

BİR VAKUMLU GIDA KURUTMA SİSTEMİNİN  
TASARIMI VE İMALATI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hasan DÜNDAR

DANIŞMAN

Doç. Dr. Kubilay ASLANTAŞ

MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

HAZİRAN 2010

## ONAY SAYFASI

Doç. Dr. Kubilay ASLANTAŞ danışmanlığında,  
Hasan DÜNDAR tarafından hazırlanan  
“Bir Vakumlu Gıda Kurutma Sistemi Tasarımı ve İmalatı”  
başlıklı bu çalışma, lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri  
uyarınca

16 / 06 / 2010

tarihinde aşağıdaki jüri tarafından  
Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans tezi olarak oybirliği ile kabul edilmiştir.

Unvanı, Adı, SOYADI

İmza

Başkan : Doc. Dr. İnci TÜRK TOĞRUL

Üye : Doç. Dr. Kubilay ASLANTAŞ

Üye : Yrd. Doc. Dr. Ahmet ÇETKİN



Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

22.../06.../2010 tarih ve

2010 / 012.. sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Doç. Dr. Rıdvan ÜNAL

Enstitü Müdürü

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BİR VAKUMLU GIDA KURUTMA SİSTEMİNİN TASARIMI VE  
İMALATI**

**Hasan DÜNDAR**

**DANIŞMAN**  
**Doç. Dr. Kubilay ASLANTAŞ**

**MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**Haziran 2010**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### BİR VAKUMLU GIDA KURUTMA SİSTEMİ TASARIMI VE İMALATI

Hasan DÜNDAR

**Afyon Kocatepe Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

Makine Eğitimi Anabilim dalı

**Danışman:** Doç. Dr. Kubilay ASLANTAŞ

Bu çalışmada, yağ ve çerezlik olarak üretilen kabak çekirdeği kurutulması için optimum kuruma süresi bulunmaya çalışılmıştır. Vakum ile kurutma yapan 3 farklı prototip deney düzeneği tasarımı yapılmıştır. Farklı hava sıcaklıkları, nem ve hava hızı değerlerinde kurutmaya bırakılan ürünlerin kuruma süreleri karşılaştırılmış ve en uygun sistem tasarımı için önemli bulgulara ulaşılmıştır. Deney çalışmalarında 80 mbar, 200mbar ve 800 mbar basınç değerlerinde %40 - %80 bağıl nem ortamlarında ve 0-10m/s hava hızı ile 7 farklı deney sonuçları karşılaştırılmıştır.

Deney çalışmaları sonucunda, vakumun kuruma üzerine olan etkisi belirlenmiştir. Tünel tipi kurutucu deney düzeneğinde, diğer deney düzeneklerine göre daha kısa sürede kurutma yapılmıştır. 800 mbar basınç altında yapılan çalışmada 60 dk kurutma yapılmıştır. 80 mbar ve 200 mbar basınç altında yapılan çalışmalarda sıcaklık ve hava hızı değerlerinden kaynaklı problemlerden dolayı kurutma süresi uzamıştır.

Açık havada kurutulan ürünlerden alınan sonuçlarda ürünlerin su miktarının %40 kadarının kurutulması gerektiği gözlemlenmiştir. Kurutulan ürünlerden alınan örnekler çimlendirme yapılarak pişme kontrolü yapılmıştır.

2010, 59 Sayfa

**Anahtar Kelimeler:** Kurutma, vakum, kabak çekirdeği, gıda kurutma.

## **ABSTRACT**

MSc Thesis

### **DESIGN AND MANUFACTURING OF A VACUUM OPERATED FOOD DRYING SYSTEM**

Hasan DÜNDAR

**Afyon Kocatepe University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

Department of Mechanical Education

**Supervisor:** Assoc. Prof. Kubilay ASLANTAŞ

In this study, it has been tried to find optimum drying duration for pumpkin seed which is produced for oil and snack. Three different kinds of prototype experiment device which dries with vacuum has been designed. Drying durations of the products which were left to dry in distinctive temperatures, humidity and air speed values have been compared and it has been attained important indications for the design of the most convenient system. In this experimental study seven different experiment devices with 0-10m/s air speed were compared in 80 mbar, 200 mbar and 800 mbar pressure values, in %40 - %80 relative humidity stages.

In consequence of experiment studies, effect of the vacuum on drying has been identified. In the tunnel type fluid channeled experiment device, drying was made in shorter duration considering to other experiment devices. Under the 800 mbar pressure, drying has been achieved in 60 minutes. In the studies under 80 mbar and 200 mbar pressure drying duration was became longer because of the temperature and air speed values problems.

It has been observed that results from the products dried in open air requires products' water activity should be dried as 40 percent. The samples taken by the dried products' baked control was made by germination.

2010, 59 Page

**Keywords:** Drying, vacuum, pumpking seeds, food drying

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleşmesini sağlayan, değerli katkılarını benden esirgemeyen tez danışmanım Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölüm başkanı aynı zamanda danışman hocam Doç. Dr. Kubilay ASLANTAŞ ‘a teşekkür ederim. Deneysel çalışmalarda gösterdiği yardımlar ve çalışmalarım süresince verdiği destekten dolayı arkadaşım Hüseyin ARACI ve yüksek lisans boyunca bana destek olan BERKEL makine genel müdürü Halil ELİBOL ve ABİGEM Direktörü Gülçin SALINGAN’a ve tüm çalışmalarım süresince bana daima destek olan aileme teşekkür ederim.

Hasan DÜNDAR

Afyonkarahisar, Haziran 2010

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa No

|                                                      |     |
|------------------------------------------------------|-----|
| ÖZET.....                                            | II  |
| I                                                    |     |
| ABSTRACT .....                                       | IV  |
| TEŞEKKÜR .....                                       | V   |
| İÇİNDEKİLER.....                                     | VI  |
| SİMGELER DİZİNİ .....                                | IX  |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                                | X   |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                              | XII |
| 1. GİRİŞ.....                                        | 1   |
| 2. GENEL BİLGİLER .....                              | 3   |
| 2.1 Literatür Taraması .....                         | 3   |
| 2.2 Kurutma .....                                    | 6   |
| 2.2.1 Kurutmaya Etki Eden Faktörler .....            | 7   |
| 2.2.2 Sorpsiyon İzotermi .....                       | 8   |
| 2.2.3 Kurutma Süreçlerinin Kontrolü.....             | 9   |
| 2.3 Sanayide Kullanılan Gıda Kurutma Sistemleri..... | 10  |
| 2.3.1 Dondurarak kurutma .....                       | 10  |
| 2.3.2 Akışkan Yataklı Kurutma .....                  | 11  |
| 2.3.3 Güneş enerjili kurutucu.....                   | 12  |
| 2.3.4 Tünel Kurutucular .....                        | 13  |
| 2.3.5 Mikrodalga ile Kurutma.....                    | 15  |
| 2.3.6 Sprey (Püskürtmeli) Kurutucular .....          | 16  |
| 2.4 Kurutucu Seçimi.....                             | 17  |
| 3. MATERYAL ve METOT .....                           | 19  |

|                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1 Ürün Yapısal Özellikleri.....                                                                                                       | 21 |
| 3.2 Materyal.....                                                                                                                       | 22 |
| 3.3 Tünel Tipi Vakumlu Akışkan Kurutucu.....                                                                                            | 25 |
| 3.3.1 Tünel Tipi Vakumlu Akışkan Kurutucu Deney Düzeneğinin Tanıtılması.....                                                            | 26 |
| 3.4 Vakum Altında Hava Çevrimli Termodinamik Kurutucu.....                                                                              | 29 |
| 3.4.1 Vakum Altında Hava Çevrimli Termodinamik Kurutucu Deney Düzeneğinin Tanıtılması.....                                              | 30 |
| 3.5 Tünel Tipi Kurutucu Sistemi .....                                                                                                   | 32 |
| 3.5.1 Tünel Tipi Kurutucu Sistemi Deney Düzeneğinin Tanıtılması.....                                                                    | 32 |
| 4. BULGULAR.....                                                                                                                        | 34 |
| 4.1 Normal Koşullar Altında Kurutma İşlemi .....                                                                                        | 34 |
| 4.2 Tünel Tipi Vakumlu Akışkan Kurutucu Prototip Sisteminde Yapılan Deney Çalışmaları Bulguları. ....                                   | 37 |
| 4.2.1 80 mbar Basınç Altında Kurutma.....                                                                                               | 37 |
| 4.2.2 Kesikli Vakum Altında Kurutma .....                                                                                               | 39 |
| 4.2.3 220 mbar Basınç Altında Kurutma.....                                                                                              | 40 |
| 4.2.4 Tünel Tipi Vakumlu Akışkan Kurutucu Prototip Sisteminde Yapılan Deney Çalışmalarında Bağıl Nem Oranlarının Karşılaştırılması..... | 42 |
| 4.3 Vakum Altında Hava Çevrimli Kurutucu Sistemde Deney Bulguları .....                                                                 | 43 |
| 4.3.1 80mbar Basınç Altında Hava Çevrimli Termodinamik Kurutma .....                                                                    | 43 |
| 4.3.2 220 mbar Basınç Altında Hava Çevrimli Termodinamik Kurutma .....                                                                  | 44 |
| 4.3.3 220mbar ve 80 mbar Basınç Altında Yapılan Çalışmalarda Bağıl Nem Oranlarının Karşılaştırılması.....                               | 45 |
| 4.4 Tünel Tipi Kurutucu Deney Bulguları .....                                                                                           | 46 |
| 4.4.1 Hava Kurutma Kullanılmadan Yapılan Tünel Tipi Kurutma Deney Çalışması .....                                                       | 47 |
| 4.4.2 Hava Kurutma İşlemi Yapılarak Tünel Tipi Kurutucu Sistemi .....                                                                   | 48 |

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.4.3 Tünel Tipi Kurutucu Sistemde Bağlı Nem Oranlarının Karşılaştırılması .....                             | 50 |
| 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....                                                                                | 51 |
| 5.1 Deney Düzeneklerinden Alınan Sonuçlar .....                                                              | 52 |
| 5.2 Öneriler .....                                                                                           | 54 |
| 6.KAYNAKLAR .....                                                                                            | 56 |
| 6.1 İnternet Kaynakları .....                                                                                | 58 |
| 7. ÖZGEÇMİŞ .....                                                                                            | 59 |
| EK-1 Tünel Tipi Vakum Altında Akışkan Kurutucu Prototip Sisteminde Yapılan Deney Çalışmaları Bulguları ..... | 60 |
| EK-2 Vakum Altında Hava Çevrimli Kurutucu Sistemde Deney Bulguları .....                                     | 62 |
| EK-3 Tünel Tipi Kurutucu Deney Bulguları .....                                                               | 63 |

## SİMGELER DİZİNİ

|          |                                              |
|----------|----------------------------------------------|
| $X_S$    | Nem içeriği (%),                             |
| $X_{KB}$ | Kuru baza göre nem içeriği (%),              |
| $m_N$    | Yaş ürünlerdeki su ağırlığı (g),             |
| $m$      | Ürünün toplam ağırlığı (g)'dir.              |
| $m_{KM}$ | Üründeki toplam kuru madde ağırlığı (g)'dir. |
| $T$      | Sıcaklık                                     |
| $P$      | Basınç                                       |

## KISALTMALAR DİZİNİ

|      |                    |
|------|--------------------|
| min. | Minimum            |
| max. | Maximum            |
| [KM] | Kuru madde kütlesi |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

|            |                                                                                                  |    |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1  | Tipik bir ürün için sorpsiyon izotermi .....                                                     | 8  |
| Şekil 2.2  | Tipik bir ürün için adsorpsiyon ve izotermi örneği .....                                         | 9  |
| Şekil 2.3  | Dondurarak kurutma .....                                                                         | 11 |
| Şekil 2.4  | Güneş tipi kurutucu .....                                                                        | 13 |
| Şekil 2.5  | Tünel tipi kurutucu .....                                                                        | 14 |
| Şekil 2.6  | Bantlı tünel tipi kurutucu örneği .....                                                          | 15 |
| Şekil 2.7  | Sprey kurutucu örneği .....                                                                      | 16 |
| Şekil 3.1  | GMVP 200/065 Sıvı halkalı vakum kompresörü .....                                                 | 23 |
| Şekil 3.2  | Sıvı halkalı vakum kompresörünün çalışma prensibi .....                                          | 23 |
| Şekil 3.3  | Sıvı halkalı vakum pompasının basınç - emiş diyagramı .....                                      | 24 |
| Şekil 3.4  | Baster marka CHBL-R serisi elektronik hassas terazi .....                                        | 25 |
| Şekil 3.5  | Tünel tipi vakumlu akışkan yataklı prototip kurutucu sistemi konsept tasarımı .....              | 26 |
| Şekil 3.6  | Tünel tipi vakumlu akışkan kurutucu ürün çıkış sistemi .....                                     | 27 |
| Şekil 3.7  | Tünel tipi vakumlu akışkan kurutucu sistemi .....                                                | 28 |
| Şekil 3.8  | Vakum altında hava çevrimli termodinamik kurutucu deney düzeneği konsept tasarımı .....          | 30 |
| Şekil 3.9  | Vakum altında hava çevrimli termodinamik kurutucu deney düzeneği .....                           | 31 |
| Şekil 3.10 | Tünel tipi kurutucu sistemi deney düzeneği konsept tasarımı .....                                | 32 |
| Şekil 4.1  | Normal koşullar altında kurutulmaya bırakılan ürünlerin zamana göre ağırlıkları .....            | 36 |
| Şekil 4.2  | Normal koşullar altında kurutulmaya bırakılan ürünlerin sıcaklığının zamana göre değişimi .....  | 36 |
| Şekil 4.3  | 80 mbar basınç altında tünel tipi vakumlu akışkan kurutucu sistemin ağırlık zaman değişimi ..... | 38 |

|                                                                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 4.4</b> 80 mbar basınç altında kurutucu sistemin sıcaklık zaman değişimi.....                                                          | 38 |
| <b>Şekil 4.5</b> Kesikli vakum altında kurutma deneyinin ağırlık zaman değişimi. ....                                                           | 39 |
| <b>Şekil 4.6</b> Kesikli vakum altında kurutma deneyinin sıcaklık zaman değişimi.....                                                           | 40 |
| <b>Şekil 4.7</b> 220 mbar basınç altında kurutucu sistemin ağırlık zaman değişimi. ....                                                         | 41 |
| <b>Şekil 4.8</b> 220 mbar basınç altında kurutucu sistemin sıcaklık zaman değişimi. ....                                                        | 41 |
| <b>Şekil 4.9</b> Kurutucu prototipinin bağıl nemin zaman içerisindeki durumu görülmektedir.                                                     | 42 |
| <b>Şekil 4.10</b> 80 mbar basınç altında termodinamik kurutma işleminde kabak çekirdeğinin zamanla ağırlıklarının değişimi. ....                | 43 |
| <b>Şekil 4.11</b> 80 mbar basınç altında termodinamik kurutma işleminde ürünlerin zaman göre ortalama sıcaklık değerleri.....                   | 44 |
| <b>Şekil 4.12</b> 220mbar basınç altında hava çevrimli termodinamik kurutucu deney çalışmasında zaman göre ürünlerden azalan kütle miktarı..... | 44 |
| <b>Şekil 4.13</b> 220 mbar basınç altında hava çevrimli termodinamik kurutucu deney çalışmasında zamana göre ortalama sıcaklık değerleri. ....  | 45 |
| <b>Şekil 4.14</b> Hava çevrimli termodinamik kurutucunun bağıl nem oranlarının zamana bağlı değişimi.....                                       | 46 |
| <b>Şekil 4.15</b> Tünel tipi kurutucu deney düzeneğinin ağırlık zaman değişimi.....                                                             | 47 |
| <b>Şekil 4.16</b> Tünel tipi kurutucu deney düzeneğinin zamana göre ortalama sıcaklık değişimi. ....                                            | 48 |
| <b>Şekil 4.17</b> Tünel tipi kurutucuda hava kurutma kullanılarak yapılan zamana bağlı ağırlık değişimleri. ....                                | 49 |
| <b>Şekil 4.18</b> Tünel tipi kurutucu hava kurutma kullanılarak yapılan zamana bağlı ortalama sıcaklık değişimleri. ....                        | 49 |
| <b>Şekil 4.19</b> Tünel tipi kurutucu sisteminde yapılan deney çalışmalarında zamana göre ortalama nem değişimleri. ....                        | 50 |
| <b>Şekil 5.1</b> Isı pompalı örnek bir kurutucu sistem.....                                                                                     | 53 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa No

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Çizelge 3.1</b> Farklı basınç değerlerinde suyun kaynama noktaları.....   | 19 |
| <b>Çizelge 3.2</b> Deney düzeneğinde kullanılan materyaller. ....            | 22 |
| <b>Çizelge 4.1</b> Normal koşullarda kurutma işleminden alınan sonuçlar..... | 35 |
| <b>Çizelge 5.1</b> Suyun bazı basınç değerlerinde kaynama noktası.....       | 53 |

## 1. GİRİŞ

İnsanoğlu yıllarca değişik amaçlar doğrultusunda sürekli bir şeyleri kurutma uğraşı vermiştir. Kurutma gıdaları saklama ömürlerini uzatmak ve zararlı mikro organizmaların üremesini yavaşlatmaktır. Tarımsal ürünlerin tüketilme anına kadar geçen süre içerisinde besleyici özelliklerini kaybetmeden ekonomik ömürlerinin uzatılmasına yönelik olan bu işlemlerin başında kurutma gelmektedir. Kurutma meyve ve sebzelerin su niceliğini azaltarak, su miktarını düşürmek ve böylece biyokimyasal, kimyasal ve mikrobiyolojik bozulmaları minimize etmek amacıyla ısıtılmış hava ile endüstriyel ölçekte uygulanan bir koruma metodu olarak tanımlanmaktadır. Gıda kurutma sürecinde maliyetten daha çok kuruma süresi önemlidir. Bu da süreçlerinin maliyetlerinin azaltılabilmesi için yalnızca enerji veriminin sağlanması yeterli bir sonuç olmayıp, kurutucu, devamlı ve sistematik çalışan bir makine haline getirip çiftçinin ve sanayide kurutma yapan firmaların ihtiyacını en kısa sürede karşılamaktır.

Ürünler kurutma koşullarına karşı çok hassas davranış gösterdiklerinden dolayı, kurutma süreçlerinde ürünlerin hangi özelliklerinin kaliteyi etkilediğini iyi tespit etmek gerekir. Ürün kalitesi üzerinde pek çok etken rol oynamakta olup, bu etkenlerden en önemlileri sıcaklık ve nem kesridir (Lievense 1991). Biyolojik ürünlerin kurutma ve saklama sırasında çevre koşullarına olan hassasiyetleri sebebi ile bu süreçler ürün kalitesini fazla düşürmeyecek şekilde yürütülmelidir

Gıdaların kurutulması ile ilgili bilinen ilk kayıtlar 18. yüzyıla aittir. Daha sonraki dönemlerde dünyada çıkan savaşlar nedeniyle, kurutma endüstrisi gelişmeye başlamıştır. İngiliz süvari birlikleri 1854-1856 yılları arasında Kırım'da iken, ülkelerinden kurutulmuş sebzeleri beraberlerinde getirmişlerdir. Boer Savaşı (1899-1902) süresince kurutulmuş sebzeler gemilerle Kanada'dan Güney Afrika'ya nakledilmiştir. Yine Birinci Dünya Savaşı süresince 4500 ton kurutulmuş sebze gemilerle taşınmıştır (Vega-Mercado vd. 2001).

1919’lu yıllarda Amerika’da taze fasulye, lahana, havuç, kereviz, patates, ıspanak, tatlı mısır, şalgam ve çorbaya konulan sebzeler kurutularak işlenmeye başlamıştır (Vega-Mercado vd. 2001). Ülkemizde ise endüstriyel anlamda sebze kurutmak için kurulan ilk tesis 1965 yılında hizmete girmiştir (Bingöl 1992).

Kurutma tıbbi bitkilerin korunmasındaki en eski ve en yaygın yöntemdir. M.Ö. 2000 yılında Mısırlılar güneşte ve gölgede kurutulan droglar arasındaki farklılığı tespit etmişlerdir (Heeger, 1956). Günümüzde bu şekilde doğal kurutma sadece küçük ölçekli üretimlerde kullanılmaktadır. Aksi takdirde ısıtma sistemli kurutucular tercih edilmektedir. Aktif bileşenler dikkate alındığında uzun kurutma sürelerinde nispeten düşük kurutma sıcaklıkları tavsiye edilmektedir (Ebert 1982; Dachler ve Pelzmann 1989).

Eskişehir çifteler yöresinde yılda 100 ton civarında kabak çekirdeği toplanmaktadır. Bunların hava koşullarından dolayı kalitesi düşmekte hatta bazı çiftçilerin ürünlerinin tamamı çürümektedir. Kabak çekirdeği hasat zamanı hava koşullarının uygun olmamasından dolayı kurutma işlemi büyük bir ihtiyaç haline gelmiş bir problemdir.

Bu tez çalışmasında kabak çekirdeği vakum ile kurutma süreci için üç prototip geliştirilmiştir. Bunlar sırası ile tünel tipi vakumlu akışkan kurutma modeli, vakumlu hava çevrimli termodinamik sistem ve tünel tipi kurutucu sistemidir. Her sistemde kabak çekirdeğinin kuruma süreleri karşılaştırılmış.

## **2. GENEL BİLGİLER**

### **2.1 Literatür Taraması**

Biyolojik ürünlerin kurutma süreçleri ile ilgili literatürde yapılmış birçok çalışmaya rastlamak mümkündür. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Drouzas ve ark. (1998), yaptıkları bir çalışmada meyve jelinin mikrodalga/vakum etkisiyle kurutulması üzerine bir deneme yapmışlardır. Kombine edilmiş mikrodalga ve vakumla kurutmanın meyve kalitesinde yüksek nitelikli ürünler verdiği bildirilmiştir. Sistem 30–50 mbar’lık vakumla 640–710 W mikrodalga gücü ile çalıştırılmıştır. Elektromanyetik alan, fırın boşluğu içerisine 5 ayrı noktadan dağıtılmıştır. Mikrodalga ile kombine edilmiş vakum etkisiyle kurutma hızının arttığı sonucunu gözlemlemişlerdir. Deneydeki petlin jelinin %38.4 olan nem miktarı mikrodalga ile 4 dakikada %3’e inerken, sıcak havalı kurutmada %10 nem miktarına 8 saatte ulaşılmıştır.

Tunahan ERDEM (2007), kırmızıbiberin kurutulmasında mikrodalga sürekli ve kesikli mikro dalga uygulamaları yapmıştır. Sürekli kurutma işleminde ürün renk ve pişme gözlenmiş kesikli mikrodalgada kurutma işleminin sanayide kullanılabileceği düşünülmüştür. 30 dakika süreyle mikro dalga kurutucu içerisinde bırakmış, 250 ’şer gramlık ürünlerin kurutulması esnasında tüketilen enerji miktarı ortalama olarak 0.341 kWh olarak bulunmuştur.

Coşkun (1993), kurutma işlemlerinde ısı pompası ile enerji tasarrufu sağlanmasını deneysel olarak incelemiştir. Kurutma havası ısı pompasının yoğuşturucusunda fuel-oil ile ısıtılmasının %25 daha verimli olduğunu saptamıştır.

Oktay ve Hepbaşlı (2003), mekanik ısı pompalı bir kurutucunun performans değerlendirmesini yapmıştır. Kondenser ve evaporatör sıcaklıklarına bağlı olarak ısıtma

tesir katsayısı 2.47 ile 3.95 arasında değişmiştir. Kurutucuda özgül nem çekme oranı 0.65 ile 1.75 kg/kWh arasında değişmiştir.

Kowalski ve diğ. (1997) kurutma malzemelerinin yapısının kurutma sürecine etkisini inceleyerek, kurutma süreci boyunca ürün bozulmasını engellemek için bir optimal kontrol sistemi geliştirmiştir.

Quirijns ve Diğ. (2000) tarafından akışkan yataklı kurutma süreçlerinin statik ve dinamik optimizasyonu yapılmıştır. Optimizasyon süreci için ürün kalitesi ve enerji tüketimine dayalı bir maliyet fonksiyonu oluşturulmuştur. Optimizasyon probleminin çözümünde sayısal yöntemler kullanılmış ve benzetim çalışmalarında en uygun kurutma süresi 1000 sn olarak bulunmuştur.

Teeboonma ve diğerleri (2002), ısı pompalı meyve kurutucularının optimizasyonunu yapmıştır. Isı pompalı meyve kurutucularının optimum şartları belirlenirken en önemli faktörlerin dönüş havası oranı, evaporatör by-pass oranı, kütleli debi ve kurutma havası sıcaklığı olduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak kurutulacak ürünün fiziksel özellikleri optimum hava debisini ve evaporatör by-pass hava oranını önemli bir biçimde etkilemektedir ifadesini kullanmışlardır.

Toğrul ve ark. (2005), yaptıkları çalışmada, 0.5, 1.0 ve 1.5 cm kalınlığında küp şeklinde kesilmiş mantarların kuruma davranışlarını infrared kurutucuda 50, 60 ve 80 °C kurutma havası sıcaklığı değerlerinde incelemişlerdir. Sıcaklığın 50 °C'den 80 °C'ye çıkarılmasıyla 0.5, 1.0 ve 1.5 cm dilim kalınlıklarının kuruma süresinde sırasıyla 170, 140, 104 dakikalık azalma olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca mantar kalınlığının difüzyon katsayısına etkisini araştırmışlar ve sonuçta sıcaklık ve kalınlıktaki artışın difüzyon katsayısı artışına sebep olduğunu belirlemişlerdir.

Özbalta ve Tırıs (1992), yapılan güneşli kurutma fırınında yutucu yüzey olarak akış kanalına yerleştirilen alüminyum teli kullanmıştır. Araştırmacı, siyaha boyanan alüminyum tel ile ısı transfer alanının arttırılmasını amaçlamıştır.

Uçkan ve Ülkü (1986), kesikli akışkan yatakta mısır kurutmada, hava hızı ve sıcaklığın etkisini incelemişler ve difüzyon teorisine dayalı bir model geliştirmiştir. Model ve deneysel verilere dayalı olarak mısırın kuruması için bir ampirik formül önermişlerdir. Kurutma işleminde gazın hızının kurutma oranı üzerinde bireysel etkisi olmadığını ve mısırın kurumasında prosesin difüzyon kontrollü olduğunu belirlemişlerdir.

Thomas ve Varma (1992), kesikli ve sürekli akışkan yatakta değişik sıcaklık, hava debisi ve farklı partikül çapı ve kütesini ele alarak taneli gıda maddelerini kurutmuşlardır. Partiküllerin ideal karıştığını kabul etmişler ve kesikli ideal akışkan yatağa göre sürekli akışkan yatağın performansının nasıl olduğunu tespit etmişlerdir.

Grabowski ve arkadaşları (1997) mayanın laboratuvar boyutlarındaki akışkan yatakta ve püskürtmeli yatakta kurutulmasını deneysel olarak incelemiştir. Püskürtmeli yatağın akışkan yatağa göre %25 daha fazla havaya ihtiyacı olduğunu belirlemişlerdir. Aynı zamanda akışkanlaşma, püskürtme davranışları, kurutma kinetiği ve hesaplamalar açısından püskürtmeli yatağın veya akışkan yatak ile püskürtmeli yatak kombinasyonunun yalnız akışkan yaktan daha iyi olduğunu tespit etmişlerdir.

Chua ve Chou (2005), iki kademeli ısı pompalı kurutma sistemini deneysel olarak incelemişlerdir. Yapılan incelemede, tek kademeli sisteme göre bu sistemde % 35'den daha fazla ısı çekildiğini belirtilmiş. Araştırmacılar sistemde, yüksek ve düşük basınçlı dış evaporatörleri, kurutma havasını soğutma ve kurutma havasından nem çekme amaçlı olarak kullanmıştır.

Oktaý (1997), ısı pompası destekli bir kurutucunun performansına etkiyen etkenleri araştırmıştır. Evaporatör etrafındaki by-pass havasının sistemin performansını %20 oranında iyileştirebileceği, bu iyileşmenin artan hava debisi ile artacağı, egzoz havasının %10 azaltılması ile özgül nem çekme oranının (SMER) %15 ve ürün geçişinin %50 oranında iyileşebileceği belirtilmiştir. Fakat bu iyileşmenin soğutmanın yüksek çalışma sıcaklığı ile sınırlı olduğunu belirtilmiştir.

## **2.2 Kurutma**

Su biyolojik materyalin en önemli bileşenidir. Çoğu hasat sonrası işlemlerde ilk aşama suyun uzaklaştırılmasıdır. Kurutma, ürünün; enzimatik ve mikrobiyel aktivitelere korumak ve raf ömrünü uzatmak amacıyla nem miktarını azaltmak olarak tanımlanır.

Bir katı kururken, iki süreç oluşur: Sıvıyı buharlaştırmak için gerekli olan ısı transferi ve buhar ya da iç sıvı kütlesinin transferi. Her bir işlemin oranını belirleyen faktörler kurutma hızını da belirler. Ticari kurutma işleminin en temel amacı, işlem için gerekli ısıyı verimli bir şekilde sağlamaktır. Isı transferi iletim, taşınım, ışınım veya üçünün birleşimi şeklinde gerçekteşebilir. Endüstriyel kurutucu tipleri, katıya olan ısı transferi yöntemlerine bağlı olarak değişir. Genelde ısı, önce katının dış yüzeyine sonra da katının içine doğru hareket eder. Bu durumun tersi yüksek frekanslı elektrik akımları aracılığı ile oluşur. Bu durumda iç bölgedeki sıcaklık dış yüzeyden daha yüksektir ve ısı akışı içeriden dışarıya doğru oluşur. Gıda maddelerinin kurutma işleminin uygulanmasının pek çok amacı vardır. (Evranoz ve Çataltaş, 1989; Anonymous, 1992; Teymur, 1999'den). Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Ürünün nemini, mikrobiyel gelişme veya diğer aksiyonları sınırlayacak seviyeye düşürerek, uzun süreli depolamalarda, ürünün bozulmasını önlemek,
- Nem miktarının düşürölmesiyle, hoş koku ve besin değeri gibi kalite özelliklerinin korunmasını sağlamak,

- Ürün hacminin azaltarak, gıda maddesinin önemli bileşenlerinin taşınmasında ve depolanmasında verimliliği artırmak,
- Kullanımı kolay ürün geliştirmek veya üretmek,

### **2.2.1 Kurutmaya Etki Eden Faktörler**

Kurutmaya etki eden 4 temel husus vardır. Bunlar hava hızı, sıcaklık, kurutma ortamı basıncı ve ortamın bağıl nemidir. Bu tez çalışmasında 4 temel unsurun kurutmaya olan etkisi araştırılacak ve her bir etkenin en uygun değerleri belirlenip en uygun sistemin tasarımı yapılacaktır.

Basınç, kurutmaya etki eden en büyük etmenlerden biridir. Basıncın normal koşulların altında olması kuruma hızını arttırmaktadır. Basıncı vakum kompresörü max 80 mbar değere kadar düşürülerek deney düzeneğinde vakumun etkisi araştırılmıştır. Vakum ile kurutma sistemlerinde en büyük problemlerden biri kuruma yüzey alanının artırmanın zor ve maliyetli olmasıdır. Bunun nedeni hava vakum altında az yoğun olmasından kaynaklı hava akımının çok daha zor gerçekleşmesi nedeniyle su buharının ortamdan uzaklaştırılması daha zor olmaktadır. Vakum ile kurutma genel olarak sanayide kâğıt, dokuma gibi sektörlerde kısmen de olsa kullanılmaktadır.

Kurutma işlemi üründe bazı değişikliklere nedeni olabilir. Bunlar;

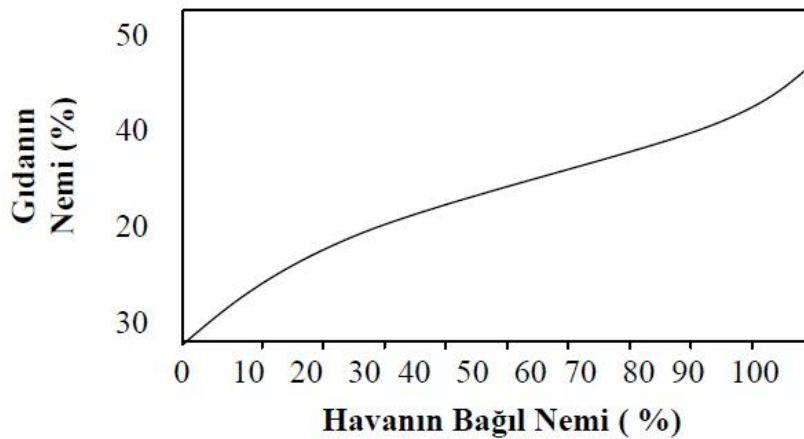
- Mikrobiyel değişimi ve böcek popülasyonu,
- Enzimatik reaksiyonlar,
- Kimyasal reaksiyonlar,
- Fiziksel ve yapısal değişiklikler (aroma, renk ve tat değişimi ile hacimsel değişiklikler).

Geri çevrim oranı kurutma havasının nemliliğini etkilemektedir. Kurutucu içinde ki havanın nemliliği, kurutulacak üründen alınacak nemi uzaklaştırabilmesi gerekmektedir.

Kullanılan kurutma havasının maksimum nem alma kapasitesi havanın yas termometre sıcaklığındaki doyma özgül nemi ile kurutma havası özgül nemi arasındaki fark kadardır. (kg nem/ kg kuru hava). Gerçek nem alma miktarı ısı ve kütle transferi hızları ile çözümlenmekte olup, her zaman maksimum ulaşılabilir nem alma hızından daha az değerlerdedir (Özbalta 1997).

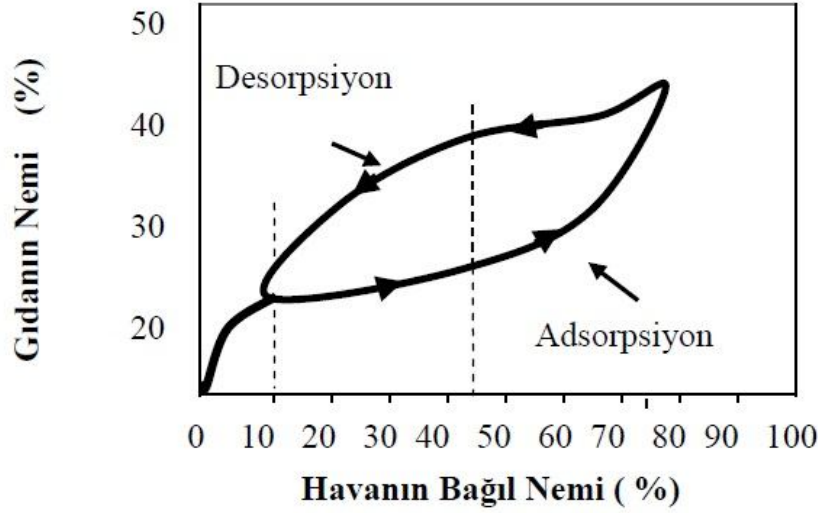
### 2.2.2 Sorpsiyon İzotermi

Bir kap içindeki su buharlaştırılarak kendisini çevreleyen atmosferle dengeye geldiği gibi, herhangi bir nemli madde de aynı davranışı göstererek, bulunduğu sıcaklıkta kendisini çevreleyen atmosferle nem açısından bir dengeye ulaşır. Belli bir sıcaklık derecesinde, farklı bağıl nem içeren koşullarda tutularak dengeye erişmiş bir gıdanın nem içeriği ile çevre havanın bağıl nemi arasındaki ilişkiyi gösteren grafiklere sorpsiyon izoterm eğrileri adı verilir. Her gıdanın belli koşullarda ulaştığı denge nemi değerini belirlemek üzere; gıda maddesi, bağıl nemi sabit kalabilen kavanozlarda belli sıcaklıkta dengeye ulaşana kadar tutulur. Bağıl nemi sabit kalabilen kavanoz içine değişik tuz çözeltileri koyulur. Böylece, içindeki atmosferin bağıl neminin sabit kaldığı kavanozlara gıda maddesi yerleştirilip, istenen sıcaklıktaki sorpsiyon izotermi elde edilmiş olur (Özbalta 1997).



Şekil 2.1 Tipik bir ürün için sorpsiyon izotermi

Tarımsal gıdaların ortalama nem miktarı ve bağıl nem Şekil 2,1’de bulunan grafikte görülmektedir. Burada içerisinde %40 nem bulunduran ürün ortam havasının da nemi %90 ise daha fazla kurumayacaktır. Ürün ortam ile bir nem dengesi kurmuştur.



**Şekil 2.2** Tipik bir ürün için adsorpsiyon ve izotermi örneği

Aslında gıda maddesinin nem alması ( adsorpsiyon ) ile nem vermesi ( desorpsiyon) olayları aynı yolu izleyeceği için her iki eğrinin elde edilmesiyle sorpsiyon izotermi çizilmiş olur. Böyle bir sorpsiyon izotermi Şekil2.2’de gösterilmektedir. Desorpsiyon izotermi, kurutma sonunda denge neminin belirlenmesinde, adsorpsiyon izotermi kurutulmuş ürünlerin higroskopik nitelikleri ile depolama koşullarının belirlenmesinde kullanılır. (Özbalta 1997)

### 2.2.3 Kurutma Süreçlerinin Kontrolü

Kurutma süreçleri, genellikle ürünleri daha kısa sürede kurutabilmek için yüksek enerji maliyetleri ile karşımıza çıkmaktadır. Ancak yüksek sıcaklıklarda özellikle biyolojik

ürünlerin kurutulmasında ürün kalitesi düşmektedir. Kurutma sürecinin enerji maliyetini minimize etmek, ürün kalitesini istenen seviyede tutmaya çalışmak ve arzu edilen nem kesri değerine en kısa sürede ulaşabilmek için öncelikle bir optimizasyon probleminin tanımlanması gerekmektedir.

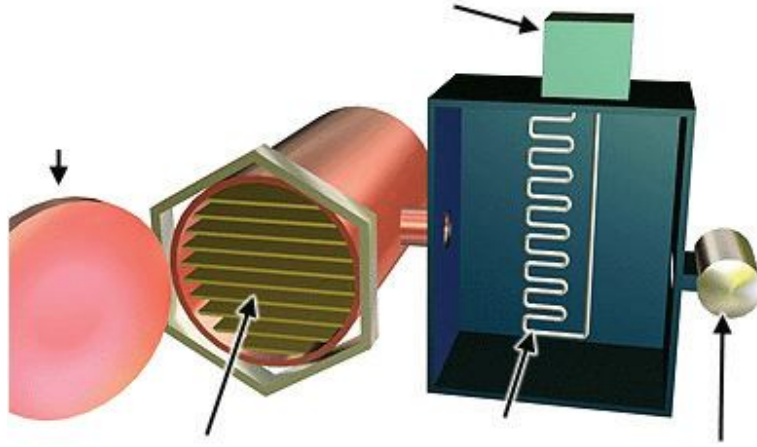
Gıda endüstrisindeki biyolojik ürünlerin kurutma süreçlerinde ulaşılması gereken birçok hedef sıralamak mümkündür:

- Makinelerin üretim verimini arttırmak,
- Ürün kayıplarını azaltmak,
- Ürün kalitesinin belirli bir çerçeve etrafında koruyabilmek (renk, tat, koku, yumuşaklık v.s.),
- Sürecin ve makinelerin esnekliğini arttırmak,
- Biyolojik ürünlere doğal değişkenliklerinin etkilerinin azaltmak,
- Biyolojik ürünlerin doğal bozulma etkilerini azaltmak,
- Üretim ve sürecin sağlığa uygunluğunu arttırmak,

## **2.3 Sanayide Kullanılan Gıda Kurutma Sistemleri**

### **2.3.1 Dondurarak kurutma**

Bu yöntem basıncın üçte bire indiği bir kurutma çemberine yerleştirilmiş malzemeden soğutulmuş veya dondurulmuş nemin arıtılması esasına dayanır. Gerekli ısı değeri genellikle ısıtıcı tabla veya plakalardan iletilmesi ile sağlanır (Strumillo and Kudra 1986, Mujumdar ve diğ.1980).



**Şekil 2.3** Dondurarak kurutma

Şoklama ile kurutma, eczacılık ürünleri, serumlar, bakteri ve virüs kültürleri, aşılar, meyve suları, kahve ve çay esansları, sebzeler, deniz ürünleri, etler ve süt için kullanılır. Şekil 2.3’de görüldüğü gibi malzeme önce dondurulur, sonra düşük sıcaklıklı bir yoğuşturucu veya kimyasal kurutucuya bağlı yüksek vakum odasına yerleştirilir. Donmuş malzemeye ısı, kızılötesi ışınlama ile iletilir, uçucu madde (genelde su) gaz haline gelir, yoğuşur veya kimyasal kurutucu ile soğutulur. Birçok dondurucu kurutma işlemi, düşük basınçlar altında 40 ile -10°C sıcaklık aralığında gerçekleşir. Bu işlem pahalı ve yavaş olmasına rağmen, ısıya duyarlı malzemeler için oldukça uygundur.

### **2.3.2 Akışkan Yataklı Kurutma**

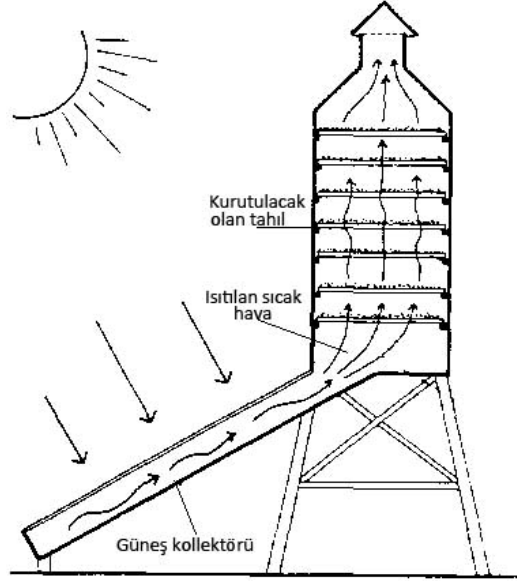
Akışkan yataklı sistemlerde ürün hava hızıyla birlikte kurutulmaktadır. Bu tür sistemler daha çok taneli ürünlerin kurutulmasında kullanılmaktadır. Ayrı tanecikler ve kurutma havası arasındaki ısı transferi, tozlu veya tanecikli madde ile akışkan gaz arasında yakın temas olduğu için oldukça iyidir. Bu temas, hassas malzemelerin yüksek sıcaklık farklarından etkilenmeden kurutulmasını sağlar. Kurutulan malzeme, geleneksel

sistemlerden farklı olarak tepsi ve diğer ısı alışveriş yüzeylerine serilmeden serbest olarak akar. Otomatik doldurma veya boşaltma mümkündür, fakat en büyük avantajı azaltılmış işlem süresidir. Aşırı hava miktarı, gaz sıcaklığı ve malzeme kuruma süresi gibi bazı basit kontroller yapılmalıdır. Bütün akışkan yataklı kurutucular patlama-çıkış kapaklarına sahip olmalıdır. Patlama basınç ve alevleri tehlikelidir. Toksik malzeme kullanıldığında, kullanılan gazın atmosfere kontrolsüz olarak verilmesi önlenmelidir.

Basınç hareketli amonyak fosfat söndürücüler gibi, patlama bastırıcı sistemler kullanılabilir. Patlayıcı karışımların oluşmasını önlemek için kurutucu iç atmosferi hazırlanabilir. Organik ve parlamayan karışımlar kullanıldığı takdirde, kapalı sistemlerin birçok avantajı vardır. Akışkan gazın bir kısmı, devamlı olarak yoğunlaştırıcıdan geçirilir ve böylece hava kirliliği sorunları azaltılıp, bir miktar malzemenin sisteme geri kazanılması sağlanır. Akışkan yataklı sistemlerde kurutulan malzemelere örnek olarak kömür, kireç taşı, çimento, kabuklar, dökümhane kumu, fosfat kayası, plastik tıbbi malzeme ve yiyecekler verilebilir. (Günerkan 2005)

### **2.3.3 Güneş enerjili kurutucu**

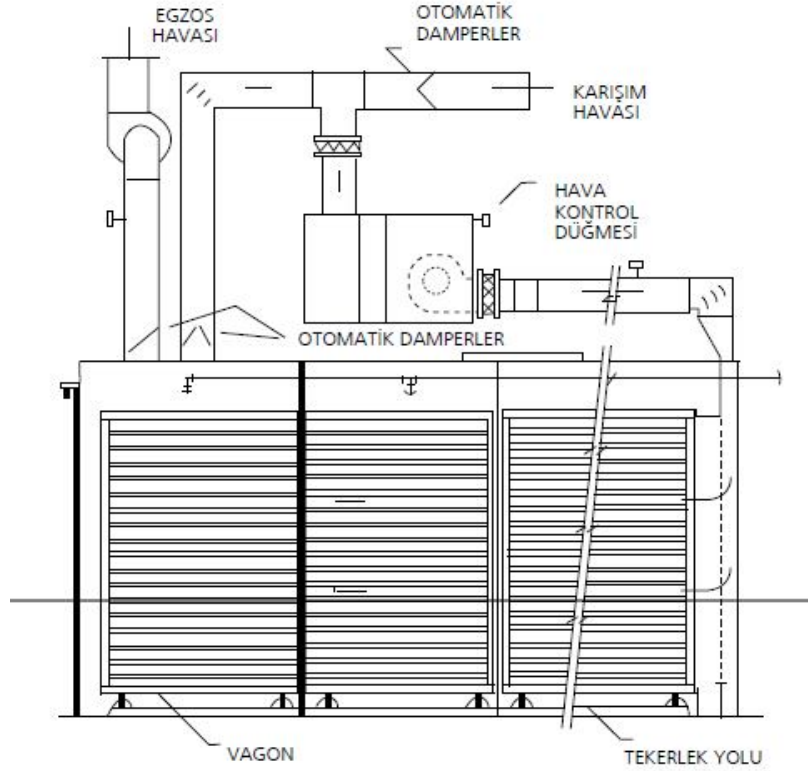
Güneş enerjili kurutucular, güneş enerjisinden ısı enerjisi elde ederek kurutma işlemi gerçekleştirilmektedir. Şekil 2.4’de görüldüğü gibi hava güneş kolektöründe ısıtılarak bir fan yardımıyla kurutma işlemi gerçekleştirilir. Ekonomik bir sistem olup kurutma hızı diğer sistemlere göre azdır.



**Şekil 2.4** Güneş tipi kurutucu

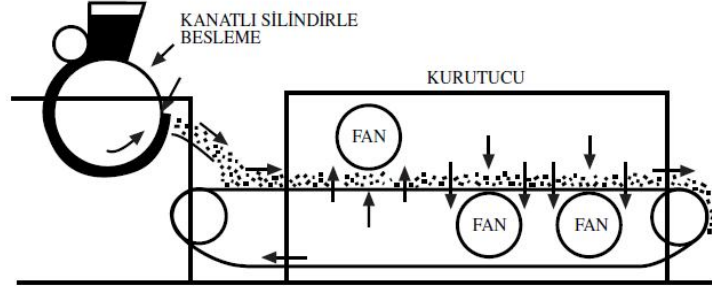
#### 2.3.4 Tünel Kurutucular

Tünel kurutucular, sürekli veya yarı-sürekli çalışan bölmeli kurutuculardır. Isıtılmış hava veya yanma gazları fanlar yardımıyla dolaştırılır. Malzeme, kurutucuda sürekli veya periyodik olarak tepsiler, arabalar veya bölmeler içerisinde hareket ettirilir. Hava akışı paralel, çapraz şeklinde hareket edebilir. Kurutma ünitesi Şekil 2.5 'de görülmektedir. Hava tepsi yüzeyi boyunca, dikey olarak yatak boyunca veya herhangi bir doğrultuda akmaktadır. Kurutucudaki havanın tekrar ısıtılması veya dolaştırılması, hava egzoz edilmeden yüksek bir karışım kalitesine ulaşılmasını ve duyulur ısı kaybının azaltılmasını sağlar. Tünel kurutucularda gözlenen bazı sorunlar aşağıda verildiği gibidir (Günerkan 2005):



Şekil 2.5 Tünel tipi kurutucu.

- İşletmenler, çıkan malzeme miktarını arttırmak için tepsileri aşırı yükleyebilir, bu da sistemin aşırı yüklenmesine ve kuruma zamanının uzamasına neden olabilir.
- Bazen, kurutma tünelindeki hava üretim alanına boşaltılabilir ve bu işlemde malzeme nemliliğini artırır. Kurutma tünelindeki hava tekrar sisteme verilmeli veya dışarı atılmalıdır.
- Ürün tepsilerinin aşırı yüklenmesi basınç düşüşüne neden olur, bu işlemde tünel kurutucunun akış hızını düşürür. Kontrol paneli, tüneldeki en uygun akış hızını belirtmelidir. Hızlı ve yavaş akış ile yüksek nem oranlarında sesli uyarı sistemi devreye girmelidir.
- Döngü zamanı karşı-akışlı kurutucu tasarımı ile paralel akışlı sisteme göre daha da azaltılabilir.



**Şekil 2.6** Bantlı tünel tipi kurutucu örneği.

Tünel kurutucunun bir diğer tipi Şekil 2.6' de görülmektedir. Malzemeyi taşıyan bir veya birden çok konveyörün olduğu sürekli kurutucudur. Sıcaklık, nem, hava yönü ve hava hızının çeşitli bileşimleri mümkündür. Sistem giriş ve çıkışındaki sıcak hava sızıntıları, eğik çıkışlar ve kanallar ile azaltılabilir.

### 2.3.5 Mikrodalga ile Kurutma

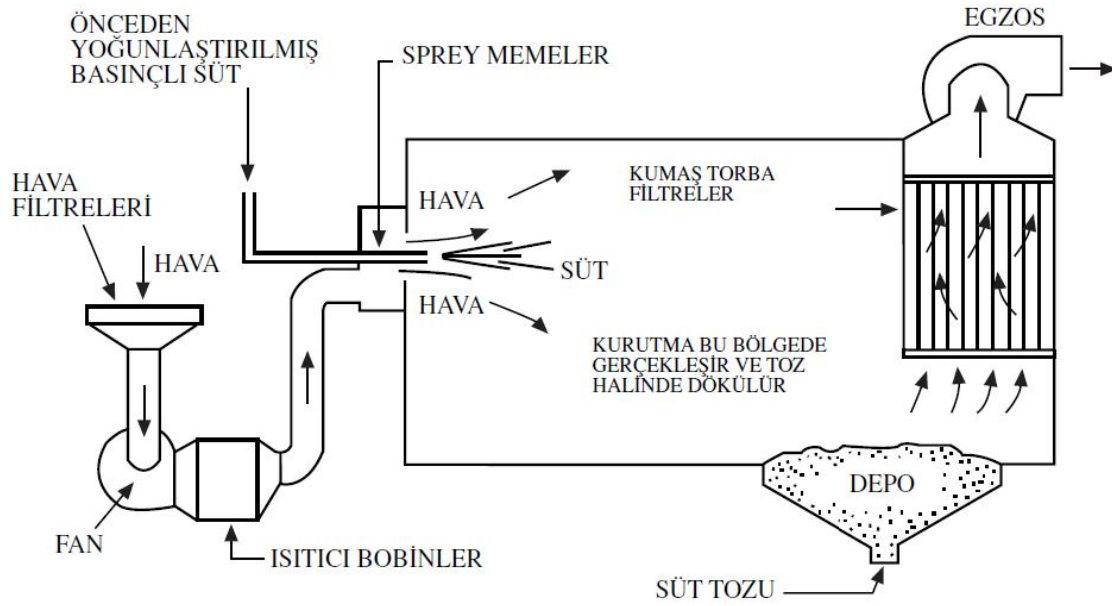
Mikrodalga ile kurutmada ürün kalitesi, renk, koku, tat gibi yapısal değişikliklerin korunmasında etkili bir kurutma metodudur. Diğer sistemlere göre daha ekonomiktir. Sanayi de genellikle vakum ile birlikte kullanılarak yapılan kurutmalarda, diğer sistemlere göre daha kısa sürede kurutma yapılabilir.

Mikrodalga tasarımlarının canlılar üzerindeki olumsuz etkilerinin düşünülmesi ve güvenlik önlemlerinin alınması gerekliliğinden maliyetler yüksek olmaktadır. Bununla birlikte ülkemizde fazla bilinen ve kullanılan bir teknoloji olmadığından mikrodalga ekipmanlarının yurt dışından getirilme zorunluluğu bulunmaktadır. Ayrıca tasarımlar sırasında gerekli ölçüm ve hesaplamaların yapılması, test cihazlarının alımı, kurulumu ve mühendislik hizmet bedelinin yüksek olması, mikrodalga konusunda çalışma yapan

kuruluşları oldukça zorlamakta dolayısıyla ürünlerin maliyetlerini yüksek oranlarda etkilemektedir. (Çakı 2006)

### 2.3.6 Sprey (Püskürtmeli) Kurutucular

Sprey kurutucular, süttozu, kahve, sabun ve deterjan üretiminde kullanılmaktadır. Çünkü kurutulmuş malzeme damlacık veya tanecik yapısı olarak aynı yapıdadır ve kuruma süresi oldukça kısadır. Bir sıvı veya bulamaç kurutulduğunda, sprej kurutucular yüksek üretim miktarlarında çalışabilir. Sprej, iki akışkanlı meme, yüksek basıncı meme veya dönen disk şeklinde olabilir. Gaz sıcaklığı 93-760°C arasında değişirken, yüksek sıcaklıklar için özel yapı malzemeleri kullanılır. Gaz sıcaklığı yükseldikçe ısı verim artar, bu nedenle yüksek sıcaklıklar tercih edilir. Sıcaklığa duyarlı ürünler bile düşük kuruma zamanı sayesinde kurutulabilir (Günerkan 2005).



Şekil 2.7 Sprej kurutucu örneği.

Sıcak gaz, dökülen malzeme damlacıklarıyla aynı yönde veya ters yönde sisteme verilebilir. Kuruyan malzeme yerçekimi etkisiyle dökülmektedir. Egzoz havası içerisindeki malzeme parçacıkları, siklon ayırıcılar veya torba filtreler yardımıyla toplanır. Şekil 2.7’de tipik bir sprey kurutucu sistemi verilmiştir.

Kurutulan malzemenin fiziksel özellikleri (örneğin parça boyutu, yığın yoğunluğu ve toz içeriği) püskürtme karakteristiği, kurutucu gazın sıcaklık ve akış yönüyle değişebilir. Ürünün son nem içeriği, egzoz gazı akımının sıcaklık ve nemliliği ile kontrol edilebilir. Tasarım için, pilot tesis veya gerçek üretim verileri elde edilmelidir. Kurutma odası tasarımı, meme sprey karakteristiği ve ısı ve kütle transfer oranlarıyla elde edilir. Parça çapı, kuruma zamanı, kurutma odası hacmi, giriş ve çıkış gaz sıcaklıklarını veren deneysel eşitlikler vardır.

## **2.4 Kurutucu Seçimi**

Kurutma işleminin gerek ürün kalitesi ve gerekse sistemin karlılığı açılarından başarısı, uygun bir kurutucunun seçilmesine bağlıdır. Her türlü kurutma işlemine uygun çok amaçlı bir kurutucu tipinin olmaması nedeniyle, ilk adım olarak, kurutma yöntemi ve kurutucunun doğru seçimine önem vermek gerekmektedir.

Yapılmak istenen kurutma için uygun kurutucu seçimi, birçok etkenin dikkate alınmasını gerektiren karmaşık bir işlemdir. Kurutulacak malzemenin özellikleri, ısıtıcı tipi, enerji kaynağı, kurutma havası ile malzeme arasındaki hidrodinamik koşullar özellikle ele alınmalıdır. Seçim sırasında teknolojik gereksinimler, ekonomik çalışma ve elde edilen kuru ürünün kalitesi de önemli kriterler olarak ele alınmalıdır.

Kurutma yöntemleri ve kurutucular seçimli olarak belirlendikten sonra kesin seçim için aşağıda verilen unsurlar dikkate alınmalıdır:

- Yıllık kurutulacak ürün miktarı,
- Tesisin kuruluş maliyeti,
- Tesisin işletme masrafları,
- İşlem sırasında malzemenin verilecek fire miktarı,
- Emniyetli çalışma,
- Kurumuş ürünün kalitesinin uygunluğu,
- Kurumuş ürünün dış görünüşünün isteğe uygunluğu,
- Kurutucunun çeşitli kapasitelerde çalıştırılabilme esnekliği,
- Çevre kirliliğine etkisi olup olmadığı,
- Çalışma sırasında etkin kontrollerin yapılmasına olanak vermesi,
- Tamir ve bakım kolaylığı,

Kurutucu seçiminde ilk hareket noktası malzemenin özelliklerinin belirlenmesidir. Kurutulacak malzemenin statik ve kinetik kuruma özellikleri ve kurumuş üründen beklenen şekil ve dış görünüm özellikleri öncelikle belirlenmelidir. Malzemenin statik ve kinematik kuruma özellikleri, soğurma ve yüze çekme (adsorption) eşsıcaklıkları ile kritik nem, denge nemi, kurutma sıcaklığı, kuruma hızı gibi parametrelerin belirlenmesi için bilinmesi gereken önemli unsurlardır.

### 3. MATERYAL ve METOT

Kurutma işlemi sıcaklık ve basınç ile doğru orantılıdır. Basınç 1atm'in altına düştüğünde düşük bir sıcaklıkta daha hızlı bir kurutma işlemi gerçekleştirilebilir. 1 atm basıncın üzerinde ise suyun kaynama noktasının yükseldiği gibi buharlaşma hızı da azalmaktadır.

**Çizelge 3.1** Farklı basınç değerlerinde suyun kaynama noktaları.

| P/mbar | T/ °C | P/mbar | T/ °C | P/mbar  | T/C    |
|--------|-------|--------|-------|---------|--------|
| 50     | 32.88 | 915    | 97.17 | 1013.25 | 104.81 |
| 100    | 45.82 | 920    | 97.37 | 1015    | 105.99 |
| 150    | 53.98 | 925    | 97.47 | 1020    | 107.17 |
| 200    | 60.07 | 930    | 97.62 | 1025    | 108.25 |
| 250    | 64.98 | 935    | 97.76 | 1030    | 109.32 |
| 300    | 69.11 | 940    | 97.91 | 1035    | 110.36 |
| 350    | 72.70 | 945    | 98.06 | 1040    | 111.38 |
| 400    | 75.88 | 950    | 98.21 | 1045    | 112.37 |
| 450    | 78.74 | 955    | 98.35 | 1050    | 113.33 |
| 500    | 81.34 | 960    | 98.50 | 1055    | 114.26 |
| 550    | 83.73 | 965    | 98.64 | 1060    | 115.18 |
| 600    | 85.95 | 970    | 98.78 | 1065    | 116.07 |
| 650    | 88.02 | 975    | 98.93 | 1070    | 116.94 |
| 700    | 89.96 | 980    | 99.07 | 1075    | 117.79 |
| 750    | 91.78 | 985    | 99.21 | 1080    | 118.63 |
| 800    | 93.51 | 990    | 99.35 | 1085    | 119.44 |
| 850    | 95.15 | 995    | 99.49 | 1090    | 120.24 |
| 900    | 96.71 | 1000   | 99.63 | 1095    | 121.02 |
| 905    | 96.87 | 1005   | 99.77 | 1100    | 121.79 |
| 910    | 97.02 | 1010   | 99.91 | 1150    | 122.54 |

Suyun kaynama noktası basıncın düşmesi ile azalmaktadır. Çizelge 3.1' de görülen tabloda 50 mbar basınç altında su 32.88 °C kaynamaktayken 1010 mbar basınç altında ise yani normal koşullarda su 100 °C'de kaynamaktadır. Suyun kaynama noktasının düşmesi kurumaya çok büyük etkisinin olacağı düşünülmektedir.

Ortalama olarak 60-70 °C gıdaların yanması ya da pişmemesi için bir sınır değeridir. Bu sınır sıcaklık değeri basınç ile bir bağlantısının olmadığı düşünülürse düşük basınç altında buharlaşma sıcaklığı daha düşük olacağından kuruma da daha hızlı olması düşünülmektedir. Aynı zamanda kuruma işlemi yapılacak olan gıdanın yüzey alanı ile doğru orantılıdır. Hava hızı materyal yüzeyindeki nemi alıp uzaklaştıracağı için madde içinden yüzeye nem difüzyonu artar ve dolaylı olarak kuruma hızı da artar.

Düşük basınç altında kurutma çalışmalarında 3 farklı deney düzeneği hazırlanmıştır bunlar;

- Tünel tipi vakumlu akışkan kurutucu
- Vakum altında hava çevrimli termodinamik kurutucu
- Tünel tipi kurutucu

Tünel tipi vakumlu akışkan kurutucu prototip deney düzeneğinde vakumlu bir ortam oluşturulup daha sonra ısı verilip çekirdekler kurutma işlemine tabi tutulmuştur. 3 farklı deney koşulları hazırlanmış ve kuruma süreleri, ortalama sıcaklık, basınç ve nem değerleri kaydedilmiştir.

Vakum altında hava çevrimli termodinamik kurutucu tamamen kapalı bir ortam olup, nem sıcak hava ile taşınıp daha sonra su buharını tekrar soğutarak yoğunlaşma sağlanmış böylece ortamın bağıl nem oranı düşürülmeye çalışılmıştır. Bu deney düzeneğinde iki farklı basınç altında sabit sıcaklık koşulları oluşturulmuş kuruma süreleri, ortalama sıcaklık ve nem değerleri kaydedilmiştir.

Tünel tipi kurutucu sistemi en çok kullanılan kurutma sistemlerinden biridir. Bu sistemde 800 mbar basınç altında 10 m/s hava hızı ile nem ya da su buharı, sıcak hava ile ürünlerden uzaklaştırılmaya çalışılmıştır.

### **3.1 Ürün Yapısal Özellikleri**

Gıdalarda genel olarak pişme sınır sıcaklığı 70°C'nin üzerine çıkmamaktadır. Kabak çekirdeği kurutulması esnasında sıcaklığı 60°C olarak alınmıştır. Yapılan deney çalışmalarında kabak çekirdekleri kurutma işlemi bittikten sonra, pişme kontrolü yapılması amacıyla çimlenmeye bırakılmıştır. Çimlenme 10-16 gün içerisinde gerçekleşmektedir. Deney düzeneklerinde sıcaklık kontrol noktaları dışında ısı artışı meydana gelebilir. Sıcaklık değerleri ürünlerin pişme sıcaklıklarının kritik noktalarında olmasından dolayı, kontrol amacıyla çimlenme yapılmıştır. Ürünler çimlenmesi hücrelerinin hala canlı olduğunu bu da kurutmanın başarılı bir şekilde gerçekleştiğinin bir sonucudur. Çiftçinin kullanmakta olduğu kurutma makinelerinden tünel tipi ve karıştırmalı kurutucu gibi sistemlerde bu deney yapılmış ve ürünlerde pişme olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle kurutucu sistemlerinde mazot benzin ya da doğal gaz ile ısıtılmasından dolayı sıcaklık kontrolü düzenli bir şekilde yapılamamaktadır.

Kabak çekirdeği yaş üründe 0.67 kg[H<sub>2</sub>O]/kg [KM] kuru madde miktarına göre su vardır. Ürün kurutulduktan sonraki su miktarı ise 0,04 kg[H<sub>2</sub>O]/kg [KM] miktarı kadardır.(K.Sacilik. 2007) Hasatın kalitesine göre yaş üründeki su miktarı artabilir ya da azalabilir. Yapılan çalışmalarda kabak çekirdeklerinin yaş üründen %40 oranında su uzaklaştırılarak %4 nem oranına kadar kurutulmuştur.

### 3.2 Materyal

Bu tez çalışmasında üç farklı test düzeneği hazırlanmıştır. Deney düzeneğinde kullanılan materyaller aşağıda belirtilmiştir.

**Çizelge 3.2** Deney düzeneğinde kullanılan materyaller.

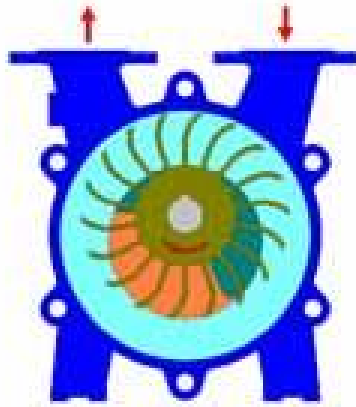
| Materyal        | Adet | Marka       | Model               |
|-----------------|------|-------------|---------------------|
| Vakum Pompası   | 1    | Gücüm Pompa | <b>GMVP 200/065</b> |
| Vakumetre       | 1    | Pekkans     | -                   |
| Isıölçer        | 1    | TT-TECNİC   | ET100B              |
| Soğutucu        | 1    | ARÇELİK     | -                   |
| Nem ve ısıölçer | 1    | TT-TECNİC   | TN970               |
| Çek Valf        | 1    | Pekkans     | DN40                |

Deney düzeneğinde kullanılan kompresörler ve kullanılan diğer materyallerin marka ve modeli Çizelge 3.2’de belirtilmiştir. Şekil 3.1’de görüldüğü gibi Gücüm pompa GMVP 200/065 model vakum kompresörü gıda kurutma sistemlerine uygun bir vakum kompresörüdür. 80 mbar basınç değerlerine kadar düşebilmesi, bu basınç değerlerinde 80m<sup>3</sup>/h hava emme kapasitesine sahip olmasından dolayı deney düzeneği için uygun bir vakum kompresörüdür.



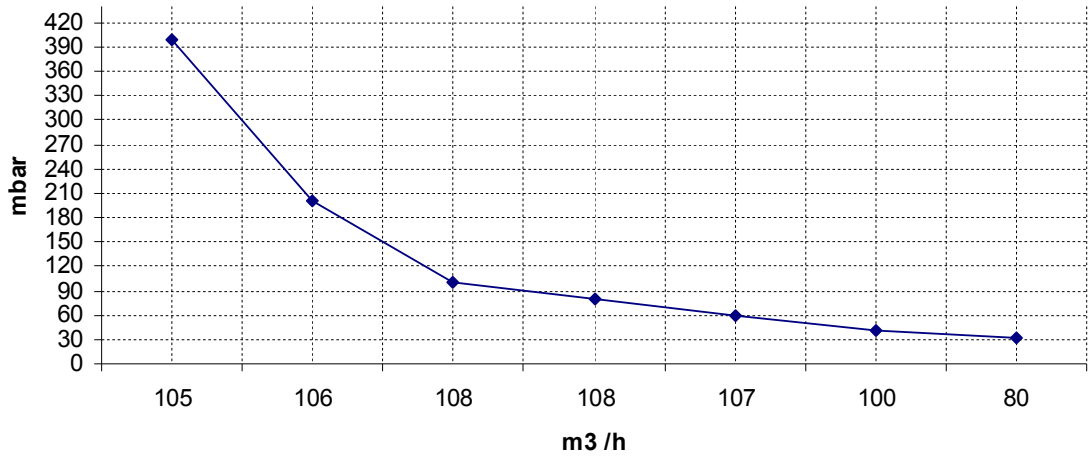
**Şekil 3.1** GMVP 200/065 Sıvı halkalı vakum kompresörü.

Sıvı halkalı vakum pompaları pozitif yer değiştirmeli pompalar sınıfındandır. Kanat boşluğunda genişleme ve daralma prensibinden yararlanarak, gazı döner bir sıvı halkası yardımıyla emerler ve tahliye ederler. Sıvı halkasının oluşumu için uygun bir sıvı (genellikle su) seçildiğinde hemen hemen her türden gaz ve buharın hareketi sağlanabilir. Sulu tip olan vakum kompresörü dakikada 13lt suyu devir dahim etmekte ve sıcaklığının 15 °C düşük olması gerekmektedir.



**Şekil 3.2** Sıvı halkalı vakum kompresörünün çalışma prensibi.

Gazın emilmesi işlemi dönen bir sıvı halkası yardımıyla olur. Şekil 3.2’de görüldüğü gibi fan ve mil gövdeye göre eksantrik olarak yerleştirilmiştir. Pompa çalıştığında fan, içerisindeki sıvıyı merkezkaç kuvvet etkisiyle gövde iç çeperlerine savurur ve bir sıvı halkası oluşturur. Oluşan sıvı halkasının ortasındaki bölümde fan kanatları arasındaki hacmin daralması ve genişlemesi vasıtasıyla emme ağzından emilen gaz, çıkış ağzından bir miktar sıvı ile birlikte tahliye edilir.



**Şekil 3.3** Sıvı halkalı vakum pompasının basınç - emiş diyagramı.

Vakum kompresörü maksimum 33 mbar’a kadar düşebilmektedir. Şekil3.3’de görülen grafikte 33 mbar basınç altında 80 m<sup>3</sup> /h hava emme kapasitesine sahip olduğu görülmektedir. Bu özelliği tünel tipi vakumlu akışkan kurutucuda ve vakum altında hava çevrimli termodinamik kurutucu deney düzeneklerinde kullanılmaktadır.



**Şekil 3.4** Baster marka CHBL-R serisi elektronik hassas terazi.

Kabak çekirdeklerinin her 15 dakikada bir yapılan ağırlık ölçümleri ve nem tayinindeki malzemelerin tartılmasında Baster marka model CHBL-R serisi 0.5 gr hassasiyete sahip Şekil 3.4’ de görülen terazi kullanılmıştır

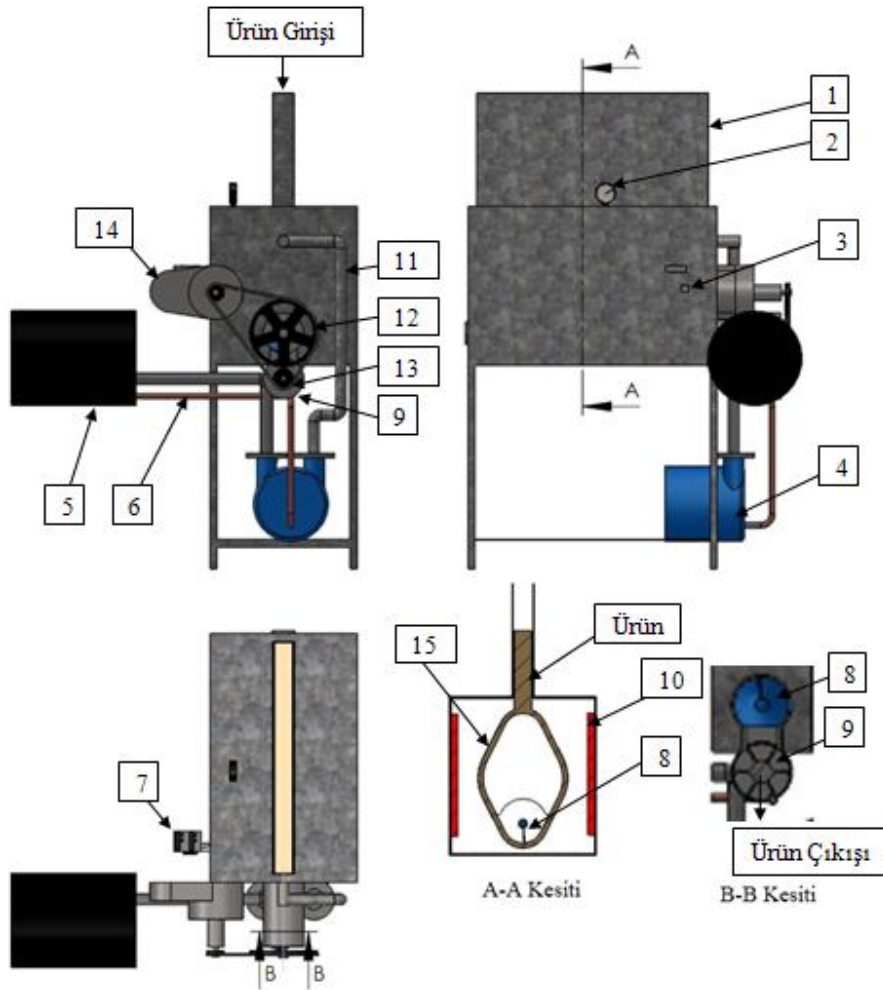
Isıtıcı ve nem ölçme sistemleri elektronik olup, hassas ve hızlı nem ölçme olanağı sağlamaktadır. Her bir deney düzeneğinde 3 noktadan sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Alınan değerlerin ortalaması sistemin sıcaklık değerini göstermektedir.

### **3.3 Tünel Tipi Vakumlu Akışkan Kurutucu**

Tünel tipi vakumlu akışkan kurutucu prototip deney düzeneği, ürün prototip içerisinde vakumlu bir ortamda yerçekimi etkisiyle akmakta helezon ve hava kilitleri yardımıyla devamlı olarak çalışmaktadır. Yapılan deney düzeneğinde hava akımı vakum kompresöründen elde edilmiştir. Max hava hızı 1m/s ve vakum değeri ise 80 mbar kadardır.

Elektrikli ısıtıcıların gücü 2000kWh olup deney düzeneği devamlı bir kurutma işlemi yapmaktadır. Ürün yerçekimi etkisiyle ve helezon yardımı ile sistemden çıkmaktadır.

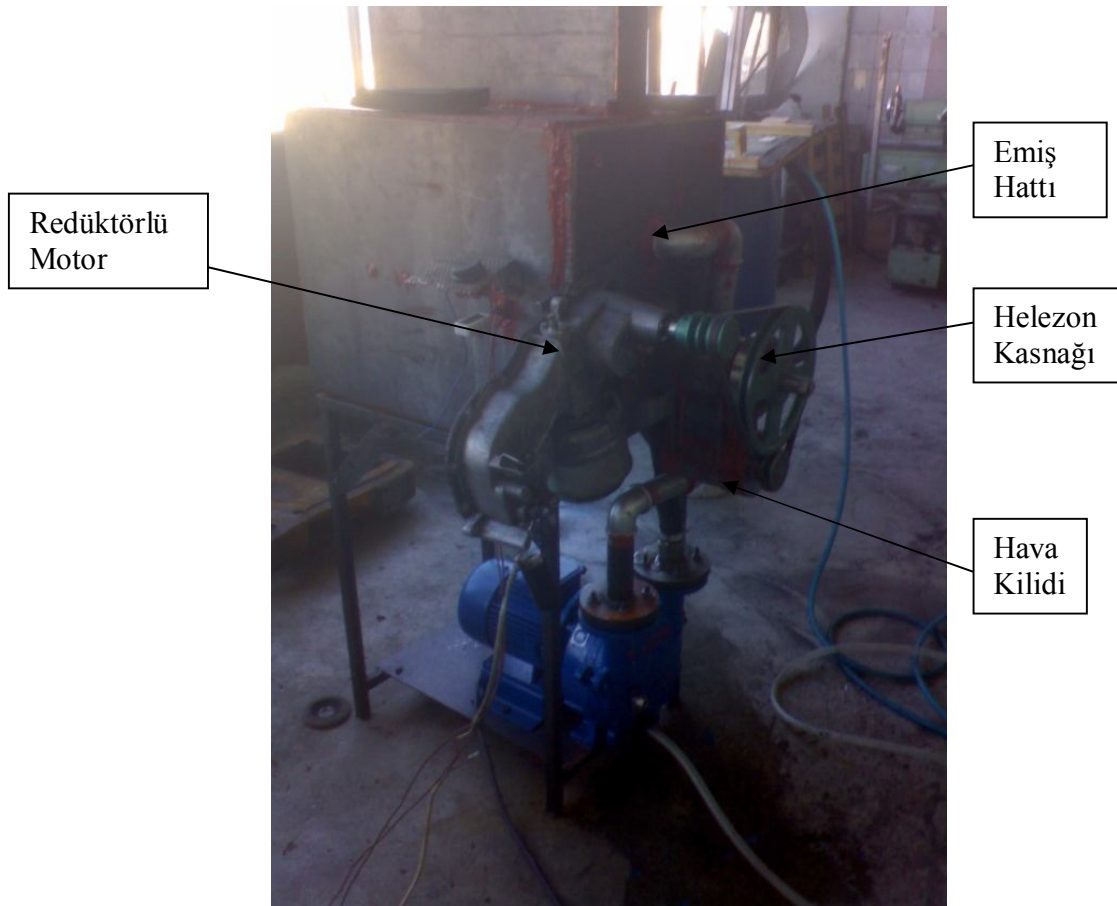
### 3.3.1 Tünel Tipi Vakumlu Akışkan Kurutucu Deney Düzeneğinin Tanıtılması



1-Gövde 2-Vakumetre 3-Termometre 4-Vakum kompresörü 5-Su deposu 6-Vakum kompresörü su hattı 7-Nem ve sıcaklık ölçer 8-Helezon 9-Hava kilidi 10-Isıtıcılar 11-Vakum Emiş Hattı 12-Helezon Hareket Kasnağı 13-Hava Kilidi Hareket Kasnağı 14-(1/24) Redüktör Oranlı Elektrik Motoru 15- İç gövde (delikli sac)

**Şekil 3.5** Tünel tipi vakumlu akışkan yataklı prototip kurutucu sistemi konsept tasarımı.

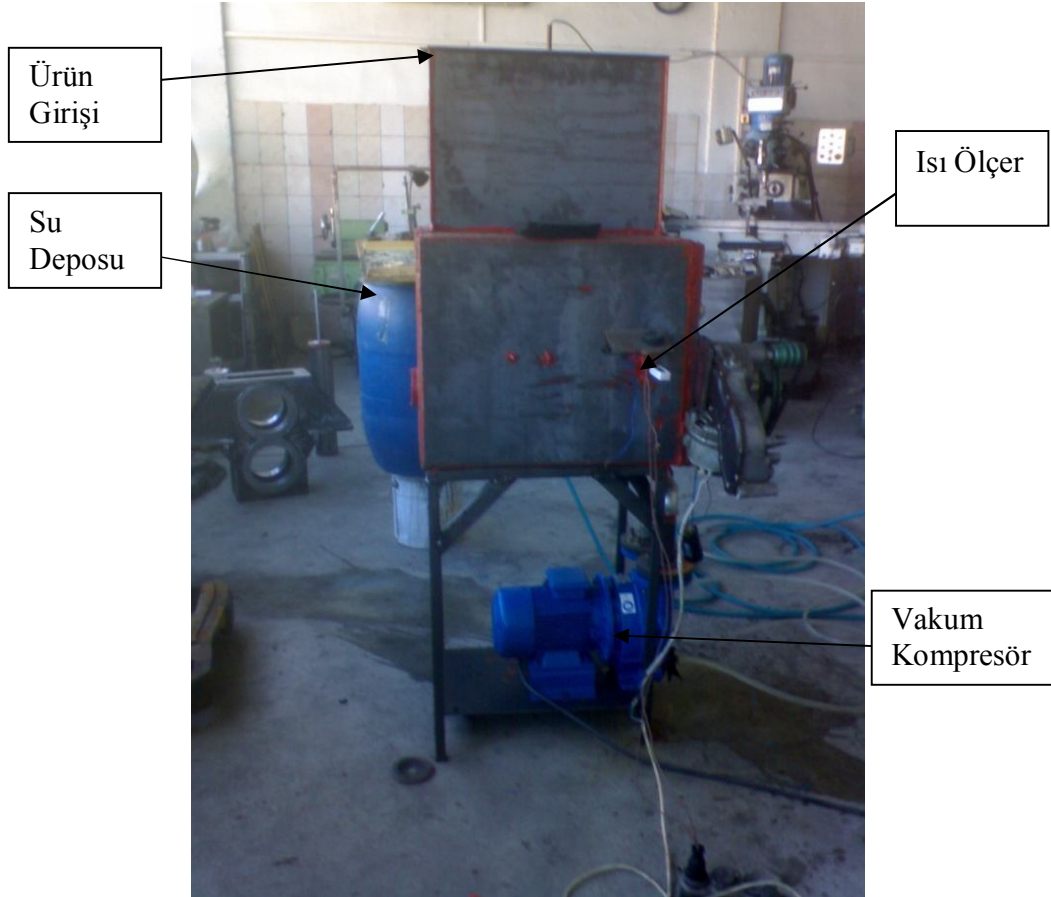
Deney yapılabilmesi için Şekil 3.5’de görüldüğü gibi bir deney sistemi tasarımı yapılmıştır. Sistemde ürün girişi yerçekiminin ve vakum etkisiyle helezon boşluğuna, helezon hava kilidine taşıyıp ürünü kurutucudan dışarıya devamlı olarak çıkarmaktadır. Ürünlerin basınçlı odadan geçen ikinci bir iç gövde tasarımı vardır. Şekil 3.5’de 15 numara ile gösterilen iç gövde delikli saçtan yapılmıştır. Vakum emiş hattı iç gövdenin ortasından emiş yapmaktadır.



**Şekil 3.6** Tünel tipi vakumlu akışkan kurutucu ürün çıkış sistemi

Şekil 3.6’ da görüldüğü gibi hava kilidi ürünleri çıkartırken aynı zamanda vakumlu olan ortama dışarıdan hava girmesini engellemektedir. Hava kilidi ve helezon hareketini

redüktörlü motordan almaktadır. Hava kilidi 20 dev/dak hız ile dönmekte, dakikada 18 kg ürünü dışarıya çıkartabilme kapasitesi vardır. Helezon 5 dev/dk hızla dönmektedir. Helezon mili honlanmış boru içerisinden geçip gövdeye rulmanlar ile yataklanmıştır.



**Şekil 3.7** Tünel tipi vakumlu akışkan kurutucu sistemi

Vakum kompresörü, su deposundan aldığı su yardımıyla vakumlama yapmaktadır. Şekil 3.7’de görülen su deposunda 200lt su vardır. Sistem max 80 mbar basınca kadar düşmektedir. Isıtıcılar elektrikli olup 1kWh enerji harcamaktadır.

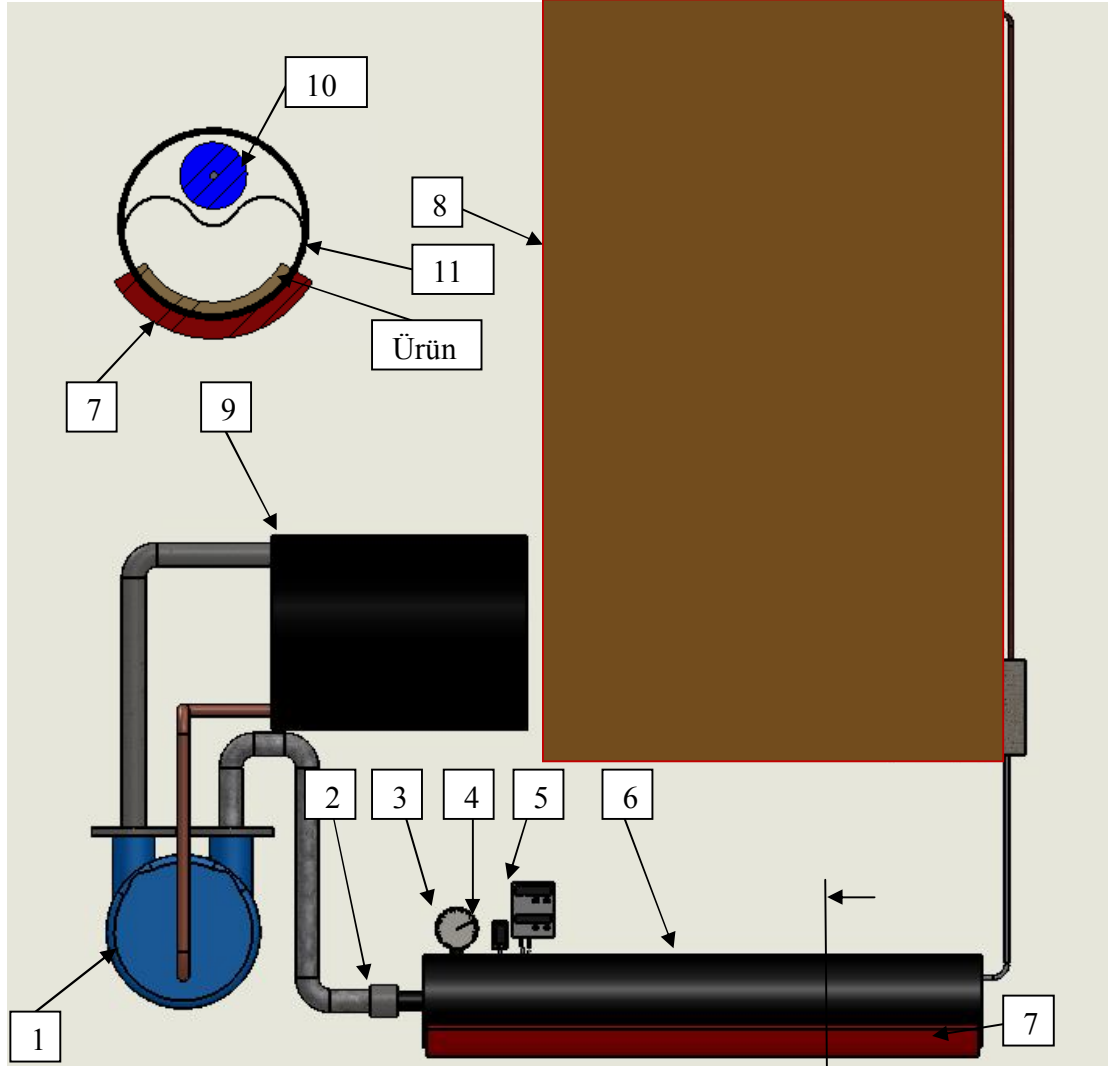
Gövde plakaları için ANSYS programı yardımıyla basınç analizi yapılmış ve 8mm et kalınlığında yapılması uygun görülmüştür. Deneye başlama anından 15 dk aralıklarla ortalama basınç nem sıcaklık ve ağırlık değerleri alınmıştır. Bu deney sisteminde 3 farklı deney yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

### **3.4 Vakum Altında Hava Çevrimli Termodinamik Kurutucu**

Tünel tipi vakumlu akışkan kurutucu deney çalışmasında 200 mbar basınç altında kurutma yapılmasının daha uygun olduğu gözlemlenmiştir. Bağıl nem oranının yüksek olması ve sıcaklık değerlerinin artırılmasında problemler yaşanmıştır. Daha net sonuçlar alabilmek için vakum altında hava çevrimli termodinamik deney düzeneği hazırlanmıştır.

Deney sisteminde sıcak soğuk havanın yer değiştirmesi ile bir hava akımı yaratılmıştır. Bu hava akımı nem taşımak için kullanılmış ve sıcak havanın nemini yoğunlaştırıp tekrar ısıtma işlemi yaparak havanın bağıl nemi azaltmaya çalışılmıştır.

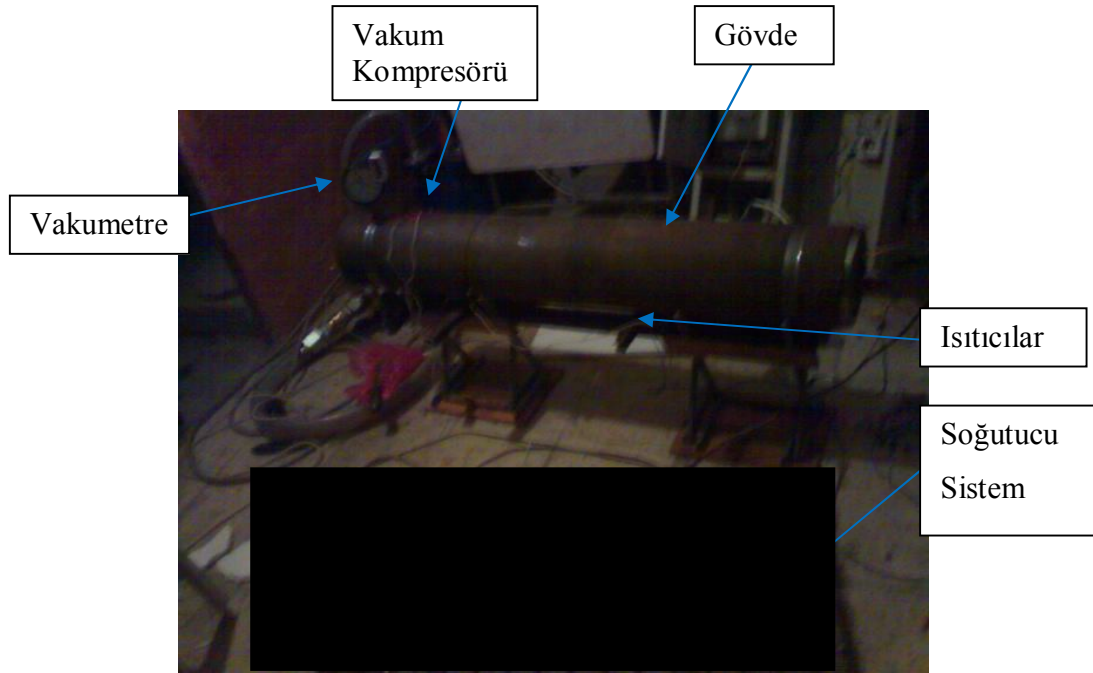
### 3.4.1 Vakum Altında Hava Çevrimli Termodinamik Kurutucu Deney Düzenekinin Tanıtılması



1-Vakum Kompresörü 2-Çek valf 3-Vakummetre 4-Termometre 5-Nem ve Sıcaklık Ölçer 6-Gövde 7-Isıtıcı 8-Soğutucu Sistem Komplexi 9-Su Deposu 10-Soğutucu 11-Ara Plaka.

Şekil 3.8 Vakum altında hava çevrimli termodinamik kurutucu deney düzeneği konsept tasarımı.

Hava evrimli sistemde ekil3.8’de görüldüğü gibi bir sistem tasarımı yapılmıştır. Arçelik bir buzdolabının soğutucusu kullanılmıştır. Sistem içerisinde soğutucu sıcaklığı max -18  C derece ye kadar düşürülmüştür. Alüminyum bir perde ile sıcak soğuk hava bölünmüştür. Bunun nedeni alüminyum plakada yoğuşma sağlamak ve buharlaşan suyun tekrar ürünlerin üzerine düşmesini engellemektir. Sıcak hava bölmesi kısmı izocam ile kaplanmıştır. Hava geçişi için kanallar açılmıştır. 3 farklı noktadan sıcaklık değerleri alınmıştır.



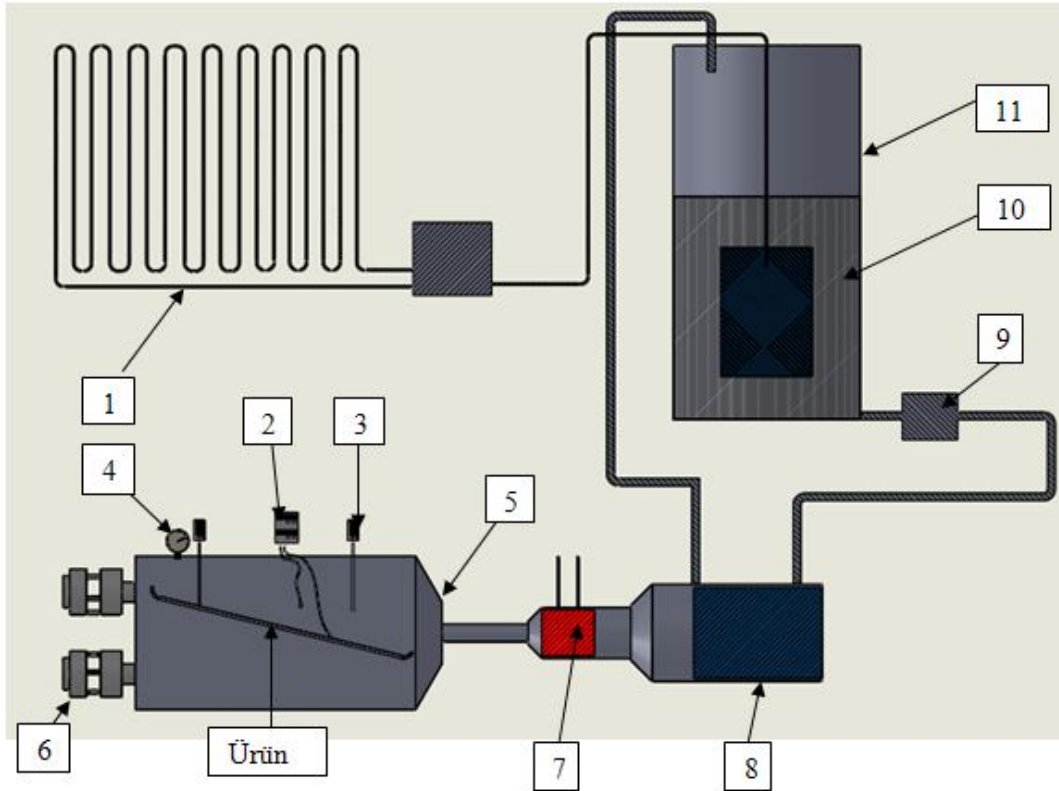
**Şekil 3.9** Vakum altında hava çevrimli termodinamik kurutucu deney düzeneği.

Vakum altında hava çevrimli termodinamik kurutucu deney çalışmaları için ekil3.9’da görüldüğü gibi bir imalat yapılmıştır. Gövde borusunun et kalınlığı ANSYS programı yardımıyla basınç analizi yapılmış ve 6mm et kalınlığında yapılması uygun görülmüştür. Deneye başlama anında 15 dk aralıklarla ortalama basınç, bağıl nem, ortalama sıcaklık ve ağırlık değerleri alınmıştır. Bu deney sisteminde 2 farklı deney yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

### 3.5 Tünel Tipi Kurutucu Sistemi

Tünel tipi kurutucu sistemleri imalat maliyetleri diğer sistemlere göre çok daha az ve maliyetinin az olmasına rağmen çok daha fazla ürün kurutulabilmektedir. 500 gr ürünü kurutabilecek bir deney düzeneği hazırlanmıştır. Tünel tipi kurutucu sisteminde çok daha düşük bir vakum etkisi vardır.

#### 3.5.1 Tünel Tipi Kurutucu Sistemi Deney Düzeneğinin Tanıtılması



1-Soğutucu Sistem Komitesi 2-Nem ve Sıcaklık Ölçer 3-Termometre 4-Vakumetre 5-Gövde 6-Hava Kompresörü 7-Isıtıcı 8-Yoğuşurma Bölgesi 9-Su Pompası 10-Su (+4 °C) 11-Su Tankı

**Şekil 3.10** Tünel tipi kurutucu sistemi deney düzeneği konsept tasarımı

Deney yapılabilmesi için Şekil 3.10 'da görüldüğü gibi bir deney sistemi tasarımı yapılmıştır. Deney düzeneğinde vakum kompresörü kullanılmamış yerine 2 adet Siemens marka 1.2 kWh enerji harcayan hava kompresörü kullanılmıştır. 2kWh enerji harcayan ısıtıcılar ile hava 60 °C 'ye kadar ısıtılmıştır. Soğutucu sistem kompleksi su deposundaki suyu +2°C 'ye kadar soğutmuştur. Demir döküm marka bir su pompası yardımıyla su yoğunlaştırıcı sisteme basılmış ve devir daim yapılmıştır. Pompa 800kWh enerji harcamaktadır. Yoğuşturucu sistem içerisinde 8mm çapında 6m sarılmış alüminyum borular içerisinde geçirilen su vasıtasıyla hava nemi yoğunlaştırılarak alınmaya çalışılmıştır. Kurutucu bölme içerisinde 800 mbar basınç değerine kadar düşülmüştür. 3 farklı noktadan sıcaklık değerleri alınmıştır. Hava ısıtıcı sistemin içerisine 0.2mm kalınlığında bakır tel ile boş alanlar doldurulmuş böylece havanın ısı transferinin yapılması için daha iyi bir sonuç alınmıştır.

Deneye başlama anında 15 dk aralıklarla ortalama basınç, bağıl nem, ortalama sıcaklık ve ağırlık değerleri alınmıştır. Bu deney sisteminde giriş havasını ön kurutma yapılan ve yapılmayan olarak iki farklı deney yapılmıştır.

## 4. BULGULAR

### 4.1 Normal Koşullar Altında Kurutma İşlemi

Eskişehir bölgesinde kabak çekirdeği yılın Eylül ile Ekim aylarında hasat edilmekte ve kurutma yapılmaktadır. Bu dönemde sıcaklıklar ortalama 14-28 °C derece arasında değişmektedir. Sonbahar yağmurları yağdığından dolayı kurutma işlemi çok zor ve riskli geçmektedir. Yağmur, çekirdeğin kalitesini düşürmekte hatta çürütmektedir. Aynı zamanda toprak nemli olduğundan dolayı kurutulacak yer problem haline gelmektedir. En iyi koşullarda bile toz, toprak, sinek gibi dış etkenlerden dolayı kalitesi düşmektedir.

Ürün başlangıç nem içeriğinin belirlenmesi amacıyla kurutma öncesi 500 gr örnekler normal koşullar altında kurutmaya bırakılmıştır. Ürün nemi başlangıç ve çıkış kütlelerinden gidilerek kuru baza göre aşağıdaki eşitlik kullanılarak belirlenmiştir.

$$X_S = \frac{m_N}{m} \times 100 \quad (3.1)$$

$$X_{KB} = \frac{m - m_{KM}}{m_{KM}} \times 100 \quad (3.2)$$

$$m = m_N + m_{KM} \quad (3.3)$$

Bu eşitlikte;

$X_S$  : Nem içeriği (%),

$X_{KB}$  : Kuru baza göre nem içeriği (%),

$m_N$  : Üründeki su miktarı (g),

$m$  : Yaş ürünün toplam kütlesi (g)'dir.

$m_{KM}$  : Üründeki toplam kuru madde kütlesi (g)'dir.

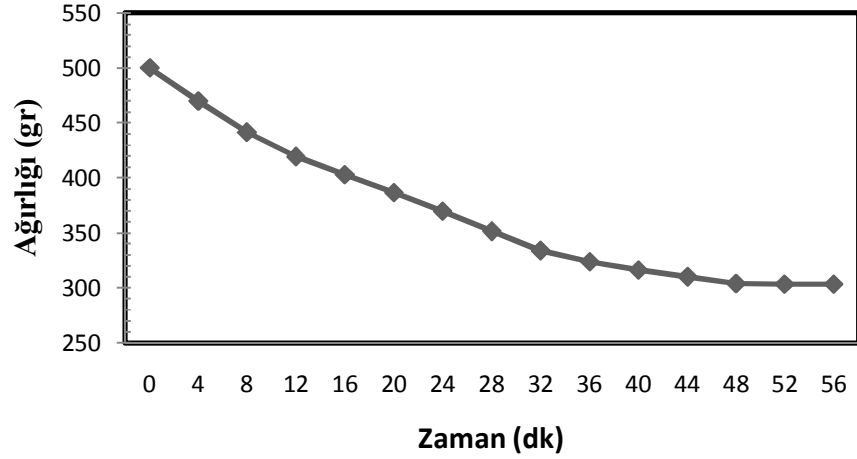
Kabak çekirdeğinin kurtulması ile alakalı literatürde yapılan bir çalışma olmadığı için kurutulmuş ürünlerden uzaklaştırılan su miktarını bulmak amacıyla açık havada ya da normal koşullar altında kurutma işlemi yapılmıştır. Neminin belirlenmesi amacıyla, açık ortamda kurutmaya bırakılan ürünlerin ağırlıklarıyla toplam kuruma yüzdesi bulunacaktır. Kurutma işlemi sonunda ürünlerde ortalama %4 oranında su bırakılacaktır.

Kurutmaya bırakılan ürünler her 4 saatte bir ortalama sıcaklık ve ağırlıkları ölçümleri alınmıştır.

**Çizelge 4.1** Normal koşullarda kurutma işleminden alınan sonuçlar.

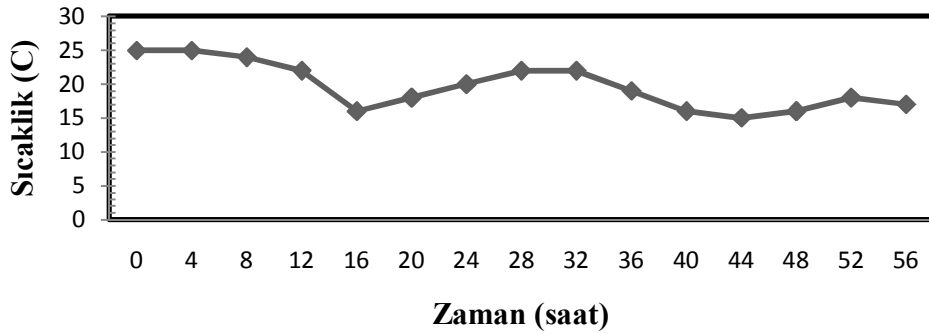
| Toplam su<br>kütlesi (gr) | Süre<br>(saat) | Ortalama<br>Sıcaklık<br>(°C) | İlk<br>Ağırlık<br>(gram) | Son<br>Ağırlık<br>(gram) | Kurutulması<br>gereken % su<br>miktarı |
|---------------------------|----------------|------------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------------------|
| 222                       | 0              | 25                           | 500                      | 500                      | 40                                     |
| 192                       | 4              | 25                           | 500                      | 470                      | 34                                     |
| 164                       | 8              | 24                           | 470                      | 442                      | 28                                     |
| 142                       | 12             | 22                           | 442                      | 420                      | 24                                     |
| 125                       | 16             | 16                           | 420                      | 403                      | 21                                     |
| 113                       | 20             | 18                           | 403                      | 391                      | 18                                     |
| 99                        | 24             | 20                           | 391                      | 377                      | 15                                     |
| 82                        | 28             | 22                           | 377                      | 360                      | 12                                     |
| 66                        | 32             | 22                           | 360                      | 344                      | 9                                      |
| 55                        | 36             | 19                           | 344                      | 333                      | 7                                      |
| 49                        | 40             | 16                           | 333                      | 327                      | 5                                      |
| 43                        | 44             | 15                           | 327                      | 321                      | 4                                      |
| 36                        | 48             | 16                           | 321                      | 314                      | 3                                      |
| 30                        | 52             | 18                           | 314                      | 308                      | 2                                      |
| 24                        | 56             | 17                           | 308                      | 302                      | 0                                      |

Normal koşullar altında kurutma yapılan kabak çekirdeklerinin hasattan sonra %40 oranında su uzaklaştırılmıştır. Çizelge4.1’ görülen grafikte 500 gr kabak çekirdeği ile başlanılan kurutma işlemine 302 gr kadar su üründen uzaklaştırılmıştır.



**Şekil 4.1** Normal koşullar altında kurutulmaya bırakılan ürünlerin zamana göre ağırlıkları.

Hava sıcaklığıyla bağlantılı olarak kuruma yüzdesi artmıştır. Şekil 4.1’de görüldüğü gibi 500gr çekirdek 302 gr kadar kurutulmuştur. Kuruma süresi 56 saat yaklaşık olarak 3 gün de kurumuştur.



**Şekil 4.2** Normal koşullar altında kurutulmaya bırakılan ürünlerin sıcaklığının zamana göre değişimi.

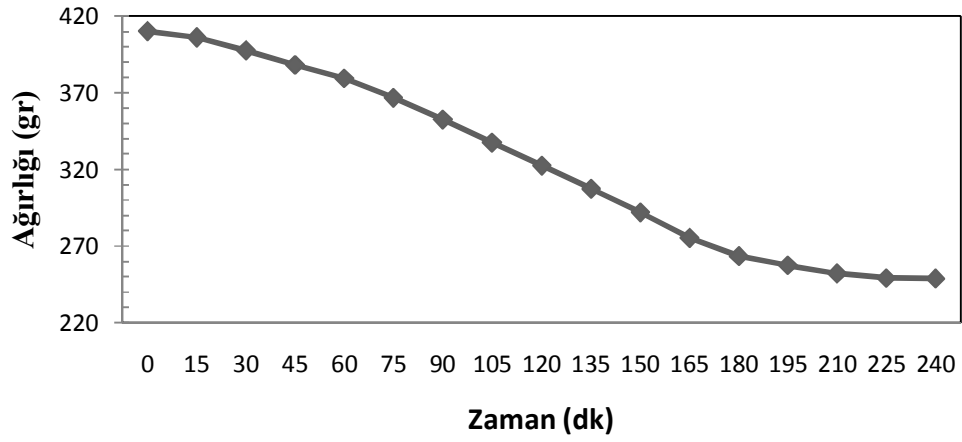
Eylül ayının son haftasında alınan hava sıcaklık değerleri Şekil 4.2’de bulunan grafikte görülmektedir. Sıcaklıklar 25-14 °C arasında değişmektedir.

Yapılan deney çalışmalarında kabak çekirdeklerinin kurtulması esnasında, dışında bulunan mumsu tabakanın kuruyup üründen ayrıldığı gözlemlenmiştir. Mumsu tabakanın kurumasından dolayı ürünlerin içyapısındaki suyu kaybetmeleri kolaylaşmakta ve daha hızlı bir kuruma gerçekleşmektedir.

#### **4.2 Tünel Tipi Vakumlu Akışkan Kurutucu Prototip Sisteminde Yapılan Deney Çalışmaları Bulguları.**

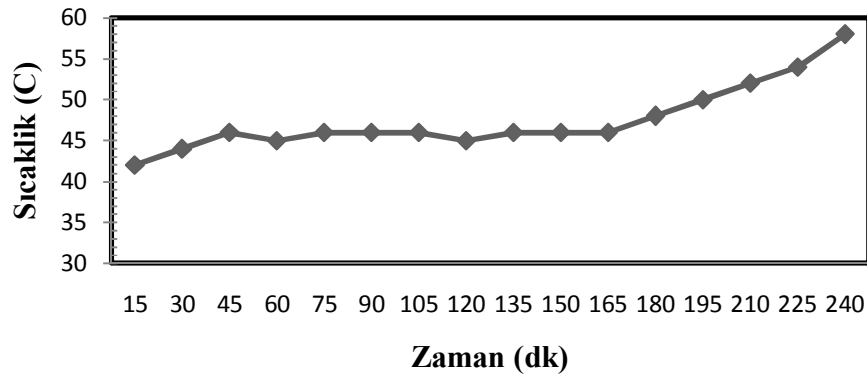
##### **4.2.1 80 mbar Basınç Altında Kurutma**

Güneş enerjisiyle kurutma deneylerinde %40 civarında kurumanın olması gerektiği gözlemlenmiştir. Bu deney sisteminde ürünlerin su miktarının %40 azaltılması için çalışılmıştır. 15 dk aralıklarla sıcaklık ve ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Devamlı bir vakum etkisinde kalan sistem de hava hızı yoktur. Sıcaklık ise sistemin vakumlu olmasından dolayı 40-60 °C arasında değişmektedir.



**Şekil 4.3** 80 mbar basınç altında tünel tipi vakumlu akışkan kurutucu sistemin ağırlık zaman değişimi.

Prototip sisteminde devamlı vakum altında bırakılarak kurutma işlemi yapılan ürünlerin zamana göre su miktarının azalması Şekil 4.3’de görülmektedir. 80 mbar basınç altında kurutucu sistemde yapılan deney çalışmasında kabak çekirdeği kurutulması için gerekli sürenin 240 dk olduğu gözlemlenmiştir. 410 gr ile kurutmaya bırakılan ürün 249 gr kadar düşmüştür.

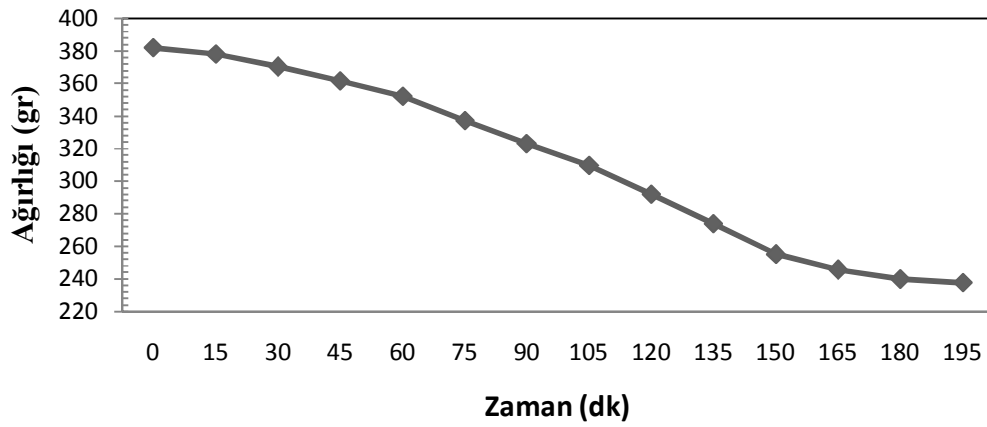


**Şekil 4.4** 80 mbar basınç altında kurutucu sistemin sıcaklık zaman değişimi

Yapılan bu deneyde hava hız etkeni önemsenmeden yapılmıştır. Ortam içerisinde hava miktarının çok az olması ısı yayılımının da az olmasına neden olmuştur. 80 mbar basınç altında suyun kaynama noktasının 43 °C olmasından dolayı sıcaklık yükselmemiştir.

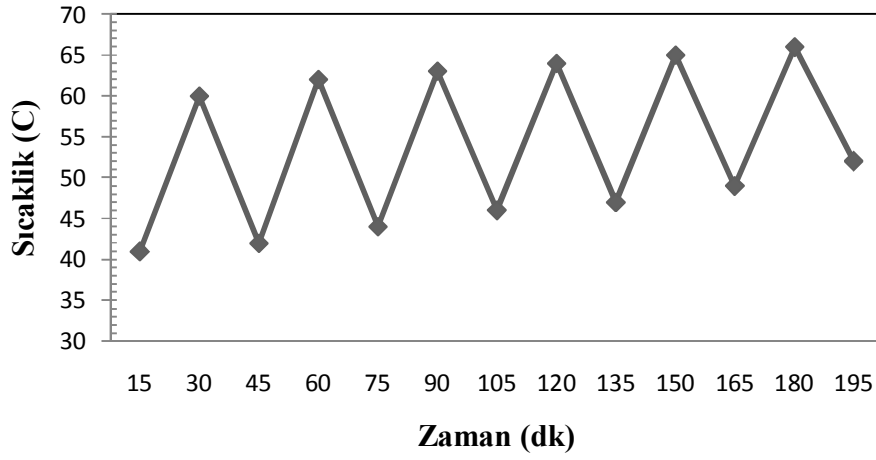
#### 4.2.2 Kesikli Vakum Altında Kurutma

Bu deneyde 380 gr kabak çekirdeğini kurutulması esnasında; 15 dk aralıklarla ortalama sıcaklık, bağıl nem miktarı ve ağırlık kontrolü yapılmış, hava kanalları her 15 dk bir açılıp 15 dk kapalı tutulmuştur. Sıcaklık ise 40-65 °C arasında değişmektedir.



Şekil 4.5 Kesikli vakum altında kurutma deneyinin ağırlık zaman değişimi.

Kurutucu prototip sisteminde 15 dakika vakum 220 mbar kadar düşürülüp 15 dk 80 mbar vakum etkisi altında bırakılarak kurutma işlemi yapılmıştır. Basınç 220 mbar düştüğünde hava hızı 1m/s, 80 mbar düştüğünde ise hava hızı yoktur. Yapılan deneyde ürünlerin zamana göre su miktarının azalması Şekil 4.5 görülen grafikte kesikli vakum altında kurutma yapılan deney çalışmasında kabak çekirdeği kurutulması için gerekli sürenin 195 dk olduğu gözlemlenmiştir. Kesikli vakum altında kurutma denenmiş ve kesikli 382 gr ile kurutmaya bırakılan ürün 238gr kadar kurtulmuştur.

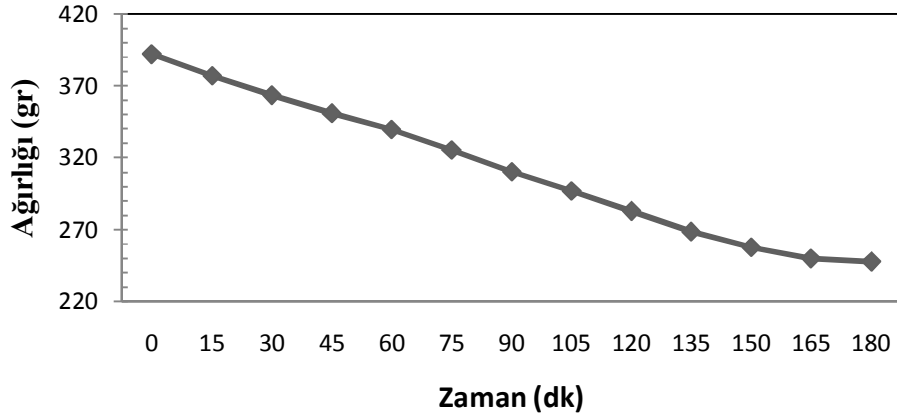


**Şekil 4.6** Kesikli vakum altında kurutma deneyinin sıcaklık zaman değişimi.

Yapılan bu deney çalışmasında hava hızı 15 dk aralıklarla artıp azaldığı için sıcaklık ortalaması da bununla birlikte artmaktadır. Şekil 4.6' da görülen grafikte ortama giren hava miktarının artması ve kaynama noktasının yükselip artmasıyla orantılı olarak sıcaklıkta yükselip azalmıştır.

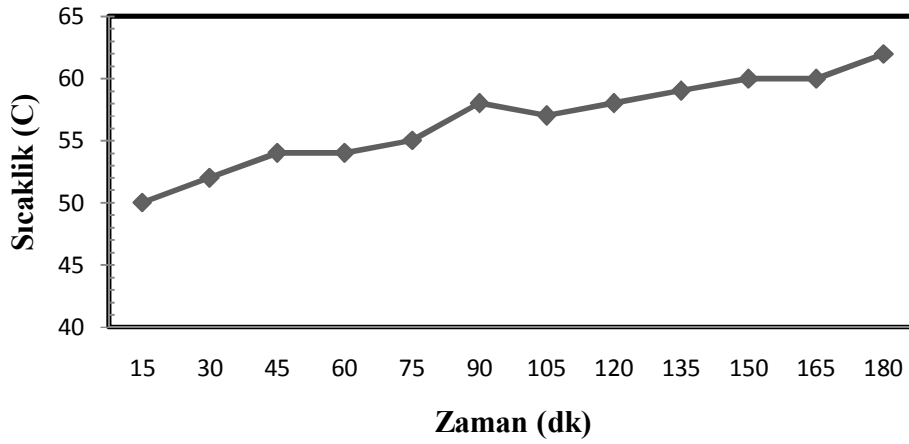
#### **4.2.3 220 mbar Basınç Altında Kurutma**

220 mbar basınç altında 1m/s hava hızı ile devamlı bir kurutma işlemi yapılmıştır. Kurutulan kabak çekirdeklerinin su miktarının azalmasından dolayı kütlelerinde olan değişiklikler 15 dk aralıklarla kaydedilmiştir. Aynı zamanda sıcaklıkla olan değişiklikler gözlemlenmiştir. Sıcaklık ise 52-65 °C arasında değişmektedir.



**Şekil 4.7** 220 mbar basınç altında kurutucu sistemin ağırlık zaman değişimi.

Yapılan deney çalışmasında hava akımının kurutmaya olan etkisi incelenmiş ve hava hızının kurumaya etkisinin büyük olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.7’ de görülen grafikte 180 dakikada yeterli su miktarına ulaşılmıştır. 220 mbar basınç altında kurutma deneyinde 392 gr ile kurutmaya başlanılan ürünler 248 gr kadar kurutulmuştur.

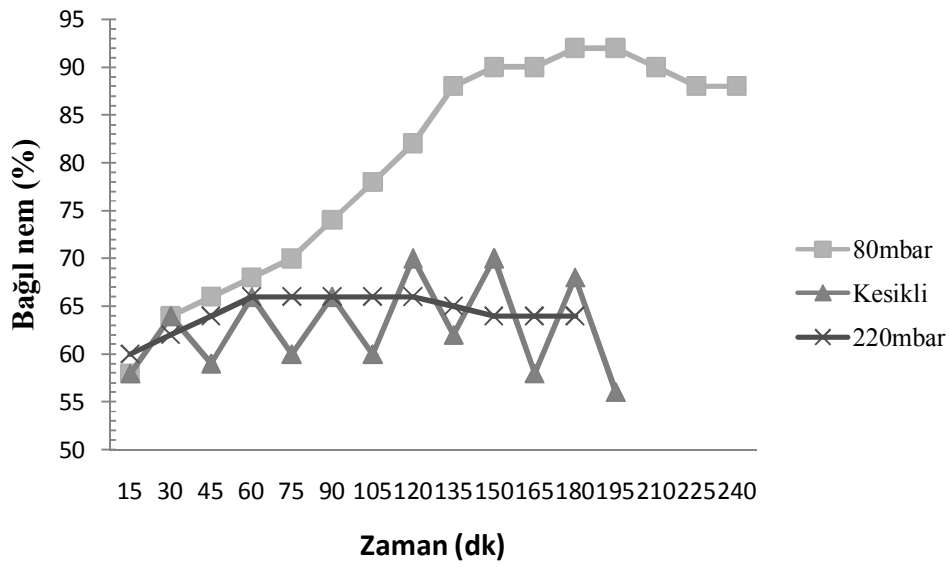


**Şekil 4.8** 220 mbar basınç altında kurutucu sistemin sıcaklık zaman değişimi.

220mbar basınç altında yapılan deney çalışmasında zamana bağlı sıcaklık değişim Şekil 4.8’de görülen grafikte belirtilmiştir. Sıcaklığın diğer deney düzeneklerinden daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

#### 4.2.4 Tünel Tipi Vakumlu Akışkan Kurutucu Prototip Sisteminde Yapılan Deney Çalışmalarında Bağıl Nem Oranlarının Karşılaştırılması

Prototip kurutucu sisteminde yapılan deney çalışmalarında havanın bağıl nem oranı her bir deney düzeneği için kaydedilmiştir. Prototip içerisinde bulunan bağıl nem miktarı, her 15 dk aralıklarla ölçümler kaydedilmiştir.



Şekil 4.9 Kurutucu prototipinin bağıl nemin zaman içerisindeki durumu görülmektedir.

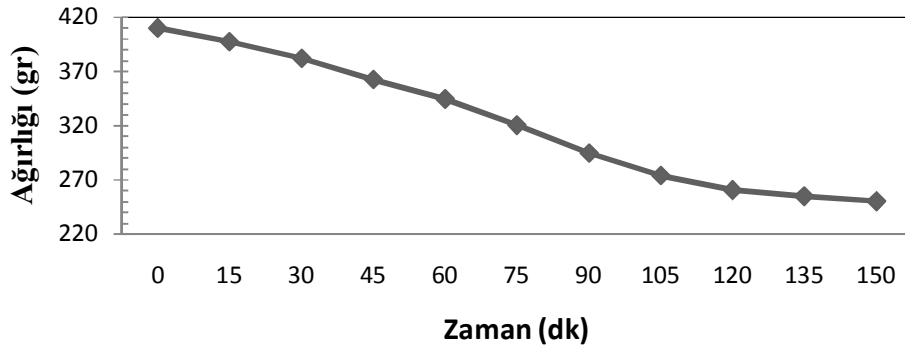
Deney düzeneğinde bulunan bağıl nem miktarlarının değişimi Şekil 4.9'daki grafikte görülmektedir. 80 mbar basınç altında oluşan nem miktarı havanın doyduğu ve buna bağlı olarak da kuruma süresinin uzadığı görülmektedir. Kesikli sistemde ise 105 dk sonrasında bağıl nem miktarı % 70'e kadar çıkmıştır. Devam sistemde nem miktarı 80 mbar basınç altındaki sisteme göre çok daha düşüktür.

### 4.3 Vakum Altında Hava Çevrimli Kurutucu Sistemde Deney Bulguları

Bu deney düzeneğinde güneş altında kurutmaya bırakılan ürünlerin miktarının %40 azaldığı gözlemlenmiştir. Kabak çekirdeklerinin su miktarının %40 azalana kadar kurutma işlemine tabi tutulmuştur.

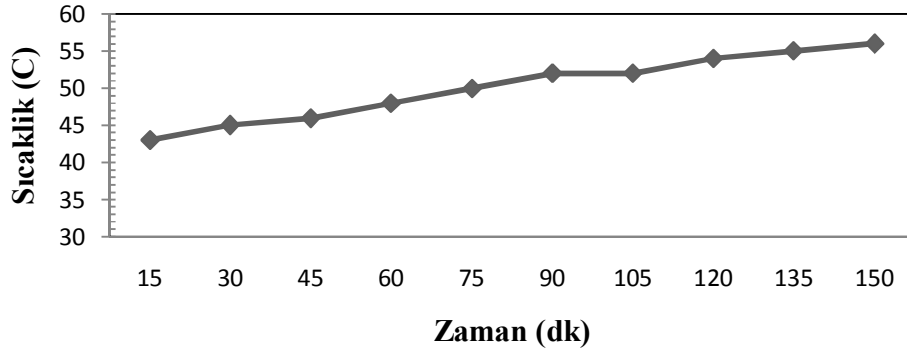
#### 4.3.1 80mbar Basınç Altında Hava Çevrimli Termodinamik Kurutma

Sistemde 398 gr kabak çekirdeğini 15 dk aralıklarla sıcaklık ve ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Devamlı bir vakum etkisinde bırakılmıştır. Sıcaklık ise sistemin vakumlu olmasından dolayı 40-60 °C arasında değişmektedir.



**Şekil 4.10** 80 mbar basınç altında termodinamik kurutma işleminde kabak çekirdeğinin zamanla ağırlıklarının değişimi.

Düşük basınç altında yapılan test hava çevrimli termodinamik kurutucu düzeneğinde, kuruma hızı daha yüksek olmuştur. 80 mbar basınç altında yapılan çalışmada Şekil 4.10'da görülen grafikte deney sonuçları görülmektedir. Diğer deney düzeneklerinden daha iyi olduğu anlaşılmaktadır. 220mbar basınç altında kurutma deneyinde 398 gr ile kurutmaya başlanılan ürünler 250 gr kadar kurutulmuştur.

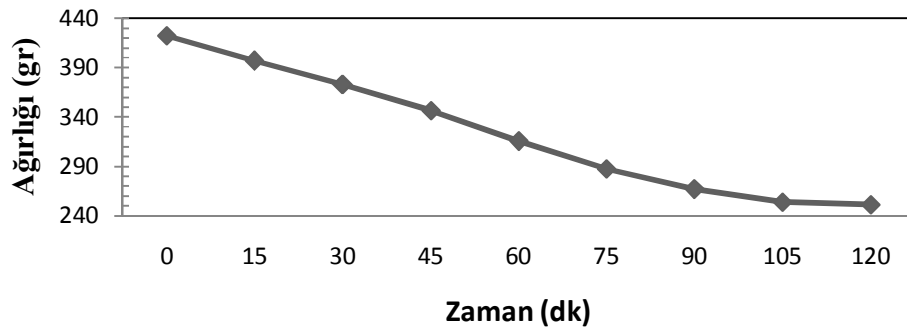


**Şekil 4.11** 80 mbar basınç altında termodinamik kurutma işleminde ürünlerin zaman göre ortalama sıcaklık değerleri.

Deney çalışmasında sıcaklık 40-60 °C arasında değişmektedir. Şekil 4.11’de görülen grafikte anlaşılabacağı gibi sıcaklık zaman ile orantılı artmaktadır.

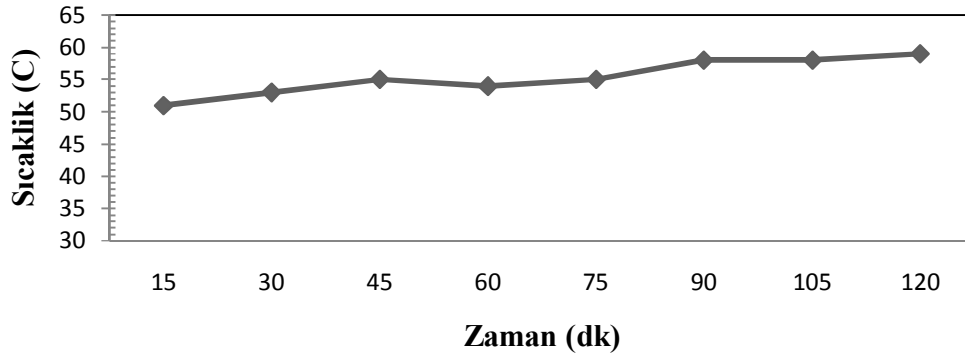
#### 4.3.2 220 mbar Basınç Altında Hava Çevrimli Termodinamik Kurutma

Deneye 422 gr kabak çekirdeği ile kurutma işlemine başlanmıştır. 15 dk aralıklarla ortalama sıcaklık ağırlık ve nem değerleri kaydedilmiştir. Sistem tamamen kapalı olup vakum kompresörü çalıştırıldıktan 220mbar basınç değerine ulaştığında kapatılmıştır.



**Şekil 4.12** 220mbar basınç altında hava çevrimli termodinamik kurutucu deney çalışmasında zaman göre ürünlerden azalan kütle miktarı.

Yapılan deney çalışmasında 422 gr kabak çekirdeği 260 gr kadar 120dk kurutulmuştur. Şekil 4.12’de görülen grafikte diğer deney düzeneklerine göre daha kısa sürede kurutma işlemi gerçekleşmiştir.

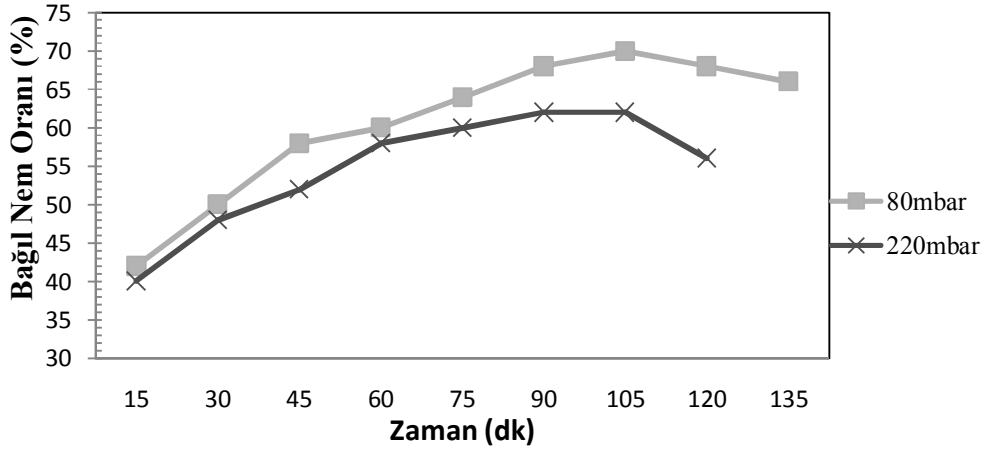


**Şekil 4.13** 220 mbar basınç altında hava çevrimli termodinamik kurutucu deney çalışmasında zamana göre ortalama sıcaklık değerleri.

Sıcaklık değerleri 50-60 °C arasında değişmektedir. 220 mbar basınç altında hava çevrimli termodinamik kurutma deneyinde 15dk aralıklarla alınan ortalama sıcaklık değerleri Şekil4.3’de görülmektedir. Sıcaklık değerlerinde devamlı bir artış gözlemlenmektedir.

#### **4.3.3 220mbar ve 80 mbar Basınç Altında Yapılan Çalışmalarda Bağıl Nem Oranlarının Karşılaştırılması**

Tünel tipi hava çevrimli termodinamik kurutucu siteminde yapılan deney çalışmalarında havanın bağıl nem oranı her bir deney düzeneği için kaydedilmiştir. Test cihazının içerisinde bulunan nem cihazından, ortamın hava boşluğunda bulunan su molekülleri miktarı ile havanın alabileceği max nem oranı her 15 dk aralıklarla ölçümler yapılarak kaydedilmiştir. Sistemde iki farklı nem ortamı vardır. Bunlardan kurutma yapılan ürünlerin olduğu bölmedeki nem ölçüm değerleri baz alınmıştır.



**Şekil 4.14** Hava çevrimli termodinamik kurutucunun bağıl nem oranlarının zamana bağlı değişimi.

80 mbar ve 220 mbar basınç altında yapılan deney çalışmalarında Şekil 4.14 görülen grafikte bağıl nem oranı %70 'e kadar çıkmıştır. Vakum altında kurutmada nemin kurumaya etkisi büyük olmaktadır. 220 mbar basınç altında nem değerleri 80 mbar basınç altındaki sisteme göre çok daha azdır. Bunun nedeni 80 mbar basınç altında hava moleküllerinin az olmasından dolayı üründen aldığı nemle havanın bağılnemi daha hızlı yükselmiş olduğu görülmektedir. 220 mbar basınç altında hava moleküllerinin diğer sistemlere göre yoğun olması daha fazla nem taşımaya neden olmuş bu da kuruma süresini kısaltmıştır. 220 mbar basınç değerinin üzerinde çalışma yapılmasının nedeni suyun kaynama noktasının, ürünlerin pişme sıcaklığını geçmesidir.

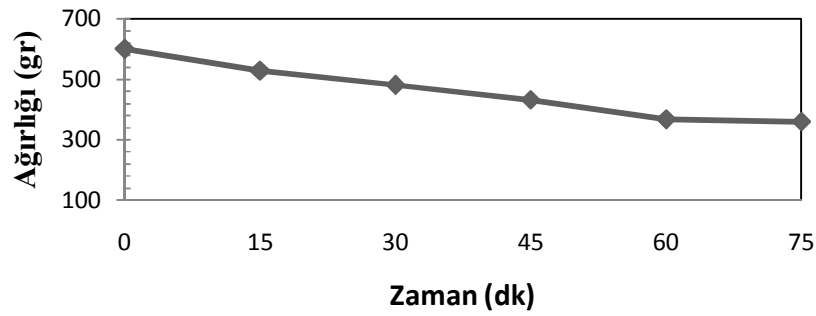
#### 4.4 Tünel Tipi Kurutucu Deney Bulguları

Tünel tipi kurutucu sisteminin birçok tasarımı yapılabilir. Bu deney çalışmasında iki deney düzeneği hazırlanmıştır. Deney düzeneğinde vakum kompresörü kullanılmamıştır. Vakum kompresörünün kullanılmamasının nedeni emme kapasitesinin düşük olmasıdır. Gücüm pompa GMVP 200/065 kompresörleri çok düşük basınç ortamları yaratmak amacıyla kullanılmaktadır max hava emişi 200 m<sup>3</sup>/h kadar düşüktür.

Hava basmak emmekten daha kolaydır. Havanın ortama basılması ortamın basıncını arttırmaktadır. Basıncın artması, su moleküllerinin gaz haline geçmesi için daha yüksek sıcaklığa ihtiyaç duyacağından kurutmayı olumsuz etkilediği düşünülmektedir. Bu deney çalışmasında ortamdaki havanın 10 m/s hız ile emilmesi ve 800 mbar basınç altında kurutma işlemi yapılmıştır. Diğer deney çalışmalarına göre daha az bir vakum etkisiyle ve daha yüksek bir hava hızı ile kurutma yapılmış ve kuruma süresine etkisi incelenmektedir.

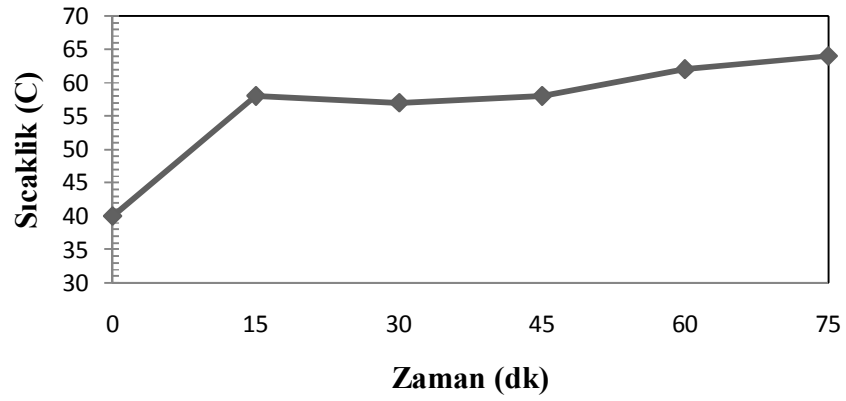
#### 4.4.1 Hava Kurutma Kullanılmadan Yapılan Tünel Tipi Kurutma Deney Çalışması

Deneye, 600 gr kabak çekirdeği ile kurutma işlemine başlanmıştır. 15 dk aralıklarla ortalama sıcaklık, ağırlık ve nem değerleri kaydedilmiştir. Sistem açık bir sistem olup 800 mbar basınç değerinde 10 m/s hava hızı ile kurutma işlemi yapılmıştır.



Şekil 4.15 Tünel tipi kurutucu deney düzeneğinin ağırlık zaman değişimi.

Tünel tipi kurutucu sistemler, çok daha düşük basınç altında yapılan deney çalışmalarından daha iyi bir sonuç vermiştir. Şekil 4.15’ de görülen grafikte 600 gr ile başlanan işlem, 360 gr’a kadar kurutulmuştur. Kurutma işlemi toplam 75 dk sürmüştür.

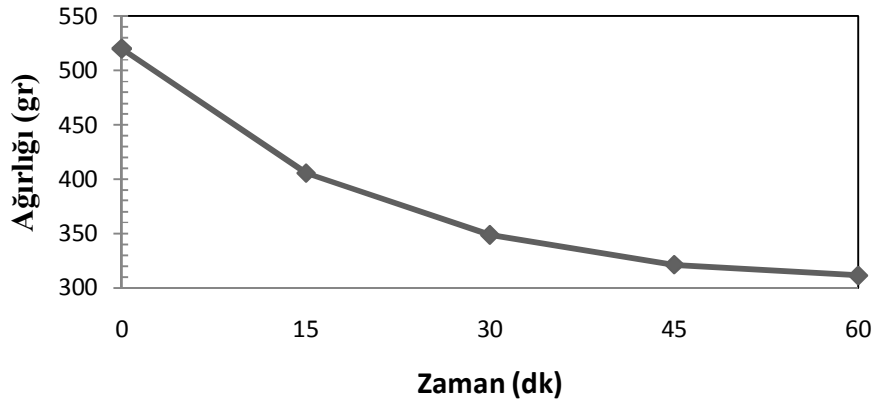


**Şekil 4.16** Tünel tipi kurutucu deney düzeneğinin zamana göre ortalama sıcaklık değişimi.

Tünel tipi kurutucu sisteminde 2 kWh enerji harcayan ısıtıcı kullanılmıştır. Şekil4.16 ‘da görülen grafikte 40-63 °C sıcaklık arasında ısı verilmiştir. Sıcaklık son 15 dk artmaktadır.

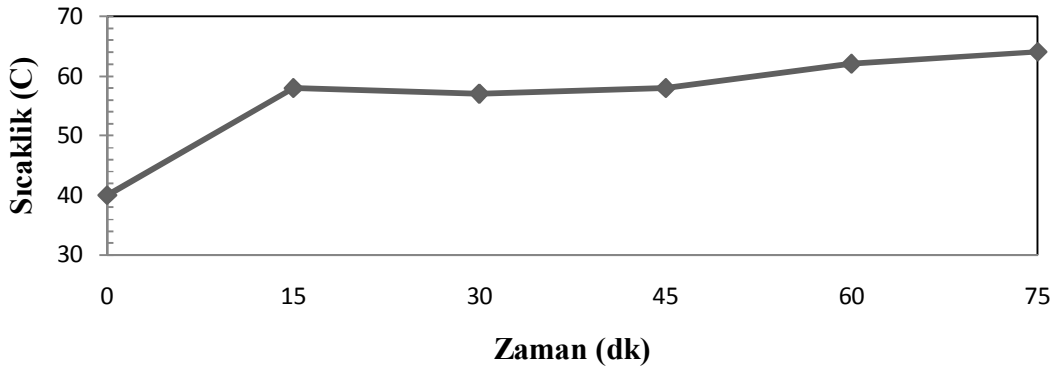
#### **4.4.2 Hava Kurutma İşlemi Yapılarak Tünel Tipi Kurutucu Sistemi**

Deneye 520 gr kabak çekirdeği ile kurutma işlemine başlanmıştır. 15 dk aralıklarla ortalama sıcaklık ağırlık ve nem değerleri kaydedilmiştir. Kurutma işleminde kullanılan hava sisteme girmeden önce kurtulmuştur. Kurutulan hava daha sonra 2 kWh ısıtıcılar ile ısıtılmıştır. Kurutma ortamında 800 mbar basınç vardır.



**Şekil 4.17** Tünel tipi kurutucuda hava kurutma kullanılarak yapılan zamana bağlı ağırlık değişimleri.

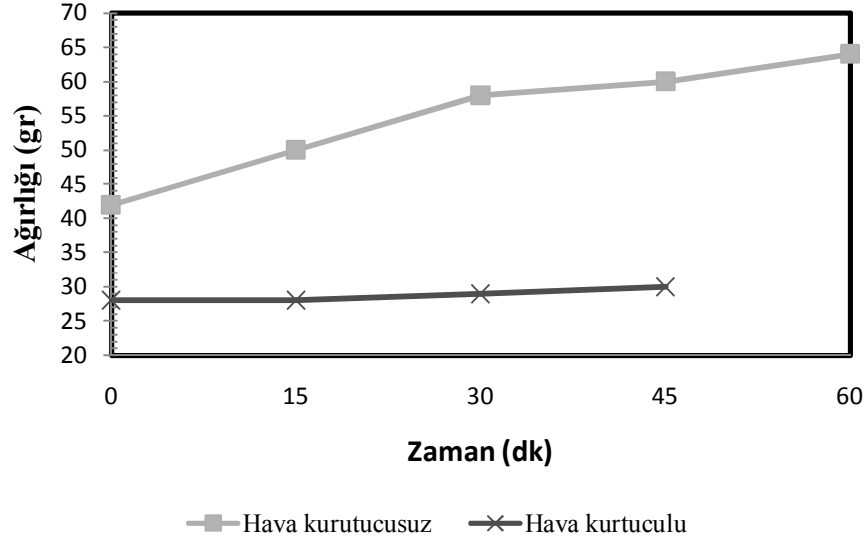
Kurutucu sisteminde giren havayı ön kurutma işleminin yapılması olumlu sonuçlar vermiştir. Fakat tünel tipi kurutucu deney düzeneğinde hava hızının yüksek olması, kurutma odasının nem miktarı düşürmüştür. Şekil 4.17’de görülen grafikte 520 gr çekirdek 310 gr kadar kurutulmuştur.



**Şekil 4.18** Tünel tipi kurutucu hava kurutma kullanılarak yapılan zamana bağlı ortalama sıcaklık değişimleri.

Hava kurutmalı tünel tipi kurutucu sisteminde, havanın ön kurutma işleminde Şekil4.18’de görülen grafikte de anlaşılabacağı gibi çok fazla bir değişiklik olmamıştır.

#### 4.4.3 Tünel Tipi Kurutucu Sistemde Bağıl Nem Oranlarının Karşılaştırılması



**Şekil 4.19** Tünel tipi kurutucu sisteminde yapılan deney çalışmalarında zamana göre ortalama nem değişimleri.

Ürünlerin bulunduğu ortamda hava kurutuculu sistemin nemi daha düşüktür. Şekil4.19’da görülen grafikte hava kurutuculu deney düzeneğinin neminin daha düşük olması kurutmaya etkisi büyük olmuştur. Ürünler hava kurutucusuz sisteme göre 15dk kadar daha kısa sürede kurutulmuştur. Fakat harcanan enerji hava kurutucusuz sisteme göre daha fazladır.

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Araştırma sonuçlarından da görüldüğü gibi vakumla kurutma, sıcak hava ile ve açık havada kurutmaya göre kurutma zamanında tasarruf sağlamıştır. Enerji açısından bakıldığında güneş enerjisinden yararlanılarak açık havada kurutma en ekonomik yöntemdir. Ancak, açık havada kurutmanın renk ve toz toprak gibi gıda hijyen açısından olumsuz etkileri söz konusudur. Vakumla kurutmada kurutulan ürünlerin renk korunumu diğer iki yönteme göre daha iyi olmuştur. Vakumlu kurutmada nemi geri alma miktarı, sıcak havada ve açık havada kurutmaya göre daha yüksektir. Çünkü vakumlu kurutmada ürünün hücre yapısı, diğer iki yönteme göre daha az zarar görmekte, ürün gözenekli bir yapı kazanmakta ve kurutma sırasında üründe kabuk bağlama görülmemektedir. Diğer yöntemlere göre vakumla kurutmada elde edilen üstün kurutma özellikleri, Bozkurt ve Erkmek 2004, Chin ve ark. 1996, Ganjyal ve ark. 2003, Göçmen ve ark. 2004, Methakhup ve ark. 2005, Tsami ve ark. 1999 tarafından da doğrulanmıştır.

Vakumlu gıda kurutma sistemlerinde yağ oranı yüksek olan mısır ve kabak çekirdeklerinde, kurutma işlemi sıcaklık ve ortamın bağıl nemi en büyük problemlerden biri olmuştur. Suyun kaynama noktasının vakum altında 50 °C olmasından dolayı verdiğimiz ısı enerjisi ne kadar yüksek olursa kurutma hızı da o kadar yüksek olacağı düşünülmüştü. Fakat ürünlerde bulunan yağın kaynama noktası ve içerisinde bulunan suyu kaybettikten sonra yanmalar oluşacağı için sağlıklı bir kurutma işlemi gerçekleştirilemedi fakat mikrodalga enerjisi ile vakum altında kurutma yapılabilir. Mikrodalga enerji radyo dalgalarının su moleküllerini titreştirerek ısı enerji oluşturduğu için çok daha hızlı bir kurutma yapılabilir. Mikrodalga fırınlarını normal koşullarda kullanmamız mümkün değildir. Isı enerjinin mikrodalga fırınlarında kontrolü çok zordur yani 60 °C derecede sabit tutulamaz. Vakum altında su max 50 °C derecede kaynadığı düşünülürse mikrodalga kullanılarak çok daha kısa sürede kurutulabilir. Mikrodalga enerjisinin deney düzeneği bu tez çalışmasında hazırlanmamıştır. Mikrodalga enerjisinin kullanımında Türkiye koşullarında yetersiz yan sanayi ve teknik bilgi eksikliği vardır. Diğer sistemlere göre de hatalı bir tasarımın sonuçları ağır olabilir.

Daha sonra yapılacak çalışmalarda vakumla kurutma yöntemi, mikrodalga enerjisiyle birleştirilerek kullanılabilir. Ayrıca kullanılan ürün çeşidi, vakum ve sıcaklık seviyeleri değiştirilerek bu yöntem için daha detaylı veriler elde edilebilir. Böylece bu yöntemin sanayide uygulanabilirliği artırılarak, yaygınlaşması sağlanabilir.

### **5.1 Deney Düzeneklerinden Alınan Sonuçlar**

Tünel tipi vakumlu akışkan kurutucu sistemi prototipinde, 80mbar basınç altında kurutma, kesikli kurutma ve 220mbar basınç altında kurutma olarak 3 farklı deney yapılmıştır. Deney düzeneklerinin verimi karşılaştırılmış ve en iyi sonucu 220mbar basınç altında kurutmanın verdiği gözlemlenmiştir. 220mbar basınç altında kurutma deneyinde 165dk kurutulduğu gözlemlenmiştir.

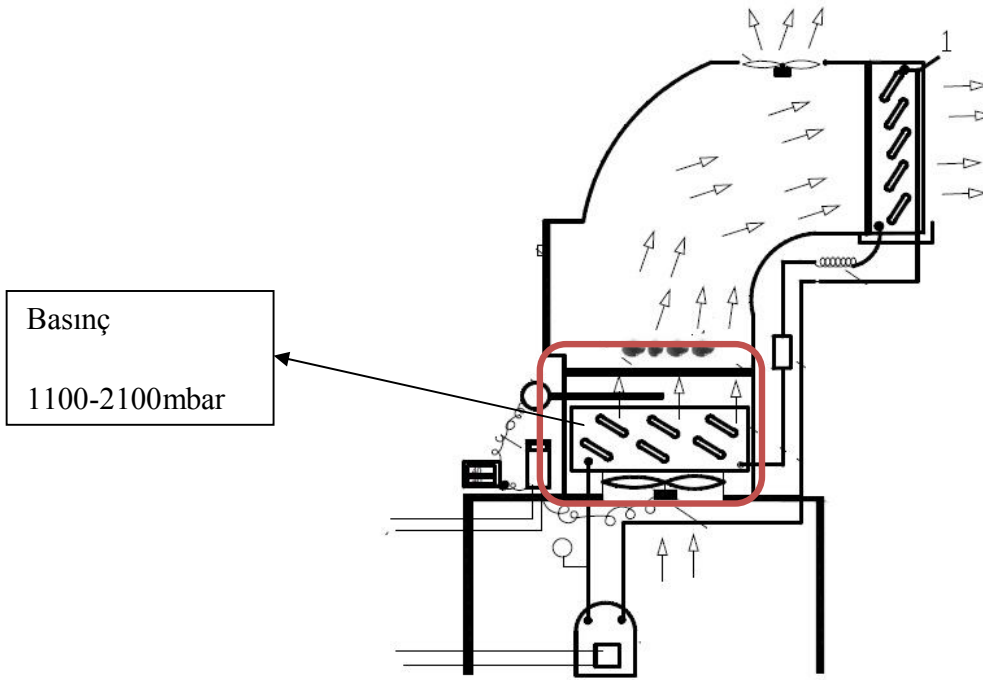
Hava çevrimli termodinamik kurutucu deney düzeneğinde vakum altında ortamın bağıl neminin düşürülebilmesi için bir çalışma yapılmıştır. Deney düzeneğinde 80mbar basınç altında hava çevrimli termodinamik kurutma sistemi ve 220mbar basınç altında hava çevrimli termodinamik sistem olmak üzere iki farklı sistem karşılaştırılmıştır. Deney düzeneklerinde en iyi sonuç 220mbar basınç altında yapılan çalışmada 120dk kurutma işlemi yapıldığı gözlemlenmiştir.

Tünel tipi kurutucu sistem diğer sistemlerden farklı olup daha düşük basınç altında 800mbar basınç ile 10 m/s hava hızı ile kurutma işlemi yapılmıştır. 60 dk kurutma işlemi yapıldığı gözlemlenmiştir.

**Çizelge5.1** Suyun bazı basınç değerlerinde kaynama noktası.

| P/mbar | T/ °C | P/mbar | T/ °C | P/mbar | T/ °C  |
|--------|-------|--------|-------|--------|--------|
| 900    | 96.71 | 1000   | 99.63 | 1095   | 121.02 |
| 905    | 96.87 | 1005   | 99.77 | 1100   | 121.79 |
| 910    | 97.02 | 1010   | 99.91 | 1150   | 122.54 |

Sanayide kullanılan birçok sistemde hava ısıtılıp ortama basılmaktadır. Hava basmak, emmekten daha kolaydır. Havanın ortama basılması esnasında hava tahliye çıkışının yeterli olmaması durumunda ortamın basıncını arttırmaktır. Basıncın artması, su moleküllerinin gaz haline geçmesini yani kurutmayı etkilemektedir. Çizelge5.1’de görülen tabloda normal koşullarda 1010 mbar basınç olduğu düşünülürse su 99.91 °C kaynamaktadır. 1150 mbar basınç altında 122,54 °C kaynamaktadır.



**Şekil 5.1** Isı pompalı örnek bir kurutucu sistem

Kurutma ortamına havanın basılması esnasında tahliye çıkışının yeterli olmaması durumunda, Şekil5.1 görüldüğü gibi 1150 mbar basınçtan daha yüksek değerlere çıkması mümkündür. Bu deney çalışmasında ortamdan havanın emilmesinin kurutma süresine etkisi incelenmiş ve kuruma süresine etkisi büyük olmuştur.

## 5.2 Öneriler

Kurutma işlemi sırasında kurutucuya giren hava, kurutucuyu bir kerede geçerse, genellikle, sahip olduğu nem alma potansiyelinin hepsini kullanamadan kurutucu dışına çıkar. Havanın kurutma potansiyelinden yeterince yararlanabilmek için, kurutucu dışına çıkarılmadan önce, içeride birkaç kez dolaştırılıp nem içeriğinin belli bir değere ulaşması sağlanır. Kurutma işleminin uzamaması için genellikle havanın bağıl nemi %60-70 değerlerine ulaştıktan sonra kurutucu dışına çıkmasına izin verilir. Bu yöntemin uygulanması sırasında, önce çevreden alınan taze hava, bir ısıtıcıdan geçirilerek sıcaklığı yükseltilir ve kurutucuya gönderilir. Kurutucu içinden geçen hava çıkışa ulaştığında, istenen miktarda nem almamışsa, bir başka kanaldan tekrar emilip ısıtıcıya sokularak ilk sıcaklığına kadar yeniden ısıtılır ve kurutucuya gönderilir. Hava bu şekilde kurutma potansiyeli yeterince kullanılıncaya kadar birkaç kez aynı işlemde geçirilir, istenilen değere ulaşıldığında kurutucu dışına çıkarılırken çevreden taze hava emilip ısıtılarak kurutucuya verilir. Kuruma tamamlanana kadar bu işleme sürekli olarak tekrar edilerek devam edilir.

Bu yöntemin iki sakıncasından söz edilebilir: Bunlardan birincisi, kullanılan sıcak havanın mutlak neminin sürekli olarak artışı. İkincisi ise, zamanı geldiğinde havanın tümüyle değiştirilmesidir. Her iki nedenden, kuruma süreci sırasında malzemenin kuruma hızında farklılaşmalar meydana gelir. Bu durum kurumanın gelişiminde olumsuzluklara neden olduğu için söz konusu yöntem, zorunluluk olmadıkça uygulanmak istenmez. Kurutma tekniği açısından, kurutucuda sürekli olarak belli koşullardaki havanın kullanılması istenir. Enerji ekonomisini de göz önünde bulundurarak, sürekli taze hava kullanmaktansa, kurutucudan çıkan henüz kurutma potansiyelini tamamen kaybetmemiş durumdaki

kullanılmış havanın bir bölümü ile taze hava karıştırılıp, bu karışımın ısıtıcıdan geçirildikten sonra kullanılması daha uygun olmaktadır. Hava karışımı, sürekli olarak aynı sıcaklıkta ve nemde kurutucuya gireceğinden, kuruma oluşumu üzerinde olumsuz etkiler görülmez. Yeni (taze) ve kullanılmış havanın karışma oranları önceden belirlenebilir. Örneğin, %70 kullanılmış hava + %30 taze hava gibi. Bu karışım oranının belirlenmesi sırasında, kurutmayı aksatmamak koşuluyla kullanılmış havadan en fazla miktarda yararlanmak esas olmalıdır.

Kurutucu, havanın girişinde yoğunlaştırılma işlemine tabi tutulursa nem tutma oranı daha fazla olacaktır. Yoğunlaştırma sıcaklığı normal koşullar altında 4 °C olduğu düşünülürse bu da havanın soğumasına neden olacak havanın ısıtılması daha büyük maliyetler isteyecektir. Kuruma süresi ortamın bağıl nem oranıyla ters orantılıdır. Bağıl nem az olduğu durumda kuruma hızı artacaktır.

## 6.KAYNAKLAR

- Bingöl, Ş., 1992. Sebze İşleme Sanayisinde Girdi Kullanımı ile Verimlilik Sorunları ve Öneriler. Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları: 456, 184s. Ankara.
- Bozkurt, H., O. Erkmén. 2004. Effects of production techniques on the quality of hot pepper paste. Journal of Food Engineering, 64:173-178.
- Chin, K. B., J. T. Keeton, R. E. Lacey. 1996. Reduction of Drying Time for Pepperoni by Vacuum-Drying. Journal of Food Science, 61 (1):142-144, 148.
- Chua, K., J., Chou, S., K. 2005. A modular approach to study the performance of a two-stage heat pump system for drying, Applied Thermal Engineering, 25(8-9): pp. 1363-1379.
- Coşkun S. 1993. Kurutma işlemlerinde ısı pompası ile enerji tasarrufu sağlanmasının incelenmesi, yüksek lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa, s. 83-84.
- Coşkun S. 2000. Isı pompası yardımıyla sürekli kurutma sisteminin simülasyonu, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa, s. 124-125.
- Dachler and Pelzmann, 1989. Heil- und Gewürzpflanzen. Anbau Ernte Aufbereitung. Österreichischer Agrarverlag. Druck- und Verlagsgesellschaft
- Drouzas, A. E., Tsami, E., Saravacos, G. D., 1998. Microwave/vacuum drying of model fruit gels, Journal of Food Engineering 117-122.
- Ebert, K. 1982. Arznei- und Gewürzpflanzen. Ein Leitfaden für Anbau und Sammlung. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH Stuttgart.
- Evranuz, Ö. 1989. Gıda Maddelerinin Kurutulması Sırasında Kuruma Kinetiğini Kontrol Eden Faktörler ve Kalite Üzerine Etkileri. Gıda, 13 (1): s. 50 –58.
- Ganjyal, G. M., M. A. Hanna, D. S. K. Devadattam. 2003. Processing of Sapota (Sapodilla): Drying. Journal of Food Science, 68 (2):517-520.
- Grabowski, S., Mujumdar A.S., Ramaswamy H.S., Strumillo, C. 1997. Evaluation of fluidized versus spouted bed drying of baker's yeasts, Drying Technology, Vol.15, s.625-634.

- Göçmen, D., O. Gürbüz, R. L. Rouseff, J. M. Smoot, A. F. Dağdelen. 2004. Gas chromatographic-olfactometric characterization of aroma active compounds in sun-dried and vacuum-dried tarhana. *European Food Research and Technology*, 218 (6):573-578.
- Günerban, H. 2005. Endüstriyel kurutma sistemleri, *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi*, 36(13): s. 1-10, Mart-Nisan.
- K. Saricilik. 2007 Effect of drying methods on thin-layer drying characteristics of hull-less seed pumpkin, *Journal of Food Engineering*, 79: p26
- Heeger, E.F. 1956. *Handbuch des Arznei und Gewürzpflanzenbaues. Drogengewinnung*, Berlin.
- Kowalski, S.J., Musielak, G., Rybicki, A. 1997. The Response of Dried Materials to Drying Conditions. in: *Int. Journal of Heat Mass Transfer*, vol.40, no.5, 1217-1226.
- Lievense, L.C. 1991. *The Inactivation of Lactobacillus Plantarum During Drying*. Ph.D. Thesis, Wageningen University.
- Methakhup, S., N. Chiewchan, S. Devahastin. 2005. Effects of Drying Methods and Conditions on Drying Kinetics and Quality of Indian Gooseberry Flake. *Lebensm.-Wiss- u. Technol.*, 38(6): 579-587.
- Teeboonma, U., Tiansuwan, J., Soponronnarit, S. 2002. Optimization of heat pump fruit dryers, *Journal of Food Engineering*, 59: pp. 369-377
- Teymur, N. 1999. *Maydanoz Ve Dereotunun Kurutulması Ve Kuruma Karakteristiklerinin İncelenmesi*. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi(yayınlanmamış), İstanbul. s. 61.
- Thomas, P.P, Varma, Y.B.G. 1992. Fluidized bed drying of granular food materials. *Powder Technology*, pp. s. 213-222.
- Tsami, E., M. K. Krokida, A. E. Drouzas. 1999. Effect of Drying Method on The Sorption Characteristics of Model Fruit Powders. *Journal of Food Engineering*, 38:381-392.
- Toğrul H., Toğrul İ.T, İspir A., 2005. Mantarların İnce Tabaka Kuruma karakteristiklerinin İncelenmesi. III. Tarımsal Ürünleri Kurutma Çalıştayı, Antalya

- Tulunay, E. 1991. Akışkan yataklı yanma süreci donatım ve denetim temelleri, Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü I.Ulusal Sempozyumu, s. 127-137.
- Oktay Z. Hepbaslı A. 2003. Performance evaluation of a heat pump assisted mechanical opener dryer, Energy Conversion and Management, 44: s. 1193- 1207.
- Oktay, Z. 1997. Isı pompası destekli bir kurutucunun performansına etkiyen etkenlerin araştırılması, Tesisat Kongresi, s.1-2.
- Özbalta, N., Tırıs, Ç. 1992. Güneşli kurutucuda bazı sebze ve meyvelerin kuruma karakteristikleri, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü, İzmir, s. 1-2.
- Strumillo, C., Kudra, T., 1986. Drying: Principles, Applications and Design. Gordon and Breach Science Publishers.
- Uçkan, G. (1987) Akışkan yataklarda tanecikle gaz arasında ısı ve kütle geçişi, Mühendis ve Makine Dergisi, Sayı: 332, s. 21-24.
- Uçkan, G., Ülkü, S. 1986. Drying of corn grain in a batch fluidized bed drier, In Drying of Solids, Recent Developments, A.S. Mujumdar Ed., pp. 91-96.
- Vega – Mercado, H., Gángora – Nieto, M. M., Barbosa – Cánovas, G. V., 2001. Advances in Dehydration of Foods. Journal of Food Engineering, 49: pp. 271 – 289.
- Zahed, A.H., Zhu J.X. 1995. Modelling and simulation of batch and continuous fluidized bed dryers, Drying Technology, Vol.13, pp. 1-28.
- Quirijns, E.J., Willigenburg, L.G. Van, Boxtel, A.J.B. Van, 2000. New Perspectives for Optimal control of Drying Processes. International Symposium on Advanced Control of Chemical Processes Adchem 2000. Pisa, Italy, pp. 437-442.

## 6.1 İnternet Kaynakları

|                                                                                                     | Erişim Tarihi |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| <a href="http://www.kurutma.net/">http://www.kurutma.net/</a>                                       | 12.02.2007    |
| <a href="http://www.kongre.org/makina/teskon97/046/">http://www.kongre.org/makina/teskon97/046/</a> | 22.03.2007    |
| <a href="http://www.gidadernegi.org">http://www.gidadernegi.org</a>                                 | 18.06.2008    |
| <a href="http://www.gunessistemleri.com">http://www.gunessistemleri.com</a>                         | 22.08.2009    |
| <a href="http://www.dryerturk.com">http://www.dryerturk.com</a>                                     | 08.02.2010    |
| <a href="http://tez2.yok.gov.tr/">http://tez2.yok.gov.tr/</a>                                       | 10.03.2010    |
| <a href="http://www.thefarm.org">http://www.thefarm.org</a>                                         | 16.03.2010    |

## 7. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Hasan Dündar

Doğum Yeri: Eskişehir

Doğum Yılı: 20.07.1984

Medeni Hali: Bekar

### Eğitim ve Akademik Durumu

Lise: 1986-2001 – Atatürk Teknik Lisesi (Makine Bölümü)

Lisans: 1990-1998 – Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi (Makine Eğitimi Bölümü)

Yabancı Dil: İngilizce

### İş Deneyimi

2006-2009: Berkel Makine, fikstür ve mastar tasarımı yapan firmada tasarımcı olarak çalışmıştır.

2009-.....: ESABİGEM Eskişehir Avrupa Birliği İş Geliştirme ve Eğitim Merkezinde CNC Eğitim merkezin sorumlusu ve eğitmeni olarak görev almaktadır.

### **EK-1 Tünel Tipi Vakum Altında Akışkan Kurutucu Prototip Sisteminde Yapılan Deney Çalışmaları Bulguları**

80 mbar basınç altında kurutucu sisteminden alınan sonuçlar.

| Süre (dk) | Ortalama Sıcaklık (°C) | Basıç (mbar) | Hava hızı m/s | İlk Ağırlık (gr) | Son Ağırlık (gr) |
|-----------|------------------------|--------------|---------------|------------------|------------------|
| 15        | 42                     | 80           | 0             | 410              | 406              |
| 30        | 44                     | 80           | 0             | 406              | 397              |
| 45        | 46                     | 80           | 0             | 397              | 388              |
| 60        | 45                     | 80           | 0             | 388              | 379              |
| 75        | 46                     | 80           | 0             | 379              | 367              |
| 90        | 46                     | 80           | 0             | 367              | 352              |
| 105       | 46                     | 80           | 0             | 352              | 338              |
| 120       | 45                     | 80           | 0             | 338              | 323              |
| 135       | 46                     | 80           | 0             | 323              | 307              |
| 150       | 46                     | 80           | 0             | 307              | 292              |
| 165       | 46                     | 80           | 0             | 292              | 275              |
| 180       | 48                     | 80           | 0             | 275              | 264              |
| 195       | 50                     | 80           | 0             | 264              | 258              |
| 210       | 52                     | 80           | 0             | 258              | 252              |
| 225       | 54                     | 80           | 0             | 252              | 250              |
| 240       | 58                     | 80           | 0             | 250              | 249              |

### EK-1 Devamı

Kesikli vakum altında kurutma deneyinden alınan sonuçlar

| Süre (dk) | Ortalama Sıcaklık (°C) | Basınç (mbar) | Hava hızı m/s | İlk Ağırlık (gr) | Son Ağırlık (gr) |
|-----------|------------------------|---------------|---------------|------------------|------------------|
| 15        | 41                     | 220           | 2             | 382              | 378              |
| 30        | 60                     | 80            | 0             | 378              | 370              |
| 45        | 42                     | 220           | 2             | 370              | 362              |
| 60        | 62                     | 80            | 0             | 362              | 352              |
| 75        | 44                     | 220           | 2             | 352              | 340              |
| 90        | 63                     | 80            | 0             | 340              | 327              |
| 105       | 46                     | 220           | 2             | 327              | 313              |
| 120       | 64                     | 80            | 0             | 313              | 299              |
| 135       | 47                     | 220           | 2             | 299              | 284              |
| 150       | 65                     | 80            | 0             | 284              | 267              |
| 165       | 49                     | 220           | 2             | 267              | 251              |
| 180       | 66                     | 80            | 0             | 251              | 240              |
| 195       | 52                     | 220           | 2             | 240              | 238              |

220 mbar basınç altında kurutucu sisteminden alınan sonuçlar

| Süre (dk) | Ortalama Sıcaklık (°C) | Basınç (mbar) | Hava hızı (m/s) | İlk Ağırlık (gr) | Son Ağırlık (gr) |
|-----------|------------------------|---------------|-----------------|------------------|------------------|
| 15        | 50                     | 220           | 2               | 392              | 377              |
| 30        | 52                     | 220           | 2               | 377              | 364              |
| 45        | 54                     | 220           | 2               | 364              | 351              |
| 60        | 54                     | 220           | 2               | 351              | 340              |
| 75        | 55                     | 220           | 2               | 340              | 325              |
| 90        | 58                     | 220           | 2               | 325              | 310              |
| 105       | 57                     | 220           | 2               | 310              | 297              |
| 120       | 58                     | 220           | 2               | 297              | 283              |
| 135       | 59                     | 220           | 2               | 283              | 269              |
| 150       | 60                     | 220           | 2               | 269              | 258              |
| 165       | 60                     | 220           | 2               | 258              | 250              |
| 180       | 62                     | 220           | 2               | 250              | 248              |

## EK-2 Vakum Altında Hava Çevrimli Kurutucu Sistemde Deney Bulguları

80 mbar basınç altında termodinamik kurutma işleminden alınan sonuçlar

| Süre (dk) | Ortalama Sıcaklık (°C) | Basınç (mbar) | Hava hızı (m/s) | İlk Ağırlık (gr) | Son Ağırlık (gr) |
|-----------|------------------------|---------------|-----------------|------------------|------------------|
| 15        | 42                     | 220           | 0               | 382              | 378              |
| 30        | 61                     | 80            | 0               | 378              | 370              |
| 45        | 43                     | 220           | 0               | 370              | 362              |
| 60        | 62                     | 80            | 0               | 362              | 352              |
| 75        | 45                     | 220           | 0               | 352              | 340              |
| 90        | 64                     | 80            | 0               | 340              | 327              |
| 105       | 47                     | 220           | 0               | 327              | 313              |
| 120       | 63                     | 80            | 0               | 313              | 299              |
| 135       | 48                     | 220           | 0               | 299              | 284              |
| 150       | 65                     | 80            | 0               | 284              | 267              |
| 165       | 49                     | 220           | 0               | 267              | 251              |
| 180       | 66                     | 80            | 0               | 251              | 240              |
| 195       | 52                     | 220           | 0               | 240              | 235              |

220mbar basınç altında hava çevrimli termodinamik kurutucu deney çalışmasından alınan sonuçlar

| Süre (dk) | Ortalama Sıcaklık (C°) | Basıç (mbar) | Hava hızı (m/s) | İlk Ağırlık (gr) | Son Ağırlık (gr) |
|-----------|------------------------|--------------|-----------------|------------------|------------------|
| 0         | 25                     | 220          | 0               | 422              | 422              |
| 15        | 51                     | 220          | 0               | 422              | 397              |
| 30        | 53                     | 220          | 0               | 397              | 373              |
| 45        | 55                     | 220          | 0               | 373              | 347              |
| 60        | 54                     | 220          | 0               | 347              | 316              |
| 75        | 55                     | 220          | 0               | 316              | 287              |
| 90        | 58                     | 220          | 0               | 287              | 267              |
| 105       | 58                     | 220          | 0               | 267              | 254              |
| 120       | 59                     | 220          | 0               | 254              | 251              |

### EK-3 Tünel Tipi Kurutucu Deney Bulguları

Tünel tipi kurutucuda hava kurutma kullanılmadan yapılan deney çalışması sonuçları:

| Süre (dk) | Ortalama Sıcaklık (°C) | Basınç (mbar) | Hava hızı (m/s) | İlk Ağırlık (gr) | Son Ağırlık (gr) |
|-----------|------------------------|---------------|-----------------|------------------|------------------|
| 0         | 40                     | 800           | 10              | 600              | 600              |
| 15        | 58                     | 800           | 10              | 600              | 528              |
| 30        | 57                     | 800           | 10              | 528              | 480              |
| 45        | 58                     | 800           | 10              | 480              | 432              |
| 60        | 62                     | 800           | 10              | 432              | 368              |
| 75        | 64                     | 800           | 10              | 368              | 360              |

Tünel tipi kurutucuda hava kurutma kullanılarak yapılan deney çalışması sonuçları:

| Süre (dk) | Ortalama Sıcaklık (°C) | Basınç (mbar) | Hava hızı (m/s) | İlk Ağırlık (gr) | Son Ağırlık (gr) |
|-----------|------------------------|---------------|-----------------|------------------|------------------|
| 0         | 46                     | 800           | 10              | 520              | 520              |
| 15        | 56                     | 800           | 10              | 520              | 406              |
| 30        | 58                     | 800           | 10              | 406              | 349              |
| 45        | 57                     | 800           | 10              | 349              | 321              |
| 60        | 62                     | 800           | 10              | 321              | 311              |