştır. Ön işlemlerin akışkan yatak kurutma prosesine etkisi denenirken, çiğ tavuk etinde ürünlerin birbirine yapışması sebebiyle akışkanlaşma sağlanamamıştır. Akışkan yatak sistem içi sıcaklığı 75 °C olacak şekilde ayarlanmış ve denemeler 1;2;3;4 saat olacak şekilde belirlenmiştir. Hava debisi inverter vasıtasıyla belirlenebilmektedir. İstenilen sıcaklığa ulaşıldığında kabin içi hava akış hızı 12,07 m/s olarak ölçülmüştür



Şekil 5.8 (b) Kullanılan akışkan yatak mekanizması.



Şekil 5.9 Boş akışkan yatağa ait sıcaklık nem değerleri.



Şekil 5.10 Termal kamera ile çalışın durumdaki akışkan yatağın ısı görüntüsü.

Tavuk Göğüs etinin farklı ön işlemler ve sürelerde akışkan yatakta kurutma sonucu ürün nem değerleri Çizelge 5.4, 5.5, 5.6, 5.7 de gösterilmiştir.

Çizelge 5.4 Akışkan yatak kurutma testi 75 °C 1 saat nem değerleri.

| Sıcaklık<br>(°C) | Süre<br>(saat) | Ön İşlem                     | Nem İçeriği<br>(%) ± SH |
|------------------|----------------|------------------------------|-------------------------|
| 75               | 1              | Unlanmış Çiğ Tavuk Eti       | 54,91 ± 0,08            |
| 75               | 1              | Haşlanmış Tavuk Eti          | 30,68 ± 0,24            |
| 75               | 1              | Unlanmış Haşlanmış Tavuk Eti | 30,03 ± 0,07            |

**Çizelge 5.5** Akışkan yatak kurutma testi 75 °C 2 saat nem değerleri.

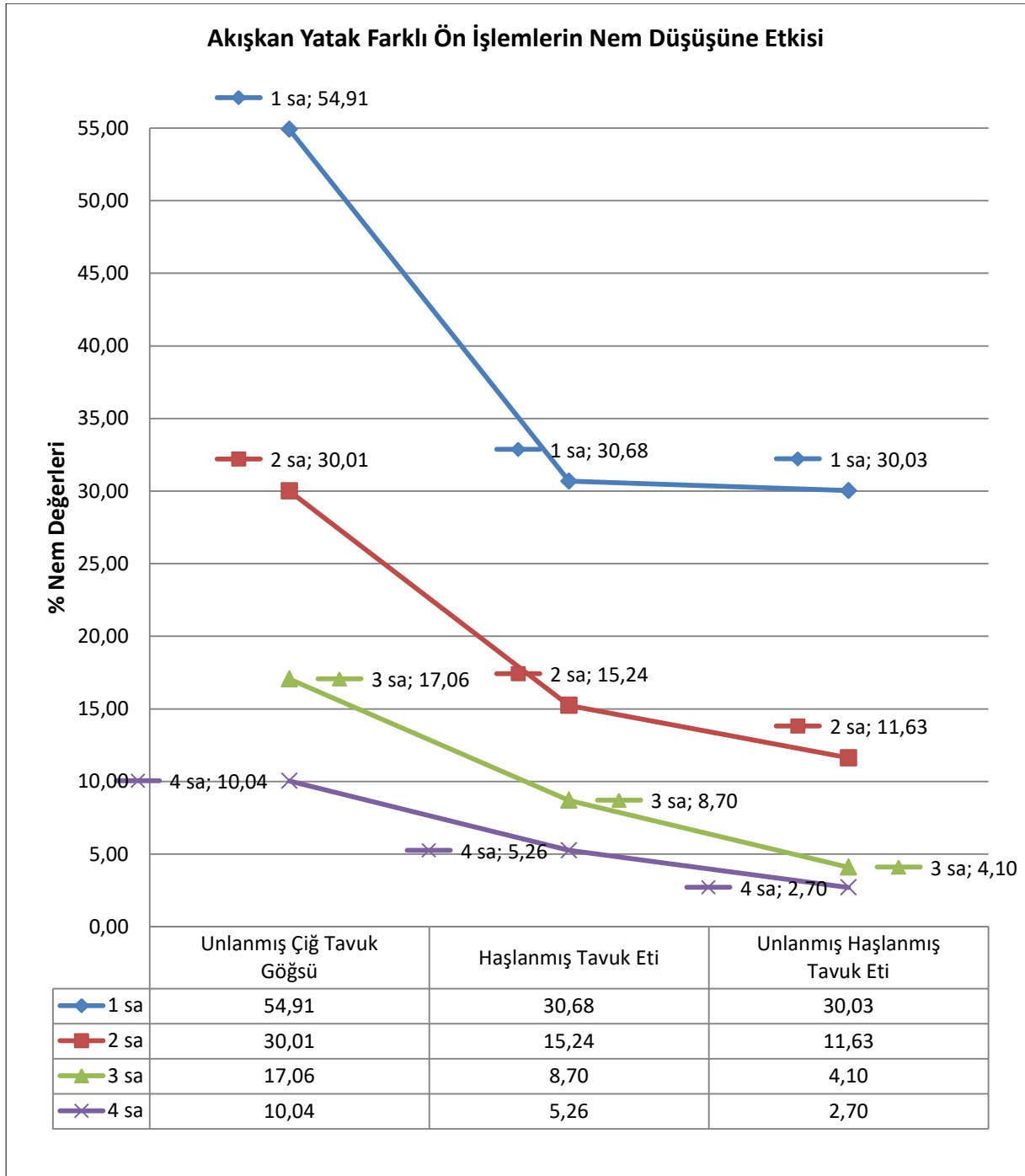
| Sıcaklık<br>(°C) | Süre<br>(saat) | Ön İşlem                     | Nem İçeriği<br>(%) ± SH |
|------------------|----------------|------------------------------|-------------------------|
| 75               | 2              | Unlanmış Çiğ Tavuk Eti       | 30,01 ± 0,07            |
| 75               | 2              | Haşlanmış Tavuk Eti          | 15,24 ± 0,14            |
| 75               | 2              | Unlanmış Haşlanmış Tavuk Eti | 11,63 ± 0,12            |

**Çizelge 5.6** Akışkan yatak kurutma testi 75 °C 3 saat nem değerleri.

| Sıcaklık<br>(°C) | Süre<br>(saat) | Ön İşlem                     | Nem İçeriği<br>(%) ± SH |
|------------------|----------------|------------------------------|-------------------------|
| 75               | 3              | Unlanmış Çiğ Tavuk Eti       | 17,06 ± 0,08            |
| 75               | 3              | Haşlanmış Tavuk Eti          | 8,70 ± 0,09             |
| 75               | 3              | Unlanmış Haşlanmış Tavuk Eti | 4,10 ± 0,02             |

**Çizelge 5.7** Akışkan yatak kurutma testi 75 °C 4 saat nem değerleri.

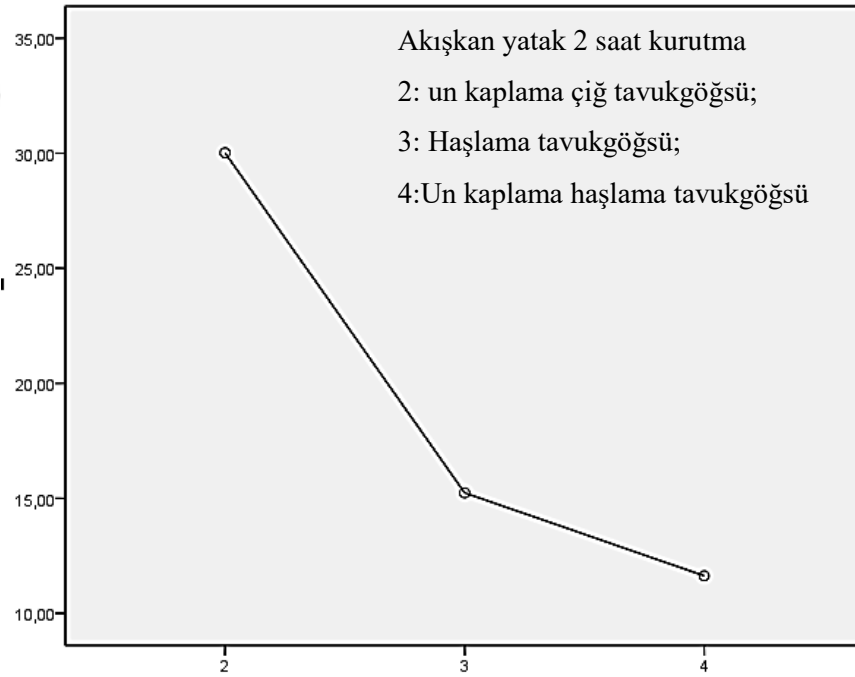
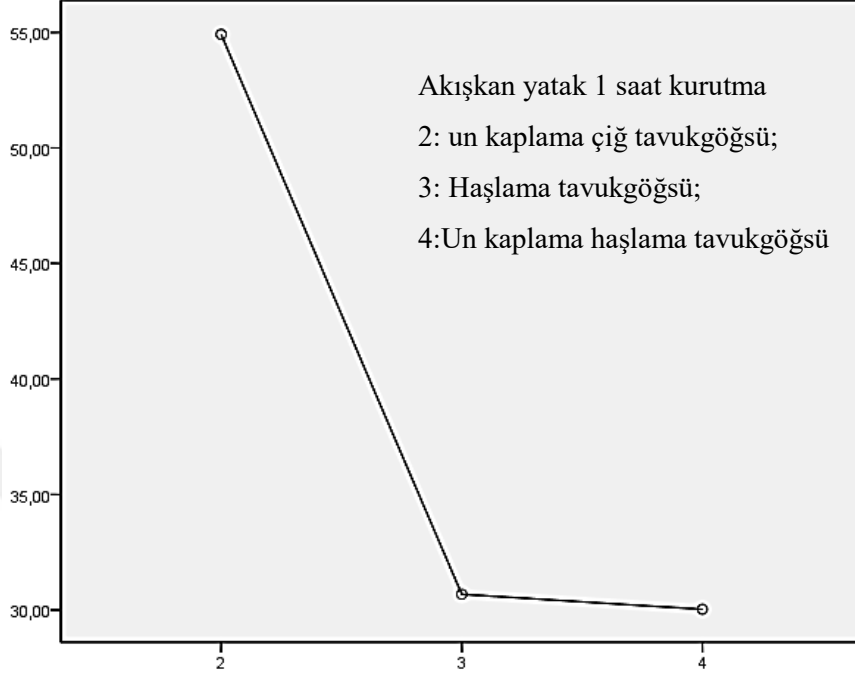
| Sıcaklık<br>(°C) | Süre<br>(saat) | Ön İşlem                     | Nem İçeriği<br>(%) ± SH |
|------------------|----------------|------------------------------|-------------------------|
| 75               | 4              | Unlanmış Çiğ Tavuk Eti       | 10,04 ± 0,08            |
| 75               | 4              | Haşlanmış Tavuk Eti          | 5,26 ± 0,04             |
| 75               | 4              | Unlanmış Haşlanmış Tavuk Eti | 2,70 ± 0,02             |



**Şekil 5.11** Akışkan yatakta yapılan kurutma işlemi süre nem verileri grafiği.

Ölçüm sonuçları 3 tekrara aittir. Tukey HSD Testi ve Tamhane Testi sonuçlarına göre; ön haşlama işleminin nem değerlerinde ciddi oranda düştüğü ve un kaplama işleminin ise ilk bir saat haricinde önemli bir nem düşüşü sağladığı tespit edilmiştir.  $P > 0,05$ , Tukey HSD Testi verilerine göre Tavuk göğüs etine uygulanan ön işlemlere bağlı olarak 1;2;3;4 saat içinde yapılan kurutma işlemlerindeki nem değerlerinde önemli oranda farklılık olduğu söylenebilir. 1 saatlik kurutma işleminde haşlanmış un kaplanmış örnekler ile sadece haşlanmış örnekler

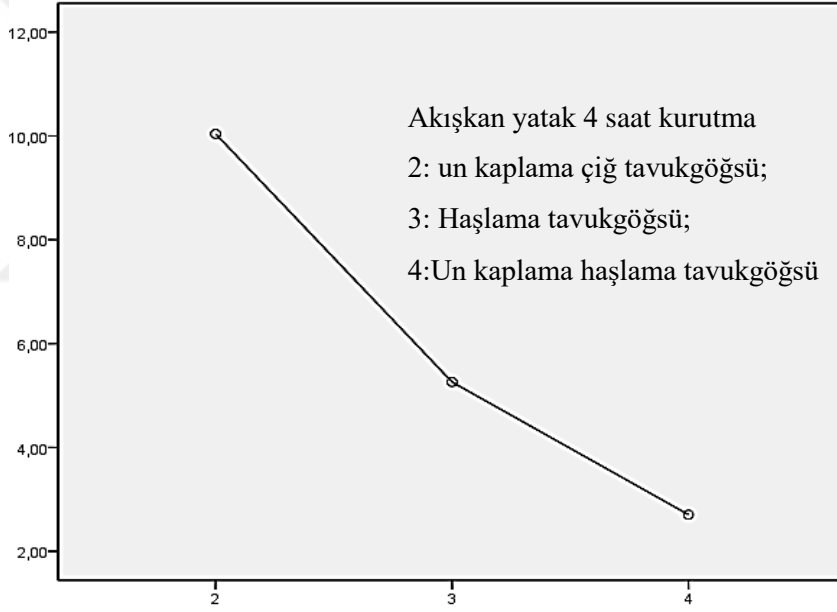
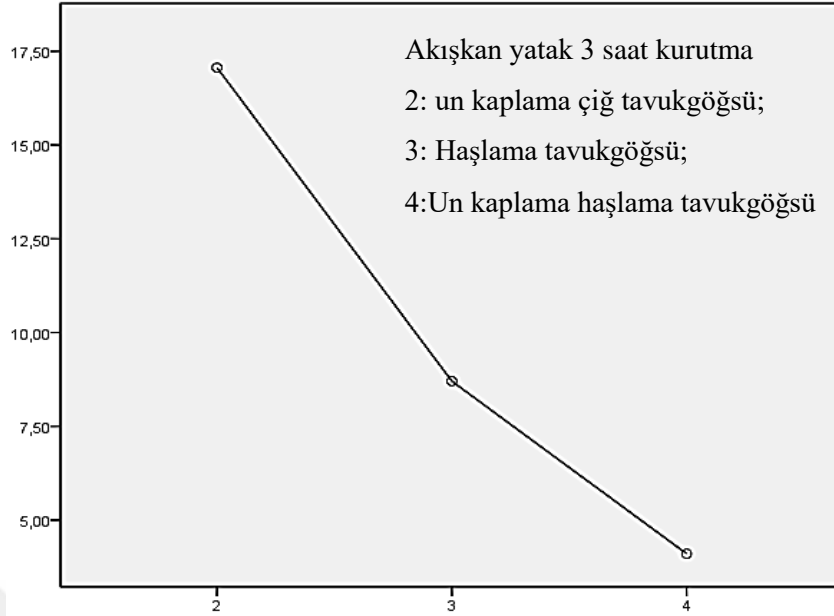
arasındaki fark önemsiz derecededir ancak kurutma işlemi devam ettikçe nem değerinde fark belirgin olarak gözlemlenmektedir.



2: un kaplama çiğ tavuk göğsü; 3: Haşlama tavuk göğsü; 4:Un kaplama haşlama tavuk göğsü

**Şekil 5.12** Akışkan yatakta 1-2-3- 4 saat süre ile yapılan kurutma işlemi nem verilerinin SPSS programındaki veri grafiği.

**Şekil 5.12** (devam ediyor)



2: un kaplama çiğ tavuk göğsü; 3: Haşlama tavuk göğsü; 4:Un kaplama haşlama tavuk göğsü

Tavuk Göğüs etinin farklı ön işlemler ve sürelerde akışkan yatakta kurutma sonucu ürün renk ölçümleri çizelge 5.8, 5.9, 5.10, 5.11 'de gösterilmiştir.

**Çizelge 5.8** Akışkan yatak kurutma testi 75 °C 1 saat renk ölçüm değerleri.

| Süre(sa) | Ön İşlem                     | L*         | a*         | b*        |
|----------|------------------------------|------------|------------|-----------|
| 1        | Unlanmış Çiğ Tavuk Eti       | 35,4± 0,17 | 28,0± 0,29 | 29,5±0,12 |
| 1        | Haşlanmış Tavuk Eti          | 38,3± 0,20 | 13,9± 0,29 | 23,3±0,20 |
| 1        | Unlanmış Haşlanmış Tavuk Eti | 46,7± 0,17 | 12,5± 0,20 | 24,5±0,15 |

“L değeri”, 0 ve 100 arasındaki aydınlık, siyah ve beyaz, derecesini ; “a değeri” , standart renkler arasındaki kırmızıdan ve yeşille renk geçişini ; “b” ise standart renkler arasındaki mavi ve sarı arası renk geçişini belirtmektedir.

**Çizelge 5.9** Akışkan yatak kurutma testi 75 °C 2 saat renk ölçüm değerleri.

| Süre(sa) | Ön İşlem                     | L*        | a*         | b*        |
|----------|------------------------------|-----------|------------|-----------|
| 2        | Unlanmış Çiğ Tavuk Eti       | 65,3±0,24 | 10,5± 0,20 | 20,8±0,20 |
| 2        | Haşlanmış Tavuk Eti          | 51,3±0,21 | 8,4± 0,05  | 25,5±0,12 |
| 2        | Unlanmış Haşlanmış Tavuk Eti | 19,7±0,17 | 14,4± 0,08 | 12,6±0,26 |

“L değeri”, 0 ve 100 arasındaki aydınlık, siyah ve beyaz, derecesini ; “a değeri” , standart renkler arasındaki kırmızıdan ve yeşille renk geçişini ; “b” ise standart renkler arasındaki mavi ve sarı arası renk geçişini belirtmektedir.

**Çizelge 5.10** Akışkan yatak kurutma testi 75 °C 3 saat renk ölçüm değerleri.

| Süre(sa) | Ön İşlem                     | L*        | a*        | b*        |
|----------|------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| 3        | Unlanmış Çiğ Tavuk Eti       | 58,2±0,26 | 9,3±0,15  | 22,5±0,20 |
| 3        | Haşlanmış Tavuk Eti          | 49,7±0,24 | 2,2±0,20  | 17,9±0,18 |
| 3        | Unlanmış Haşlanmış Tavuk Eti | 43,1±0,20 | 11,4±0,12 | 22,5±0,15 |

“L değeri”, 0 ve 100 arasındaki aydınlık, siyah ve beyaz, derecesini ; “a değeri” , standart renkler arasındaki kırmızıdan ve yeşille renk geçişini ; “b” ise standart renkler arasındaki mavi ve sarı arası renk geçişini belirtmektedir.

**Çizelge 5.11** Akışkan yatak kurutma testi 75 °C 4 saat renk ölçüm değerleri.

| Süre(sa) | Ön İşlem                     | L*        | a*       | b*        |
|----------|------------------------------|-----------|----------|-----------|
| 4        | Unlanmış Çiğ Tavuk Eti       | 56,1±0,14 | 7,4±0,15 | 19,5±0,09 |
| 4        | Haşlanmış Tavuk Eti          | 62,1±0,05 | 2,6±0,11 | 26,6±0,09 |
| 4        | Unlanmış Haşlanmış Tavuk Eti | 69,3±0,08 | 3,2±0,08 | 20,7±0,20 |

“L değeri”, 0 ve 100 arasındaki aydınlık, siyah ve beyaz, derecesini ; “a değeri” , standart renkler arasındaki kırmızıdan ve yeşille renk geçişini ; “b” ise standart renkler arasındaki mavi ve sarı arası renk geçişini belirtmektedir.

Yapılan ön işlemlerin ve kurutma sürelerinin ben ve renk verilerini önemli derecede etkileyip etkilemediğini belirleyebilmek için SPSS paket programı kullanılmıştır. Veriler nicel, karşılaştırılacak grup sayısı ikiden fazla olduğu ve normal dağılıma uygun olduğu için Tek Yönlü Varyans Analizi Testi ile değerlendirilmiştir. (ANOVA) (SPSS, 18.0, SPSS Science, Chicago, IL). Ortalamalar arası farkın önem kontrolünde Tukey HSD Testi ve homojenlik sağlanmadığı için Tamhane Testi kullanılmıştır. Değerlendirmede 0.05 güven aralığı esas alınmıştır. Deneylerin renk ölçümlerinde ; “L değeri”, 0 ve 100 arasındaki aydınlık, siyah ve beyaz, derecesini ; “a değeri” , standart renkler arasındaki kırmızıdan ve yeşille renk geçişini ; “b” ise standart renkler arasındaki mavi ve sarı arası renk geçişini belirtmektedir.

Akışkan yatak ile yapılan 1-2-3-4 saat sürelerindeki kurutmalarda yapılan ön işlemlerde ( $p < 0,05$ ) düzeyinde anlamlı bir farklılığa sahip olduğu gözlemlenmiştir. Kurutma süresinin artması ile L değeri ve a değeri baz alındığında özellikle un kaplama işleminde b değerinde ise kaplamasız ürünlerde farklılık görülmüştür.



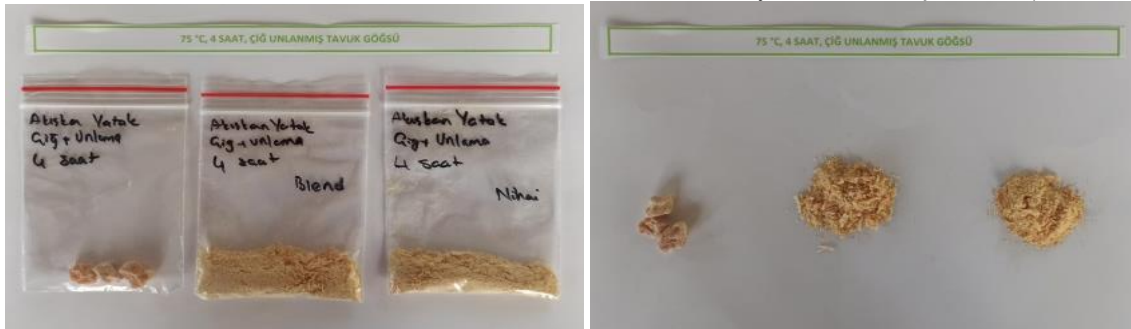
Akışkan Yatak 75 °C 1 Saat Unlanmış Çiğ Tavuk Eti  
(1-Sistemde kurutulan ürün; 2- blender sonrası ürün; 3,nem tayin cihazından çıkan ürün)



Akışkan Yatak 75 °C 2 Saat Unlanmış Çiğ Tavuk Eti  
(1-Sistemde kurutulan ürün; 2- blender sonrası ürün; 3,nem tayin cihazından çıkan ürün)



Akışkan Yatak 75 °C 3 Saat Unlanmış Çiğ Tavuk Eti  
(1-Sistemde kurutulan ürün; 2- blender sonrası ürün; 3,nem tayin cihazından çıkan ürün)



Akışkan Yatak 75 °C 4 Saat Unlanmış Çiğ Tavuk Eti  
(1-Sistemde kurutulan ürün; 2- blender sonrası ürün; 3,nem tayin cihazından çıkan ürün)

**şekil 5.13** Akışkan yatakta kurutulan unlanmış çiğ tavukgöğsü görselleri.



Akışkan Yatak 75 °C 1 Saat Haşlanmış Tavuk Eti  
(1-Sistemde kurutululan ürün; 2- blender sonrası ürün; 3,nem tayin cihazından çıkan ürün)



Akışkan Yatak 75 °C 2 Saat Haşlanmış Tavuk Eti  
(1-Sistemde kurutululan ürün; 2- blender sonrası ürün; 3,nem tayin cihazından çıkan ürün)



Akışkan Yatak 75 °C 3 Saat Haşlanmış Tavuk Eti  
(1-Sistemde kurutululan ürün; 2- blender sonrası ürün; 3,nem tayin cihazından çıkan ürün)

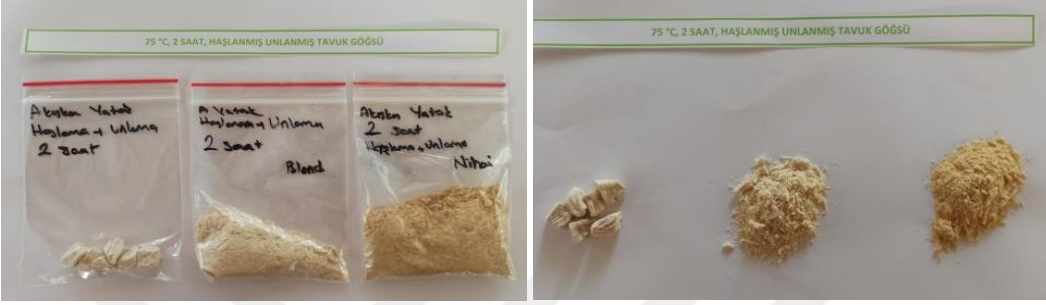


Akışkan Yatak 75 °C 4 Saat Haşlanmış Tavuk Eti  
(1-Sistemde kurutululan ürün; 2- blender sonrası ürün; 3,nem tayin cihazından çıkan ürün)

**Şekil 5.14** Akışkan yatakta kurutululan haşlanmış tavukgöğsü görselleri.



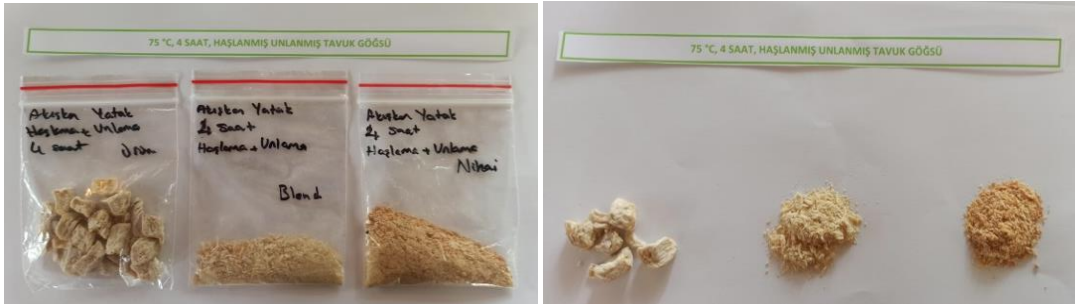
Akışkan Yatak 75 °C 1 Saat Unlanmış Haşlanmış Tavuk Eti  
(1-Sistemde kurutulan ürün; 2- blender sonrası ürün; 3,nem tayin cihazından çıkan ürün)



Akışkan Yatak 75 °C 2 Saat Unlanmış Haşlanmış Tavuk Eti  
(1-Sistemde kurutulan ürün; 2- blender sonrası ürün; 3,nem tayin cihazından çıkan ürün)



Akışkan Yatak 75 °C 3 Saat Unlanmış Haşlanmış Tavuk Eti  
(1-Sistemde kurutulan ürün; 2- blender sonrası ürün; 3,nem tayin cihazından çıkan ürün)



Akışkan Yatak 75 °C 4 Saat Unlanmış Haşlanmış Tavuk Eti  
(1-Sistemde kurutulan ürün; 2- blender sonrası ürün; 3,nem tayin cihazından çıkan ürün)

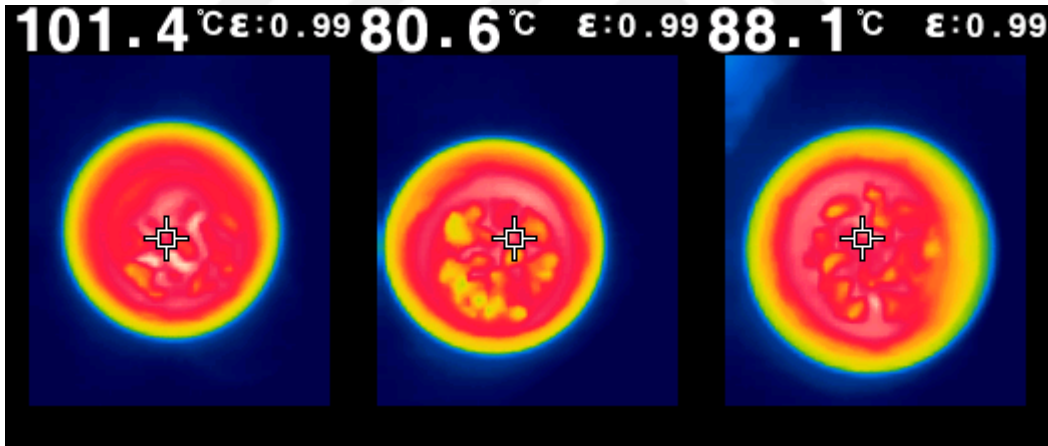
Şekil 5.15 Akışkan yatakta kurutulan haşlanmış unlanmış tavukgöğsü görselleri.

### 5.2.3 Mikrodalga Kurutma Deneyleri

Mikrodalga fırın ile kurutma yapılırken SAMSUNG marka ME711K 20 L Solo Mikrodalga Fırın kullanılmıştır. Mikrodalga fırın TDS- triple distribution sisteme sahiptir, içerisinde bulunan 3 adet mikrodalga yansıtıcı plaka ile çok yönlü pişirme yapmaktadır, mikrodalgada gerçekleşen homojen pişirmede yaşanan problemler için özellikle seçilmiştir.



Şekil 5.16 Mikrodalga fırın ve yapılan deneme örneği.



Şekil 5.17 Mikrodalga deneyleri termal kamera görüntüleri ve sıcaklık verileri.

Mikrodalga kurutma işlemlerinde fırına ait 200 W –300 W- 450 W- 600 W güçlerinde denemeler yapılmıştır. 200 W buz çözme programı olup, kullanılan tavuk göğüs etlerinde çok fazla sulanma olmuş ve kabuk oluşumuna sebep olmuştur. 600 W denemelerinde ise kısa sürelerde, 1\*1\*1 ölçülerinde parçalanmış ürün köşelerinde yanmalar meydana gelmiştir. Bu sebeple 300 W ve 450 W güçlerinde süre denemeleri yapılmıştır. İlk olarak her 5 dk da bir ürün kesikli kurutma denemeleri yapılmış merkez sıcaklığı ve nem değerlerine bakılarak optimizasyon sağlanmıştır. Tavuk etinin mikrobiyel riski sebebiyle merkez sıcaklığının

TÜRK GIDA KODEKSİ ET VE ET ÜRÜNLERİ TEBLİĞİ (TEBLİĞ NO: 2012/74) BİRİNCİ BÖLÜM de belirtildiği üzere et ve et ürünlerinde mikrobiyel riski en aza indirmek için pişirme minimum 72 °C merkez noktası sıcaklığı olarak tanımlanmıştır. Bu sebeple kurutma prosesinde minimum 72 °C ± 2 merkez sıcaklığı ölçülerek denemeler yapılmıştır. Mikrodalga da yapılan 300 W ve 450 W güçlerinde 20-30-40 dakika denemeleri yapılmıştır.

**Çizelge 5.12** Tavuk göğüs eti mikrodalga fırın kurutma ürün merkez sıcaklıkları.

| No | Zaman (Dk) | Örnek-1 ( °C ) | Örnek -2 ( °C ) | Örnek-3 ( °C ) |
|----|------------|----------------|-----------------|----------------|
| 1  | 01:00      | 88             | 90              | 90             |
| 2  | 02:00      | 92             | 92              | 93             |
| 3  | 03:00      | 93             | 93              | 92             |
| 4  | 04:00      | 94             | 108             | 94             |
| 5  | 05:00      | 95             | 110             | 120            |

Tavuk Göğüs etinin farklı ön işlemlerle 300 W mikrodalga kurutma parametreleri ve süreleri çizelge 5.13, 5.14, 5.15 'de gösterilmiştir.

**Çizelge 5.13** Mikrodalga kurutma testleri 300W 20 dakika.

| Güç (W) | Süre (Dakika) | On İşlem                     | Nem İçeriği (%) ± SH |
|---------|---------------|------------------------------|----------------------|
| 300     | 20            | Çiğ Tavuk Eti                | 37,878 ±0,037        |
| 300     | 20            | Unlanmış Çiğ Tavuk Eti       | 36,212 ±0,029        |
| 300     | 20            | Haşlanmış Tavuk Eti          | 29,642 ±0,025        |
| 300     | 20            | Unlanmış Haşlanmış Tavuk Eti | 28,337 ±0,406        |

( P> 0.05, Tukey HSD Testi). SH; Standart hata

**Çizelge 5.14** Mikrodalga kurutma testleri 300W 30 dakika.

| Güç (W) | Süre (Dakika) | On İşlem                     | Nem İçeriği (%) ± SH |
|---------|---------------|------------------------------|----------------------|
| 300     | 30            | Çiğ Tavuk Eti                | 13,987 ± 0,11        |
| 300     | 30            | Unlanmış Çiğ Tavuk Eti       | 10,580 ± 0,12        |
| 300     | 30            | Haşlanmış Tavuk Eti          | 6,008 ± 0,013        |
| 300     | 30            | Unlanmış Haşlanmış Tavuk Eti | 5,432 ± 0,12         |

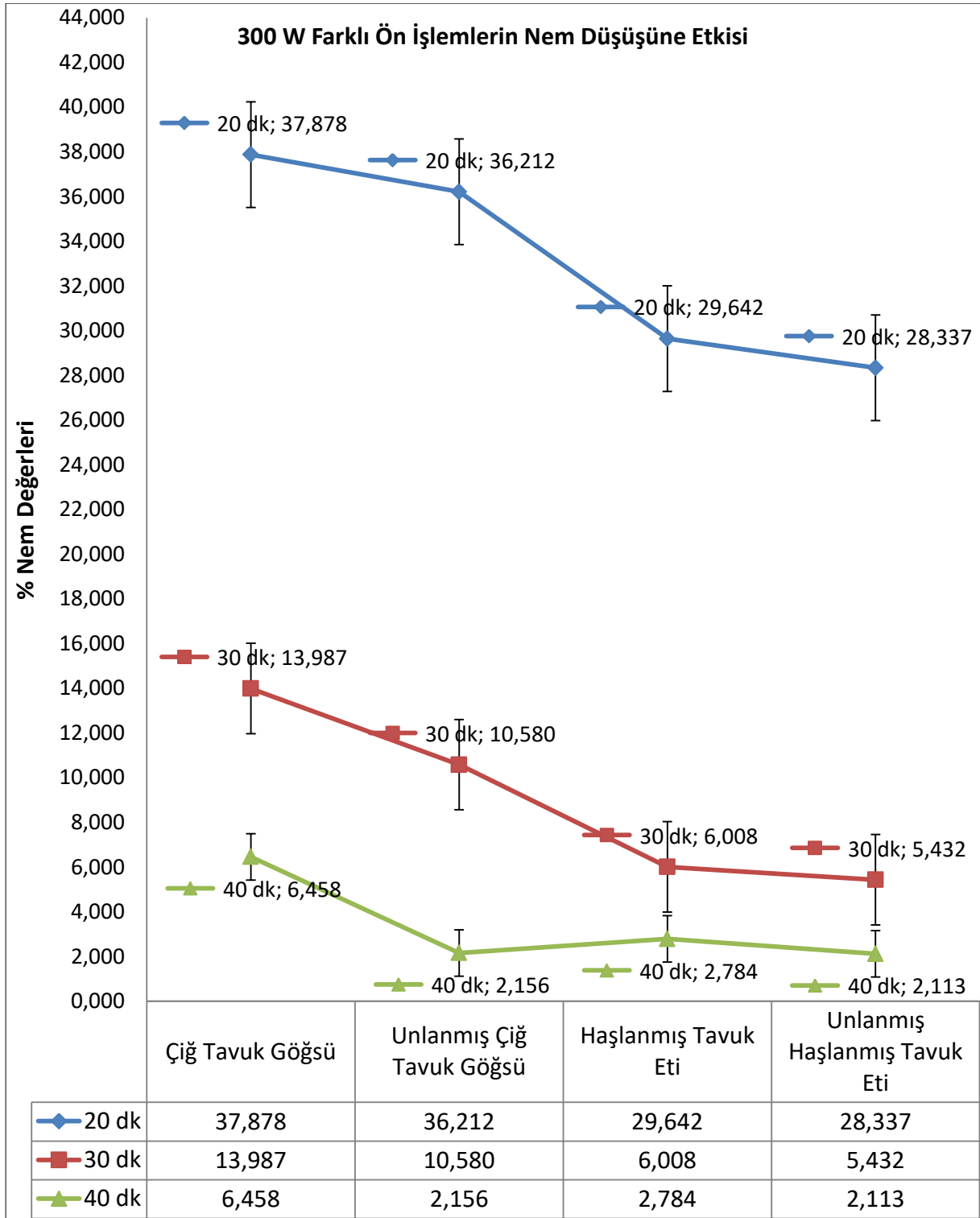
( P> 0.05, Tukey HSD Testi). SH; Standart hata

**Çizelge 5.15** Mikrodalga kurutma testleri 300W 40 dakika

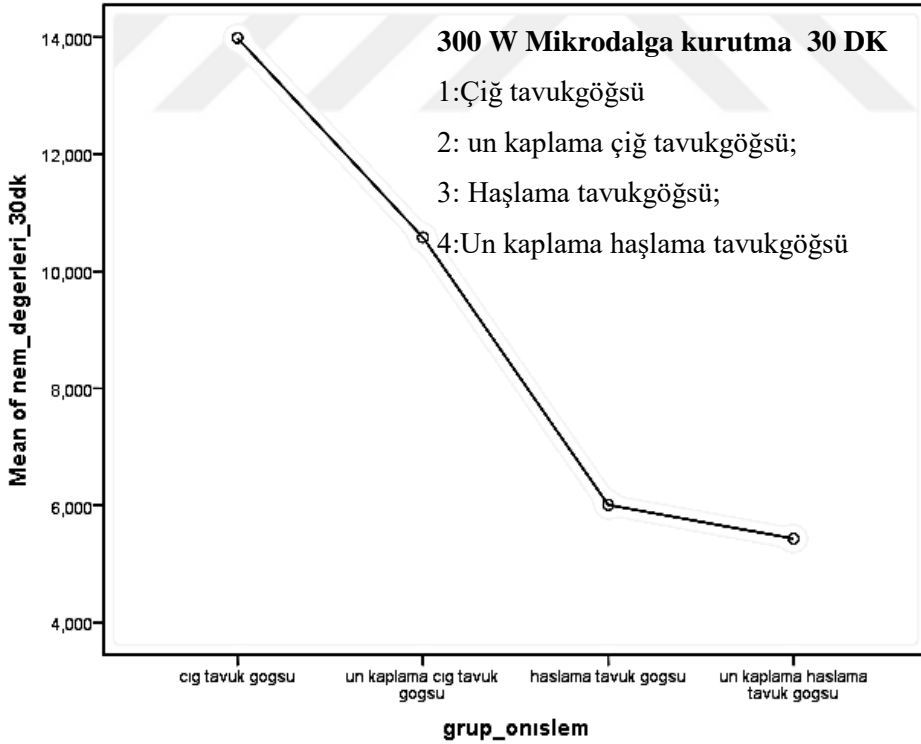
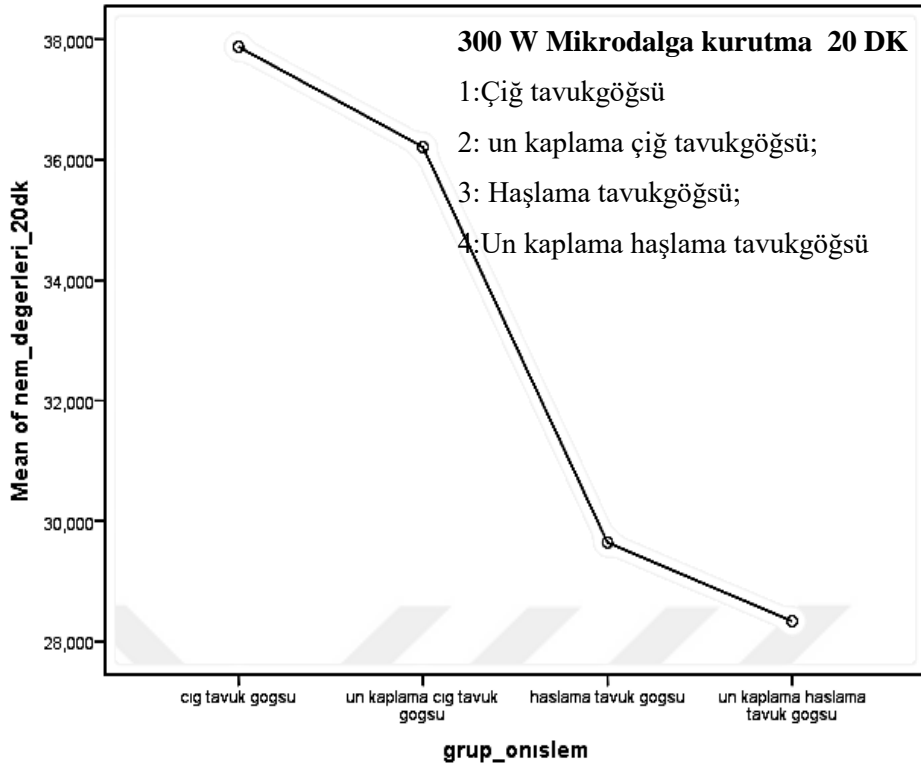
| Güç<br>(W) | Süre<br>(Dakika) | Ön İşlem                     | Nem İçeriği<br>(%) ± SH |
|------------|------------------|------------------------------|-------------------------|
| 300        | 40               | Çiğ Tavuk Eti                | 6,458 ± 0,151           |
| 300        | 40               | Unlanmış Çiğ Tavuk Eti       | 2,156 ± 0,018           |
| 300        | 40               | Haşlanmış Tavuk Eti          | 2,784 ± 0,020           |
| 300        | 40               | Unlanmış Haşlanmış Tavuk Eti | 2,113 ± 0,078           |

( P> 0.05, Tukey HSD Testi). SH; Standart hata

İstatistiksel olarak 300 W mikrodalga gücünde yapılan 20 dakikalık 30 dakikalık ve 40 dakikalık her bir kurutmada tavuk göğüs etlerine uygulanan ön işlemlerin kurutma sonrası nem tayinlerinde ( $p < 0,05$ ) düzeyinde anlamlı bir düşüş etkisine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Her bir süre içerisinde yapılan denemede uygulanan ön işlemler mantıksal olarak nem düzeyinde düşüğe sebep olmuştur. 40 dakikalık denemede un kaplanmış çiğ tavukgöğüsleri ile un kaplanmış haşlanmış tavukgöğüsü arasındaki fark önemsiz bulunmuştur.

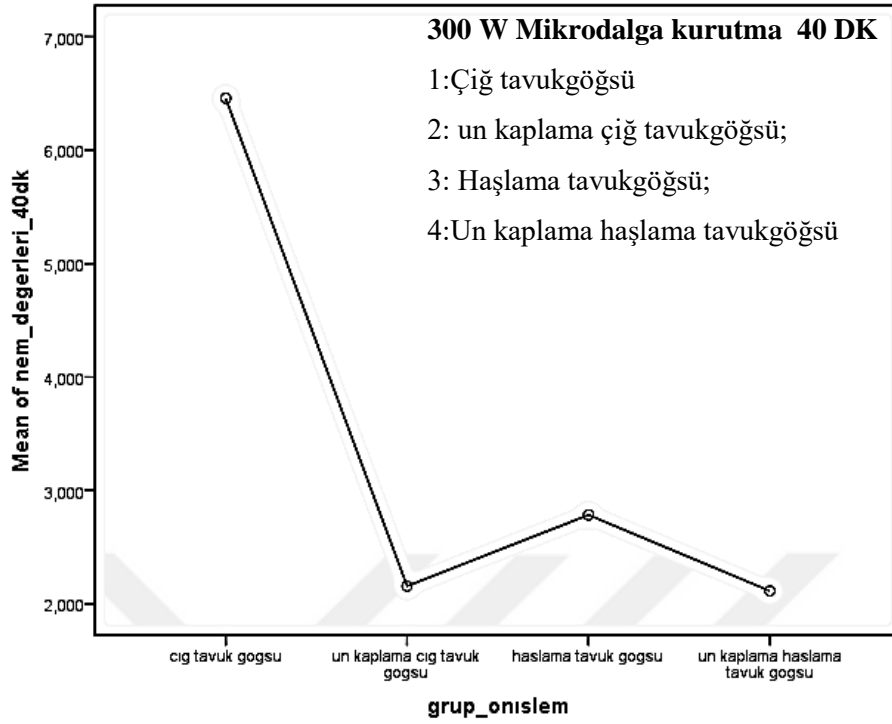


**Şekil 5.18** Mikrodalga 300W gücü ile yapılan kurutma işlemi süre nem verileri grafiği.



Şekil 5.19 2450 MHz 300W mikrodalga iel 20-30-40 dakika sürelerindeki SPSS programı nem verileri grafikleri.

Şekil 5.19 (devam ediyor)



450 W gücünde 40 dk süresince yapılan mikrodalga kurutma işlemlerinde yanma gözlemlenmiştir. Nem değerlerinin çok düşük çıkması sebebiyle yapılan deneme sonuçları veri setine alınmamıştır.

Mikrodalga ile yapılan tavuk göğüs eti 450 W mikrodalga gücünde yapılan 20 dakikalık ve 30 dakikalık her bir kurutmada tavuk göğüs etlerine uygulanan ön işlemlerin kurutma sonrası nem tayinlerinde ( $p < 0,05$ ) düzeyinde anlamlı bir düşüş etkisine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Her bir süre içerisinde yapılan denemede uygulanan ön işlemler mantıksal olarak nem düzeyinde düşüşe sebep olmuştur. Kurutma deney sonuçları yukarıdaki tablolarda verilmiştir. İstatistiksel veriler hesaplanırken, verileri önemli derecede etkileyip etkilemediğini belirleyebilmek için SPSS paket programı kullanılmıştır. Veriler nicel, karşılaştırılacak grup sayısı ikiden fazla olduğu için ve normal dağılıma uygun olduğu için Tek Yönlü Varyans Analizi Testi ile değerlendirilmiştir. (ANOVA) (SPSS, 18.0, SPSS Science, Chicago, IL). Ortalamalar arası farkın önem kontrolünde Tukey HSD Testi ve homojenlik sağlanmadığı için Tamhane Testi kullanılmıştır. Değerlendirmede 0.05 güven aralığı esas alınmıştır.

Tavuk Göğüs etinin farklı ön işlemlerle 450 W mikrodalga kurutma parametreleri ve süreleri çizelge 5.16, 5.17 'de gösterilmiştir.

**Çizelge 5.16** Mikrodalga kurutma testleri 450W 20 dakika.

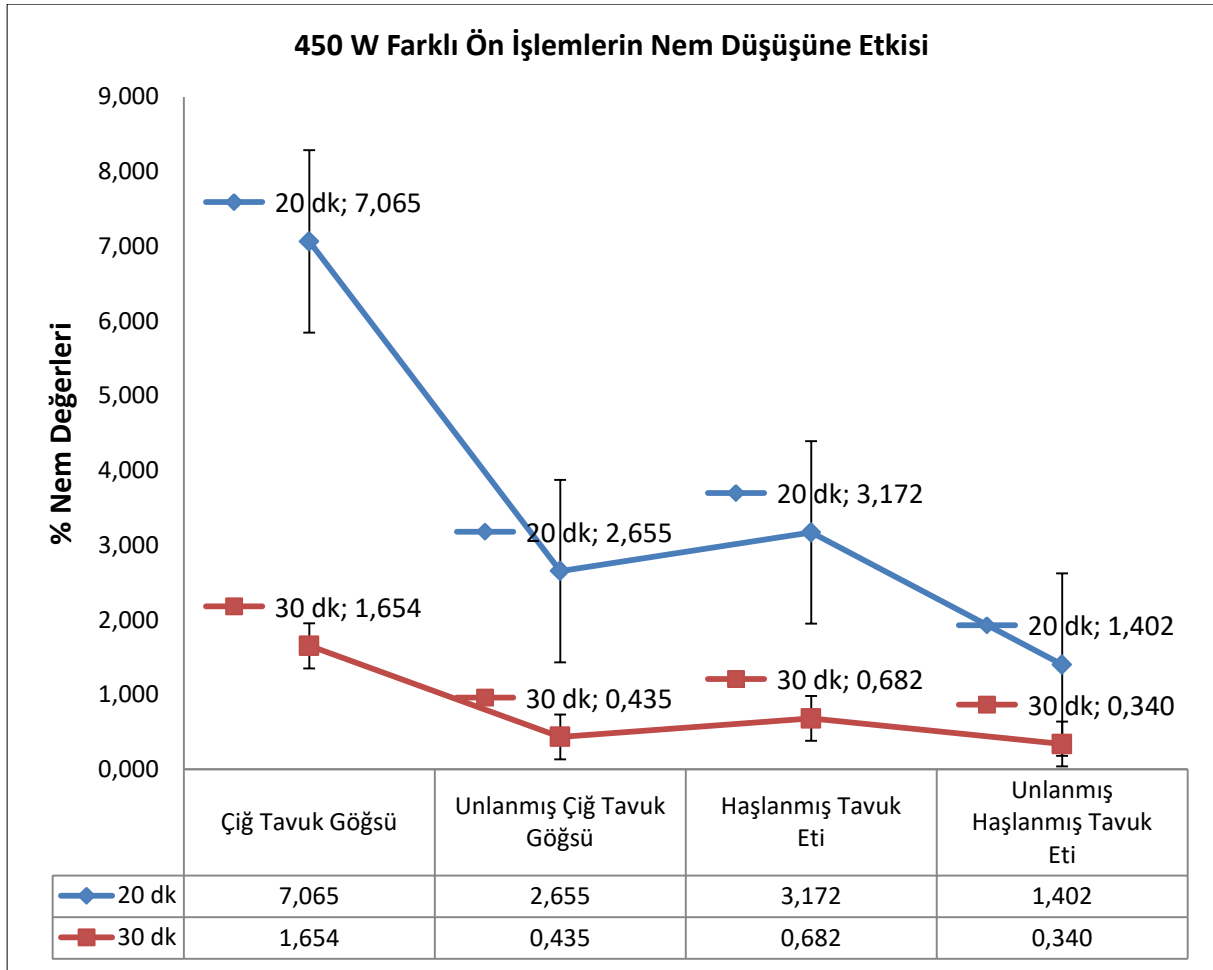
| Güç<br>(W) | Süre<br>(Dakika) | Ön İşlem                     | Nem İçeriği<br>(%) ± SH |
|------------|------------------|------------------------------|-------------------------|
| 450        | 20               | Çiğ Tavuk Eti                | 7,065 ± 0,18            |
| 450        | 20               | Unlanmış Çiğ Tavuk Eti       | 2,655 ± 0,004           |
| 450        | 20               | Haşlanmış Tavuk Eti          | 3,172 ± 0,033           |
| 450        | 20               | Unlanmış Haşlanmış Tavuk Eti | 1,402 ± 0,012           |

(P> 0.05, Tukey HSD Testi). SH; Standart hata

**Çizelge 5.17** Mikrodalga kurutma testleri 450W 30 dakika.

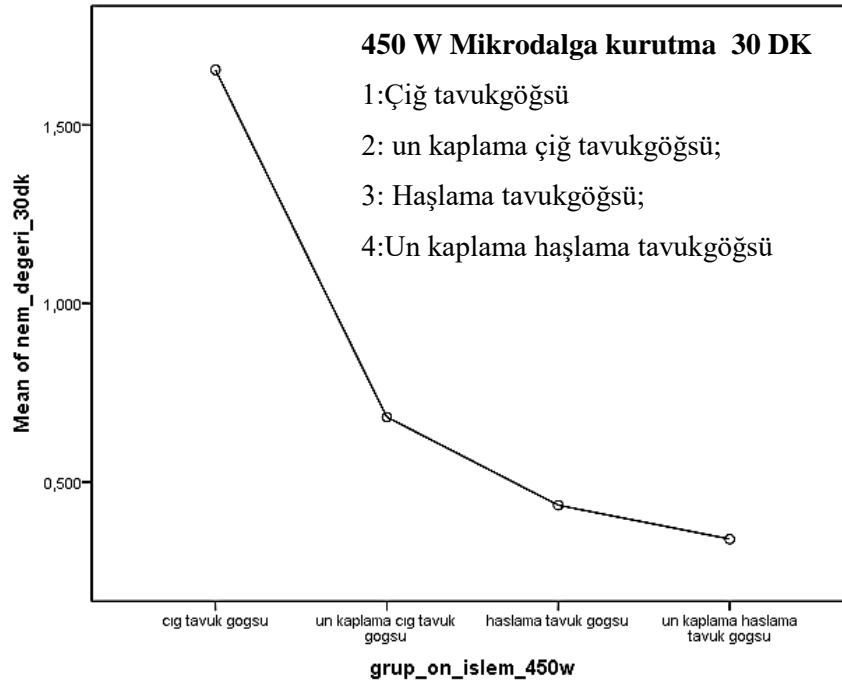
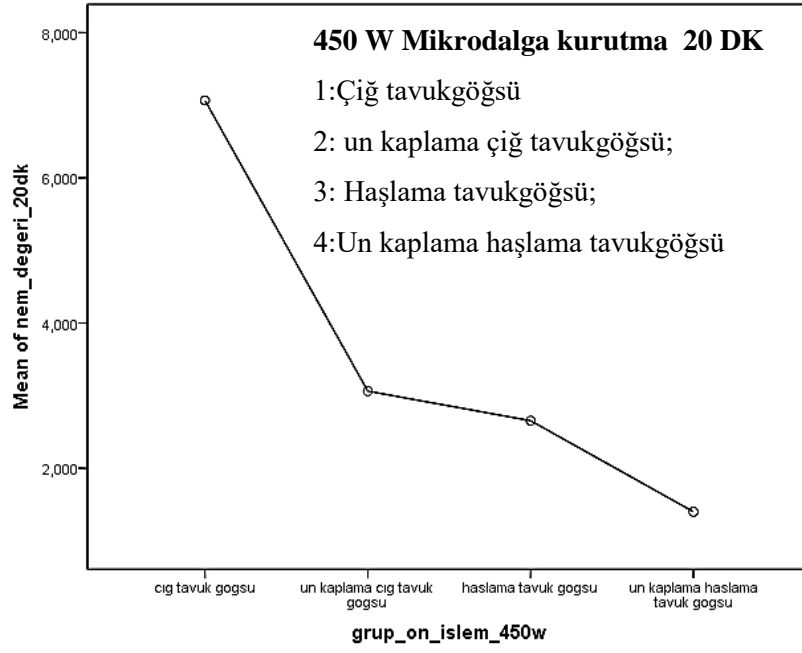
| Güç<br>(W) | Süre<br>(Dakika) | Ön İşlem                     | Nem İçeriği<br>(%) ± SH |
|------------|------------------|------------------------------|-------------------------|
| 450        | 30               | Çiğ Tavuk Eti                | 1,654 ± 0,007           |
| 450        | 30               | Unlanmış Çiğ Tavuk Eti       | 0,435 ± 0,009           |
| 450        | 30               | Haşlanmış Tavuk Eti          | 0,682 ± 0,011           |
| 450        | 30               | Unlanmış Haşlanmış Tavuk Eti | 0,340 ± 0,015           |

(P> 0.05, Tukey HSD Testi). SH; Standart hata



**Şekil 5.20** Mikrodalga 450 W gücü ile yapılan kurutma deneyleri nem ve süre değerleri.

Çiğ tavukgöğsünün un ile kaplanması daha az bir etkiye sahip olurken ön haşlama yapılmasının kas dokusuna etkisi sebebiyle daha fazla nem düşüşü olmuştur. Kaplama işlemi kabuk oluşumunu engellerken standart buğday unu %14,5 nem içeriğine sahip olması sebebiyle nem tayininde dolaylı etkiye sahip olmuştur, süreç esnasında ürünlerin birbirine yapışmasını engellemiş ve proses koşullarını iyileştirmiştir. Haşlama işlemi ise ürün içinde bulunan yağ ve bağ doku vb. dokuların erimesini, kas liflerinin ayrılmasını sağlayarak kas dokusu içerisindeki suyun kaynama esnasında yüksek oranda ayrılmasını sağlamıştır, buna bağlı olarak nem değerleri daha düşük çıkmıştır.



**Şekil 5.21** 450W mikrodalga iel 20-30 dakika sürelerindeki SPSS programına aktarılan nem veri grafikleri.

Tavuk Göğüs etinin farklı ön işlemlerle 300 W mikrodalga kurutma sonucu ürün renk ölçümleri çizelge 5.18, 5.19, 5.20 'de gösterilmiştir.

**Çizelge 5.18** Mikrodalga kurutma testleri 300W 20 dakika renk ölçüm değerleri.

| Güç(W) | Süre(Dk) | Ön İşlem                     | L*          | a*        | b*          |
|--------|----------|------------------------------|-------------|-----------|-------------|
| 300    | 20       | Çiğ Tavuk Eti                | 58,75±0,033 | 3,65±0,05 | 22,68±0,02  |
| 300    | 20       | Unlanmış Çiğ Tavuk Eti       | 61,56±0,041 | 4,78±0,02 | 24,49±0,02  |
| 300    | 20       | Haşlanmış Tavuk Eti          | 56,66±0,034 | 4,29±0,01 | 29,27±0,025 |
| 300    | 20       | Unlanmış Haşlanmış Tavuk Eti | 48,17±0,031 | 4,87±0,03 | 30,19±0,023 |

Deneylerin renk ölçümlerinde ; “L değeri”, 0 ve 100 arasındaki aydınlık, siyah ve beyaz, derecesini ; “a değeri” , standart renkler arasındaki kırmızıdan ve yeşille renk geçişini ; “b” ise standart renkle arasındaki mavi ve sarı arası renk geçişini belirtmektedir.

**Çizelge 5.19** Mikrodalga kurutma testleri 300W 30 dakika renk ölçüm değerleri.

| Güç (W) | Süre (Dk) | Ön İşlem                     | L*          | a*        | b*          |
|---------|-----------|------------------------------|-------------|-----------|-------------|
| 300     | 30        | Çiğ Tavuk Eti                | 59,16±0,041 | 6,49±0,03 | 33,77±0,023 |
| 300     | 30        | Unlanmış Çiğ Tavuk Eti       | 69,36±0,042 | 7,2±0,023 | 18,78±0,027 |
| 300     | 30        | Haşlanmış Tavuk Eti          | 52,07±0,029 | 6,9±0,16  | 23,09±0,019 |
| 300     | 30        | Unlanmış Haşlanmış Tavuk Eti | 64,06±0,043 | 2,3±0,017 | 18,39±0,019 |

Deneylerin renk ölçümlerinde ; “L değeri”, 0 ve 100 arasındaki aydınlık, siyah ve beyaz, derecesini ; “a değeri” , standart renkler arasındaki kırmızıdan ve yeşille renk geçişini ; “b” ise standart renkle arasındaki mavi ve sarı arası renk geçişini belirtmektedir.

**Çizelge 5.20** Mikrodalga kurutma testleri 300W 40 dakika renk ölçüm değerleri.

| Güç(W) | Süre(Dk) | Ön İşlem                     | L*          | a*          | b*          |
|--------|----------|------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| 300    | 40       | Çiğ Tavuk Eti                | 44,47±0,032 | 16,28±0,016 | 26,88±0,030 |
| 300    | 40       | Unlanmış Çiğ Tavuk Eti       | 59,56±0,034 | 1,7±0,017   | 10,10±0,02  |
| 300    | 40       | Haşlanmış Tavuk Eti          | 47,37±0,025 | 11,89±0,015 | 30,08±0,023 |
| 300    | 40       | Unlanmış Haşlanmış Tavuk Eti | 46,08±0,030 | 2,4±0,013   | 14,00±0,025 |

Deneylerin renk ölçümlerinde ; “L değeri”, 0 ve 100 arasındaki aydınlık, siyah ve beyaz, derecesini ; “a değeri” , standart renkler arasındaki kırmızıdan ve yeşille renk geçişini ; “b” ise standart renkle arasındaki mavi ve sarı arası renk geçişini belirtmektedir.

Tavuk Göğüs etinin farklı ön işlemlerle 450 W mikrodalga kurutma sonucu ürün renk ölçümleri çizelge 5.21, 5.22 ‘da gösterilmiştir.

**Çizelge 5.21** Mikrodalga kurutma testleri 450W 20 dakika renk ölçüm değerleri.

| Güç (W) | Süre (Dakika) | Ön İşlem                     | L*         | a*         | b*         |
|---------|---------------|------------------------------|------------|------------|------------|
| 450     | 20            | Çiğ Tavuk Eti                | 44,50±0,13 | 13,40±0,04 | 26,90±0,01 |
| 450     | 20            | Unlanmış Çiğ Tavuk Eti       | 50,01±0,19 | 0,50±0,01  | 13,70±0,01 |
| 450     | 20            | Haşlanmış Tavuk Eti          | 40,30±0,02 | 11,50±0,01 | 29,90±0,01 |
| 450     | 20            | Unlanmış Haşlanmış Tavuk Eti | 47,70±0,01 | 5,40±0,01  | 21,00±0,07 |

Deneylerin renk ölçümlerinde ; “L değeri”, 0 ve 100 arasındaki aydınlık, siyah ve beyaz, derecesini ; “a değeri” , standart renkler arasındaki kırmızıdan ve yeşille renk geçişini ; “b” ise standart renkle arasındaki mavi ve sarı arası renk geçişini belirtmektedir.

**Çizelge 5.22** Mikrodalga kurutma testleri 450W 30 dakika renk ölçüm değerleri.

| Güç (W) | Süre (Dakika) | Ön İşlem                     | L*         | a*         | b*         |
|---------|---------------|------------------------------|------------|------------|------------|
| 450     | 30            | Çiğ Tavuk Eti                | 32,40±0,08 | 19,50±0,03 | 27,00±0,11 |
| 450     | 30            | Unlanmış Çiğ Tavuk Eti       | 61,40±0,01 | 0,50±0,02  | 17,30±0,10 |
| 450     | 30            | Haşlanmış Tavuk Eti          | 42,70±0,11 | 13,80±0,02 | 36,60±0,03 |
| 450     | 30            | Unlanmış Haşlanmış Tavuk Eti | 35,30±0,01 | 15,10±0,01 | 21,70±0,02 |

Deneylerin renk ölçümlerinde ; “L değeri”, 0 ve 100 arasındaki aydınlık, siyah ve beyaz, derecesini ; “a değeri” , standart renkler arasındaki kırmızıdan ve yeşille renk geçişini ; “b” ise standart renkle arasındaki mavi ve sarı arası renk geçişini belirtmektedir.

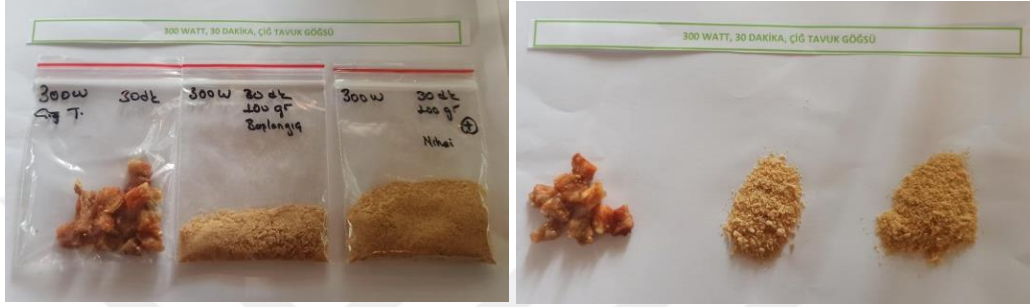
Deneylerin renk ölçümlerinde; “L değeri”, 0 ve 100 arasındaki aydınlık, siyah ve beyaz, derecesini; “a değeri” , standart renkler arasındaki kırmızıdan ve yeşille renk geçişini ; “b” ise standart renkle arasındaki mavi ve sarı arası renk geçişini belirtmektedir.

300 W mikrodalga gücünde yapılan 20-30-40 dk. lık sürelerdeki kurutmalarda yapılan ön işlemlerde ( $p < 0,05$ ) düzeyinde anlamlı bir farklılığa sahip olduğu gözlemlenmiştir. Kurutma süresinin artması ile L değeri ve a değeri baz alındığında özellikle un kaplama işleminde b değerinde ise kaplamasız ürünlerde farklılık görülmüştür.



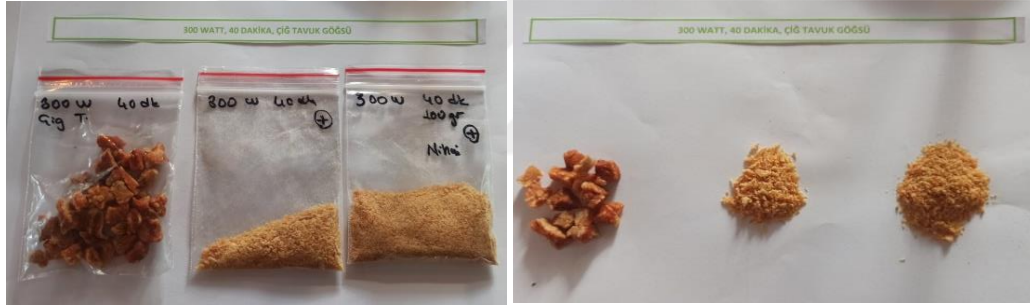
Mikrodalga 300 W 20 dakika Çiğ Tavuk Eti

(1-Sistemde kurutulan ürün; 2- blender sonrası ürün; 3,nem tayin cihazından çıkan ürün)



Mikrodalga 300 W 30 dakika Çiğ Tavuk Eti

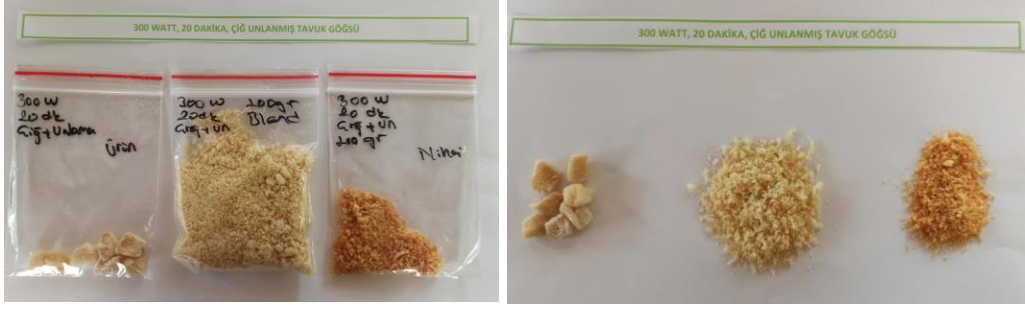
(1-Sistemde kurutulan ürün; 2- blender sonrası ürün; 3,nem tayin cihazından çıkan ürün)



Mikrodalga 300 W 40 dakika Çiğ Tavuk Eti

(1-Sistemde kurutulan ürün; 2- blender sonrası ürün; 3,nem tayin cihazından çıkan ürün)

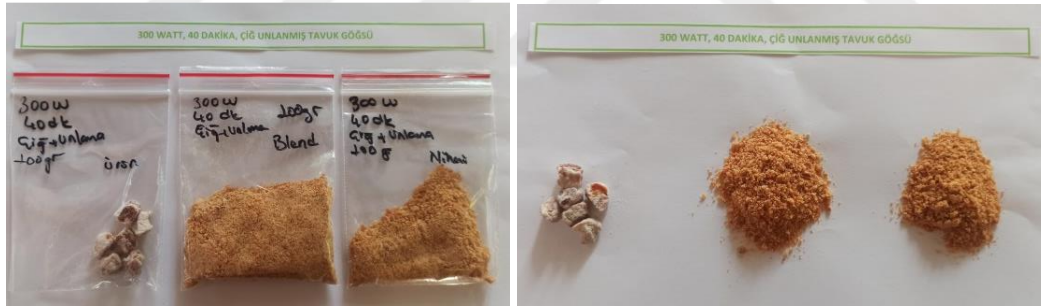
**Şekil 5.22** Mikrodalga 300 W ile kurutulan çiğ tavuk eti ürün görselleri.



Mikrodalga 300 W 20 dakika Unlanmış Çiğ Tavuk Eti  
(1-Sistemde kurutulan ürün; 2- blender sonrası ürün; 3,nem tayin cihazından çıkan ürün)

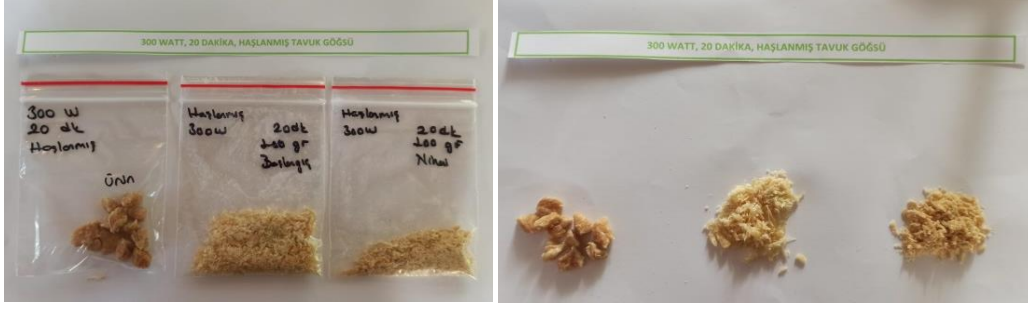


Mikrodalga 300 W 30 dakika Unlanmış Çiğ Tavuk Eti  
(1-Sistemde kurutulan ürün; 2- blender sonrası ürün; 3,nem tayin cihazından çıkan ürün)



Mikrodalga 300 W 40 dakika Unlanmış Çiğ Tavuk Eti  
(1-Sistemde kurutulan ürün; 2- blender sonrası ürün; 3,nem tayin cihazından çıkan ürün)

Şekil 5.23 Mikrodalga 300 W ile kurutulan unlanmış çiğ tavuk eti ürün görselleri



Mikrodalga 300 W 20 dakika Haşlanmış Tavuk Eti  
(1-Sistemde kurutulan ürün; 2- blender sonrası ürün; 3,nem tayin cihazından çıkan ürün)

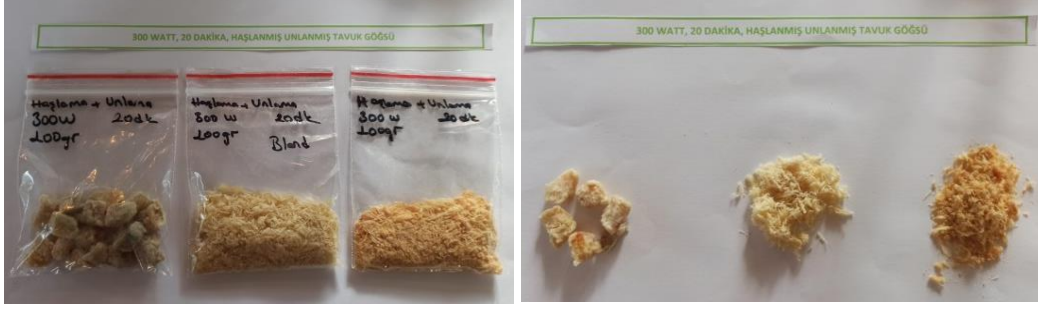


Mikrodalga 300 W 30 dakika Haşlanmış Tavuk Eti  
(1-Sistemde kurutulan ürün; 2- blender sonrası ürün; 3,nem tayin cihazından çıkan ürün)

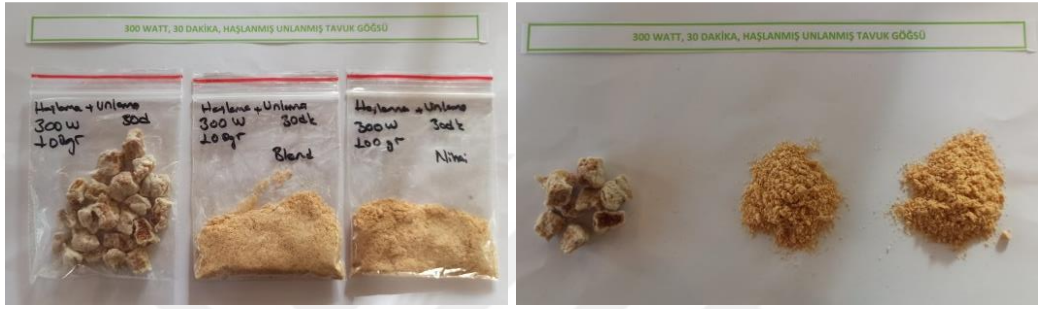


Mikrodalga 300 W 40 dakika Haşlanmış Tavuk Eti  
(1-Sistemde kurutulan ürün; 2- blender sonrası ürün; 3,nem tayin cihazından çıkan ürün)

**Şekil 5.24** Mikrodalga 300W ile kurutulan haşlanmış tavuk eti ürün görselleri



Mikrodalga 300 W 20 dakika Unlanmış Haşlanmış Tavuk Eti  
(1-Sistemde kurutululan ürün; 2- blender sonrası ürün; 3,nem tayin cihazından çıkan ürün)

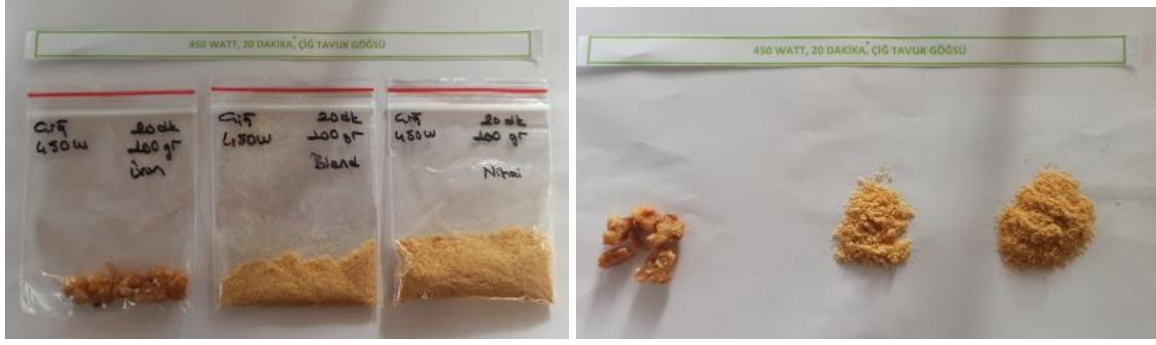


Mikrodalga 300 W 30 dakika Unlanmış Haşlanmış Tavuk Eti  
(1-Sistemde kurutululan ürün; 2- blender sonrası ürün; 3,nem tayin cihazından çıkan ürün)



Mikrodalga 300 W 40 dakika Unlanmış Haşlanmış Tavuk Eti  
(1-Sistemde kurutululan ürün; 2- blender sonrası ürün; 3,nem tayin cihazından çıkan ürün)

**Şekil 5.25** Mikrodalga 300W ile kurutululan unlanmış haşlanmış tavuk eti ürün görselleri.



Mikrodalga 450 W 20 dakika Çiğ Tavuk Eti  
(1-Sistemde kurutulan ürün; 2- blender sonrası ürün; 3,nem tayin cihazından çıkan ürün)



Mikrodalga 450 W 30 dakika Çiğ Tavuk Eti  
(1-Sistemde kurutulan ürün; 2- blender sonrası ürün; 3,nem tayin cihazından çıkan ürün)

**Şekil 5.26** Mikrodalga 450W ile kurutulan çiğ tavuk eti ürün görselleri.

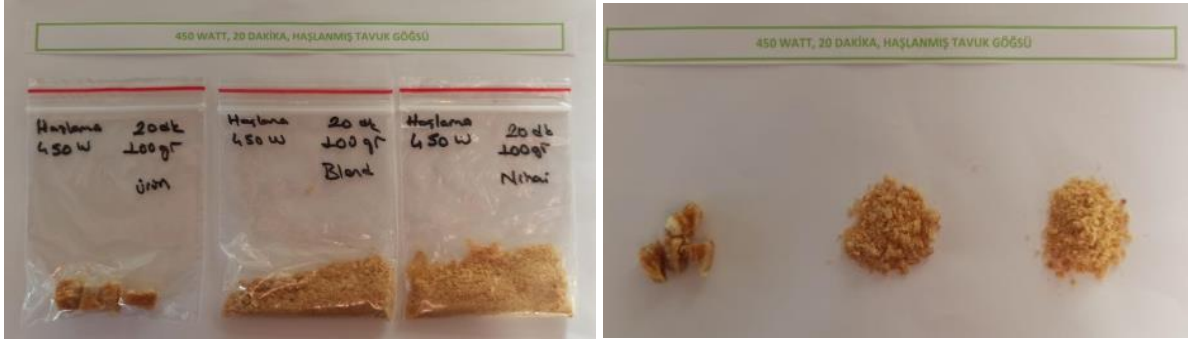


Mikrodalga 450 W 20 dakika Unlanmış Çiğ Tavuk Eti  
(1-Sistemde kurutulan ürün; 2- blender sonrası ürün; 3,nem tayin cihazından çıkan ürün)



Mikrodalga 450 W 30 dakika Unlanmış Çiğ Tavuk Eti  
(1-Sistemde kurutulan ürün; 2- blender sonrası ürün; 3,nem tayin cihazından çıkan ürün)

Şekil 5.27 Mikrodalga 450W ile kurutulan unlanmış çiğ tavuk eti ürün görselleri.



Mikrodalga 450 W 20 dakika Haşlanmış Tavuk Eti  
(1-Sistemde kurutulan ürün; 2- blender sonrası ürün; 3,nem tayin cihazından çıkan ürün)

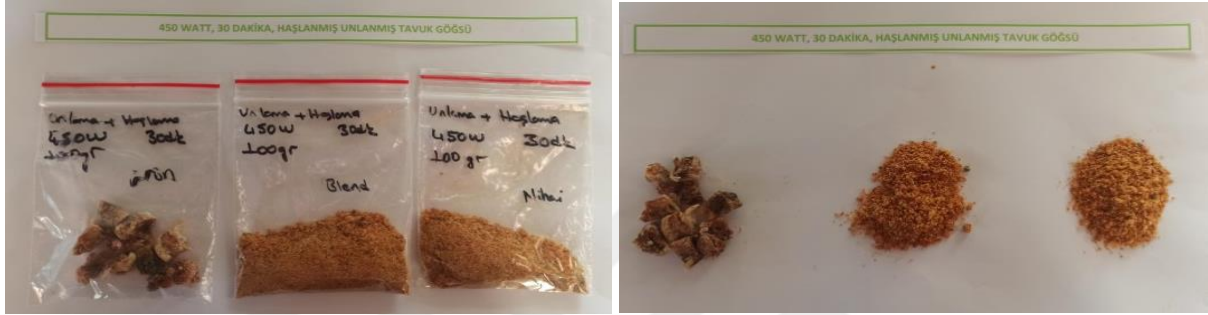


Mikrodalga 450 W 30 dakika Haşlanmış Tavuk Eti  
(1-Sistemde kurutulan ürün; 2- blender sonrası ürün; 3,nem tayin cihazından çıkan ürün)

**Şekil 5.28** Mikrodalga 450W ile kurutulan haşlanmış tavuk eti ürün görselleri.



Mikrodalga 450 W 20 dakika Unlanmış Haşlanmış Tavuk Eti  
(1-Sistemde kurutulan ürün; 2- blender sonrası ürün; 3,nem tayin cihazından çıkan ürün)



Mikrodalga 450 W 30 dakika Unlanmış Haşlanmış Tavuk Eti  
(1-Sistemde kurutulan ürün; 2- blender sonrası ürün; 3,nem tayin cihazından çıkan ürün)

Şekil 5.29 Mikrodalga 450W ile kurutulan unlanmış haşlanmış tavuk eti ürün görselleri.

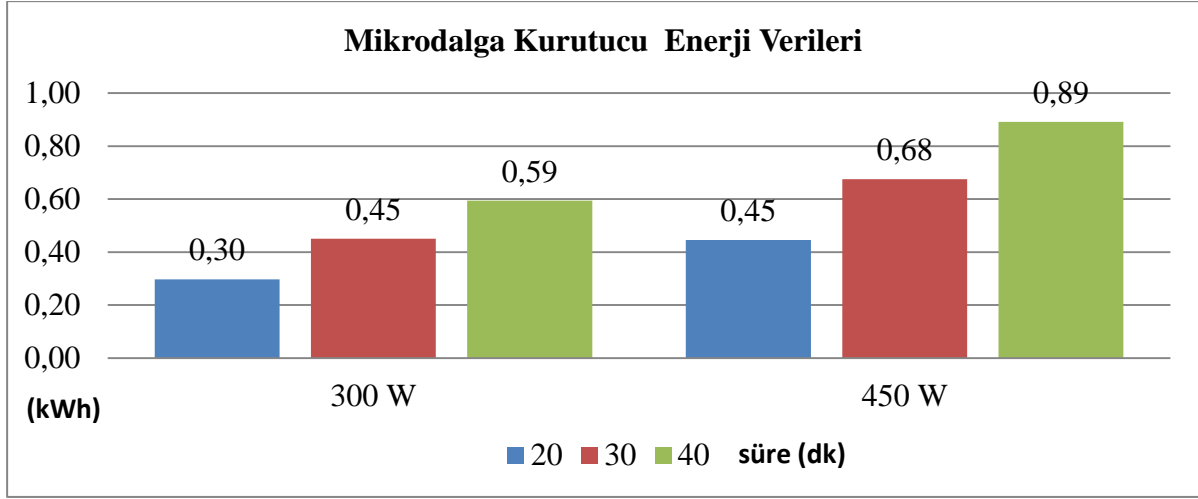
## 5.3 ENERJİ TÜKETİM DEĞERLERİ

### 5.3.1 Mikrodalga Kurutma Enerji Tüketim Değerleri

Mikrodalga fırın kullanılarak kurulan kurutma sisteminde mikrodalga fırın gücü bilgisi ve güncel kWh fiyatı baz alınarak enerji maliyeti hesaplamaları uygulama süresi dikkate alınarak yapılmıştır. Tavuk göğsü kurutma prosesi için kullanılan mikrodalga fırının enerji maliyetlerinin hesaplamaları bu ölçekte yapılmıştır.

Çizelge 5.23 Mikrodalga kurutucu 300 W 450 W deney sürecindeki enerji tüketim verileri.

| Zaman | 300 W | 450 W | Birim |
|-------|-------|-------|-------|
| 20    | 0,30  | 0,45  | kWh   |
| 30    | 0,45  | 0,68  | kWh   |
| 40    | 0,59  | 0,89  | kWh   |



Şekil 5.30 Mikrodalga kurutucu 300 W 450 W deney sürecindeki enerji tüketim grafiği.

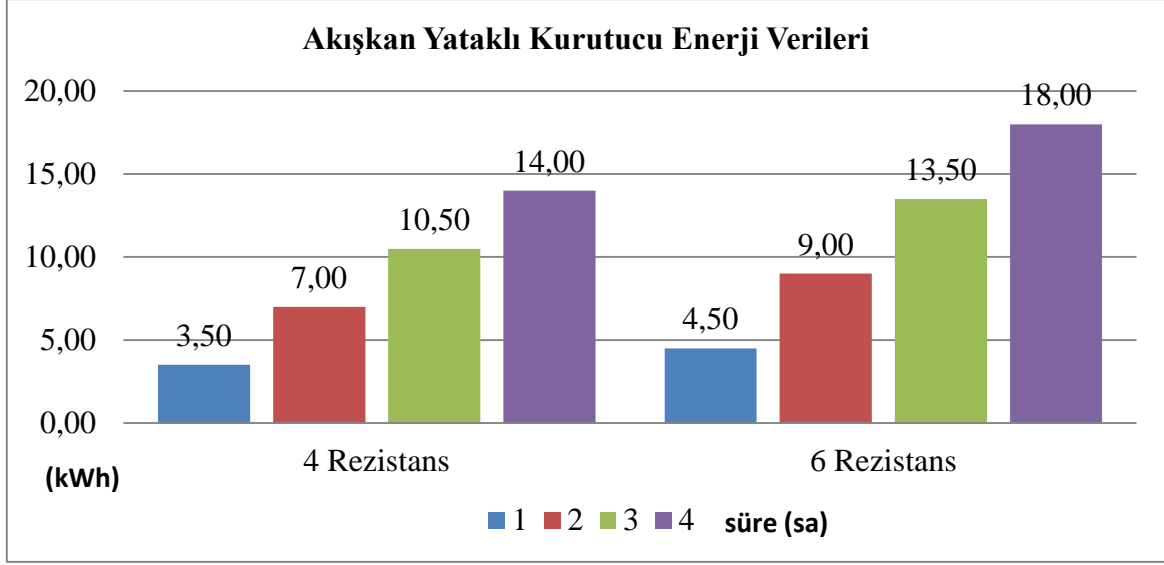
### 5.3.2 Akışkan Yatak Kurutma Enerji Tüketim Değerleri

Akışkan yatak kurutma sistemi için yapılan enerji maliyeti hesaplama çalışmalarında sistem içerisinde güç harcayan devre ekipmanlarının güç değerleri dikkate alınmıştır. Motor hızı ve gücü kontrol edilmiş ve inverter aracılığıyla motor hızı kontrol edilerek kullanılmıştır. Bu değerler hesaplamalarda dikkate alınmıştır. Güç bilgisi ve güncel kWh fiyatı, enerji maliyeti hesaplamalarında uygulama süresi dikkate alınarak yapılmıştır.

Kurulu deney düzeneği üzerinde 1 adet 1.5 kWh elektrik motoru , 3 adet motor girişinde ve 3 adet motor çıkışında olmak üzere toplamda 6 adet 1 kWh rezistans bulunmaktadır. Rezistanslar pako şalter kullanılarak açılıp kapatılabilmektedir. Kullanılan rezistans sayısının enerji maliyetine etkisi dikkate alınarak hazırlanan enerji maliyetlerinin hesaplamaları yapılmıştır.

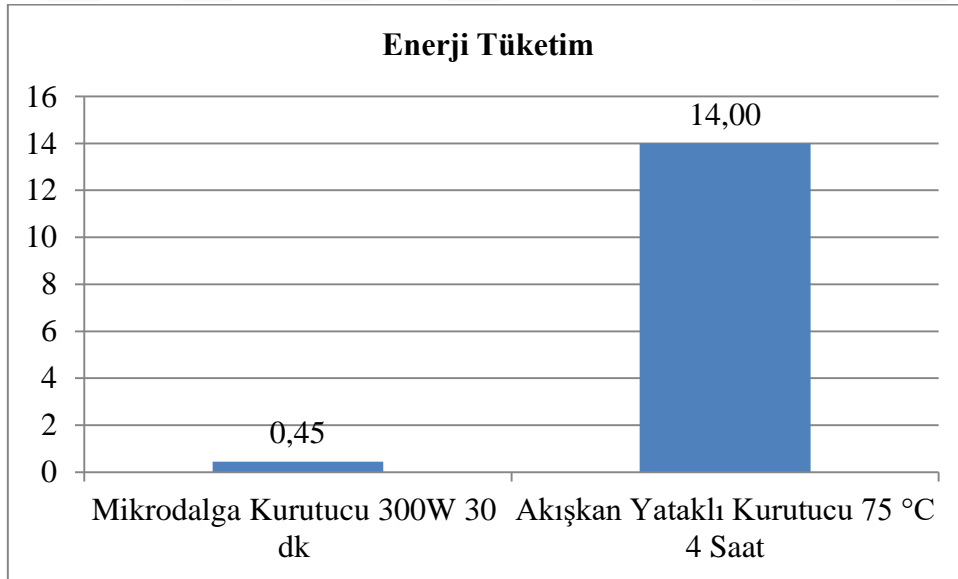
Çizelge 5.24 1.5 kW Motor gücü ile çalışan akışkan yataklı kurutucu enerji tüketim verileri

| Süre (sa) | 4 Rezistans | 6 Rezistans | Birim |
|-----------|-------------|-------------|-------|
| 1         | 3,50        | 4,50        | kWh   |
| 2         | 7,00        | 9,00        | kWh   |
| 3         | 10,50       | 13,50       | kWh   |
| 4         | 14,00       | 18,00       | kWh   |



**Şekil 5.31** 1,5 kW motor gücü ile çalışan akışkan yataklı kurutucu enerji tüketim grafiği (kWh).

Yapılan denemelerde ulaşılan optimum sonuçların enerji tüketimleri karşılaştırıldığında ise %10 nem altına düşen 300 W 30 dk mikrodalga düzeneği ile akışkan yataklı kurutucu ile yapılan 4 rezistans 75°C 4 saat yapılan ön haşlanmış tavuk göğüs eti kurutmanın enerji verileri karşılaştırıldığında;



**Şekil 5.32** Mikrodalga 300 W 30 dk ve Akışkan yataklı kurutucu 4 rezistans 4 saatlik optimum kurutmaların enerji karşılaştırması.

**Çizelge 5.25** Mikrodalga 300 W 30 dk ve akışkan yataklı kurutucu 4 rezistans 4 saatlik optimum kurutmaların enerji karşılaştırması.

| Kurutucu      | Süre  | Ön İşlem | Nem değeri          |              |
|---------------|-------|----------|---------------------|--------------|
| Akışkan Yatak | 75 °C | 4 (sa)   | Haşlanmış Tavuk Eti | 2,70 ± 0,02  |
| Mikrodalga    | 300 W | 30 (dk)  | Haşlanmış Tavuk Eti | 5,432± 0,012 |

#### 5.4 DENEYSSEL HATA VE SÜREKSİZLİK ANALİZİ

Deneysel çalışmalarda ölçülen değerlerin doğruluğunu etkileyen ve deneyler esnasında farklı sebeplerden ortaya çıkabilecek hatalar, deneysel hata tipleri olarak adlandırılır. Literatüre dayalı kurulan deney seti ve ölçüm araç ve gereçlerinin yapısal özelliklerinden kaynaklanan hataların tespit edilmesi, tanımlanması ve giderilmesi için aşağıda belirtilen üç grupta detaylandırılmış pratikte uygulanabilecek yöntemler geliştirilmiştir.

Deneysel hatalar; dikkatsizlik ve tecrübesizlikten kaynaklanan hatalar, sabit veya sistematik olarak adlandırılan hatalar, rastgele karşılaşılan hatalar olmak üzere üç başlıkta incelenmektedir. Belirlenen miktarda deney gerçekleştirildikten sonra bu deneye ait sabit veya sistematik hataların belirlenebilmesi için yöntemler geliştirilmiştir, bunlar; akılcı yaklaşım ( Commonsense Basis), belirsizlik analizi ( uncertainty analysis).

- Belirsizlik analizi deneysel sonuçlar hakkında yöntemsel yaklaşım sunabilmektedir.
- Yöntemsel yaklaşım olası hatalar için aralık belirlenmektedir.
- Aşağıdaki iki yöntem belirsizlik analizinde kullanılan yöntemlerdir.
  - ANSI/ ASME International’s PTC 19.1 Test Uncertainty
  - ISO GUM Ölçümde belirsizliğin ifadesine ilişkin kılavuz , (Guide to expression of uncertainty in measurement)

n adet bağımsız değişkeni olan bir deney sürecinde;

R, ölçülecek boyut

- $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ : ölçümü etkileyen değişkenler
- $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ : bağımsız değişkenle ilgili hata oranı

$$\frac{W_R}{R} = \left[ \left( \frac{W_{x_1}}{x_1} \right)^2 + \left( \frac{W_{x_2}}{x_2} \right)^2 + \left( \frac{W_{x_3}}{x_3} \right)^2 + \dots + \left( \frac{W_{x_n}}{x_n} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5.1)$$

Deney düzenekleri ve ölçüm aletlerinin hassasiyetinden kaynaklanabilecek, sabit hatalar, rastgele hatalar ve imalat hataları nedeniyle ortaya çıkan hatalar dikkate alınarak toplam hata hesaplanabilmektedir. WR belirsizliği birbirinden farklı bağımsız değişkenlerden dolayı ortaya çıkan aşağıda belirtilen eşitlikten elde edilmiş olup deney düzeneğinde bulunan hatalar ve belirsizliklerin hesaplanmasında kullanılmıştır.

### Sıcaklık Ölçümünde Yapılan Hatalar

Deneyde kullanılan dijital termometre ve deney düzeneğinin elemanlarından kaynaklanan sıcaklık ölçümünde ortaya çıkabilecek hataları oluşturmaktadır. Deneyler sırasında çeşitli noktalardan alınan sıcaklık ölçümlerindeki hatalar için aşağıdaki parametreler kullanılmıştır;

(a1) Dijital termometreden kaynaklanan hata =  $\pm 0.1$  °C

(b1) Fan girişinde sıcaklık ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata =  $\pm 0.25$  °C

(c1) Isıtıcı çıkışında sıcaklığın ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata =  $\pm 0.5$  °C,

(d1) Kurutma havasının genişleme valfine giriş sıcaklığının ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata= $\pm 0.25$ °C,

$$W_{tfg} = \left[ (a1)^2 + (b1)^2 + (c1)^2 + (d1)^2 \right]^{1/2} \quad (5.2)$$

$$W_{tfg} = \left[ (0.1)^2 + (0.25)^2 + (0.5)^2 + (0.25)^2 \right]^{1/2}$$

$$W_{tfg} = 0,62$$

### **Zaman Ölçümünden Kaynaklanan Hatalar**

Kurutma deneyleri sırasında zaman değerleri takip edilmiş ve dijital bir saat vasıtasıyla ölçülmüştür. Kurutma süresinin belirlenmesinde takip edilen zaman değerleri önemli bir işlem olduğundan ortaya çıkabilecek hatalar için aşağıdaki parametreler kullanılmıştır;

(a2) Zaman ölçerin titreşiminden kaynaklanan hata= $\pm 0.0003$  dakika

(b2) Periyodik olarak tartım alınmasında yapılabilecek ortalama hata= $\pm 0.20$  dakika

(c2) Periyodik olarak sıcaklık değerlerinin alınmasında yapılabilecek ortalama hata= $\pm 0.20$  dakika

$$W_{tfg} = \left[ (a2)^2 + (b2)^2 + (c2)^2 \right]^{1/2} \quad (5.3)$$

$$W_{tfg} = \left[ (0.0003)^2 + (0.2)^2 + (0.2)^2 \right]^{1/2}$$

$$W_{tfg} = 0,28$$

### **Kütle Kayıplarının Ölçümünden Kaynaklanan Hatalar**

Kütle kayıplarının ölçümünde ortaya çıkabilecek hatalar, deneyler sırasında kullanılan hassas terazi ve okuyucuya bağlı değişmektedir. Deneyler sırasında kütle ölçümlerinden kaynaklanan hatalar için aşağıdaki parametreler kullanılmıştır;

(a3) Hassas terazi toleransından kaynaklanan hata = $\pm 0.01$  gr

(b3) Terazi okumasından kaynaklanan hata= $\pm 0.01$  gr

(c3) Numune kapının temizliğinden kaynaklanan hata= $\pm 0.01$  gr

$$W_{tfg} = \left[ (a3)^2 + (b3)^2 + (c3)^2 \right]^{1/2} \quad (5.4)$$

$$W_{tfg} = \left[ (0.01)^2 + (0.01)^2 + (0.01)^2 \right]^{1/2}$$

$$W_{tfg} = 0,017$$

### **Deney Sonuçlarının Tayini için Numunelerden Alınan Örneklerin Nem Miktarının Tespit Edilmesinde Ortaya Çıkan Hatalar**

Tavukgöğsü etinin başlangıç ve nihai işlemler sonrası son neminin ölçülmesinde ortaya çıkabilecek hatalar için aşağıdaki parametreler kullanılmıştır;

(a4) Nem tayin cihazının hassasiyetinden kaynaklanan hata= $\pm 0.0001$  gr

(b4) Nem tayin cihazındaki değerin okunmasından kaynaklanan hata = $\pm 0.0001$  gr

(c4) Numune kapının temizliğinden kaynaklanan hata= $\pm 0.01$  gr

$$W_{tfg} = \left[ (a4)^2 + (b4)^2 + (c4)^2 \right]^{1/2} \quad (5.5)$$

$$W_{tfg} = \left[ (0.0001)^2 + (0.0001)^2 + (0.01)^2 \right]^{1/2}$$

$$W_{tfg} = 0,01$$



## BÖLÜM 6

### SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, tavuk göğüs etine farklı ön işlemler uygulanarak, mikrodalga ile akışkan yatak kurutucuda kurutma karakteristikleri ve kalite özellikleri üzerine etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla tavuk göğüs etlerine uygulanan ön işlemler için bir çok deneme yapılmış, et ürünlerinin geleneksel kurutma yöntemi haricinde kurutulmasında gözlemlenen hatalar değerlendirilmiştir. Bu sebeple özellikle et içerisinde bulunan yağ ve bağ doku hızlı kurutma metotlarında kabuk oluşumu birbirine yapışma, zemin ya da banda yapışma sebebiyle efektif olamamıştır. Ön unlama işlemleri hem çiğ hem de haşlanmış ürünün akışkan yatakta ve mikrodalga da birbirine ve elek veya tablaya yapışmasını önlemiştir. Ön haşlama işlemi ise ürünün haşlama esnasında yağ ve bağ dokudan ayrılmasını gözlemlemek için yapılmıştır.

Araştırmada ürünün gıda güvenliğini sağlayacak sıcaklıklarda kurutma yapılarak nem değerinin mikrobiyolojik olarak koruma sağlanabilmesi için %10 altına düşmesi hedeflenmiştir. Bu kriterlerin gerçekleşebilmesi için gerekli sıcaklık, süre, güç ve enerji kullanılarak kurutma sağlanmıştır. Daha sonra çıkan ürünler nem oranları, renk değerleri ve enerji tüketim verileri bakımından en uygun değerler kıyaslanmıştır. Mikrodalga kurutma işlemi uygun ölçütleri sağlayan 300 W 30 dakika ile önce haşlanmış daha sonra un ile kaplanmış tavuk etinde olmuştur. Ürün %5,432 ± 0,12 nem değerine, L: 64,06; a: 2,3;b: 18,39 renk değerlerine sahiptir. Akışkan yatak işlemlerinde ise önce haşlanmış daha sonra un ile kaplanmış tavuk göğüs etinde istenilen nem ve renk değerleri 4 saat 75 C 12,07 m/s hız ile yapılan kurutma işleminin sonunda elde edilmiştir. Un ile kaplanmış haşlanmış kombine ön işlem uygulanan tavuk göğüs etinde %10 un altına 3 saat 75 C 12,07 m/s hız ile yapılan kurutma işleminin sonunda inmiştir. 4 saat sonunda ise nem değerinin %2,7 ±0,02 değerlerine indiği ve L: 69,3; a: 3,2;b: 20,7 renk değerleri ölçülmüştür.

Mikrodalga gücünün artması ile kurutma süresinde kısalma olmasına rağmen bir kalite kriteri olarak renk değerlerinde istenmeyen veriler kaydedilmiştir. İşlem gücü ve süresi arttıkça yanma gözlemlenmiştir. Un kaplanmış ürünlerde 300 W 30 dakikalık kurutma süresinde kayda değer farklılık gözlemlenmiştir. İstenilen renk değerleri için en iyi sonuçları ön işlem açısından haşlanmış ve un ile kaplanmış haşlanmış tavuk göğüs etleri verirken, akışkan yatak kurutma işlemlerinde ürünün renk değerleri daha az koyulaşmış ve yanma gözlemlenmemiştir.

Sonuç olarak et ve benzeri mikrobiyal riski olan ürünlerde ön haşlama işlemi hem riskin önlenmesi hem de kas dokusunda meydana gelen değişim sebebiyle kurutma proseslerinde olumlu yönde etkisi mevcuttur. Un benzeri kaplama ürünleri ise ürünün renk değerlerinin korunmasına etki etmekte ve kurutmada yapışmalardan kaynaklı kurutma hatalarını önlemektedir. Yapılan çalışmalar akışkan yatakta tavuk göğüs etinin ön işlemler sonrası verimli bir kurutma gerçekleşmiştir. Mikrodalga ile yapılan kurutma işleminde kaplama renk değerlerine olumlu etki etmiştir, haşlama işlemi ise etin dokusunda olan yağ vb. ayrılmasını sağladığı için çiğ ete göre daha verimli bir kurutma gerçekleşmiştir.

## KAYNAKLAR

- Babayiğit O** (2010) Tarım Ürünlerinin Kuruma Karakteristiklerini Belirlemek İçin Bir Deney Seti Tasarımı, İmalata ve Denenmesi, *Yüksek Lisans Tezi* Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, 50 s.
- Bergman T L, Lavine A S, Incropera F P, DeWitt D P** (2011) *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. 6th edition, ISBN-13: 978-0471457282, John Wiley & Sons Publisher, United States of America, 984 pp.
- Bodruk A, Köprüalan Ö, Kaymak Ertekin F** (2019) Atıştırmalık Et Üretiminde Kurutma Yöntemleri ve Öneriler. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 7(3): 523-530
- Calicioglu M, Sofos J N, Samelis J, Kendall P A, Smith G C** (2003) Effect of Acid Adaptation on Inactivation of Salmonella During Drying and Storage of Beef Jerky Treated with Marinades. *International Journal of Food Microbiology*, 89(1): 51-65.
- Chabbouh M, Sahli A, Bellagha S** (2013) Does the spicing step affect the quality and drying behavior of traditional kaddid, a Tunisian cured meat. *Journal of Science of Food and Agriculture*, 93(36): 34-41.
- Çalhan R, Kaya D, Tulger G, Eyidoğan M** (2012) Organik Gübre Kurutma Teknolojileri: Akışkan Yataklı Kurutucular. *Mühendis ve Makina Dergisi*, 634: 22-33
- Demirci E, Karataş O B** (2010) *Işınım ile Isı Transferi*, Burs Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa, 8s.
- Erbay B ve Küçüköner E** (2008) Gıda Endüstrisinde Kullanılan Farklı Kurutma Sistemleri. *10. Gıda Kongresi*, 21-23 Mayıs 2008, Atatürk Üniversitesi, *Gıda Dergisi*, Erzurum, Türkiye, e-kitap, 1045-1048.
- Gagaoua M and Boudechicha H R** (2018) Ethnic meat products of the North African and Mediterranean countries: An overview. *Journal of Ethnic Foods*, 5: 83-98.
- Geankoplis C J** (2003) *Transport processes and separation process principles (includes unit operations)*. 3rd edition, ISBN: 0-13-045253-X, Prentice Hall Press, New Jersey, United States of America, e-book, 1009 pp.
- Chen G and Liu H** (2022) Study on Single Crystal Holmhertz Underwater Acoustic Transducer *Journal of Physics: Conference Series*, 22/04/2022 - 24/04/2022 Guilin City, China, Volume: 2290, 012050 pp.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Gutiérrez N O, Caro I, Mateo J** (2022) Dry-Cured Cecina, *In Production of Traditional Mediterranean Meat Products*. Lorenzo J M, Domínguez R, Pateiro M, Munekat P E S (Ed), Humana Press, Springer, ISBN: 978-1-0716-2103-5, e-book, 87-94.
- Hanjabam M D, Zynudheen A D, Ninan G, Panda S** (2016) Seaweed As An Ingredient for Nutritional Improvement of Fish Jerky. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(2): 12845.
- Hazervazifeh A, Moghaddam P A, Nikbakht A M, Farough F** (2012) Designing, manufacturing and evaluating microwave-hot air combination drier. *Life Science Journal*, 9(3): 630-637.
- Hou C, Kang N, Schlosser C, Zhao M, Wang Z, Zhang D** (2018) Heterocyclic aromatic amines in commercial Chinese dried meat products. *Journal of Food Nutrition Research*, 57(2): 151-160.
- Jones M, Arnaud E, Gouws P, Hoffman L C** (2017) Processing of South African biltong - A review. *South. African Journal of Animal Science*, 47: 743-757.
- Kaban G** (2013) Sucuk and pastirma: microbiological changes and formation of volatile compounds. *Meat Science*, 95: 912-1008.
- Kaya A, Kamer M S, ve Şahin H E** (2015) Trabzon Hurmasının (Diospyros Kakı L.) Kuruma Davranışlarının Deneysel İncelenmesi. *Gıda*, 40(1): 15-21.
- Kim D H, Shin D M, Lee J H, Kim Y J, Han S G** (2022) Effect of different brine injection levels on the drying characteristics and physicochemical properties of beef jerky. *Food Science and Animal Resource*, 42: 98-110.
- Kuş S** (2016) Mikrodalga Teknolojisiyle Ayva ve Armut Meyvesinin Kurutma Davranışı ve Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Tekirdağ, 69 s.
- Lorenzo J M, Fonseca S, Gómez M, Domínguez R** (2015) Influence of the salting time on physico-chemical parameters, lipolysis and proteolysis of dry-cured foal “cecina”. (*LWT Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*) *Food Science and Technology*, 60: 332-338.
- Luckose F, Pandey M C, Harilal P T** (2017) Effect of Sodium Chloride Reduction on Drying Kinetics of Restructured Chicken Jerky. *Food Bioscience*, 19: 156-162.
- Nam K C, Jo C, Lee K H** (2012) Comparison of Free Amino Acids and Dipeptide Contents, Warner-Bratzler Shear Force and Sensory Property of Beef Jerky Manufactured with Different Drying Methods. *Korean Journal of Food Science*, 32: 796-802.
- Nathakaranakule A, Kraivanichkul W, Soponronnarit S** (2007) Comparative study of different combined superheated-steam drying techniques for chicken meat. *Journal of Food Engineering*, 80: 1023-1030.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

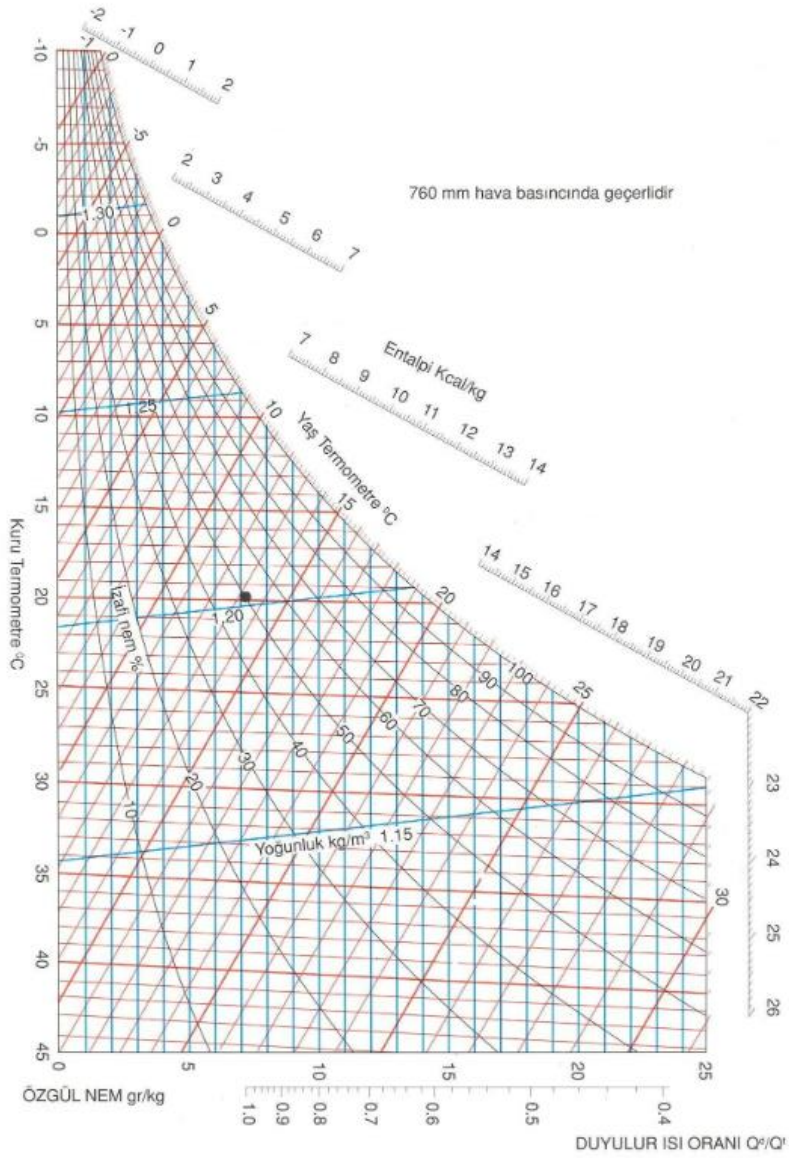
- Özbay Doğu S, Sarıçoban C** (2015) Et Kurutma Teknolojisi ve Dünyada Tüketilen Bazı Kurutulmuş Et Ürünleri. *Journal of Food and Health Science*, 1(3): 109-123.
- Özsoy E** (2015) Mikrodalga Bantlı Kurutucuda Elma (Gala) Dilimlerinin Kuruma Davranışı, Yüksek Lisans, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Tekirdağ, 83 s.
- Rao W, Wang Z, Shen Q, Li G, Song X, Zhang D L F** (2018) NMR to explore water migration and water-protein interaction of lamb meat being air-dried at 35 C. *Drying Technology*, 36: 366-373.
- Rivania R, Marcelo G, Debora L, Lara K, Greco J** (2019). Numerical Modeling Of Elastomeric Support Devices In Bridge Beams. 11-14 November 2019, Brazil, *Proceedings of the XL Ibero-Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering*, e-book, 1-17.
- Soyer A, Kolsarıcı N, Candoğan K** (1999) Effect of Conventional and Microwave Cooking Methods on Some Nutritive Contents and Quality Properties of Chicken Meat. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23(2): 289-296.
- Topuz A** (2002) Akışkan Yatakta Fındık Kurutma Prosesinde Isı ve Kütle Geçişinin İncelenmesi. Doktora tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya, 113 s.
- URL-1** < <http://www.pce-cihazlari.com.tr/teknik-bilgiler/tasinabilir-renk-oelcuem-cihazlari-nh310.htm> >, Ziyaret tarihi: 28.11.2023
- URL-2** < [https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/0e52b27a7a5d6a1\\_ek.pdf](https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/0e52b27a7a5d6a1_ek.pdf) >, Ziyaret tarihi: 08.01.2024
- URL-3** < [https://tr.m.wikipedia.org/wiki/Dosya:Convection\\_cells\\_tr.png](https://tr.m.wikipedia.org/wiki/Dosya:Convection_cells_tr.png) >, Ziyaret tarihi: 9.01.2024
- Vázquez E R** (2004) Optimization of Drying-End-Points Measurements for the Automation of a Fluidized-Bed Dryer Using FT-NIR Spectroscopy. Master Thesis, Chemical Engineering University Of Puerto Rico Mayagüez Campüs, United States Of America, 80 p.
- Yang H S, Hwang Y H, Joo S T, Park G B**, (2009) The physicochemical and microbiological characteristics of pork jerky in comparison to beef jerky. *Meat science*, 82(3): 289-294.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Yıldırım B** (2020) Hidrazinlenmiş bazı kalkon türevlerinin insan serum albumin ve model membran sistemlerdeki floresans karakteristiği, Yüksek Lisans Tezi, Erzincan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Erzincan, 85 s.
- Yoon Y, Skandamis P N, Kendall P A, Smith G C, Sofos J N** (2006) A Predictive Model for The Effect of Temperature and Predrying Treatments in Reducing *Listeria monocytogenes* Populations during Drying of Beef Jerky. *Journal of Food Protection*, 69(1): 62-70.
- Yücesoy F ve Kaya H** (2022) Kanatlı Et Kalitesi Üzerine Beslenmenin Etkisi. *Palandöken Journal of Animal Science Technology and Economics, Review Article*, 1(1): 42-53
- Zdanowska-Sasiadek Z, Marchewka J, Horbanczuk J O, Wierzbicka A, Lipinska P, Józwik A, Atanasov, A G, Huminiecki Ł, Sieroń A, Sieroń K** (2018) Nutrients composition in fit snacks made from ostrich, beef and chicken dried meat. *Molecules*. 23: 1-13.
- Zhao C, Zhao X, Lu Z, Huang J, He S, Tan H, Wang G, Li Y, Liu D** (2016). Production of Fermented Pork Jerky Using *Lactobacillus bulgaricus*. *LWT- Food Science and Technology*, 72: 377-382.

## EK AÇIKLAMALAR

### EK A: Psiometrik Diagram



Şekil A.1 Psikometrik Diyagram.



## ÖZGEÇMİŞ

Gözde ARSLAN KÜÇÜKKAYA ortaokul ve lise eğitimini Zonguldak'ta tamamladıktan sonra Ankara Üniversitesinde Gıda Mühendisliği eğitimine almıştır. 2016 yılında kalite ve işletme mühendisi olarak kariyerine başlamış daha sonra Balıkesir Süt Üreticileri Birliğinde Laboratuvar (ISO:17025) ve Gıda Güvenliği (ISO:22000) Yönetim Sistemleri Kurucu Mühendisliği yapmıştır. Daha sonra BANVİT A.Ş. şirketinde İleri İşlem Fabrikası üretim asistanı olarak, kaplamalı tavuk ürünleri, tavuk unu ve yağı, hazır döner gruplarında çalışmıştır. 2020 yılında ERDEMİR T.A.Ş. fabrikası Destek Hizmetleri Müdürlüğünde Gıda Mühendisi olarak hazır yemek servisi, yemekhaneler ve restoranların işletimi ve denetiminde görev almıştır.