



T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**TASARLANAN GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ
KURUTMA SİSTEMİNDE ANANAS
KURUTULMASININ DENEYSEL
İNCELENMESİ**

Hevi Gizem TEKDAL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalını

Aralık-2023
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Hevi Gizem TEKDAL

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

TASARLANAN GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ KURUTMA SİSTEMİNDE ANANAS KURUTULMASININ DENEYSEL İNCELENMESİ

Hevi Gizem TEKDAL

Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Adem YILMAZ

2023, 89 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Adem YILMAZ

Doç. Dr. Faruk KILIÇ

Dr. Öğr. Üyesi Fatih ÖZEN

Kurutma, ürün raf ömrünün uzatılması, nakliye ve depolama, besin ve ambalaj kaybı olmaksızın taşınması gibi avantajları nedeniyle tarım ürünlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Tarım ürünlerini kurutmak için ekonomiktir, yüksek teknoloji gerektirmez, işletme ve bakım maliyetleri son derece düşüktür, yenilenebilir enerji kullanır, temiz ve çevre dostudur. Solar kurutma sistemleri üstünlüklerinden dolayı sıklıkla kullanılmaktadır.

Bu çalışmada tasarlanan prototip bir kurutma kabında havalı güneş kolektörü kullanılarak ananas gıdasının kurutma işlemi yapılmıştır. Açık havada (ortalama 35-39 °C), 50 °C de, 60 °C de ve 70 °C de olmak üzere toplam dört farklı kuruma yöntemi incelenmiştir. Ananaslar ellişer gram olacak şekilde dilimlere ayrılmış olup kurutma alanlarına yerleştirilmiştir. Düzenli aralıklarla 30 dakikada bir ölçüm yapılmıştır. Elde edilen verilere dayanarak açık havada ve fırında farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen kuruma işlemi incelenmiştir. Sonuç olarak ananas gıdasının yaklaşık %85-87'sinin sıvı olduğu kurutma işlemi sonunda 50 gr ananasların ağırlığının 6.5 gr'a düştüğü gözlemlenmiştir. Kurutma işlemi boyunca en çok sıvı kaybının ilk saatler gerçekleştiği ve en büyük ağırlık farklarının ilk saatlerde olduğu gözlemlenmiştir. Açık havada gerçekleşen kuruma işlemine nazaran kurutma kabında farklı sıcaklıklarda gerçekleşen kuruma işlemlerinin daha hijyenik ve süre anlamında daha kısa olduğuna karar verilmiştir. Alınan ölçümlerden elde edilen verilerle yüzdelik nem değişimi, nem oranı ve nem içeriği hesaplanmıştır. Deney başlangıcında yüzdelik nem değişim oranı %87 iken deney sonucunda bu oran %3-4 arasında değişiklik göstermiştir. Aynı şekilde deney başlangıcında nem oranı 1 ve nem içeriği 6.69 olarak kabul ediliyorken deney sonucunda ise nem oranı 0.01 nem içeriği 0.04-0.08 arasında değişiklik gösterdiği gözlemlenmiştir. Tasarlanan gıda kurutma fırınında yapılan ananas gıdası kurutma işleminde geleneksel kurutma işlemine göre 70 °C'de %50, 60 °C'de %28 ve 50 °C'de 12.5 verim artışı olduğu hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ananas, Fırın, Güneş Enerjisi ile kurutma, Yenilenebilir Enerji

ABSTRACT

MS THESIS

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF PINEAPPLE DRYING IN THE DESIGNED SOLAR ENERGY SUPPORTED DRYING SYSTEM

Hevi Gizem TEKDAL

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Adem YILMAZ

2023, 89 Pages

Jury

**Assoc. Prof. Dr. Adem YILMAZ
Assoc. Prof. Dr. Faruk KILIÇ
Asst. Prof. Dr. Fatih ÖZEN**

It is widely used in agricultural products due to its advantages such as drying, prolonging product shelf life, transportation and storage, without loss of nutrients and packaging. It is economical for drying agricultural products, does not require high technology, has extremely low operating and maintenance costs, uses renewable energy, is clean and environmentally friendly. Solar drying systems are frequently used due to their superiority.

In this study, pineapple fruit was dried using a solar air collector in a prototype drying container designed. A total of four different drying methods were examined: outdoors (average 35-39 °C), 70 °C, 60 °C and 50°C. Pineapples were cut into slices of fifty grams each and placed in drying areas. Measurements were taken at regular intervals every 30 minutes. Based on the data obtained, the drying process carried out in the open air and in the oven at different temperatures was examined. As a result, it was observed that approximately 85-87% of the pineapple fruit was liquid and at the end of the drying process, the weight of 50 gr pineapples decreased to 6.5 gr. It was observed that during the drying process, the most liquid loss occurred in the first hours and the biggest weight differences occurred in the first hours. It was decided that the drying process carried out in the drying container at different temperatures was more hygienic and shorter in terms of time compared to the drying process carried out in the open air. Percentage moisture change, humidity rate and moisture content were calculated with the data obtained from the measurements taken. While the percent humidity change rate was 87% at the beginning of the experiment, this rate changed between 3-4% at the end of the experiment. Likewise, at the beginning of the experiment, the humidity rate was assumed to be 1 and the moisture content was 6.69, but at the end of the experiment, it was observed that the humidity rate varied between 0.01 and moisture content 0.04-0.08. It was calculated that in the pineapple fruit drying process carried out in the designed food drying oven, there was a 50% increase in efficiency at 70 °C, 28% at 60 °C and 12.5% at 50 °C compared to the traditional drying process.

Keywords: Pineapple, Oven, Solar Drying, Renewable Energy

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimi gördüğüm süre içerisinde ve tez çalışmamın her aşamasında, bilgisini, tecrübesini ve sabrını benden esirgemeyen, her türlü problemin üstesinden gelmeme yardımcı olup desteğini sürekli yanımda gördüğüm saygıdeğer danışman hocam Doc. Dr. Adem YILMAZ'a, süreç boyunca destek olan saygıdeğer hocam Dr. Öğr. Üy. Ayla DURMUŞ'a, tez çalışmam boyunca inancını emeğini esirgemeyen her koşulda yanımda olan annem Sevim TEKDAL ve aileme, heyecanla bu yola beraber çıktığım ancak şuanda maalesef aramızda olmayan ve yokluğunda bile yoluma ışık tutabilen babam Cengiz TEKDAL'a sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Hevi Gizem TEKDAL
BATMAN-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
ÖNSÖZ	ix
İÇİNDEKİLER	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR	3
3. KURUTMA İŞLEMİ.....	8
3.1. Güneşte Kurutma.....	8
3.2. Kabin Kurutucular	9
3.3. Tünel Kurutucular.....	9
3.4. Döner Kurutucular	9
3.5. Silindir Kurutucular	10
3.6. Püskürtmeli Kurutucular	10
3.7. Dondurarak Kurutma	10
3.8. Akışkan Yataklı Kurutucu	11
3.9. Kızılötesi Işınımlı Kurutma.....	12
3.10. Mikrodalga Yöntemi ile Kurutma	12
4. SOLAR KURUTMA SİSTEMİ	13
4.1. Yüksek Sıcaklıkta Kurutucu	13
4.2. Alçak Sıcaklıkta Kurutucu	13
4.3. Güneş Enerjisi Destekli Kurutma Sistemleri	13
4.3.1. Pasif tip destekli solar ürün kurutucular	14
4.3.2. Aktif solar sistem kurutucular.....	18
4.4. Farklı Kurutma Yöntemleri.....	19
5. MATERYAL VE YÖNTEM.....	22
5.1. Deneysel Yöntem	22
5.2. Deney Ekipmanları.....	37
5.2.1. Tasarlanan kurutma kabı	37
5.2.2. Havalı güneş kolektörü.....	38
5.2.3. Data logger.....	39
5.2.4. K-Tipi termokupl	40

5.2.5. Güneş radyasyon ölçer (Solarmeter)	41
5.2.6. Anemometre.....	42
5.2.7. Hassas tartı.....	42
5.3. Ananas Gıdası.....	43
5.3.1. Ananas gıdasının fizyolojisi	45
5.4. Yapılan Ölçümler	49
5.4.1. Sıcaklık ölçümleri	49
5.4.2. Kütle ölçümleri	51
5.4.3. Havanın hız ölçümü	51
5.4.4. Güneşin radyasyon ölçümü.....	51
5.5. Hesaplama Kuralları	52
5.5.1. Kurutma işleminde nem miktarının belirlenmesi.....	52
5.5.2. Yüzdelik oranda nemdeki değişim.....	52
5.5.3. Üründeki nem oranı.....	52
5.5.4. Üründeki nemin içeriği-kuru madde miktarı	53
5.5.5. Kolektör Yüzey Alanı Hesaplama	54
5.5.6. Işınım Değeri Hesaplama	54
5.5.7. Belirsizlik Analizi	55
6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	58
6.1. Sıcaklık-Zaman Grafikleri	58
6.2. Ağırlık-Zaman Grafikleri.....	59
6.3. Yüzde Nem İçeriği- Kuruma Zaman Grafikleri.....	63
6.4. Nem Oranı Grafikleri.....	66
6.5. Nem İçeriği Grafikleri	68
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	70
7.1. Sonuçlar	70
7.2. Öneriler	72
KAYNAKLAR	74
ÖZGEÇMİŞ	79

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Δt	: Zaman (dk)
$^{\circ}\text{C}$	: Santigrat derece ($^{\circ}\text{C}$)
dk	: Dakika
gr	: Gram
M1	: Kurutulacak ürünün kurutma işlemi yapılmadan önceki nemi (%)
M2	: Kurutulacak ürünün kurutma işlemi yapıldıktan sonraki nemi (%)
Me	: Ürünün kurumuş ağırlığı (kg)
Milk	: Kurutulacak ürünün ilk ağırlığı (kg)
M _{k.b}	: Kurutulacak ürünün kuru haline göre nem oranı (%)
Mo	: Kurutulacak ürünün ilk nem içeriği (kgsu/kgkatı)
MR	: Nem Oranı
Ms	: Kurutulacak ürünün iç kısmında bulunan su ağırlığı (kg)
M _t	: Kurutulacak ürünün t anındaki nem miktarı (kgsu/kgkatı)
My.b	: Ürünün yaş haline göre nem oranı (%)
W/m ²	: Güneş radyasyonu

Kısaltmalar

3D	: Üç boyutlu
AB	: Avrupa Birliđi
AD	: Sıcak Hava Kurutma İdaresi
FAD	: Dondurma Yöntemi ile Sıcak Hava Kurutma
FD	: Dondurma Yöntemi ile Kurutma
GEPA	: Türkiye Güneş Enerjisi Kapasitesi
HAD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiđi
MC	: Nem İçeriği
mm	: Milimetre
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu

1. GİRİŞ

Kurutma ülkemizde oldukça yaygın bir şekilde kullanılan bir işlemdir. Ürünler hasat edildikten sonra kısa bir sürede solunumları durur ve bozulmaya başlarlar. Ürünlerdeki bozulma gibi problemleri ortadan kaldırıp daha uzun süre kullanılmasını sağlamak için birçok yöntem kullanılmaktadır. Bunların en önemlisi de kurutmadır. Kurutma işlemi ürünlerdeki nem miktarını minimum seviyeye indirilmesi işlemidir (Alibaş, 2012; Ertekin ve Yıldız, 2004). Çok eski dönemlerden beri kurutmada kullanılan en doğal yöntem güneşte kurutmadır. Açıkta kurutma sağlık açısından oldukça zararlıdır. Bu yöntem böcek, toprak ve çöp başta olmak üzere ürünlerde birçok kirliliğe sebep olmaktadır. Ayrıca bu yöntem ile uzun kurutma sürelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Yeni geliştirilen teknolojilerle enerji verimliliği sağlanan, zamandan tasarruf edilen ve kuru ürün kalitesi yüksek kurutma sistemleri tasarlanmaktadır. Geleneksel kurutma sistemlerinde ürünlerdeki kuruma olayı dış yüzeyden iç kısma doğru gerçekleşmektedir. Öncelikle dış yüzey kuruduğu için sert bir tabaka oluşur. Dıştaki tabaka ürünün iç kısmından ısı transferi olmasını engeller. Bu sebeple kuruma süresi uzar (Eren ve ark., 2005; Soysal ve ark., 2009).

Tarımsal ürünlerin korunmasında ve kullanılabilir ömürlerinin uzamasında kullanılan birçok sistem vardır.

- Pastörize (Ürünlerdeki mikroorganizmaları yok ederek gelişimini durdurmak)
- Soğutma (Ürünün solunumunu azaltmak)
- Kimyasal Yöntemler (Çeşitli organik asitlerin ve amonyakın ürünlerin kurutulması işleminde kullanılması)
- Gamma-Beta Işınları (Bu ışınlar kurutulacak ürünlerdeki mikroorganizmaları öldürmeye yarar)
- Kurutma (Çeşitli hava hareketleri ve ısıtma yöntemleri ile ürünlerdeki nemi en aza indirme)

Bu yöntemler arasında en çok kullanılanı ve ekonomik açıdan en verimli olanı kurutma olduğu düşünülmektedir (Sadeghian, 1992).

Bu çalışmanın amacı yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanılan daha hijyenik koşullarda süreden de tasarruf ederek kurutma işlemi yapmaktır. Tasarlanan fırın ve kullanılan havalı kolektör yardımı ile ananas gıdası kurutulmuştur. Doğal kurutma yöntemi olarak bilinen dışarda kurutma işleminde ürünler çok fazla kire, toza ve böceğe

maruz kalabilir. Ancak tasarlanan bu sistem ile ürünlerin temiz bir şekilde kurutma işlemi tamamlanır. Yaklaşık %85-87'si su olan Ananas gıdası kurutulurken 50 gr olarak deneye başlanmıştır. Açık havada yapılan kurutma işlemi yaklaşık 9 saat sürerken tasarlanan gıda kurutma fırınında 6-8 saat sürmüştür. Deneyin sonucunda ananas gıdasının ağırlığı 6.5 gr olmuştur.



2. LİTERATÜR ÖZETİ

Güneş enerjisi kullanılarak yapılan kurutma işlemine yönelik birçok çalışmanın yapılmış olup bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Garba ve ark. (1990) yaptıkları çalışmada dört pasif güneş enerjisi sürücüsü geliştirmiştir. Elinde bulunan pasif kabinli güneş enerjisi sürücüsü, taşlı ısı depolamalı pasif kabinli güneş enerjisi sürücüsü, doğrudan pasif kabinli güneş enerjisi sürücüsü, karmaşık doğrudan ve pasif kabinli güneş enerjisi sürücüsüdür. Bu sistem de balık ve gıdaların kurutmada kurutmanın kontrolünü sağladığı sonucuna varmıştır.

Kılıç (2019) yaptığı çalışmada, kırmızı turpu dilimleme ve rendeleme olmak üzere iki farklı yöntemle 60 °C'de kurutulmuştur. Dilimleyerek ve rendelenerek kurutulmuş kırmızı turpların kuruma süreleri sırasıyla 450 dakika ve 120 dakika olarak belirlenmiştir. Kurutma süreci boyunca tüketilen elektrik enerjisi ölçülmüştür. Rendelenmiş kırmızı turpların, dilimlenmiş kırmızı turplardan %53.09 daha az enerji içerdiği gözlemlenmiştir. En yüksek SEC değeri olarak da dilimlenmiş kırmızı turplar 17.7 (kWh/kgsu), rendelenmiş kırmızı turplar 58.2 (kWh/kgsu) olarak belirlenmiştir. SMER değeri en fazla dilimlenmiş kırmızı turpların 0.16 (kWh/kgsu), rendelenmiş kırmızı turpların 0.29 (kWh/kgsu) olarak ölçmüştür.

Yaşartekin (1991) güneş ve elma kurutma deneylerini dikey ekseninde belirli zaman aralıklarında izleyen kabinli güneş enerjisi kullanmanın olasılıkları incelemiş ve açık havada kurutma ile karşılaştırmıştır. Kurutucudaki hava sirkülasyonu zayıf olduğu için kurutucudaki kurutma tüketimin doğal kurutma hızından daha düşük olduğunu sonucuna varmıştır.

Ayvaz (1992) güneş enerjisi kullanarak tarım ürünlerini kurutmak için cebri konveksiyonlu hava ısıtıcı kolektörlü bir endüstriyel kabinli denemeyi ve inşa etmeyi denemiştir. Denemede, bu teknolojiye göre farklı ülkelerdeki elmalar tarım ürünü olarak kullanılan, farklı çalışma ortamlarında ve aynı anda açık alanda kurutulan ürünlerle kurumanın süresi, kurutma hızı ve ürünlerdeki kalite karşılaştırılmıştır.

Kılıç ve ark. (2020) eş zamanlı merkez fan direnci ile kontrol edilen bir gıda kurutma fırınında 50 °C'de kurutulan limon dilimlerinin zamana bağlı görüntü kaydı ve kinematik karakterizasyonu incelemişlerdir. Veri ve parametrelerin güvenilirliğini artırmak için deneyler 3 kez tekrarlanmıştır. Toplam 330 dakika süren kurutma işlemi sırasında fırın içerisine yerleştirilen dijital kamera, her 30 dakikada bir görüntü kaydetmiştir. Deney sonucunda elde edilen verilere göre normleştirilmiş kilo kaybı %75.8 olarak gerçekleşmiştir. Limon dilimlerinin renginde ve alanında değişiklikler

ortaya çıkmıştır. Bu matematiksel değişimler (renk, alan, ağırlık) ile karmaşık ağ yapıları arasında matematiksel bağlantılar kurularak kurutma işleminin yönetimi ve kontrolü sağlanabilmektedir.

Fadhel ve ark. (2005) Sultani üzüm çeşidinin kurutma süresini üç adet solar sistem kullanarak analiz yapmıştır. Üzümler doğal konveksiyonlu güneş avcılarında, güneşli tünel seralarda ve açık güneşte kurutulmuştur. Bu nedenle, güneş tüneli seraları dibinde kurutma, doğal konvektif güneş enerjisiyle kurutmaya kıyasla tatmin edici bir süreç gibi görünmektedir. Solar tünel serada kurutma 5 gün, doğal konveksiyonlu güneş kurutma 4 gün sürmüştür. Ancak sera kurutmanın, ilk yatırım veya ek maliyet gerektirmeyen yüksek kurutma kapasitesi nedeniyle daha fazla tercih edildiği söylenmektedir.

Gallali ve ark. (2000) doğal enerji ve güneş enerjisi kullanarak üzüm, incir, domates ve soğan kurutmak ve numunelerin kül içeriği, nem, asitlik, toplam şeker tüketimi ve C vitamini gibi bazı kimyasal özelliklerini incelemek için kullanmıştır. Yöntem olarak gerçekleştirilen güneşte kurutma ile kurutulan üzümlerin, doğal yöntemler ile gerçekleştirilen kurutmaya göre daha uygun olduğu gözlemlenmiştir.

Kadam ve ark. (2006) karnabahar kurutmak için güneş destekli bir kurutma sistemi geliştirmiştir. 4 adet panel birbirine paralel dizilerek ortam ve kolektör çıkış sıcaklıkları ve bağıl nemleri sınır olarak ölçülerek kolektörün ısıl bağlantısı hesaplanmıştır. Duyuruya göre günlük ortalama getiri oranı %16.5 civarında olduğu gözlemlenmiştir.

Olgun ve Rzayev (2000) çalışmalarında doğu Karadeniz de yetiştirilen fındık, tütün ve mısır gibi çeşitli ürünlerin güneşte kurutulması için ucuz, çok amaçlı bir yönetici tasarlamış ve inşa etmişlerdir. Üç kurutucular arasından en yüksek nem oranı olan fındıklar kurutularak kuruma verileri verilmiştir. Çalışmanın sonuçları ayrıca dışarda doğal kurutma verileriyle de karşılaştırılmıştır. Deney sonucunda fındıkların yaklaşık 82 saat açık depolamaya alındığı gözlemlenmiştir. Bir dolaplı kurutucuda fındık için ekstra ısıtıcı kullanılıyorsa 28 saat, ekstra ısıtıcı kullanılmaz ise yaklaşık 50 saatte kuruduğu gözlemlenmiştir.

Ceylan ve ark. (2006) güneş kolektörü fırınında elmaları kurutup incelemesini yapmıştır. Havadan havaya güneş kolektörü kurutma fırını kullanarak kurutmanın, kontrolsüz bir dış hava girişiyle kurutma işlemine kıyasla daha düşük ilk yatırım maliyetine ve daha düşük enerji girdisine sahip olduğunu, bunun da ölçüm tüketicisi için daha kısa kurutma süreleri ve tüketim ölçüm verileri sağladığını bildirmişlerdir.

Elmalar; 40 °C'de, ortalama bağıl nem %20, rüzgar Hızı 2.8 m/s, su oranı 4.8 (gr su/gr kuru halde bulunan madde) ile 0.180 (gr su/gr kuru halde bulunan madde) su oranında toplamda 3.5 saatte kurutulmuştur.

Aktaş ve ark. (2010) güneş enerjisinden faydalanan güneş ısı borulu toplayıcı ve havadan havalandırma ısı pompası sistemi kullanarak kırmızı biberlerin kurutulmasını deney ile incelemiştir. Başlangıç nem içeriğinden (10.81gr su/gr kuru halde bulunan madde) son nem içeriğine (0.16gr su/gr kuru halde bulunan madde) kadar kurutulmuştur. Test sonuçlarından, tüm sistem için 2.24'lük bir ortalama termal etki katsayısı (COP_{wh}) ve 0.209'luk bir nem emme oranı (SMER_{ws}) hesaplamışlardır.

Selçuk ve ark. (1974) raf modeli bir güneş enerjisi kurutucusu kurarak elmanın kurutulması deneyleri yapmışlardır. Bu projede çatı ahşaptan yapılmış olup, kaplama ürünü olarak polietilen film seçilmiştir. Güneşten gelen ışıyı emmek için iki katmanlı kümes teli arasında ince metal levhalardan yapılmış bir toparlayıcı kullanmışlardır. Bu barındırmayan, sabit bir hava koşulları için bir raflı ısıtıcının ısı ve kütle aktarım ilişkisinin yüklü bileşenleri hesaplanmıştır. Ölçülen ve hesaplanan değerlerin, sıcaklıkta 3 °C, nemde ise %8 farkla uyum içinde olduğu bildirilmiştir.

Koç ve ark. (2004) kırmızı biber kurutmak için bir güneş enerjili kurutucunun performans analizini yapmışlardır. Açık depolamadan biberlerin toplam 37 saatinde ilk ağırlığının yüzde 14'üne, sistem iç kısmında kurutulan biberlerin ise ilk ölçülen ağırlığının yüzde 20'sinden az olması 46 saat sürdüğü hesaplanmıştır. Açık kurutmanın hızına rağmen askorbik asit (C vitamini) ve renk açısından testini gördüklerini, kurutucuda kurutulan biberlerin açık havada elde edilenlere göre daha yüksek değerler elde ettiğini gözlemlenmiştir.

Madhlopa ve ark. (2001) mangoları tasarladıkları güneş enerjili sistemde kurutma işlemini tamamlamışlardır. Güneş enerjisi sürücüsünün kolektörüne iki emici panel yerleştirmişlerdir ve panelleri hareket ettirerek havanın muhafazasını ayarlayabileceklerini söylemişlerdir. Kurutulmuş mangoların nem oranı, pH'ını ve askorbik asitini karşılaştırmışlardır. Kurutma işlemi bittikten sonra nem içeriğinin %85 oranından %13 oranına azaldığı ve askorbik asit içeriğinin korunduğu gözlemlenmiştir.

Chen ve ark. (2004) güneş pili sistemli kapalı bir yönetici geliştirmişlerdir. Doğrudan güneş ışığının özelliklerini azaltmak için yüksek ışık geçirgenliğine sahip camlı bir kurutma kabini tasarlamışlardır. Ek olarak, ham maddeye kuru bazda ek güneş enerjisiyle çalıştırmışlardır. İzleme sırasında yedek pilin yetersiz kalması durumunda güç kaynağı için paralel kablolarla güç sistemi kullanmayı planlamışlardır. Kapalı bir

güneş kurutucusu kullanarak kurutulan limon dilimlerinin organoleptik tüketicileri açısından optimal kalite seviyelerinde olduğu tespit edilmiştir.

Tris ve ark. (1996) bir kurutma programı ve gıda kurutmak için bir güneş enerjili hava hortumundan yeni bir tip güneş enerjisiyle çalışan sistem geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri yeni sistemi Sudan üzümünde, yeşil fasulyede ve kırmızı biberde başarılı bir şekilde test etmişlerdir. Açık hava güneşte kurutma ve güneşte kurutma deneylerini karşılaştırıp güneşte kurutmanın bu tür ürünler için kuruma maliyetlerini önemli ölçüde kısılttığını ve daha kaliteli bir ürün ürettiğini bulmuşlardır.

Aktaş ve ark. (2012) güneş enerjisi ile çalışan bir sistem tasarlamışlardır ve değerlendirerek incelemişlerdir. Geliştirilen bu sistem domatesler kurutulmaktadır. Sıcak su hazırlama toplayıcıları, ısı akümülatörleri ve fotovoltaiik tesisleri ile planlanan bir kurutma işletmesi, domates dilimleri başlangıç nem içeriği 16.39 gr su/gr üründe bulunan kuru madde ve en son ölçülen nem içeriği 0.21 gr su/gr ürünlerdeki kuru madde olacak şekilde kurutulmuştur. Kurutma için gereken fotovoltaiik, güneş ve enerji tesisatları tarafından yapılmıştır. Kurutma işlemi sırasında kurutma havası sıcaklığı 50, 45 ve 40 °C olarak seçilen ayrıca 6.7 ve 8.5 saat süren ortalama 0.2 m/s hava hızı ile bir hava püskürtmeli kurutma yapılandırmaları istenen nem düzeyine ulaşılmıştır.

Mutlu ve Öztürk (2004) güneş enerji sistemini kullanarak incir kurutmanın akımları üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Çalışma süresi boyunca güneş radyasyonu, kuru havanın kütle özellikleri, sıcaklık ve nem değerlerini incelemişlerdir. Solar sistem kullanılarak yapılan kurutma işlemi yatırım ve enerji çıkışlarının çok az olduğu sonucuna varılmıştır.. Ancak kurutma için gereken sürenin uzun olması nedeniyle kurutma bölmesinin yerleştirilmesi ve boşaltılması gibi işlemlerin yüksek maliyetli masraflarını gerektirdiği sonucuna varılmıştır.

Koyuncu ve Pınar (2001) kırmızı biberleri kurutmak için serbest akışlı bir güneş enerjisi kabinli sistem tasarlamıştır. Bu sistem, kurutma işlemi sırasında çevre koşullarının ürün üzerindeki olumsuz etkilerini azaltıp kaliteyi arttırmıştır. Ayrıca 1kg ürün için gerekli olan kuruma süresi 3.5 saatten (2.73 kat azaltarak) 1.28 saate indirilebileceği tespit edilmiştir.

Kılıç (2020) yaptığı çalışmada tasarladığı, üretilen ve en küçük değerlerine kadar denetlenen Gıda Kurutma Fırını (GKF) kapak aralığının en uygun alanını belirlemeyi amaçlamıştır. Dört farklı boyuttaki kapak açıklığında 3 mm kalınlığında dilimlenen elmaları 80 °C de kurutarak kurutma süresi ve elektrik enerji kaybını tespit etmiştir.

Deney sonucunda elde edilen veriler zaman ile enerji kaybı kıyaslaması yapılarak, farklı seçenekler içerisinde en uygun yöntem belirlemiştir.

Yaldız ve ark. (2001) çekirdeksiz üzümlerin ince tabaka şeklinde kurutulmasını incelemiştir. Solar Sistemli kurutucu, güneş enerjili hava ısıtıcıları ve kurutma başlıklarından oluşmaktadır. Kurutmanın gerçekleştiği hava, güneş enerjisi yardımı ile ısıtılıp ürünlerin üzerinde bulunduğu raflardan geçerek kurutma yapılmıştır. Kurutma işlemi esnasında rüzgar hızı 0.5-1.0-1.5 m/s olarak ayarlanmıştır. Deney farklı zamanlarda tekrarlanarak kurutma havası sıcaklığının etkisi belirlenmiştir. Dış hava ile kurutucuya yerleştirilen havanın ısı, bağıl nem ve güneşin ışıma değeri hesaplanmıştır.



3. KURUTMA İŞLEMİ

Gıdaların kurutularak uzun süre muhafaza edilmesi eski zamanlardan beri uygulanmaktadır. Çoğu zaman güneş enerjisi kullanılarak bu olay kendiliğinden gerçekleşir. Tüm ürünleri direkt güneşte kurutmak iyi bir yol değildir. Ürünü doğrudan güneşte kurutmak zararlı maddeler oluşturacaktır. Ürün üzerinde toz, kir, hayvan atığı vb. birikmesi direkt güneşte kurutma yönteminin dezavantajıdır. Bu olumsuz şartları ortadan kaldırmak için güneş enerjisi veya çeşitli yöntemler ile oluşan ısıyla çeşitli kurutma yöntemleri geliştirilmiştir. Genel değerlendirildiğinde kurutmayı iki farklı gruba ayırabiliriz: güneşte açık havada kurutma ve suni kurutma. Güneşte açık havada kurutma; ürünün doğrudan güneşe maruz kalarak gerçekleştirilen kurutma yöntemidir. Suni kurutma ise farklı yöntemler kullanılması nedeniyle ısıtılmış havayla yapılan kurutmadır.

Kurutulacak ürüne göre kurutma yöntemi seçilir. Kurutulan ürünün fiziksel özelliklerine ve ürünün kurutulması için uygun değer koşulları sağlayan sistemlere bağlı olarak farklı kurutma yöntemleri geliştirilmiştir.

3.1. Güneşte Kurutma

Ürünlerin güneş enerjisi kullanılarak açık havada kurutulması yöntemidir. "Doğal kurutma" olarak da bilinir. Gıdanın güneşte kuruması ortalama 8-10 gün sürer (MEB, 2011). Tablo 3.1'de güneşte kurutulmuş gıdaların bazı özelliklerini verilmiştir.

Tablo 3.1. Bazı Gıdaların Kuruma Özellikleri (MEB, 2011)

Gıda Çeşidi	Verim (%)	Ürünün Son Halindeki Su Oranı (%)	Kuruma Zamanı (Gün)
Erik	25-30	16-19	7
Elma	11-12	3-5	15-18
Çekirdeksiz Üzüm	25-28	12-15	8-10
Kayısı	20-30	15-20	5-6

Meyve ve sebze gibi gıda ürünleri güneş enerjisi kullanılarak açık havada kurutulduğunda yağmur, toz, toprak ve çeşitli hayvanlardan olumsuz etkilenecek ürün kalitesinin düşmesine neden olur. Bu tür sorunları önlemek için güneşe maruz kalmaya alternatif olarak birçok suni kurutma yöntemi geliştirilmiştir.

3.2. Kabin Kurutucular

Kabin, genellikle kutu şeklinde ısı yalıtımlı kurutma kutusudur. Kabinli kurutucu; delikli palet, vagon ve kurutma odasından oluşmaktadır (Karakaya, 2017). Dışarıdan emilen hava, kabin içindeki ısıtıcılar tarafından ısıtılır. Isıtılan havanın sirkülasyonu fanlar yardımı ile sağlanmaktadır. Kurutulacak ürünün yüzeyinde dolaşan ve ürünlerdeki nemi emen hava dışarı atılır.

Kabinli kurutucu fıstık, ceviz, mantar, elma vb. taneli gıdalarda bütün halde veya dilimlere ayrılmış halde kurutulabilen ürünler için uygundur. Ürünü kuruması için dolaptaki bir rafa yerleştirilir. Bu tip kurutucularda ürün cinsine göre hava hızı uygulanmaktadır. Ürünün kuruma süresi kısadır (Olgun ve ark., 2000).

3.3. Tünel Kurutucular

Tünel kurutucu da kurutulacak malzeme tepsilere dizilir ve uzun bir tünele bırakılır. Bu tarz kurutucuda hava akışı vagon paralel, zıt veya dik olabilir. Tünel içindeki sıcak hava fanlar yardımıyla sirküle edilir. Tünel kurutucular iki kategoriye ayrılabilir: paralel akışlı tüneller ve ters akışlı tüneller. Paralel akış tüneline, ısınan hava ve kurutulacak ürün aynı yöne doğru ilerler. Bu tip kurutma sisteminde ürün ile hava aynı yerden geçer. Bu yüzden ısınan hava önce taze ürünle, daha sonra kuru ürünle karşılaşır. Hava kuru ürünle hareket ettikçe yavaş yavaş soğur ve nem oranı artar. Karşı akışlı bir tünelde, ısınan hava ve kurutulan ürün zıt yönlerde hareket eder. Paralel akışın aksine, ısınan hava önce kurumuş ürüne ve son olarak ıslak ürüne çarpar.

Paralel akış kanalında kurutulan ürün ile ısınan hava aynı yönde girdiği için ürünün yüzey kısmı çok çabuk kurur ve ürün içerisinde neredeyse hiç kırıksık olmaz. Ancak üründe boşluklar ve çatlaklar oluşur. Karşı akımlı hava kanalında ise kurutmanın başlangıç adımı soğuk ve nemli hava ile yapıldığından kurumuş ürünün nem dağılımında çok az fark olur, bu nedenle tam ve düzenli kırıksıklıklar ortaya çıkar. Bu iki yöntemin yanı sıra çapraz akışlı tüneller de kullanılmaktadır. Çapraz akışlı hava kanalı, bir karşı akışlı hava kanalı ve bir kabin kurutucudan oluşmaktadır. Bu yöntemde daha üniform bir kurutma elde edilebilir (Sarsılmaz, 1998).

3.4. Döner Kurutucular

Döner kurutucu, kurutucu duvarlarına yapışmayan granül veya kristal ürünleri kurutmak için uygun bir yöntemdir. Bir döner kurutucu, eksenine yatayla hafif bir açı yapacak şekilde tasarlanmış silindirik bir gövdeye sahiptir. Kurutulan ürünler

kurutucuya yukarıdan aşağıya doğru konur ve sıcak hava aşağıdan yukarıya gönderilir. Bu sebeple kurutma işleminin yapıldığı sistemin aşağı kısmında kurutulan ürün oluşurken üstünde ise oluşan nemli hava dışarıya aktarılır (Sarsılmaz, 1998; Aktaş, 2015).

3.5. Silindir Kurutucular

Bu kurutucular, içinden ürünün kurutulduğu çok sayıda buhar ısıtmalı silindirden oluşur. Bu yöntem genellikle kağıt ve tekstil kurutmak için kullanılır (Sarsılmaz, 1998).

3.6. Püskürtmeli Kurutucular

Püskürtmeli kurutucular, farmasötikler, süt tozu ve kahve gibi düşük viskoziteli, aerosol haline getirilebilir ürünleri kurutmak için kullanılır. Püskürtmeli kurutucu dört kısımdan oluşmaktadır: sıcak hava üretme kısmı, ürünün partiküllere ayrıldığı kısım, küçük partiküller halinde ezilen ürünün sıcak hava ile buluştuğu kısım ve kurutulan ürünün kurutulduğu kısım. Gaz sıcaklığı 93 °C ve 760 °C aralığında değiştiğinden ürün 5-15 saniyeden kısa sürede kuruma oluşur (Karakaya, 2017; Aktaş, 2007).

3.7. Dondurarak Kurutma

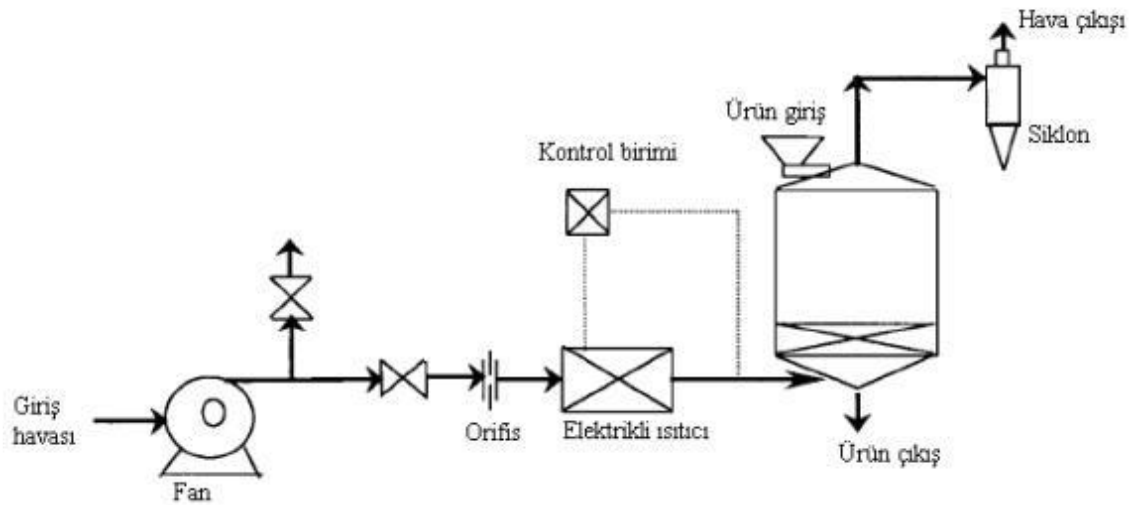
Dondurarak kurutmada, kurutulmak istenen madde öncelikle dondurulur ve sonra süblimasyon yoluyla kurutulacak uçucu maddeler (genellikle su) uzaklaştırılır. Bu yöntemin maliyetli olmasına rağmen kurutma işleminin gerçekleştiği ürünün kalitesi açısından değerlendirildiğinde en uygun kurutma yöntemidir (Bingöl, 2008). Dondurarak kurutma, ilaçlar, aşılarda, deniz ürünlerinde, kahvede ve çay aromalarında, et ve süt gibi hassas ürünlerin kurutulması için kullanılan bir yöntemdir (Fellows, 2000). Aşağıdaki Tablo 3.2’de Dondurarak ve sıcak hava ile kurutma arasındaki fark gösterilmiştir.

Tablo 3. 2. Dondurarak ve sıcak hava ile kurutma arasındaki fark (Fellows, 2000)

Sıcak Hava Yöntemiyle Kurutma	Dondurma Yöntemiyle Kurutma
Sebzelerde ve taneli ürünler gibi kolay kuruyan ürünler için uygundur.	Birçok ürüne başarıyla uygulanabilmekle birlikte uygulaması diğer yöntemlerle kurutulamayan gıdalarla sınırlıdır.
Et ve Et ürünleri için çok önerilmez	Pişmiş ve çiğ etleri kurutmak için başarıyla kullanılabilir.
Sıcaklık değerleri 37 °C ile 93 °C arasında değişiklik gösterir.	Sıcaklıklar donma noktasının altında olabilir.
Standart atmosferik basınçta yapılır.	Oldukça düşük basınç (27-133 Pa)
Gıda yüzeyindeki suyun buharlaşmasıyla oluşur.	Buzun süblimleşmesi (katıdan gaz fazına doğrudan geçiş) yoluyla oluşur.
Katıların hareketi nedeniyle yüzey sertleşmesi meydana gelebilir	Katı hareket minimumdur.
Ürün üzerindeki stres nedeniyle yapısal bozulma ve çekme meydana gelebilir.	Büzülme ve yapısal değişiklikler minimumdur.
Kuru ürünün rehidrasyonu minimumdur.	Hızlı hidrasyon oluşur.
Koku ve aroma genellikle değişir.	Koku ve aroma korunabilir.
Kurutma sonunda ürünün rengi genellikle daha koyu olur.	Ürün rengini koruyabilir
Düşük kurutma maliyeti.	Kurutma maliyetleri genellikle sıcak havaya göre 4 kat daha fazladır.

3.8. Akışkan Yataklı Kurutucu

Akışkan yataklı bir kurutucuda, kurutulan ürünün alt kısımdan üflenerek ısınan hava vasıtasıyla bir akışkan yatak içinde süspanse edilir. Ürünü askıya alabilmek için havanın belirli bir hızda uygulanması gerekir (Sarsılmaz, 1998). Bu tip kurutucular birbirine yapışan ve topaklaşan ürünleri kurutmak için uygun değildir. Bezelye, havuç, et, kahve, kakao, tuz vb. ürünler akışkan yataklı kurutucularda kurutulur (Gürsel, 1986). Akışkan yataklı kurutma sistemi şekil 3.1'de gösterilmiştir.

**Şekil 3.1.** Akışkan yataklı kurutucu (Kurtuluş, 2007)

3.9. Kızılötesi Işınımlı Kurutma

Kızılötesi kurutucunun çalışma prensibi enerji radyasyonudur. Elektromanyetik radyasyona maruz kalan ürünlerdir. Bu ışınlar üründe bulunan su moleküllerini harekete geçirerek daha az enerji tüketerek üründen ayrılmasına neden olur. Sıcak hava kurutma teknolojisi ile karşılaştırıldığında, kızılötesi kurutma, zaman tasarrufu ve enerji tüketimini azaltma avantajlarına sahiptir ve son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Sarsılmaz, 1998; Aktaş, 2015).

3.10. Mikrodalga Yöntemi ile Kurutma

Mikrodalga yöntemi ile kurutmanın çalışma prensibi; üründeki polar molekülleri uyarak elektromanyetik enerjiyi ısıya dönüştürür. Kombine mikrodalga ve vakum sistemlerinde kurutmanın endüstrideki diğer yöntemlere göre daha kısa sürede gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Mikrodalga kurutmada ürünün renk, aroma ve tat gibi yapısal özellikleri daha iyi korunabilmektedir. Bu yöntem, başlangıçtaki nem içeriği fazla olan ürünleri kurutmak için oldukça başarılıdır. Tekstil, seramik ve gıda endüstrilerinde çok fazla kullanılmaktadır. Mikrodalga yöntemi ile kurutma, enerji verimi, oldukça hızlı gerçekleşen işlem hızı, düşük maliyet ve yüksek kaliteli kurutulmuş ürünler gibi özellikleri vardır. Diğer kurutma işlemleriyle karşılaştırıldığında, kontrolü sağlanabilir koşullar, yüksek verim, hızlı kuruma hızı ve kolay uygulama avantajları vardır (Sarsılmaz, 1998; Karakaya, 2017; Aktaş, 2015).

4. SOLAR KURUTMA SİSTEMİ

Güneş Enerjili kurutma sistemleri, kurutma işleminin gerçekleştiği ürüne ve çalışma koşullarına göre farklılık gösterir. Bütün kurutma işlemlerinde, çalışma sıcaklığına göre yüksek sıcaklık ile yapılan kurutma sistemi ve düşük sıcaklık ile yapılan kurutma sistemi olarak gruplandırılır. Aynı zamanda kurulu sistemler de yaygın olarak kullanılan ısıtma sistemine göre mineral yakıt kurutucular (sıradan kurutucuları) ve güneş enerjisiyle çalışan kurutma sistemleri olarak ikiye ayrılır. Günümüzde fiilen kullanılan yüksek sıcaklıklı kurutucular mineral yakıtlar olabilirken, düşük sıcaklıklı kurutucular fosil yakıtlar veya solar sistem olabilir (Akarsu, 2002).

4.1. Yüksek Sıcaklıkta Kurutucu

Hızlı kurutma istendiğinde ve kurutma işleminin yapılacağı ürünün kurutma havası ile kısa zaman aralığında temas etmesi gerektiğinde yüksek sıcaklık yöntemi uygulanarak çalışan kurutucular kullanılır. Çok yüksek sıcaklık değerleri nedeniyle, "ürün nemi dengesine" ulaşılan kadar kuru hava maruz kalırsa fazla kurutma meydana gelebilir. Bundan dolayı ürün ancak olması gereken nem miktarına ulaştıktan sonra kurumuş olur ve sonrasında soğur (Çakmak, 2007).

4.2. Alçak Sıcaklıkta Kurutucu

Alçak sıcaklıklı kurutma yöntemlerinde üründeki nem seviyesinin kurutma havasındaki nem miktarına devamlı kurutma havası sirkülasyonu ile gerçekleşir. Dolayısıyla bu sistemler daimi veya değişken bir ısı girişine sahiptir. Bu metot, ürünün toplu olarak kurutulmasını sağlar ve aynı zamanda daha sağlıklı bir uzun süreli depolama yöntemidir. Bu nedenle toplu veya depolamalı kurutucular olarak da adlandırılabilirler. Isı girişindeki uzun süreli kesintileri tolere etme yeteneği, bu yaklaşımı güneş enerjisi uygulamaları için uygun hale getirir (Ekechukwu ve ark., 1999).

4.3. Güneş Enerjisi Destekli Kurutma Sistemleri

Solar kurutma sistemleri temel olarak ısıtma yöntemine ve güneş enerjisinden yararlanma şekline göre sınıflandırılmaktadır. Bunlar aktif ve pasif güneş enerjili kurutma sistemleridir.

Güneş ile kurutmanın temelinde iki farklı yöntem vardır. Bunlardan biri doğal güneşte kurutma diğeri ise güneş enerjisi ile kurutmadır.

Doğal güneş ışığına maruz bırakılan kurutma işleminde ürün tarladaki bitkilerden ayrılmadan kesikli veya kesilmemiş halde kurur. Ürünü tarlada beton zemin üzerine yayınız. Güneş ışığından maksimum seviyede faydalanmak için bir yüzeyde veya dikey bir rafta bırakılır. Doğal hava akışı kullanılır. Ürünü her tarafının güneşe baktığından ve hava aldığından emin olarak zamanla karıştırılır.

Teknik olmasa da, bu tarz metotlar şuanda kullanılmaktadır. Kurulumu uygundur ve genellikle işçilik maliyetlerinden başka maliyeti yoktur. Genellikle gelişime açık ülkelerde kullanılan tek metottur. Açık havada kurutma yöntemi yaygın olarak kullanılsa da bazı sınırlamaları da vardır. Hatalı kurutma, küf ve böcek etkisi, kuş ve kemirgen saldırısı ve diğer hava etkileri nedeniyle miktar ve verim açısından düşük kalite olarak bilinir.

Daha gelişmiş solar kurutma sistemleri geliştirilirken, konvansiyonel kurutma yöntemlerinin de düşük kurulum maliyetleri, düşük işletme maliyetleri ve yakıt kaynaklarından bağımsızlık gibi olumlu yönleri bulunmaktadır.

4.3.1. Pasif tip destekli solar ürün kurutucular

Bu metotlarda güneş ışınlarının ısıttığı havanın sirkülasyonu doğal ya da suni rüzgâr basıncı veya her ikisinin de bulunduğu yöntem kullanılır. Bu tarz yöntemler, hava sirkülasyonu için fan kullanan yöntemlerden ayırmak için bu isimle adlandırılır.

Güneş kurutucularından biri olan doğal döngülü güneş kurutucuların kırsal bölgelerde kullanımı daha uygundur. Bu tip kurutma sistemleri, operasyonel ve maliyet sonuçları bakımından dış mekan güneş enerjisiyle kurutma sistemlerinden daha iyi performans gösterir. Bu özellikler:

- Geleneksel dış mekan kurutma yöntemlerinde kullanılan geniş alanlardan oldukça küçük bir alana gereksinim duyarlar.
- Güçlü hacimli ve daha kaliteli ürünler sunarlar. Çünkü küf, böcek, kemirgen ve benzeri etkilere karşı korurlar.
- Kuruma süresi klasik yöntemlere göre daha kısadır.
- Bu ürün ani yağmurdan korunmuştur.

- Satışa sunulmuştur. Düşük kurulum, bakım ve onarım maliyetleri. Yerel işçilik kullanılabilir. Yapımları için malzemeler kolaylıkla temin edilebilir (Düzer, 2003).

4.3.1.1. Yayılmış (Dolaylı Tip) normal sirkülasyonlu solar sistem kurutucular

Ürünler bir ızgara veya raf üzerindeki bölmelere yerleştirilir ve hava sirkülasyonu ile ısıtılır. Hava, alçak basınç toplayıcısından geçerken ısınır. Güneş ışınları doğrudan ürüne yansımaz. Böylece doğrudan ısı yansımından kaynaklanan hasarların önüne geçilmiş olur. Ayrıca direkt güneş ışığı altında vitamin kaybı azalmış bazı çabuk bozulan türler ve gıdalar için de bu yöntem önerilebilir.

Dağıtılmış (dolaylı) güneş enerjisi kurutucuları, doğrudan kurutuculara ve güneş ışığına maruz kalan kurutuculara göre daha yüksek sıcaklıklarda çalışır. Daha kaliteli bir ürün elde edilebilir. Bu nedenle, derin kurutma için tavsiye edilirler. Eksik olan parça, ısıtılan mahalden çıkan havanın sıcaklığındaki dalgalanmalar dolayısıyla sabit bir çalışma sıcaklığı sağlayamamasıdır. Kuru adanın içindeki sıcaklık sabitlenemez. Ürünlerin yüklenmesi, boşaltılması ve karıştırılması da zor olabilir. Daha fazla işlevsel verimlilik elde etmek için üretilebilirler. Entegre (doğrudan) solar sistem kurutucularından tasarım, bakım ve çalıştırma daha maliyetlidir (Close ve ark., 1978).

Temel dağıtılmış (dolaylı) güneş enerjisi kurutucuları şunları içerir:

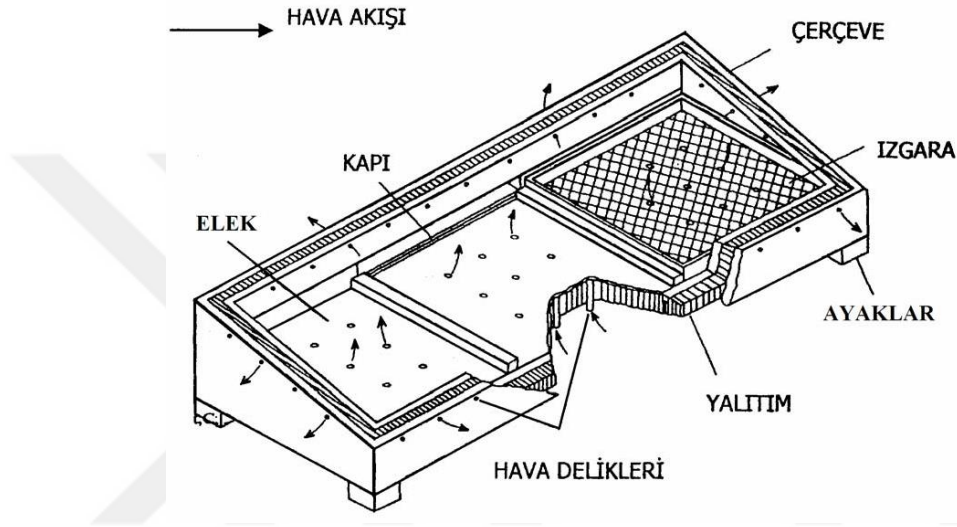
- Havayı ısıtmak için güneş kolektörü
- Uygun şekilde yalıtılmış boru tesisatı
- Kurutma bölümü
- Alın

4.3.1.2. Entegre (Doğrudan) normal sirkülasyonlu solar sistem kurutucular

Doğrudan kurutma sistemlerinde ürün kurutma bölümünün dış yüzeyleri şeffaftır ve ürünün kuruma işleminin gerçekleşmesi için güneş ışığının geçmesine müsaade eder. Solar sistem mahsülle direkt ilişki halinde olup üründen nemi ayırır ve havanın rutubetini azaltarak havanın sahip olduğu nem aktarma kabiliyetini artırır. Ayrıca, sıcaklık havanın kurutucuda genleşmesine ve sirkülasyonu yaratmasına neden olur.

Doğrudan doğal sirkülasyonlu güneş kurutucuları, dolaylı olanlardan daha basit ve daha ucuzdur. Sıhhi tesisat ve güneş enerjisi kolektörleri gibi detaylara ihtiyaç

duymazlar. Ayrıca aşırı ısınma nedeniyle ürün arızasına neden olabilir. Nem yüklü havanın tahliyesi zor olduğundan kuruma süresi uzun sürer. Bu olumsuz etkiyi ortadan kaldırmak için sisteme güneş bacası dahil edilebilir. Entegre doğrudan kurutma sistemlerinde kabin tipi ve sera tipi olmak üzere iki tipe ayrılmaktadır (Ezeike, 1986). Pasif Entegre Kurutucular esas olarak ev tipi az miktarda gıdaların kurutulmasında, et kurutmada ve balık kurutmada kullanılır. Genellikle tek ya da iki camlı, üst kenarı delikli yalıtım kutularıdır. Aşağıda şekil 4.1’de Klasik bir doğal sirkülasyonlu güneş enerjili kurutucu kabin gösterilmiştir.



Şekil 4. 1. Klasik bir doğal sirkülasyonlu güneş enerjili kurutucu kabini (Çakmak, 2007)

Pasif Doğrudan Sera Çeşit Kurutma Sistemleri aynı zamanda çadır kurutucuları diye de bilinir. Hava akışını uygun şekilde düzeltmek için boyutlandırılmış ve konumlandırılmış hava girdisi ile donatılmıştır (Henry, 1997). Aşağıda Tablo 4.1’de Normal Sirkülasyonlu Solar Sistem Kurutma Sistemlerinin Kıyaslanması gösterilmiştir.

Tablo 4. 1. Normal Sirkülasyonlu Solar Sistem Kurutma Sistemlerinin Kıyaslanması (Çakmak, 2007)

Normal Sirkülasyonlu Solar Sistem Kurutma Sistemlerini Kıyaslanması		
	Kullanılan Kurutma Sistemi	
	Direkt Tip	Endirekt Tip
Isıyı ürüne aktarma yöntemi	Işınım (güneş ışınımının doğrudan absorpsiyonu.)	Güneş kolektörlerinde önceden ısıtılmış hava kullanılarak ısı transfer yöntemi
Bölümler	Pencerelerin bulunduğu kurutma bölümü ve baca	Hava ısıtıcı solar sistem kolektörü, kanallar, kurutma bölümü ve baca
Yatırım Maliyeti	Artan	Artan
İşletme, bakım ve onarım	İşletmesi basit. Az oranda bakıma ihtiyaç duyar.	Hassas yapılar ve ürünler gerektirir. Maliyeti oldukça yüksektir. Ürünü yüklemede ve karıştırmada zorluk vardır.
Verim	Düşük verim	Verimi tasarım şekline göre değişiklik gösterebilir.

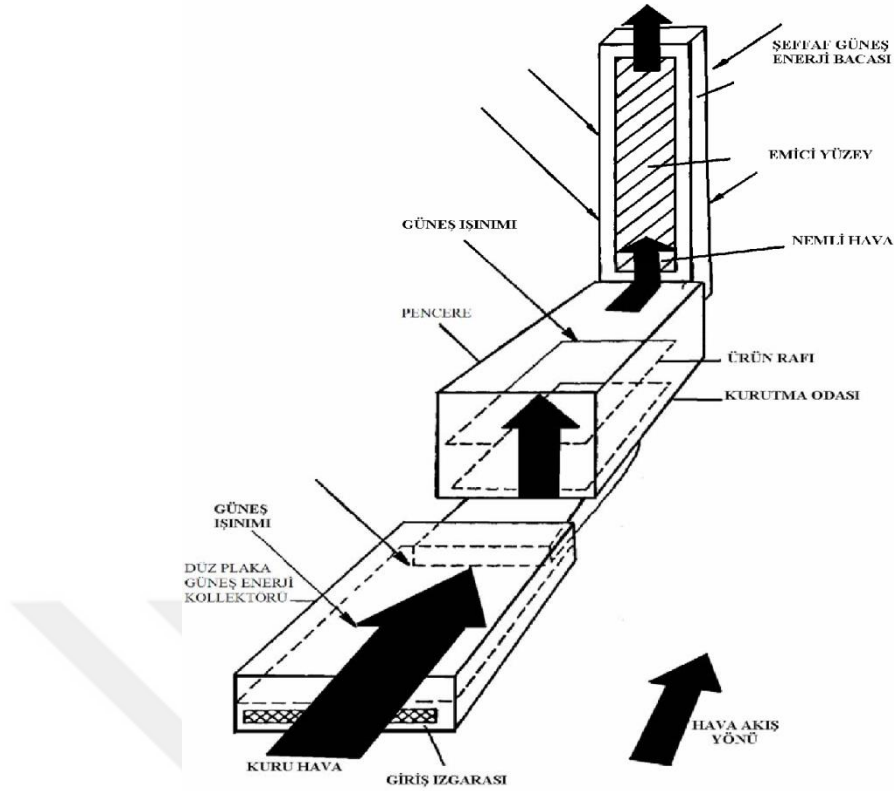
4.3.1.3. Kombine normal sirkülasyonlu solar sistem kurutucuları

Kombine doğal sirkülasyonlu solar sistem kurutucular, bölünmüş ve kombine normal sirkülasyonlu güneş enerjisi kurutucusunun özelliklerini bünyesinde barındırır. Güneş ışınımı hem doğrudan ürün üstüne düşer birde güneş tarafından kurutma işlemi için havayı önceden ısıtmak için tercih edilir.

Şekil 4.2'de güneş enerjisi ayrı olan güneş ısıtıcı bölümü hariç, güneş enerjisi kurutma odası duvarlarındaki pencerelerden doğrudan ürüne yansıtılmaktadır.

Kombine doğal sirkülasyonlu solar kurutucu,

- Kombine rüzgâr çarklı güneş enerjisi kurutucusu
- Büyük birleşik tropikal güneş enerjisi kurutucusu olarak sınıflandırılmıştır.



Şekil 4. 2. Sıradan Kombine Normal Sirkülasyonlu Solar Sistem Kurutucu (Çakmak, 2007)

4.3.2. Aktif solar sistem kurutucular

Aktif solar sistem kurutucular, ısınma işleminde çeşitli enerji kaynakları kullanabildikleri için, neredeyse solar sisteme güvenirlir. Solar sisteme ek olarak, elektrik, mineral yakıtla çalışan ısıtmada kullanılan sistemleri ve hava dolaşımı için havalandırma içerir. Örneğin güneş enerjisinin yetersiz kaldığı gecelerde kontrollü sıcaklıklarda kurutma işlemini gerçekleştirmek için fosil yakıtlar kullanılabilir. Bu tür sistemler, "hibrit güneş enerjisi kurutucuları" olarak da bilinen kurutucuları (fosil yakıtlı kurutucular) içerir.

Yüksek ısıda kurutucular yüksek havanın hızını fazla istediğinden bu tip kurutma sistemlerinde havalandırmalar kullanılmaktadır.

Aktif Güneş Enerjisi Sistemli Kurutucuları;

- Kaynaşmış (Entegre)
- Dağılmış
- Kombinasyon Tip

Olmak üzere üçe ayrılır. (Ekechukwu, 1999).

4.3.2.1.Kaynaşmış (Entegre) tip aktif solar sistemli kurutucular

Bu tarz kurutma yöntemlerinde işlem bir tek bölmede yapıldığından özel kanal sistemine ihtiyaç duyulmaz.

Bu tür kurutucular, doğrudan absorpsiyonlu kurutucuları, güneş kolektörü üst duvar kurutucularını ve dahili absorpsiyonlu sera kurutucularını içerir. Doğrudan absorpsiyonlu bir kurutucuda, ürün doğrudan güneş ışınımını emdiği için ayrı bir güneş kolektörüne gerek yoktur (Çakmak, 2007).

4.3.2.2.Dağılmış tip aktif güneş enerjili kurutma sistemleri

Bu tiplerde güneş kolektörü ve kurutma bölümü ayrılmıştır. 4 ana bölüm var. Bunlar kurutma bölümü, güneş enerjisi ile hava ısıtıcısı, fan ve kanaldır.

4.3.2.3.Kombinasyon tip aktif solar sistemli kurutucular

Güneş enerjili hava ısıtıcı bölümü, kanallar, ayrı bir kurutma bölümü ve fandan oluşurlar. Ek olarak, kuru kısım anında emilim sağlamak için pencereleir. Bazı aktif güneş enerjisi kurutucuları, daha fazla enerji verimliliği sağlamak için ısı toplama bölümleri içerir. Böylece sıcaklığın düşük olduğu vakitlerde kurutma devam eder. Kurutmanın gerçekleştiği bölmeye higroskopik ürünler yerleştirilerek havanın nemi tutma kabiliyeti arttırılabilir. Higroskopik ürünler hava akımı direncini arttırdığından bu malzemeler zorlamalı sistemlerde kullanılmalıdır. Daha önce bahsedildiği gibi, yüksek hacimli ticari aktif güneş enerjisi kurutucuları, hava ısıtıcılı güneş kolektörlerinin desteğiyle elektrik veya fosil yakıt tüketimini azaltır (Düzer, 2003).

Düzgün tasarlanmış, aktif güneş enerjisiyle çalışan kurutma sistemleri, normal sirkülasyonlu kurutuculardan verimi fazladır ve kontrol edilebilmektedir. Ancak elektrik ya da mineral yakıt ihtiyacı olduğundan, gelişim sürecindeki ülkelerde çiftçiler için maliyeti yüksektir.

4.4. Farklı Kurutma Yöntemleri

Hala dünyanın birçok yerinde ürünler her şekil ve boyutta, doğranmış veya kurutulmuş, toz veya granül formdadır ve gıdaların kurutulması için dünyada kullanılan birçok farklı yöntem vardır. Kullanılan kurutma teknikleri açık havada veya solar sistem haricinde aşağıdaki gibidir.

- a) Geleneksel teknikler kullanılarak ısıtılmış sıcak hava ile kurutun:

Gıdalar, güneş enerjisi dışında herhangi bir kaynakla ısıtılan sıcak hava yardımıyla kurutulur. Birçok farklı kurutucu tipine uygulanabilir.

b) Akışkan yataklı kurutma:

Kurutulacak mahsülün hareket ile aynı yönde dik bir şekilde verilen sıcak hava, mahsülü hareket halindeki bir akışkana dönüştürür. Bu kurutma metodunda ısınmış hava ile kurutulan mahsülün kendi aralarında iyi bir ısı transferi ile daha çabuk ve daha üniform kurutma sağlanır.

c) Hareket Halindeki Silindir Yüzeyinde Kurutma:

Sıvı ya da yarı katı haldeki (jöle, macun vb.) mahsül, hareket halinde, ısınmış bir silindire dökülür, daha sonra en ince haliyle kurutulur ve soyulur.

d) Sıçratarak Kurutma:

Sıçratarak kurutma genellikle sıvıların kurutulması için uygundur. Kurutulacak sıvının ezilerek oluşan sıvı damlacıklarının sıcak hava akımına dönüştürülmesi esasına dayanır. Hava katılmış kuru ürün, siklon ayırıcı, torba filtre ve diğer ayırıcılardan geçirilerek elde edilir.

e) Pnömatik Kurutma:

Yüksek kaliteli mahsullerin kurutulması için yapılan bir teknolojidir ve girişten gelen ürünler basınçlandırma ve ısınan hava akımı ile taşınırken kurutulur. Pnömatik taşıma, genellikle bir ısıtma ünitesi (genellikle bir buhar serpantini ile) boyunca bir radyal fan tarafından tahrik edilen sıcak hava ile sağlanır. Pnömatik olarak taşınan ve kurutulan mahsul, silikon veya torba filtre gibi seperatörler ile oluşturulur

f) Vakum ile Kurutma Yöntemi

Buharlaştırma ve kurutma, kurutucu sistem içerisinde çekim gücü uygulanarak daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşir. Bu, gıdaları kurutmak için oldukça maliyetlidir. Laboratuvarlarda kurumuş maddenin analiz yönteminde oldukça yaygındır.

g) Köpük Kurutma:

Sıvıları kurutmak için kullanılır. Kurutma sıvısı bir şekilde köpürdükten sonra ısınan hava tüneline akış halinde olan bir yapışkan üzerindedir.

h) Dondurma Yöntemi ile Kurutma:

Kurutulacak gıdanın içindeki nem önce dondurularak buz haline getirilir. Sonrasında buzun çekim gücü ile erimeden (süblimleşme) gaz fazından geçmesine izin verilir. Bu şekilde üretilen ürünler yüksek kaliteye sahiptir.

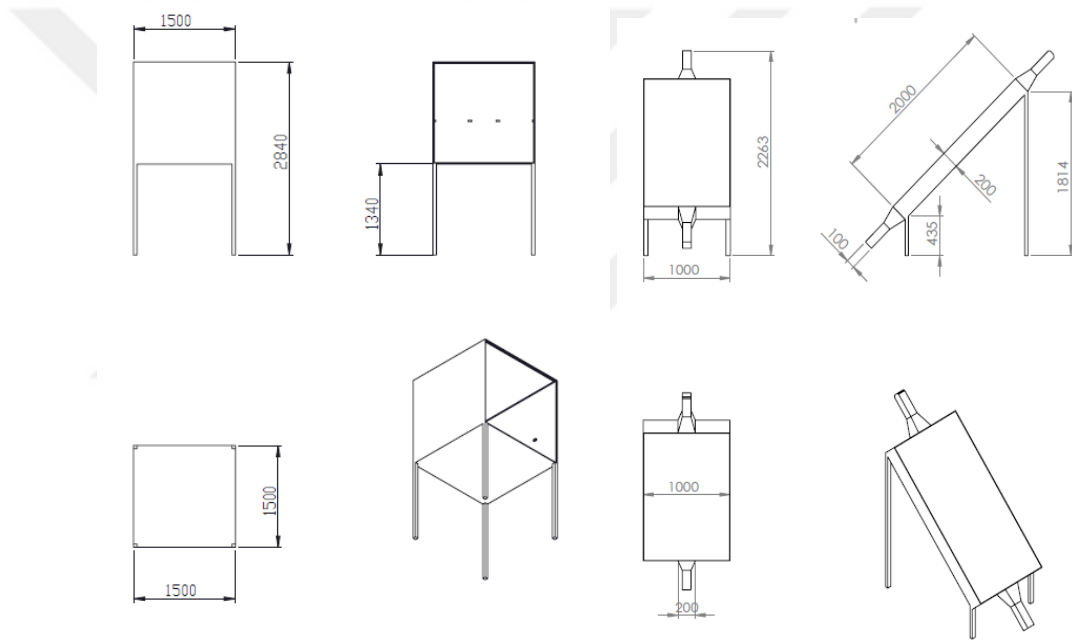
Bu çalışmalarda gösterilen kurutma yöntemlerine ek olarak, tuz çözeltisi ile kurutma veya çözücü kızırtma gibi başka yöntemler de vardır. Ayrıca kurutma için kıızıltesi ışınlar veya mikrodalgalar gibi enerji kaynakları da kullanılabilir (Ayyaz, 1992).



5. MATERYAL VE YÖNTEM

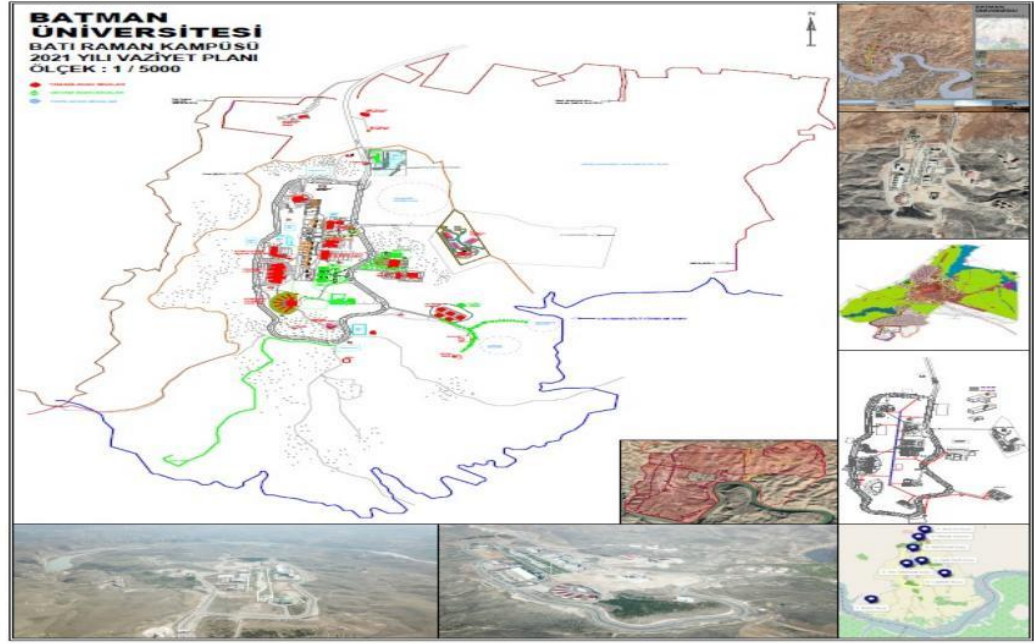
5.1. Deneysel Yöntem

Bu çalışmada Batman Üniversitesi Batı Raman kampüsünde Enerji Sistemleri Mühendisliği Laboratuvarında tasarlanan gıda kurutma fırınında havalı güneş kolektörü yardımı ile kurutma işlemi yapılmıştır. Deneysel çalışmada, Batman Üniversitesi yerleşkesinde tasarlanan gıda kurutma fırınında Ananas gıdasının kurutma performansı incelenmiştir. Aşağıdaki şekil 5.1’de deney setinin teknik resim çizimleri bulunmaktadır. Sol kısımda tasarlanan gıda kurutma kabı sağ kısımda ise deney süreci boyunca kullanılan güneş kolektörü bulunmaktadır.



Şekil 5. 1. Deney Seti Teknik Çizim

Deneyi Batman ilinde gerçekleştirdiğimiz için buranın iklim koşullarının bizim çalışmamızın performansında büyük ölçüde etkisi olduğu görülmektedir. Aşağıda şekil 5.2’de deneyimizi gerçekleştirdiğimiz bölgenin krokisi bulunmaktadır.

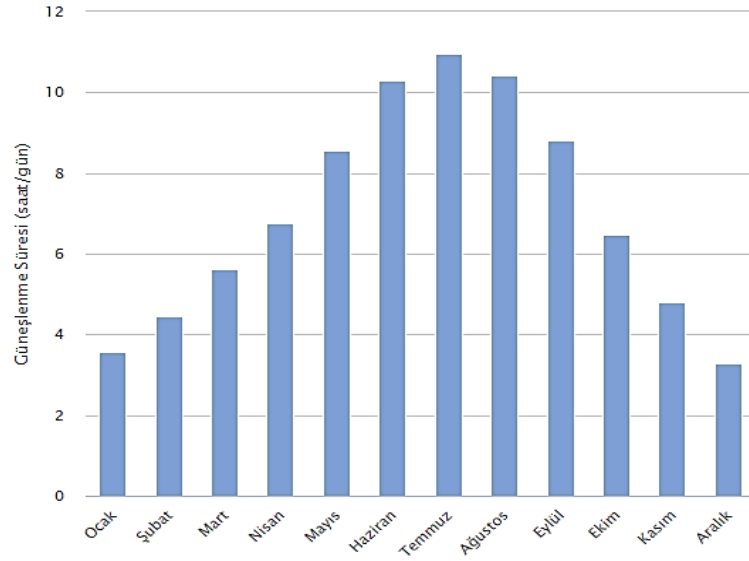


Şekil 5. 2. Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsü Krokisi (Anonim, 2023)

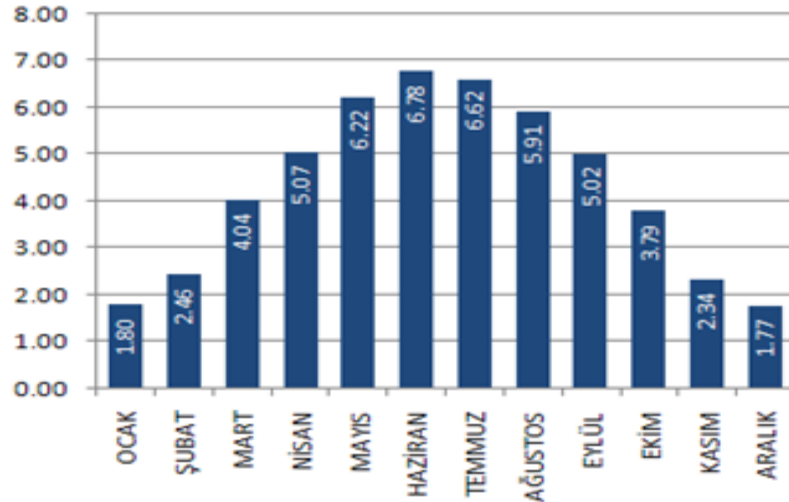
Batman coğrafi olarak $41^{\circ}10^1$ - $41^{\circ}40^1$ doğu boylamında ve $38^{\circ}40^1$ - $37^{\circ}50^1$ kuzey enlemlerinde yer almaktadır. 550 m yükseklikte karasal iklime sahip bir şehirdir.

Batman'da kışlar ılık, yazlar ise sıcak ve kurak geçer. Batman'ın iklim koşulları göz önüne alındığında hem güneş enerjili sistemlere uygun hem de kuru olduğu söylenebilir (Anonim, 2021).

Aşağıdaki Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te deneysel olarak incelediğimiz Batman şehri için küresel güneş radyasyonu değerlerini ve güneşlenme sürelerini göstermektedir. Bu rakamlardan da görüleceği üzere güneş ışıınım değerleri ve güneşlenme vakti Türkiye ortalama değerinin üstünde olup, en fazla değerler Haziran ayında ve Temmuz ayında meydana gelmektedir. Batman ilinin güneş enerjisi konusunda büyük bir potansiyele sahip olduğu söylenebilir (Anonim, 2022).



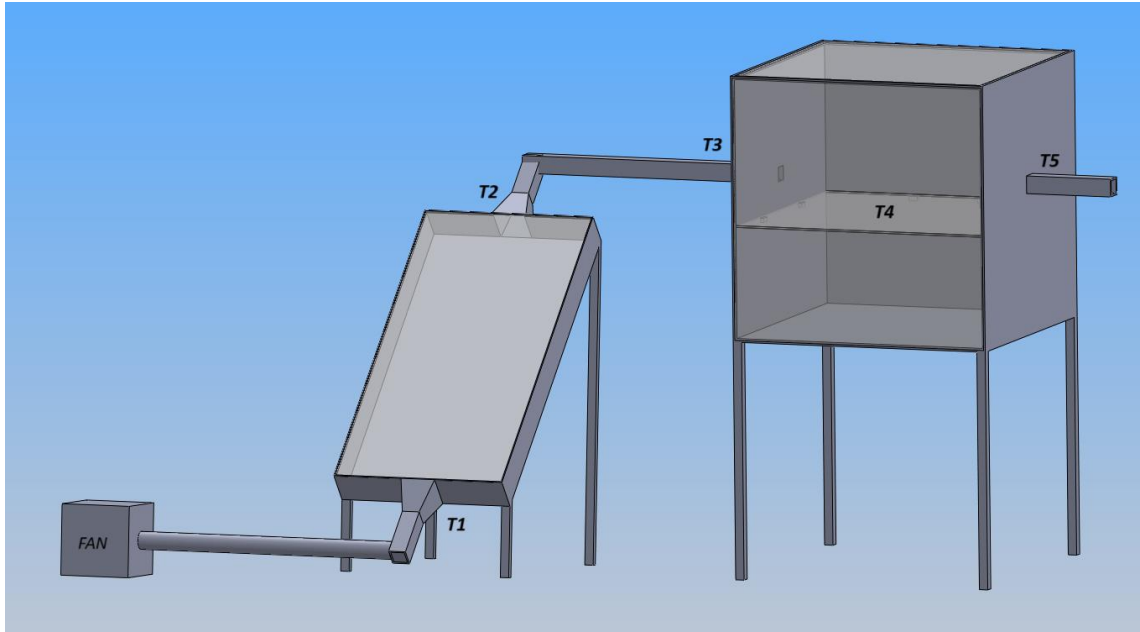
Şekil 5.3. Batman İlının Güneşlenme Süreleri (Anonim, 2022)



Şekil 5. 4. Global Radyasyon Değerleri (kWh/m²-gün) (Anonim, 2022)

Bu çalışmada kurutma ürünü olarak Ananas gıdası kullanılmıştır. Ananas gıdasının havalı güneş kolektörü ile tasarlanan prototip gıda kurutma fırınında kurutulması işleminde eldi edilen verilerle kurutma performansı incelenmiştir. Çalışmamızda bir fan yardımı ile kolektörümüze hava girişi yapılmıştır. Kolektör içerisinde havanın sıcaklık değerleri artırılarak çıkış borusuna doğru ilerlemesi sağlanmıştır. Çıkış borusunda ısınan hava tasarlanan prototip gıda kurutma fırınına bağlanmıştır. Böylelikle fırın içerisinde sıcaklık değerleri artırılıp kurutma işlemi yapılmıştır.

Kurutma işlemini oluşturan havanın sıcaklık artışı kurutma performansını etkilediğinden gıda kurutma fırınının iç kısmındaki sıcaklık artışı da kurutmayı etkiler. Bu amaçla tasarlanan prototip gıda kurutma fırını içi kurutma öncesi karartılarak ve kolektör ile fırın arasındaki mesafe azaltılarak fırının ısı yalıtım kapasitesi artırılmıştır. Tüm işlemler tamamlandıktan sonra belirli bir zaman diliminde rüzgâr hızı, güneş radyasyonu ve sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Aşağıdaki şekil 5.5'te deney setinin görüntüsü verilmiştir.



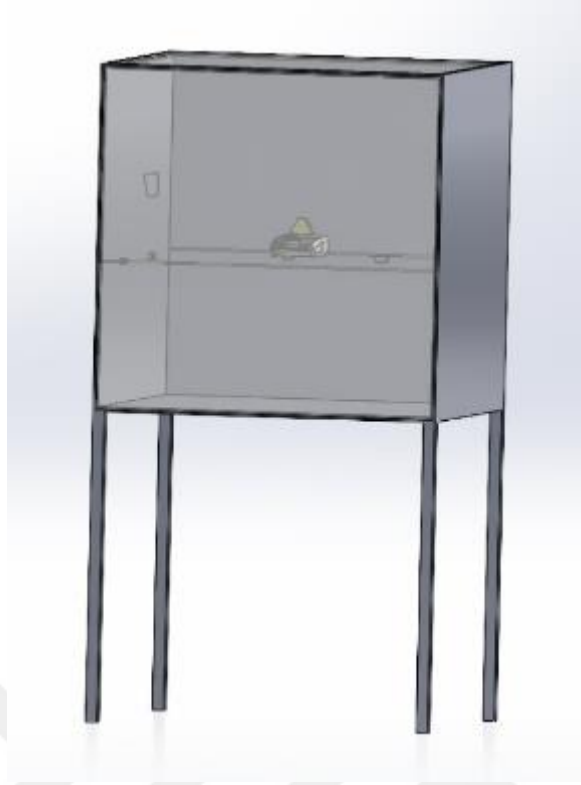
Şekil 5.5. Deney Seti

Deney seti bir fan motor, bir kolektör ve bir adet prototip gıda kurutma fırınından oluşmaktadır. Fandan çıkan hava bir boru yardımı ile kolektör girişine bağlanmaktadır. Oradaki sıcaklık değeri T_1 olarak belirlenmiştir. Kolektörün çıkışından gıda kurutma fırınına doğru bir boru uzanmaktadır. Burada ki sıcaklık değeri de T_2 olarak belirlenmiştir. T_3 , T_4 ve T_5 olarak belirlenen değerler ise gıda kurutma fırını girişi, gıda kurutma fırınının içi ve gıda kurutma fırınının çıkışı sıcaklık değerleridir. Kolektör ile gıda kurutma fırınının yatay ekseninde aynı seviyede olması için dört ayaklı bir masa kullanılmıştır. Aşağıdaki şekil 5.6'da tasarlanan gıda kurutma fırını gösterilmektedir.



Şekil 5.6. Tasarlanan Gıda Kurutma Fırını

Dilimlenen ananas gıdası tasarlanan fırının içinde kurutulmuştur. Fırın boyutları 100x100x100 cm bir şeklindedir. Sağında ve solunda boru giriş çıkışları bulunmaktadır. Üst ve ön yüzeyi cam olup ön yüzeyindeki cam çıkarılabilir olacak şekilde tasarlanmıştır. Gıda kurutma fırını giriş sıcaklık değeri T_3 , çıkış sıcaklık değeri T_4 olarak belirlenmiştir. İç kısmında bir raf bulunmaktadır. İçerisine aktarılan sıcaklık değerleri (T_4) düzenli aralıklarla ölçülmüştür. Alt kısmına kollektör ile yatay ekseninde aynı ölçüde olması için dört ayaklı bir profil tasarlanmıştır.

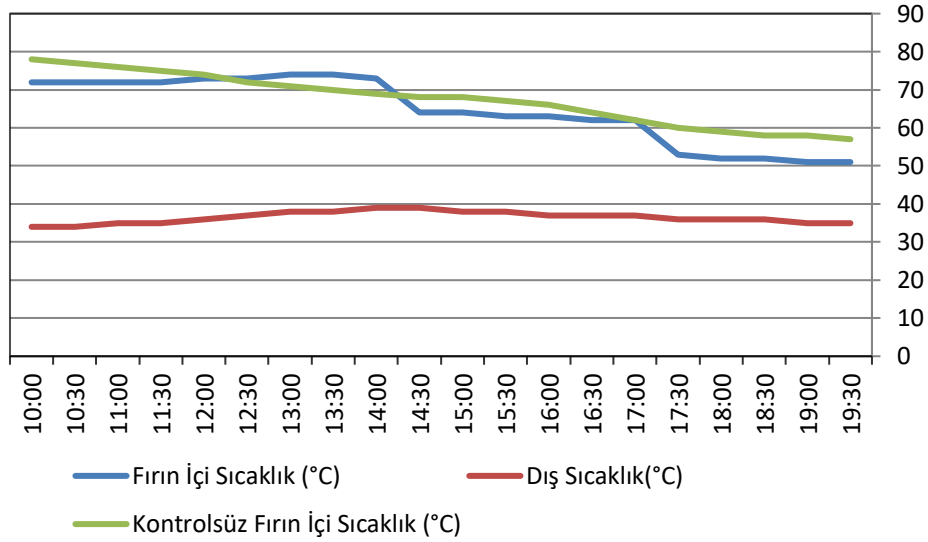


Şekil 5.7. Tasarlanan Gıda Kurutma Fırını (2)

Elimko 680 model data logger ile dört farklı noktadan sıcaklık ölçümleri, SM602 model global güneş radyasyonu ölçer ile, Unit UT362 marka anemometre ile hava hızı ölçümleri ile ölçümler yapılarak sonuçlar kaydedilmiştir. Kolektörün kurutma performansına maksimum verimi sağlaması için tüm gün güneş alabileceği ve gölgelenmenin olmayacağı bölgeye yerleştirilmiştir. Deneye başlamadan önce mutlaka kolektörün yüzey temizliği yapılmıştır.

Kurutma deneyleri sırasında dört farklı sıcaklıkta kuruma gününün kütle değişimi, hava sıcaklığı, hava hızı ölçümleri ve güneş radyasyonu ölçümleri yapılmıştır. Kurutma işlemine başlamadan önce tasarladığımız sistemin çalışma şeklini, ulaşabileceği maksimum sıcaklık değerini ve bu sıcaklık değerlerini kontrol edilebilir olduğunu deneylerimiz ile test ettik. Boş bir şekilde (kurutulacak gıda olmadan) sistemin sıcaklık değerlerini ortalama 50, 60 ve 70 °C’de sabitlenmiştir. Daha sonra kurutulacak gıda kullanılarak kurutma işlemine başlandı. Şekil 5.8 incelendiğinde üç farklı ölçüm şekli gözlemlenmiştir. Sıcaklık değerini 70 °C’de sabit tuttuğumuz sürede dış sıcaklık değerleri 35 ile 39 °C arasında değişiklik göstermektedir ve tabi bu sürede gıda kurutma fırınına hiçbir müdahale olmadan sahip olduğu iç sıcaklık ise 78 ile 70 °C arasında değişiklik göstermektedir. Sıcaklık değerini 60 °C’de sabit tutulduğu sürede kontrolsüz gıda kurutma fırını iç sıcaklık değeri 68-62 °C arasında, dış sıcaklık ise 39-

37 °C arasında değişiklik göstermektedir. Sıcaklık değerinin 50 °C’de sabit tutulduğu sürede ise kontrolsüz gıda kurutma fırını sıcaklığı 62-67 °C arasında, dış sıcaklık ise 33-35 °C arasında değişiklik göstermektedir.



Şekil 5.8. Sabit tutulabilen kurutma kabının iç kısmındaki sıcaklık değerleri

Ananas gıdası öncelikle derinlemesine temizlenip dış kabuğundan ayrıştırılmıştır. Soyulan gıda ellişer gram ağırlığında olacak şekilde dilimlenmiş ve tartılmıştır. Daha sonra bir kısmı açık havada tepsinin üzerine bir kısmı da tasarlanan prototip gıda kurutma fırınının iç kısmına yerleştirilmiştir. Daha sonra fan çalıştırılıp tasarladığımız prototip gıda kurutma fırınından sıcak hava akışı sağlanmıştır. Sistemin dört farklı bölgesine termokupl yerleştirilmiş olup sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Düzenli aralıklarla (30 dakikada bir) iki farklı sisteme yerleştirilen gıda dilimleri tartılıp veriler kaydedilmiştir. Şekil 5.9’da dış ortamda kurutulması için dilimlenen ananas gıdası gösterilmektedir.



Şekil 5.9. Dış havada kurutulması için dilimlenen ananas gıdası

Şekil 5.9’da açık havada kurutulmak üzere hazırlanan ananas gıdaları, belirli teknik adımlarla işlem görmektedir. İlk olarak, dilimlenip kurutmak için hazırlanmış ananas gıdası dikkatle incelenmektedir. Bu gıdalar, dilimlenirken her bir dilimin ağırlığının hassas terazi yardımıyla ellişer gram olacak şekilde titizlikle ayarlandığı gözlemlenmiştir. Sonrasında, dört adet ananas gıdası kesildikten sonra, her birinin etrafında hızla oluşan kirler titizlikle temizlenmektedir. Bu adım, ananas gıdası dilimlerinin yüzeyinde oluşabilecek kontaminasyonları minimize etmek amacıyla gerçekleştirilmektedir. Temizlenen ananas gıdası dilimleri, özenle hazırlanmış bir tepsinin içine düzenli bir şekilde dizilmektedir. Dizilme işlemi, ananas dilimlerinin birbirine temasını en aza indirerek eşit ve etkili bir kuruma sağlamak amacıyla titizlikle gerçekleştirilmektedir. Tepsie yerleştirilen ananas dilimleri, açık havada güneş ışığına maruz kalacak bir bölgeye yerleştirilmektedir. Bu bölge, kurutma işleminin verimli bir şekilde gerçekleşmesi için özenle seçilmiştir. Ananas dilimleri, güneş ışığının etkisiyle doğal yolla kurumaya bırakılmaktadır. Kuruma sürecinin etkinliğini ve ilerleyişini takip etmek amacıyla düzenli aralıklarla ölçümler yapılmaktadır. Bu ölçümler, ananas dilimlerinin nem oranının azalma hızını değerlendirmek ve kuruma işleminin ne zaman tamamlanacağına dair bilgi sağlamak amacıyla gerçekleştirilmektedir. Sonuç olarak, açık havada kurutulmak üzere hazırlanan ananaslar, hassas adımlarla işlenerek etkili bir kuruma sürecine tabi tutulmaktadır. Aşağıdaki şekil 5.10’da 70 °C gıda kurutma fırınında kurutulması için dilimlenen ananas gıdası gösterilmiştir.



Şekil 5.10. 70 °C gıda kurutma fırınında kurutulması için dilimlenen ananas gıdası

Şekil 5.10'da ananas dilimlerinin kurutma işlemi, sıcaklık kontrollü bir gıda kurutma fırınında gerçekleştirilmiştir. Bu işlemde, ananas dilimleri 70 °C sıcaklıkta sabit bir fırın ortamında kurutulmuştur. Dilimlenen her ananas, ellişer gram ağırlıkta özenle hazırlanmış ve sıkı bir şekilde kontrol edilmiştir. Kurutma işlemine başlamadan önce, gıda kurutma fırını önceden 70 °C sıcaklıkta sabit tutulmuştur. Bu sıcaklık, ananas gıdasının dilimlerinin optimum kuruma koşullarını sağlamak amacıyla özenle seçilmiştir. Gıda kurutma fırını sıcaklığının sabit tutulması için, fırın paneli temizlenerek gereken hijyen sağlanmıştır. Kurutma işlemine geçilmeden önce, gıda kurutma fırını içinde hava akışını sağlamak amacıyla bir fan kullanılmıştır. Fan yardımıyla oluşturulan hava akışı, homojen sıcaklık dağılımını sağlamak ve ananas dilimlerinin her tarafının eşit şekilde kurumasını sağlamak için kritik bir faktördür. Bu hava akışı, ananas dilimlerine eşit miktarda ısı ve nem taşıyarak kuruma sürecinin homojenliğini sağlamıştır. Fırın paneline giren hava, fanın çalışmasıyla hızlandırılarak içerideki sıcak hava ile temas eder. Bu sayede giren hava ısınarak fırın içerisine taşınmış ve ananas dilimlerinin yüzeyine temas etmiştir. Bu temas sonucunda, ananas dilimlerinin yüzeyindeki nem hızla buharlaşmış ve dilimlerin kuruma süreci başlamıştır. Tüm bu adımların bir araya gelmesiyle, 70 °C sıcaklıkta sabit tutulan gıda kurutma fırınında kurutulan ananaslar, homojen bir kuruma süreci sonucunda kuru ağırlığa ulaşmıştır. Teknolojik detayların titizlikle uygulandığı bu işlem, yüksek kaliteli ve dayanıklı kurutulmuş ananas dilimlerinin elde edilmesine olanak sağlamıştır. Aşağıdaki şekil 5.11'de aynı sürelerdeki ananaslar karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.11. Aynı sürelerdeki ananasların karşılaştırılması

Şekil 5.11’de sol tarafta sıcaklık kontrollü gıda kurutma fırınında tamamlanan kuruma işlemi sonucu elde edilen ananas dilimleri yer almaktadır; sağ tarafta ise aynı süre zarfında açık havada doğal yöntemle kurutulan ananas gıdası bulunmaktadır. Fotoğraf analizi, fırın içerisindeki ananas dilimlerinin, dışarda kurutulan ananaslara kıyasla belirgin bir şekilde daha kısa sürede kuruma işlemini tamamladığını göstermektedir. Bu sonuçlar, sıcaklık kontrollü fırının, nem ve sıcaklık gibi faktörleri hassas bir şekilde kontrol edilmiştir. 70 °C sıcaklıkta yapılan kurutmanın yaklaşık 6 saatte tamamlandığı, doğal dış ortamda yapılan kurutmanın ise yaklaşık 9.5 saatte tamamlandığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.12. 70 °C gıda kurutma fırınında kurutma işlemi tamamlanan ananas

Yukarıdaki şekilde gözlemlediğimiz nokta, 70 °C sıcaklıkta gıda kurutma fırınında kurutulan ananas gıdasıdır. Şekil 5.12 üzerinde görsel olarak da fark edilebileceği üzere, 70 °C sıcaklığında gerçekleştirilen kurutma işlemi sırasında ananas dilimlerinin dış yüzeyinde yanmalar meydana gelmektedir. Bu gözlem, yüksek sıcaklığa maruz kalmanın, ananas gıdasının dış yapısında istenmeyen değişikliklere neden olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda bu durum, ananas gıdasının dış kısmının sert bir yapı kazanmasına da yol açmıştır. Bu, 70 °C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminin, ananas gıdasının fiziksel özelliklerini olumsuz yönde etkileyebileceğini ve daha kontrollü bir kurutma yöntemi gerektiğini düşündürmektedir. Aşağıdaki şekil 5.13'te dış ortamda kurutulması için dilimlenen ananaslar gösterilmektedir.



Şekil 5.13. Dış ortamda kuruması için dilimlenen ananaslar

Geliştirilen gıda kurutma fırınının yeteneklerini değerlendirmek adına, çeşitli sıcaklık seviyelerinde gerçekleştirilen deneylerde, açık havada doğal kurutma yöntemi paralel olarak yürütülmüştür. Her deney aşamasında, aynı şekilde ve eşit ağırlıkta dilimlenen ananas gıdasının örneklerinin ölçümleri, düzenli aralıklarla titizlikle gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre, farklı günlerde yapılan deneylerde açık havada doğal kurutma işleminin süresinde herhangi bir değişim tespit edilmemiştir. Bu sonuçlar, dış ortamın hava koşullarının etkilerine rağmen, açık havada kurutmanın istikrarlı ve tekrarlanabilir sonuçlar sunduğunu ortaya koymaktadır. Geliştirilen prototip gıda kurutma fırınının performansı ile ilgili daha fazla değerlendirme gereklidir, çünkü farklı sıcaklık seviyelerindeki deneylerdeki sonuçlar istikrarlı ve güvenilir bir kurutma yöntemi sağlayabileceğini düşündürmektedir. Aşağıdaki şekil 5.14'te 60 °C'de kurutulması için dilimlenen ananaslar gösterilmiştir.



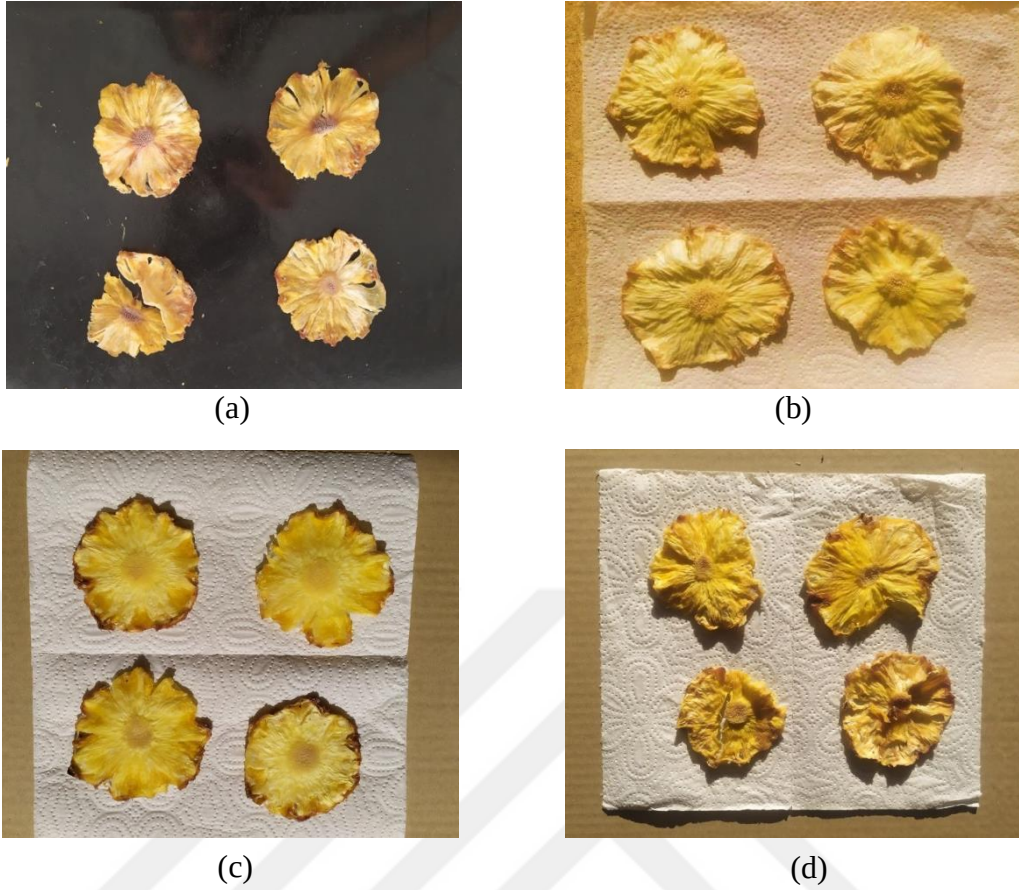
Şekil 5.14. 60 °C gıda kurutma fırınında kuruması için dilimlenen ananaslar

Sıcaklığı sabit bir şekilde 60 °C'de tutulan prototip gıda kurutma fırınına, her biri elli gram ağırlığında kesilmiş ananas gıdası dilimleri özenle yerleştirilmiştir. Kurutma esnasında kurutulan ürünlerin alt kısmına yerleştirilen süzgeç görevi gören bir materyalin kullanılmıştır. Bu materyal, kurutulacak ürünün alt yüzeyine, hava akışının homojen bir şekilde ulaşmasını sağlamıştır. Tasarlanan prototip gıda kurutma fırınının iç kısmında, kuruma işlemi sırasında ürünün her yüzeyine eşit bir şekilde sıcak havanın temas etmesini sağlamak amacıyla özel bir düzenek kullanılmıştır. Fırın içerisinde bulunan ananas dilimlerinin üzerine düşen sıcak hava, alt kısmındaki süzgeç materyali vasıtasıyla homojen bir dağılım sergileyerek ananas dilimlerinin her tarafına eşit şekilde nüfuz etmiştir. Ayrıca, tasarlanan gıda kurutma fırınının sol tarafında 10 cm çapında bir açıklık bulunmaktadır. Bu özel açıklık, fırının iç kısmından dışarıya hava çıkışının sağlanmasını amaçlamaktadır. Bu çıkış, fırın içerisinde zamanla birikebilecek nemin etkili bir şekilde dışarıya atılmasını temin eder. İçeride biriken nem, ürünün kuruma işlemini olumsuz yönde etkileyebilir ve istenmeyen sonuçlara yol açabilir. Tüm bu tasarım detayları, prototip gıda kurutma fırınının etkin ve verimli bir kurutma işlemi gerçekleştirebilmesi için özenle planlanmıştır. Ananas dilimlerinin homojen ve dengeli bir şekilde kurutulması, tasarımın temel hedeflerindendir.



Şekil 5.15. 60 °C gıda kurutma fırında kuruma işlemi tamamlanan ananaslar ve dışarda kurumu işlemi devam eden ananaslar karşılaştırılması

Eş zamanlı olarak 60 °C sıcaklıkta hem gıda kurutma fırınında hem de açık havada başlatılan ananas gıdasının kuruma süreçleri kıyaslandığında, tasarlanan prototip gıda kurutma fırınında kurutma işlemi tamamlandığında, dışarda kurutulan ananas gıdasının kuruma işleminin hala devam ettiği gözlenmiştir. Şekil 5.15'de net bir şekilde gözlemlenebileceği üzere, sağ tarafta yer alan ananas gıdası, prototip gıda kurutma fırınındaki kuruma işlemi tamamlandığında istenilen seviyeye ulaşmıştır; fakat aynı anda dışarıda kurutulan ananas gıdasının şekli, fotoğrafta görüldüğü gibi henüz tam olarak kuruma işlemini tamamlamamıştır. Aşağıdaki şekil 5.16'da farklı koşullarda kuruma işlemi tamamlanan ananas gıdası gözlemlenmektedir.



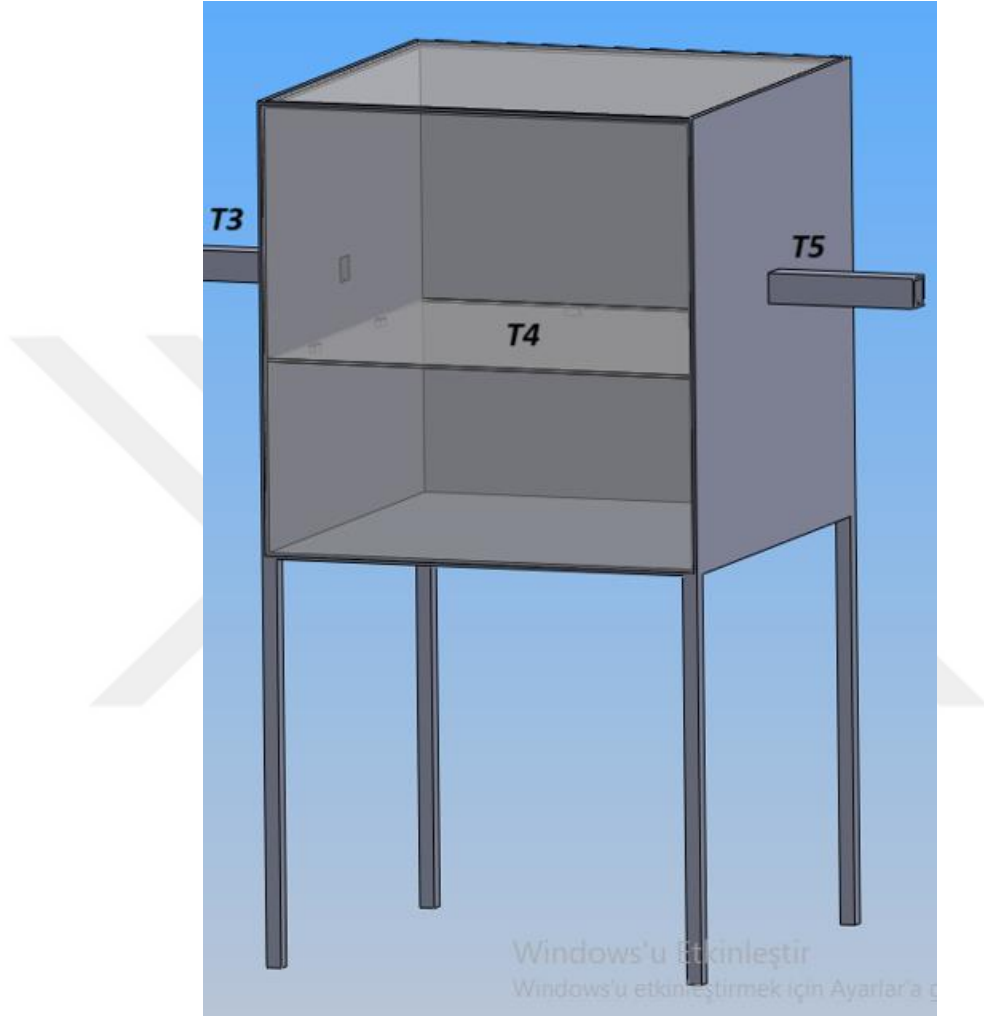
Şekil 5.16. a: dış ortam sıcaklığında, b: 50 °C’de, c: 60 °C’de ve d: 70 °C’de kuruma işlemi tamamlanan ananaslar

Yukarıdaki Şekil 5.16’da, dört farklı sıcaklık seviyesinde gerçekleştirilen ve kuruma işlemi tamamlanan ananas gıdası dikkatle incelenmiştir. Dış ortamda (a) tamamlanan kurutma işlemi sonucunda elde edilen ürünün incelenmesi, ürünün dış yüzeyinde yanmaların ortaya çıktığını ve boyutunda küçülmelerin meydana geldiğini göstermiştir. Ayrıca, ürünün toz kapma, böcek veya sinek teması nedeniyle hijyenik açıdan kalitesinde ciddi oranda düşüşler gözlenmiştir. 50 °C sıcaklıkta (b) gerçekleştirilen kurutma işlemi, deney süreci boyunca tüm sıcaklık seviyeleri arasında en yavaş tamamlanan işlem olmuştur. 60 °C sıcaklıkta (c) yapılan kurutma işleminde ürünün dış yüzeyinde herhangi bir yanma belirtisi gözlenmemiştir. Ancak, 70 °C’ye kıyasla süre bakımından yaklaşık bir saat daha uzun bir süre gerektirmiştir. 70 °C sıcaklıkta (d) gerçekleştirilen kurutma işlemi, diğer sıcaklık seviyelerine göre daha kısa bir süre gerektirmiştir ve ürünün etrafında zamanla yanmaların meydana geldiği gözlenmiştir. Bu sonuçlar, sıcaklık seviyelerinin kuruma işlemi hızı ve ürün kalitesi üzerindeki etkilerini detaylı bir şekilde analiz etmemize olanak tanımaktadır.

5.2. Deney Ekipmanları

5.2.1. Tasarlanan kurutma kabı

Deney çalışmamızda prototip bir kurutma kabı tasarladık. Kurutma kabımız küp şeklinde olup 100x100x100 cm dir. İçerisine kurutulacak ürünlerin eklenmesi için raf yapılmıştır. Teknik çizimi aşağıda şekil 5.17’de gösterilmiştir.

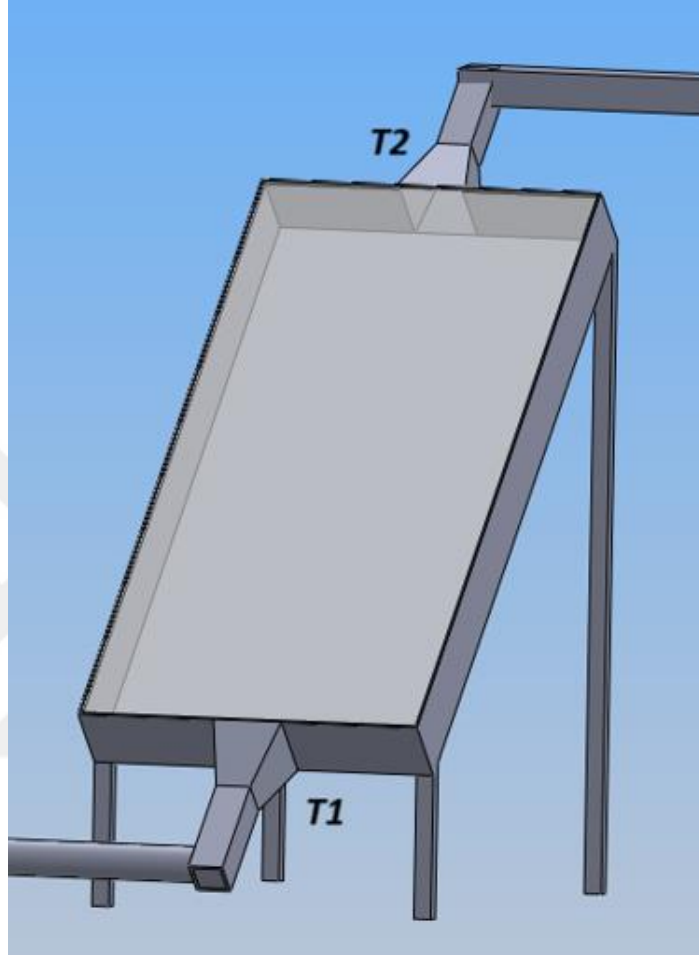


Şekil 5.17. Gıda Kurutma Fırını

Küp şeklindeki prototip kurutma kabımızın sağ ve sol kenarlarında 20 cm çapında iki adet havalandırması bulunmaktadır. Sağ taraftaki kolektörden gelen sıcak hava borusuna bağlanmaktadır. Sol taraftaki ise iç kısımda sıcak hava akışından zamanla nem oluşmaması için açık bırakılmıştır. Ön ve üst yüzey kapakları camdan yapılmıştır. Kolektöre giriş sıcaklığı T_3 , gıda kurutma fırını iç sıcaklığı T_4 ve çıkış sıcaklığı T_5 olarak belirlenmiştir.

5.2.2. Havalı güneş kolektörü

Deneyimizde Batman Üniversitesi Batıraman kampüsünde üniversitemizin laboratuvarında bulunan havalı güneş kolektörü kullanılmıştır. Kolektörün bir hava giriş ağzı bir de hava çıkış ağzı bulunmaktadır.



Şekil 5.18. Havalı Güneş Kolektörü (1)

Çalışma prensibi giriş ağzından alınan havanın güneşten gelen ışınlar yardımıyla kolektör içerisinde ısınarak çıkış ağzına yönelmesidir. Kullanılan güneş kolektörünün şekli aşağıda şekil 5.19’da gösterilmektedir.



Şekil 5.19. Havalı Güneş Kolektörü(2)

5.2.3. Data logger

Deneyimizde Elimko marka data logger kullanılmıştır. Bu data logger E-680 standartlarına uygun olup yeni mikro denetleyici ile üretilmiş sekiz kanallı evrensel bir giriş cihazıdır. Data loggerin şekli ve teknik özellikleri aşağıda şekil 5.20 ve tablo 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.20. Data Logger (Elimko, 2020)

Tablo 5.1. E-680 Data logger ait teknik bilgileri

Elimco 680 Data Logger	Teknik Bilgiler
Reality Değeri	0.5
İşaret Değeri	9 Diğit LED (14 mm)
A/S Çevirim Miktarı	16 bit
S/A Çevirim Miktarı	12 bit
Giriş Belirleme Bölümü	0.2-9.9 Saniye/Kanal
Gösterge Belirleme Bölümü	1-99 Saniye/Kanal
Gürültü Azaltma Değeri	120 dB 50 Hz'de
Ortamın Sıcaklık Değeri	-10-500 °C
T/C Ortamın Sıcaklık Kom.	0-500 °C
Kontak Formları	Alt (LO) veya üst (HI)
Sabit Bant	0-9999 EU*
Çalışırkenki Gerilimi	85-265V AC/ 85-375 V DC 2060 V- AC /b 20 85 V DC
Gücü	Max-7 W
Kapasitesi	NA Kontak 250 V AC 5 A
Girişi	T/C, R/T, mA, mV, V
Ölçü Elemanı	Termokupl Rezistans Termometre
Bellek yazma	EEPROM max. 105
Ağırlığı	650 gr.

5.2.4. K-Tipi termokupl

K tipi termokupl belirli bir kaynağın sıcaklık ölçümünün yapılmasına yardımcı olur. Kullanılan termokuplun teknik özellikleri ve şekli aşağıda tablo 5.2 ve şekil 5.21'de gösterilmiştir.

Tablo 5.2. K-Tipi termokupl teknik özellikleri

K-TipiTermokupl	Teknik Bilgiler
Tipi1xK tipi bakır uçlu yüzey termokupl	
Çalışma sıcaklığı	60–2800 °C
Tek elemanlı	Ni-1xNiCr
Kablo kesiti	0.50 mm ² *2
Kablo izolasyonu	Teflon++teflon



Şekil 5.21. K-Tipi termokupl

5.2.5. Güneş radyasyon ölçer (Solarmeter)

Birçok mimar ve mühendisin kullandığı bu cihaz ile güneş enerjisinin sahip olduğu gücü belirlemektedir. Güneşten gelen radyasyon değerini bize belirler. Deneyimizde model olarak SM206 solar sayaç kullanılmıştır. Cihazın teknik bilgileri ve şekli aşağıda tablo 5.3 ve şekil 5.22’de gösterilmiştir.

Tablo 5.3. Solarmeter teknik bilgileri

SM602Solarmeter	Özellikler
Ölçüm aralığı	0.1-3999 , 1-3999 W/m ² 0.1-3999 , 1-3999 Btu/(ft ² -h) 0.1 W/m ² -0.1 Btu/(ft ² -h)
Netlik	0.1-3999 , 1-3999 W/m ² 0.1-3999 , 1-3999 Btu/(ft ² -h) 0.1 W/m ² -0.1 Btu/(ft ² -h)
Hassasiyet	±5% te (250 °C)±0.38 W/m ² /°C
Hata Aralığı	±0.2 Btu/(ft ² -h)/°C ±0.12 Btu/(ft ² -h)/°C
Yanılma Zamanı	0.25 saniye
Boyutu	60x132*38 mm
Batarya Tipi	1.6 F22*9 V



Şekil 5.22. SM206 Solarmeter

5.2.6. Anemometre

Sıcaklık ve rüzgâr hızını ölçen, maksimum-minimum verileri gösteren, ölçümleri hafızaya kaydeden ve kaydedilen verileri kendisine bağlı bir bilgisayara ileten bir cihazdır. Model olarak Ünite UT-362 Anemometre kullanılmıştır. Teknik özellikleri ve şekli aşağıda tablo 5.4 ve şekil 5.23' gösterilmiştir.

Tablo 5. 4. Unit UT362 anemometre teknik bilgileri

UNITUT362 Anemometre	Teknik Bilgileri
Rüzgârın Hızını Belirleme	10-30 m/s-2-10 m/s (3%+5)
(3%+8) Rüzgâr Kontrol Ölçümü (CMM)	9999*10~0.001
Rüzgârın Kontrolü (CFM)	0.001~9999*10
Sıcaklık Değerleri	0~60 °C (32 °F~104 °F) 3 °C



Şekil 5.23. Unit UT362 Anemometre

5.2.7. Hassas tartı

Hassas terazi en küçük ağırlıkları bile ölçebilen bir ölçüm cihazıdır. Deneyimizde TEM SF-400D model hassas terazi kullanılmıştır. Teknik özellikleri aşağıda tablo 5.5'de gösterilmiştir.

Tablo 5.5. SF 400D hassas terazi teknik bilgileri

SF 400D Hassas Tartı	Teknik Özellikler
Kapasite	600 gr
Hassaslık	0.1
Sıcaklık Aralığı	0-42 °C

5.3. Ananas Gıdası

Ananas, Brezilyanın güneyinde bulunan ve Paraguay'a özgü Bromeliaceae familyasına ait bir gıda türüdür (Codex, 2005). Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü'ne (2005) göre Tayland, Filipinler, Brezilya ve Çin başlıca ananas üreten ülkeler arasındadır. Ananas üreten ülkeler arasında aynı zamanda Endonezya, Kosta Rika Hindistan ve Kenya gibi ülkeler vardır. Ananas ürünü, dünyadaki tropikal gıda oluşumunun %20'sinden fazlasını oluşturmaktadır. Ananasın üretildiği bölgelerde ananas tüketiminin yaklaşık %70'i tazedir (Tassew, 2014; Liu ve ark., 2017). Muzdan ve mango gıdasından sonra ananas dünyanın en önemli üçüncü tropikal gıdası olarak görülür (Aragón ve ark., 2012). Dış ticarete, çok sayıdaki ananas ürünler dört farklı gruba ayrılır: Queen, Abacaxi, Smooth Cayenne ve Red Spanish. Bu sınıfların hepsinde birden fazla çeşitlilik vardır (Brat ve ark., 2004).



Şekil 5.24. Ananas (wikipedia, 2023)

Ananas gıdası, düzleştirilmiş "gözleri" (belirgin gıdalar) ve taze görünümlü, koyu yeşil yaprakları ile istenen boyut ve şekilde olmalıdır. Kuru, kahverengi taç yapraklar; donuk, sarımsı görünüm; yüzeyde küf varlığı veya kesilmiş gövde ve meyvenin gevşek ve sıkı dokusu, ananas gıdasının zayıf fiziksel kalite özelliklerindendir. Ananasların hazırlanması süresinden önce kabuğuna, büyüklük (ağırlık), herhangi bir hastalığın olmaması gibi yöntemler homojenliğine göre tasnif edilir (Paull ve Chen, 2014).

Ananas taze, dilimlenmiş gıda, konserve gıda, konsantre gıda suyu, kuru gıda haline getirilerek tüketicilere pazarlanmaktadır. (FAO, 2010; Hounhouigan ve ark., 2014). Ananasın farklı üretim şekillerinde kullanım oranı: ananas dilimleri %36-%38, ananas suyu %41-%42, ananas posası %6-%8, ananas reçeli %5-%6, ananas reçeli %3, diğer %3 (Mirza ve ark., 2016). Ayrıca, ananas gıdası, ilaç endüstrisinde ve eti yumuşatma aracı olarak kullanılan karmaşık bir proteolitik enzim olan bromelainin tek kaynağıdır (Moyle ve ark., 2005). Bromelain (OGTR, 2008), ananas suyu ve köklerinden ekstrakte edilen proteolitik bir enzim olarak bilinen, tıbbi amaçlarla kullanılan, tümör hücrelerinin gelişimini engelleyen, antiinflamatuvar ve fibrinolitik etkilere sahip, ilaç emilimini artıran ve ilaç emilimini artıran bir ilaçtır (Gautam ve ark., 2010). Etin yumuşatma işleminde, elma gıdasının suyunun kararmasını önleme, biradaki soğuk bulanıklığı önlemek amacıyla soğutma yöntemine benzer gıda endüstrisinin farklı alanlarında çok fazla tercih edilmektedir. Ayrıca kozmetik alanında hafif peeling sağlayan bir etken madde formu olarak da kullanılabilirler (Mirza ve ark., 2016).

Ananas, C vitamini, B vitamini kompleksi, karbonhidratlar, şekerler dahil olmak üzere çeşitli besin bileşenleri içerir ve ayrıca kalsiyum, manganez, potasyum, magnezyum, demir ve lif gibi önemli bir mineral kaynağıdır (Da Silva ve ark., 2014). Ananas gıdasının besin değerinin temel bileşimi tablo 5.6'da gösterilmiştir.

Tablo 5. 6. Ananas gıdasının temel besin birleşimi (Bierhals ve ark., 2011)

ÇÖZÜMLEMELER	ORTALAMA VERİLER (gr/100 gr)
Nem Miktarı	84.50
Yağ Miktarı	0.32
Toplam Şeker Miktarı	4.79
Kül Miktarı	0.33
Toplam Asit Miktarı	0.72
Protein Miktarı	0.76
Lif Miktarı	1.06

Ananas, antioksidan özelliği yüksek fenolik maddeler nedeniyle gıda dokularının oksidasyonunu önleme veya geciktirme özelliğine sahiptir (Naczki ve Shahidi, 2004). Bu gıdanın besin değeri, bazı insan hastalıklarını (kalp ve damar hastalıkları, kanser, görme bozukluğu gibi) önleyebilen (gıdanın sarı ve turuncu olmasına neden olan)

karotenoidler içerir. Antioksidan özelliklerinden dolayı yardımcı olabilirler (Brat ve ark., 2004). Ananas gıdasının ayrıntılı besinsel bileşimi tablo 5.7'de gösterilmektedir.

Tablo 5.7. Ananasın Bulunan Besin İçeriği(OGTR, 2008)

BESİNLER	MİKTAR (mg)
Riboflavin	0.011-0.04
Vitamin C	23.87
Vitamin B1 (tiamin)	0.14
Bakır	0.17
Demir	0.27-1.05
Manganez	2.56
Vitamin B6 (pidoksin)	0.13
Nitrojen	38.0-98.0
Fosfor	6.6-11.9
Kalsiyum	6.2-37.2
Askorbik Asit	27.0-165.2
Karoten	0.003-0.055
Diyet Lifi	1860.0
Niasin	0.013-0.267

Ananas gıdasının özelliklerine ek olarak, Ketnawa ve ark. (2009), ananas kabuğunun, işlendikten sonra oluşan fazlasıyla atığın sebebiyle faydalı biyoaktif bileşiklerin çıkarılması için potansiyel bir kaynak olduğuna dikkat çekti.

5.3.1. Ananas gıdasının fizyolojisi

5.3.1.1. Optimum depolama koşulları

Ananas gıdasının buzdolabında 7 ila 12 °C'de 14 ila 20 gün saklanması önerilir. Fazla bağıl nem su miktarını önemli ölçüde azalttığından, %85 ila %95 bağıl nem, saklama fırsatları için uygundur. Olgun gıdalar 7.2 °C'de 7 ila 10 gün arasında saklanabilir. Ananaslar 0 ila 4 °C'de birkaç hafta iyidir, ancak gıdaları çıkarıldıktan sonra olgunlaşmazlar ve ciddi soğutma hasarı gösterirler (Paull ve Chen, 2014). Diğer iklimsel olmayan gıdalardaki gibi, atmosfer koşullarının düşürülmüş oksijen miktarı (%2-5) veya yüksek CO₂ miktarı (%5-10) ile kontrol edilmesi önerilir (Wu ve ark., 2012). Ananas gıdasının çeşitleri yeterince şeker içerebilir, fakat içerisinde bulunan sitrik asidin fazla olması tatlılık algısının bir kısmını gölgelemektedir. Sükrozu

maskelemek, daha yüksek asit içeriğine sahip gıdaların ekşi olarak algılanacağı anlamına gelir (Saradhuldhath ve Paull, 2007).

Yüksek sıcaklığın olduğu mevsimlerde büyüyen ananaslar, güçlü bir aromaya sahiptir ve en iyi kalitededir. Kışın olgunlaştığında hafif bir aroma ve ekşi bir tada sahiptir. Bu nedenle tüketiciler yaz aylarında ananas gıdası yemeyi tercih etmektedirler (Liu ve ark., 2011; Liu ve Liu, 2012).

5.3.1.2. Olgunlaşma düzeyi ve belirtileri

Ananaslar olgunlaştıkça değişir. Gıda şişer, daha yumuşak ve daha aromatik hale gelir. Ananasın ten rengi genellikle olgunluğun çeşitli aşamalarını tanımlamak içindir. 'Red Spanish' olgunlaştığında kırmızıyı andıran kahverengi, turuncu ya da sarı, 'Smooth Cayenne' ise ananas olgunlaştığında altın rengi ya da açık sarıdır. (Bartolome ve ark., 1995). Bütünlükten olgunlaşmış sarı gıdalar, mesafesi olan piyasalara tedariki için elverişli değildir, bunun için az da olsa olgunlaşmamış gıdaları seçin (Paull ve Chen, 2014).

Ananas iklimsel olmayan bir gıdadır ve kabuk rengindeki değişikliklere rağmen hasattan sonra yeme kalitesi pek iyileşmemiştir (Pauziah ve ark., 2013). Gıdaların olgunlaşması ile ilgili olarak, etli gıdalar klimakterik ve klimakterik olmayan olmak üzere ikiye ayrılır. Elma tarzı klimakterik gıdalar, erken olgunlaşmada bir etilen biyosentez patlaması ve artan solunum gözlenir. Ananas gıdası tarzı klimajenik olmayan ürünlerde otokatalitik etilen fişkırması ve solunum artışı oluşur (Aharoni ve O'Connell, 2002; Alba ve ark., 2005; Janssen ve ark., 2008). Bu, gıdanın toplama işleminden sonra büyüme işlemi tamamlanmayan ya da tatlılaşmaya devam etmediği anlamına gelir (Paull ve Chen, 2014).

Çeşitli olgunlaşma aşamalarında toplanan ananaslar kalitesi aynı değildir (Dhar ve ark., 2008). Rosner ve ark. (2009), gıda olgunluğunun belirlenmesinde fiziksel özelliklerinin dikkate alınması gerektiğini söylemiştir. Bunlar renk, doku ve nem içeriğinin yanı sıra nişasta, şeker ya da asit gibi diğer kimyasal özellikleri içerir. Şeker içeriği gıdanın lezzet kalitesini büyük ölçüde etkiler (Dorey ve ark., 2016). Ananas gıdasının şeker içeriğindeki farklılıklar, gıda gelişimini tamamlaması ve yetiştirme koşulları ile ilgilidir (Bartolome ve ark., 1995). Ananas gıdasının asitliği, gıda büyüdükçe çoğalır ve gıda gelişimini tamamlamaya yaklaşılmaya başladıkça düşer (Saradhuldhath ve Paull, 2007). K (potasyum) iyonları organik asit yüklerinin dengesinde yer alır ve gıda büyüme aşamasında toprağa potasyum uygulanması, ananas gıdasının titre edilmiş asitlik değerinde bir artışa neden olmuştur (Spironello ve ark., 2004).

5.3.1.3. Fiziksel yıpranmalar

Soğukta oluşan hasar: Bu gıdanın soğukta oluşan hasarına kahverengi leke, içinin kararma denir. Üşüme zararı, gıda taç yapraklarında solma, kuruma ve renk atması, yeşil gıdanın sararmaması, sarı gıdanın esmerleşmesi, parlaklığının kaybolması; gıda iç dokusunun esmerleşmesine ve diğer semptomlara yol açar (Mirza ve ark., 2016). MAP uygulaması ve düşük sıcaklıkta depolama, kalite özelliklerindeki olumsuz değişiklikleri yavaşlatır ve taze kesilmiş ananas gıdasının raf ömrünü uzatır (Montero ve ark., 2008).

İç gıda dokusunun (posa) yarı saydamlığı: gıdanın mekanik hasara karşı daha büyük bir duyarlılığı ile ilişkilidir ve hücresel sıvıların sızması ve sızması ile kendini gösterir. Bu süreç olgunlaşma tamamlanmadan başlar olgunlaşma bitinceye kadar devam eder (Paull ve Chen, 2014). Yarı görünürlük, ananas etinin suya batırılmış tarzı görüldüğü fiziksel bir bozukluktur (Ou ve ark., 2016). Bu, kabuk hala yeşil olduğunda olur. Yarı saydam etli gıdalar, olgunlaşma ve olgunlaşma sonrası işlemler sırasında mekanik hasar konusunda oldukça hassastır (Mirza ve ark., 2016).

Paull ve Reyes (1996) yarı şeffaflığı olgunluk ve büyük bir ihtimalle şeker toplanması ile ilişkilendirmiştir. Çünkü olgunlaşma sonunda bazal dokunun toplam çözünür kuru madde içeriği başlangıca göre %3 ila %4 daha fazladır (Chen ve Paull, 2000). Artan yarı saydamlığa sahip gıdalar aynı zamanda pH'ı, daha fazla çözünür kuru madde içeriği/asit oranını, daha fazla gıda ağırlığını, daha fazla toplam esterleri ve daha az asitliği göstermiştir (Paull ve Chen, 2014). Son derece yarı görünür gıdalar, lezzet yoksunluğuna neden olabilir ayrıca yeme kalitesini büyük ölçüde azaltabilir (Chen ve Paull, 2000).

Kara Çürük: Charala paradoksu, ananansında zarar görmüş gıda saplarının ıslandığı noktada kara çürümeye sebep olan fakültatif bir parazitik mantardır. Bu tarz fiziksel hasara sahip gıdalar sızdırma olarak isimlendirilir ve bu hasar, gıda saydamlığının oluşmasını sağlar (Reyes ve ark., 2004).

5.3.1.4. Kurutulmuş Ananas Gıdasının Standartları

Kurutulmuş ananas gıdası için TSE'nin belirlediği standartlar bulunmaktadır.

5.3.1.4.1. Atıf yapılan standartlar

Aşağıda tablo 5.8'de ki listede kurutulmuş ananas standartlarına uygun belirlenen bazı standartlar mevcuttur.

Tablo 5. 8. Ananasın Bulunan Besin İçeriği(OGTR, 2008)

TS NO	TÜRKÇE İSMİ
TS 2104	Belirteçler - Belirteç çözeltilerinin hazırlanış metotları
TS 3687 ISO 7703	Kurutulmuş şeftali - Özellikler ve deney yöntemleri
TS 3882	Kurutulmuş taze fasulye
TS EN ISO 6579	Mikrobiyoloji - Gıda ve hayvan yemleri -Salmonella türlerinin belirlenmesinde yatay yöntemler
TS EN 14123	Gıda maddeleri - Fındık, yerfıstığı, Antep fıstığı, incir ve kırmızı toz biberde aflatoksin B1 ile aflatoksin B1, B2, G1 ve G2 toplamalarının tayini - Art kolon türevlendirmeli ve immunoaffinite ile kolondan geri almalı yüksek performanslı sıvı kromatografisi yöntemi
TS 545	Dengeli çözeltilerin hazırlanması
TS EN ISO 11290-1	Gıda ve yem maddelerinin mikrobiyolojisi - Listeria monocytogenes'in aranması ve sayımı metodu - Bölüm 1: Arama metodu
TS 3688 ISO 7701	Kurutulmuş elme-Özellikler ve deney metotları
TS ISO 2859-10	Muayene ve deney için numune alma metotları - Nitel özelliklere göre - Bölüm 10: Nitel özelliklere göre muayene için ISO 2859 serisi standartlara giriş
TS 6063 ISO 7251	Mikrobiyoloji - Muhtemel Escherichia coli sayımı için genel kurallar en muhtemel sayı tekniği
TS 13256	Ananas
TS 546	Standard çözeltilerin hazırlanması

5.3.1.4.2. Kurutulmuş ananas

Ananas gıdasının TS 13256 standartlarına uygun olarak taze anansların temizlenip kabuğundan ayrılarak dilimlenip usulüne uygun kurutulması işlemidir.

5.3.1.4.3. Bozuk kurutulmuş ananas

Bayat, rengi kararmış, yanık şeklinde ve böcek yenikli ananas.

5.3.1.4.4. Böcek zararına uğramış kurutulmuş ananas

Böceklerin kurutma sürecinde yıpratması sonucu oluşan kurutulmuş ananas.

5.3.1.4.5. Kurutulmuş ananas parçaları

Dilimlenmiş bir şekilde kurutulan ananas parçalarıdır.

5.3.1.4.6. Kurutulmuş ananas parça kırıkları

Tel elekten rahatlıkla geçebilecek ananas kırıntılarıdır.

5.3.1.4.7. Yabancı madde

Ananasların kurutulurken kum, taş, toprak gibi maruz kaldığı maddelerdir.

5.3.1.4.8. Sınıflandırmalar ve özellikler

-Sınıflandırmalar

- Ekstra
- Sınıf I
- Sınıf II

-Özellikleri

Kurutulmuş ananasın özellikleri şu şekildedir;

- Sağlam olmalı
- Temiz olmalı
- Renginde kararma olmamalı
- Böcek ve böcek türevi maddeler üzerinde olmamalı
- Dış yüzeyünde gözlemlenebilen bir ıslaklık (nem) olmamalı
- Aşırı yüksek ya da düşük sıcaklığa maruz kalmamış olmalı
- Yüzeyde belirgin lekeler ya da delikler olmamalı
- Bozulma veya küflenme olmamalı
- Sıcak su ile temasından bir süre sonra yumuşayabilmeli
- Farklı tat ve kokular olmamalı

-Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Kurutulmuş ananasların fiziksel ve kimyasal özellikleri aşağıdaki tablo 5.9'da belirtildiği gibi olmalıdır.

Tablo 5.9. Kurutulmuş Ananasların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri (TSE, 2015)

ÖZELLİKLER	DEĞERLER
Kükürt dioksit içeriği ppm, en çok	200
Aflatoksin B1 µg/kg, en çok	8.0
Rutubet içeriği % m/m, en çok	12
Su absorbe etme oranı, en az	1:5
Aflatoksin B1+B2+G1+G2 µg/kg, en çok	10.0

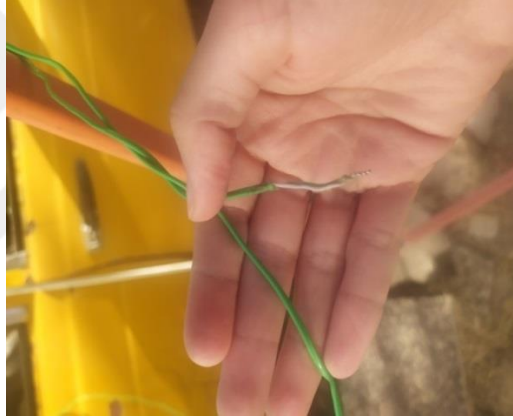
5.4. Yapılan Ölçümler

5.4.1. Sıcaklık ölçümleri

Çalışmamızda kurutma performansını iyileştirmek için Elimko 680 veri kaydedici kullanılarak her 30 dakikada bir tanımlanan noktalarda sıcaklık ölçümleri alınmıştır. Kurutma deneyleri için UNIT UT362 veri kaydedici kullanılarak 30 dakikada bir 4 farklı noktada sıcaklık ölçümleri alınmıştır. Elde edilen verileri ilgili tablolara dönüştürüldü. Kullanıldığı konumlar aşağıdaki Şekil 5.25-5.26-5.27-5.28'de şekillerde verilmiştir.



Şekil 5.25. Kolektör giriş ağzına yerleştirilen termokupl



Şekil 5.26. Dış sıcaklığı ölçmek için yerleştirilen termokupl



Şekil 5.27. Kolektör çıkış sıcaklığını ölçmek için yerleştirilen termokupl



Şekil 5.28. Fırın içi sıcaklığı ölçmek için yerleştirilen termokupl

5.4.2. Kütle ölçümleri

Ananasın nem içeriği ve kuruma hızı gibi parametrelerin belirlenmesinde ananas gıdasının örneklerinin kütle değişimi önemlidir. Kurutma işlemi sırasında iki farklı ortama yerleştirilen ananas dilimleri 30 dakika arayla SF 400D hassas terazi ile tartılmış olup alınan veriler kaydedilmiştir. Aşağıdaki şekil 5.29’da görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5.29. SF-400D hassas terazi

5.4.3. Havanın hız ölçümü

Kurutma işlemi sırasında kolektör girişinde ve çıkışında, fırın içerisinde bir de dış havada ki rüzgâr hızı bir anemometre ile ölçülmüş olup alınan değerler kaydedilmiştir. Kullanılan anemometre modeli UNIT UT362’dir.

5.4.4. Güneşin radyasyon ölçümü

Deney çalışmamızda tasarladığımız sistemde kullandığımız güneş kolektörü hava akımını ısıtmaya yarayan bir sistem olduğu için güneş ışıınım miktarına ihtiyaç

duymaktayız. Deney süreci boyunca Solar Meter SM206 model cihaz kullanılmıştır. Bu cihazı kullanarak 30 dakikada bir ölçüm yapılmıştır.

5.5. Hesaplama Kuralları

Kurutma üründen nemin (nemin) uzaklaştırılması olarak tanımlandığından, kurutulacak ürünlerdeki içerisinde bulunan nem içeriği, nemdeki değişim yüzdesi, nem ve kuruma hızı önemli veriler olarak değerlendirilmelidir. Hesaplamaların belirlenmesinde Aktaş M. ve ark (2016) yaptıkları Meyve ve Sebzelerin Kurutma Parametrelerinin İncelenmesi adlı çalışmadan yararlanılmıştır.

5.5.1. Kurutma işleminde nem miktarının belirlenmesi

Deneyisel çalışmamızda, ananas gıdasının örneklerinin kütleleri hemen hemen eşit değiştiğinde kuru kütleleri gözlenerek ananastaki nem içeriği hesaplanmıştır. Hesaplamalarımızdan sonra elde ettiğimiz nemlendirme oranının literatürdeki nem içeriği ile aynı olduğunu teyit edebiliriz.

5.5.2. Yüzdelik oranda nemdeki değişim

Kuru bir ürünlerdeki nem içeriğindeki yüzde değişimin ifadesidir. Nemdeki yüzde değişim denklem 5.1 ile ifade edilir.

$$\text{Nem Değişimi (\%)} = \frac{m_s}{m_{ilk}} * 100 \quad (5.1)$$

Yukarıdaki denklemde,

m_s : ürün içerisinde bulunan su kütlesi (gr)

m_{ilk} : ürünün ilk kütlesi (gr)

Yapılan çalışmada elde edilen Yüzdelik Nem Değişimi ananas gıdasını kurutmaya başlamadan önce %87 olarak belirlenmiş olup deney sonucunda %2-4 arasında değişiklik göstermiştir.

5.5.3. Üründeki nem oranı

Ürünün kuruduktan sonraki nem içeriğinin, ürünün herhangi bir andaki ilk nem içeriğine oranı olarak söylenebilir. Nem oranı denklem 5.2 ile ifade edilir.

$$\text{Nem Oranı (MR)} = \frac{m_t - m_e}{m_{ilk} - m_e} \quad (5.2)$$

m_{ilk} : Kurutulacak malzemenin ilk ağırlığı (gr)

m_t : herhangi bir t anındaki malzemenin ağırlığı (gr)

m_e : Malzemenin kuru ağırlığı (gr) olarak ifade bilinmektedir.

Yapılan çalışmada elde edilen Nem Oranı ananas gıdasını kurutmaya başlamadan önce 1 olarak belirlenmiş olup deney sonucunda 0.01-0.005 arasında değişiklik gösterdiği gözlemlenmiştir.

5.5.4. Üründeki nemin içeriği-kuru madde miktarı

Kuruluk üründeki nem değeri ya da su miktarı olarak ta bilinebilir. Başka bir deyişle üründeki nem içeriğinin kuru malzemedeki nem içeriğine oranıdır. Nem içeriği denklem 5.3 ile ifade edilir.

$$\text{Kuru Baza Göre Nem içeriği (MC}_{KA}) = \frac{m_t - m_e}{m_e} \quad (5.3)$$

Yukarıdaki denklemde,

m_t : t anındaki ürünün ağırlığı (gr)

m_e : Ürünün kuru ağırlığı (gr) olarak ifade etmektedir.

Kuru ağırlık, içerisinde su bulunmayan kurutulmuş madde miktarıdır. Deneyde kullanılan ananas gıdası içerisindeki kuru madde miktarını belirleyebilmek için öncelikle ananaslar yıkanıp temizlenmiştir. Daha sonra herbirinin ağırlığı 50 gr olacak şekilde dilimlenip kurumaya bırakılmıştır. 30 dakika arayla hassas terazi yardımıyla ölçümler yapılmıştır. Ölçümler sonucunda ananas gıdasının kütleindeki değişim miktarı %1'in altına düşmüştür. TSE standartlarına göre, ideal olarak 50 gr kurutulmuş ananas gıdasının ağırlığının 12.5 gr olması beklenmiştir. Yani, suyunun alınmasıyla 50 gr ananas gıdasının içinde sadece 12.5 gr'ı gerçek meyve kısmı olmalıdır. Ancak yapılan bu deneyin amacı yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisini kullanarak tasarlanan prototip fırında gıda kurutma işlemi yapmak olduğundan, ölçülen suyundan tamamen arındırılmış kurutulmuş ananas gıdasının kuru ağırlığı 6.5 gr olarak

tespit edilmiş. Yapılan çalışmada elde edilen kuru baza göre nem içeriği miktarı deneye başlamadan önce 6.69 gr su/gr kuru madde olarak belirlenmiştir.

$$\text{Yaş Baza Göre Nem İçeriği } (MC_{YA}) = \frac{m_t - m_e}{m_t} \quad (5.4)$$

Yukarıdaki denklem 5.4'teki hesaplama yöntemi ile yaş baza göre nem miktarı hesaplanabilir.

5.5.5. Kolektör Yüzey Alanı Hesaplama

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \quad (5.5)$$

Q= ihtiyaç duyulan enerji miktarı

m= ihtiyaç duyulan hava miktarı

c= Havanın özgül ısı kapasitesi (1.0266 kJ/kg.°C)

Δt = Giriş ve çıkış sıcaklık farkı

$$F_k = \frac{Q_T}{\dot{i}_h \cdot \eta_k \cdot (1 - \alpha) \cdot h_s} \quad (5.6)$$

Q_T = Toplam enerji ihtiyacı (W)

$\dot{i}_h$ = Eğimli m^2 kolektör yüzeyüne gelen toplam ışınlım

Yaz ayı için bu değer 0.78 kW/m²

Kış ayı için bu değer 0.34 kW/m²

α = Kolektörün kayıp faktörü (0.06)

η_k = Kolektörün verimi

Yaz ayı için bu değer 0.78 kW/m²

Kış ayı için bu değer 0.34 kW/m²

h_s = Günde kullanılan güneş ışınlım zamanı

5.5.6. Işınlım Değeri Hesaplama

Güneş tarafından yayılan bir enerjinin ölçülmesine ışınlım değeri denir. Hesaplaması denklem 5.7 ile ifade edilir.

$$Q = \sigma \cdot \varepsilon_2 \cdot A \cdot T_1^4 \quad (5.7)$$

σ : Stefan- Boltzmann sabiti = $5.67 \cdot 10^{-8}$ (W / m²K⁴)

ε : Yüzeyin yayma oranı ε : 1 (siyah cisim), $0 \leq \varepsilon \leq 1$

A: Alan T: Sıcaklık

5.5.7. Belirsizlik Analizi

Deneylerde veriler standart ölçüm ekipmanları kullanılarak elde edilir. Ancak belirsizlik analizi gereklidir. Belirsizlik, ekipman seçimi, test koşulları, ortam, gözlemler, okumalar, test planları ve ölçüm ekipmanının prob tipine bağlandığı noktadan kaynaklanan hatalardan kaynaklanmaktadır. Bu nedenle belirsizlik analizi gerekli deneysel standartların sağlanması açısından önemlidir. Belirsizlik analizi deneysel çalışmaların tasarlanması ve planlanması için güçlü bir yöntemdir. Deneysel ölçümlerin doğruluğunu etkileyen en önemli faktör deney sırasında oluşabilecek hatalardır (Holman, 1994).

Debi Ölçümünde Oluşan Hatalar

a_1 : okumadan dolayı oluşan hatalar

b_1 : titreşimden dolayı oluşan hatalar

Debi Ölçümünde Toplam Hatanın Analitik İncelemesi

$$W_1 = [(a_1^2) + (b_1^2)]^{1/2} = [(1^2) + (0.5^2)]^{1/2} = \pm 1.118 \text{ kg/s} \quad (5.8)$$

Sıcaklık Ölçümünde Yapılan Hataların Analitik İncelemesi

$$W_2 = [(a_2^2) + (b_2^2) + (c_2^2)]^{1/2} = [(0.05^2) + (0.1^2) + (0.1^2)]^{1/2} = 0.15 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (5.9)$$

a_2 : Dijital termometre bağlantı hatası $\pm 0.05 \text{ } ^\circ\text{C}$

b_2 : Dijital termometre hassasiyetinden kaynaklanan hata $\pm 0.1 \text{ } ^\circ\text{C}$

c_2 : Çevre ya da deney ortam sıcaklığının ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata $\pm 0.1 \text{ } ^\circ\text{C}$

Radyasyon Ölçümünde Yapılan Hataların Analizi

$$W_3 = [(a_3^2) + (b_3^2)]^{1/2} = [(1^2) + (1^2)]^{1/2} = 1.41 \text{ W/m}^2 \quad (5.10)$$

a_3 :Piranometre hassasiyetinden kaynaklanan hata $\pm \%1$

b_3 : Piranometre bağlantı $\pm \%1$

Sıcaklık Ölçümünde Yapılan Hataların Analizi

$$W_4 = [(a_4^2) + (b_4^2)]^{1/2} = [(0.1^2) + (0.1^2)]^{1/2} = \pm 0.141 \text{ }^\circ\text{C} \quad (5.11)$$

a_4 : Termokupl hassasiyetinden kaynaklanan hata $\pm 0.1^\circ\text{C}$

b_4 : Termokupl bağlantı hatası $\pm 0.1^\circ\text{C}$

Hava Hızı Ölçümlerinden Kaynaklanan Hataların Analizi

$$W_5 = [(a_5^2) + (b_5^2)]^{1/2} = [(0.01^2) + (0.05^2)]^{1/2} = \pm 0.05 \text{ m/s} \quad (5.12)$$

a_5 : Anemometre hassasiyetinden kaynaklanan hata $\pm 0.01 \text{ m/s}$

b_5 : Debi kaçaklarından kaynaklanan hata $\pm 0.05 \text{ m/s}$

Ölçülen değişkenlerin belirsizlik analizi hesaplanırken bu değerlerin kabul edilebilir aralıkta olduğu tespit edilmiştir. Aşağıdaki tablo 5.9’da deney süreci boyunca kullanılan ekipmanların teknik açıdan özellikleri, hassasiyetleri ve toplam belirsizlikleri verilmiştir.

Tablo 5.9. Ekipmanların Teknik Özellikleri, Hassasiyet ve Toplam Belirsizliği (Kılıç, 2017)

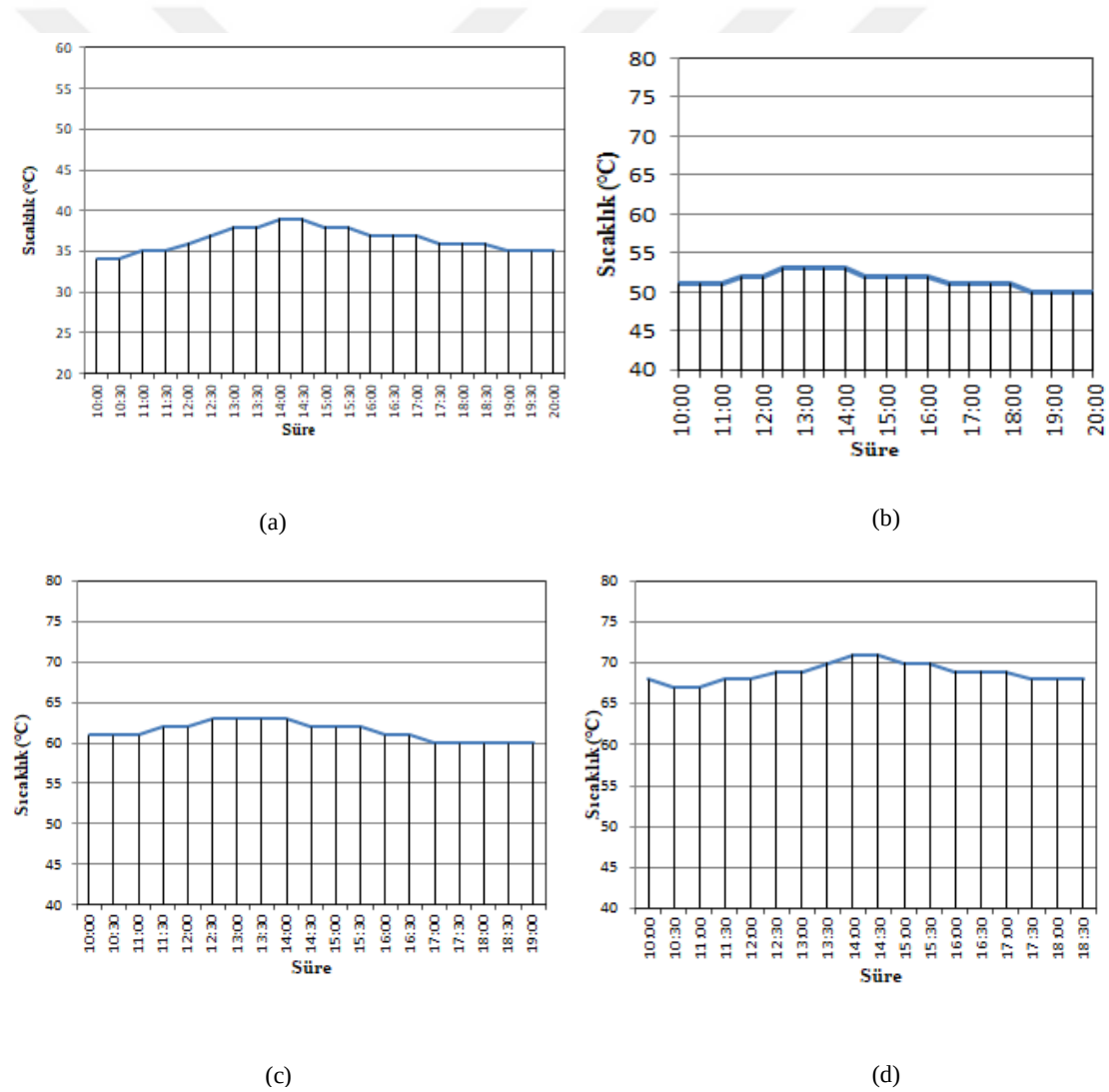
Ölçüm Cihazı	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet	Toplam Belirsizlik
Termometre	0–120 °C	± 0.1 °C	± 0.15 °C
Piranometre	0-2000 W/m ²	$\pm \%1$	$\pm \%1.41$ W/m ²
Termokupl	0-1200 °C	± 0.1 °C	± 0.141 °C
Anemometre (hava hızı)	0–20 m/s	± 0.01 m/s	± 0.05 m/s

6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Kurutma deneyi için öncelikle temizlenip kesilip ellişer gram olacak şekilde dilimlendikten sonra kurutmaya bırakılan ananasların düzenli aralıklarla ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümler grafiklere dökülmüştür.

6.1. Sıcaklık-Zaman Grafikleri

Deney süreci boyunca düzenli aralıklarla yapılan kurutma işlemi neticesinde dışarda, 50, 60 ve 70 °C’de var olan sıcaklık zaman grafikleri şekil 6.1’de gösterilmiştir.

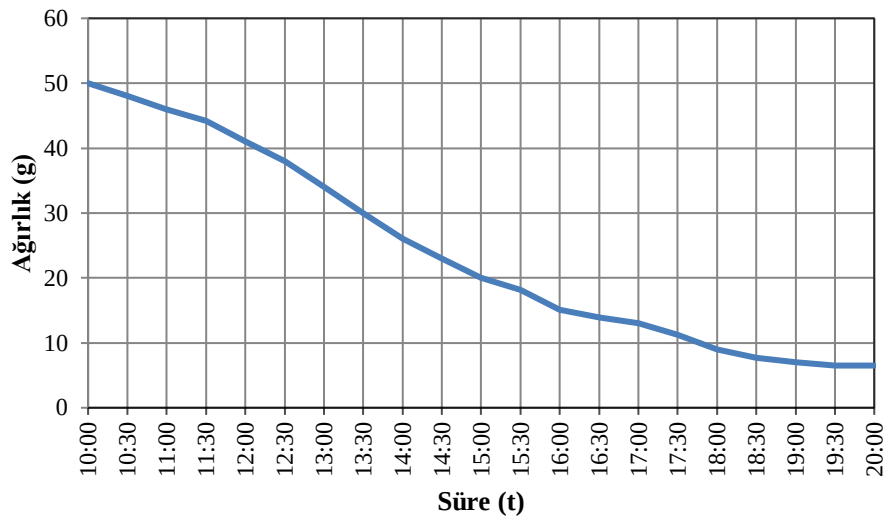


Şekil 6. 1. Sıcaklık-Zaman grafiği (a) Açık havada, (b) 50 °C’de, (c) 60 °C’de ve (d) 70 °C Sıcaklıkta

Yukarıdaki şekilde açık havadaki (a) sıcaklık-zaman grafiği incelendiğinde sıcaklık değerinin ortalama 35 °C ile 39 °C arasında değişiklik gösterdiği gözlemlenmiştir. Dilimlenen ananasların tasarlanan sistemdeki en düşük sıcaklık değerleri 50 °C (b) grafiğinde gözlemlendiği gibi 53 °C ile 50 °C arasında değişiklik göstermektedir. 70 °C (b) grafiği incelendiğinde fırın içindeki sıcaklığın ortalama 68 °C ile 72 °C arasında değişiklik gösterdiği gözlemlenmiştir. 60 °C (c) grafiği incelendiğinde ananas dilimlerinin fırın içerisinde gerçekleşen kuruma işleminde sıcaklık değerlerinin ortalama 63 °C ile 60 °C arasında değişiklik gösterdiği gözlemlenmiştir. 70 °C (d) grafiği incelendiğinde fırın içindeki sıcaklığın ortalama 68 °C ile 72 °C arasında değişiklik gösterdiği gözlemlenmiştir. Grafikler detaylı bir şekilde incelendiğinde kurutma işleminde sıcaklıkların mümkün olduğunca sabit bir şekilde ilerlediği gözlemlenmektedir.

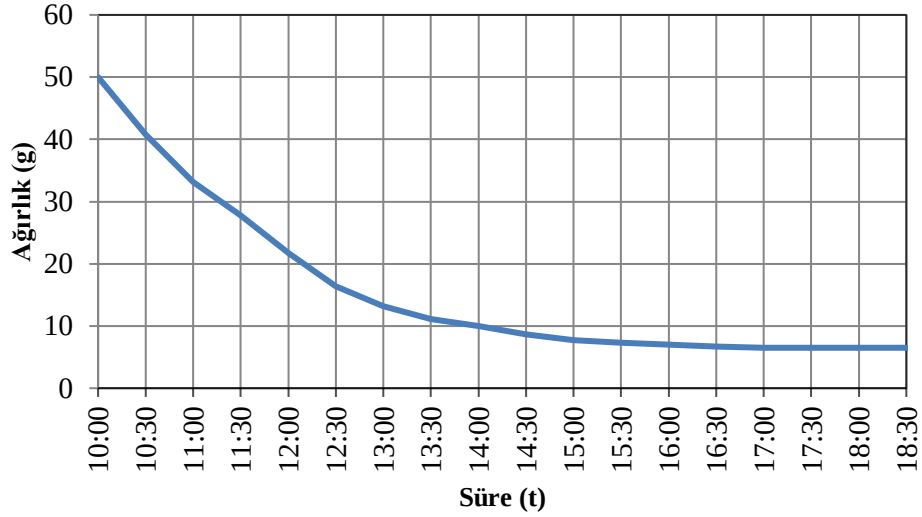
6.2. Ağırlık-Zaman Grafikleri

Deneyimizde dilimlenip deney düzeneğine yerleştirilen ananasların yarım saat arayla hassas terazi yardımı ile ölçümleri alınmıştır. Bu veriler grafiğe dökülmüştür. Aşağıdaki şekil 6.2’te görüldüğü gibi açık havada 50 gr ile başlanan deneyde belli bir süre sonra ağırlığında herhangi bir değişim olmamıştır.



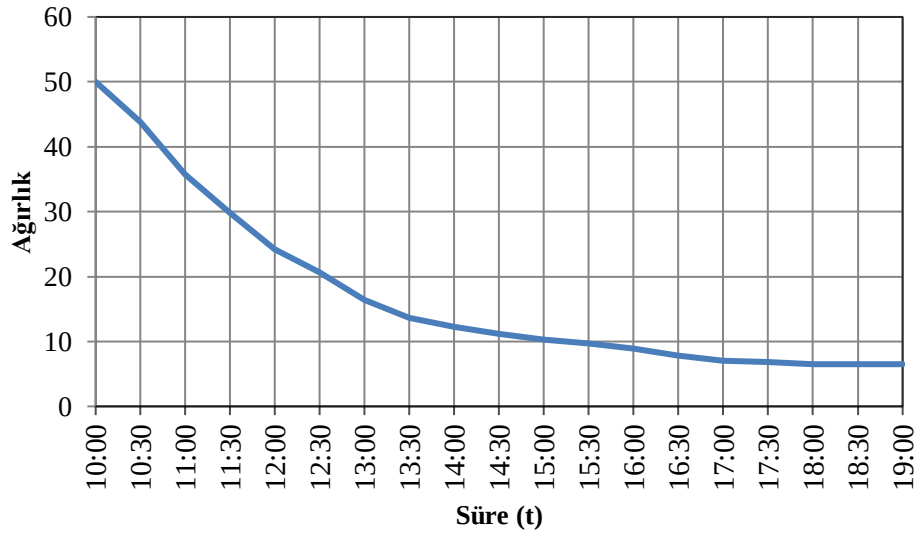
Şekil 6. 2. Açık havada kurutulan ananasların ağırlık-zaman grafiği

Şekil 6.3'te 70 °C gıda kurutma fırınında gerçekleşen kuruma işleminde deney 50 gr ananas ile başlanmış ve saat 16:00 itibariyle ağırlığında bir değişiklik olmamıştır.



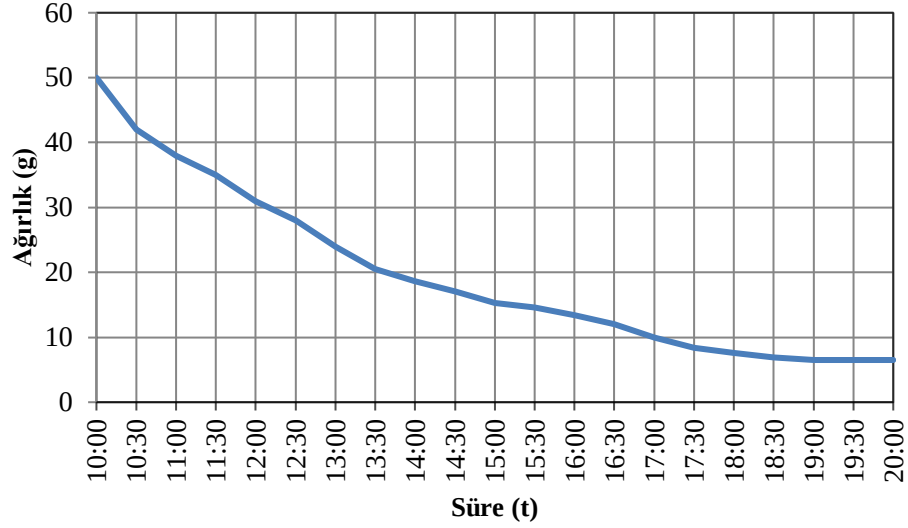
Şekil 6. 3. 70°C fırında kurutulan ananasların ağırlık-zaman grafiği

Şekil 6.4'te 60 °C gıda kurutma fırınında gerçekleşen kurutma işleminde saat 17:00 itibariyle kurutulan ürünün ağırlığında herhangi bir değişiklik olmamıştır.



Şekil 6. 4. 60 °C fırında kurutulan ananasların ağırlık-zaman grafiği

Aşağıdaki Şekil 6.5'te 50 °C fırında kurutulan ananas gıdasının ağırlık-zaman grafiği verilmiştir.



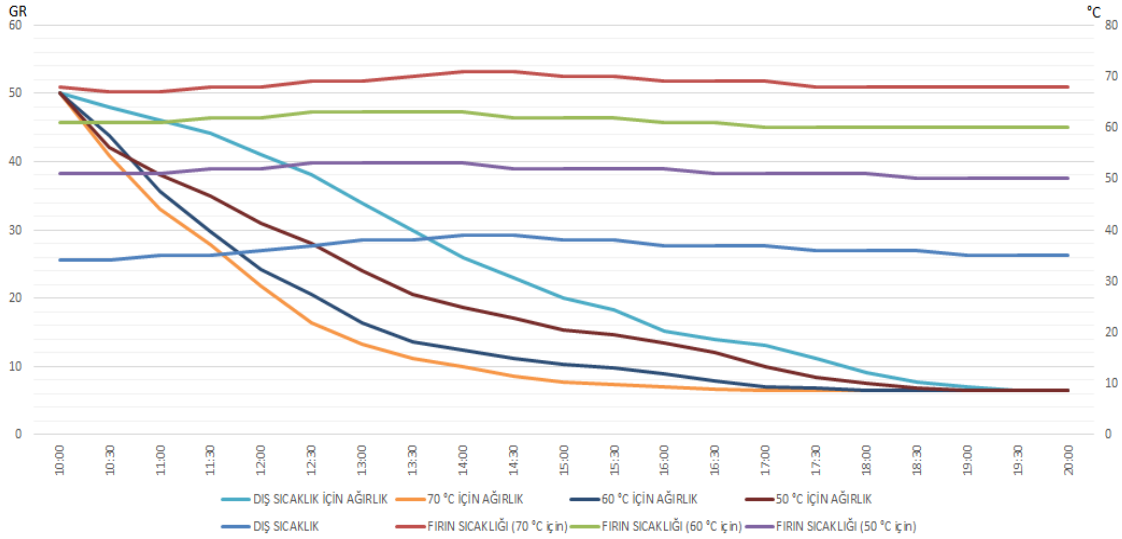
Şekil 6.5. 50 °C fırında kurutulan ananasların ağırlık-zaman grafiği

Deney süreci boyunca kurutulan ananasların kuru ağırlıklarının 6.5 gr olduğu tespit edilmiştir. Açık havada kurutulan ananaslar için, sabah saat 10:00 da deneye başlanmış olup akşam saat 19:00 da sonlanmıştır. Kuruma işleminin tamamlanması yaklaşık 9 saat sürmüştür. 70 °C de kurutulan ananaslar için, sabah 10:00 da deneye başlanmış olup akşam saat 16:00 da sonlanmıştır. Kuruma işleminin tamamlanması yaklaşık 6 saat sürmüştür. 60 °C de kurutulan ananaslar için, sabah 10:00 da deneye başlanmış olup akşam 17:00 de sonlanmıştır. Kuruma işleminin tamamlanması yaklaşık 7 saat sürmüştür. 50 °C de kurutulan ananaslar için, sabah 10:00 da deneye başlanmış olup 19:00 de sonlanmıştır. Kuruma işleminin tamamlanması yaklaşık 9 saat sürmüştür. Yukarıda bahsedilen kütlelerdeki değişim kuruma süresi grafikleri incelendiğinde, sıcaklık dozu arttıkça kurutulan ananasların kütlelerindeki azalmanın daha hızlı olduğu görülmektedir.



Şekil 6.6. Ağırlık-Sıcaklık-Zaman Grafiği (a) açık havada, (b) 70 °C'de, (c) 60 °C'de ve (d) 50 °C'de

Şekil 6.6 incelendiğinde açık havada(a) yapılan kurutma işleminde ortam sıcaklığı 34 ile 39 °C arasında değişiklik gösterirken zamanla ağırlığında azalma gözlemlenmiştir. Ortalama 70 °C(b) sıcaklıkta gerçekleşen kurutma işleminin grafiği incelendiğinde fırın sıcaklığı ortalama 68 ile 70 °C arasında değişiklik gösterirken bu sürede ağırlığında azalmalar gözlemlenmiştir. Ortalama 60 °C(c) sıcaklığın olduğu grafik incelendiğinde sıcaklık değerinin ortalama 60 ile 62 °C arasında değişiklik gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu değişiklikler esnasında ağırlığında da düşüşler meydana gelmiştir. Ortalama 50 °C sıcaklığın olduğu grafik incelendiğinde fırın sıcaklığının 50 ile 52 °C arasında değişiklik gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu sıcaklık değişimleri esnasında kurutulan ürünün ağırlığında düşüşler meydana gelmiştir. Tüm grafikler incelendiğinde sonuç olarak ağırlık ile zamanın orantılı bir şekilde ilerlediği ve sıcaklık değerleri ne olursa olsun ürünlerdeki kuruma işlemi tamamlandıktan sonra kuru ürün ağırlığının 6.5 gr olduğu gözlemlenmiştir.



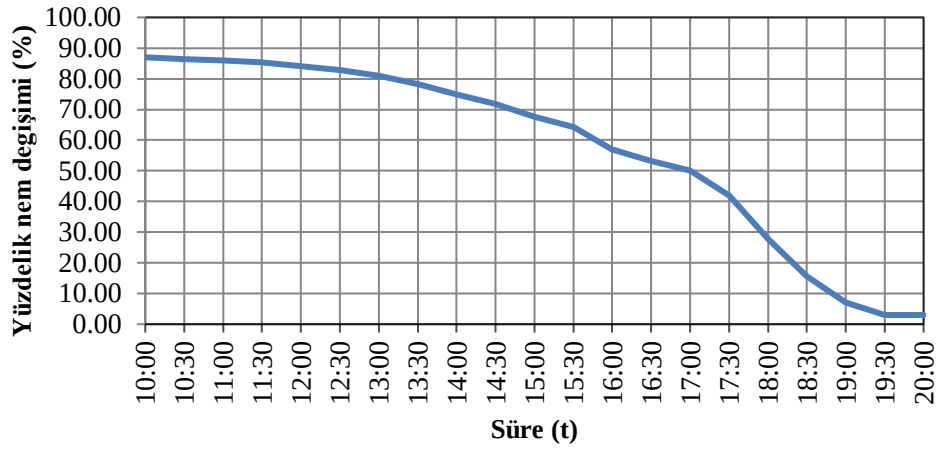
Şekil 6.7. Tüm sıcaklık değerleri için Ağırlık-Sıcaklık-Zaman Grafiği

Şekil 6.7'ye bakıldığında tüm sıcaklık değerleri için ağırlık değişimi ve zaman grafiği verilmiştir. Şekil detaylı incelendiğinde bütün sıcaklık değerlerinde deneye 50 gr ananasla başlandığı ve 6.5 gr ananasla son bulunduğu gözlemlenmektedir. Tüm şartlarda kurutulan ananas değerlerine bakıldığında sıcaklık değerleri sabit bir şekilde ilerliyorken ağırlıkları sıcaklık değerlerinin aksine azalmıştır. Deneyin ilk saatlerinde ananas kütlelerinde ciddi düşüşler oluşmuştur. Daha sonra bu kütle değişim miktarı azalmıştır. Bunun sebebi ananasın iç kısmında bulunan sıvı miktarının fazla olmasıdır.

6.3. Yüzde Nem İçeriği- Kuruma Zaman Grafikleri

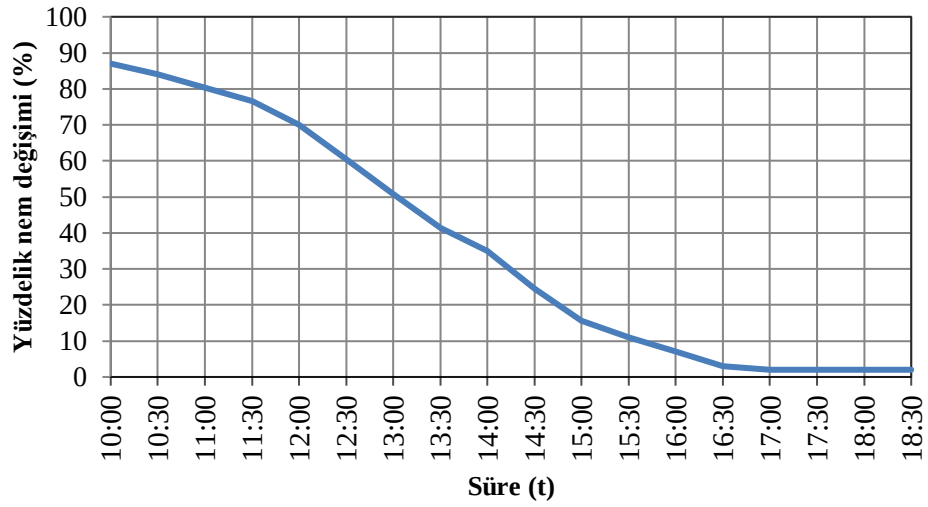
Kurutulmak istenen ürünlerde nem miktarını sıfıra indirmek ürün kalitesi açısından çok istenen bir durum değildir. Ürünün içerisinde kuruma işlemi tamamlandıktan sonra bile çok az miktarda su tutabilmesi yüzde nem içeriğini belirler.

Şekil 6.8'de gözlemlendiği gibi açık havada gerçekleşen kuruma işleminde yüzdelik nem değeri yüzde 87 ile başlamış olup saat 19:00'da değişim sona ermiştir.

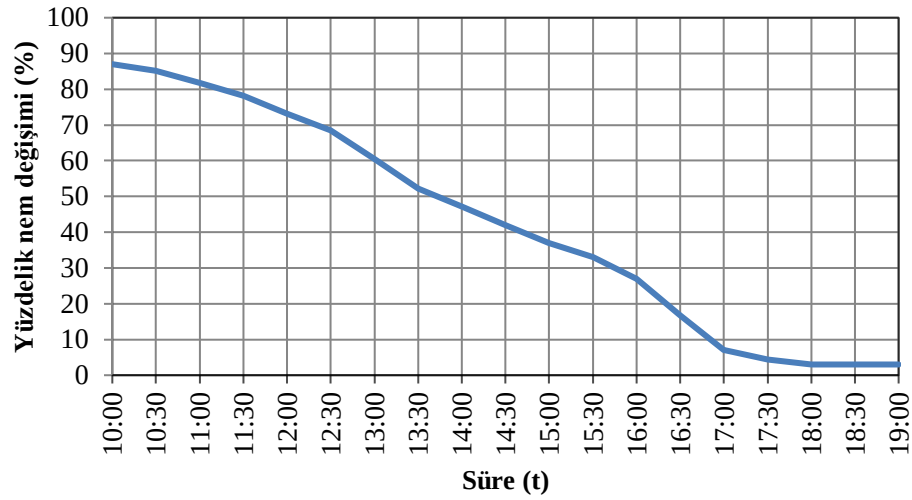


Şekil 6.8. Açık havada kurutulan ananasların yüzdelik nem içeriği-zaman grafiği

Şekil 6.9. incelendiğinde gözlemleniyor ki tasarlanan gıda kurutma fırınında 70 °C sıcaklıkta gerçekleşen kurutma işleminde yüzdelik nemindeki değişim saat 16:00 itibari ile sonlanmıştır.

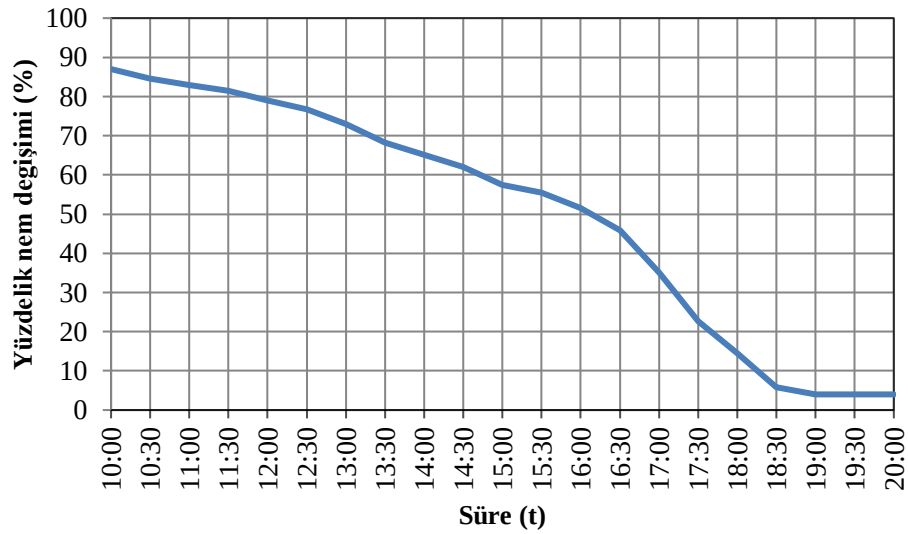


Şekil 6.9. 70 °C fırında kurutulan ananasların yüzdelik nem içeriği-zaman grafiği



Şekil 6.10. 60 °C fırında kurutulan ananasların yüzdelik nem içeriği-zaman grafiği

Şekil 6.10'a bakıldığında 60 °C fırında gerçekleşen kuruma işleminde saat 17:00-18:00 arasında ürünlerdeki yüzdelik nem değişikliği sona ermiştir ve sabit bir oranda ilerlemeye başlamıştır.

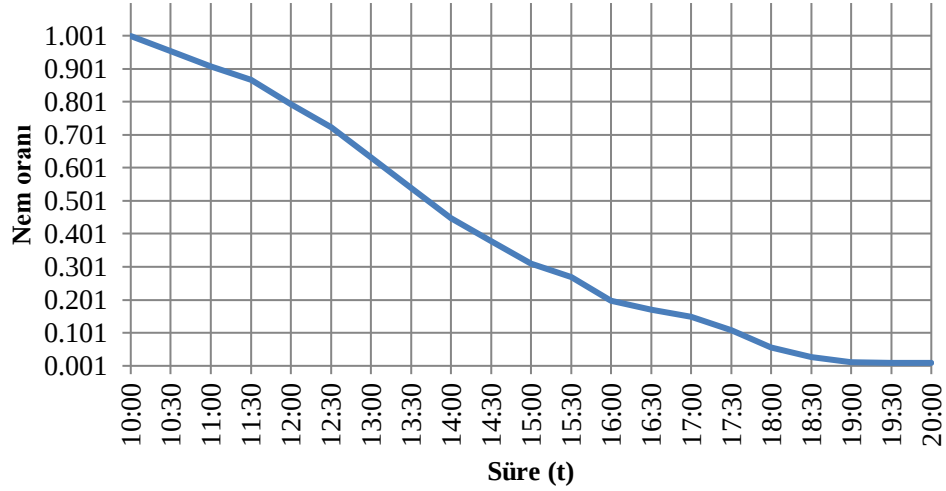


Şekil 5.11. 50 °C fırında kurutulan ananasların yüzdelik nem içeriği-zaman grafiği

Grafikler incelendiğinde açık havada kurutulan ananasların yüzdelik nem içeriğinde orantısız bir düşüş gözlemlenmektedir. Ancak kuruma süresi boyunca 70, 60 ve 50 °C gibi sabit sıcaklıklarda tutularak yapılan kurutma işlemlerinde yüzdelik nem oranının sabit bir azalmayla ilerlediği gözlemlenmektedir. Deneyde kütle değişimi durduğunda ananas numunelerindeki nem içeriği sıfıra düşmüştür.

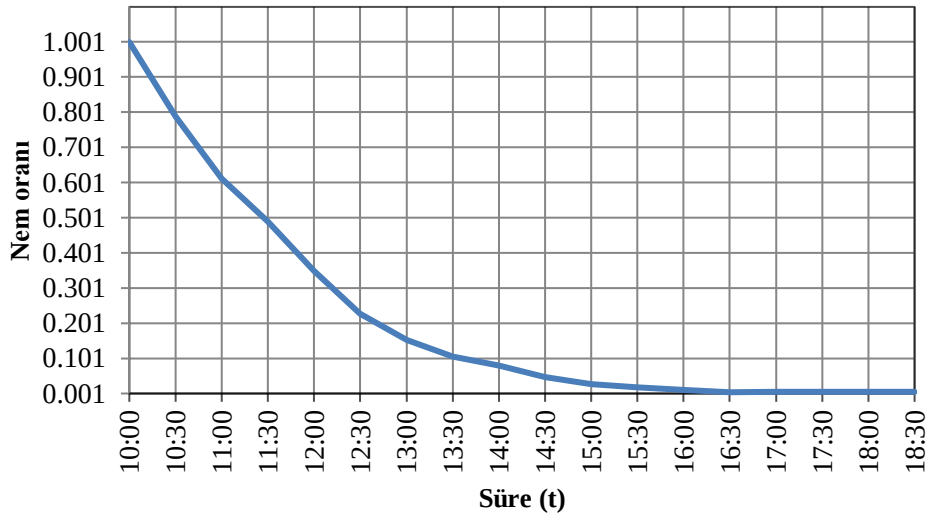
6.4. Nem Oranı Grafikleri

Kurutma deneyimizde yapılan işlemler sonucunda alınan ölçülerle hesaplamalar yapılmış olup elde edilen nem oranı değerleri grafiğe dökülmüştür.



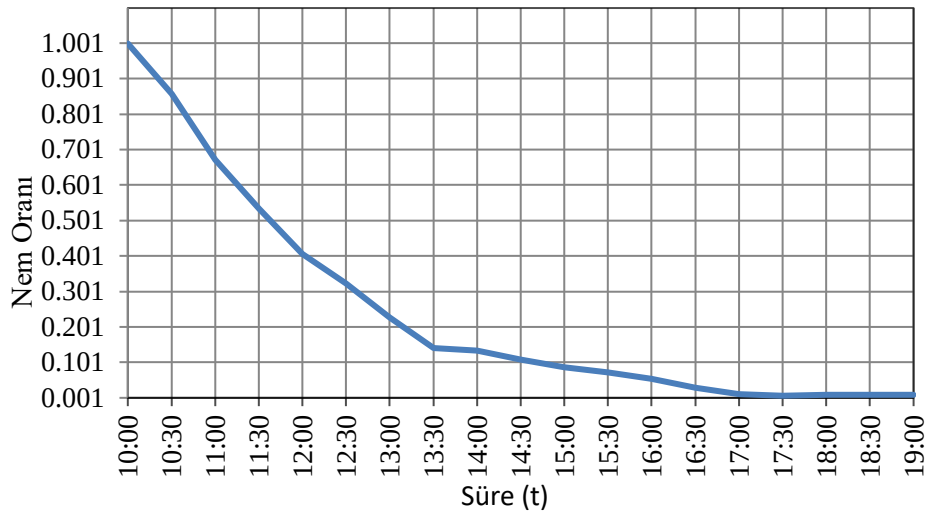
Şekil 6.12. Açık havada kurutulanan ananasların nem oranı grafiği

Yukarıdaki Şekil 6.12 incelendiğinde nem oranındaki düşüşün saat 19:00 itibarıyla sonlandığı gözlemlenmiştir.



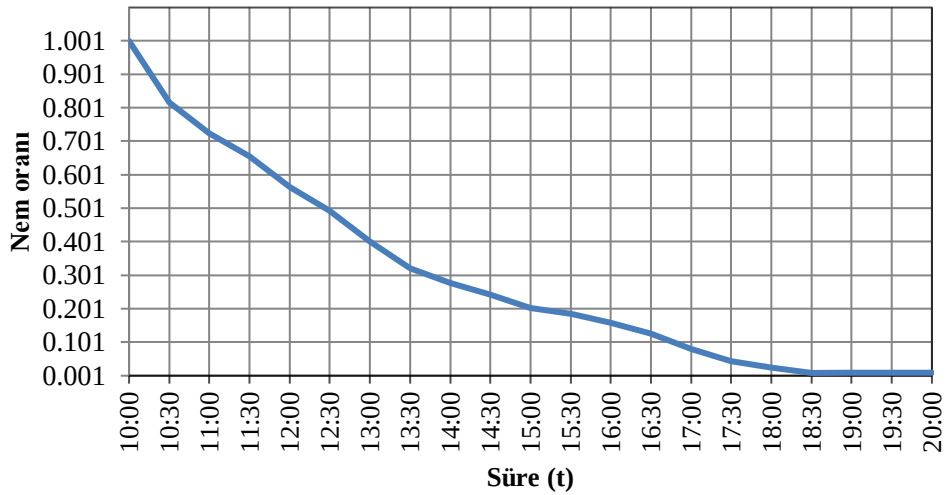
Şekil 6.13. 70 °C de kurutulanan ananasların nem oranı grafiği

Yukarıdaki Şekil 6.13 incelendiğinde tasarlanan prototip fırında 70 °C sıcaklıkta gerçekleşen kurutma işleminde nem oranındaki düşüş gözlemlenmektedir.



Şekil 6.14. 60 °C de kurutulan ananasların nem oranı grafiği

Şekil 6.14 te gerçekleşen kurutma işlemi tasarlanan prototip fırında 60°C’de yapılmıştır. Nem oranındaki düşüş belli bir süreden sonra sabit ilerlemiştir.

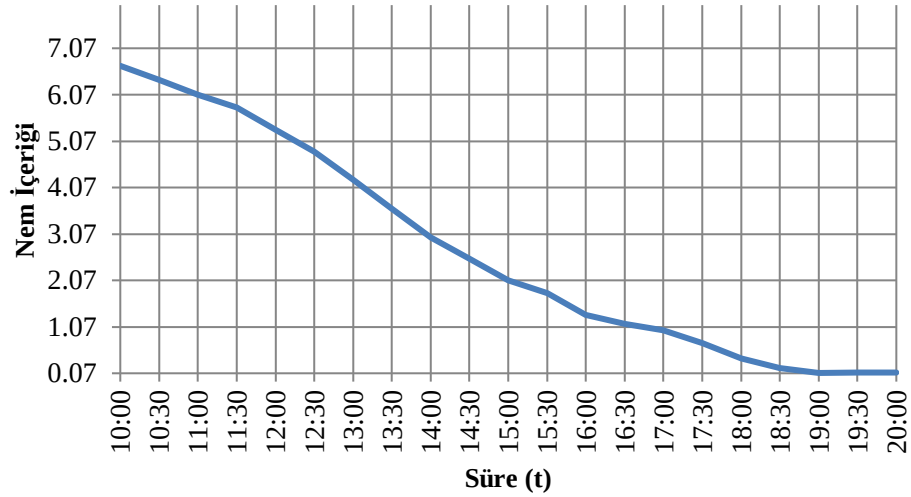


Şekil 6.15. 50°C de kurutulan ananasların nem oranı grafiği

Herhangi bir t anında ananasın nem içeriğinin başlangıçtaki nem içeriğine oranı boyutsuz nem oranı olarak ifade edilir. Yaptığımız deneylerin nem oranı grafikleri incelendiğinde kuruma süresi tamamlandıktan sonra nem oranında değişiklik olmayıp sabit ilerlemiştir. Ancak o süreye kadar orantılı bir iniş söz konusudur.

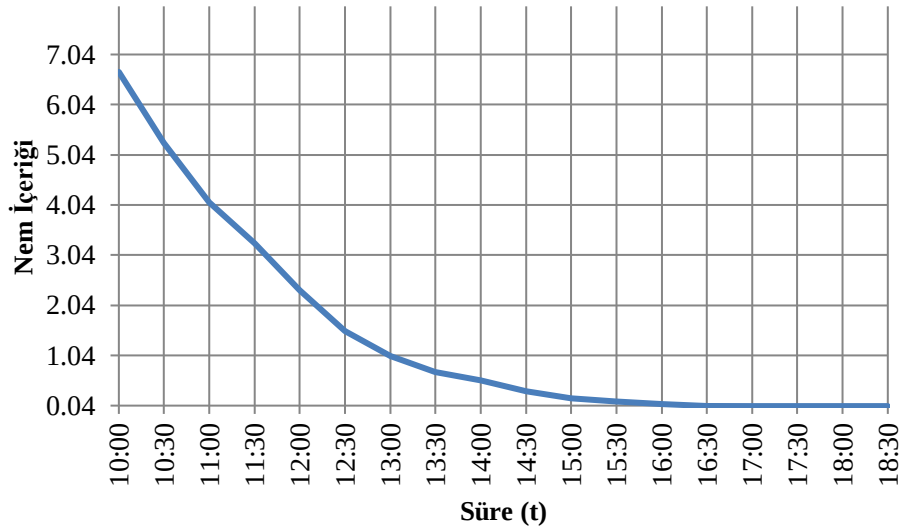
6.5. Nem İçeriği Grafikleri

Tasarlanan prototip fırında gerçekleşen kuruma işleminde alınan ölçümler neticesinde hesaplamalar yapılarak ürünün nem içeriği belirlenmiştir ve grafiğe dökülmüştür.



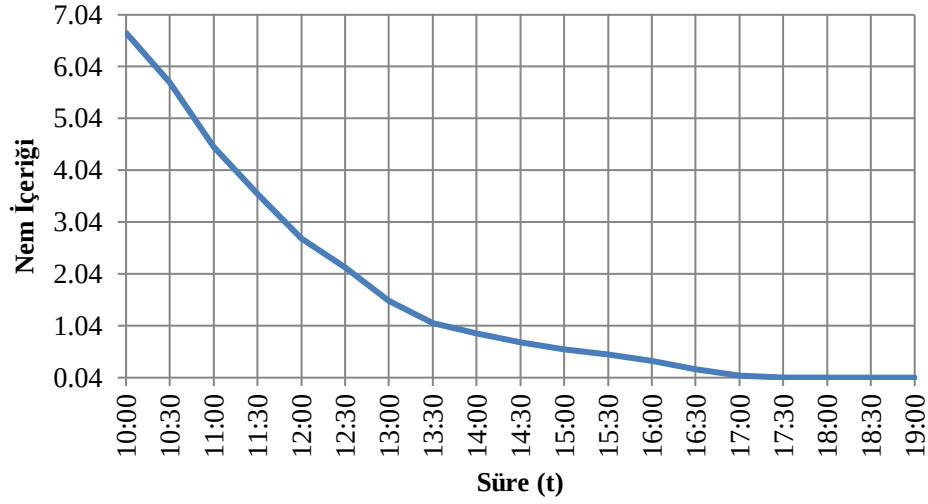
Şekil 6.16. Açık havada kurutulan ananasların nem içeriği grafiği

Yukarıdaki Şekil 6.16'da açık havada kurutulan ananasın nem içeriğindeki değişim gözlemlenmektedir.



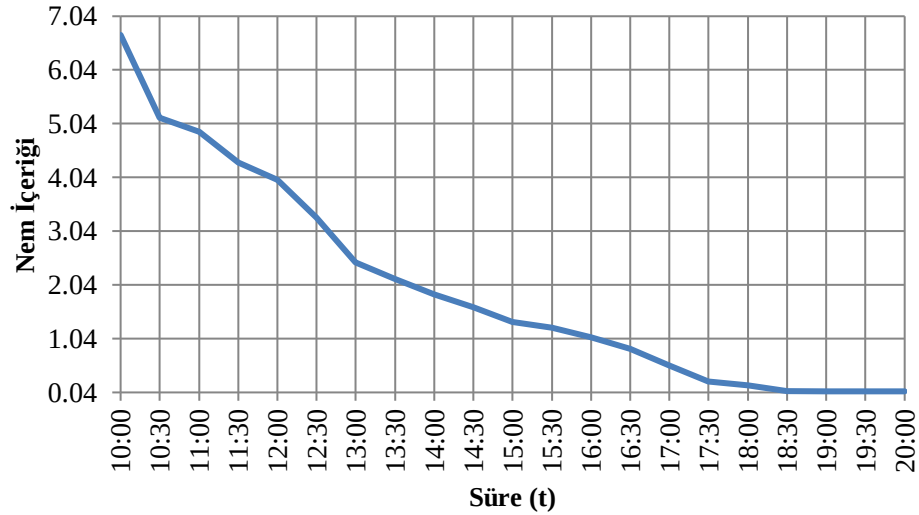
Şekil 6.17. 70 °C de kurutulan ananasların nem içeriği grafiği

Şekil 6.17’de 70 °C de gerçekleşen kuruma işleminde nem içeriğindeki düşüşün orantılı olduğu gözlemlenmektedir. Saat 16:00 itibariyle nem içeriğinde herhangi bir değişiklik gözlemlenmemiştir.



Şekil 6.18. 60 °C de kurutulan ananasların nem içeriği grafiği

Şekil 6.18’de 60 °C kurutma işleminde gerçekleşen kurutma işleminde saat 17:00 itibariyle nem içeriğinde herhangi bir değişiklik gözlemlenmemiştir.



Şekil 6.19. 50 °C de kurutulan ananasların nem içeriği grafiği

Nem içeriği, ıslak ürünlerdeki nem içeriğinin kuru ürünlerdeki nem içeriğine oranıdır. Grafikler incelendiğinde ananas gıdasının nem içeriği en fazla 6.8’dir. Yani taze ananas, kuru ananasa göre 6.8 kat daha fazla nem içeriğine sahiptir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Bu çalışmada Batman ili Batı Raman kampüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Laboratuvarında tasarlanan gıda kurutma fırınında havalı güneş kolektörü kullanılarak ananas gıdasının kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın amacı yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak daha hijyenik koşullarda süreden de tasarruf ederek kurutma işlemi yapmaktır. Tasarlanan gıda kurutma fırını ve kullanılan havalı kollektör yardımı ile ananas gıdası kurutulmuştur. Doğal kurutma yöntemi olarak bilinen dışarda kurutma işleminde ürünler çok fazla kire toza ve böceğe maruz kalabilir. Ancak tasarlanan bu sistem ile ürünlerin temiz bir şekilde kurutma işlemi tamamlanır. Yaklaşık %85-87'si su olan Ananas gıdası kurutulurken 50 gr olarak deneye başlanmıştır. Açık havada yapılan kurutma işlemi yaklaşık 9 saat sürerken gıda kurutma fırınında 6-8 saat sürmüştür. Deneyin sonucunda ananas gıdasının ağırlığı 6.5 gr olmuştur. Deney süreci boyunca yapılan ölçümlerden elde edilen verilerle hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalarda ananas gıdasının nem oranı, nem içeriği, yüzdelik nem değişimi, sıcaklık-zaman değişimleri, kütle değişimleri, ısıtım değer hesaplamaları, belirsizlik analizi, sıcaklık ölçümünde yapılan hataların analitik incelenmesi, ekipmanların hassasiyeti ve toplam belirsizlikler hesaplanmıştır. Sonuç olarak elde edilen veriler incelendiğinde yüzdelik nem değişiminde tüm şartlar için ananas gıdasının başlangıç değeri %87 olup deney sonuçlandığında %3-4 arasında olduğu belirlenmiştir. Dış ortamda geleneksel yöntemlerle gerçekleştirilen kurutmada belirlenen değerlere gelmesi yaklaşık 9 saat sürüyorken, 70 °C'de gerçekleştirilen kurutma işleminde yaklaşık 6.30 saat 60 °C'de gerçekleştirilen kurutma işleminde yaklaşık 7 saat ve 50 °C'de gerçekleştirilen kurutma işleminde ise 8 saat sürmüştür. Nem oranı değerleri incelendiğinde deney başlangıcında tüm şartlar için 1 olarak belirlenmiştir ve deney sonucunda ise yaklaşık 0.01 olarak belirlenmiştir. Bu değere geleneksel kurutma işleminde ulaşması 9 saat sürüyorken 70 °C'de gerçekleştirilen kurutma işleminde 6.30 saat 60 °C'de gerçekleştirilen kurutma işleminde yaklaşık 7 saat ve 50 °C'de gerçekleştirilen kurutma işleminde ise 8 saat sürmüştür. Nem içeriği değerleri incelendiğinde deney başlangıcında tüm şartlar için 6.69 olarak belirlenmiştir. Deney sonucunda ise 0.04 ile 0.08 arasında değişiklik göstermiştir. Geleneksel yöntemlerle gerçekleştirilen kurutma yönteminde belirlenen değerlere gelmesi yaklaşık 9 saat sürüyorken 70 °C'de gerçekleştirilen kurutma işleminde bu süre 6.30 saat 60 °C'de

gerçekleştirilen kurutma işleminde 7 saat ve 50 °C’de gerçekleştirilen kurutma işleminde ise 8 saat sürmüştür. Çalışmada ulaşılan sonuçlar aşağıdaki gibidir,

- Deney süresi boyunca sıcaklığın ve ısıtım şiddetinin en yüksek olduğu saatler 13:00-15:00’dır.
- Artan sıcaklık ve radyasyon şiddetinin kuruma hızını arttırdığı ve kuruma süresini kısalttığı belirlenmiştir.
- Tasarlanan prototip gıda kurutma fırınında havalı güneş kolektörü ile yapılan kurutma işleminin açık havada yapılan kurutma işleminden %28.57 daha hızlı olduğu gözlemlenmiştir.
- Yapılan kurutma işleminde TSE standartlarına bakıldığında kurutulmuş ananas gıdasında %12 nem olduğu gözlemlenmiştir.
- TSE standartları dikkate alındığında 50 gr için ideal kurutulmuş ananas gıdasının ağırlığı 12.5 gr olduğu belirlenmiştir. Deney sonucunda ise ananas gıdasının kuru ağırlığının 6.5 gr olduğu belirlenmiştir.
- Tasarlanan prototip gıda kurutma fırınında havalı güneş kolektörü ile yapılan kurutma işleminin açık havada yapılan kurutma işlemine göre daha sağlıklı olduğu belirlenmiş olup geleneksel kurutma sisteminde yapılan kurutma işleminde kurutulan gıdaların toz ve nem ile birleşmesi sonucu kanserojen etkisi olduğu araştırmalar sonucu belirlenmiştir.
- Diğer geleneksel yöntemler incelendiğinde bunun sonucunda tasarlanan sistem ile yapılan kurutma işleminin süre ve sağlık açısından diğer kurutma yöntemlerinden daha avantajlı olduğu belirlenmiştir.
- Açık havada, 50, 60 ve 70 °C de olmak üzere dört farklı şekilde yapılan kurutma işlemlerinden elde edilen sonuca göre, 70 °C kurutmada ananas gıdasının dış yüzeylerinde yanma oluştuğu, 60 °C kurutmada ananas gıdasının dış yüzeyinde herhangi bir yıpranma gözlemlenmediği ancak süre açısından 70 °C’de gerçekleştirilen kurutma işlemine göre daha uzun 50 °C’de gerçekleştirilen kurutma işlemine göre ise daha kısa sürdüğü, 50 °C kurutmanın süresinin uzun olduğu, açık havada kurutmanın ise süre ve hijyen açısından pek uygun olmadığı belirlenmiştir.
- Kurutma işlemine 50 gr olarak başladığımız deneyimizin sonucunda yapılan işlemlere bakıldığında, ürünün ağırlığında %87 oranında düşüş

gözlemlenmektedir. Bu da Ananas gıdasının ortalama %87'sinin sıvı olduğu sonucuna varmamıza sebep oluyor. 50 gr olan ananas dilimi kurutma sonrası 6.5 gr olmuştur.

- Tasarlanan gıda kurutma fırınında yapılan ananas gıdası kurutma işleminde geleneksel kurutma işlemine göre 70 °C'de %50, 60 °C'de %28 ve 50 °C'de %12.5 verim artışı olduğu hesaplanmıştır.
- Yüzdelik nem değişimi her dört farklı ölçümde de 50 gr ananas için 0.86 olarak belirlenmiştir.
- Nem oranı değeri her dört farklı ölçümde de 50 gr ananas için 1 olarak belirlenmiştir.
- Nem içeriği yapılan dört farklı ölçümde de 50 gr ananas için 6.69 olarak belirlenmiştir.

Sonuç olarak 50 gr olarak başlanan Ananas kurutma deneyi ananas gıdası 6.5 gr olduğunda kuruma işlemi sonlanmıştır. Kurutulan ürünün yapısının %85-87'sinin su olduğu belirlenmiştir. En hızlı kurutma yönteminin 70 °C tasarlanan prototip gıda kurutma fırınında yaklaşık 7 saatte gerçekleştiği gözlemlenmiştir. En yavaş kurutma işleminin ise dışarda (açık havada) kurutma yöntemi ile 9 saatte gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

7.2. Öneriler

- Tasarlanan prototip gıda kurutma fırınında gerçekleşen kurutma işleminde nem dengesinin daha kontrollü bir şekilde düşüşünün sağlanması için çalışmalar yapılabilir.
- Tasarlanan prototip gıda kurutma fırını ile havalı güneş kolektörü arasındaki geçiş borusunun ısı geçirgenliği açısından daha az kaybın sağlanacağı bir sistem tasarlanabilir.
- Tasarlanan prototip gıda kurutma fırınının dış yüzeyinde ısı yalıtkanlığı yüksek malzemeler kullanılması için çalışmalar yapılabilir.
- Çalışmamızda kurutma gıdası olarak kullandığımız ananas gıdasının düzenli aralıklarla gerçekleştirdiğimiz ağırlık ölçümlerinin manuel yapılması yerine yeni bir otomasyon sistemi tasarlanması konusunda çalışmalar yapılabilir.
- Ananas gıdasının temizlenip doğranması konusunda manuel bir sistem kullanmak yerine daha mekanik bir sistem tercih edilmeli

- Tasarlanan prototip gıda kurutma fırınının izolasyon işleminin verimi maksimum seviyeye çıkarılabilir. Kullanılan parçalarda değişiklik yapılabilir.
- Tasarlanan prototip gıda kurutma fırınında havalı güneş kolektörü yardımıyla yapılan kurutma deneyinde en çok dikkat edilmesi gereken hususlardan biri ısı kaybıdır. Sistem genelinde bununla ilgili kaybı önlemeye yönelik çalışmalar yapılabilir.



KAYNAKLAR

- Akarsu, F., 2002, Faz değiştiren malzemeler kullanılarak güneş enerjisinin depolanması, Yüksek Lisans Tezi, *İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Malatya, 64
- Akman H., Çerçi K.N., Hürdoğan E. ve Büyükalaca O., 2018, Güneş Enerjisi Destekli Bir Kurutma Sisteminin Tasarımı, İmalatı ve İlk Ölçüm Sonuçlarının Deęerlendirilmesi, *Osmaniye Korkutata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1(1), 1-9
- Aktaş, C., 2015, Patlıcanın Kurutma ve Rehidrasyon Karakteristiklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, İstanbul
- Aktaş, M. Ceylan, İ. Doğan, H. ve Aktekel, Z., 2010, Güneş Enerjisi Destekli, Isı Pompalı Kırmızıbiber Kurutucusunun Tasarımı, İmalatı ve Performans Deneyleri. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 30(1), 111-120
- Aktaş, M., 2007, Isı Pompası Destekli Fındık Kurutma Fırınının Tasarımı, İmalatı Ve Deneysel İncelenmesi, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara
- Alibas A., 2012, Asma Yapracağının (*Vitis vinifera* L.) Mikrodalga Enerjisiyle Kurutulması ve Bazı Kalite Parametrelerinin Belirlenmesi, *Tarım Bilimleri Dergisi*, 2012, 18, 43-53
- Anonim, 2021, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, <https://mgm.gov.tr/iklim/iklismsiniflandirmalari.aspx?m=BATMAN> [Ziyaret Tarihi: 25 Nisan 2022]
- Anonim, 2022, Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA), <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/> [Ziyaret Tarihi: 18 Nisan 2022]
- Aragón C., Pascual P., González J., Escalona M., Carvalho L. and Amancio S., 2013, The Physiology of Ex Vitro Pineapple (*Ananas comosus* L. Merr. var MD-2) as CAM or C3 is Regulated by the Environmental Conditions: Proteomic and Transcriptomic Profiles, *Plant Cell Reports*, 32(11), 1807–1818
- Ayvaz, H., 1992, Güneş enerjisiyle tarımsal ürünlerin kurutulmasında kullanılacak endüstriyel kurutucu tasarımı, Doktora Tezi, *Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü*, İzmir, 220
- Bingöl, G., 2008, The Effects Of Different Pretreatments On Drying Rate And Color Kinetics Of Convective And Microwave Assisted Convective Drying Of Thompson Seedless Grapes. Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul
- Cankurtaran E., 2018, Güneş Enerjili Kurutma Sisteminde Çileğin Kurutma Karakteristięinin Belirlenmesi, Yüksek lisans Tezi, *Yozgat Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yozgat

- Ceylan İ., Aktaş M. ve Doğan H., 2006, Güneş Enerjili Kurutma Fırınında Elma Kurutulması. *Politeknik Dergisi*, 9(4), 289-294
- Close D.J., Yusoff M.B., 1978, The effects of air leaks on solar air heater behaviour, *Solar Energy*, 20, 459-463
- Codex Alimentarius, 2005. Codex standard for pineapples, Codex Standard 182-1993, Revised 1999, Amended 2005, 2011
- Çakmak G., 2007, Çekirdeksiz Üzüm Kurutmada Güneş Enerjisi Destekli Dönel Akışlı Kurutucu Tasarımı, Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ
- Dey, S., Satapathy, K., 2013, A Combined Technology Package For Extraction of Pineapple Leaf Fibre-An Agrowaste, Utilization of biomass and for application in Textiles. Kolkata: National Institute of Research on Jute and Allied Fibre Technology Indian Council of Agricultural Research
- Doymaz İ. ve Aktaş C., 2018, Patlıcan Dilimlerinin Kurutma ve Rehidrasyon Karakteristiklerinin Belirlenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(3), 833-842
- Düzer İ., 2003, Güneş enerjisi ile kurutma, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü, Gebze*, 84s
- Ekechukwu O.V., Norton B., 1999, Review of solar-energy drying systems II: an overview of solar drying technology, *Energy Conversion and Management*, 40, 615-655
- Elimko, <https://elimko.com.tr/en/products/electronic-instruments/data-loggerscanners/e-680-series-universal-data-loggerscanners> , [Ziyaret Tarihi, 20.07.2023]
- Eren Ö., Soysal Y., Öztekin S., Dogantan ZS., 2005, Mikrodalga Sistemi ile Donatılmış Bir Bantlı Kurutucuda Maydanoz Kurutulması, III. Tarımsal Ürünleri Kurutma Çalıştayı, *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Bölümü*, 2-4 Mayıs, Antalya, 13-25
- Ezeike G.O.I., 1986, Development and performance of a triple-pass solar collector and dryer system, *Energy in Agric*, 5, 1-20
- Fadhel A., Kooli S., Farhat A., Bellghith A., 2005, Study of the solar drying of grapes by three different processes, *Desalination*, 185, 535-541
- FAO/WHO, 2010, Manual on Development and Use of FAO and WHO Specifications for Pesticides/Prepared by the FAO/WHO Joint Meeting on Pesticide Specifications (JMPS) , *World Health Organization, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome*

- Fellows P., 2000, Dehydration, in Food Processing Technology: Principles and Practice. Second Edition, *Midway Technology Limited*, Cambridge, United Kingdom
- Gallali Y.M., Abujnah Y.S., Bannani F.K., 2000, Preservation of fruits and vegetables using solar drier: a comparative study of natural and solar drying, *Renewable Energy*, 19, 203-212
- Garba M.M., Atiku A.T., Sambo A.S., 1990, Comparative studies of some passive solar dryers, *Energy and the Enviroment*, 2, 927-931
- Gürel, A. E., Ceylan, İ., ve Aktaş, M., 2016, Meyve ve Sebzelerin Kurutma Parametrelerinin İncelenmesi *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 4(4), 267-273
- Gürses Ö. L., 1986, Gıda İşleme Mühendisliği-II, *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, Ankara
- Henry Z.A., Bledsoe B.L., Eller D.D., 1977, Drying of large hay packages with solar heated air, *ASAE Paper*, 77-3001
- Holman J.P., 1994, Experimental Methods for Engineers, *New York: McGraw-Hill Yayınevi*, 64
- Hounhouigan M. H., Linnemann A. R., Soumanou M. M. and Van Boekel M. A., 2014, Effect of Processing on the Quality of Pineapple Juice., *Food Reviews International*, 30(2), 112-133
- Kadam D.M., Samuel D.V.K., 2006, Convective flat-plate solar heat collector for cauliflower drying, *Biosystems Engineering*, 93, 189–198
- Karacabey E. ve Aktaş T., 2020, Sultani Çekirdeksiz Üzüm Çeşidinde Farklı Kurutma Yöntemlerinin Kurutma Kinetiği, Enerji Tüketimi ve Ürün Kalitesi Açısından İncelenmesi, *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 17(1), 53-65
- Karakaya, H., 2017, Güneş Enerjisi Destekli Doğal Taşınımlı Kurutma Sisteminde Kurutma Parametrelerinin İncelenmesi, Y. Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ
- Kılıç F., 2017, Güneş Kollektöründe Nano Boyutta Metal Oksit İçeren Akışkanların Performans Üzerine Etkileri, *Gazi Üniversitesi Doktora Tezi*
- Kılıç F. ve Özden S., 2020, Limon (Citrus limon L.) Diliminin Kurutma Sürecindeki Renk ve Boyut Analizi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(2), 1227-1235
- Kılıç F., 2020, Gıda Kurutma Fırınında Doğal Sirkülasyon Açık Alan Optimizasyonu, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 8(1), 121-130
- Koyuncu T., Pınar Y., 2001, Kırmızı Biber İçin Bir Güneşli Kurutucu Tasarımı. *Tarımsal Mekanizasyon 20. Ulusal Kongresi. (13–15 Eylül 2001)*, 423-430s, Şanlıurfa

- Kurtuluş O., 2007, Akışkan Yatakta Kurutma Prosesinin İncelenmesi, Y. Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul
- Liu J., He C., Shen F., Zhang K. and Zhu S., 2017, The Crown Plays an Important Role in Maintaining Quality of Harvested Pineapple, *Postharvest Biology and Technology*, 124, 18–24
- Madhlopa A., Jones S.A., Kalengasaka J. D., 2001, A Solar Air Heater with Composite Absorber Systems for Food Dehydration, <http://www.elsevier.com/locate/renene> 24 Eylül, 2001
- Memur E., 2022, Güneş Enerjili Gıda Kurutucusu Tasarımı ile Kurutma Performans Değerlendirmeleri, *Yekarum*, 7(2), 48-57
- Mirza A. A., Senthilkumar S. and Singh S. K., 2016, A Review on Trends and Approaches in Post-Harvest Handling of Pineapple, *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, 9(4), 2885–2889
- Mutlu H., Öztürk H. K., 2004, İncirin Güneş Enerjisi Kullanarak Kurutulmasının Esasları, *II. Ulusal Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi*, (26–28 Mayıs 2004), Kütahya
- Olgun, H., Rzaev, P., 2000, Fındığın Üç Farklı Sistemde Güneş Enerjisi ile Kurutulması, *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 24 1-14
- Olgun, H., Rzaev, P., 2000, Fındığın üç farklı sistemde güneş enerjisi ile kurutulması, *Tr J Engin. Environ. Sci.*, 24 , 1-14. De Castro, L. N. and Von Zuben, F. J., 2000, *Artificial immune systems: Part I- Basic theory and applications*, DCA-RT 02/00, Brasil, 23-28
- Özdemir M.B. ve Yatarkalkmaz M.M., 2018, Kayısı Kurutma İçin Düz ve Hapsedici Yüzeyle Güneş Destekli Kurutma Sistemlerinin Mukayese Edilmesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 6(4), 803-813
- Özgür A., Erdem T., 2015, Nar Çekirdeği Yağının Çıkarılması Amacıyla Farklı Kurutma Yöntemlerinin Uygulanması Üzerine Bir Araştırma, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 11(2), 167-172
- Paull R. E. ve Chen C. C., 2014, Pineapple: Postharvest Quality-Maintenance Guidelines, Fruit, Nut, and Beverage Crops, University of Hawai'i at Mānoa , College of Tropical Agriculture and Human Resources. Dasgupta, D., 1998, *Artificial immune systems and their applications* Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg, 45-52
- Reddy, N., Yang, Y., 2005, "Biofibers from agricultural byproducts for industrial applications", *TRENDS in Biotechnology*, 23 (1), 22-27

- Sadeghian E., 1992, Bandırılmış Çekirdeksiz Üzümün Farklı Kuruma Evrelerindeki Difüzyon Katsayısının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 53s
- Sarsılmaz C., 1998, Güneş Enerjisi Destekli Kayısı Kurutma Sistemi, Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ
- Selçuk K.M., Ersoy O., Akyurt M., 1974, Development, Theoretical Analysis and Performance Evalution of Shelf Type Solar Driers, *Solar Energy*, vol.16: 81-88
- Soysal Y., Ayhan Z., Estürk O., 2009, Mikrodalga ile Meyve ve Sebze Kurutmada Enerji Kullanım Verimliliği ve Ürün Kalitesinin Arttırılmasında İleri Kurutma Tekniklerinin Uygulanması Üzerine Araştırmalar, *Tübitak-Tovag*, Proje No: 105 O 547
- T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 2011, Gıda Teknolojisi Meyveleri Kurutma, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Meyveleri%20Kurutma.pdf , Ankara
- Tassew A., 2014, Evaluation of Leaf Bud Cuttings from Different Sized Crowns for Rapid Propagation of Pineapple (Ananas Comosus L. [Merr.]), *Journal of Biology*, 4(27), 1–8
- Vikipedia, Ananas, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Ananas> , [Ziyaret Tarihi, 15.09.2023]
- Yaldız O., Ertekin C., Uzun H. İ., 2001, Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes, *Energy*, Doi:10.1016/S0360-5442(01)00018-4
- Yaşartekin Y., 1991, Kabinet tipi, güneşi dikey ekseninde belirli aralıklarla izleyen, güneş enerjili kurutucunun tasarımı ve tarımsal ürünlerin kurutulmasında denenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü*, 153s
- Yıldız Z., ve Gökayaz L., 2020, Çok Raflı Güneş Enerjili Kurutucu İle Elma Kurutma İşlemi Üzerine Kurutma Koşullarının Etkisi, *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 9(1), 27-36