

**T.C.**  
**SELÇUK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TARIM ÜRÜNLERİNİN KURUMA KARAKTERİSTİKLERİNİ BELİRLEMEK  
İÇİN BİR DENEY SETİ TASARIMI, İMALATI VE  
DENENMESİ**

**Osman BABAYİĞİT**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**KONYA, 2010**

**T.C.**  
**SELÇUK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TARIM ÜRÜNLERİNİN KURUMA KARAKTERİSTİKLERİNİ  
BELİRLEMEK İÇİN BİR DENEY SETİ TASARIMI, İMALATI VE  
DENENMESİ**

Osman BABAYİĞİT

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

KONYA, 2010

Bu tez .../ .../ 2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından  
oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Şefik BİLİR    Prof. Dr. Saim KOÇAK    Yrd. Doç. Dr. Ali KAHRAMAN

(Danışman)

(Üye)

(Üye)

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### TARIM ÜRÜNLERİNİN KURUMA KARAKTERİSTİKLERİNİ BELİRLEMEK İÇİN BİR DENEY SETİ TASARIMI, İMALATI VE DENENMESİ

Osman BABAYİĞİT

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Şefik BİLİR

2010, 50 Sayfa

Jüri:

Prof. Dr. Şefik BİLİR

Prof. Dr. Saim KOÇAK

Yrd. Doç. Dr. Ali KAHRAMAN

Bu çalışmada, tarımsal ürünlerin farklı koşullarda kuruma karakteristiklerinin belirlenmesine yönelik bir konveksiyon tipi kurutma deney seti tasarlanmış ve imal edilmiştir. Deney seti; şartlandırma ünitesi, kurutma kabini, çıkış havası ile taze havanın karıştırıldığı karışım ünitesi, otomatik kontrol sistemi ve kanal bağlantılarından oluşmaktadır. Şartlandırma ünitesi, gereken zamanlarda ayrı ayrı veya birlikte devreye girebilen ısıtma, soğutma/ soğutarak kurutma ve nemlendirme cihazları içermektedir. Deney seti ile ortamdan alınan taze hava,  $-5/+80$  °C sıcaklık,  $0/3$  m/s hız ve %2/70 bağıl nem değerleri arasında istenilen ölçüde şartlandırılmakta ve bu değerler sabit tutularak kabin içinde ürüne üflenmektedir.

Tarım ürünlerinin kuruma karakteristiklerinin incelendiği çalışmalarda genellikle, kurutma havasının sıcaklık ve hız değerlerinin, ürünün şeklinin ve boyutunun kurutmaya etkilerinin araştırıldığı görülmektedir. Tasarlanan deney seti ile belirtilen parametrelere ek olarak havanın bağıl nemi de hassas olarak kontrol edilebilmektedir. Söz konusu parametreler değiştirilerek yapılacak deneyler sonucunda tarım ürünlerinin kuruma karakteristikleri ve her bir parametrenin ürünün kuruma davranışına etkisi daha hassas olarak belirlenebilecektir.

Deney setinin test edilmesi için, Konya ve çevresinde çokça yetişen Golden cinsi elma (*Malus Domestica*) ile kurutma havasının iki farklı sıcaklık, 60, 70 °C, iki farklı hız, 1.5 ve 2 m/s ve iki farklı bağıl nem, %10 ve %15 değerleri ile deneyler yapılmış ve örnek kurutma karakteristik eğrileri elde edilmiştir. Beklenildiği gibi kurutma havasının sıcaklığı ve hızı arttıkça, bağıl nemi ise azaldıkça üründen uzaklaşan nem miktarının arttığı ve bunun sonucunda da kurutma süresinin kısaldığı belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kurutma, Kuruma Karakteristiği, Kuruma hızı, Konveksiyon kurutucu, Nem kontrolü

## **ABSTRACT**

### **PhD Thesis**

## **DESIGN, MANUFACTURING AND TESTING OF AN EXPERIMENTAL SET-UP FOR INVESTIGATING THE DRYING CHARACTERISTICS OF AGRICULTURAL PRODUCTS**

**Osman BABAYİĞİT**

**Selçuk University**

**Department of Mechanical Engineering**

**Advisor: Prof. Dr. Şefik BİLİR**

**2010, 50 Pages**

#### **Jury:**

**Prof. Dr. Şefik BİLİR**

**Prof. Dr. Saim KOÇAK**

**Assist. Prof. Dr. Ali KAHRAMAN**

An experimental set-up for convection type drying systems is designed and manufactured for investigating the drying characteristics of agricultural products in different conditions. The set-up consists of a conditioning unit, drying cabin, fresh air and exhaust air mixing chamber, automatic control system and duct connections. The conditioning unit includes heating, cooling/dehumidifying by cooling and humidifying devices which may operate individually or together when required. Fresh environmental air is induced and conditioned as desired, i.e.; in temperature between -5 and +80 °C, in relative humidity between 2 and 70% and in velocity between 0 and 3 m/s and by keeping these parameter values constant is blown upon the product in the cabin.

Research works on this subject usually investigate the effects of temperature and velocity of drying air and the shape and dimensions of the product on drying characteristics. In the system designed, additionally the relative humidity of the drying air is also controlled precisely. Performing the experiments by changing the parameter values, the characteristic drying curves for agricultural products and the effects of each parameter on drying behavior will be determined precisely

For testing purposes, some experiments were conducted on the set-up and some preliminary characteristic drying curves are obtained for apples of Golden type (*Malus Domestica*), which is produced in large amounts in Konya. In the experiments, two different temperature, 60 and 70 °C, two different velocity, 1.5 and 2 m/s and two different relative humidity, 10% and 15%, values of the drying air are used. It is observed as expected that the rate of moisture removal from the product is increasing and the time of drying is decreasing with the increase of temperature and velocity and with the decrease of relative humidity of drying air.

**Keywords:** Drying, Drying characteristics, Drying rate, Convection type drying, Moisture control

## ÖNSÖZ

Kurutma ürün çeşitliliğinin çok ve her ürünün kuruma özelliklerinin farklı olması nedeniyle oldukça kapsamlı bir konudur. Gerek endüstriyel ve gerekse tarımsal ürünlerde çok çeşitli yöntemlerle kurutma işlemi gerçekleştirilmektedir. Ticari anlamda bakıldığında da birçok sektörde uygulama bulan kurutma işlemi; kullanılabilirlik, ürün kalitesi, yatırım ve işletme maliyetleri açısından detaylı olarak incelenmek zorundadır. Bu kapsamda; geliştirilen deney sisteminde çeşitli ürünlerin kuruma özelliklerinin belirlenmesi, uygulama alanında tasarlanacak sistemlere yol gösterici olacaktır.

Bu çalışmanın oluşturulmasını sağlayan danışmanım sayın Prof. Dr. Şefik BİLİR' e, hiçbir zaman desteğini esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Selçuk DARICI' ya, proje arkadaşım Arş. Gör. Soner ŞEN' e, ihtiyacım olan bilgilere ulaşmamı sağlayan Doç. Dr. Muammer ÖZGÖREN' e teşekkürü bir borç bilirim.

Sistemin kurulumunu yapan Devpet Ltd. Şti. 'ne, sistemin kurulması için gerekli malzemelerin sağlanmasında yardımcı olan Azak Soğutma Ltd. Şti.'ne ve çalışanlarına, İzmir' de bizleri konuk ederek, yaptıkları çalışmalar hakkında bize bilgi verip bize yol gösteren Ege Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine ayrıca teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
SİMGELER.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Kurutma Sürecinin Temelleri.....	2
1.2. Kurutma Yöntemleri.....	3
1.2.1. Konveksiyon veya ısı yayımlı kurutma.....	4
1.2.2. Kontak veya temas ile kurutma.....	4
1.2.3. Işınım yolu ile kurutma.....	4
1.2.4. Dielektrik kurutma.....	5
1.2.5. Dondurarak (freeze) kurutma.....	5
1.2.6. Ozmotik Kurutma.....	5
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	7
3. TEORİK ESASLAR.....	10
3.1. Kurutma Hızını Etkileyen Faktörler.....	10
3.2. Kurutma Deney Setinin Tasarımı.....	11
3.2.1. Sistem elemanları ve kapasitelerinin belirlenmesi.....	13
3.2.1.1. Havalandırma kanalları.....	13
3.2.1.2. Fanlar.....	14
3.2.1.3. Damperler.....	14
3.2.1.4. Isıtıcı.....	14
3.2.1.5. Soğutma grubu.....	16
3.2.1.6. Nemlendirme ünitesi.....	21
3.2.1.7. Ölçüm elemanları ve otomatik kontrol sistemi.....	22
3.2.1.8. Kabin.....	26
4. ÖRNEK DENEYLER.....	28
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	38



6. KAYNAKLAR.....	39
-------------------	----

## SİMGELER

$A_{kanal}$	havalandırma kanalı kesit alanı	$m^2$
$D_R$	kuruma hızı	-
$h_g$	kurutma havası giriş entalpisi	$kJ/kg$
$h_i$	istenen kurutma havası entalpisi	$kJ/kg$
$h_s$	soğutucu çıkışında kurutma havası entalpisi	$kJ/kg$
$h_1$	psikrometrik diyagramda kurutma havasının, basınç-entalpi diyagramında R22 soğutucu akışkanın 1 noktasındaki entalpisi	$kJ/kg$
$h_2$	psikrometrik diyagramda kurutma havasının, basınç-entalpi diyagramında R22 soğutucu akışkanın 2 noktasındaki entalpisi	$kJ/kg$
$h_{2s}$	basınç-entalpi diyagramında R22 soğutucu akışkanının izentropik durumda kompresör çıkışındaki entalpisi	$kJ/kg$
$h_3$	psikrometrik diyagramda kurutma havasının, basınç-entalpi diyagramında R22 soğutucu akışkanın 3 noktasındaki entalpisi	$kJ/kg$
$h_4$	basınç entalpi diyagramında R22 soğutucu akışkanın 4 noktasındaki entalpisi	$kJ/kg$
$h_5$	psikrometrik diyagramda kurutma havasının 5 noktasındaki entalpisi	$kJ/kg$
$\dot{m}_{hava}$	kurutma havası debisi	$kg/s$
$\dot{m}_s$	R22 soğutucu akışkan debisi	$kg/s$
$\dot{m}_w$	nemlendiriciden sağlanması gereken maksimum nem miktarı	$kg/h$
$\dot{m}_{w1-5}$	psikrometrik diyagramda 1 ve 5 noktaları arasında kurutma havasına verilen nem miktarı	$kg/h$
$\dot{m}_{w3-5}$	psikrometrik diyagramda 3 ve 5 noktaları arasında kurutma havasına verilen nem miktarı	$kg/h$

$M_k$	ürünün kuru ağırlığı	g
$M_{kb}$	kuru baza göre nem içeriği	%
$M_s$	ürün içerisindeki suyun ağırlığı	g
$M_{yb}$	yaş baza göre nem içeriği	%
$Q_{ısıtıcı}$	ısıtıcı kapasitesi	kW
$Q_{soğutucu}$	soğutucu kapasitesi	kW
$Q_y$	yoğuşturucu kapasitesi	kW
$Q_{1-5}$	psikrometrik diyagramda 1 ve 5 noktaları arasında kurutma havasına verilen ısı miktarı	kW
$Q_{3-5}$	psikrometrik diyagramda 3 ve 5 noktaları arasında kurutma havasına verilen ısı miktarı	kW
$T_b$	R22 buharlaşma sıcaklığı	°C
$T_g$	kurutma havası giriş sıcaklığı	°C
$T_i$	istenen kurutma havası sıcaklığı	°C
$T_{max}$	kurutma havası maksimum sıcaklığı	°C
$T_s$	soğutucunun çalışma sıcaklığı	°C
$T_y$	R22 yoğuşma sıcaklığı	°C
$w_g$	kurutma havası giriş özgül nemi	kg/kg kh
$w_i$	istenen kurutma havası özgül nemi	kg/kg kh
$w_1$	psikrometrik diyagramda 1 noktasındaki kurutma havasının özgül nemi	kg/kg kh
$w_3$	psikrometrik diyagramda 3 noktasındaki kurutma havasının özgül nemi	kg/kg kh
$w_5$	psikrometrik diyagramda 5 noktasındaki kurutma havasının özgül nemi	kg/kg kh
$V_{max}$	kurutma havası maksimum hızı	m/s
$V_{min}$	kurutma havası minimum hızı	m/s

$W_k$	kompresör gücü	kW
$\rho_{hava}$	hava yoğunluğu	kg/m <sup>3</sup>
$\phi_g$	kurutma havası giriş bağıl nemi	%
$\phi_i$	istenen kurutma havası bağıl nemi	%
$\phi_{min}$	kurutma havası minimum bağıl nemi	%
$\phi_s$	soğutucu çıkışında kurutma havası bağıl nemi	%
$\eta_k$	kompresör verimi	%
$\eta_{em}$	elektrik motor verimi	%
$\eta_{kk}$	kayış kasnak verimi	%
$\eta_{mk}$	mekanik verim	%

## 1. GİRİŞ

Tarım ürünleri insanların beslenmesinde çok önemli bir yere sahiptir. Tarım ürünlerinin, yılın belirli zamanlarında elde edilmesi ve kısa süre içerisinde tüketilmesinin gerekmesi nedeniyle, çeşitli yöntemlerle saklanması gerekir. Bu yöntemlerden birisi de en çok dikkat çeken ve ilk çağlardan itibaren kullanılan kurutma işlemidir. Kurutma işlemi basitçe; ürünlerden nemin uzaklaştırılması olarak tanımlanabilir. Doğada kendiliğinden de gerçekleşen kurutma işleminin uzun sürmesi, kurutulan ürünün çevredeki kirlenici etkenlerden olumsuz yönde etkilenmesi ve besleyici özelliklerini de önemli ölçüde kaybetmesi kurutmanın özel olarak tasarlanan kurutucularda yapılmasını yaygınlaştırmıştır. Ancak tarım ürünlerinin çeşitliliği ve her birinin kendine özgü özellikleri hepsi için geçerli bir kurutma tekniğinin geliştirilmesini olanaksız kılmaktadır. Ürünün sahip olduğu niteliklerden en az kayıpla saklanmasını sağlayacak başarılı bir kurutma uygulamasının yapılabilmesi için, ürünün özelliklerinin yanı sıra kurutma ile ilgili teorik ve pratik bilgilerin de iyi bilinmesi gerekir.

Günümüzde kurutma işlemi yalnızca tarım ürünleri için değil, çok çeşitli endüstriyel ürünler için de kullanılmaktadır. Tekstil, çimento, kimya, kâğıt sanayilerinde kurutma işlemi çok önemli bir süreçtir. Endüstriyel ürünler, üretim esnasında bir takım yaş işlemlere tabi tutulabildiği için farklı aşamalarda kurutulmaları gerekebilmektedir. Ürünlerden istenen özelliklerin alınabilmesi ve verimliliğin en üst düzeyde elde edilebilmesi için kurutma işleminin hassas olarak yapılması gereklidir.

Kurutma işleminin amacı genel olarak şu şekilde özetlenebilir:

- Mikroorganizmaların gelişmesini önleyerek ürünün bozulma olasılığını azaltmak için ürünün nem içeriğini belli bir seviyenin altına indirmek
- Ürünün nem içeriğinin düşürülmesi ve hacminin azalmasından dolayı paketleme, depolama ve taşıma işlemlerinin maliyetlerinin azaltılması.
- Ürünün raf ömrünün artırılması.
- Gıdaların dört mevsim tüketilmesinin sağlanarak karlılığın artırılması.

Görüldüğü gibi kurutma işlemi; çok gerekli ancak farklı parametrelerin uygun seviyelerde belirlenmesini gerektiren hassas bir süreçtir. İşte bu bağlamda parametrelerin değiştirilerek ürünlerin kuruma karakteristiklerinin ve en verimli kuruma şartlarının belirlenebilmesi, projenin önemini ortaya koymaktadır.

Bu projede de hedeflenen; farklı ürünlerin kurutulmasını sağlayabilecek aynı zamanda da hava hızının, sıcaklığının ve bağıl neminin farklı değerlerde tutularak ürünler üzerindeki etkilerini karşılaştırabilecek deney setinin tasarlanmasıdır.

### 1.1. Kurutma Sürecinin Temelleri

Kurutma sürecinin temel hedefi; ürün içindeki nemin uzaklaştırılmasıdır. Nem, bağıl nem ve bağıl olmayan nem olmak üzere ikiye ayrılır. Ürün içerisinde sıvı formda hapsedilmiş olarak bulunan neme bağıl nem denir ve bu nemin buhar basıncı aynı sıcaklıktaki serbest suyun buhar basıncından daha düşüktür. Bağıl nemin ürün içerisinde aşırı miktarda bulunması durumundaki neme de bağıl olmayan nem adı verilir. Bağıl olmayan nemin buhar basıncı, aynı sıcaklıktaki serbest suyun buhar basıncına eşittir.

Ürün içerisinde bulunan nemin kuru maddeye oranı nem içeriği olarak adlandırılır (Strumillo and Kudra 1986). Nem içeriği; kuru baza göre nem içeriği ve yaş baza göre nem içeriği olmak üzere iki şekilde ifade edilebilir.

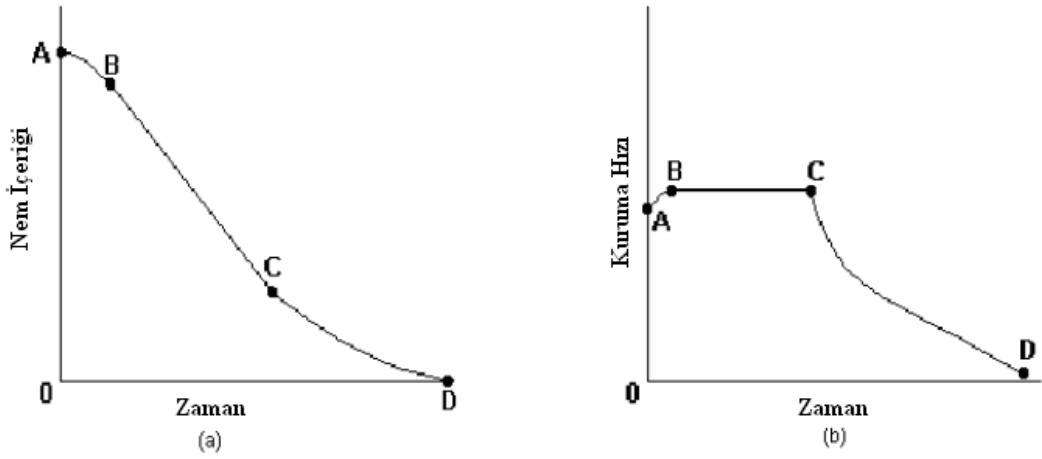
$$\text{kuru baza göre nem içeriği: } \% M_{kb} = \frac{M_s}{M_k} \times 100 \quad (1.1)$$

$$\text{yaş baza göre nem içeriği: } \% M_{yb} = \frac{M_s}{M_s + M_k} \times 100 \quad (1.2)$$

$M_s$  ürün içerisindeki suyun ağırlığı,  $M_k$  ise ürünün kuru ağırlığıdır.

Havada bulunan su buharının kısmi basıncı ile üründe bulunan suyun buhar basıncı birbirine eşit olduğunda denge durumu oluşur. Bu durumdaki nem içeriğine minimum nem oranı da denilmektedir.

Ürün içerisindeki tüm boşlukların su ile dolu olduğu durum, maksimum nem oranı olarak adlandırılır. Şekil 1.1'de herhangi bir ürünün kurutulması sırasında nem içeriğinin ve kurutma hızının zamana bağlı değişimi gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Nem içeriği (a) ve kurutma hızının (b) zamana bağlı değişimleri.

Şekil 1.1'den de görüleceği üzere kurutma süreci farklı alt bölümlerden oluşmaktadır. A-B bölümüne ısınma periyodu, B-C bölümüne sabit hız periyodu ve son bölüm olan C-D bölümüne ise azalan hız periyodu adı verilir. C noktasındaki nem içeriğine ise kritik nem oranı denilmektedir. İkinci dönem olan sabit hız döneminde kurutulan ürünün su verebilme kapasitesi, havanın su alabilme kapasitesine eşittir. Kurutma hızı yüzeye iletilen ısı oranı ile kontrol edilir. Ürün yüzeyindeki su, buharlaşarak havaya geçer. Sabit kurutma hızını etkileyen üç faktör vardır: ısı ve kütle transfer katsayıları, kurutulacak maddenin yüzeyi, hava ve madde yüzeyi arasındaki sıcaklık ve nem oranı farklılıkları. Son dönemde ise ürünün su verebilmesi, nem içeriğinin de düşmesi ile havanın su alabilme kapasitesinden daha düşüktür ve dolayısıyla kuruma hızı azalır. Bu dönem kritik nem oranı ile başlar. Kurutma süresince nem içeriği bu kritik değere düşmüyorsa, tüm kurutma sabit hız periyodunda gerçekleşir. Eğer kurutma başlangıcında maddenin nem içeriği kritik nem oranının altında ise kurutma yalnızca azalan hız periyodunda gerçekleşir.

## 1.2. Kurutma Yöntemleri

Kurutulacak ürünlerin çok çeşitli olması ve her ürünün farklı özelliklere sahip olması nedeniyle kurutma işlemi de çeşitlilik göstermektedir. Ayrıca kurutma

sürecinde gerekli ısıyı sağlamanın da farklı yöntemleri bulunmaktadır. Bununla birlikte kurutma işleminde genel olarak kullanılan yöntemler aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

### **1.2.1. Konveksiyon veya ısı yayımlı kurutma**

Isı, ürün yüzeyine genellikle sıcak hava ile uygulanır. Buharlaştırma ısısı ürün yüzeyine taşınım ile aktarılır ve ürün içerisindeki nem kurutma havası ile uzaklaştırılır. Bu tip kurutucular doğrudan kurutucu olarak da adlandırılır. Bu tip ısıtma yöntemi granüler, tabaka veya kek formundaki yaş maddelerin kurutulması için uygundur. Akışkan yataklı, döner, püskürtmeli tipindeki kurutucular bu sınıfa birer örnektir (Kanarya 2002).

### **1.2.2. Kontak veya temas ile kurutma**

Dolaylı kurutucu olarak da adlandırılan kontak tipli kurutucular genelde ince veya çok yaş maddeler için uygundur. Buharlaştırma ısısı sabit veya hareketli olan ısıtılmış yüzeyler ile sağlanır. Bu yüzeyler; maddeyi tutacak, taşıyacak veya bölümlere ayıracak biçimde kurutucu içine yerleştirilir. Kurutma sırasında nem vakum yoluyla veya sisteme gaz akışı sağlanmasıyla uzaklaştırılır. İnce sulu çimento ve çamur gibi maddelerin kurutulmasında kullanılan buhar tüplü döner kurutucular ve tambur tipli kurutucular bu kurutma yöntemine örnek olarak verilebilir (Kanarya 2002).

### **1.2.3. Işınım yolu ile kurutma**

Kurutulacak malzemeye 0.76 – 400 µm dalga boyunda elektromagnetik ışınım ile ısı uygulanır. Bu dalga boyundaki ışınım kızılötesi ışınım diye adlandırılır ve malzemenin yüzeyine nüfuz eder. Madde yüzeyi ise gelen ışınımın bir bölümünü



soğurur. Genellikle kaplamaları, ince filmleri ve tabakaları kurutmak için kullanılır. Yatırım ve işletme maliyetinin yüksek olması sebebiyle daha çok, nem uzaklaştırma süreci zor olan malzemelerde veya değerli ürünlerin kurutulmasında tercih edilen bir yöntemdir (Kanarya 2002).

#### **1.2.4. Dielektrik kurutma**

Bu tip kurutmada, radyo frekansına veya mikrodalga bölgesinde çok yüksek frekansa sahip bir elektromagnetik alana yerleştirilen malzemenin içerisinde meydana gelen moleküler sürtünmenin sonucu olarak ısı açığa çıkar. Suyun dielektrik sabiti birçok katı malzemenin dielektrik sabitinden daha yüksek olduğu için ısı malzemenin su içeren kısmında üretilir (Strumillo and Kudra 1986).

#### **1.2.5. Dondurarak (freeze) kurutma**

Bu kurutma işleminde ürünlerin sıcaklığı  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  ye kadar düşürülür. Soğutulan ürünler vakum kabinlerindeki tepsilere yerleştirilerek dikkatli bir şekilde ısıtılır. Ürün içerisinde donmuş halde bulunan su sıvı faza geçmeden direk olarak buhar fazına geçerek üründen uzaklaşır. Gerçekleşen bu işleme süblimleşme denilmektedir. Genellikle bu yöntem; hazır kahve, çay ve hazır çorba üretiminde kullanılır.

#### **1.2.6. Ozmotik Kurutma**

Bu yöntem, gıda maddelerinin içerdikleri nemin uzaklaştırılması amacıyla, bütün veya parçalar halinde yüksek derişimli çözeltilerin içerisine konulmasıdır. Gıda maddelerinin içerisinde bulunan nemin ozmotik basıncı, daldırıldığı derişik çözeltilinin ozmotik basıncından daha düşük olduğu için gıda maddelerinden çözeltiliye nem transferi gerçekleşir. Bu yöntemle ürünün bağılı nem oranındaki azalma yeterli olmayacağından, bu yöntem ön işlem olarak tercih edilmektedir. Ürünün içine

daldırılacağı ozmoaktif ortam, çeşitli sıcaklık ve konsantrasyonlarda olmak üzere genellikle meyveler için şeker, sebzeler için tuz eriyiklerinden hazırlanır (Yağcıoğlu 1999).

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Cemeroğlu B. (1986), çalışmasında kurutmanın bilimsel temellerini, nemli havanın özelliklerini, psikrometri kavramını, kurutma olgusunu, kurutmada meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişmeleri, kurutma sistemleri hakkında genel bilgileri ve meyve ve sebze kurutma ile ilgili yöntemleri açıklamıştır.

Zhang ve Litchfield (1991), mısırın n kurutma ve kurutma süreçlerini incelemek için ince tabakalı kurutucu tasarlamıştır. Kuruma hızı ve enerji verimliliğine önem vererek denemeler yapmışlardır. Bu çalışmanın sonuçlarına göre yüksek kuruma hızı istenildiğinde en iyi yöntem; n kurutma, tavlama, son kurutma süreçlerinin gerçekleştirilmesidir.

zbalta N. ve Güngör A. (1997), bu çalışmada endüstride kullanılan kurutucuların sınıflandırılması, kurutucu seçimine etki eden parametreler, kurutma sistemlerinde kütle ve enerji dengeleri, kuruma hızının belirlenmesi, malzemenin nem içeriğinin saptanması incelenmiştir. Kurutma sistemlerinde enerji tasarrufu, kurutucu tasarımında dikkate alınması gereken noktalar genel hatları ile verilmiştir.

Midilli ve ark (1999), mantar ve polenin kuruma dönemlerini araştırmışlardır. Deneyleerde mantarları laboratuvar ortamında gölgede, güneşte atmosferik şartlarda ve polenleri de güneşli atmosfer şartlarındaki elektrikli ısıtıcılı kurutma kabininde kurutmuşlardır. Polen deneylerinde kurutma kabinini 45  C sıcaklığa ayarlamışlar ve kütle kaybını hesaplamışlardır. Bu alışma ile mantar ve polenlerin kurutma eğrilerini çıkartmışlar ve kütle değişim oranını, nem oranını ve sıcaklıkla kuruma zamanı değişimini sunmuşlardır. Mantarların kurutma kabininde 50  C sıcaklıktaki hava ile 5 – 6 saatte vakumlu olarak kurutulması gerektiği ve polenlerin de 40 – 45  C sıcaklıktaki hava ile 2.5 – 3 saatte renk koku kaybı ve yapı bozulması olmadan kuruduğu sonucuna varmışlardır.

Sarsavadia ve ark (1999), yapmış oldukları çalışmada, soğanları elle soyup elektrikli dilimleme makinesi ile dilimlemişler ve kurutma havası sıcaklığı, bağıl nemi ve hızının, ayrıca dilim kalınlığının soğanın kuruma karakteristiklerine ve kalite kıstaslarına etkilerini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, kurutma havası sıcaklığının 65  C nin üzerine çıkması kalitede azalmaya neden olmaktadır. Hava

hızının 0.5 m/s nin üzerinde olması, kurutma süresi ve renkte etkili olmadığından enerji tasarrufu açısından bu değerin üzerine çıkmamışlardır. Yeniden su alma kapasitesi 75 °C sıcaklıkta, 25 °C sıcaklıktakinden daha hızlıdır, ancak alınan su miktarında bir değişme yoktur. Kuru soğanlar ilk nem içeriklerinin yaklaşık %90 ına ulaşırlar. Kalite açısından 60 °C en uygun sıcaklıktır. 2 ve 4 mm lik dilim kalınlığı kalite kıstasları açısından en uygun değerlerdir.

Olgun ve Rzayev (2000), güneş enerjisi ile üç farklı sistemde fındığın kurutulmasını deneysel olarak incelemişlerdir. Kabinet tipi, dolap tipi ve çadır tipi olmak üzere üç sistemde fındığı kurutmuşlar. Yaptıkları sistemlerde, açık havada fındığın 82 saat civarında kuruduğu tespit edilerek; kabinet tipli kurutucuda 50 saatte, çadır tipli kurutucuda 73 saatte, dolap tipli kurutucuda ise 72-76 saat içerisinde fındığın kuruduğunu tespit etmişlerdir.

Baker C. G. J. , Lababidi H. M. S. (2001), bu çalışmada bilgisayar destekli kurutucu seçeneklerinin gelişimi incelenmiştir. Gıda kurutucularında kullanılan bilgisayar sistemlerindeki son gelişmeler hakkında bilgi verilmiştir. Tatmin edici tahminler seçim algoritması kullanılarak elde edilmiştir.

Demir V. ve Günhan T. (2002), tarım ürünlerinin kuruma karakteristiklerinin belirlenmesinde Ege Üniversitesi Tarım Makineleri Bölümünde bulunan deney düzeneği örnek gösterilerek, deney düzeneğinin hangi birimlerden oluştuğu ve çalışma mantığının nasıl olduğu açıklanmıştır.

Ertekin C. (2002), çeşitli ürünlerin ilk ve son nem içerik değerleri, güvenilir kurutma havası sıcaklıkları, çeşitli sebze ve meyvelerin kurutma işlemine hazırlanma yöntemleri tablolar halinde belirtilmiştir. Kurutma çalışmalarında ise farklı ön işlem ve kurutma havası sıcaklıklarının çekirdeksiz üzümün kurutulmasına etkilerini incelemiştir.

Hepbaşı A. (2002), kurutma işlemlerinde ısı pompası kullanılmasının enerji verimliliği açısından önemi, ısı pompası kullanımının avantaj ve dezavantajları belirtilmiştir. Isı pompalı kurutucuların çalışma prensibi açıklanmıştır.

Krokida ve ark. (2003), çalışmalarında mantar, pırasa, soğan, havuç, bezelye ve domatesin kurutulmasında, kurutma havasının sıcaklığı, hızı, bağıl nemi ile örnek büyüklüğünün etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak hava sıcaklığının kurutma sırasında

örnek üzerinde etkisinin oldukça yüksek olduğu, diğer parametrelerin etkisinin de sıcaklığın etkisi kadar önemli olduğu belirlenmiştir.

Özbilir V. (2006), Konya bölgesi'nde yetiştirilen havucun 6.35 mm kalınlığında halka şeklinde dilimlenerek 55 °C, 65 °C ve 75 °C hava sıcaklıklarında ve 1.0 m/s, 2.0 m/s ve 3.0 m/s hava sıcaklıklarında kurutulması ile gösterdiği kurutma karakteristiklerini belirlemiş ve grafikler çizmiştir. Sonuç olarak havuçların nem değerlerinin kurutma havası sıcaklığı ve kurutma havası hızındaki artışa bağlı olarak azalan bir şekilde değişim gösterdiği tespit edilmiştir.

Sacılık K., (2007) ince dilimlenmiş domateslerin kurutma prensibi bu makalede incelenmiştir. Kurutma çeşidi olarak konveksiyonla kurutma tekniği ile çalışılmıştır. Konveksiyonla kurutma 0,8 m/sn hızında ve 70 – 50 C° sıcaklığındaki hava ile yapılmış ve domateslerin karakteristiği incelenmiştir. Bu deneyde the Page, Henderson ve Pabis, logaritmik ve iki terimli modellerden faydalanılmıştır. Logaritmik model domateslerin kurutma karakteristiği için en iyi sonucu vermiştir.

Aktaş M. ve Ceylan İ. (2008), yaptıkları çalışmada ısı pompası destekli kurutma fırınında fındık kurutmuşlardır. Kurutma sonrası fındıklar görsel olarak analiz edilmiş ve bağıl nem değişimi belirli aralıklarla yapılan ağırlık ölçümleri ile takip edilmiştir. 1000 gram fındığın ısı pompalı kurutucuda kurutulması için kurutma havası sıcaklık değeri 40 °C ve kurutma havası hızı da 0.3 m/s olarak belirlenmiştir. Yapılan deney neticesinde kurutma süresine bağlı olarak; ürünün nem içeriği ile kurutma havası bağıl nemindeki ve sıcaklığındaki değişim grafiksel olarak ortaya koyulmuştur.

### 3. TEORİK ESASLAR

#### 3.1 Kurutma Hızını Etkileyen Faktörler

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde; kurutmayı etkileyen en önemli faktörlerin; kurutulacak ürünün şekli ve boyutları ile kurutma havasının sıcaklığı, bağıl nemi ve hızı olduğu görülür. Ayrıca bazı ürünlere yapılan ön kurutma, haşlama, çeşitli çözeltilere daldırma gibi işlemlerin de kurutmayı etkilediği görülmektedir.

Hava sıcaklığının yüksek olması; havanın içerisine alabileceği nem miktarının artması ve ürün ile hava arasındaki ısı transfer hızının da artması demektir. Bu durum yüksek buharlaşma hızı oluşturarak ürün içerisindeki nemin daha hızlı bir şekilde azalmasını sağlar. Ancak hava sıcaklığı rasgele artırılmamalıdır. Hava sıcaklığının çok yüksek olması ürün kalitesinin bozulmasına neden olabilir. Ayrıca hava sıcaklığının artmasıyla enerji maliyetinin de artacağı unutulmamalıdır.

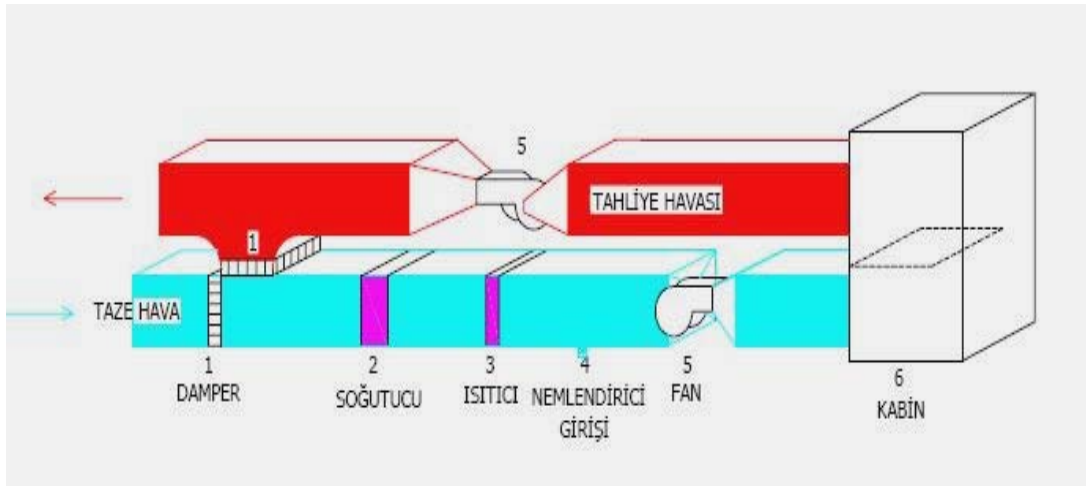
Kurutma havasının bağıl neminin yüksek olması; havanın alabileceği nem miktarının azalması demektir. Bu da ürünün kuruma hızını azaltır. Kurutma havası sıcaklığının düşük olduğu durumlarda ısı transferi hızı da düşük olacağından, havanın bağıl neminin de yüksek olması kurutma hızını daha da çok azaltacaktır. Kurutma havası sıcaklığı yükseldikçe bağıl nemin etkisi azalacaktır.

Nemli ürün yüzeyindeki buharlaşma hızı, ısı transfer hızına ve nemli yüzeydeki düzgün tabaka yoluyla yayılan buhar miktarına bağlıdır. Yüzey üzerinden geçen havanın hızı arttıkça, bu düzgün tabaka kalınlığını azaltıcı yönde etki ederek ısı transferinin ve buharlaşma hızının artmasını sağlar. Hava akımının ürün yüzeyine göre yönü de buharlaşma miktarını değiştirebilmektedir. Yapılan deneysel çalışmaların çoğunda hava hızının, sıcaklık ve bağıl nem kadar kurutma hızında etkili olmadığı görülmektedir.

### 3.2. Kurutma Deney Setinin Tasarımı

Kurutulacak ürünün kabin içerisinde bir tepsiye konulması düşünülerek, istenilen şartlardaki havanın kanallar vasıtasıyla kabine üflenmesi sağlanmıştır. İstenilen şartların sağlanabilmesi için gerekli üniteler ve ölçüm cihazları uygun bir şekilde sisteme monte edilmiştir. Ayrıca gerekli otomasyon sistemi yapılarak deney setinin otomatik kontrollü olarak çalışması sağlanmıştır.

Sistem %100 taze hava ile çalıştığı gibi istenirse belirli oranda çıkış havası ile taze hava karışımı kullanılarak da çalıştırılabilir. Şekil 3.1 de sistemin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.1. Deney düzeneğinin şematik görünümü

Sistem birimlerinin hesaplamaları için kurutma havasının bazı minimum ve maksimum değerlerinin öngörülmesi gerekmektedir. Bunlar:

- Maksimum ve minimum hava sıcaklığı
- Maksimum ve minimum bağıl nem oranları
- Maksimum ve minimum hava debisi( hava hızı )'dir.

Bu değerler her ürün için farklılık gösterdiğinden daha çok ürünün kurutulmasını sağlamak için sınır değerler göz önüne alınmıştır. Yapılan deneysel

çalışmalarda kullanılan kurutma havası sıcaklıkları, bağıl nem oranları ve hava hızlarından ayrıca çizelge 3.1 ve çizelge 3.2 de verilen değerlerden yola çıkarak:

$$T_{\max} = 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\phi_{\min} = \% 5$$

$$V_{\max} = 3 \text{ m/s olarak kabul edilmiştir.}$$

Çizelge 3.1 Bazı ürünlerin ilk ve son nem değerleri (Ertekin 2002 )

ÜRÜN SAKLAMA NEMLERİ					
Ürün	İlk Nem İçeriği (%)	Son Nem İçeriği (%)	Ürün	İlk Nem İçeriği (%)	Son Nem İçeriği (%)
Adaçayı	62	11	Kakao	50	6 – 7
Armut	84	25	Kayısı	85,3	25
Bamya	81	6	Kekik	72,9	7,5 - 11,4
Bezelye	60–70	5–10	Kiraz	81	30
Biberiye	70	10	Lahana	90–95	5 – 10
Dereotu	70–80	10	Maydanoz	83	12
Domates	93	7	Muz	80	15
Elma	84,8	24	Nane	80	11
Erik	78,7	35	Oğulotu	77	11
Fasulye	60–70	5–10	Patates	77	7
Fesleğen	80	6	Pirekapan	70	10 -13
Havuç	80–90	5 – 10	Sarımsak	80	4
Hindistan Cevizi	45–50	5	Soğan	84	6
Hint yerelması	70	15	Şeftali	75–80	20
Hurma	65	40	Üzüm	74-81,6	15–18
Ispanak	80	10	Vişne	83,7	25
İncir	77,5	26	Y.Biber	80	10
K. Biber	90	20	Yerfıstığı	45–50	13
Kahve	43–48	12	Zencefil	87–93	5



Çizelge 3.2 Güvenilir meyve ve sebze kurutma havası sıcaklıkları (Ertekin 2002 )

Meyve	Kurutma Sıcaklığı (°C)	Sebze	Kurutma Sıcaklığı (°C)
Armut	63	Biber	55
Elma	74	Fasulye	75
Erik	74–77	Havuç	79
Hindistan Cevizi	35–40	Kakule	45–50
İncir	71	Kırmızıbiber	35–40
Kayısı	71	Lahana	63
Muz	70	Manyok	70
Şeftali	66	Sarımsak	55
Üzüm	71	Soğan	88
Vişne	71–77	Tıbbi bitkiler	35–50

Konya şartlarında giriş havası için:

$$T_g = 20 \text{ °C}$$

$$\phi_g = \% 50 \text{ kabul edilmiştir.}$$

### 3.2.1. Sistem elemanları ve kapasitelerinin belirlenmesi

Sistemin %100 taze hava ile çalışacağı düşünülerek hesaplamalar yapılmıştır. Bu sayede kurutma havasının daha düşük ve yüksek sıcaklık ve bağıl nem değerlerinde olması istendiğinde, taze havaya istenilen oranda çıkış havası karıştırılarak bu değerler elde edilebilecektir.

#### 3.2.1.1. Havalandırma kanalları

Havalandırma kanalı ve kurutulacak ürünün konulacağı tepsi 20cm x 20cm boyutlarında düşünülmüştür. Bu durumda kanal kesit alanı:

$$A_{kanal} = 0.2 \text{ m} \times 0.2 \text{ m} = 0.04 \text{ m}^2 \text{ olarak bulunur.}$$

Hava debisi ise:

$$\dot{m}_{hava} = V_{\max} \times A_{kanal} \times \rho_{hava} \quad (3.1)$$

$$\dot{m}_{hava} = 3 \text{ m/s} \times 0.04 \text{ m}^2 \times 1.177 \text{ kg / m}^3 = 0.141 \text{ kg/s} \text{ olarak bulunur.}$$

### 3.2.1.2. Fanlar

Sistemde hava akışını sağlayan iki adet fan kullanılmıştır. Kullanılan fanlar santrifüj tipte olup devir kontrolü ile hava hızları ayarlanabilmektedir.

$V_{\max} = 3 \text{ m/s}$ ,  $V_{\min} = 0.5 \text{ m/s}$  hızlarını sağlayabilecek şekilde fanlar seçilmiştir.

### 3.2.1.3 Damperler

Sistemin, istenildiğinde %100 taze hava, istenildiğinde de belirli oranda çıkış havası ile taze hava karışımı kullanılarak çalışmasını sağlamak için damperler kullanılmıştır. Birinci kısımda bulunan damper, istenilen oranda çıkış havasının taze hava ile karışmasını sağlamaktadır. İkinci kısımda bulunan damper ise taze hava girişini azaltıp artırmak için kullanılmıştır.

Damperlerin pozisyonu kontrol panelinden ayarlanabilmektedir.

### 3.2.1.4 Isıtıcı

$T_g = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\phi_g = \% 50$  olarak kabul edilen giriş havasını, duyulur ısıtma yaparak  $T_{\max} = T_i = 80 \text{ }^\circ\text{C}$  ye kadar ısıtmak için gerekli olan ısıtıcı kapasitesi;

Şekil 3.2 de verilen psikrometrik diyagram üzerinden alınan değerler ile hesaplanmıştır.

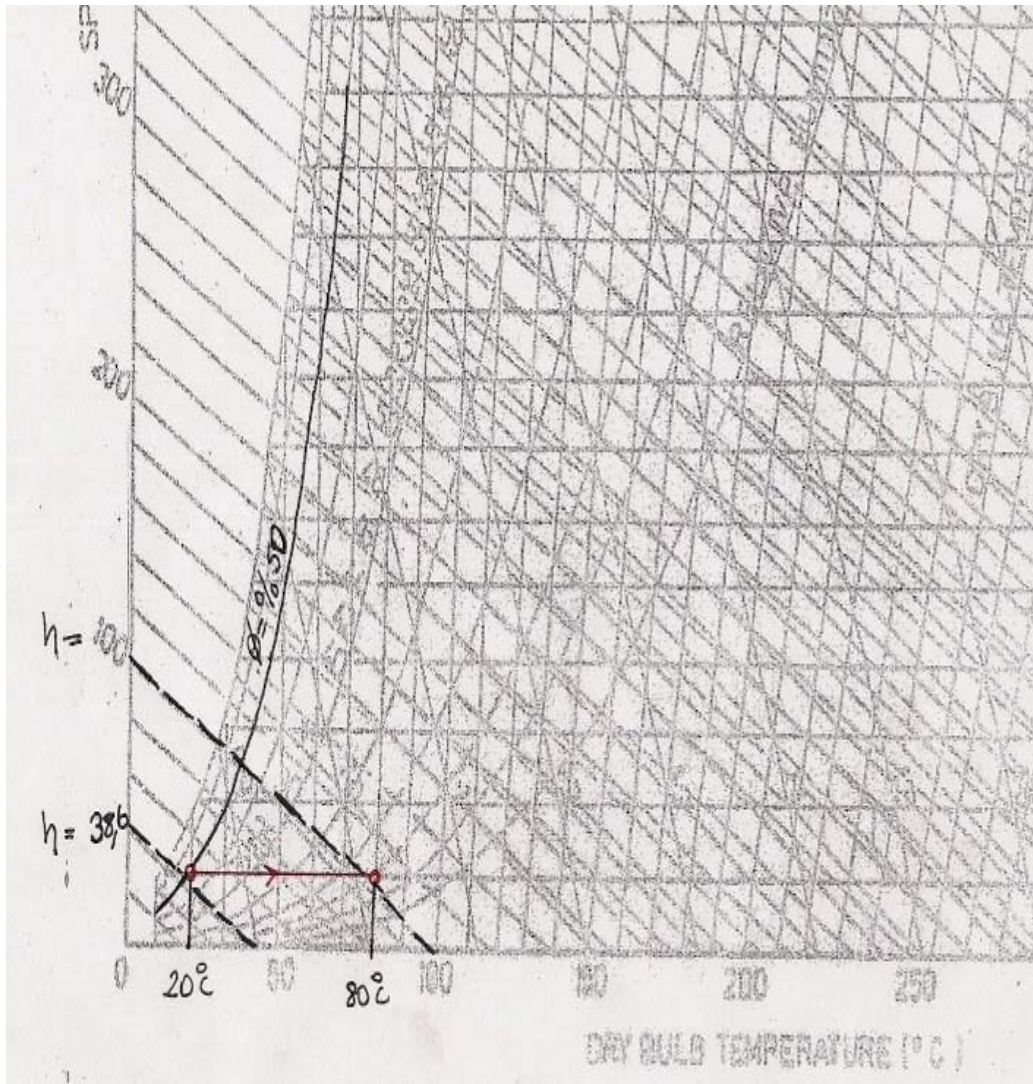
$$Q_{ısıtıcı} = \dot{m}_{hava} \times (h_g - h_i) \quad (3.2)$$

$$h_g = 38.6 \frac{kJ}{kg}, \quad h_i = 100 \frac{kJ}{kg} \text{ (psikrometrik diyagramdan)}$$

$$m_{hava} = 0.141 \frac{kg}{m^3} \text{ (denklem 1' den)}$$

$$Q_{ısıtıcı} = 0.141 \frac{kg}{m^3} \times (100 \frac{kJ}{kg} - 38.6 \frac{kJ}{kg}) = 8.67 kW \text{ olarak bulunur.}$$

Sistemde Serpantinli Termal Rezistans ısıtıcı kullanılmıştır.

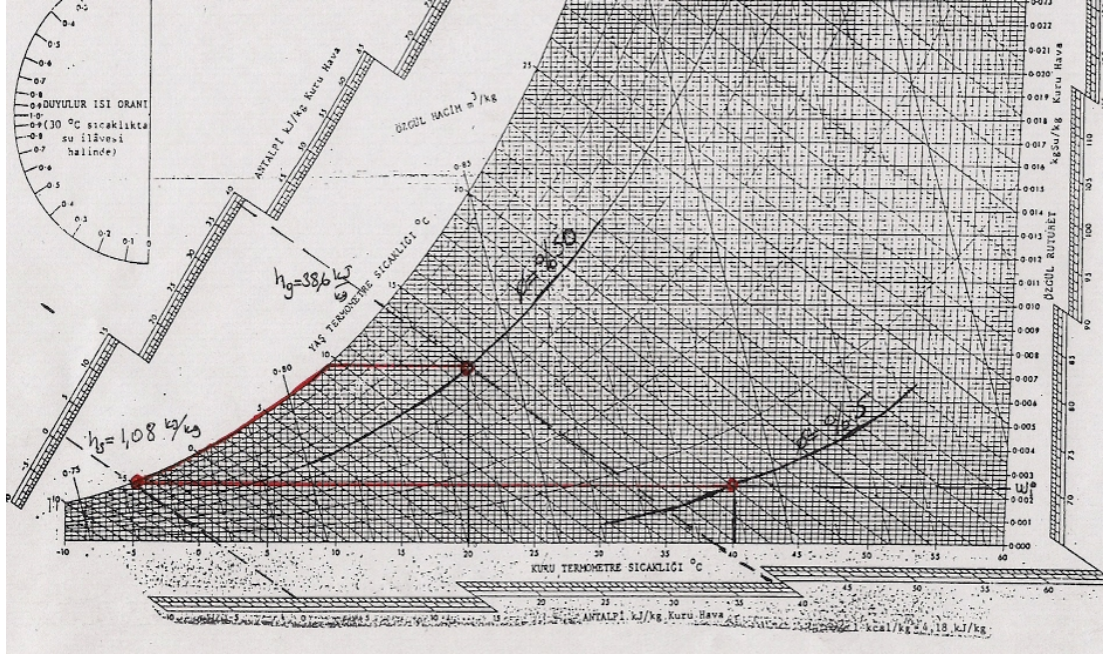


Şekil 3.2 Duyulur ısıtma prosesinin psikrometrik diyagramda gösterilmesi

### 3.2.1.5. Soğutma grubu

Sistemde, soğutma grubu hem soğutma hem de soğutarak kurutma amacıyla kullanılmaktadır. Kurutma havası bağıl neminin istenilen değerlerde sabit tutulması oldukça zordur. Duyulur ısıtma prosesinde havanın bağıl nemi düşerken, soğutulan havanın ise bağıl nemi yükselecektir. Kurutma havası yüksek sıcaklıklara ısıtıldığında, havanın bağıl nem değeri oldukça azalır. Aynı yüksek sıcaklık için kurutma havası bağıl neminin daha yüksek olması istenirse sistemde bulunan nemlendirme cihazı ile kurutma havası bağıl nemi yükseltilebilir. Ancak kurutma havasının düşük sıcaklıkta düşük bağıl nem değerinde olması istenirse duyulur ısıtma prosesi ile istenilen değerler elde edilemez. Bu prosesi gerçekleştirebilmek için kurutma havası özgül neminin belirlenen değere düşürülecek şekilde kurutma havasının soğutulup tekrar ısıtılması gereklidir.

$T_g = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\phi_g = \% 50$  olarak kabul edilen giriş havasını;  $T_i = 40 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklık ve  $\phi_i = \% 5$  bağıl nemde, kurutulacak ürüne gönderileceği kabul edilsin. Eğer havaya  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklığa kadar duyulur ısıtma yapılırsa, havanın bağıl nemi  $\%16$  olur. O halde ilk önce havanın  $T_s$  sıcaklığına kadar soğutulup sonra  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  ye kadar tekrar ısıtılması gerekir.  $T_s$  sıcaklığı; istenilen kurutma havası özgül nemi  $w_i$  ile  $\%100$  bağıl nem değerine sahip olan noktadaki sıcaklık değeridir. Hesaplamalar için gereken değerler ve proses çizimi şekil 3.3 de verilen psikrometrik diyagramda gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Nem alma prosesinin psikrometrik diyagramda gösterilmesi

$\phi_s = \%100$ ,  $w_i = 0.0023 \frac{kg}{kg\ kh}$  değerlerinden  $T_s = -5^\circ C$  bulunur.

$$Q_{soğutucu} = m_{hava} \times (h_g - h_s) \quad (3.3)$$

$$h_g = 38.6 \frac{kJ}{kg}, \quad h_s = 1.08 \frac{kJ}{kg} \text{ (psikrometrik diyagramdan)}$$

$$m_{hava} = 0.141 \frac{kg}{s} \text{ (denklem 3.1' den)}$$

$$Q_{soğutucu} = 0.141 \frac{kg}{s} \times (38.6 \frac{kJ}{kg} - 1.08 \frac{kJ}{kg}) = 5.3 kW \text{ olarak bulunur.}$$

Bulunan bu değer soğutma yüküdür. Soğutma yüküne göre soğutma çevrim hesapları yapılarak kompresör ve yoğuşturucu kapasitelerinin belirlenmesi için:

- Soğutucu akışkan R22
- Buharlaşma sıcaklığı  $T_b = -8^\circ C$
- Yoğuşma sıcaklığı  $T_y = 45^\circ C$  olarak kabul edilmiştir. Soğutma çevrim hesapları için gerekli değerler Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2 den alınmış ve soğutma çevrimi Şekil 3.4 deki P – h diyagramında gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 R-22 soğutucu akışkanının doymuş sıvı ve doymuş buhar özellikleri

Tablo 11. R-22 soğutucu akışkanının doymuş sıvı ve doymuş buhar özellikleri (devam)

T (°C)	P <sub>d</sub> (kPa)	v <sub>f</sub> ×1000 (m <sup>3</sup> /kg)	v <sub>g</sub> (m <sup>3</sup> /kg)	h <sub>f</sub> (kJ/kg)	h <sub>g</sub> (kJ/kg)	u <sub>f</sub> (kJ/kg)	u <sub>g</sub> (kJ/kg)	s <sub>f</sub> (kJ/kgK)	s <sub>g</sub> (kJ/kg K)
-16,00	284,80	0,7480	0,08044	181,60	399,10	181,39	376,19	0,9310	1,7770
-14,00	306,70	0,7510	0,07498	183,80	399,90	183,57	376,90	0,9400	1,7740
-12,00	329,80	0,7550	0,06997	186,10	400,80	185,85	377,72	0,9490	1,7700
-10,00	354,20	0,7590	0,06536	188,40	401,60	188,13	378,45	0,9570	1,7670
-8,00	380,00	0,7630	0,06112	190,70	402,30	190,41	379,08	0,9660	1,7640
-6,00	407,10	0,7660	0,05720	193,00	403,10	192,69	379,81	0,9740	1,7610
-4,00	435,70	0,7700	0,05359	195,30	403,90	194,96	380,55	0,9830	1,7580
-2,00	465,80	0,7740	0,05024	197,70	404,60	197,34	381,20	0,9910	1,7550
0,00	497,50	0,7780	0,04715	200,00	405,40	199,61	381,94	1,0000	1,7520
2,00	530,70	0,7820	0,04428	202,40	406,10	201,98	382,60	1,0080	1,7490
4,00	565,60	0,7870	0,04163	204,70	406,80	204,25	383,26	1,0170	1,7460
6,00	602,10	0,7910	0,03916	207,10	407,50	206,62	383,92	1,0250	1,7430
8,00	640,40	0,7950	0,03686	209,50	408,20	208,99	384,59	1,0340	1,7410
10,00	680,50	0,8000	0,03472	211,90	408,90	211,36	385,27	1,0420	1,7380
12,00	722,50	0,8050	0,03273	214,30	409,50	213,72	385,85	1,0510	1,7350
14,00	766,30	0,8090	0,03088	216,80	410,20	216,18	386,54	1,0590	1,7330
16,00	812,10	0,8140	0,02914	219,20	410,80	218,54	387,13	1,0670	1,7300
18,00	859,90	0,8190	0,02753	221,70	411,40	221,00	387,73	1,0760	1,7270
20,00	909,70	0,8240	0,02601	224,10	412,00	223,35	388,34	1,0840	1,7250
22,00	961,70	0,8300	0,02459	226,60	412,60	225,80	388,95	1,0920	1,7220
24,00	1015,80	0,8350	0,02326	229,10	413,10	228,25	389,47	1,1010	1,7200
26,00	1072,10	0,8400	0,02202	231,70	413,60	230,80	390,00	1,1090	1,7170
28,00	1130,70	0,8460	0,02085	234,20	414,20	233,24	390,63	1,1170	1,7150
30,00	1191,70	0,8520	0,01975	236,80	414,60	235,78	391,07	1,1260	1,7120
32,00	1255,00	0,8580	0,01871	239,30	415,10	238,22	391,62	1,1340	1,7100
34,00	1320,70	0,8640	0,01774	241,90	415,50	240,76	392,07	1,1420	1,7070
36,00	1389,00	0,8700	0,01682	244,50	416,00	243,29	392,64	1,1500	1,7050
38,00	1459,80	0,8770	0,01596	247,20	416,40	245,92	393,11	1,1590	1,7030
40,00	1533,30	0,8840	0,01514	249,80	416,70	248,44	393,49	1,1670	1,7000
42,00	1609,40	0,8910	0,01437	252,50	417,00	251,07	393,88	1,1750	1,6970
44,00	1688,30	0,8980	0,01364	255,20	417,30	253,68	394,28	1,1840	1,6950
46,00	1770,00	0,9060	0,01295	257,90	417,60	256,30	394,69	1,1920	1,6920
48,00	1854,50	0,9140	0,01229	260,70	417,80	259,00	395,00	1,2000	1,6900
50,00	1942,00	0,9220	0,01167	263,40	418,00	261,61	395,33	1,2090	1,6870
52,00	2032,60	0,9300	0,01108	266,20	418,20	264,31	395,67	1,2170	1,6840
54,00	2126,20	0,9390	0,01052	269,10	418,30	267,10	395,92	1,2260	1,6820
56,00	2222,90	0,9490	0,00999	272,00	418,40	269,89	396,19	1,2340	1,6790

Çizelge 3.2 R-22 soğutucu akışkanının kızgın buhar özellikleri

Tablo 12. R-22 soğutucu akışkanının kızgın buhar özellikleri (devam)

T (°C)	T= 30 °C, P= 1191,7 kPa				T (°C)	T= 40 °C, P= 1533,3 kPa			
	v (m <sup>3</sup> /kg)	h (kJ/kg)	u (kJ/kg)	s (kJ/kg K)		v (m <sup>3</sup> /kg)	h (kJ/kg)	u (kJ/kg)	s (kJ/kg K)
30,00	0,01975	414,60	391,07	1,7120	40,00	0,01514	416,70	393,49	1,7000
40,00	0,02103	423,30	398,24	1,7410	50,00	0,01624	426,10	401,20	1,7290
50,00	0,02224	431,70	405,20	1,7670	60,00	0,01725	435,00	408,55	1,7570
60,00	0,02338	440,00	412,14	1,7920	70,00	0,01820	443,80	415,89	1,7830
70,00	0,02448	448,20	419,03	1,8170	80,00	0,01911	452,40	423,10	1,8070
80,00	0,02554	456,40	425,97	1,8400	90,00	0,01998	460,80	430,17	1,8310
90,00	0,02657	464,50	432,84	1,8630	100,00	0,02081	469,30	437,39	1,8540
100,00	0,02757	472,60	439,75	1,8850	110,00	0,02163	477,60	444,44	1,8760
110,00	0,02855	480,70	446,68	1,9060	120,00	0,02242	486,00	451,63	1,8980
120,00	0,02952	488,80	453,63	1,9270	130,00	0,02319	494,40	458,84	1,9190
130,00	0,03046	497,00	460,70	1,9480	140,00	0,02395	502,80	466,07	1,9390
140,00	0,03140	505,20	467,78	1,9680	150,00	0,02470	511,20	473,32	1,9590

T (°C)	T= 60 °C, P= 2426,3 kPa				T (°C)	T= 90 °C, P= 4442,1 kPa			
	v (m <sup>3</sup> /kg)	h (kJ/kg)	u (kJ/kg)	s (kJ/kg K)		v (m <sup>3</sup> /kg)	h (kJ/kg)	u (kJ/kg)	s (kJ/kg K)
60,00	0,00900	418,30	396,46	1,6730	90,00	0,00356	403,00	387,17	1,5960
70,00	0,00990	429,80	405,77	1,7070	100,00	0,00470	427,40	406,52	1,6620
80,00	0,01069	440,20	414,27	1,7370	110,00	0,00537	442,70	418,84	1,7020
90,00	0,01139	450,10	422,46	1,7640	120,00	0,00591	455,60	429,35	1,7360
100,00	0,01205	459,70	430,47	1,7900	130,00	0,00638	467,30	438,97	1,7650
110,00	0,01267	469,00	438,27	1,8150	140,00	0,00680	478,30	448,09	1,7920
120,00	0,01326	478,10	445,94	1,8380	150,00	0,00719	488,80	456,86	1,8170
130,00	0,01382	487,10	453,57	1,8610	160,00	0,00756	499,10	465,52	1,8410
140,00	0,01437	496,10	461,24	1,8830	170,00	0,00791	509,10	473,97	1,8640
150,00	0,01490	505,00	468,85	1,9040	180,00	0,00824	518,90	482,28	1,8860
160,00	0,01542	513,80	476,40	1,9250	190,00	0,00857	528,70	490,65	1,9070
170,00	0,01592	522,70	484,07	1,9450	200,00	0,00888	538,30	498,86	1,9280

$$h_1 = 402.3 \frac{kJ}{kg}, \quad h_3 = h_4 = 256 \frac{kJ}{kg}, \quad s_1 = s_{2s} = 1.764 \frac{kJ}{kg K} \quad (\text{Tablo 3.1 den})$$

$$h_{2s} = 440.55 \frac{kJ}{kg} \quad (\text{Tablo 3.2 den}), \quad \eta_k = 0.8 \quad (\text{kabul edilmiştir})$$

$$Q_y = \dot{m}_s \times (h_2 - h_3) \quad (3.4)$$

$$h_2 = h_1 + \frac{h_{2s} - h_1}{\eta_k} \quad (3.5)$$

$$h_2 = 402.3 \frac{kJ}{kg} + \frac{(440.55 \frac{kJ}{kg} - 402.3 \frac{kJ}{kg})}{0.8} = 450.11 \frac{kJ}{kg}$$

$$\dot{m}_s = \frac{Q_{soğutucu}}{(h_1 - h_4)} \quad (3.6)$$

$$\dot{m}_s = \frac{5.3 kW}{(402.3 \frac{kJ}{kg} - 256 \frac{kJ}{kg})} = 0.0362 \frac{kg}{s}$$

$$Q_y = 0.0362 \frac{kg}{s} \times (450.11 \frac{kJ}{kg} - 256 \frac{kJ}{kg}) = 7.03 kW \quad \text{olarak bulunur.}$$

$$W_k = \frac{\dot{m}_s \times (h_2 - h_1)}{\eta_{mk} \times \eta_{em} \times \eta_{kk}} \quad (3.7)$$

$$\eta_{mk} = 0.85 \quad \eta_{em} = 0.95 \quad \eta_{kk} = 0.95 \quad \text{olarak kabul edilmiştir.}$$

$$W_k = \frac{0.0362 \frac{kg}{s} \times (450.11 \frac{kJ}{kg} - 402.3 \frac{kJ}{kg})}{0.85 \times 0.95 \times 0.95} = 2.26 kW \quad \text{olarak bulunur.}$$

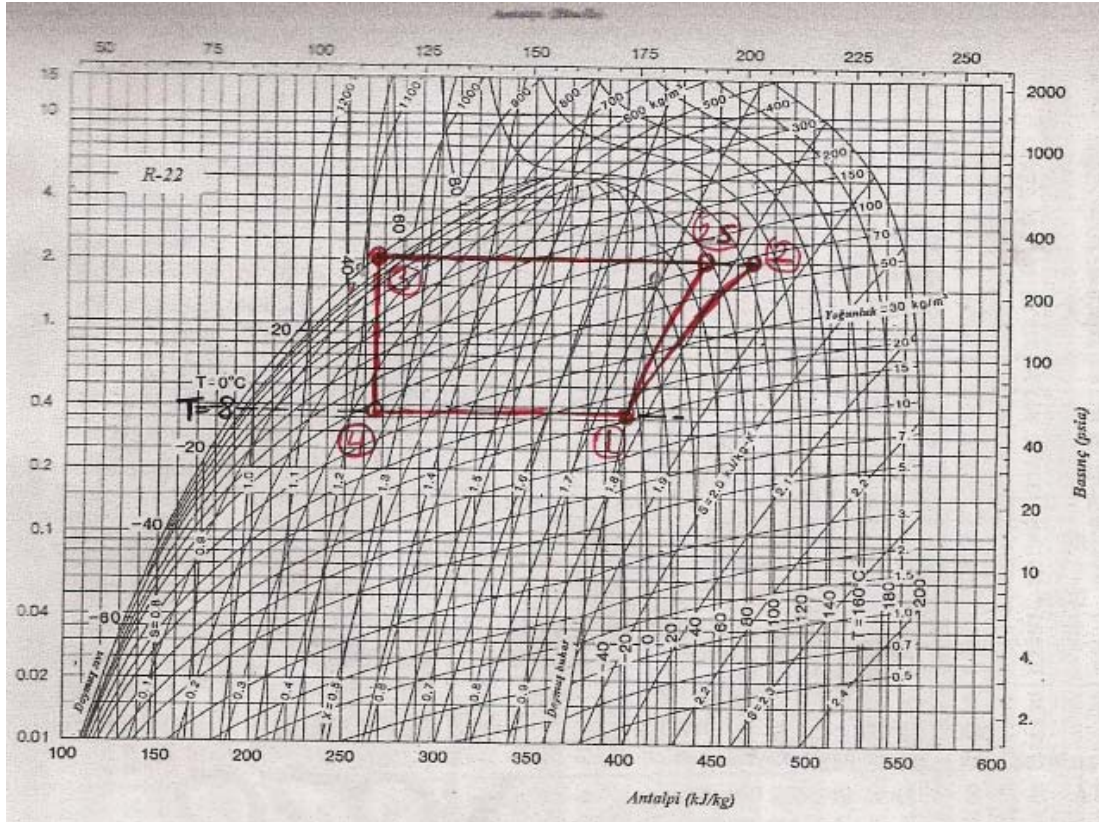
Yapılan hesaplamalar sonucunda:

$$Q_{soğutucu} = 5.3 kW$$

$$Q_y = 7.03 kW$$

$$W_k = 2.26 kW \quad \text{olan R22 akışkanlı bir soğutma grubu belirlenmiştir.}$$

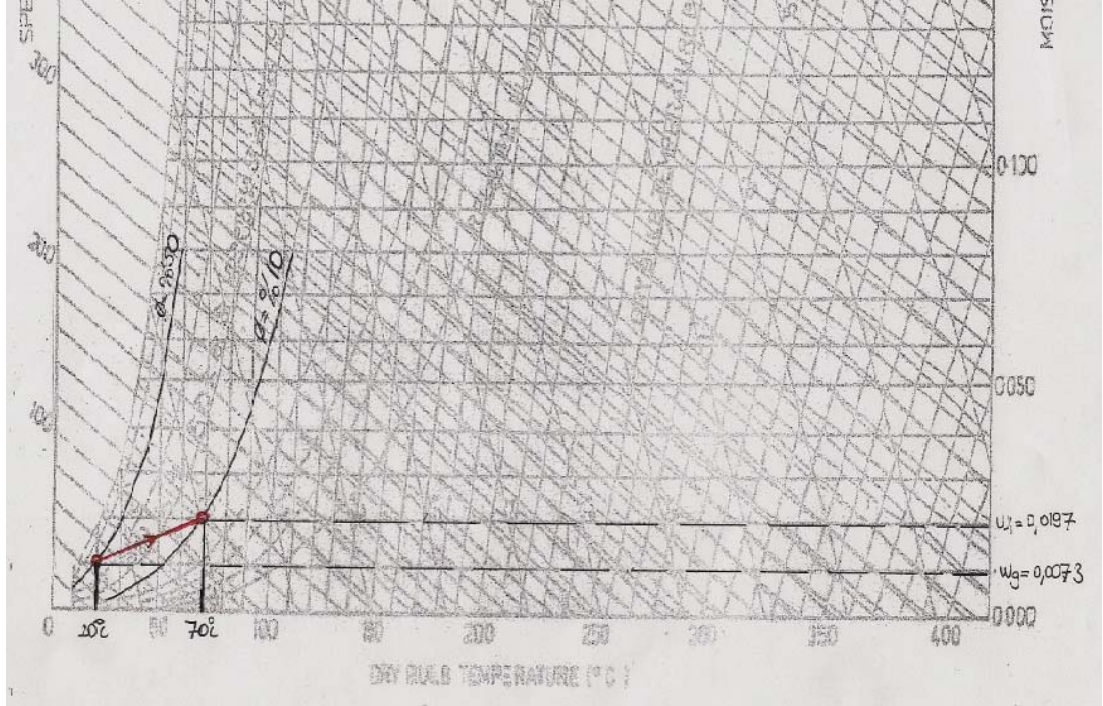




Şekil 3.4 R22 soğutucu akışkanının basınç – entalpi diyagramı

### 3.2.1.6 Nemlendirme ünitesi

$T_g = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\phi_g = \% 50$  olarak kabul edilen giriş havasını;  $T_i = 70 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklık ve  $\phi_i = \% 10$  bağıl nemde, kurutulacak ürüne üfleneceği öngörülmüştür. Eğer havaya  $70 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklığa kadar duyulur ısıtma yapılırsa, havanın bağıl nemi  $\%4$  olacaktır. Bu bağıl nemi  $\% 10$  a çıkarmak için nemlendirme cihazının istenilen nem miktarını kurutma havasına vermesi gerekir. Prosesin şekli ve hesaplamalar için gerekli değerler Şekil 3.5 de verilen psikrometrik diyagramda gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Nemlendirme prosesinin psikrometrik diyagramda gösterilmesi

$$m_w = m_{hava} \times (w_i - w_g) \quad (3.8)$$

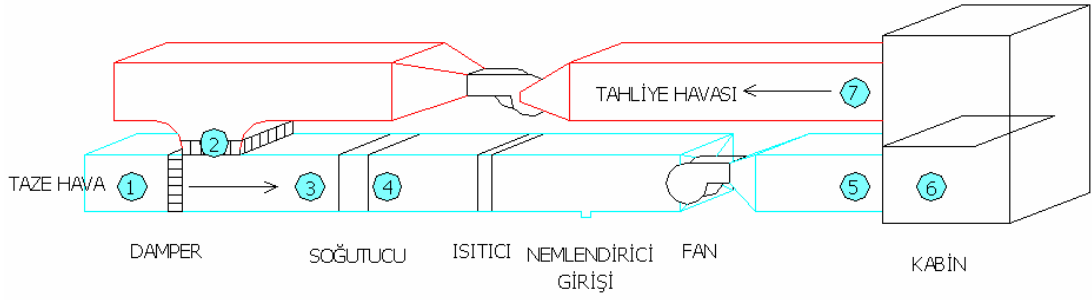
$$w_i = 0.0197 \frac{kg}{kg \text{ kh}}, \quad w_g = 0.0073 \frac{kg}{kg \text{ kh}} \text{ (Psikrometrik diyagramdan)}$$

$$m_w = 0.141 \frac{kg}{s} \times (0.0197 \frac{kg}{kg \text{ kh}} - 0.0073 \frac{kg}{kg \text{ kh}}) = 0.00175 \frac{kg}{s} = 6.3 \frac{kg}{h}$$

olarak bulunmuştur. Saatte 6 kg sıcak buhar verebilen elektrikli ısıtıcı bir nemlendirme ünitesi kullanılmıştır.

### 3.2.1.7 Ölçüm elemanları ve otomatik kontrol sistemi

Sistemde dolaştırılan kurutma havasının sıcaklık, bağıl nem ve hız değerlerini ölçmek için bazı noktalara sensörler yerleştirilmiştir. Kontrol paneli üzerinden bu değerler takip edilebilir. Şekil 3.6 da kullanılan sensörlerin yerleri gösterilmiştir.



Şekil 3.6 Kurutma sisteminde kullanılan sensörlerin yerleri

- 1 numaralı kısımda; nem, sıcaklık ve hız sensörleri
- 2 numaralı kısımda; hız sensörü
- 3 numaralı kısımda; nem, sıcaklık sensörleri
- 4 numaralı kısımda; sıcaklık sensörü
- 5 numaralı kısımda; nem, sıcaklık ve hız sensörleri
- 6 numaralı kısımda; nem, sıcaklık sensörleri
- 7 numaralı kısımda; nem, sıcaklık sensörleri bulunmaktadır.

1 ve 2 numaralı kısımlarda bulunan sensörler, taze hava ile çıkış havası karıştırıldığında yapılan enerji tasarrufunun incelenmesi amacıyla kullanılmıştır.

3 numaralı kısımda bulunan sensörler, giriş havası özelliklerini belirlemektedir.

4 numaralı kısımda kullanılan sıcaklık sensörü yalnızca nem alma prosesi durumunda soğutucunun durup, ısıtıcının devreye girmesi için kullanılmıştır.

5 numaralı kısımda kullanılan sensörler, istenilen kurutma havası sıcaklığı ve bağıl nem değerlerini belirlemektedir.

6 numaralı kısımda bulunan sensörler, kabin içerisinde kurutma havasının hangi sıcaklık ve bağıl nem değerlerinde olduğunu tespit etmek için kullanılmıştır.

7 numaralı kısımda bulunan sensörler, çıkış havası özelliklerini belirleyerek kurutulacak ürün ile üfleme havası arasındaki enerji transferini incelemek için kullanılmıştır.

Kurutma havasında istenen sıcaklıklara, duyulur ısıtma ve soğutma ile ulaşılabilirken, istenen bağıl nem değerlerine ulaşamaz. Soğutucu kapasitesinin belirlenmesinde de anlatıldığı gibi nem alma prosesi söz konusu olan durumlarda havanın belirli bir özgül nem değerine ulaşmaya kadar soğutulup tekrar ısıtılması

gerekebilir. O halde sistem otomasyonu için havanın sıcaklık ve bağıl nem değeri dışında bir de özgül nem değerinin bilinmesi gerekir. Özgül nem değerleri; psikrometrik diyagramdan havanın sıcaklık ve bağıl nem değerlerine göre hazırlanan özgül nem tablosu ile kontrol paneline tanıtılmıştır (Çizelge 3.3).

Otomasyon sisteminin çalışma mantığı aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

$T_i \geq T_g$  Koşulunda

\*  $w_g > w_i \Rightarrow$  soğutucu çalışmaya başlayacak ve 4 numaralı sıcaklık sensöründe  $T_s$  sıcaklığı okunduğunda ısıtıcı devreye girerek  $T_i$  sıcaklığına kadar çalışacaktır.

\*  $w_g = w_i \Rightarrow$  ısıtıcı çalışmaya başlayacak ve  $T_i$  sıcaklığına kadar çalışacaktır.

\*  $w_g < w_i \Rightarrow$  ısıtıcı ve nemlendirici çalışmaya başlayacaktır. Isıtıcı  $T_i$  sıcaklığına kadar, nemlendirici ise  $\phi_i$  değerine kadar çalışacaktır.

$T_i < T_g$  Koşulunda

\*  $w_g > w_i \Rightarrow$  soğutucu çalışmaya başlayacak ve 4 numaralı sıcaklık sensöründe  $T_s$  sıcaklığı okunduğunda ısıtıcı devreye girerek  $T_i$  sıcaklığına kadar çalışacaktır.

\*  $w_g = w_i \Rightarrow$  soğutucu çalışmaya başlayacak ve  $T_i$  sıcaklığına kadar çalışacaktır.

\*  $w_g < w_i \Rightarrow$  soğutucu ve nemlendirici çalışmaya başlayacaktır. Soğutucu  $T_i$  sıcaklığına kadar, nemlendirici ise  $\phi_i$  değerine kadar çalışacaktır.

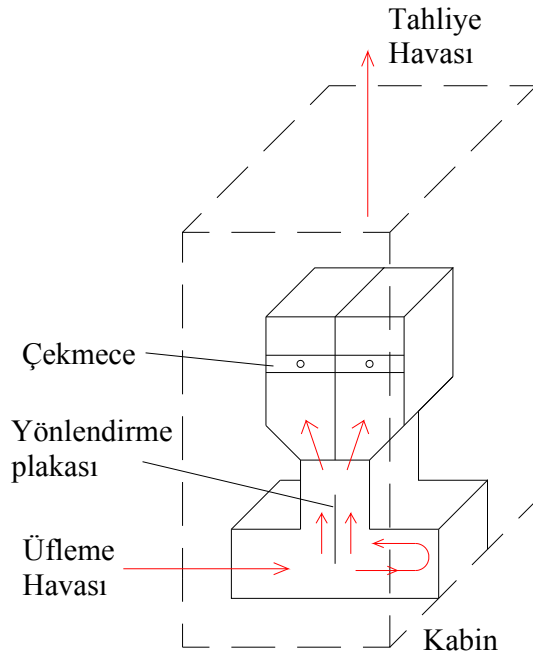
Sistemde bulunan bütün sensörlerde okunan değerler kontrol paneli tarafından beşer dakika ara ile ve bir hafta boyunca kaydedilebilmektedir. Ayrıca ürünün ilk neminin belirlenmesi için nem tayin cihazı, ürünlerin deneyden önce muhafaza edilebilmesi için mini buzdolabı ve deney esnasında belirli zaman aralıklarında ürün ağırlığını ölçülmesi için dijital hassas terazi de sisteme dâhil edilmiştir. Nem tayin cihazında, numune 105 °C sabit sıcaklıkta ağırlığındaki azalma bitene kadar bekletilmektedir. Bu sayede ürünün başlangıç nemi belirlenebilmektedir.

ÖZGÜL NEM W		SICAKLIK T																		
		-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
5	0,0001	0,0001	0,0002	0,0003	0,0004	0,0005	0,0007	0,001	0,0013	0,0017	0,0023	0,003	0,0038	0,0049	0,0062	0,0078	0,0097	0,0121	0,0149	0,0305
10	0,0002	0,0003	0,0004	0,0005	0,0008	0,0011	0,0014	0,002	0,0026	0,0035	0,0046	0,0059	0,0077	0,0098	0,0125	0,0157	0,0197	0,0246	0,0305	0,0469
15	0,0003	0,0004	0,0005	0,0008	0,0011	0,0016	0,0022	0,0029	0,0039	0,0052	0,0069	0,009	0,0116	0,0148	0,0189	0,0239	0,0301	0,0376	0,0469	0,0641
20	0,0003	0,0005	0,0008	0,0011	0,0015	0,0021	0,0029	0,0039	0,0053	0,007	0,0092	0,012	0,0155	0,02	0,0255	0,0323	0,0408	0,0512	0,0641	0,0823
25	0,0004	0,0006	0,0009	0,0013	0,0019	0,0026	0,0036	0,0048	0,0066	0,0088	0,0115	0,0151	0,0195	0,0251	0,0322	0,0409	0,0518	0,0654	0,0823	0,1015
30	0,0005	0,0008	0,0011	0,0016	0,0023	0,0032	0,0043	0,0059	0,0079	0,0105	0,0139	0,0182	0,0236	0,0304	0,039	0,0498	0,0632	0,0801	0,1015	0,1217
35	0,0006	0,0009	0,0013	0,0019	0,0027	0,0037	0,0051	0,0069	0,0093	0,0123	0,0163	0,0213	0,0277	0,0358	0,046	0,0588	0,075	0,0956	0,1217	0,143
40	0,0007	0,001	0,0015	0,0022	0,003	0,0042	0,0058	0,0079	0,0106	0,0141	0,0187	0,0246	0,0319	0,0412	0,0531	0,0682	0,0873	0,1117	0,143	0,1657
45	0,0008	0,0012	0,0017	0,0024	0,0034	0,0048	0,0065	0,0089	0,012	0,0159	0,0211	0,0277	0,0361	0,0468	0,0604	0,0777	0,0999	0,1285	0,1657	0,1897
50	0,0009	0,0013	0,0019	0,0027	0,0038	0,0053	0,0073	0,0099	0,0133	0,0178	0,0235	0,0309	0,0403	0,0524	0,0678	0,0876	0,113	0,1461	0,1897	0,2153
55	0,001	0,0014	0,0021	0,003	0,0042	0,0058	0,008	0,0109	0,0147	0,0196	0,026	0,0341	0,0447	0,0581	0,0754	0,0977	0,1267	0,1646	0,2153	0,2425
60	0,001	0,0015	0,0023	0,0032	0,0046	0,0064	0,0087	0,0119	0,016	0,0214	0,0284	0,0374	0,049	0,064	0,0832	0,1082	0,1408	0,184	0,2425	0,2715
65	0,0011	0,0017	0,0024	0,0035	0,0049	0,0069	0,0095	0,0129	0,0174	0,0233	0,031	0,0408	0,0535	0,0699	0,0912	0,1189	0,1564	0,2044	0,2715	0,3025
70	0,0012	0,0018	0,0026	0,0038	0,0053	0,0074	0,0102	0,0139	0,0188	0,0252	0,0334	0,0441	0,058	0,0759	0,0993	0,1299	0,1708	0,2258	0,3025	0,3368
75	0,0013	0,0019	0,0028	0,004	0,0057	0,008	0,011	0,015	0,0202	0,027	0,0369	0,0475	0,0625	0,0821	0,1076	0,1413	0,1865	0,2484	0,3368	0,3715
80	0,0014	0,0021	0,003	0,0043	0,0061	0,0085	0,0117	0,016	0,0216	0,0289	0,0385	0,0509	0,0671	0,0883	0,1161	0,1531	0,203	0,2722	0,3715	0,4101
85	0,0015	0,0022	0,0032	0,0046	0,0065	0,009	0,0125	0,017	0,023	0,0308	0,0411	0,0544	0,0718	0,0947	0,1248	0,1652	0,2202	0,2973	0,4101	0,4617
90	0,0016	0,0023	0,0034	0,0049	0,0069	0,0096	0,0132	0,018	0,0244	0,0327	0,0436	0,0579	0,0766	0,1011	0,1338	0,1777	0,2381	0,3239	0,4617	0,4969
95	0,0016	0,0025	0,0036	0,0051	0,0073	0,0101	0,014	0,0191	0,0258	0,0346	0,0462	0,0614	0,0814	0,1077	0,1429	0,1906	0,2568	0,3521	0,4969	0,546
100	0,0017	0,0026	0,0038	0,0054	0,0076	0,0107	0,0147	0,0201	0,0272	0,0366	0,0489	0,065	0,0863	0,1144	0,1523	0,2039	0,2763	0,382	0,546	0,546

Çizelge 3.3 Kontrol paneline tanıtılan özgül nem tablosu

### 3.3.1.8 Kabin

Ürünler belirli zaman aralıklarında ağırlık ölçümleri için tepsiyle birlikte kabinden alınmaktadır. Kabinin kapağı açıldığında oluşacak kayıpları azaltmak için sistemdeki kanal aynı boyutta kabin içerisinden de geçirilmiştir. Kanal kabin içerisinde eşit boyutlarda ikiye ayrılarak her bir kanala ürünlerin tepsi ile konulacağı çekmece sistemi yapılmıştır. Ağırlık ölçümü için ürün tepside alınmadan kabinin kapağı açıldığında oluşacak kayıplar böylece önlenmiş olmaktadır. Ayrıca iki ayrı tepside bulunan ürünler birbirlerinden etkilenmeden aynı sıcaklıktaki ve bağıl nemdeki hava ile kurutulabilmektedir. İki kanal arasında bir yönlendirme plakası konularak iki ayrı kanalda farklı hava hızlarının da elde edilebilmesi sağlanmıştır. Şekil 3.7 de kabin içerisindeki kanallar şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.7 Kabin içerisine yapılan kanal sistemi

Yapılan deney setinin genel bir görünümü Şekil 3.8 de verilmiştir.



Şekil 3.8 Deney seti

#### 4. ÖRNEK DENEYLER

İçerisinde bulunduğumuz mevsimin kış mevsimi olması ve her yerde kolay bulunabilmesi nedeniyle, kurutma ürünü olarak golden elma seçilmiştir. Özel bir kesici yapılarak deneylerde elmaların eşit kalınlıklarda dilimlenmesi sağlanmıştır. Farklı dilim kalınlıkları için dört ayrı hava şartında deneyler gerçekleştirilmiştir. 1 ve 2 numaralı deneylerde %100 taze hava, 3 ve 4 numaralı deneylerde ise %50 taze hava – %50 tahliye havası karışımı kullanılmıştır. Yapılan deneyler için istenilen şartlar Çizelge 4.1 de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Yapılan deneylerdeki hava özellikleri

	HAVA ÖZELLİKLERİ			ELMA DİLİM KALINLIĞI	
	Sıcaklık ( °C )	Bağıl nem ( % )	Hava Hızı ( m/s )	Tepsi 1 ( mm )	Tepsi 2 ( mm )
<b>DENEY 1</b>	60	10	1,5	4	5
<b>DENEY 2</b>	60	10	2	4	5
<b>DENEY 3</b>	60	15	2	4	5
<b>DENEY 4</b>	70	10	2	4	5

İstenilen şartlara hangi hassasiyette ulaşıldığı deney setinde bulunan sensörlerde ölçülen değerler ile Çizelge 4.2 de ortaya konmuştur. Ölçülen ortalama değerlerin istenilen değerlere çok yakın olduğu görülmektedir. Sıcaklık için sapma oranının % 1'in altında ve bağıl nem değeri için sapma oranının % 2'nin altında olduğu hesaplanmıştır. Bu da deney setinin çalışma hassasiyetinin yüksek olduğunu göstermektedir.



Çizelge 4.2 İstenilen hava şartları ile ölçülen hava şartlarının karşılaştırılması

	İstenilen Sıcaklık (°C)	Ölçülen Ortalama Sıcaklık (°C)	İstenilen Bağıl nem (%)	Ölçülen Ortalama Bağıl nem (%)
<b>DENEY 1</b>	60	60,53	10	9,94
<b>DENEY 2</b>	60	60,37	10	9,91
<b>DENEY 3</b>	60	60,46	15	15,29
<b>DENEY 4</b>	70	70,18	10	10,20

Deney 3'te %100 taze hava yerine, %50 taze hava - %50 çıkış havası karışımı kullanılması ile ne ölçüde kazanım sağlanacağını belirlemek amaçlanmıştır. Karışım havası ile yapılan deney ile %100 taze hava kullanılması durumunda oluşacak deney, deney seti üzerindeki sensörlerden alınan değerler ile psikrometrik diyagram üzerinde incelendiğinde, sağlanan kazanım açıkça görülmektedir. Şekil 4.1 de gösterilen psikrometrik diyagram, deney setinde bulunan sensörlerin numaralandığı yere göre çizilmiştir. 1 numara giriş havasını, 2 ve 7 numaraları çıkış havasını, 3 numara karışım havasını, 5 numara ise kabine giriş havasını göstermektedir.

%100 taze hava kullanılması durumunda gerçekleşecek proses 1 ile 5 arasında gösterilmiştir. %50 taze hava - %50 çıkış havası karışımı kullanılarak gerçekleşen proses ise 3 ile 5 arasında gösterilmiştir. Giriş havası 24 °C sıcaklık ve % 55 bağıl nem değerlerinde iken 57.5 °C ve % 21.5 bağıl nem değerlerindeki çıkış havası ile karıştırıldığında elde edilen karışım havası 41.5 °C ve % 36.8 bağıl nemde olmaktadır. Her iki proseste kurutma havasına verilmesi gereken ısı ve nem miktarları incelendiğinde:

$$Q_{1-5} = \dot{m}_{hava} \times (h_5 - h_1) , Q_{3-5} = \dot{m}_{hava} \times (h_5 - h_3) \quad (\text{denklem 3.2' den})$$

$$h_1 = 51 \frac{kJ}{kg} , \quad h_3 = 91 \frac{kJ}{kg} , \quad h_5 = 117 \frac{kJ}{kg} \quad (\text{psikrometrik diyagramdan})$$

$$\dot{m}_{hava} = 2 m/s \times 0.04 m^2 \times 1.177 kg / m^3 = 0.094 kg/s \quad (\text{denklem 3.1' den})$$

$$Q_{1-5} = 0.094 \frac{kg}{s} \times (117 \frac{kJ}{kg} - 51 \frac{kJ}{kg}) = 6.204 kW$$

$$Q_{3-5} = 0.094 \frac{kg}{s} \times (117 \frac{kJ}{kg} - 91 \frac{kJ}{kg}) = 2.444 kW$$

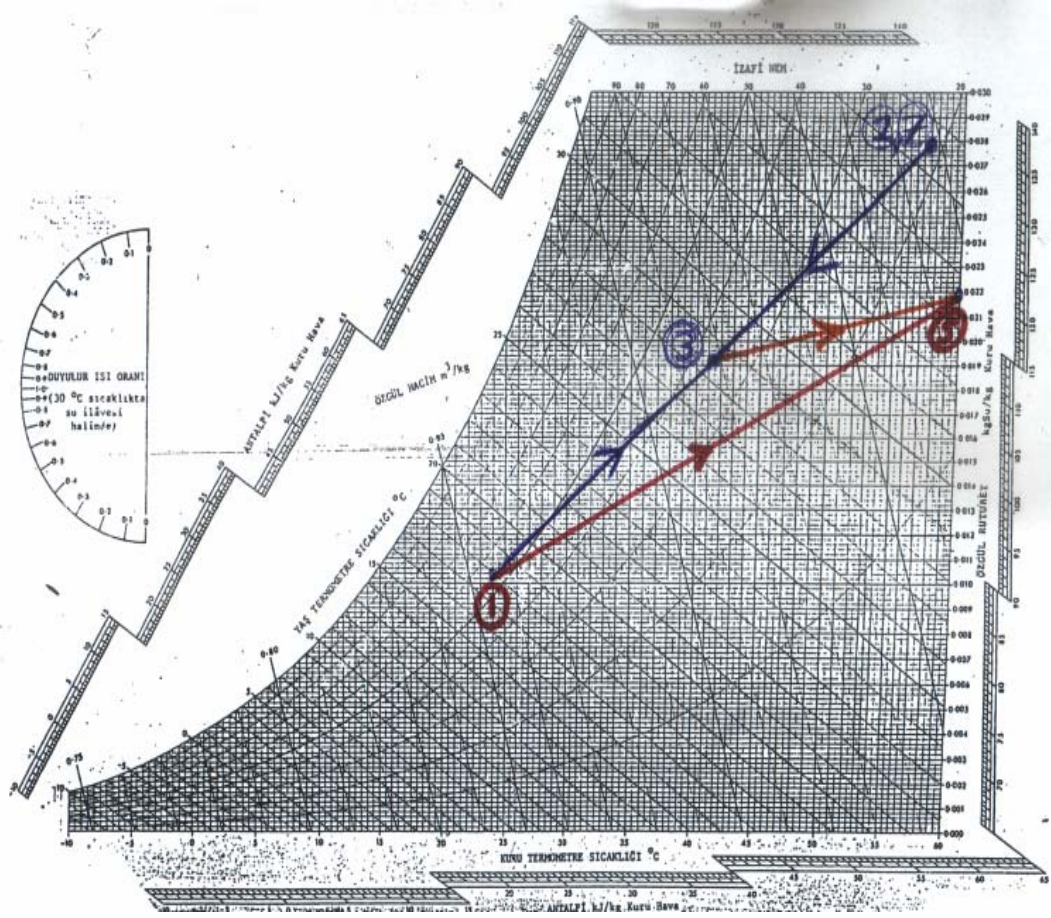
$$\dot{m}_{w1-5} = \dot{m}_{hava} \times (w_5 - w_1), \quad \dot{m}_{w3-5} = \dot{m}_{hava} \times (w_5 - w_3) \quad (\text{denklem 3.8' den})$$

$$w_1 = 0.0102 \frac{kg su}{kg kh}, \quad w_3 = 0.0191 \frac{kg su}{kg kh}, \quad w_5 = 0.0219 \frac{kg su}{kg kh} \quad (\text{psikr. diyagramdan})$$

$$\dot{m}_{w1-5} = 0.094 \frac{kg}{s} \times (0.0219 \frac{kg}{kg kh} - 0.0102 \frac{kg}{kg kh}) = 0.0011 \frac{kg}{s} = 3.96 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{m}_{w3-5} = 0.094 \frac{kg}{s} \times (0.0219 \frac{kg}{kg kh} - 0.0191 \frac{kg}{kg kh}) = 0.0003 \frac{kg}{s} = 1.08 \frac{kg}{h}$$

Karışım havası kullanıldığında kurutma havasına verilmesi gereken ısı miktarı 2.444 kW , nem miktarı ise 1.08 kg/h iken; %100 taze hava kullanılması durumunda kurutma havasına verilmesi gereken ısı miktarı 6.204 kW, nem miktarı ise 3.96 kg/h olacaktır. Bu da ısıtmada yaklaşık %60, nem verme de ise yaklaşık %73 oranında tasarruf sağlandığını göstermektedir.



Şekil 4.1 Karışım havası ile %100 taze hava kullanılmasının psikrometrik diyagram üzerinde karşılaştırılması

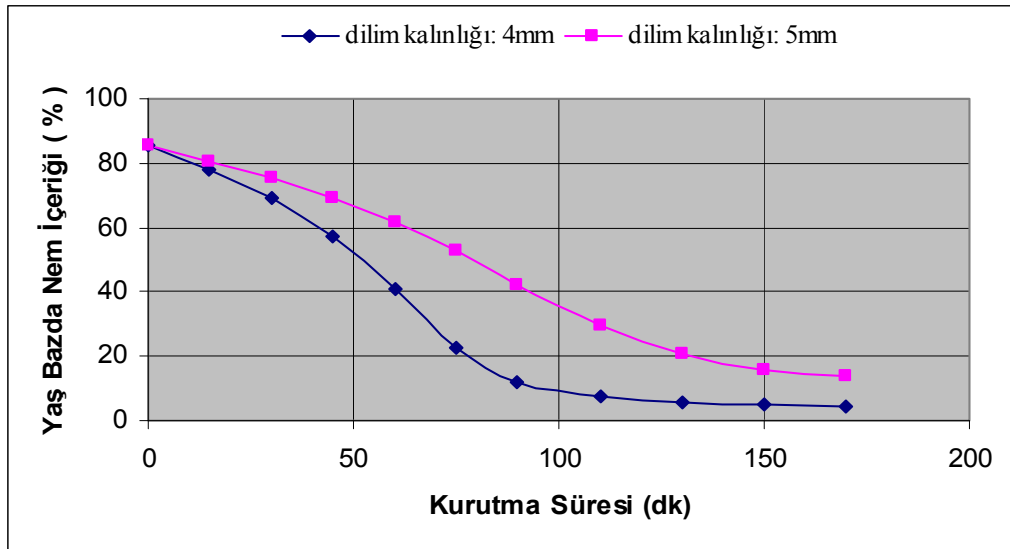
Yapılan deneyler ile kurutma havasının; sıcaklığı, bağıl nemi ve hızı ile elma dilim kalınlığının kurutma hızı ve süresi üzerine etkisi incelenmiştir.

Deneylere başlamadan önce nem tayin cihazına elma dilimi konularak 16 saat sonra elmanın ilk nemi % 85,8 olarak ölçülmüştür.

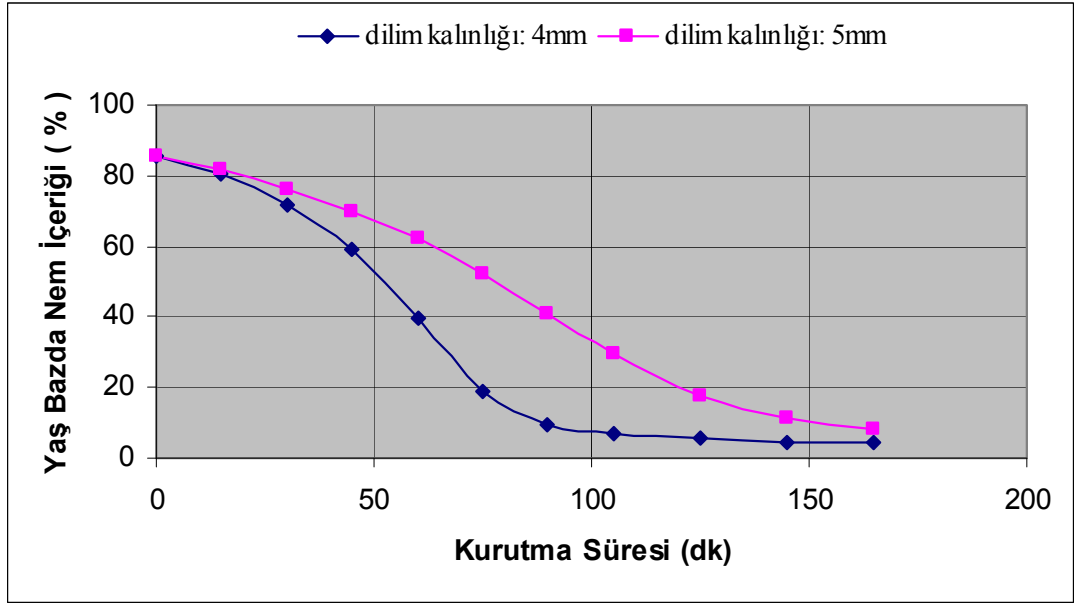
Sistem çalıştırılıp istenen özelliklerde rejime girdikten sonra tepsilerin tek başlarına ağırlıkları ölçülmüştür. Elmalar eşit bir şekilde dilimlenip tepsilere yerleştirilerek başlangıç ağırlıkları da tespit edildikten sonra deneylere başlanmıştır. Deneylerde belirli zaman aralıklarında yapılan ağırlık ölçümleri Çizelge 4.2 de gösterilmiştir. Ayrıca elma dilim kalınlığının, nem oranının zamanla değişimine olan etkisi sırasıyla Şekil 4.2, şekil 4.3, şekil 4.4 ve şekil 4.5 de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 Deneysel ölçülen ağırlıklar

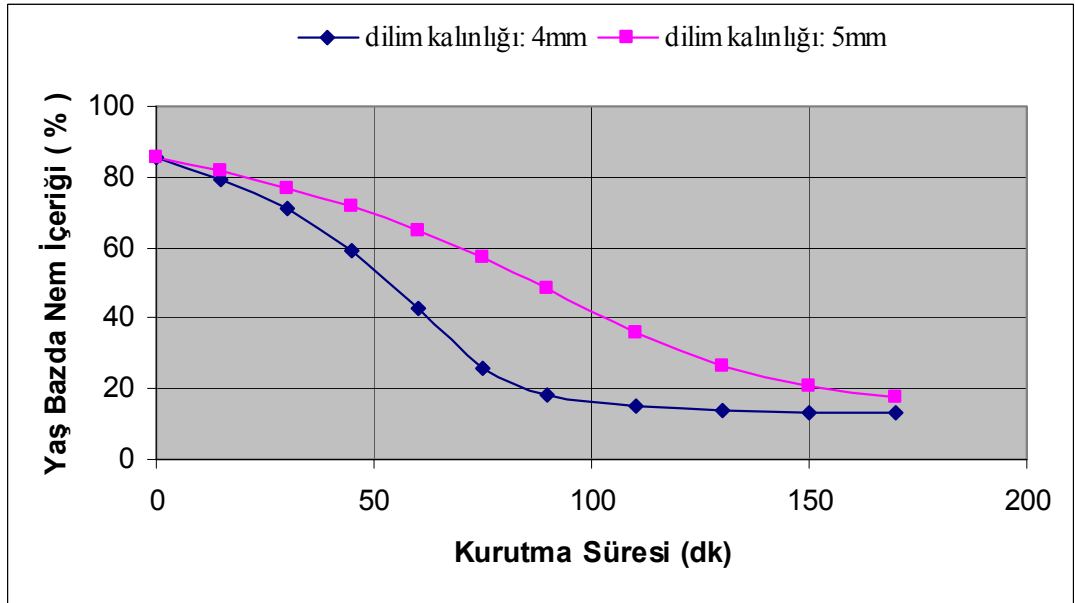
SÜRE (dk)	DENEY 1		DENEY 2		DENEY 3		DENEY 4	
	Tepsi 1 (g)	Tepsi 2 (g)	Tepsi 1 (g)	Tepsi 2 (g)	Tepsi 1 (g)	Tepsi 2 (g)	Tepsi 1 (g)	Tepsi 2 (g)
0	46,82	48,67	43,52	47,84	47,78	50,47	48,65	49,98
15	29,99	35,82	31,63	36,73	33,06	38,93	32,27	38,2
30	21,64	28,16	21,97	28,6	23,44	31,12	20,22	29,06
45	15,61	22,47	15,16	22,61	16,68	25,23	12,46	22,46
60	11,29	18,1	10,26	17,89	11,86	20,5	8,6	17,46
75	8,62	14,57	7,61	14,25	9,18	16,65	7,77	13,49
90	7,57	11,97	6,81	11,52	8,28	13,95	7,61	10,72
110	7,18	9,81	6,63	9,63	7,99	11,16	7,53	8,64
130	7,07	8,72	6,54	8,24	7,89	9,77	7,5	7,84
150	7,01	8,23	6,48	7,64	7,83	9,01		7,57
170	6,96	8,03	6,45	7,38	7,79	8,69		7,47
190				7,28		8,51		



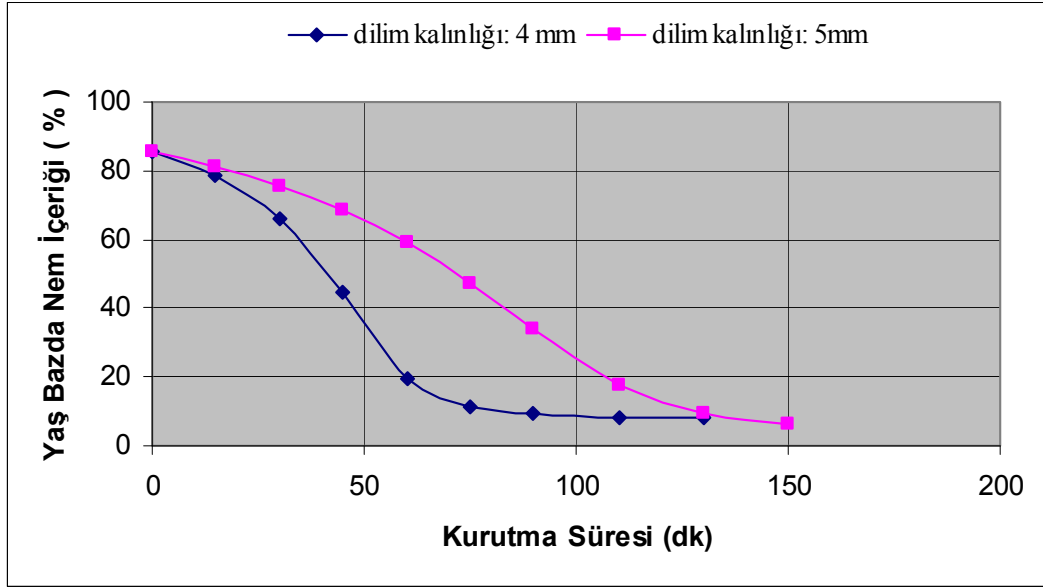
Şekil 4.2 60 °C sıcaklık, %10 bağıl nemde, 1,5 m/s hava hızında ve farklı elma dilim kalınlıklarında nem içeriğini zamanla değişimi



Şekil 4.3 60 °C sıcaklık, %10 bağıl nemde, 2 m/s hava hızında ve farklı elma dilim kalınlıklarında nem içeriğinin zamanla değişimi



Şekil 4.4. 60 °C sıcaklık, %15 bağıl nemde, 2 m/s hava hızında ve farklı elma dilim kalınlıklarında nem içeriğinin zamanla değişimi.



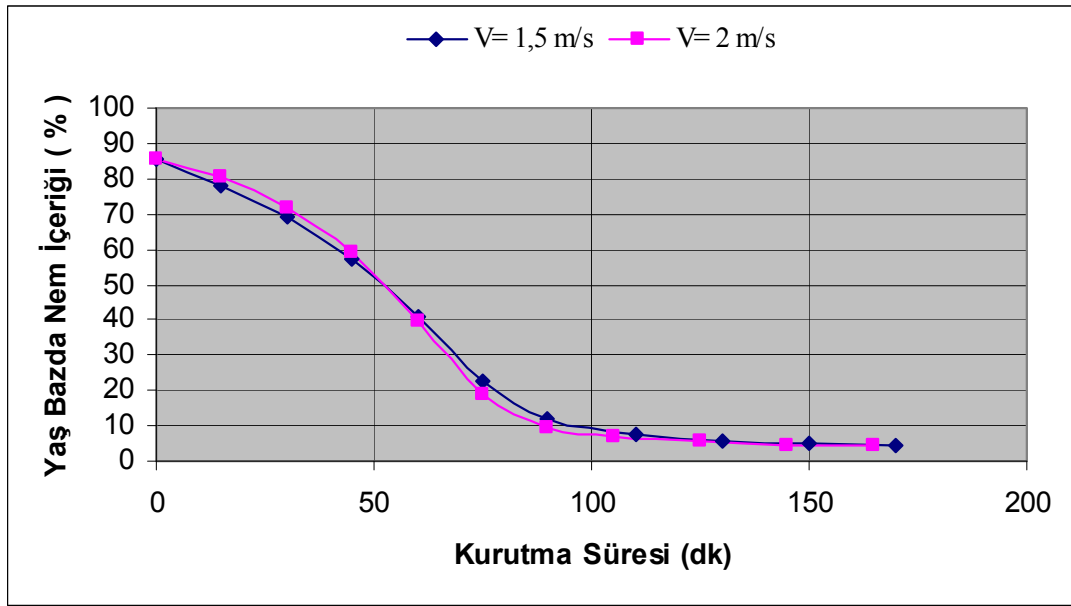
Şekil 4.5 70 °C sıcaklık, %10 bağıl nemde, 2 m/s hava hızında ve farklı elma dilim kalınlıklarında nem içeriğinin zamanla değişimi

Yukarıda elde edilen eğrilere bakıldığında, elmanın dilim kalınlığının artmasıyla kurutma süresinin uzadığı görülmektedir. Özellikle kurutmanın sabit hız periyodunda bu fark kendisini açık bir şekilde göstermektedir.

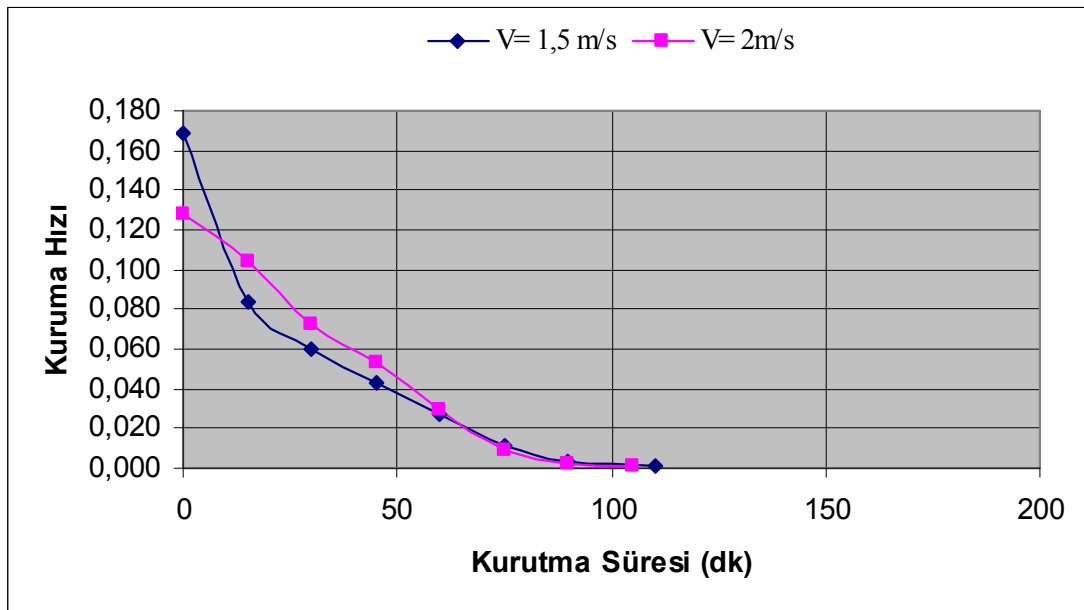
Nem içeriği ile kurutma süresinin yanı sıra kuruma hızı ile kurutma süresi de grafiklerde incelenebilir. Kuruma hızı aşağıdaki formül kullanılarak bulunabilir.

$$D_R = \frac{M_{(t)} - M_{(t+\Delta t)}}{\Delta t} \quad (4.1)$$

4 mm dilim kalınlığı için; 60 °C sıcaklıkta ve % 10 bağıl nemde, 1,5 m/s ve 2m/s hava hızlarında yapılan deney 1 ve deney 2 sonuçları incelendiğinde: Sabit sıcaklık ve bağıl nemde hava hızının artmasının kuruma hızını artırdığı ancak çok fazla etkili olmadığı görülmektedir (Şekil4.6, Şekil 4.7).

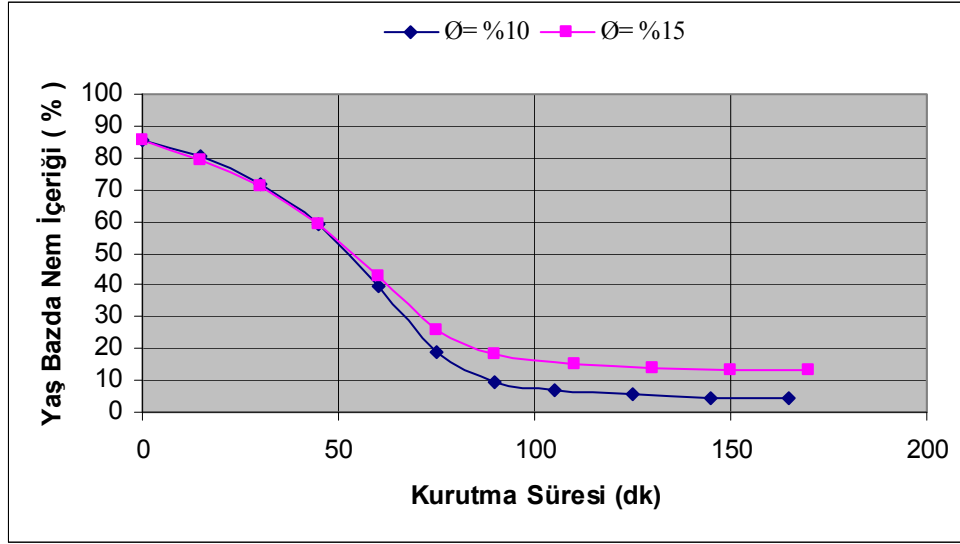


Şekil 4.6 60 °C sıcaklık, %10 bağıl nem ve 4 mm dilim kalınlığında farklı hava hızları için nem içeriğinin zamanla değişimi

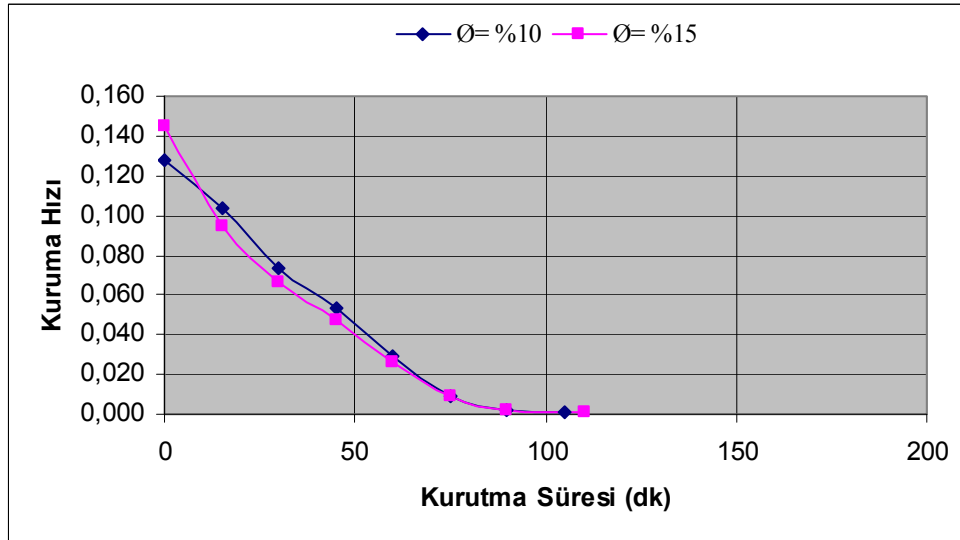


Şekil 4.7 60 °C sıcaklık, %10 bağıl nem ve 4 mm dilim kalınlığında farklı hava hızları için kuruma hızının zamanla değişimi

4 mm dilim kalınlığı için; 60 °C sıcaklıkta ve 2 m/s hava hızında, %10 ve %15 bağıl nem değerlerinde yapılan deney 2 ve deney 3 sonuçları incelendiğinde: Sabit sıcaklık ve hava hızında bağıl nem değerinin artmasıyla ürünün denge neminin arttığı, kuruma hızında ise azalma olduğu görülmektedir (Şekil4.8, Şekil 4.9).



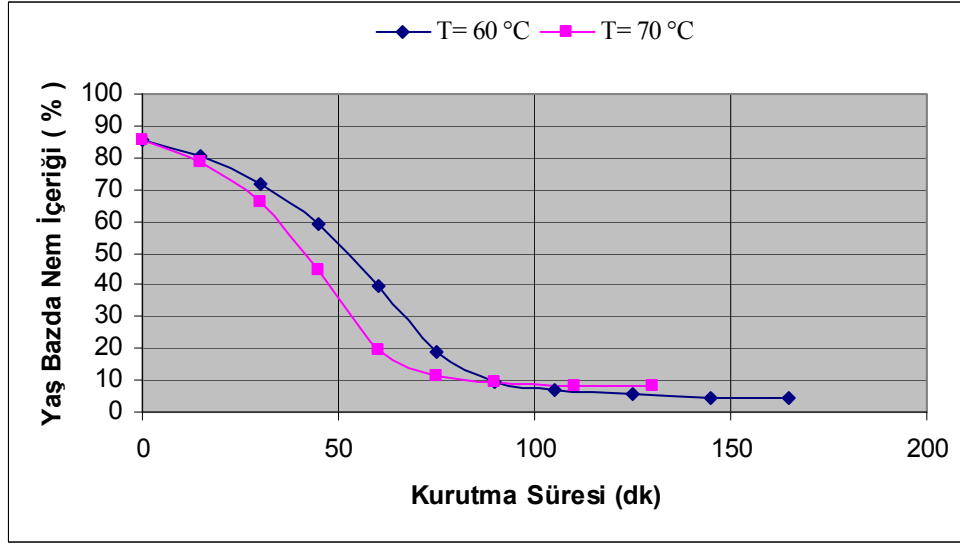
Şekil 4.8 60 °C sıcaklık, 2 m/s hava hızı ve 4 mm dilim kalınlığında farklı bağıl nem değerleri için nem içeriğinin zamanla değişimi



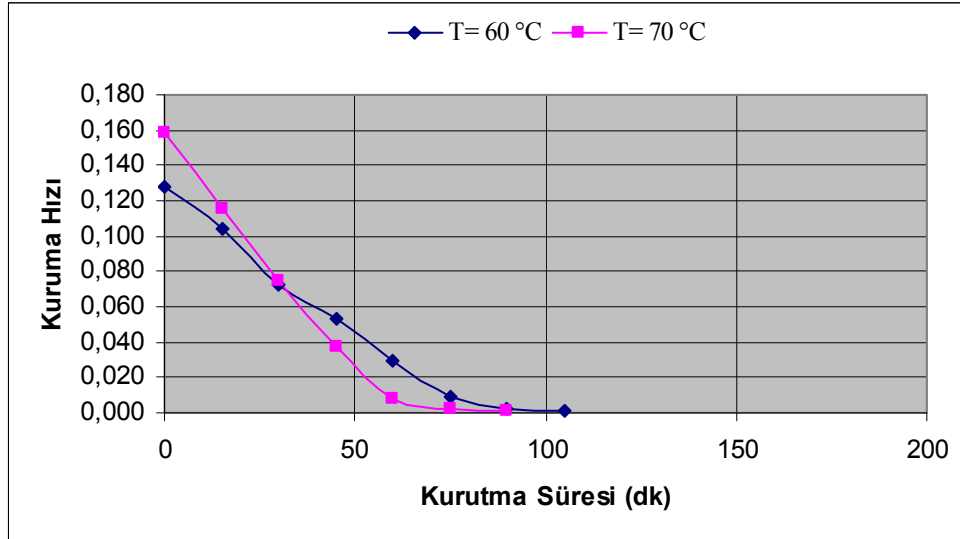
Şekil 4.9 60 °C sıcaklık, 2 m/s hava hızı ve 4 mm dilim kalınlığında farklı bağıl nem değerleri için kuruma hızının zamanla değişimi



4 mm dilim kalınlığı için, %10 bağıl nem ve 2 m/s hava hızında, 60 °C ve 70°C sıcaklıklarında yapılan deney 2 ve deney 4 sonuçları incelendiğinde: Sabit bağıl nem ve hava hızında sıcaklığın artmasıyla kurutma süresinin azaldığı, kuruma hızının ise arttığı görülmektedir (Şekil4.10, Şekil 4.11).



Şekil 4.10 %10 bağıl nem, 2 m/s hava hızı ve 4 mm dilim kalınlığında farklı sıcaklıklar için nem içeriğinin zamanla değişimi



Şekil 4.11 %10 bağıl nem, 2 m/s hava hızı ve 4 mm dilim kalınlığında farklı sıcaklıklar için kuruma hızının zamanla değişimi

## 5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Deney aşamasında elma dilimlerinin, herhangi bir çözelti uygulanmaksızın kurutulması halinde, dilimlerin renginin değişerek kahverengiye yakın bir renk aldığı gözlemlenmiştir. Ürünlerin limon sosunda 5 dakika bekletilip, 5 dakika ortamda tutulduktan sonra kurutulması halinde renginde herhangi bir değişim olmadığı görülmüştür.

Elmaların uzun süre kurutulması halinde dilimlerin aşırı gevrek hale gelerek kırıldığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle belirli zaman aralıklarında ağırlık ölçümü yapılırken, birbirini takip eden iki ölçümde ağırlık azalışı % 1 in altında ise ürün tam kuru kabul edilir (TS 3688, 2002). Kurutma sonrasında elma dilimleri ikiye katlandıklarında kırılmamalı ve dilimler ikiye bölünerek bakıldığında içerisinde nem bulunmamalıdır.

Yapılan deneyler içerisinde ağırlık ölçümlerinde elma dilim kalınlığının 4 mm olduğu tepsilerde birbirini takip eden iki ölçümde ağırlık azalışının %1 in altına düştüğü sürelerin karşılaştırılması yapıldığında, en hızlı kurumanın deney 4 şartlarındaki 70 °C hava sıcaklığı, %10 bağıl nem ve 2m/s hava hızında gerçekleştiği görülmüştür.

Deney seti ile kurutma havası için istenilen değerlerin çok küçük sapmalarla elde edilebilmesi, deney setinin güvenilir olduğunu göstermektedir. Hem %100 taze hava hem de karışım havası ile sistemin çalıştırılabilmesi; enerji tasarrufunun incelenebilmesi açısından da önemlidir.

Deneylerde elde edilen grafikler incelendiğinde; üfleme havası sıcaklığı, bağıl nemi ve hızının kuruma hızını ne şekilde etkilediği görülmektedir. Elmaların dilim kalınlığının da kuruma hızı üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir. Deney sonuçlarının materyal ve metot bölümünde verilen bilgilerle aynı doğrultuda olduğu görülmektedir.

## 6. KAYNAKLAR

- 1- Aktaş M., Ceylan İ., 2008, Isı Pompası Destekli Bir Kurutucuda Fındık Kurutulması, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 23, No 1, 215-222
- 2- Baker C. G. J., Lababidi H. M. S., 2001, Developments In Computer-Aided Dryer Selection, *Drying Technology*, 19(8), 1851–1873
- 3- Cemeroğlu, B., Acar J., 1986, Meyve ve sebze işleme teknolojisi, Gıda teknolojisi derneği yayın no:6, Ankara
- 4- Demir V., Günhan T., 2002, Tarım Ürünlerinin Kuruma Karakteristik Değerlerinin Belirlenmesi, *Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği Çalıştay*, No: 1, 17-31
- 5- Doğan Z.S., Tuncer K. 1988, Kahramanmaraş Kırmızı Biberinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri Saptanarak Doğal Koşullarda ve Plastik Örtü Altı Güneş Toplayıcılarıyla Kurutulması Üzerine Bir Araştırma, *Ç.Ü. Fen Ve Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 1-18, Adana
- 6- Doymaz I., PALA M., 2003, The Thin-Layer Drying Characteristics of Corn. in *Journal of Food Engineering*, vol 60, 125-130.
- 7- Ertekin C., 2002, Bazı Sebze ve Meyvelerin Kurutulması, *Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği Çalıştay*, No: 1, 34-35
- 8- Hepbaşlı A., 2002, Isı Pompalarının Ürün Kurutucularında Kullanılması, *Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği Çalıştay*, No: 1, 79-94
- 9- Kanarya A., 2002, Akışkan Yataklı Kurutma Prosesinin Matematiksel Modellemesi. GYTE Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli.
- 10- Krokido M.K., Karathanos V.T., Maroulis Z.B., ve Kouris D. 2002. Drying Kinetics Of some vegetables *Journal of food engineering* 59, 391-403
- 11- Lewicki P.P., Jakubczyk E., 2004 Effect of hot air temperature on mechanical properties of dried apples. *Journal of Food Engineering*, 64, 307–314.
- 12- Midilli A., Olgun H., Ayhan T., 1999. Experimental studies of mushroom and pollen drying, *Int J Energy Res*; 23:1143–52
- 13- Mujumdar A.S., LI, Y.K., Jog, V., 1980. Developments in Drying. *Proceedings of the Second International Drying Symposium, Drying'80 vol 1.*

- 14- Olgun H., Rzayev P., 2000, Fındığın Üç Farklı Sistemde Güneş Enerjisi ile Kurutulması, Tr J Engin Environ Sci, Tübitak , 24, 1-14
- 15- Özbalta N., Güngör A., 1997, Endüstriyel Kurutma Sistemleri, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, 3. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Ve Sergisi Bildiriler Kitabı, Yayın No: 203/2, İzmir
- 16- Özbilir V., 2006, Konya Bölgesi'nde Yetiştirilen Havucun Kontrollü Şartlar Altında Kurutma Karakteristiklerinin Belirlenmesi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Konya
- 17- Sacılık K., 2007, The Thin-Layer Modelling of Tomato Drying Process, Agriculturae Conspectus Scientificus Vol. 72 No. 4, 343-349
- 18- Sarsavadia P. N. , Sawhney R. L., 1999 , “Drying behaviour of brined onion slices” , Journal of Food Engineering , vol.40 , pp 219-226
- 19- Strumillo C., Kudra T., 1986, Drying: Principles, Applications and Design. Gordon and Breach Science Publishers
- 20- Türk Standardı, TS 3688 ISO 7701, Kurutulmuş Elma Özellikleri ve Deney Metotları, 8-9 Nisan 2002.
- 21- Wagner K. M., Mary E. M. and Jonhson C. E., *Drying Foods at Home, Booklet*, University of Wisconsin - Modison, 22, 1999.
- 22- Yağcıoğlu A. , 1999 , Tarım ürünleri kurutma tekniği kitabı
- 23- Zhang, Q., Litchfield JB. 1991. An optimization of intermittent corn drying in a laboratory scale thin layer dryer, *Drying Technol* 9:383–95