

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

**KURUTMADA KONİK
YOĞUNLAŞTIRICILI BİR GÜNEŞ
ENERJİSİ SİSTEMİNİN KULLANILMASI**

114392

ÖĞRETİM KURULU

İnci TÜRK TOĞRUL

114392

**DOKTORA TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Tez Yöneticisi: Prof. Dr. Dursun PEHLİVAN

**2001
ELAZIĞ**

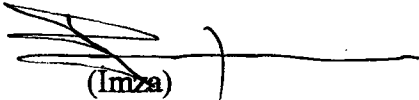
T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KURUTMADA KONİK YOĞUNLAŞTIRICILI BİR
GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMİNİN KULLANILMASI**

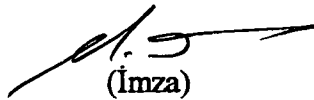
İnci TÜRK TOĞRUL

**DOKTORA TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

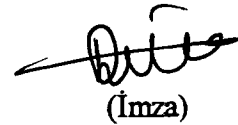
Bu tez, 2/3/2001 Tarihinde, Aşağıda Belirtilen Jüri Tarafından
Oybirliği/~~Çoğunlukla~~ ile Başarılı/~~Başarısız~~ Olarak Değerlendirilmiştir.


(İmza)

Danışman
Prof. Dr. Dursun PEHLİVAN


(İmza)

Üye
Prof. Dr. Mustafa ALPBAZ


(İmza)

Üye
Doç. Dr. Dursun ÖZER

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu' nun/...../..... tarih
ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

ÖZET

Doktora Tezi

**KURUTMADA KONİK YOĞUNLAŞTIRICILI BİR GÜNEŞ
ENERJİSİ SİSTEMİNİN KULLANILMASI****İnci TÜRK TOĞRUL**

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

2001, Sayfa:264

Güneş enerjisi, yeni ve yenilenebilir bir enerji kaynağı oluşu yanında bir sorun olan çevreyi kirletici atıklarının bulunmayışı, yerel olarak uzun ve karmaşık bir teknoloji gerektirmemesi gibi üstünlükleri sebebiyle son yıllarda yoğun çalışmaların yapıldığı bir konu olmuştur. Binaların ısıtılması, endüstriyel ürünlerin kurutulması ve elektrik üretimi güneş enerjisinin kullanıldığı alanlardır.

Yüksek sıcaklık uygulamalarında güneş yoğunlaştırıcılarının kullanılması gerekir. Düz toplayıcılarla aynı açıklık alanına düşen güneş ışınımından, yoğunlaştırıcı toplayıcılardan daha fazla miktarda faydalanabilir, fakat yoğunlaştırıcı toplayıcılarla daha yüksek sıcaklıklara ulaşılabilir. Türkiye güneş enerjisi açısından zengin bir ülkedir ve bugün 90°C' nin altındaki sıcaklık uygulamalarında düzlem yüzeyli güneş toplayıcıları yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Güneş enerjisi uygulama teknolojilerinin geliştirilmesi konusunda bugün çok sayıda araştırma yapılmaktadır. Ancak hava ısıtma söz konusu olduğunda yüksek sıcaklıklara çıkabilen sistemlerin olmaması eksiklik olarak görülmektedir.

Bu çalışmada yüksek sıcaklıklara çıkabilmek amacıyla konik yoğunlaştırıcı bir hava ısıtıcının tasarımı yapıldı, kuruldu ve temel sistem parametreleri yönünden performansı incelendi. Şimdiye kadar kullanılan sistemlerden farklı olarak dizayn edilen ve yoğunlaştırıcı kısmı konik şekilli olan yansıtıcının odak noktasına silindirik bir absorber yerleştirildi. Koninin güneşi doğuşundan batışına sürekli izlemesi sağlanarak güneş ışınlarının günün her saatinde absorbere dik olarak yansıtılması sağlandı.

Yeni tasarlanan bu konik yoğunlaştırıcı hava ısıtma sisteminin doğal ve zorlanmış akış şartlarında performansı incelendi. Bu sırada üç ayrı eğim açısında yerleştirilen toplayıcının optimum eğimi belirlendi. 28.4° , 33.4° ve 38.4° açılarında yerleştirilen toplayıcıdan en yüksek sıcaklık ve verim değerleri 28.4° eğim açısında elde edildi. Sistem doğal akış şartlarında çalıştırıldığında çok yüksek sıcaklıklara (155°C) çıkabilmesine rağmen hava akış debisinin düşük olması nedeniyle verim %11 seviyesinde kalmıştır. 30 kg/saat-70 kg/saat aralığında 5 ayrı hava debisinde yürütülen zorlanmış akış deneylerinde ise en yüksek sıcaklıklar 30 kg/saat' te en yüksek verim (%50) değerleri ise 70 kg/saat hava debisinde elde edildi.

Konik yoğunlaştırıcı hava ısıtma sisteminin verimini artırmak için seçici yüzeyli absorber denendi. Bakır üzerine nikel kaplanmış yüzeye siyah krom ile renklendirme yapılarak elde edilen seçici yüzeyli absorber kullanımı ile sistemin doğal konveksiyon verimi %3.6, zorlanmış konveksiyon verimi %6 oranında artırıldı.

Hava ısıtıcıların verimini artırmak için yaygın olarak kullanılan bir diğer yöntem de hava akış kanalına dolgu malzemesi yerleştirerek ısı transfer alanını artırmaktır. Bu amaçla absorber altındaki hava akış kanalına değişik sargı sayılarında katlanmış alüminyum sinek teli absorberle temas edecek şekilde yerleştirildi. 6,10 ve 14 kat sayılarında dolgu kullanılması ile genel olarak sistemin doğal konveksiyon veriminde düşüş, zorlanmış konveksiyon veriminde ise artış görüldü. Havanın doğal konveksiyonla sistemden geçtiği durumda akış kanalına yerleştirilen dolgu malzemesi havanın hareketine ilave bir direnç oluşturduğu için sargı sayısına bağlı olarak sistem verimi %31.5-%36.2 oranında düşmektedir. Zorlanmış akış şartlarında ise dolgu malzemesi kullanımıyla absorber altından akan havaya ısının aktarıldığı yüzey alanı

arttığından sargı sayısına bağlı olarak verim %60-%80 değerlerine çıkmaktadır. Dolgulu ve dolgusuz durumda ısı transfer katsayıları hesaplandığında ise yaklaşık 10 kat artış olduğu görüldü. Hava akış kanalına dolgu malzemesi yerleştirildiği durumda seçici yüzeyli absorber kullanımında ise sistem verimi %85' e çıkarak, %68' e varan iyileşme elde edildi.

Konik yoğunlaştırıcı hava ısıtma sistemini verimini artırmak için ayrıca siyah boyalı absorber üzerine siyah boyalı alüminyum sinek teli sarılarak elde edilen absorber yüzey kullanıldı. Yapay olarak pürüzlendirilen absorber yüzeyinin doğal ve zorlanmış akış şartlarında sistemin verimini düşürdüğü görüldü. Pürüzlerden dolayı güneş ısınımasını daha fazla absorblayarak verimi artırması beklenen yüzeyin absorbladığı ısıyı, absorber altından geçen havaya etkili bir şekilde iletemediği gibi konveksiyon ve radyasyonla çevreye olan ısı kaybını da artırdığı görüldü.

Konik yoğunlaştırıcı hava ısıtma sistemine ait karakteristik özellikler olan F_R ve U_L değerleri incelendiğinde ise doğal akış şartlarında F_R ' nin 0.2, zorlanmış akış şartlarında 0.9 mertebesinde olduğu görüldü. Isı kayıp katsayısı U_L ise absorber boru ile cam arasındaki yüzeyin vakumlanmamış olması nedeniyle, genel olarak, özellikle zorlanmış akış şartlarında yüksek değerlerdedir, ancak dolgu malzemesi ve seçici yüzey kullanımlarıyla bu değer düşürülebilmektedir.

Konik yoğunlaştırıcı sistemden havanın dolaştırılması için, dolgusuz durumda 0.7 W, dolgulu durumda ise 1.5 W pompalama gücüne ihtiyaç duyulmaktadır.

Konik yoğunlaştırıcı güneş enerjili sistemden elde edilen hava kayısı kurutmada kullanıldı. Farklı hava debilerinde yürütülen kurutma işlemi ile kurutma süresi güneşte kurutmaya kıyasla iki gün kısaltılarak Türkiye ve bölge ekonomisinde önemli yere sahip olan kayısının kurutulmasında etkili ve verimli bir şekilde kullanılabileceği görüldü.

Güneş enerjili sistemde kurutulan önceden kükürt dioksit ile işleme sokulmuş kayısının yatışkın ve sürekli şartlarda kuruma kinetiğini araştırmak amacıyla laboratuvar

ortamında tek tane deneyleri yapıldı. Tek tane kayısı kurumasında hava sıcaklığından çok hava hızının önemli olduğu, kurumanın azalan kuruma hızı periyodunda gerçekleştiği, zamanla nem oranındaki değişimin en iyi $MR = a.exp(-kt)$ şeklinde üstel bir fonksiyonla ifade edilebildiği ve difüzyon katsayısının sıcaklık ve hava hızı ile artarak 2.86×10^{-7} – 4.99×10^{-7} m²/saat arasında değişen değerler aldığı görüldü.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi , konik yoğunlaştırıcı, hava ısıtma, kurutma, kayısı kurutma.



ABSTRACT

PhD. Thesis

**THE USE OF A SOLAR ENERGY SYSTEM WITH CONICAL
CONCENTRATOR IN DRYING**

İnci TÜRK TOĞRUL

Firat University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Chemical Engineering
2001, Sayfa: 264

Recently solar energy has become a research field on which intensive studies has been undertaken, since its superiority of not only a new and renewable energy source but also presenting none of environmentally polluting wastes and not requiring complicated technology. The heating of buildings, drying of industrial products and production of electrical energy are examples of solar energy applications.

Solar concentrators should be used in the high temperature applications. Although flat-plate collectors use much more solar radiation per collector aperture than concentrating collectors do, higher temperatures may result in concentrating collectors. Turkey has a great solar energy potential and presently, flat-plate collectors have been widely used in applications under 90°C temperatures. Today, many studies are being carried on developing solar energy application technologies. But, in the case of air heating, absent of systems which are capable of reaching high temperatures have been seen a lacking potential research area.

In order to attain high temperatures, in this work, an air heater with a conical concentrator has been designed, constructed and its performance has been tested with respect to main system parameters. A cylindrical absorber was mounted in the centre of reflector which is designed differently from the systems being used up to now and has a conical shape. By acquiring the conical reflector to track the sun from sunrise to sunset, the solar radiation has been supplied to be reflected vertically on the absorber in all the day times.

The performance of this newly designed air heater with conical concentrator has been examined at natural and forced flow conditions. The best inclination angle for the collector placed at three different angles have been determined. Among the settings of 28.4° , 33.4° and 38.4° angles, the highest temperature and efficiency values were obtained at 28.4° inclination angle. Although the system reached very high temperatures ($\sim 155^\circ\text{C}$) when it was run at natural convection conditions, its efficiency was limited about 11% due to lower air flow rates. In the forced-flow tests carried at five different air flow rates between 30- 70 kg/hr, however, the highest temperatures were obtained at 30 kg/hr, the lowest flow rate applied, whereas the highest efficiencies (i.e. 50 %) were obtained at 70 kg/ hr, the highest flow rate.

Selective absorber was used to increase the efficiency of the air heater with conical concentrator. With the use of selective-surface absorber which was obtained by colouring nickel-plated copper surface with black chromium paint, the natural and forced convection efficiencies of the system were increased by 3.6 % and 6%, respectively.

Another method used widely to enhance the efficiency of air heaters is to increase heat transfer area by placing packing materials into the air flow channel. For this purpose, aluminium wire mesh folded in various numbers were placed in the air channel under the absorber so as to contact with its inner surface. It was seen that natural convection efficiency decreased, but forced convection efficiency of the system increased usually when wire mesh packing of 6, 10 and 14 folding numbers were used. In the case of air passing through the system by natural convection the efficiencies of

the system decreased by 31.5-36.2 % depending on the folding numbers because, packing placed into the flow channel has presented additional resistance to the motion of air through the channel. The efficiency in forced convection, however, increased to 60-80 % depending on folding numbers, as the heat transfer surface to the air flowing inside the absorber increased by use of packing. The heat transfer coefficient increased up to 10 times by using folded packing. The efficiency of system increased up to 85%, which represented improvement by 68%, when selective absorber and packing material were used together.

Absorber surface obtained by covering the black-painted absorber with an aluminium wire mesh coated with black paint was also used to increase the efficiency of air heater with conical concentrator. It was observed that absorber surface so roughened artificially, caused the efficiency of the system to decrease in both natural and forced convection flow conditions. Contrary to the expectations that the roughened surface would absorb much more solar energy and increased the efficiency, it was seen that the heat absorbed by this surface could not effectively transferred to the air passing under and resulted more heat loss by convection and radiation.

When F_R and U_L values which were characteristics of solar air heating system with conical concentrator were examined, F_R was found to be 0.2 and 0.9 in natural and forced convection flow conditions respectively. Since the space between absorber pipe and glass was not under vacuum, the values of U_L were usually very high especially at forced convection conditions. These values, however, could be decreased by using packing material and selective surface.

Pumping powers of 0.7 W with packing and 1.5 W without packing for air circulation in the system with conical concentrator were required.

The air heated by conical concentrator was used in apricot drying. With the drying operation conducted at a variety of air flow rates, it is seen that the system could be used effectively and efficiently in drying of apricots which play an important role in

the economy of Turkey and the region, by shortening 2 days the drying time of apricots compared with open drying under the sun.

Single particle experiments in the laboratory conditions were also undertaken to search steady and continuous drying kinetics of apricot samples being dried in solar energy system and treated previously with SO₂. It was observed that air flow rate was much more important than air temperature, drying occurred in decreasing drying rates period, the change in moisture content could be expressed by an exponential relation in the form of $M_R = a \cdot \exp^{-kt}$ and increasing with temperature and air flow rate, diffusion coefficients have taken values varied between 2.86×10^{-7} - 4.99×10^{-7} m²/hr.

Keywords: Solar energy, conical concentrator, air heating, drying , apricot drying.



TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım boyunca büyük yardımlarını gördüğüm, bana her türlü konuda yol gösteren ve destek sağlayan tez hocam sayın Prof. Dr. Dursun PEHLİVAN' a en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca yardımlarını gördüğüm sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Cevdet AKOSMAN' a teşekkür ederim.

Deney setinin kurulması sırasında büyük yardımlarını gördüğüm Arş.Gör. Ertan EVİN'e , öğretim görevlisi Niyazi ÖZDEMİR'e , sistemin izleyici mekanizmasını hazırlayan Uzman Erkan İPEKÇİOĞLU' na, konik yoğunlaştırıcıli sistemin imalatı sırasında büyük özveriyle çalışan TunçTeknik A.Ş. çalışanlarına, seçici yüzey temininde yardımcı olan İSTEK ısı kollektörleri A.Ş' ye teşekkürü bir borç bilirim.

Doktora tezimin her aşamasında elinden gelen maddi ve manevi hiçbir desteği esirgemeyen eşim Arş.Gör. Hasan TOĞRUL'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın yürütülmesinde maddi destek sağlayan Fırat Üniversitesi Araştırma Fonu' na teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET.....	III
ABSTRACT.....	VII
TEŞEKKÜR.....	X
İÇİNDEKİLER.....	XII
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	XVI
TABLolar LİSTESİ.....	XXV
SİMGELER LİSTESİ.....	XXXI
1. GİRİŞ.....	1
2. GÜNEŞ.....	7
2.1. Güneş Sabiti.....	7
2.2. Güneş Işınması İle İlgili Temel Tanımlar.....	8
2.3. Direkt Işımanın Yönü.....	10
2.4. Güneş Işınlmasının Çeşitli Toplayıcı Yüzeylerine Geliş Açıları.....	12
2.5. Yatay Bir Yüzeye Gelen Atmosfer Dışı Işıma.....	13
2.6. Toplam Güneş Işımasının Bileşenleri.....	14
2.6.1. Saatlik Işımanın Direkt ve Diffüz Bileşenleri.....	15
2.6.2. Günlük Işımanın Direkt ve Diffüz Bileşenleri.....	15
2.6.3. Aylık Işımanın Direkt ve Diffüz Bileşenleri.....	17
3. GÜNEŞ TOPLAYICILARI.....	19
3.1. Güneş Toplayıcılarının Sınıflandırılması.....	20
3.1.1. Sabit Toplayıcılar.....	26
3.1.2. Çizgi Odaklamalı Lineer Yoğunlaştırıcılar.....	26
3.1.3. Nokta Odaklamalı Küresel Yoğunlaştırıcılar.....	26
4. YOĞUNLAŞTIRICILI TOPLAYICILAR.....	27
4.1. Yoğunlaştırma Oranı.....	28
4.2. Yoğunlaştırıcı Toplayıcıların Optik Performansı.....	31
4.3. Güneş Hareketini İzleme Yöntemleri.....	34
4.3.1. İki Eksenli İzleme.....	35
4.3.2. Tek Eksenli İzleme.....	35

4.3.2.1.Doğu-Batı Yatay Yerleştirme.....	36
4.3.2.2.Kuzey- Güney Yatay Yerleştirme.....	37
4.3.2.3.Kutupsal (Polar) Yerleştirme.....	38
4.4. Yoğunlaştırıcı Toplayıcıların Temel Bileşenleri.....	39
4.4.1. Yansıtıcı Yüzey (Yoğunlaştırıcı).....	39
4.4.2. Geçirgen Örtü.....	40
4.4.3. Absorber.....	41
4.4.3.1. Siyah Mat Boya.....	43
4.4.3.2. Seçici Yüzey Kaplamaları.....	44
4.5. Yoğunlaştırıcı Toplayıcıların Termal Performansı.....	47
4.5.1. Anlık Verim.....	47
4.5.2. Toplayıcı Verim Faktörü.....	49
4.5.3. Toplayıcı Isı Kazanç Faktörü.....	50
4.5.4. Toplayıcı Akış Faktörü.....	52
4.5.5. Toplayıcı Isı Kayıp Katsayısı.....	52
4.5.6. İçten Akış İçin Isı Transfer Eşitlikleri.....	56
4.5.7. Kritik Radyasyon Seviyesi.....	63
4.5.8.Günlük Ortalama Toplayıcı Verimi.....	63
5. GÜNEŞ ENERJİLİ HAVA ISITICILAR.....	65
5.1. Dolgu Malzemesi Kullanılması.....	65
5.2. Kanatçık Kullanımı.....	67
5.3. Hava Geçiş Sayısının Artırılması.....	68
5.4. Absorbere Değişik Şekiller Verilmesi.....	69
5.5. Hava Akış Kanalının Ölçülerinin Değiştirilmesi.....	69
5.6. Seçici Yüzeyli Absorber Kullanımı.....	70
5.7. Güneş Enerjili Hava Isıtıcıların Tasarımı.....	70
6. KURUTMA.....	72
6.1. Kurutmanın Bilimsel Temelleri.....	72
6.2. Sorpsiyon İzotermi ve Su Aktivitesi.....	73
6.3. Gaz-Sıvı Dengesi	76
6.4. Kuruma Hızı.....	78
6.5. Kuruma Hızına Etki Eden Faktörler.....	83

6.6. Kuruma Teorileri	86
6.6.1. Difüzyon Teorisi	86
6.6.2. Büzülme ve Kabuklaşma	87
6.6.3. Kapiler Teori	88
6.7. Kurutma Modelleri.....	90
6.7.1. Üstel Fonksiyon Modeli.....	90
6.7.2. Difüzyon Modeli.....	90
6.7.3. Fick Difüzyon Modeli.....	91
6.7.4. Page Modelleri.....	91
6.7.5. Hukill Modeli.....	92
6.7.6. Zaman ve Bala Modeli.....	92
6.7.7. Küresel Bir Taneciğin Kuruma Modeli.....	93
7.GÜNEŞ ENERJİLİ KURUTUCULAR.....	95
7.1. Güneş Enerjili Kurutucu Tipleri.....	96
7.1.1. Kabin Kurutucu.....	96
7.1.2. İç Bükey Kurutucu.....	97
7.1.3. Polietilen Isıtıcı ve Kurutucu.....	98
7.1.4. Raf Tipi Güneşli Kurutucu.....	99
7.1.5. Çatı Tipi Güneşli Kurutucu.....	101
7.1.6. Aspiratörlü Güneşli Kurutucu.....	101
7.1.7. Güneşli Tahıl Kurutucu.....	102
7.1.8. Akışkan Yatak Kurutucu.....	103
7.1.9. Güneşli Tünel Kurutucu.....	104
7.1.10. Silindirik Reflektörlü Kurutucu.....	106
7.1.11. Güneşli Ambar Tip Kurutucu.....	107
7.2.Güneş Enerjili Kurutucularda Verim.....	109
8. KAYISI: ÜRETİMİ, İHRACATI VE ÖNEMİ.....	111
9. MATERYAL VE METOT.....	116
9.1. Deney Setinin Tanıtımı, Özellikleri ve Kısımları.....	116
9.2. Konik Yoğunlaştırıcı Hava Isıtıcı.....	116
9.2.1. Hareket Mekanizması.....	118
9.3. Kurutucu.....	121

9.4. Ölçümler ve Kullanılan Cihazlar.....	121
9.4.1. Kipp-Zonen Piranometresi	124
9.5. Deneyler.....	126
10. DENEY SONUÇLARI.....	128
10.1. Konik Yoğunlaştırıcı Hava Isıtıcı Deney Sonuçları.....	128
10.1.1. Doğal Konveksiyon.....	128
10.1.2. Zorlanmış Konveksiyon.....	133
10.1.3. Farklı Absorber Yüzeyler ve Dolgu Malzemesi Kullanımı.....	140
10.1.4. Isı Kazanç (F_R), Isı kayıp (U_L) Katsayıları ve Verimdeki İyileşme.....	156
10.1.5. Günlük Verimler.....	169
10.1.5.1. Doğal Konveksiyonda Saatlik ve Günlük Verimler.....	170
10.1.5.2. Zorlanmış Konveksiyonda Saatlik ve Günlük Verimler....	175
10.1.6. Sisteme Ait Diğer Parametreler: Basınç Düşüşü, Sürtünme, Isı transfer Katsayısı, Colburn Faktörü.....	185
10.2. Kurutma Deney Sonuçları.....	193
11. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	209
12. KAYNAKLAR.....	214
13. EKLER.....	230

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Dünya-Güneş ilişkisi.....	8
Şekil 2.2. Güneş açıları.....	11
Şekil 2.3. Orgill ve Hollands(1977) tarafından geliştirilen saatlik berraklık indeksinin bir fonksiyonu olarak I_d/I oranı.....	16
Şekil 2.4. Erbs vd. (1982) tarafın geliştirilen günlük diffüz kesir H_d/H ile K_T arasındaki ilişki.....	16
Şekil 2.5. Erbs vd. (1982) tarafından geliştirilen günlük $\bar{K}_T$ ve W_s 'ye karşı $\bar{H}_d / \bar{H}$ değişimi.....	18
Şekil 3.1. Güneşe bırakılan bir kaptaki ısı transferi.....	19
Şekil 3.2. Düzlem yüzeyli güneş toplayıcısı.....	22
Şekil 3.3. Vakumlu tüp şeklinde toplayıcılar (a-Ortak merkezli silindir, b-Absorberi aralıklı vakumlu tüp, c-Yoğunlaştırıcı tüp, d-Düzlem yüzeyli).....	22
Şekil 3.4. Farklı absorberli bileşik parabolik toplayıcılar.....	23
Şekil 3.5. V tipi çukur yoğunlaştırıcılar.....	23
Şekil 3.6. Parabolik yoğunlaştırıcı toplayıcı (a-Düzlem absorberli, b-Silindirik absorberli).....	24
Şekil 3.7. Konik yoğunlaştırıcı toplayıcılar (a-Absorberi optik eksenine ile çakışık koni, b-Sera etkili kesik koni)	24
Şekil 3.8. Yansıtıcısı Sabit Absorberi Hareketli Çizgi Odaklayıcı Toplayıcı (a-Genel formu, b- Normal geliş, c- 30° lik geliş açısı için toplayıcının durumu).....	24
Şekil 3.9. Paraboloid toplayıcı (a- Noktasal absorberli, b- Dairesel disk absorberli, c- Küresel absorberli).....	25
Şekil 3.10. Nokta odaklamalı frensel reflektör.....	25
Şekil 3.11. Merkezi alıcılı heliostat.....	25
Şekil 4.1. R uzaklığında güneşi gören yoğunlaştırıcının şematik gösterimi.....	29
Şekil 4.2. Alıcı sistemin sıcaklığı ile yoğunlaştırma oranı arasındaki ilişki.....	31
Şekil 4.3. Lineer yoğunlaştırmalı(görüntülü) bir toplayıcının odak	

düzlemindeki akı yoğunluğu (Alıcı yüzey A ve B noktaları arasındadır).....	33
Şekil 4.4. Yansıtıcının odak noktasına yerleştirilmiş borular için γ faktörü.....	33
Şekil 4.5. Doğu-batı yerleştirilmiş kuzey-güney ekseninde güneşi takip eden bir toplayıcının geometrisi.....	36
Şekil 4.6. Kuzey-güney yatay yerleştirilmiş doğu-batı ekseninde dönen bir toplayıcının geometrisi.....	37
Şekil 4.7. Silindirik absorberli bir toplayıcının polar yerleştirilmesinin şematik diyagramı.....	38
Şekil 4.8. Işımanın normal geliş açısında 6 mm kalınlığında farklı oranlarda demiroksit içeren camların geçirgenliğinin dalga boyuna göre değişimi	42
Şekil 4.9. $mC_p/ArU_L F'$ 'nün fonksiyonu olarak toplayıcı akış faktörü.....	52
Şekil 4.10. Silindirik alıcı yüzeyli, vakumsuz, yoğunlaştırıcı toplayıcının ısı kayıp katsayısının hesabı için ısı dirençler.....	53
Şekil 4.11. F_R ve U_L 'nin grafiksel belirlenmesi.....	56
Şekil 4.12. Çeşitli Prandtl sayıları için kısa borularda ortalama Nu sayısı (Laminer akışta, sabit duvar sıcaklığında silindirik borular için).....	59
Şekil 5.1. Değişik hava ısıtıcı tipleri.....	66
Şekil 5.2. Dolgu malzemeli toplayıcı.....	67
Şekil 5.3. Hava akış kanalına kanatçık yerleştirilmesi (a-U kanatlar, b-kaydırılmış kanatlar, c-doğrusal kanatlar).....	68
Şekil 5.4. Hava geçiş sayısının artırıldığı toplayıcı tipleri.....	68
Şekil 5.5. Çeşitli absorber şekilleri.....	69
Şekil 6.1. Nem sorpsiyon izotermi.....	75
Şekil 6.2. Adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermi.....	75
Şekil 6.3. 25 °C da çeşitli katılara ait denge nem eğrileri.....	77
Şekil 6.4. Gözeneksiz yassı katılarda her iki yüzeyden kurutulan maddede nem dağılımı difüzyonla nem akışı.....	82
Şekil 6.5. Gözenekli katılara ait tipik bir nem dağılım diyagramı.....	89
Şekil 6.6. Gözenekli katılara ait tipik bir kuruma eğrisi.....	89
Şekil 7.1. Bir kurutma sisteminin blok diyagramı.....	96

Şekil 7.2. Kabin tipi kurutucu.....	97
Şekil 7.3. İç bükey (tekne) kurutucu.....	98
Şekil 7.4. Polietilen ısıtıcı ve kurutucu (a-Kurutma dolabı, b-taze hava girişi, c- fan, d-polietilen tüp, e-hava çıkışı).....	99
Şekil 7.5. Rafli tip kurutucunun ısıtıcıya bağlanış biçimleri	100
Şekil 7.6. Çatı tipi güneşli kurutucu.....	101
Şekil 7.7. Aspiratörlü güneşli kurutucu.....	102
Şekil 7.8. Güneşli tahıl kurutucu.....	103
Şekil 7.9. Akışkan yatak kurutucu.....	105
Şekil 7.10. Distribütör tipleri.....	105
Şekil 7.11. Güneşli tünel kurutucu (1) fan,(2) hava girişi, (3) güneş hücresi modülü, (4)güneş enerjisi toplayıcısı, (5) metal levha, (6) toplayıcı çıkışı, (7) kurutma tüneli, (8)kurutma tünelinin çıkışı, (9) oluklu demir, (10) taşıyıcı blok.....	106
Şekil 7.12. Silindirik Reflektörlü Kurutucu.....	107
Şekil 7.13. Güneşli ambar tip kurutucular.....	108
Şekil 8.1. Kayısı.....	112
Şekil 8.2. Yıllara göre kuru kayısı üretimi ve ihracatı.....	113
Şekil 8.3. Güneşte kayısı kurutma.....	114
Şekil 8.4. Kayısının tasnif edilmesi.....	114
Şekil 8.5. Kayısının satışa sunumu.....	115
Şekil 9.1. Güneş enerjili hava ısıtıcı (1, fotoseller; 2, absorber; 3, konik yansıtıcı; 4,hareket sistemi; 5, sıcaklık ölçüm birimi; 6,eğim ayarlayıcı traktör kolları; 7, ana taşıyıcı boru; 8, hareket kolları; 9, güneş enerjili hava ısıtma sistemini taşıyan alt tabla; 10, alt tablanın dönmesine yardımcı olan tekerlekler).....	118
Şekil 9.2. Güneş izleme sistemi.....	120
Şekil 9.3. Güneş enerjili hava ısıtıcı ve kurutucu.....	122
Şekil 9.4. Kipp-Zonen piranometresi.....	126
Şekil 9.5. Dolgu malzemesinin katlanış ve absorbere yerleştiriliş şekilleri.....	127
Şekil 10.1. Günün saatlerine göre çevre sıcaklığı ve anlık ısıma.....	129
Şekil 10.2. Doğal akış durumunda farklı eğim açıları için hava çıkış sıcaklığının	

günün saatlerine göre değişimi.....	130
Şekil 10.3. Doğal akışı durumunda farklı eğim açıları için direkt ısıma ile akışkan sıcaklığındaki yükselme.....	131
Şekil 10.4. Doğal akışı durumunda farklı eğim açıları için işletme noktası parametresi ile anlık verimin değişimi.....	132
Şekil10.5. Zorlanmış akış şartlarında için absorber borunun çeşitli noktalarında günlük ortalama hava sıcaklığının değişimi.....	134
Şekil 10.6. 30 kg/saat debi ile çalıştırılan hava ısıtıcıda farklı eğim açıları için absorber boru uzunluğuyla hava sıcaklığının değişimi	135
Şekil 10.7. Farklı hava debileri ve eğim açıları için direkt ısıma ile sıcaklık farkının değişimi.....	136
Şekil 10.8. 70 kg/saat hava debisi için farklı eğim açılarında direkt ısıma ile sıcaklık farkının değişimi.....	137
Şekil10.9. Sıcaklık farkının kütleli debi ile değişimi.....	137
Şekil10.10.Çeşitli kütleli debi ve eğim açılarında işletme noktası parametresi $((T_i - T_a)/I)$ ile anlık verimin değişimi.....	138
Şekil10.11.70 kg/saat hava debisi için çeşitli eğim açılarında işletme noktası parametresi ile anlık verimin değişimi.....	139
Şekil10.12. Anlık verimin kütleli debi ile değişimi.....	139
Şekil10.13. $\Delta T/I$ oranının anlık verimle değişimi.....	141
Şekil10.14. Kütleli debi ile $\Delta T/I$ oranının değişimi.....	142
Şekil10.15.Siyah boyalı ve seçici yüzeyli absorber yüzeyler için doğal konveksiyonda akışkan giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki farkın (ΔT) direkt ısıma ile değişimi.....	143
Şekil10.16.Siyah boyalı ve seçici yüzeyli absorber yüzeyler için doğal konveksiyonda işletme noktası parametresi ile anlık verimin değişimi.....	143
Şekil10.17. 70 kg/saat debide siyah boyalı ve seçici yüzeyli absorber yüzeyler için direkt ısıma- ΔT ilişkisi.....	144
Şekil10.18.70 kg/saat debide siyah boyalı ve seçici yüzeyli absorber yüzeyler için işletme noktası parametresi ile anlık verimin değişimi.....	144

Şekil10.19. Doğal konveksiyonla akışta siyah boyalı absorberli hava ısıtıcıda dolgu malzemesi kullanımının sıcaklık farkına etkisi.....	146
Şekil10.20. Doğal konveksiyonla akışta seçici yüzeyli absorber kullanılan hava ısıtıcıda dolgu malzemesi kullanımının sıcaklık farkına etkisi.....	146
Şekil10.21. Doğal akış şartlarında siyah boyalı absorber için işletme noktası parametresi ile anlık verimin değişimi.....	147
Şekil10.22. Doğal akış şartlarında seçici yüzeyli absorber için işletme noktası parametresi ile anlık verimin değişimi.....	148
Şekil10.23. Doğal akışta 14 sargılık dolgu malzemesinde farklı absorber yüzey kullanımının sıcaklık farkına etkisi.....	149
Şekil10.24. Doğal akışta 14 sargılık dolgu malzemesinde farklı absorber yüzey kullanımının anlık verime etkisi.....	149
Şekil10.25. 14 sargılık dolgunun kullanıldığı durumda farklı eğim açıları ve kütlesel debiler için direkt ışımayla sıcaklık farkının değişimi.....	151
Şekil10.26. 14 sargılık dolgunun kullanıldığı durumda farklı eğim açıları ve kütlesel debiler için anlık verimin değişimi.....	151
Şekil10.27. Siyah boyalı absorberde farklı sargı sayısında dolgu malzemesi kullanımının sıcaklık farkına etkisi	152
Şekil10.28. Seçici yüzeyli absorberde farklı sargı sayısında dolgu malzemesi kullanımının sıcaklık farkına etkisi.....	153
Şekil10.29. Siyah boyalı absorberde farklı sargı sayısında dolgu malzemesi kullanımının anlık verime etkisi.....	154
Şekil10.30. Seçici yüzeyli absorberde farklı sargı sayısında dolgu malzemesi kullanımının verime etkisi.....	154
Şekil10.31. Zorlanmış akış şartlarında iki ayrı kütlesel debi için farklı absorber yüzey kullanımının sıcaklık farkına etkisi.....	155
Şekil10.32. Zorlanmış akış şartlarında iki ayrı kütlesel debi için farklı absorber yüzey kullanımının sıcaklık farkına etkisi.....	157
Şekil10.33. Doğal akış şartlarında ısı kazanç ve ısı kayıp katsayılarının eğim açısıyla değişimi.....	158
Şekil10.34. Zorlanmış akış şartlarında farklı kütlesel debiler için ısı kazanç faktörünün eğim açısıyla değişimi.....	159

Şekil10.35. Zorlanmış akış şartlarında farklı kütleli debiler için ısı kayıp faktörünün eğim açısıyla değişimi.....	160
Şekil10.36. Farklı eğim açıları için ısı kazanç faktörünün kütleli debi ile değişimi.....	160
Şekil10.37. Farklı eğim açıları için ısı kayıp faktörünün kütleli debi ile değişimi.....	161
Şekil10.38. Doğal akış şartlarında siyah boyalı ve seçici yüzeyli absorberlerde kullanılan dolgu malzemesinin işletme noktası parametresi ile verimdeki iyileşme değişimine etkisi.....	162
Şekil10.39. Doğal akış şartlarında absorberdeki sargı sayısının verimdeki iyileşmeye etkisi.....	163
Şekil10.40. Doğal akış şartlarında absorberdeki sargı sayısı ile ısı kayıp katsayısının değişimi.....	163
Şekil10.41. Zorlanmış akış şartlarında işletme noktası parametresi ile verimdeki iyileşmenin değişimi.....	164
Şekil10.42. Absorberdeki sargı sayısı ile anlık verimin ve verimdeki % iyileşmenin değişimi.....	165
Şekil10.43. Zorlanmış akış şartlarında dolgu malzemesindeki sargı sayısının ısı kayıp katsayısına etkisi.....	166
Şekil10.44. Doğal akış şartlarında üç ayrı absorber yüzey kullanımının verimdeki iyileşme ve ısı kayıp katsayısına etkisi.....	167
Şekil10.45. Zorlanmış akışta üç ayrı absorber yüzeyin 14 sargılı dolgu malzemesiyle birlikte kullanıldığı durumda işletme noktası parametresi ile verimdeki iyileşmenin değişimi.....	168
Şekil10.46. Zorlanmış akışta farklı absorber yüzey kullanımının verimdeki iyileşme ve ısı kayıp katsayısına etkisi.....	168
Şekil10.47. Doğal akış sisteminde farklı eğim açıları ile sistem veriminin günün saatlerine göre değişimi.....	170
Şekil10.48. Doğal akışta hava ısıtma sisteminin günlük veriminin toplayıcı eğim açısıyla değişimi.....	171
Şekil10.49. Doğal akış şartlarında siyah boyalı ve seçici yüzeyli absorber kullanıldığı durumda sistem veriminin günün saatleri ile değişimi.....	171

Şekil10.50. Doğal akış şartlarında , siyah boyalı absorber de farklı sargı sayıları için verimin günün saatlerine göre değişimi.....	172
Şekil10.51. Doğal akış şartlarında , seçici yüzeyli absorber de farklı sargı sayıları için verimin günün saatlerine göre değişimi.....	173
Şekil10.52. Doğal konveksiyonda siyah boyalı ve seçici yüzeyli absorber için sargı sayısı ile günlük verimin değişimi.....	173
Şekil10.53. Doğal konveksiyonda 14 sargılık dolgunun kullanıldığı durumda farklı absorber yüzeylerin verime etkisinin günün saatlerine göre değişimi.....	174
Şekil10.54. Doğal konveksiyonda 14 sargılık dolgunun kullanıldığı durumda farklı absorber yüzey kullanımının günlük verime etkisi.....	175
Şekil10.55. Zorlanmış konveksiyonda iki ayrı eğim açısı için farklı kütleli debilerde verimin günün saatlerine göre değişimi.....	176
Şekil10.56. Farklı eğim açıları için kütleli debi ile günlük verimin değişimi.....	177
Şekil10.57. Farklı eğim açılarında günün saatlerine göre verimin değişimi.....	178
Şekil10.58. Zorlanmış konveksiyonda 70 kg/saat debide seçici yüzeyli ve siyah boyalı absorberler için günün saatleriyle verimin değişimi.....	179
Şekil10.59. Alüminyum sinek telinin dolgu olarak kullanıldığı durumda iki ayrı eğim açısı için günün saatlerine göre verimin değişimi.....	179
Şekil10.60. Alüminyum sinek telinin dolgu olarak kullanıldığı durumda iki ayrı kütleli debi için günün saatlerine göre verimin değişimi.....	180
Şekil10.61. Zorlanmış konveksiyonda siyah boyalı absorber de farklı sargı sayılarında dolgu malzemesi kullanıldığı durumda günün saatlerine göre verimin değişimi.....	181
Şekil10.62. Zorlanmış konveksiyonda siyah boyalı absorber de farklı sargı sayılarında dolgu malzemesi kullanıldığı durumda günün saatlerine göre verimin değişimi.....	181
Şekil10.63. Zorlanmış konveksiyonda siyah boyalı ve seçici yüzeyli absorber için sargı sayısı ile günlük verimin değişimi.....	182
Şekil10.64. Zorlanmış konveksiyonda seçici yüzeyli ve siyah boyalı absorber için dolgu malzemesindeki sargı sayısındaki değişimle günlük verimdeki % artış.....	183

Şekil10.65.Zorlanmış konveksiyonda 14 sargılı dolgu malzemesi kullanımında farklı absorber yüzeylerin verime etkisi.....	184
Şekil10.66.Zorlanmış konveksiyonda iki ayrı kütleli debide kullanılan farklı absorber yüzeylerin günlük verimde meydana getirdikleri değişim.....	184
Şekil10.67. Farklı absorber tipleri kullanımının günlük verimde meydana getirdiği artış.....	185
Şekil10.68. Absorber boru boyunca basınç düşüşü.....	187
Şekil10.69. Absorber boru ve tüm sistem için basınç düşüşü ve pompalama gücünün kütleli debi ile değişimi.....	187
Şekil10.70.Zorlanmış konveksiyonda dolgunsuz absorberde Re sayısı ile sürtünme faktörünün değişimi.....	188
Şekil10.71. Zorlanmış konveksiyonda dolgunsuz durumda Re sayısı ile Colburn faktörü ve ısı transfer katsayısının değişimi.....	189
Şekil10.72. Dolgunsuz durumda sürtünme faktörü ile Colburn faktörünün Değişimi.....	189
Şekil10.73. Hava akış kanalına dolgu malzemesi yerleştirildiği durumda dolgu malzemesindeki sargı sayısı ile absorber ve tüm sistem için basınç düşüşü ve pompalama gücünün değişimi.....	190
Şekil10.74. Absorbere yerleştirilen dolgu malzemesinin sargı sayısı ile ısı transfer alanı gözeneklilik ve sürtünme faktörünün değişimi.....	191
Şekil10.75. Absorbere yerleştirilen dolgu malzemesinin sargı sayısı ile hacimsel ısı transfer katsayısının değişimi.....	192
Şekil10.76. Dolgu malzemesindeki sargı sayısı ile Colburn faktörü ve ısı transfer katsayısının değişimi.....	192
Şekil10.77. 70 kg/saat debide hava geçirildiği durumda güneş enerjili kurutma sistemine ait sıcaklıkların saatlerle değişimi.....	194
Şekil10.78. 50 kg/saat debide hava geçirildiği durumda güneş enerjili kurutma sistemine ait sıcaklıkların saatlerle değişimi.....	195
Şekil10.79. Güneş enerjili kurutmanın gerçekleştirildiği günleri temsil eden bir çalışma periyodu için anlık ısıma ve rüzgâr hızının günün saatlerine göre değişimi.....	196

Şekil10.80. Güneş enerjili kurutmada zamanla nem içeriğindeki değişme.....	197
Şekil10.81. Güneş enerjili kurutmada zamanla nem oranının değişimi.....	198
Şekil10.82. Güneş enerjili kurutucu veriminin günün saatlerine göre değişimi.....	199
Şekil10.83. Sabit hava hızında nem içeriğinin zamanla değişimi.....	201
Şekil10.84. Sabit sıcaklıkta zamanla nem içeriğindeki değişim.....	201
Şekil10.85. Sabit hava hızında kuruma hızının zamanla değişimi.....	202
Şekil10.86. Sabit hava sıcaklığında zamanla kuruma hızının değişimi.....	203
Şekil10.87. Sabit hava hızında nem içeriğiyle kuruma hızının değişimi.....	203
Şekil10.88. Sabit sıcaklıkta nem içeriğiyle kuruma hızının değişimi.....	204
Şekil10.89. 0.5 m/s hava hızında farklı kurutucu ortam sıcaklıkları için tane içi sıcaklığın zamanla değişimi.....	205
Şekil10.90. Sabit sıcaklıkta farklı hava hızları için tane içi sıcaklığın zamanla değişimi.....	206
Şekil10.91. Sabit sıcaklıkta hava hızıyla difüzyon katsayısı ve kuruma hızının değişimi.....	207
Şekil10.92. Sabit hava hızında hava sıcaklığıyla difüzyon katsayısı ve kuruma hızının değişimi.....	208

TABLolar LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Bölgelere Göre Yıllık Ortalama Güneş Işınması ve Yıllık Güneşlenme Süreleri	2
Tablo 2.1. Çeşitli İzleyici Yüzeyler İçin Güneş Işınlarnın Geliş Açısı (Cosθ).....	12
Tablo 4.1. Çeşitli Yansıtıcı Yüzeyler İçin Yansıtma Katsayıları.....	40
Tablo 4.2. Çeşitli Saydam Örtü Malzemelerinin Özellikleri	42
Tablo 4.3. Dünyada Seçici Yüzeyle İlgili Bazı Uygulamalar.....	46
Tablo 4.4. Sabit Isı Hızına Sahip Dairesel Borular İçin Yerel Nu Hesaplanmasında (4.42) Eşitliğinin Sabitleri	58
Tablo 4.5. Sabit Duvar Sıcaklığındaki Silindirik Borular İçin Ortalama Nu Hesaplanmasında (4.42) Eşitliğinin Sabitleri	58
Tablo 4.6. Bir Tanesi İzole Edilmiş Diğeri Sabit Isı Akısında Sonsuz Düzlem Plakalarda Yerel Nu Hesaplanması İçin (4.42) Eşitliğinin Sabitleri....	59
Tablo 8.1. 100 Gram Kayısının Enerji ve Besin Değerleri	111
Tablo 9.1. Konik Yoğunlaştırıcı Hava Isıtma Sisteminin Karakteristik Özellikleri.....	119
Tablo 10.1. Zorlanmış Akış Şartlarında Seçici Yüzeyli ve Siyah Boyalı Absorberler İçin Çeşitli Sargı Sayılarında Dolgu Malzemeleri İçin Anlık Verimler ve Verimdeki İyileşme.....	166
Tablo 10.2. Farklı Eğim Açılarında Kütlesel Debi İle Günlük Verim Arasındaki Regresyon Eşitlikleri.....	177
Tablo 10.3. Zorlanmış Akış Şartlarında Dolgu Malzemesi ve Farklı Absorber Yüzey Kullanımının Sistemin Günlük Veriminde Meydana Getirdiği % İyileşme.....	182
Tablo 10.4. Zorlanmış Konveksiyonda Dolgusuz Durum İçin Absorberdeki Basınç Düşüşü	185
Tablo 10.5. Şekil 10.70 10.71 ve 10.72' de Çizilen Eğrilerin Regresyon Eşitliklerinin Denklemleri.....	189

Tablo 10.6. Dolgulu Durumda Sistemin Akış Özellikleri.....	191
Tablo 10.7.Zamanla Nem İçeriğindeki Değişimi Veren Eşitlikler ve Korelasyon Katsayıları.....	202
Tablo 10.8.Nem İçeriği İle Kuruma Hızındaki Değişimi Veren Eşitlikler ve Korelasyon Katsayıları.....	204
Tablo 10.9. Zamanla Nem Oranındaki Değişimi Veren Eşitlikler ve Korelasyon Katsayıları.....	206
Tablo10.10. Farklı Hava Hızı ve Sıcaklıklar İçin Difüzyon Katsayısındaki Değişim.....	208
Tablo E1.1. $\phi=28.4$ eğim açısında doğal konveksiyonda giriş, çıkış, çevre sıcaklıkları ve anlık direkt ısıma (W/m^2).....	230
Tablo E1.2. $\phi=33.4$ eğim açısında doğal konveksiyonda giriş, çıkış, çevre sıcaklıkları ve anlık direkt ısıma (W/m^2).....	231
Tablo E1.3. $\phi=38.4$ eğim açısında doğal konveksiyonda giriş, çıkış, çevre sıcaklıkları ve anlık direkt ısıma (W/m^2).....	232
Tablo E1.4. $\phi=28.4$ eğim açısında seçici yüzeyli absorber için doğal konveksiyonda giriş, çıkış, çevre sıcaklıkları ve anlık direkt ısıma (W/m^2).....	233
Tablo E1.5. $\phi=28.4$ eğim açısında 14 sargı Al teli dolgu kullanıldığı durum için doğal konveksiyonda giriş, çıkış, çevre sıcaklıkları ve anlık direkt ısıma (W/m^2).....	234
Tablo E1.6. $\phi=28.4$ eğim açısında 10 sargı Al teli dolgu kullanıldığı durum için doğal konveksiyonda giriş, çıkış, çevre sıcaklıkları ve anlık direkt ısıma (W/m^2).....	235
Tablo E1.7. $\phi=28.4$ eğim açısında 6 sargı Al teli dolgu kullanıldığı durum için doğal konveksiyonda giriş, çıkış, çevre sıcaklıkları ve anlık direkt ısıma (W/m^2).....	236
Tablo E1.8. $\phi=28.4$ eğim açısında 14 sargı Al teli dolgu ve seçici yüzeyli absorber kullanıldığı durum için doğal konveksiyonda giriş, çıkış, çevre sıcaklıkları ve anlık direkt ısıma (W/m^2).....	237
Tablo E1.9. $\phi=28.4$ eğim açısında 10 sargı Al teli dolgu ve seçici yüzeyli absorber kullanıldığı durum için doğal konveksiyonda giriş, çıkış,	

çevre sıcaklıkları ve anlık direkt ısıma (W/m^2).....	238
Tablo E1.10. $\phi=28.4$ eğim açısında 6 sargı Al teli dolgu ve seçici yüzeyli absorber kullanıldığı durum için doğal konveksiyonda giriş, çıkış, çevre sıcaklıkları ve anlık direkt ısıma (W/m^2).....	239
Tablo E1.11. $\phi=28.4$ eğim açısında 14 sargı Al teli dolgu ve dışa siyal Al tel sarımı ile elde edilen absorber için doğal konveksiyonda giriş, çıkış, çevre sıcaklıkları ve anlık direkt ısıma (W/m^2).....	240
Tablo E2.1. Zorlanmış konveksiyonda $\phi=28.4$ eğim açısı ve 70 kg/saat hava debisinde için absorber boyunca ölçülen sıcaklıklar ve anlık direkt ısıma (W/m^2).....	241
Tablo E2.2. Zorlanmış konveksiyonda $\phi=28.4$ eğim açısı ve 60 kg/saat hava debisinde için absorber boyunca ölçülen sıcaklıklar ve anlık direkt ısıma (W/m^2).....	241
Tablo E 2.3. Zorlanmış konveksiyonda $\phi=28.4$ eğim açısı ve 50 kg/saat hava debisinde için absorber boyunca ölçülen sıcaklıklar ve anlık direkt ısıma (W/m^2).....	242
Tablo E 2.4. Zorlanmış konveksiyonda $\phi=28.4$ eğim açısı ve 40 kg/saat hava debisinde için absorber boyunca ölçülen sıcaklıklar ve anlık direkt ısıma (W/m^2).....	242
Tablo E 2.5. Zorlanmış konveksiyonda $\phi=28.4$ eğim açısı ve 30 kg/saat hava debisinde için absorber boyunca ölçülen sıcaklıklar ve anlık direkt ısıma (W/m^2).....	243
Tablo E 2.6. Zorlanmış konveksiyonda $\phi=33.4$ eğim açısı ve 70 kg/saat hava debisinde için absorber boyunca ölçülen sıcaklıklar ve anlık direkt ısıma (W/m^2).....	243
Tablo E2.7. Zorlanmış konveksiyonda $\phi=33.4$ eğim açısı ve 60 kg/saat hava debisinde için absorber boyunca ölçülen sıcaklıklar ve anlık direkt ısıma (W/m^2).....	244
Tablo E2.8. Zorlanmış konveksiyonda $\phi=33.4$ eğim açısı ve 50 kg/saat hava debisinde için absorber boyunca ölçülen sıcaklıklar ve anlık direkt ısıma (W/m^2).....	244
Tablo E2.9. Zorlanmış konveksiyonda $\phi=33.4$ eğim açısı ve 40 kg/saat hava	

debisinde için absorber boyunca ölçülen sıcaklıklar ve anlık direkt ısıma (W/m^2).....	245
Tablo E2.10.Zorlanmış konveksiyonda $\phi=33.4$ eğim açısı ve 30 kg/saat hava debisinde için absorber boyunca ölçülen sıcaklıklar ve anlık direkt ısıma (W/m^2).....	245
Tablo E2.11.Zorlanmış konveksiyonda $\phi=38.4$ eğim açısı ve 70 kg/saat hava debisinde için absorber boyunca ölçülen sıcaklıklar ve anlık direkt ısıma (W/m^2).....	246
Tablo E2.12.Zorlanmış konveksiyonda $\phi=38.4$ eğim açısı ve 60 kg/saat hava debisinde için absorber boyunca ölçülen sıcaklıklar ve anlık direkt ısıma (W/m^2).....	246
Tablo E2.13.Zorlanmış konveksiyonda $\phi=38.4$ eğim açısı ve 50 kg/saat hava debisinde için absorber boyunca ölçülen sıcaklıklar ve anlık direkt ısıma (W/m^2).....	247
Tablo E2.14.Zorlanmış konveksiyonda $\phi=38.4$ eğim açısı ve 40 kg/saat hava debisinde için absorber boyunca ölçülen sıcaklıklar ve anlık direkt ısıma (W/m^2).....	247
Tablo E2.15.Zorlanmış konveksiyonda $\phi=38.4$ eğim açısı ve 30 kg/saat hava debisinde için absorber boyunca ölçülen sıcaklıklar ve anlık direkt ısıma (W/m^2).....	248
Tablo E2.16.Zorlanmış konveksiyonda $\phi=28.4$ eğim açısı ve 70 kg/saat hava debisinde seçici yüzeyli absorber için giriş,orta, çıkış, çevre sıcaklıkları ve anlık direkt ısıma (W/m^2).....	248
Tablo E2.17.Zorlanmış konveksiyonda $\phi=28.4$ eğim açısı ve 70 kg/saat hava debisinde 14 sargı dolgu malzemesinin kullanıldığı durum için giriş,orta, çıkış, çevre sıcaklıkları ve anlık direkt ısıma (W/m^2).....	249
Tablo E2.18.Zorlanmış konveksiyonda $\phi=33.4$ eğim açısı ve 70 kg/saat hava debisinde 14 sargı dolgu malzemesinin kullanıldığı durum için giriş,orta, çıkış, çevre sıcaklıkları ve anlık direkt ısıma (W/m^2).....	249
Tablo E2.19.Zorlanmış konveksiyonda $\phi=28.4$ eğim açısı ve 30 kg/saat hava debisinde 14 sargı dolgu malzemesinin kullanıldığı durum için giriş,orta, çıkış, çevre sıcaklıkları ve anlık direkt ısıma (W/m^2).....	250

Tablo E2.20. Zorlanmış konveksiyonda $\phi=33.4$ eğim açısı ve 30 kg/saat hava debisinde 14 sargı dolgu malzemesinin kullanıldığı durum için giriş,orta, çıkış, çevre sıcaklıkları ve anlık direkt ısıma (W/m^2).....	250
Tablo E2.21.Zorlanmış konveksiyonda $\phi=28.4$ eğim açısı ve 70 kg/saat hava debisinde 14 sargı dolgu malzemesi ve seçici yüzeyli absorber için giriş,orta, çıkış, çevre sıcaklıkları ve anlık direkt ısıma (W/m^2)...	251
Tablo E2.22.Zorlanmış konveksiyonda $\phi=28.4$ eğim açısı ve 30 kg/saat hava debisinde 14 sargı dolgu malzemesi ve seçici yüzeyli absorber için giriş,orta, çıkış, çevre sıcaklıkları ve anlık direkt ısıma (W/m^2)...	251
Tablo E2.23.Zorlanmış konveksiyonda $\phi=28.4$ eğim açısı ve 70 kg/saat hava debisinde 14 sargı dolgu ve dışa al sinek teli sarılmış absorber için giriş,orta, çıkış, çevre sıcaklıkları ve anlık direkt ısıma (W/m^2).....	252
Tablo E2.24.Zorlanmış konveksiyonda $\phi=28.4$ eğim açısı ve 30 kg/saat hava debisinde 14 sargı dolgu ve dışa al sinek teli sarılmış absorber için giriş,orta, çıkış, çevre sıcaklıkları ve anlık direkt ısıma (W/m^2)....	252
Tablo E2.25.Zorlanmış konveksiyonda $\phi=28.4$ eğim açısı ve 70 kg/saat hava debisinde 10 sargı dolgu kullanımı için giriş,orta, çıkış, çevre sıcaklıkları ve anlık direkt ısıma (W/m^2).....	253
Tablo E2.26.Zorlanmış konveksiyonda $\phi=28.4$ eğim açısı ve 70 kg/saat hava debisinde 6 sargı dolgu kullanımı için giriş,orta, çıkış, çevre sıcaklıkları ve anlık direkt ısıma (W/m^2).....	253
Tablo E2.27.Zorlanmış konveksiyonda $\phi=28.4$ eğim açısı ve 70 kg/saat hava debisinde 14 sargı dolgu ve seçici yüzey kullanımı için giriş, orta, çıkış, çevre sıcaklıkları ve anlık direkt ısıma (W/m^2).....	254
Tablo E2.28.Zorlanmış konveksiyonda $\phi=28.4$ eğim açısı ve 70 kg/saat hava debisinde 6 sargı dolgu ve seçici yüzey kullanımı için giriş,orta, çıkış, çevre sıcaklıkları ve anlık direkt ısıma (W/m^2).....	254
Tablo E3.1.Güneşte kayısı kurutma deneylerinin yapıldığı günler için 70 kg/saat hava debisinde günlere ve saatlere göre çevre, kolektör giriş-çıkış sıcaklıkları, kurutucu giriş ve çıkışı için yaş ve kuru termometre sıcaklıkları ile anlık ve toplam direkt ısıma miktarları, rüzgâr	

hızı değerleri.....	255
Tablo E3.2.Güneşte kayısı kurutma deneylerinin yapıldığı günler için 50 kg/saat hava debisinde günlere ve saatlere göre çevre, kolektör giriş-çıkış sıcaklıkları, kurutucu giriş ve çıkışı için yaş ve kuru termometre sıcaklıkları ile anlık ve toplam direkt ısıma miktarları, rüzgâr hızı değerleri.....	256
Tablo E3.3.Kayısının farklı kütleli hava debilerinde ve güneşte kurutulması sırasında günlere ve saatlere göre ağırlık kayıpları(g) ve toplam kuru madde miktarları(g).....	257
Tablo E3.4.0.5 m/s sabit hızda ve değişik sıcaklıklarda yürütülen tek tane kayısı kurutma deneylerinde ağırlık kayıpları(g) ve kuru madde miktarları.....	259
Tablo E3.5.70 °C sabit sıcaklıkta ve değişik hava hızlarına yürütülen tek tane kayısı kurutma deneylerinde ağırlık kayıpları(g) ve kuru madde miktarları.....	260
Tablo E3.6. 0.5 m/s ve 80 °C sıcaklığında yürütülen tek tane kayısı kurutma deneyinde tane içi sıcaklığın zamanla değişimi.....	261
Tablo E3.7. 0.5 m/s ve 70 °C sıcaklığında yürütülen tek tane kayısı kurutma deneyinde tane içi sıcaklığın zamanla değişimi.....	262
Tablo E3.8. 70 °C sabit hava sıcaklığında farklı hızlarda yürütülen tek tane kayısı kurutma deneyinde tane içi sıcaklığın zamanla değişimi.....	263

SİMGELER LİSTESİ

A_a	: Yoğunlaştırıcı açıklığının gölgelenmemiş alanı (m^2)
A_r	: Absorber yüzey alanı($\pi D_o L$) (m^2)
A	: Kurutulan maddenin toplam yüzey alanı (m^2)
C_p	: Toplayıcıdan geçen akışkanın kapasitesi (J/kgK)
C_{pa}	: Havanın ısı kapasitesi (kcal/kg kuru hava $^{\circ}C$)
D	: Difüzyon katsayısı(m^2 /saat)
D_d	: Dolgu çapı (m)
e^+	: Pürüzlülük Re sayısı $\left[= (e / D_d) (\sqrt{f / 2}) Re \right]$
e/D	: Bağlı pürüz yüksekliği (m)
f	: Sürtünme faktörü
F'	: Toplayıcı verim faktörü
F_R	: Toplayıcı ısı kazanç faktörü
g	: Yerçekimi ivmesi (m/s^2)
G	: Kütleli akış hızı (kg/ m^2s)
G_{sc}	:Güneş sabiti (W/m^2)
G_o	: Herhangi bir zamanda atmosfer dışındaki yatay bir düzleme gelen güneş ışıması
h	: ısı transfer katsayısı, $kW/m^2\ ^{\circ}C$
h_w	: Rüzgâr konveksiyon katsayısı (W/m^2K)
$h_{r,c-a}$	: Cam kapaktan çevreye radyasyon ısı transfer katsayısı (W/m^2K)
$h_{r,r-c}$	: Absorberden cama radyasyon ısı transfer katsayısı (W/m^2K)
$h_{c,r-c}$	: Absorber ile cam arasındaki konveksiyon katsayısı (W/m^2K)
$\bar{H}_o$	: Aylık ortalama günlük atmosfer dışı ışıma (MJ/m^2 -gün)
H	: Kanal yüksekliği(m)
H_o	: Kurutma kamarasını terk eden havanın mutlak nemi (kg/kg)
H_i	: Kurutma kamarasına giren havanın mutlak nemi (kg/kg)
H_{as}	: Kurutma kamarasına giren havanın adyabatik doygunluk nemi (kg/kg)
H_w	: Havanın yaş termometre sıcaklığında (t_w) doymuş haldeki mutlak nemi (kg su buharı/kg kuru hava)
H_a	: Havanın bulunduğu koşullarda (t_a) mutlak nemi (kg su buharı/kg kuru hava)

I	: Direkt ışıma (W/m^2)
k	: Kuruma hız sabiti, termal iletkenliği(W/m^2K)
k_m	: Gıda maddesindeki rutubetin, ortamdaki havaya geçişini tamamlayan kütle transfer katsayısı (kg kuru hava / m^2 saat)
k_T	: Saatlik berraklık indeksi
K_T	: Günlük berraklık indeksi
$\overline{K_T}$	: Aylık ortalama berraklık indeksi
K	: Havanın termal diffüzivitesi(m^2/s)
$K_{\gamma\alpha}$	: Geliş açısı modifiyeri
L	: Kurutulan ürün kalınlığının yarısı,m
m	: Hava Kütlesi , toplayıcıdan geçen akışkan debisi (kg/s)
M	: t anındaki nem içeriği (kg su/ kg kuru madde)
M_c	: Kritik nem içeriği (kg su/ kg kuru madde)
M_e	: Denge nem içeriği(kg su/ kg kuru madde)
MR	: Nem oranı
M_o	: Başlangıç nem içeriğidir.
n	: Yılın günü
N	: Gün uzunluğu(saat)
P	: Pompalama Gücü (W)
ΔP	: Basınç düşüşü
Q_u	: Faydalı ısı(W/m^2K)
Ra	: Rayleigh sayısı($= g\beta X^3 \Delta T / K\nu$)
t	: Zaman (s)
t_f	: Azalan hız periyodundaki kuruma zamanı (s)
T_r	: Alıcı yüzey sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T_a	: Çevre sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T_m	: Ortalama akışkan sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T_i	: Akışkanın toplayıcıya giriş sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T_w	: Havanın yaş termometre sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T_o	: Akışkanın toplayıcıdan çıkış sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T_{ki}	: Akışkanın kurutucuya giriş sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T_{ko}	: Akışkanın kurutucudan çıkış sıcaklığı ($^{\circ}C$)

- $T_{YT,a}$: Çevre havasının yaş termometre sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
 $T_{YT,ko}$: Kurutucu çıkışındaki havanın yaş termometre sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
 W : Hava ısıtıcı kanalının genişliği(m).
 W_o : Ürünün başlangıç kütlesi (kg)
 W_t : t zamanında ürünün kütlesi (kg)
 W_{su} : W_a kütlesindeki kurutucu hava tarafından absorblanan ve örnekten buharlaştırılan suyun kütlesi
 ν : Havanın kinematik viskozitesi(m^2/s)
 γ : Yansıyan ışınların absorbere düşme kesri
 α : Absorbtivite
 α_s : Güneş yükseklik açısı
 β : Eğim
 δ : Deklinasyon açısı
 ε : Yayma katsayısı
 ϕ : Enlem , toplayıcı yerleştirilme açısı
 γ : Yüzey azimut açısı
 γ_s : Güneş azimut açısı
 η_o : Toplayıcının optik verimi
 η : Verim
 λ : Suyun buharlaşma gizli ısı kcal/kg
 θ : Geliş açısı
 ρ : Yoğunlaştırıcının speküler yansıtıcılığı
 ρ_s : Katının yoğunluğu (kg/m^3)
 τ : Alıcı üzerindeki kapak sisteminin geçirgenliği
 ω : Saat açısı
 ω_s : Güneşin doğuşundaki saat açısı
 ξ : Boşluk kesri

1. GİRİŞ

Gerek sanayileşme gerekse bireylerin daha iyi yaşam istekleri günümüzde enerji tüketimini önemli ölçüde arttırmaktadır. Enerji ihtiyacının karşılanmasında kömür, petrol, doğal gaz gibi yakıtlar öncelikli olarak kullanılmaktadır. Ancak bu yakıtların kullanımında karşımıza iki sorun çıkmaktadır. Birinci sorun bu yakıtların yakın bir gelecekte tükenme olasılığı, diğeri ise sanayileşmenin belli yörelerde yoğunlaşması sonucu büyük oranda fosil yakıtların kullanımından kaynaklanan çevre kirliliğinin artmasıdır. Fosil yakıtların yakılmasından kaynaklanan CO₂, NO_x ve SO_x emisyonları önemli değerlere ulaşmıştır. Özellikle CO₂'in neden olduğu sera etkisi sonucu dünya sıcaklığındaki artışın önümüzdeki 40 yıl içinde 1.5°C ila 4.5°C arasında olacağı tahmin edilmektedir. Ayrıca SO_x atmosferik olaylarla asit yağmuru olarak yeryüzüne geri dönerek ekolojik dengeleri tümüyle etkilemektedir.

Bu sorunların aşılması için gösterilen çabalar yeni enerji kaynaklarının araştırılmasını ve mümkün olan sektörde kullanımını gündeme getirmektedir. Bu amaçla güneş, rüzgar, jeotermal, biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının değişik sektörlerde uygulanabilmesi için araştırmalar sürdürülmektedir.

Dünya için sonsuz enerji kaynağı kabul edilen Güneş' ten, bir yılda Dünya' ya aktarılan enerji, Dünya' da ki mevcut kömür rezervlerinin enerjisinin 150 katından fazladır(Enerji istatistikleri, 1997). Bu temiz ve tükenmez enerji kaynağından olabince yararlanma fikri, son yıllarda ülkemizin de bulunduğu 45° kuzey ve güney enlemleri arasında yer alan ve *Güneş Kuşağı* denilen ülkeler başta olmak üzere, bütün dünyada ilgi çekmiştir. Ülkemiz güneş kuşağı adı verilen ve güneş enerjisince zengin bir bölgede yer almasına karşın güneş enerjisinden yeteri kadar faydalanılamamaktadır. Tablo 1.1' de bölgelere göre yıllık güneşlenme süresi ve ısıma değerleri görülmektedir. Ülkemizde ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat, yıllık güneş enerjisi ışıının şiddeti 1311 kWh/m² olarak belirlenmiştir.

Tablo 1.1. Bölgelere Göre Yıllık Ortalama Güneş Işınması ve Yıllık Güneşlenme Süreleri (Enerji istatistikleri, 1997)

Bölgeler	Yıllık Ortalama Güneş Işınması (kWh/m ²)	Yıllık Güneşlenme süresi (saat)
Güneydoğu Anadolu Bölgesi	1491.2	3015.8
Akdeniz Bölgesi	1452.7	2923.2
İç Anadolu Bölgesi	1432.6	2726.1
Ege Bölgesi	1406.6	2711.5
Doğu Anadolu Bölgesi	1398.4	2692.5
Marmara Bölgesi	1144.2	2525.7
Karadeniz Bölgesi	1086.3	1965.9

Güneş enerjisinden yararlanma uygulamalarını düşük sıcaklık (20-100°C), orta sıcaklık (100-300°C) ve yüksek sıcaklık (>300°C) olmak üzere üç grupta toplayabiliriz. En yaygın uygulamalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

➤ **Düşük Sıcaklık Uygulamaları**

- Kullanım sıcak suyu eldesi
- Konut ısıtılması-soğutulması
- Sera ısıtılması
- Tarım ürünlerinin kurutulması
- Yüzme havuzu ısıtılması
- Güneş ocakları ve fırınları
- Deniz suyundan tatlı su eldesi
- Tuz üretimi
- Sulama
- Toprak solarizasyonu
- PV sistemler

➤ **Orta Sıcaklık Uygulamaları**

- Endüstriyel kullanım için buhar üretimi
- Büyük ısıtma-soğutma sistemleri

➤ **Yüksek Sıcaklık Uygulamaları**

- Güneş fırınları

Pek çok uygulama alanında, farklı sıcaklıklar gereklidir. Güneş ışınımını ısıya dönüştürme düzenekleri ise çeşitlidir. En basit güneş toplayıcıları ile birkaç yüz watt, güneş fırınları ile birkaç yüz megawatt' a kadar enerji elde edilebilmektedir.

Tarım ve endüstri sektörlerinde düşük sıcaklıkta güneş enerjisi uygulamaları için yaygın olarak düzlem toplayıcılar kullanılmaktadır. Isı taşıyıcı akışkan olarak hava kullanılan düzlem toplayıcıların verimleri düşük olmasına rağmen, sıcak havanın gerekli olduğu amaçlar için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Günümüzde hava ısıtmada yaygın olarak kullanılan düzlem toplayıcıların hava ısıtmadaki en büyük dezavantajları olan düşük verimlerini yükseltmek amacıyla geleneksel sistemlerde birçok değişiklikler ve iyileştirmeler üzerinde yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Seçici yüzey kullanımı bunlardan birisidir. Absorbtivitesi yüksek yayma katsayısı düşük seçici yüzeylerin kullanımıyla absorblanan güneş ışıması miktarı artırılmaya çalışılmaktadır.(Duffie, 1962; Hottel ve Unger, 1959; Edwards vd., 1961; Hachemi 1999a; Hachemi 1999b)

Diğer bir değişiklik, soğurma yüzeyleri ile doğrudan temas eden hava akış kanallarına termal difüzyon katsayısı yüksek olan uygun dolgu malzemelerinin yerleştirilmesi yoluyla havaya aktarılan ısıнын artırılmasıdır. (Al-Nimr, 1994; Abu-Qudais ve Al-Nimr, 1996; Gupta, 1978; Ahmad vd., 1995; Choudhury vd., 1993; Al-Nimr,1993)

Hava akış kanalının maksimum ısı transferi koşulunu sağlayacak boyutlarda dizaynı bir diğer verim iyileştirme yöntemi olarak araştırılmaktadır. (Hegazy, 1996; Yeh ve Lin, 1996b; Choundhury vd., 1995b; Rommel ve Moock, 1997)

Hava ısıtıcıların verimini artırmak amacıyla uygulanan bir diğer yöntem de havanın absorber içinden geçiş sayısının artırılmasıdır. Bu sayede havanın toplayıcı içinde kalış süresi artırılmakta dolayısıyla daha fazla ısı absorblaması sağlanmaktadır. (Bhargava vd., 1982; Wijesundera vd., 1982; Verma vd., 1992; El-Tawil vd., 1992;

Choudhury vd., 1995a; Satcunanathan ve Deonarine, 1973; Al Mahdi ve Al Baharna, 1991)

Verim artırmak için uygulanan bir diğer iyileşme de, absorber plakaya pürüzlü bir görünüm vererek, güneş ışınımının absorblandığı yüzeyi artırmak ve içerden geçen havanın bu yüzeyle daha fazla temasını sağlamaktır. (Parker vd., 1993; Hollands ve Shewen, 1989; Liu vd., 1984; Prasad ve Saini, 1988; Webb ve Eckert, 1972; Piao vd., 1994; Verma vd., 1991; Metwally vd., 1997; Gupta vd., 1997; Choudhury vd., 1988; Han, 1984; Han vd., 1978; Cartes ve Piacentini, 1990; Gupta ve Garg, 1967)

Absorblayıcı yüzeye, ısı transfer yüzeyini artırmak için kanatçık yerleştirme, toplayıcı verimini artırmak için denenen bir diğer iyileştirme yöntemidir. Havanın akış kanalına sıkça yerleştirilen bu kanatlar ile ısı transfer alanı artırılarak toplam transfer olan ısı ve dolayısıyla verimin artırılması sağlanmıştır. (Garg vd., 1991; Bevill ve Brandt, 1968; Cole-Appel ve Haberstroh, 1976; Yeh ve Lin, 1996a; Hachemi, 1997; O'Brien-Bernini ve McGowan, 1984; Hachemi, 1995; Diab ve Pearson, 1982; Yeh, 1992)

Düzlem yüzeyli güneş toplayıcılarında akışkan sıcaklığı düşüktür. Bu nedenle, yüksek sıcaklığın gerektiği uygulamalarda güneş ışınımı yoğunlaştıran düzeneklerin kullanılması gerekir. Yoğunlaştırıcı toplayıcılar güneşten gelen ışınımı yansıtarak veya kırarak odak noktasındaki küçük bir absorbere düşürüp absorblanan enerji yoğunluğunu artıran düzeneklerdir. Absorberi düzlem toplayıcılara göre çok daha küçük olduğu için absorberden çevreye ısıma ve konveksiyonla olan kayıplar azaltılabilmektedir.

Kullanılan yansıtıcı şekillerine göre, konik, parabolik, paraboloid ve küresel olabilen yansıtıcı toplayıcılar içinde en çok kullanılan parabolik şekilli yansıtıcılardır. Parabolik toplayıcılar su ısıtmada ve endüstriyel ölçekte buhar üretiminde kullanılırlar (Uroshevich, 1981; Murphy ve May, 1982; Kalogirou vd., 1997; Edenburn, 1976; Barra ve Franceschi, 1982). Son yıllarda bileşik parabolik yansıtıcılar (Sims, 1982), yansıtıcısı sabit absorberi hareketli (SRTA) (Kreider, 1979), parabolik ayna (Fries, 1981) gibi farklı tiplerde güneşi izleyen sistemler geliştirilmiştir. İzleyici sisteminin gerektirdiği ekstra

masrafı ortadan kaldırmak için yine güneş ışınlarını yoğunlaştıran ancak sabit olan sistemler üzerinde de çalışmalar mevcuttur (McLean, 1989; Woodworth ve Ulf, 1978). Sıvı ısıtmada yeni yaygınlaşmaya başlayan bu tip toplayıcıların hava ısıtma amaçlı kullanımına pek fazla rastlanmamıştır.

Türkiye’de sanayiinin ulaştığı düzey sürekli artmasına karşın yaş ve kuru tarımsal ürünlerimizin ekonomi içindeki payı önemini korumaktadır. Ülkemizde her çeşit sebze ve meyve yetiştirilmektedir. Üretim döneminde taze olarak tüketilen bu ürünlerin, önemli bir bölümü de kurutulmaktadır. Kurutma işlemi ile tüketim süresinin uzatılması mümkün olabilmektedir. Hazır gıda üreten sanayiinin gelişmesi ile kurutulmuş ürünlere talep her geçen gün artmaktadır. Kurutulmuş ürünlerin eldesin de açık sergide doğal koşullarda kurutmada ürün kalitesi iklim koşullarına bağlı olmakta, toz, kuş, böcek gibi canlılar tarafından kirletilmesi hijyen sorununu gündeme getirmekte ve ürünlerimiz ekonomik değeri üretim aşamasında kaybetmektedir. Suni kurutma ise enerji giderlerinin yüksek olması önemli bir sorun olarak karşınıza çıkmaktadır.

Tarımsal ürünlerin dış satımında karşılaşılan sorunların aşılması kurutma işleminin kapalı sistemlerde gerçekleştirilmesiyle mümkündür. Yöresel koşullara uygun olarak tasarlanacak kurutucularda enerji kaynağı olarak güneş, jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı mümkündür. Ürün tipi ve yöre koşullarına uygun kurutucu modellerinin belirlenmesi konusunda çalışmalar yapılmaktadır.

Bu çalışmada, bu güne kadar kullanılan güneş enerjisi toplayıcı sistemlerden farklı olarak, ışınum yoğunlaştırıcı kısmı konik şekilli bir yansıtıcı olan bir güneş enerjisi toplama sistemi ile havanın ısıtılmasının incelenmesi amaçlandı. Bu amaçla güneşi gün boyu takip eden, odak noktasına silindirik bir absorberin yerleştirildiği konik yoğunlaştırıcı bir hava ısıtıcı dizayn edildi, kuruldu ve çeşitli temel sistem parametreleri için performansı araştırıldı. Doğal ve zorlanmış hava akış koşullarında sistem davranışının incelendiği çalışmada, önce optimum toplayıcı eğim açısı ve hava akış debisi belirlendi. Daha sonra verimi artırmak amacıyla siyah boyalı absorbere ilave olarak seçici yüzeyli absorber ve siyah boyalı boru üzerine siyah alüminyum sinek teli sarımı ile yapay olarak pürüzlendirilmiş absorber yüzeyler denendi. Ayrıca hava akış

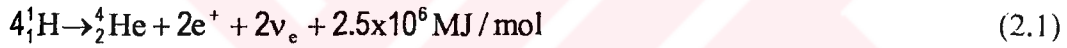
kanalına değişik sargı sayılarında katlanmış alüminyum sinek teli dolgu olarak yerleştirildi ve verime etkisi araştırıldı.

Konik toplayıcı güneş enerjisi sisteminden elde edilen sıcak hava daha sonra kurutmada kullanıldı. Yörenin ve Türkiye' nin ekonomisinde önemli yer tutan ve güneşte açık sergilerde kurutulması sırasında birçok olumsuzluklar yaşanan kayısının güneş enerjili kurutucuda kurutulması incelendi.. Farklı debilerde hava gönderilerek yapılan kurutma işlemi güneş ışınlarına maruz bırakılarak açıkta yapılan kurutma ile karşılaştırıldı. Kurutulmakta olan önceden kükürt dioksit ile işleme sokulmuş kayısının güneş enerjili kurutucu koşullarındaki kuruma kinetiğini ortaya koymak amacıyla laboratuarda kararlı ve sürekli ortamda tek kayısı tanesinin kuruması incelendi. Böylece kükürtlenmiş kayısının kuruma sabiti ve difüzyon katsayısı gibi temel kuruma karakteristikleri belirlendikten sonra güneş enerjisi toplayıcısından sağlanan sıcak hava ile etkin bir şekilde kurutulması ile olan ilişkisinin ortaya konulmasına çalışıldı.

2. GÜNEŞ

Güneş 1.39×10^6 km çapında sıcak gazlardan oluşan bir küredir ve dünyadan ortalama 1.5×10^8 km uzaklıktadır. Güneş yaklaşık 4 haftada bir kendi eksenini etrafında döner. Bununla beraber güneş katı bir cisim gibi dönmez. Bir dönüşü ekvatorunda 27 gün, kutup bölgelerinde ise 30 gün olarak gözlenir.

Güneş bileşimindeki gazlar ile sürekli bir füzyon reaktörü durumundadır. Güneş enerjisinin ve bu çok yüksek sıcaklığın kaynağının füzyon tepkimeleri olduğu düşünülmektedir. Füzyon tepkimesinden oluşan enerjinin büyüklüğünün bilinmesi bakımından bir örnek vermek gerekirse, hidrojen çekirdeğinin (4 protonun) füzyonla helyum çekirdeğine dönüşmesi tepkimesinde 1 mol helyum başına 2.5×10^6 MJ büyüklüğünde bir enerji açığa çıkmaktadır.

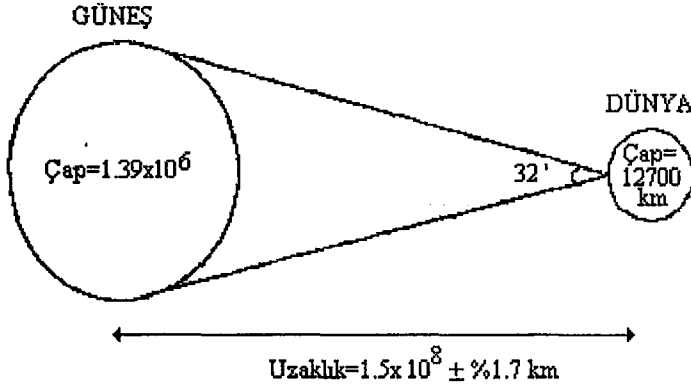


Bu tepkimede e^+ pozitif elektronu ν_e ise elektronik nötrinoyu göstermektedir. Helyum çekirdeğinin kütlesi 4 protonun kütlesinden daha azdır ve aradaki bu fark güneşin iç kısımlarında söz edilen enerjiye dönüşmektedir. Konveksiyon ve radyasyonla yüzeye transfer olan enerji, buradan uzaya elektromagnetik dalgalar halinde yayılır.

Güneş, yoğunluğu, sıcaklığı ve yapısı farklı tabakalardan oluşmuştur Güneş ışıması da, iç bölgede üretilen enerjiyi önce absorblayan sonra da yayan bu tabakalar yardımı ile olur.

2.1. Güneş Sabiti

Şekil 2.1'de dünya-güneş ilişkisinin geometrisi şematik olarak verilmiştir. Güneş ve dünya arasındaki ortalama mesafe 1.5×10^8 km dir. Dünyanın güneş etrafındaki



Şekil 2.1. Dünya-Güneş ilişkisi

dönme yörüngesi eliptik olduğundan dünya-güneş arasındaki mesafe $\pm \%1.7$ oranında değişir. Bu mesafe 4 Temmuzda maksimum 3 Ocakta minimum olur. Bu ortalama uzaklıkta güneş dünyadan $32'$ 'lık bir açı ile görünür. Dünya ile güneş arasındaki ortalama uzaklıkta ve atmosferin dışına güneş ışınlarına dik olarak yerleştirilen yüzeyin birim alanına, birim zamanda gelen enerji güneş sabiti olarak adlandırılmakta ve G_{sc} simgesi ile gösterilmektedir.

Dünya ile güneş arasındaki mesafenin yıl boyunca sürekli değişmesi nedeni ile bu enerjinin mutlak anlamda sabit kalması düşünülemez, ancak ortalama bir sabit değerden söz edilebilir. Yerkürede ve uzayda yapılan çeşitli çalışmalarda dünya atmosferi dışındaki güneş sabiti direkt olarak ölçülmüş ve bunun ortalama değerinin 1367 W/m^2 olduğu saptanmıştır(Duffie ve Beckman, 1991).

2.2 Güneş Işınması İle İlgili Temel Tanımlar

Hava Kütlesi m, güneş ışınmasının atmosferi geçerken kat ettiği mesafedir. Işımanın geliş doğrultusuna göre değişir. Deniz seviyesinde güneş tam tepedeyken dikey ışınma yolu 1 olarak kabul edilir. Deniz seviyesinde zenit açısı 60° olduğunda ise $m=2$ olur. Hava kütlesi, ışımanın geliş açısına bağlı olarak aşağıdaki basit formül ile hesaplanır.

$$m=1/\cos\theta_z \quad (2.2)$$

Burada θ_z direkt güneş ışımasının yatay düzlem normali ile yaptığı açıdır.

Direkt Işıma, hiçbir engelle karşılaşmadan atmosferdeki hiçbir partiküle çarpmadan dolayısıyla yön değiştirmeden yeryüzüne ulaşan ışımadır. Çarptıkları yüzeyde ısı enerjisine dönüşürler. Direkt ışımlar yerkürede çarptıkları yüzeyde geliş açısına bağlı olarak yansımaya uğrarlar.

Diffüz Işıma, yansıma ve saçılma ile yönü değişerek yer yüzeyine ulaşan ışımadır. Atmosferdeki gaz ve partiküllere çarptıktan sonra kırılarak dağılırlar ve gökyüzünün aydınlığını oluştururlar. Diffüz ışımalarda çarptıkları yüzeyde ısı enerjisine dönüşürler.

Işıma(W/m^2), Yüzey üzerine birim olan başına gelen radyant enerjinin hızıdır.

Güneş Zamanı, güneş- açı ilişkilerinin hepsinde kullanılan zaman güneş zamanıdır ve yerel saat ile çakışmaz. İki düzeltme ile standart zamanı güneş zamanına çevirmek gerekir. Yerel standart zamanı temel alan meridyen (Greenwich) ile gözlemcinin meridyeni (boylam) arasında boylamdaki farklılık için sabit bir düzeltme vardır.

Güneş 1° boylamı 4 dakikada döner. Bu birinci düzeltmedir. İkinci düzeltme ise zaman denkleminde kaynaklanır. Güneş zamanı ile standart zaman arasındaki fark dakika olarak;

$$\text{Güneş zamanı} - \text{Standart zaman} = 4 (L_{st} - L_{yer}) + E \quad (2.3)$$

Burada L_{st} yerel zaman için standart meridyen , L_{yer} incelenen yerin boylamı, E ise zaman denklemdir (Batı boylamı için +, doğu boylamı için – alınır).

$$E = 229.2(0.000075 + 0.001868 \cos B - 0.032077 \sin B - 0.014615 \cos 2B + 0.04089 \sin 2B) \quad (2.4)$$

$$B = (n-1)360/365 \quad (2.5)$$

Burada n yılın günüdür. $1 \leq n \leq 365$

2.3. Direkt Işımanın Yönü

Herhangi bir anda güneşin yeri ve yeryüzündeki bir noktaya göre hareketi güneş açıları ile tayin edilir. Güneş açıları Şekil 2.2’de ve aşağıda verilmiştir.

Enlem(ϕ), ekvatorun kuzey veya güneyindeki açısal yer, kuzey pozitif, $-90^\circ \leq \phi \leq +90^\circ$

Deklinasyon(δ), güneş açılarının ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır. Aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\delta = 23.45 \sin\left(360 \frac{284 + n}{365}\right) \quad (2.6)$$

Burada n 1 Ocaktan itibaren gün sayısıdır.

Eğim(β), çalışılan yerin düzlemi ile yatay arasındaki açıdır.

Yüzey azimut açısı(γ), yüzey normalinin yerel meridyenden sapması (sıfır noktası güney olacağından doğu +, batı – dir) $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$.

Saat açısı(ω), yerkürenin kendi eksenini etrafında saatte 15° dönmesi nedeniyle güneşin yerel meridyenin doğusuna veya batısına doğru açısal sapmasıdır. Sabah negatif, öğleden sonra pozitif değerler alır. Aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\omega = 15t \quad (2.7)$$

Burada t güneş öğlesinden itibaren zaman(saat) dır.

Geliş açısı(θ), Yüzeye gelen direkt ışıma ile yüzey normali arasındaki açı. Aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\begin{aligned} \cos\theta = & \sin\delta \sin\phi \cos\beta - \sin\delta \cos\phi \sin\beta \cos\gamma + \cos\delta \cos\phi \cos\beta \cos\omega \\ & + \cos\delta \sin\phi \sin\beta \cos\gamma \sin\omega + \cos\delta \sin\beta \sin\gamma \sin\omega \end{aligned} \quad (2.8)$$

Zenit açısı(θ_z), direkt güneş ışımasının yatay düzlem normali ile yaptığı açıdır. Yatay düzlem için aşağıdaki formül ile hesaplanır.

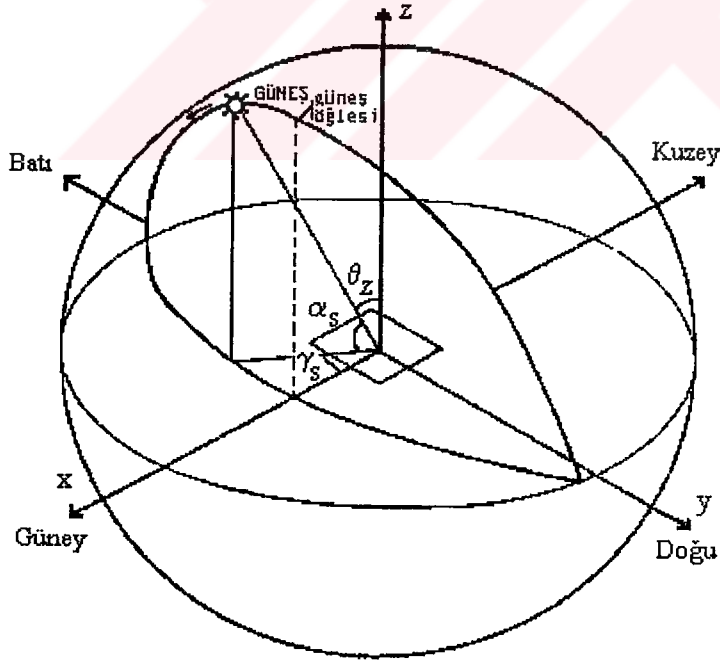
$$\cos\theta_z = \cos\phi\cos\delta\cos\omega + \sin\phi\sin\delta \quad (2.9)$$

Güneş yükseklik açısı(α_s), direkt güneş ışınlarının yatay düzlem ile yaptığı açıdır. Aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\sin\alpha_s = \cos\theta_z \quad (2.10)$$

Güneş azimut açısı(γ_s), direkt güneş ışınımının yatay düzlemdeki izdüşümünün güney doğrultusu ile yaptığı açıdır. Güneyden batıya doğru +, doğu yöne doğru -işareti alır.

$$\sin\gamma_s = \frac{\sin\omega\cos\delta}{\sin\theta_z} \quad (2.11)$$



Şekil 2.2. Güneş açıları

Güneşin doğuşundaki saat açısı (ω_s), ($\theta_z=90^\circ$) aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\cos\omega_s = -\tan\phi \tan\delta \quad (2.12)$$

Gün uzunluğu N, güneşin doğuşu ile batışı arasında geçen süredir. Aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$N = \frac{2}{15} \cos^{-1}(-\tan\phi \tan\delta) \quad (2.13)$$

2.4. Güneş Işınlarnın Çeşitli Toplayıcı Yüzeylerine Geliş Açıları

Güneş ışınlarının herhangi bir yüzeye geliş açısı (2.8) eşitliğinden hesaplanabilir. Ancak hareketli yüzeylerde bu açı güneşi izleme yöntemine bağlı olarak değişir. Bu nedenle güneş ışınlarının yüzeye geliş açısını izleme yöntemlerine göre hesaplamak gerekir. Tablo 2.1'de çeşitli izleme yüzeyleri için güneş ışınlarının geliş açıları ($\cos\theta$) verilmiştir.

Tablo 2.1. Çeşitli İzleyici Yüzeyler İçin Güneş Işınlarnın Geliş Açısı ($\cos\theta$)

Dönme Eksenini	$\cos\theta$
Her gün için ayrı bir düzeltme yapılarak yatay doğu-batı ekseninde döndürülen plaka	$\sin^2\delta + \cos^2\delta \cos\omega$
Sürekli düzeltme ile yatay doğu-batı ekseninde dönen bir plaka	$(1 - \cos^2\delta \sin^2\omega)^{1/2}$
Sürekli düzenleme ile kuzey-güney yönünde döndürülen plaka	$(\cos^2\theta_z + \cos^2\delta \sin^2\omega)^{1/2}$
Dikey ekseninde dönen sabit eğimli bir plaka	$\cos\theta_z \cos\beta + \sin\theta_z \sin\beta$
Sürekli düzenleme ile yer küre ekseninde paralel kuzey-güney ekseninde dönen plaka	$\cos\delta$
İki ekseninde sürekli güneşi izleyen plaka	1

2.5. Yatay Bir Yüzeye Gelen Atmosfer Dışı Işıma

Yerküreye gelen güneş ışımasının hesaplanmasında atmosfer dışı ışıma değeri önemli bir parametredir. Herhangi bir zamanda atmosfer dışındaki yatay bir düzleme gelen güneş ışıması aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$G_o = G_{sc} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365}\right) \cos \theta_z \quad (2.14)$$

Burada G_{sc} güneş sabiti , n yılın günüdür. $\cos \theta_z$ için verilen (2.9) eşitliğinin yukarıdaki eşitlikte yerine yazılmasıyla güneşin doğuşu ve batışı arasındaki herhangi bir zamanda yatay bir düzleme gelen G_o elde edilir.

$$G_o = G_{sc} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365}\right) (\cos \phi \cos \delta \sin \omega + \sin \phi \sin \delta) \quad (2.15)$$

Günlük güneş ışımasının hesaplanmasında günlük atmosfer dışı ışıma değeri kullanılmaktadır. (2.15) eşitliği güneşin doğuşundan batışına integre edilirse günlük atmosfer dışı ışımayı verir.

$$H_o = \frac{24 \times 3600 G_{sc}}{\pi} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365}\right) \left(\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi \omega_s}{180} \sin \phi \sin \delta\right) \quad (2.16)$$

Burada ω_s güneşin doğuşundaki saat açıdır ve (2.12) eşitliği ile hesaplanır. Bu eşitlikte G_{sc} W/m^2 olarak alınırsa H_o J/m^2 olarak bulunur.

Aylık ortalama günlük atmosfer dışı ışıma $\bar{H}_o$, önemli bir parametredir. $+60 \leq \phi \leq -60$ aralığında , ayın ortalama günü için n ve δ değerlerini kullanarak (2.16) eşitliğinden aylık ortalama günlük atmosfer dışı ışıma hesaplanabilir.

Bir saatlik bir periyotta yatay bir düzleme gelen atmosfer dışı ışımayı hesaplamakta ilginçtir. ω_1 ve ω_2 saat açıları arasındaki bir periyot için 14 eşitliği integre edildiğinde saatlik atmosfer dışı ışımayı veren bir eşitlik bulunur ($\omega_2 > \omega_1$)

$$I_o = \frac{12 \times 3600 G_{sc}}{\pi} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365}\right) (\cos \phi \cos \delta (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + \frac{\pi(\omega_2 - \omega_1)}{180} \sin \phi \sin \delta) \quad (2.17)$$

2.6. Toplam Güneş Işımasının Bileşenleri

Belirli bir periyotta, yeryüzünde yatay bir düzleme gelen toplama ışımanın, aynı periyotta atmosfer ışındaki yatay bir düzleme gelen toplam ışımaya oranı berraklık indeksi olarak tanımlanır. Bu oran, söz konusu periyotta atmosferin yoğunluğunun veya kapalılığının başka bir deyişle bulutluluğunun göstergesidir.

Aylık ortalama berraklık indeksi ($\bar{K}_T$) yatay bir yüzeye gelen aylık ortalama günlük ışımanın atmosfer dışındaki yatay bir düzeye gelen aylık ortalama günlük ışımaya oranıdır ve aşağıdaki şekilde ifade edilir .

$$K_T = \frac{\bar{H}}{\bar{H}_o} \quad (2.18)$$

Belirli bir gün için o güne ait ışımanın atmosfer dışı ışımaya oranı olarak günlük berraklık indeksi K_T yi de belirleyebiliriz

$$K_T = \frac{H}{H_o} \quad (2.19)$$

Bir saatlik berraklık indeksi k_T , ise benzer şekilde hesaplanabilir.

$$k_T = \frac{I}{I_o} \quad (2.20)$$

$\bar{H}$, H ve I verileri yatay bir yüzeye gelen toplam ışıma ölçümlerinden elde edilir. Bu ölçümler piranometre ile yapılır. $\bar{H}_0$, H ve I değerleri ise (2.16) ve (2.17) eşitliklerinden hesaplanabilir

2.6.1. Saatlik Işımanın Direkt ve Diffüz Bileşenleri

Yatay bir yüzeye gelen toplam ışımanın direkt ve diffüz bileşenleri iki nedenle bilinmek istenir. Birincisi, yatay bir yüzeye gelen ışıma kullanılarak benzer çevre şartlarına sahip yüzeylere gelen ışımayı hesaplamak için, direkt ve diffüz ışıma miktarına ihtiyaç duyulur. İkincisi, çoğu toplayıcıların uzun dönem performans hesapları direkt ve diffüz ışıma miktarı temel alınarak yapılmaktadır.

Direkt ve diffüz ışımanın miktarını belirlemede genel yaklaşım; yatay bir yüzeye gelen ışımanın diffüz kesri I_d/I ile saatlik berraklık indeksi k_T arasında bir ilişki kurmaktır.

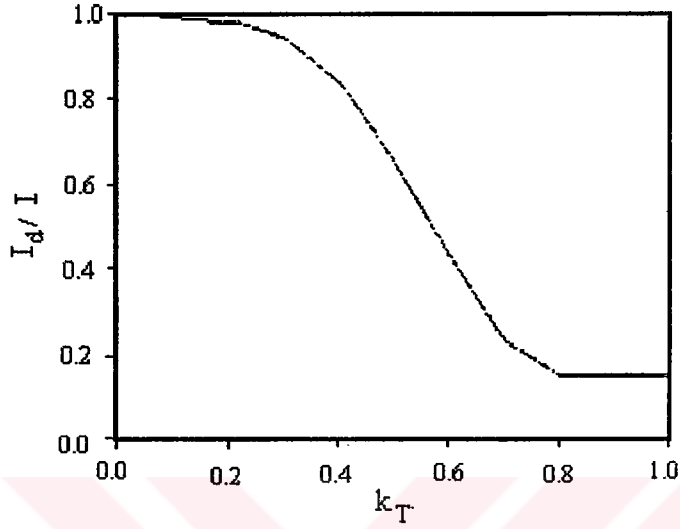
Çeşitli araştırmacılar tarafından k_T ile I_d/I arasındaki ilişki araştırılmış (Liu ve Jordan, 1960; Al -Riahi vd., 1992; Riendl vd.,1990; Erbs vd., 1982) ve üçe ayrılmış veri temeli ile bu ilişki açıklanmıştır(Orgill ve Hollands.1977). Fonksiyonun grafiği Şekil 2.3'de görülmektedir.

$$\frac{I_d}{I} = \begin{cases} 1.0 - 0.249k_T & k_T < 0.35 \\ 1.557 - 1.84k_T & 0.35 < k_T < 0.75 \\ 0.177 & k_T > 0.75 \end{cases} \quad (2.21)$$

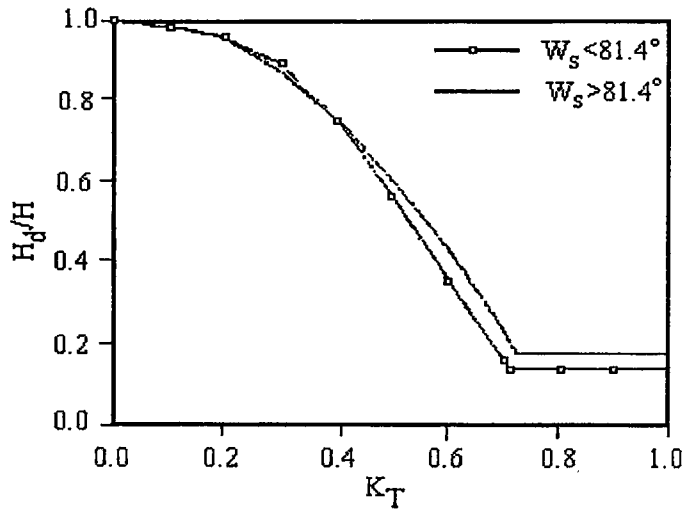
2.6.2. Günlük Işımanın Direkt Ve Diffüz Bileşenleri

Yatay bir yüzeye gelen günlük diffüz ışımanın günlük toplam ışımaya oranı H_d/H , günlük berraklık indeksi ile ilişkilidir. Bu ilişki birçok araştırmacı tarafından incelenmiş ve yaklaşık aynı sonuçlar bulunmuştur (Liu ve Jordan; 1960, Tuller, 1976; Collares-

Periera ve Rabl, 1979; Stanhill, 1966; Erbs vd., 1982). Sonuç olarak üçe ayrılmış veri temeli ile bu ilişki açıklanmıştır. Erbs vd. (1982) geliştirdiği parçalı fonksiyon aşağıda ve ilgili grafik Sekil 2.4’de verilmiştir. (Duffie ve Beckman, 1991).



Şekil 2.3. Orgill ve Hollands(1977) tarafından geliştirilen saatlik berraklık indeksinin bir fonksiyonu olarak I_d/I oranı



Şekil 2.4. Erbs vd. (1982) tarafın geliştirilen günlük difüz kesir H_d/H ile K_T arasındaki ilişki

$W_s < 81.4^\circ$ için

$$\frac{H_d}{H} = \begin{cases} 1.0 - 0.2727K_T + 2.4495K_T^2 - 11.951K_T^3 - 9.3879K_T^4 & K_T < 0.715 \\ 0.143 & K_T \geq 0.715 \end{cases} \quad (2.22)$$

$W_s \geq 81.4^\circ$ için

$$\frac{H_d}{H} = \begin{cases} 1.0 + 0.2832K_T - 2.5557K_T^2 + 0.8448K_T^3 & K_T < 0.722 \\ 0.715 & K_T \geq 0.722 \end{cases} \quad (2.23)$$

2.6.3. Aylık Işımanın Direkt Ve Diffüz Bileşenleri

Günlük ışıma için yapılan işlemlerin aynısı aylık ışıma için de yapılır. Burada aylık ortalama berraklık indeksine $\bar{K}_T = \bar{H}/\bar{H}_0$ ' a karşı aylık diffüz ışıma oranı $\bar{H}_d/\bar{H}$ grafiğe geçirilir. $\bar{K}_T$ ile $\bar{H}_d/\bar{H}$ arasındaki ilişki çeşitli aştırmacılar tarafından incelenmiş (Liu ve Jordan, 1960; Page, 1964; Erbs, 1982; Al-Hamdani vd., 1989; Ruth ve Chant, 1976) çok küçük farklılıklar ile yaklaşık aynı sonuçlar bulunmuştur.

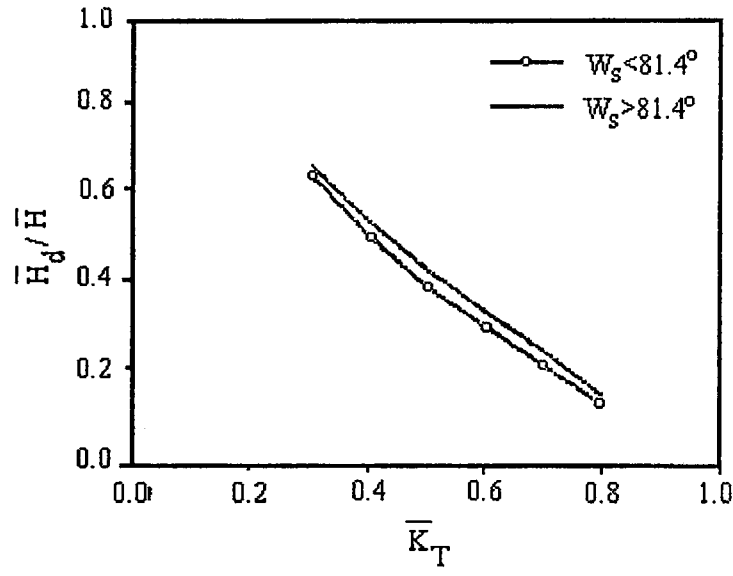
Erbs vd.(1982) tarafından geliştirilen eşitlikler aşağıda, çalışmayı gösteren grafik Şekil 2.5' de verildi. (Duffie ve Beckman, 1991).

$W_s \leq 81.4^\circ$ ve $0.3 \leq \bar{K}_T \leq 0.8$ için

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 1.391 - 3.560\bar{K}_T + 4.189\bar{K}_T^2 - 2.137\bar{K}_T^3 \quad (2.24)$$

$W_s > 81.4^\circ$ ve $0.3 \leq \bar{K}_T \leq 0.8$ için

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 1.311 - 3.022\bar{K}_T + 3.427\bar{K}_T^2 - 1.821\bar{K}_T^3 \quad (2.25)$$

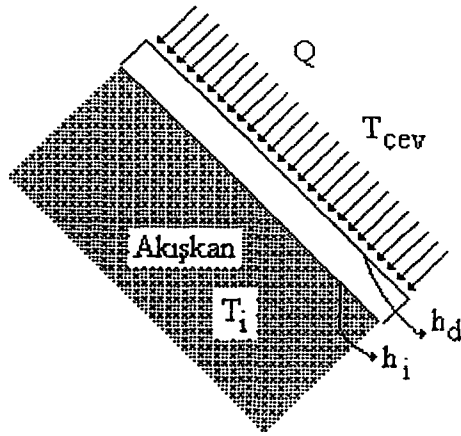


Şekil 2.5. Erbs vd. (1982) tarafın geliştirilen günlük $\overline{K}_T$ ve W_s 'ye karşı $\overline{H}_d / \overline{H}$ değişimi

3. GÜNEŞ TOPLAYICILARI

Güneş ışınımı ile bir akışkanın sıcaklığının artmasını sağlayan düzeneklere güneş toplayıcıları adı verilir. En basit anlamda bir yüzeye düşen güneş ışınlarından bir kısmı yüzey tarafından absorblanır ve akışkana doğru kondüksiyon ve konveksiyonla ısı geçişi olurken, dış yüzeyden de çevreye, yüzey sıcaklığına ve ısı iletim katsayısına bağlı olarak konveksiyonla ısı transferi olur. Absorblanan ısıma ile çevreye olan ısı transferinin farkı faydalanılan güneş enerjisidir ve ısıtılmak istenen akışkana verilir.

Güneş altında tutulan su dolu bir kap bir anlamda güneş toplayıcısıdır(Şekil 3.1). Belirli bir zaman aralığında kap üzerine gelen güneş ışınımı Q , kabın ısıtım absorblama oranı α olmak üzere, αq kadarı kap yüzeyi tarafından absorblandıktan sonra kabın yüzey sıcaklığına (T_y) ve kap ile çevre arasındaki film ısı transfer katsayısına (h_d) bağlı olarak konveksiyonla ve ısıma ile çevreye ısı kaybı olur. Absorblanan enerjinin çevreye transfer olmayan miktarı, kap malzemesinin ısı iletim katsayısı(k) ve kalınlığa bağlı olarak kondüksiyonla, iç yüzey sıcaklığı (T_i) ve iç yüzeyle su arasındaki film ısı transfer katsayısına (h_i) bağlı olarak konveksiyonla suya geçer.



Şekil 3.1. Güneşe bırakılan bir kapta ısı transferi

Çevre sıcaklığı ve güneş ışıması, bulunulan yere (enlem, yükseklik), zaman (gün,saat) ve atmosfer şartlarına (bulut, rutubet vs.) bağlı olarak değişir. Bu sebeple, yüzey üzerine düşen güneş ışımasının mümkün olduğu kadar büyük kısmının faydalı enerjiye dönüştürülebilmesi için düzenlemeler yapılmalıdır. Belirli bir miktardaki ışıının akısından toplayıcılarla faydalanılırken

- a) dışa konveksiyonla ısı kaybının azaltılmasıyla
- b) yüzey absorbtivitesinin artırılmasıyla
- c) akışkana ısı geçişinin artırılmasıyla faydalanılan güneş enerjisi artırılabilir.

Gelen ışıından yüzey tarafından absorblanan kısmı arttıkça faydalanılan ışıının artması için, yüzey sıcaklığının artması ancak dışa olan kayıpların artmaması gerekir. Bunun içinde, levhanın ısı iletim katsayısı ve iç yüzeydeki film ısı transfer katsayısı büyük olmalıdır. Akışkanın hareket ettirilmesi ile hem iç yüzeydeki film ısı transfer artırılır, hem de iç yüzeyle akışkan arasındaki sıcaklık farkı artırılarak ısı geçişi iyileştirilebilir.

Dış yüzeyden kayıplar, yüzeyle çevre arasındaki sıcaklık farkı kadar, h_d film ısı transfer katsayısına bağlıdır. Rüzgârlı bir havada h_d arttığı gibi, yüzey sıcaklığının artması ile de h_d artar. Bu nedenle dış yüzeydeki hava hareketini azaltmak amacı ile, ışıının geçiren saydam bir örtünün kullanılması gereklidir. Bu sayede aradaki havanın ısı direnci dolayısıyla ısı kaybı azalır.

3.1. Güneş Toplayıcılarının Sınıflandırılması

Güneş enerjisini toplayan sistemler çok değişik şekillerde sınıflandırılabilmele birlikte güneşi izleyebilme özellikleri dikkate alınarak sınıflandırılmaları daha uygundur ve şematik olarak aşağıda verilmiştir.

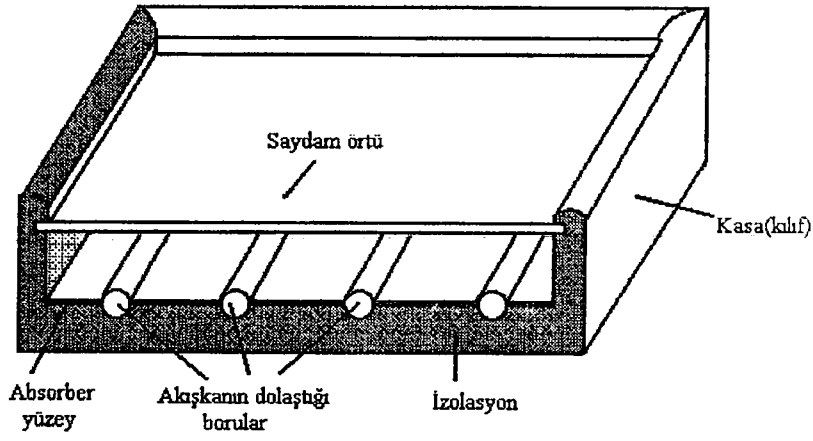
Güneş Toplayıcıları

Sabit Toplayıcılar

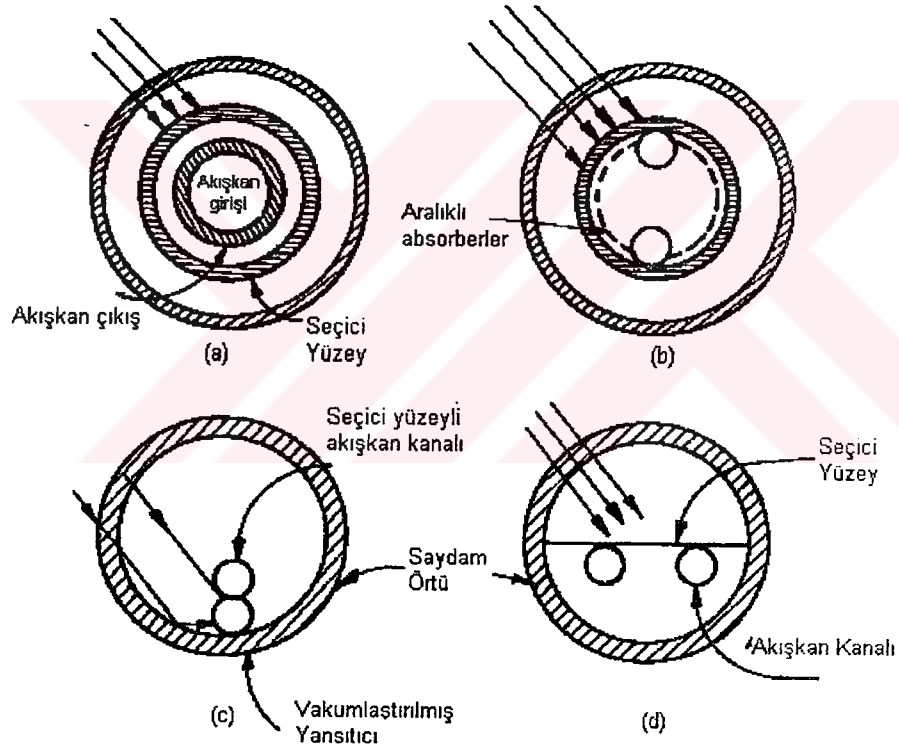
- Düzlem toplayıcılar(Şekil 3.2)
- Güneş havuzları
- Vakumlu tüp şeklinde toplayıcılar (Şekil 3.3)
- Bileşik parabolik toplayıcılar(Görüntüsüz toplayıcılar) (Şekil 3.4)
- V çukurları (Şekil 3.5)

Hareketli Toplayıcılar

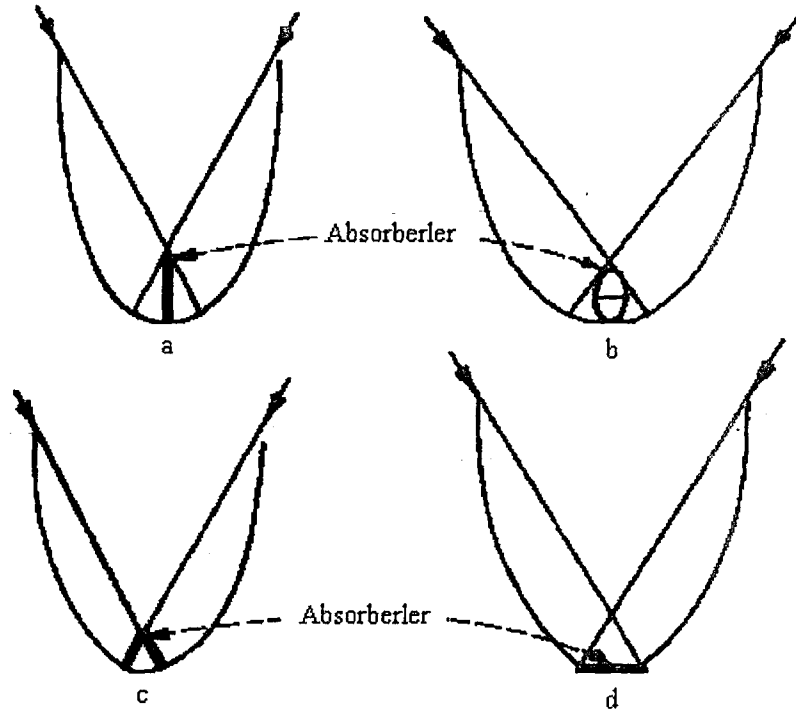
- Çizgi odaklamalı Lineer Yoğunlaştırıcılar
 - Parabolik toplayıcılar (Şekil 3.6)
 - Düzlem absorberli
 - Silindirik absorberli
 - Konik yoğunlaştırıcı toplayıcılar (Şekil 3.7)
 - Çizgi odaklamalı frensel yansıtıcılar
 - Çizgi odaklamalı sabit yansıtıcı hareketli absorbere sahip toplayıcılar (Şekil 3.8)
- Nokta odaklamalı küresel yoğunlaştırıcılar
 - Paraboloidler (Şekil 3.9)
 - Nokta absorberli
 - Dairesel disk absorberli
 - Küresel absorberli
 - Nokta odaklamalı frensel reflektör (Şekil 3.10)
 - Merkezi alıcılı heliostat (Şekil 3.11)
 - Nokta odaklamalı yarı küresel yansıtıcı, hareketli küresel absorber



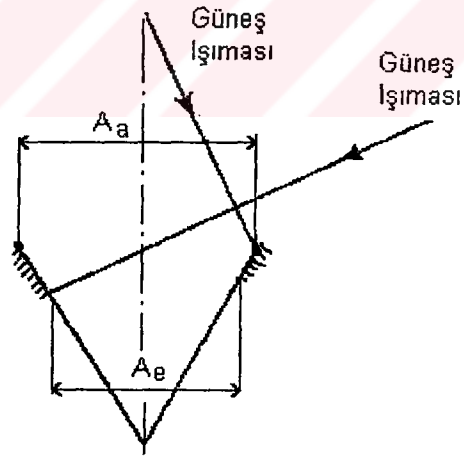
Şekil 3.2. Düzlem yüzeyli güneş toplayıcısı



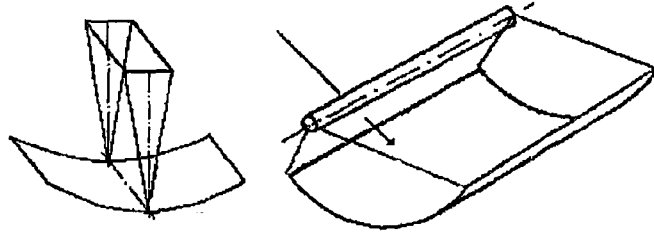
Şekil 3.3. Vakumlu tüp şeklinde toplayıcılar (a-Ortak merkezli silindir, b-Absorberi aralıklı vakumlu tüp, c-Yoğunlaştırıcı tüp, d-Düzlem yüzeyli) (Krider, 1979)



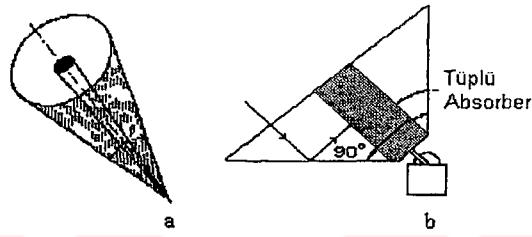
Şekil 3.4. Farklı absorberli bileşik parabolik toplayıcılar (Rabl, 1976)



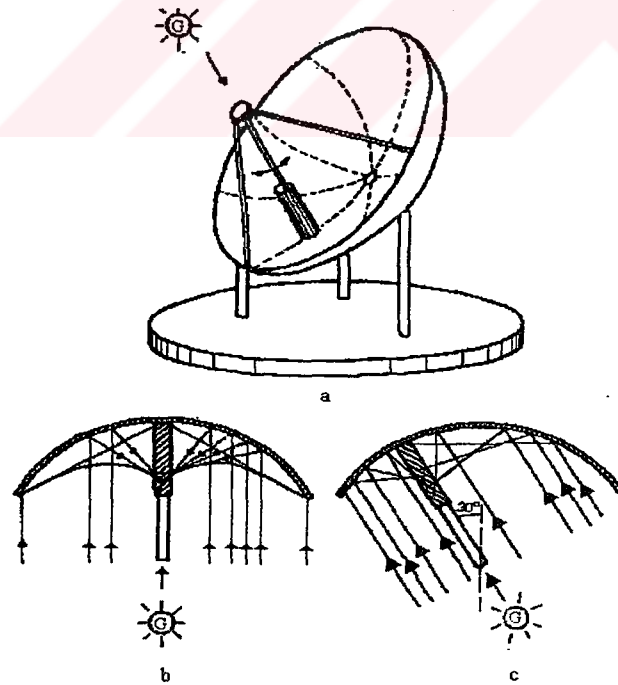
Şekil 3.5. V tipi çukur yoğunlaştırıcılar (Rabl, 1976)



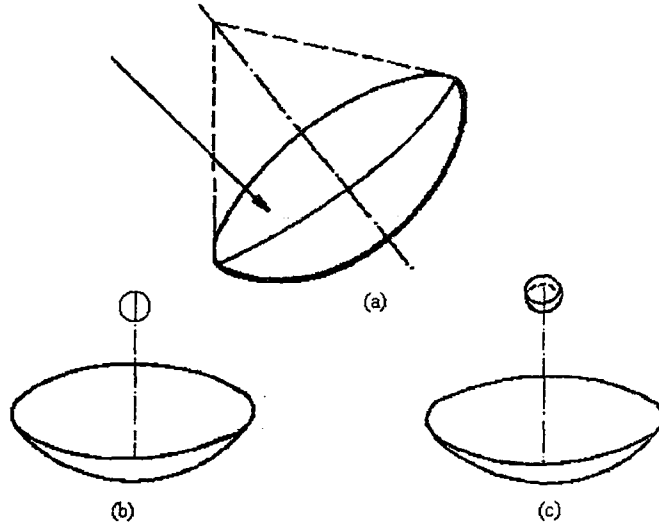
Şekil 3.6. Parabolik yoğunlaştırıcı toplayıcı (a-Düzlem absorberli, b-Silindirik absorberli (Hassan ve El-Refal,1973))



Şekil 3.7. Konik yoğunlaştırıcı toplayıcılar (a-Absorberi optik eksenine ile çakışık koni, b-Sera etkili kesik koni) (Wijesundera, 1977; Baldemir, 1986)



Şekil 3.8. Yansıtıcısı Sabit Absorberi Hareketli Çizgi Odaklayıcı Toplayıcı(a-Genel formu, b-Normal geliş, c- 30° lik geliş açısı için toplayıcının durumu)(Baldemir,1992)



Şekil 3.9. Paraboloid toplayıcı (a- Noktasal absorberli, b- Dairesel disk absorberli, c- Küresel absorberli) (Baldemir,1986)



Şekil 3.10. Nokta odaklamalı fresnel reflektör (Duffie ve Beckman,1991)



Şekil 3.11. Merkezi alıcılı heliostat (Duffie ve Beckman,1991)

3.1.1. Sabit Toplayıcılar

Bu tip toplayıcılar güneşten gelen direkt ve diffüz ışınım akısının doğal yoğunluğunu değiştirmeden olduğu gibi akışkana aktarırlar. Başlıca kullanım alanları arasında kurutma, konutların ısıtılması ve soğutulması, sıcak su üretimi, sera ısıtılması ve yüzme havuzu ısıtılması sayılabilir. Genellikle düşük sıcaklık uygulamalarında kullanılırlar. İmalat ve bakımları kolay olup oldukça ekonomiktirler.

3.1.2. Çizgi Odaklamalı Lineer Yoğunlaştırıcılar

Bu tip toplayıcılar orta sıcaklık uygulamalarında kullanılırlar. Toplayıcının yansıtıcı yüzeyine düşen ışınları, odak eksenine yerleştirilmiş alıcı yüzeye bir çizgi boyunca yansıtılır. Yansıtıcı yüzey, alıcı yüzeye göre çok büyük olduğundan , alıcının birim yüzeyine gelen güneş ışınımı, yansıtıcının birim yüzeyine gelen güneş ışınımından daha fazladır. Alıcı yüzeyin küçük olması çevreye olan ısı miktarını da azalttığından yüksek sıcaklıklara çıkmak mümkündür. Yansıtıcı yüzeye gelen güneş ışınlarının her zaman odak eksenine yansıtılabilmesi için güneşi sürekli olarak takip etmek gerekir. Çizgisel odaklamalı toplayıcılar sanayi için gerekli sıcak su veya buharın temini, güç üretimi, büyük ısıtma ve soğutma sistemleri gibi uygulamalarda kullanılırlar.

3.1.3. Nokta Odaklamalı Küresel Yoğunlaştırıcılar

Yansıtıcıdan odak eksenine yansıyan ışınların oluşturdukları görüntü küresel olduğu için bu ismi alırlar. Odak noktasında noktasal yoğunlaştırma sağlamaları için güneşi iki ekseninde izlemeleri gerekir. Bu tip toplayıcıların bakımları ,çalışma koşulları oldukça zor olup, çok yüksek maliyet gerektirirler. Gelen güneş ışınları bir noktaya yansıdığı için o noktada çok yüksek sıcaklıklara ulaşılabilir. Çok yüksek yoğunlaştırma oranlarına ulaşıldığından güneş fırınları, merkezi alıcı güç sistemleri gibi yüksek sıcaklık gerektiren yerlerde kullanılırlar.

4. YOĞUNLAŞTIRICILI TOPLAYICILAR

Çoğu uygulamalarda, düzlem toplayıcılarda mümkün olandan daha yüksek sıcaklıklara ulaşmak istenir. Isı kaybının meydana geldiği alanın küçültülmesiyle ulaşılan sıcaklık artırılabilir. Bu, radyasyon kaynağı ve enerji absorblayıcı yüzey arasına optik bir aletin koyulmasıyla yapılır. Aynı absorber sıcaklığı için düzlem toplayıcılarla mukayese edilirse küçük absorberden daha az ısı kaybı olacaktır.

Yoğunlaştırıcı toplayıcılarla ilgili çok sayıda dizayn vardır. Yoğunlaştırıcılar, gelen ışınımı odak nokta noktasına yansıtarak veya kırarak iletebilirler, silindirik veya daha değişik yüzeyli, bütün veya parçalı olabilirler. Absorberler konvex, düzlem veya konkav olabildiği gibi geçirgen kapakla çevrilmiş veya çevrilmemiş olabilir. Toplayıcı açıklık alanının absorber alanına oranı olarak tanımlanan yoğunlaştırma oranları, enerji absorblayıcı yüzey üzerine gelen radyasyon akısının artırılmasıyla ilgilidir ve dizayn yelpazesi olduğundan tüm yoğunlaştırıcılara uygulanabilir genel analizler geliştirmek zordur. Bu nedenle yoğunlaştırıcılar, düşük yoğunlaştırma oranlı görüntüsüz toplayıcılar ve orta dereceli yoğunlaştırma oranlı lineer görüntülü toplayıcılar olarak iki gruba ayrılır. Ayrıca çok yüksek yoğunlaştırma oranına sahip üç boyutlu yoğunlaştırıcılar da ayrı bir kategoride düşünülebilir. Üç boyutlu yoğunlaştırıcılarda noktasal odaklama sağlandığı için çok yüksek sıcaklıklara ($>350^{\circ}\text{C}$) çıkabilir. Lineer yoğunlaştırıcılar ise oluşturdukları görüntünün odak düzlemi boyunca olmasından dolayı iki boyutlu yoğunlaştırıcı olarak da anılırlar, orta seviyedeki sıcaklık ($100\text{--}350^{\circ}\text{C}$) ve yoğunlaştırma oranına ulaşabilirler.

Yoğunlaştırıcılar 1 den daha düşük değerlerden 10^5 den daha yüksek değerlere kadar yoğunlaştırma oranlarına sahip olabilirler. Bu oranın artması enerjiye dönüşüm sıcaklığının artması anlamına gelir. Aynı zamanda bu oranın artması optik sistemin ve izleme sisteminin daha hatasız olmasını gerektirmektedir. Böylece yoğunlaştırmalı bir toplayıcıdan elde edilen enerjinin maliyeti ulaşılabilen sıcaklığın fonksiyonudur. Yoğunlaştırma oranının en yüksek, optik sisteminin en kesin olduğu yoğunlaştırıcı toplayıcılar güneş fırınları olarak adlandırılır.

Yoğunlaştırıcı toplayıcıların, düzlem toplayıcılarda olmayan bir takım problemleri vardır. Çok düşük yoğunlaştırma oranına sahip olanlar hariç diğer tüm yoğunlaştırıcı toplayıcılarda direkt ışımanın absorblayıcı yüzey üzerine yönlendirilebilmesi için güneşi takip etmesi gerekir. Uzun süre sistemin optik kalitesini kir, hava oksitlenme ve diğer korozyon atmosferik bileşenlerden korumak ve bakımını yapmak da gereklidir. Çalışma şartlarındaki bu kombinasyon ve toplayıcı maliyeti yoğunlaştırmalı toplayıcıların kullanımını sınırlamaktadır.

Yoğunlaştırıcı toplayıcılar ile ilgili detaylı bilgi vermeden önce bazı temel terimlerin açıklanması yararlı olacaktır. Toplayıcı (kollektör) kelimesi ile yoğunlaştırıcı ve gelen ışınları alıcı kısım ifade edilir. Sistemin bir parçası olan alıcıda, radyasyon absorblanır ve ısı enerjisine dönüştürülür. Alıcı absorber ve onu çevreleyen geçirgen kapaktan oluşmuştur. Yoğunlaştırıcı veya optik sistem ise toplayıcının direkt ışınları alıcı üzerine düşüren kısımdır.

4.1 Yoğunlaştırma Oranı

Güneş ışını yoğunlaştıran toplayıcılarda en önemli parametre yoğunlaştırma oranıdır. Genellikle yoğunlaştırma oranının iki tanımı yapılmaktadır. Birincisi, absorber üzerine gelen ortalama enerji akısının açıklık alanı üzerine gelen ortalama enerji akısına oranı olan akı yoğunlaştırma oranıdır. Ancak genellikle bir absorblayıcı yüzey üzerine gelen enerji akısında önemli değişiklikler vardır. Diğer tanımlama ise yerel akı yoğunlaştırma oranı olup, absorblayıcı üzerinde herhangi bir noktadaki akının açıklık üzerindeki oranı olarak tanımlanır. Ancak bu değer absorber boyunca değişir. Yoğunlaştırma oranının en yaygın olarak kullanılan tanımı “ açıklık alanının alıcı alanına oranı” şeklindedir (Duffie ve Beckman,1991).

$$C = \frac{A_a}{A_r} \quad (4.1)$$

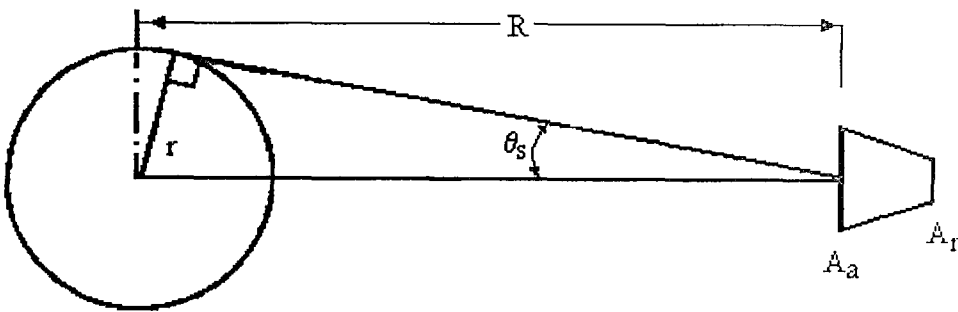
Bu oranın, yoğunlaştırıcının, bir paraboloid gibi üç boyutlu veya silindriparabolik gibi iki boyutlu (lineer) olmasına bağlı olarak üst limitleri vardır.

Güneş ve alıcı arasındaki radyatif ısı değişimi üzerine termodinamiğin ikinci kanunu uygulanarak maksimum yoğunlaştırma oranı belirlenebilir. Şekil 4.1’ de görüldüğü gibi R uzaklığında, r yarıçapındaki güneşi gören A_a açıklık alanı ve A_r alıcı alanına sahip dairesel üç boyutlu bir yoğunlaştırıcı ele alalım. Güneşin görüldüğü yarım açı θ_s dir.

Eğer yoğunlaştırıcı mükemmel ise, güneşten açıklık üzerine aynı zamanda alıcı üzerine gelen ışıma, güneşten yayılan ışmanın açıklık tarafından karşılanılan kesridir.

Güneş siyah cisim olmamasına rağmen, yaklaşık bir analiz amacıyla, T_s sıcaklığında bir siyah cisim olarak kabul edilebilir.

$$Q_{s \rightarrow r} = A_a \frac{r^2}{R^2} \sigma T_s^4 \quad (4.2)$$



Şekil 4.1. R uzaklığında güneşi gören yoğunlaştırıcının şematik gösterimi

Siyah cisim gibi mükemmel bir alıcı $A_r T_r^4$ 'e eşit enerji yayar ve bunun $E_{r \rightarrow s}$ kesri güneşe ulaşır.

$$Q_{r \rightarrow s} = A_r \sigma T_r^4 E_{r \rightarrow s} \quad (4.3)$$

T_r ve T_s aynı olduğu zaman termodinamiğin ikinci kanuna göre $Q_{s \rightarrow r}$ ve $Q_{r \rightarrow s}$ birbirine eşit olması gerekir. Böylece;

$$\frac{A_a}{A_r} = \frac{R^2}{r^2} E_{r \rightarrow s} \quad (4.4)$$

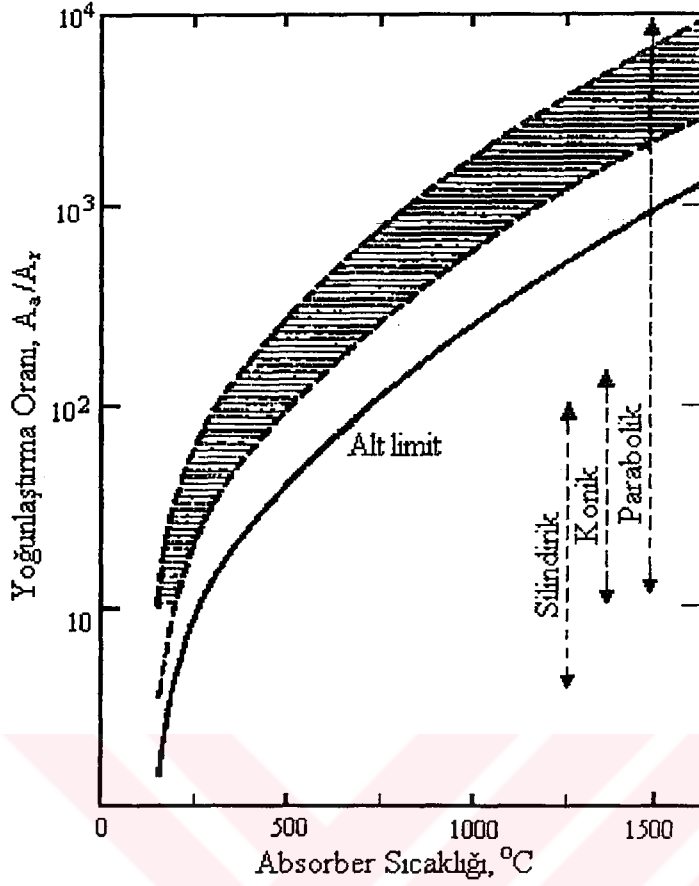
$E_{r \rightarrow s}$ 'nin maksimum değeri 1 olduğundan küresel (üç boyutlu) yoğunlaştırıcı için maksimum yoğunlaştırma oranı;

$$\left(\frac{A_a}{A_r} \right)_{\text{küresel, max}} = \frac{R^2}{r^2} = \frac{1}{\sin^2 \theta_s} \quad (4.5)$$

Lineer (iki boyutlu) yoğunlaştırıcılar için ise;

$$\left(\frac{A_a}{A_r} \right)_{\text{lineer, max}} = \frac{1}{\sin \theta_s} \quad (4.6)$$

Burada $\theta_s = 0.27^\circ$ olduğundan üç boyutlu yoğunlaştırıcılar için maksimum mümkün olan yoğunlaştırma oranı 45000, iki boyutlu yoğunlaştırıcılar için ise maksimum 212 dir. Şekil 4.2' de çeşitli toplayıcı şekilleri için alıcı yüzey sıcaklığına karşı yoğunlaştırma oranı (A_a/A_r) 'nın değişimi, alt ve üst sınırları görülmektedir. Ancak uygulamalarda bu sınırlara ulaşmak pek mümkün değildir.



Şekil 4.2. Alıcı sistemin sıcaklığı ile yoğunlaştırma oranı arasındaki ilişki (Duffie ve Löff, 1962)

Şekildeki alt sınır eğrisi termal kayıpların absorblanan enerjiye eşit olduğu andaki yoğunlaştırma oranlarını gösterir. Daha yüksek oranlar enerjiden daha fazla yararlanıldığı anlamına gelir. Taralı alan %40- %60 toplayıcı verimine karşılık gelir ve muhtemel çalışma aralığını gösterir.

4.2. Yoğunlaştırıcı Toplayıcıların Optik Performansı

Yoğunlaştırıcı toplayıcılarda aletin değişen optik özellikleri vardır. Aşağıda bahsedilecek konu konfigürasyonları değişmesine rağmen tüm yoğunlaştırıcılara uygulanabilir. Gölgelememiş birim açıklık alanı başına absorblanmış ışıma S , için aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

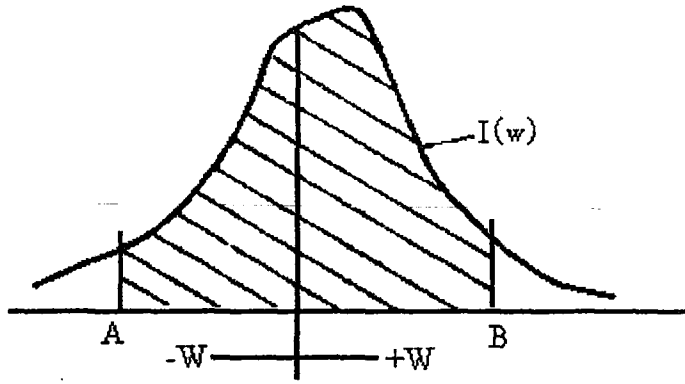
$$S = I_b \rho (\gamma \tau \alpha)_n K_{\gamma \tau \alpha} \quad (4.7)$$

Bu eşitlikte terimler, düzlem toplayıcılardan farklı olduğunu ve toplayıcı geometrisine bağlı olarak düşünülmesi gerektiğini ifade eder.

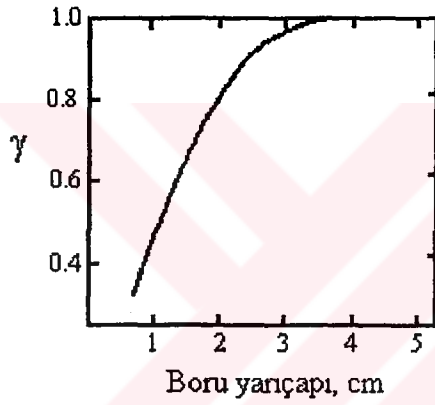
Açıklık düzlemi üzerinde ölçülen etkin ısıma I_b , çok düşük yoğunlaştırma oranına sahip oranlar hariç tüm yoğunlaştırıcılar için sadece direkt güneş ışınmasını ifade eder. Düşük yoğunlaştırma oranlı sistemlerde diffüz ısıma, yoğunlaştırıcının geliş açısına bağlı olarak alıcıya yansıtılır.

ρ yoğunlaştırıcının speküler yansıtıcılığıdır. Silindirik absorberli diffüz yansıtıcılarda diffüz yansıtıcılık olur. Eğer yoğunlaştırıcı bir reflektör(kırıcı) ise ρ kırıcının geçirgenliğidir. Diğer üç terim γ, τ ve α açıklık üzerine gelen ışınmanın geliş açısının fonksiyonudur. Her biri için geliş açısının etkileri tek olarak göz önüne alınabilir veya yukarıdaki eşitlikte yapıldığı gibi bir geliş açısı modifiyeri ile birleştirilebilir. γ alıcının absorblayıcı yüzeyi üzerine gelen yansıtılmış ışınların kesridir.

Yansıtıcı sistemleri kullanmanın amacı absorber alanını küçülterek çevreye olan ısı kayıplarını azaltmaktır. Çoğu yoğunlaştırıcı toplayıcı, yansıyan ışınların büyük kesrinin üzerine düşeceği yeterli büyüklükte alıcı yüzey inşa edilir. 0.9' dan daha yaygın γ değerleri yaygındır. Şekil 4.3' de lineer bir yoğunlaştırıcının (iki boyutlu) odak düzleminde oluşan görüntünün örneği görülmektedir. Şekil 4.3' deki dağılımı gösteren borular için yansıyan ışınları absorber üzerine düşme kesri Şekil 4.4 'de görülmektedir. Görüldüğü üzere 4 cm' den daha büyük yarıçaplı borularda $\gamma=1$ dir.



Şekil 4.3. Lineer yoğunlaştırmalı (görüntülü) bir toplayıcının odak düzlemindeki akı yoğunluğu (Alıcı yüzey A ve B noktaları arasındadır)



Şekil 4.4. Yansıtıcının odak noktasına yerleştirilmiş borular için γ faktörü (Löf vd. 1962)

τ alıcı üzerindeki kapak sisteminin geçirgenliğidir. Yansıtıcıdan kapağa gelen ışımanın geliş açısı kesin bilinmediği için bu değer hesaplanması zordur. α yansımış güneş ışıması için absorberin absorbtivitesidir ve τ 'daki ile aynı nedenlerden belirlenmesi güçtür.

Açıklık üzerine ışımanın geliş açısının normalden sapmalarını hesaba katmak için bir geliş açısı modifiyeri $K_{\gamma\tau\alpha}$ kullanılabilir. Absorblanmış ışımanın hesaplandığı eşitlikte yazıldığı gibi $K_{\gamma\tau\alpha}$, γ (yansıyan ışınların absorbere düşme kesri) üzerine ışımanın geliş açısının etkilerini içerir. Genel olarak ışımanın geliş açısı arttıkça odakta

oluşan görüntünün boyutu artacak ve yansımış ışınların alıcı üzerine düşme kesri azalacaktır. Yansıtıcının hatasız şekillendirilmesi, alıcı sistemin tam olarak odağa yerleştirilmesi ve iyi bir izleme sistemi ile $K_{\gamma\alpha}$ 'değerinin gerekliliği ortadan kalkacaktır.

Optik verim, güneş ışınlarına doğru yönelmiş bir yansıtıcı yüzeyden yansdıktan sonra absorber tarafından absorblanan net ışınım miktarıdır. Yoğunlaştırıcı bir toplayıcının optik verimi

$$\eta_o = \rho(\tau\alpha\gamma)_n \quad (4.8)$$

eşitliği ile hesaplanabilmektedir.

Yansıtıcı malzemenin yansıtıcılığında zamanla azalma olması, imalat ve montajda yapılan hatalar toplayıcının optik veriminin düşmesine neden olur. İmalat ve montajdan kaynaklanan hatalar;

- i. Yüzeydeki eğim hataları
- ii. Profil hataları, yansıtıcı yüzeyin yapılması gereken yüzeyden farklı olması
- iii. Sistem kurulurken yansıtıcının yanlış yönlendirilmesi ve takip hataları
- iv. Absorber borunun tam odak noktasına yerleştirilmemesi şeklinde sıralanabilir.

4.3. Güneş Hareketini İzleme Yöntemleri

Güneş Hareketini izleyen toplayıcılarda, izleyici tipinin seçiminin yanı sıra, izleme yönteminin seçimi de büyük önem taşır. İzleme yöntemleri temel olarak iki grupta incelenir:

- İki eksenli izleme
- Tek eksenli izleme

4.3.1. İki Eksenli İzleme

İki eksenli izleme yönteminde toplayıcı, birbirine dik iki eksen etrafında dönme hareketi yapar. Toplayıcı dizaynı yansıtıcının iki ekseninde hareket etmesini sağlayacak şekilde yapıldığından, güneşi sürekli takip etmesi nedeniyle güneş ışınımının doğrultusu ile yansıtıcı yüzey normali her zaman çakışıktır. Noktasal odaklama sağlarlar (Sayigh,1977).

Avantajları;

- Güneş ışınlarını mümkün olduğu kadar maksimum şekilde toplar
- Toplayıcıdan çıkan akışkan sıcaklığı çok yüksektir
- Atmosferik yutulmalardan dolayı ışınım şiddetindeki azalmalar hariç bütün gün boyunca aldığı enerji sabittir.

Dezavantajları;

- İzleyici açıları sürekli değiştiğinden bilgisayar ile kontrol edilen izleyici sistemine ihtiyaç vardır.
- Rüzgâr yükünün yarattığı problemlerle, zorlanma söz konusudur.
- İki eksenli izleme cihazlarının maliyeti yüksektir.
- Mekanik parçaları çok iyi dengelenmeli ve uzun süre kusursuz çalışabilmelidir.

4.3.2. Tek Eksenli İzleme

Bu tip izleme ile çizgisel odaklama sağlanır. Toplayıcı yerleştirme şeklinin oldukça önemli olduğu tek eksenli izleme yönteminde toplayıcı üç ayrı şekilde yerleştirilebilir (Sayigh, 1977).

4.3.2.1. Doğu-Batı Yatay Yerleştirme

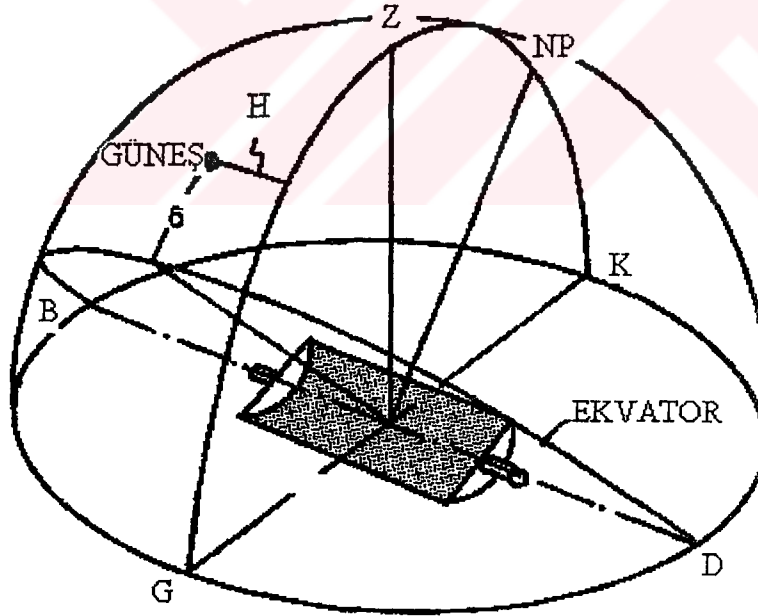
Bu izleme yönteminde toplayıcı doğu-batı eksenini boyunca yatay olarak yerleştirilir (Şekil 4.5) ve kuzey-güney eksenini boyunca güneşi takip eder. Toplayıcının güneş doğuşu ve batışındaki açıları aynıdır.

Avantajları;

- Gündönümleri dışında çok küçük izleme hassasiyetine ihtiyaç duyarlar
- Ekinoks zamanlarında güneşi sürekli izlemeye ihtiyaç yoktur.
- Aldığı enerji miktarı mevsimlere göre büyük farklılık göstermez.

Dezavantajları;

- Gündönümleri süresince güneşi çok hassas olarak izleyebilmek gerekir. Geliş açısındaki değişimler büyüktür.



Şekil 4.5. Doğu-batı yerleştirilmiş kuzey-güney ekseninde güneşi takip eden bir toplayıcının geometrisi

4.3.2.2.Kuzey - Güney Yatay Yerleştirme

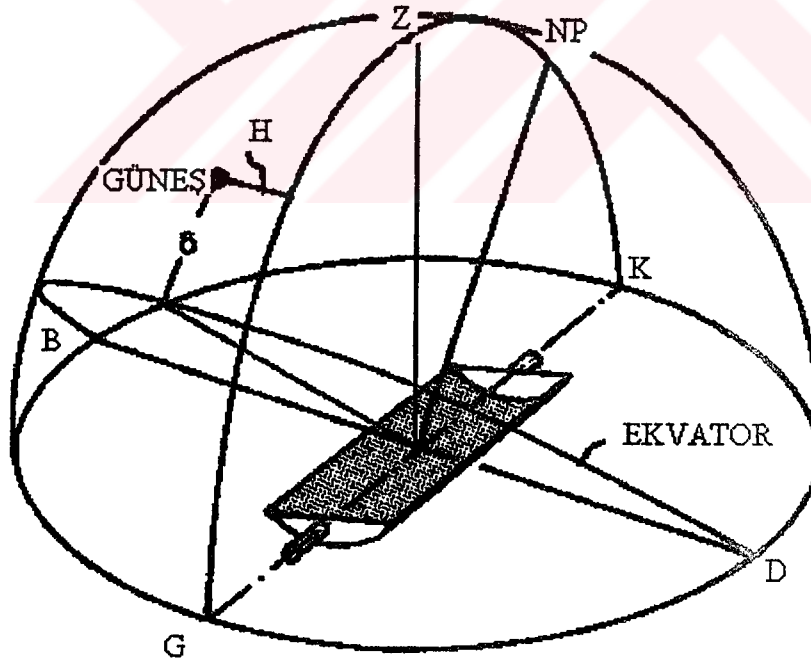
Bu izleme yönteminde toplayıcı kuzey-güney eksenı boyunca yatay olarak yerleştirilir (Şekil 4.6) ve doğu batı eksenı boyunca güneşı takip eder. Güneşı tam olarak izleyebilmek için büyük açısal hareket istendiğinden izleyici maliyeti yüksektir. Güneşı doğuşundan batışına kadar güneşı hassasiyetle takip etmek gerekir.

Avantajları;

- Yaz aylarında mümkün olduğu kadar güneş ışıınıını toplar. Güneşı gören etkili alanı büyüktür.

Dezavantajları;

- Yüksek enlem derecelerinde kış mevsiminde toplayıcı performansı çok düşüktür. Mevsimlik ışıınıım değeriindeki değışim fazladır.



Şekil 4.6. Kuzey-güney yatay yerleştirilmiş doğu-batı ekseninde dönen bir toplayıcının geometrisi

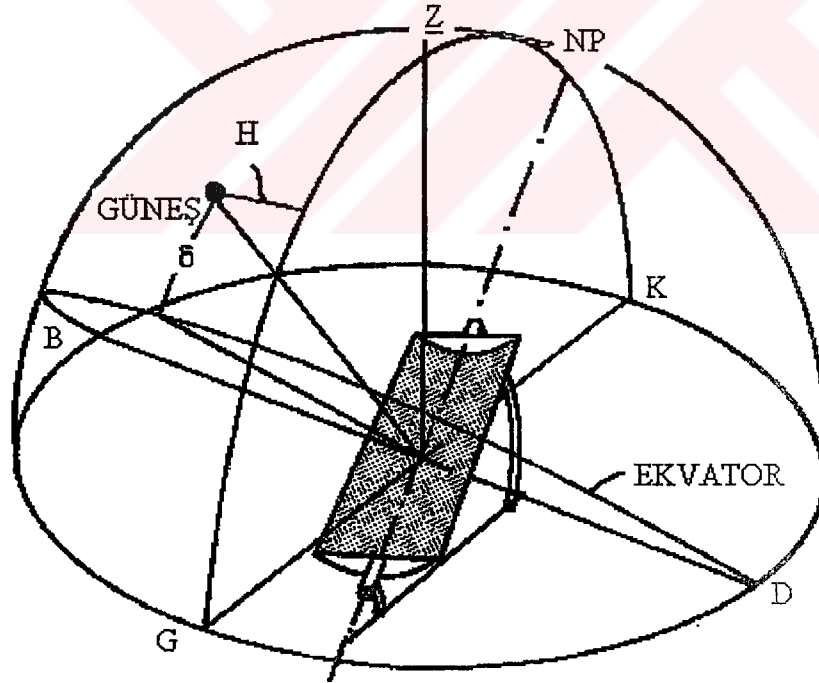
4.3.2.3.Kutupsal (Polar) Yerleştirme

Bu izleme yönteminde toplayıcı kuzey-güney eksenini boyunca ve yatay düzlem ile aralarında toplayıcının bulunduğu yörenin enlem açısına eşit bir açı yapacak şekilde yerleştirilir (Şekil 4.7).

Polar izleme yönteminde toplayıcı açıklık normali ile güneş ışınları arasında deklinasyon açısına eşit bir açı bulunduğundan güneş ışınımındaki azalma deklinasyon açısındaki değişime bağlıdır. Polar izleme yönteminde, iki eksenli izlemede elde edilen ışınım değerinden ortalama %4 daha az ışınım değeri elde edilir.

Avantajları;

- İki eksenli izleme yönteminde elde edilen ışınım değerine yakın güneş ışınımı toplar. Özellikle ekinoks zamanlarında iki eksenli izlemedeki performansı gösterir.



Şekil 4.7. Silindirik absorberli bir toplayıcının polar yerleştirilmesinin şematik diyagramı

Dezavantajları;

- Toplayıcı yerel enlem açısına eşit bir eğimle yerleştirildiğinden rüzgâr tesisat üzerinde problem yaratır. Mekanik parçaların dengelenmesi, dayanıklı olması ve uzun süre çalışması gerekir.

4.4. Yoğunlaştırıcı Toplayıcıların Temel Bileşenleri

Bir yoğunlaştırıcı toplayıcı temel olarak üç bölümden oluşur. Bunlar;

- Yansıtıcı yüzey (yoğunlaştırıcı)
- Geçirgen örtü (ışın geçirici yüzey)
- Absorber (ışın toplayıcı yüzey)

4.4.1. Yansıtıcı Yüzey (Yoğunlaştırıcı)

Yansıtıcı yüzeyin görevi, güneşten gelen ışınları yansıtarak odak bölgesinde yoğunlaşmasını sağlamaktır. Yansıtıcı yüzeyin öncelikle yansıtma katsayısının mümkün olduğu kadar yüksek olması, soğurma ve geçirme katsayısının düşük olması ve bu özelliklerini uzun süre koruması istenir. Başlıca yansıtıcılar parlak alüminyum, gümüşlenmiş cam, krom-nikel alaşımı vs. dir. Bu yansıtıcıların kendine has istenmeyen durumları vardır. Metal yansıtıcılar pahalı olup, yansıtıcılığı orijinal durumunu korumayıp zamanla azalmaktadır. Alüminyumun yansıtıcılığı belirli bir dalga boyu aralığında azalma gösterir. Yansıtıcılığı yüksek olan hem gümüş hem de alüminyum yüzeyler çevre şartlarından korunmazsa yansıtma oranları hızla azalarak kabul edilebilir seviyenin de altına düşer. Korunmamış alüminyum yüzeyler hava ile direkt temasta olduğundan yüzeyde ince bir oksit tabakası oluşmakta ve yüzeyin matlaşmasını geciktirmesine rağmen, yüzeyi çevre şartlarından uzun süre koruyamamaktadır.

Alüminyum ve gümüş yüzeyleri çevre şartlarından korumak için üzerine cam veya plastik şeffaf bir örtü geçirilir. Bu şeffaf örtüler ikinci yansıtıcı yüzey gibi davranırlar. Cam iyi bir koruyucu olmasına rağmen, yansıtıcı profillerin eğik şeklini vermek güçtür.

Plastik örtüler ise yansıtma kaybına sebep olduğu gibi gelen ışıının bir kısmını da absorblarlar. Gümüşlenmiş camda ise absorblayıcı özelliğinden dolayı yansıtıcılığında azalma meydana gelir (Rabl, 1979; Wright ve Mason, 1978). Bu nedenlerden dolayı pratikte paslanmaz çelik gibi daha düşük yansıtma oranına sahip malzemeler yansıtıcı yüzey yapımında kullanılırlar. Çeşitli yansıtıcı yüzeyler ve yansıtma kayıpları Tablo 4.1’ de verilmiştir.

4.4.2. Geçirgen Örtü

Düzlem toplayıcılarda absorber yüzeyin önüne, yoğunlaştırıcı toplayıcılarda ise absorber çevresine ısı kayıplarını azaltmak için ince geçirgen bir örtü geçirilir. Bu örtünün asıl amacı absorber yüzeyinden çevreye konveksiyon ve radyasyonla olan ısı kaybını azaltması , absorbere güneş ışıını ulaşmasını sağlaması ve yüzeyin yağmur dolu ve toz gibi dış etkenlerden korumasıdır. Kullanılan saydam örtünün, kısa dalga boylu güneş ışıını geçirme oranı büyük (ısı kazancı büyük) , absorberden yayılan uzun dalga boylu ışıınların dışarı çıkmaması için de uzun dalga boylu ışıınları geçirme oranının küçük olması istenir. Ayrıca kullanılan örtü malzemesi yüksek geçirgenlik katsayısına sahip olmalı, absorblama ve yansıtma katsayıları minimum olmalıdır.

Tablo 4.1. Çeşitli Yansıtıcı Yüzeyler İçin Yansıtma Katsayıları (Krider ve Kreith ,1981)

Malzeme	Yansıtma Katsayıları
Gümüş	0.94 ±0.02
Saf alüminyum	0.90
Anotlaştırılmış alüminyum	0.82± 0.05
Çeşitli alüminyum yüzeyler	0.82-0.92
Alüminyum ile kaplanmış yüzey	0.76
Altın	0.76 ±0.03
Bakır	0.75
Paslanmaz çelik	0.60 ±0.04
Gümüşlenmiş su beyazı cam	0.88

Toplayıcılarda geçirgen örtü olarak genellikle cam veya plastik esaslı malzemeler kullanılmaktadır. Camın avantajı, optik mekanik özelliklerinin uzun dönem aynı kararlılıkta kalmasıdır. Plastik malzemeler ise cama göre daha dayanıklı ve elastiktirler. Ancak çizilmeye ve aşınmaya karşı daha az dirençlidirler ve hava koşullarından çabuk etkilenebilirler.

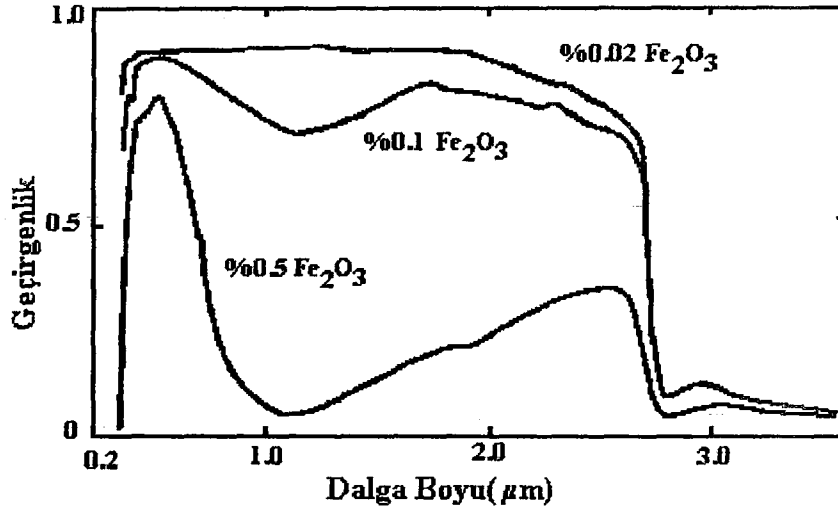
Gelen güneş ışınımının bir fonksiyonu olan yansıtma, geçirgenlik ve absorblama katsayıları örtü malzemesinin kalınlığına, kırılma indisine ve azalma katsayısına (K) bağlı olarak değişir. Güneş ışınımı geçiren kapak üzerine düştüğü zaman yüzey tarafından bir kısmı yansıtılır, bir kısmı absorblanır ve büyük bir kısmı ise geçirilir. Belirli bir dalga boyunda gelen ışınım için cismin yansıtıcılığı, absorbtivitesi ve geçirgenliği toplamı 1' dir.

Geçirgen örtünün geçirgenliğinin yüksek olması verimi artıran parametrelerden biridir. Camda güneş ışınımının absorblanması öncelikle camın içerdiği demiroksit (Fe_2O_3) oranına bağlıdır. Şekil 4.8'de 6 mm kalınlığında değişik oranlarda demiroksit içeren camların normal geliş açısında dalga boyuna bağlı olarak ışınım geçirgenliğinin değişimi görülmektedir. Fazla demir içeren camlar kenarlarından bakıldığında daha yeşil görünür. Demiroksit miktarı düşük olan camlar toplayıcı verimini artırır. Çeşitli saydam örtü malzemeleri Tablo 4.2' de verilmiştir.

4.4.3. Absorber

Yansıtıcının odak noktasına veya eksenine yerleştirilen absorber, yansıtıcıdan gelen güneş ışınımını alıp akışkana aktaran kısımdır. Güneş enerjisini toplayan sistemlerin en önemli kısmı absorberdir. Toplayıcı verimi, absorber yüzey kaplamasına, geometrisine ve yüzey için seçilen malzemenin özelliğine bağlı olarak değişir.

Absorberin ısı iletim katsayısı (k) büyük olmalı, ısı iletiminin hızlı olması için cidarı ince olmalı, absorbtivitesi (α) büyük ve uzun dalga boylu ışınımı yayma katsayısı (ϵ) küçük olmalıdır. Absorber olarak genellikle bakır, alüminyum veya



Şekil 4.8. Işımanın normal geliş açısında 6 mm kalınlığında farklı oranlarda demiroksit içeren camların geçirgenliğinin dalga boyuna göre değişimi (Tırıs vd. 1997)

Tablo 4.2. Çeşitli Saydam Örtü Malzemelerinin Özellikleri (Kılıç ve Öztürk,1983; Rabl,1985)

Malzeme	Kalınlık t (mm)	Kırılma indisi, n_k	τ_k	τ_u	Yoğunluk ρ (g/cm ³)	Max.dayanma sıcaklığı T_{max} (°C)
Acrylic (Plexiglass)	3.175	1.49	0.90	0.02	1189	93
Lexan (Polycarbonat)	3.175	1.58	0.84	0.02	1199	121
Teflon	0.050	1.34	0.96	0.25	2148	200
Tedlar	0.101	1.46	0.92	0.20	1379	66
Mylar	0.127	1.64	0.87	0.17	1394	150
Kynar	0.101	1.41	0.93	0.23	1770	-
Marlex	0.101	1.50	0.92	0.81	910	-
Düzgün cam	3.175	1.52	0.79	0.02	2400	730

τ_k : Kısa dalga boylu ışıınımı geçirme oranı ($\lambda=0.4-2.5$ mm)

τ_u : Uzun dalga boylu ışıınımı geçirme oranı ($\lambda=2.5-40$ mm)

paslanmaz çelik kullanılır. Bakırın ısı iletim katsayısı büyük, ancak pahalıdır. Çelik kolay temin edilir ancak korozyona uğrar. Alüminyum lehim ve kaynak durumlarına uygun değildir.

Güneş enerjisini toplayan sistemlerin verimini artıran en önemli parametre absorber yüzeye uygulanan kaplamanın özelliğidir. Absorber yüzey kaplamalarının görevi güneş ışımasını mümkün olduğu kadar absorblaması ve ısıya dönüştürmesidir. Absorber yüzey kaplaması olarak siyah mat boya ve seçici yüzey kaplamaları kullanılır.

4.4.3.1. Siyah Mat Boya

Siyah mat boyanın güneş ışımasını absorblama oranı (%90-98) yüksektir. Buna karşılık yayıcılığı da çok yüksek (%85-92) boyutlardadır. Siyah boya olarak genellikle polyester, akrilik ve epoksi reçine esaslı mat boyalar kullanılır. Mat boyalarda kullanılan dolgu malzemeleri ve bağlayıcılardaki organik kökler, yüzeyin seçici özelliklerini tahrip etmektedir. Dolayısıyla boyalar yalnızca atmosferik şartlara karşı koruyucu olmaktadır.

Boyalarda pigment malzemesi, kuruma sırasında polimerize olan organik bir yapıştırıcı ve boya filminin kolay sürülmesini sağlayan çözücülerden oluşur. Kuruma sırasında çözücü uçar ve pigment yapıştırıcı 0.025 mm-0.0075 mm kalınlığında bir film oluşturur. Yapıştırıcının uzun ömürlü ve çalışılan sıcaklıklara dayanıklı olması istenir. Güneş enerjisi uygulamalarında yüksek performans gösteren böyle bir yapıştırıcı satılmaktadır. Siyah pigment olarak genellikle karbon siyahı kullanılmaktadır. Karbon siyahı renk, ucuzluk ve dayanıklılık açısından bir çok avantajlara sahiptir. Bunlar güneş ışımasını iyi absorblamasına karşılık boya filminin seçicilik özelliği taşımasından dolayı yayma oranları da yüksektir ($\alpha=0.95$, $\epsilon=0.98$).

Boya 0.0013-0.0025 mm kalınlığındaki çok ince film şeklinde sürüldüğünde güneş ışımasını iyi absorbe eder, bunun yanında ısı ışımasına karşı saydam bir malzeme gibi davranırlar. Böyle bir yüzey parlak alüminyum üzerine kaplanırsa, pigment malzemesinin yüksek tutma özelliği, alüminyumun düşük yayma özelliği ile birleşirse seçici yüzey türünde bir davranış gösterirler. Bunların en iyileri krom, bakır, demir,

mangan'ın kalsine oksitlerinin karışım şeklinde oluşturulmuştur. Elde edilen en iyi optik değerler $\alpha=0.92$, $\epsilon=0.10-0.13$ olarak verilmektedir. Bu tür boyaların bu incelikte sürülmesi de ayrı bir uygulama sorunu teşkil etmektedir.

4.4.3.2. Seçici Yüzey Kaplamaları

Seçici yüzey çalışmalarındaki temel amaç, kısa dalga boylu ışının tamamına yakınının absorblanması, buna karşılık uzun dalga boylu ışının yayıcılığının en aza indirilmesidir. Böylece plakanın sıcaklığı daha fazla artırılarak, akışkana daha fazla ısı iletimi sağlanır. Seçici yüzeyler sıcaklık yükselmesinde daha az ışınım yayarlar, dolayısıyla toplayıcı verimi yükselir.

Güneş enerjisi toplayıcılarında, toplam enerji kazancını artırmak iki yolla mümkün olabilir;

- 3 μm 'den büyük dalga boylarında ışınım yansıtan kaplamaya sahip bir cam örtü kullanılması (böylece yutucu yüzeyden yayılan ışınım aynı yüzeye geri gönderilir)
- Isıl ışınımı düşük olan bir seçici yüzey kaplaması

Seçici yüzey kaplamaları 0.3-2.5 μm spektrum aralığında %90' ın üzerinde absorbtivite ve 2.5-50 μm infrared bölgesinde %10 civarında yayıcılık özelliği gösterir. Seçici yüzey olarak siyah nikel, siyah krom, siyah bakır, siyah demir, kobalt oksit kullanılmaktadır.

Absorber yüzey kaplamaları üç sınıfa ayrılır:

- | | |
|------------------------------|---|
| - Seçici kaplamalar | $0 \leq \epsilon \leq 0.2$ $\alpha > 0.9$ |
| - Yarı seçici kaplamalar | $0.2 \leq \epsilon \leq 0.5$ $\alpha > 0.9$ |
| - Seçici olamayan kaplamalar | $0.5 \leq \epsilon \leq 1.0$ $\alpha > 0.9$ |

Seçici yüzeyleri hazırlamak için, sputtering, kimyasal buhar depozisyonu, metal spreyi, kimyasal oksidasyon ve elektroliz gibi çeşitli teknikler kullanılır. Bu teknikler

arasında elektroliz işlemi gerek basit, gerekse ekonomik olması nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır.

Dünyada seçici yüzey kaplaması olarak iki tür kaplama ticari olarak kullanılmaktadır.

1-Alüminyumun anodik oksidasyonu ile oluşturulan poröz yüzeye nikel oksit ile yapılan renklendirme

2- Bakır üzerine nikel kaplanmış yüzeye siyah krom ile renklendirme

Alüminyumun anodik oksidasyonu ile oluşturulan poröz yüzeye nikel oksit ile yapılan renklendirme iki basamaktan oluşur. Birinci basamakta, fosforik asit ile poröz anodik yapı elde edilir. Ancak bu yapıyı elde etmeden önce yüzeyin hazırlanması gerekir. Alüminyum levhanın yağı alındıktan sonra, sodyum hidroksit ile dağlanır ve sıcak derişik asit ile kimyasal olarak parlatılır. Bu banyonun sıcaklığı 25 °C olarak sabit tutulur ve 30V doğru akım uygulanır. İkinci basamakta borik asit ile tamponlanmış nikel sülfat banyosunda 20 °C de alternatif akım uygulanarak renklendirme yapılır. Oldukça yumuşak olan bu kaplamanın korunması ve optik özelliklerinin daha da iyileştirilmesi için koruyucu yüzey (kalay oksit vb.) kaplanması gerekir.

Günümüzde siyah nikel kaplamanın yapılacağı malzeme olarak alüminyum tercih edilmektedir. Çünkü alüminyum ucuz ve hafif olup kaplama teknolojisi karışık ve zor işlemler içermemektedir. Ancak siyah nikelin atmosfere karşı direncini artırmak için mutlaka koruyucu kaplama ile kaplanması gereklidir.

Siyah krom, bakır üzerine nikel kaplanmış yüzeyler üzerine kaplanırlar. Bu tipte kaplamalar toplayıcı kullanım ömründe ve kalite açısından önemli bir değişime neden olmazlar. Paslanmaz çelik üzerine direkt olarak kaplanan siyah krom da aynı özellikleri gösterir. Siyah krom, alüminyum üzerine kaplandığında ara filmlere gerek vardır, imalatları daha zor ve karmaşıktır.

Nikel pigmentli alüminyum oksit kaplamalar alüminyum üzerine kaplanır. Bu “Eloksal” adı verilen özel bir oksidasyon yöntemidir. Laboratuar çalışmaları ve

ölçümler bu tip kaplamaların toplayıcıda yüksek neme çok duyarlı olduğunu göstermektedir. Kaplamaların kalitesi, bir çok faktörlere ek olarak temelde banyoların niteliğine ve kalitesinin korunmasına bağlıdır.

Galvanik kaplama yöntemlerinin en büyük dezavantajı imhası zor atıkların ortaya çıkmasıdır. Ek olarak kaplamada gereken enerji göz ardı edilmemelidir. Nikel pigmentli alüminyum oksit, siyah krom kaplamaya göre daha basit yöntemlerle yok edilmesi ve üretim aşmasında daha az enerjiye gereksinin gereksinin duyulmasından dolayı tercih edilir. Tablo 4.3'de dünyadaki ticari bazı uygulamalar verilmiştir.

Tablo 4.3. Dünyada Seçici Yüzeyle İlgili Bazı Uygulamalar (Tiris vd.,1997)

Toplayıcı (yapımcı firma)	Absorber Kaplama (Yapımcı firma)	Absorberin Ticari ismi	Absorber Kaplama Türü	Malzeme	α	ϵ
Agema SA; İsviçre	Energie Solarie SA İsviçre	Energie Solarie	Siyah Krom	Paslanmaz saç	0.94	0.16
Schweizer Metallbau, İsviçre	Thermafin Solar ABD	Thermafin	Siyah Krom	Bakır	0.94	0.16
Tekno Term AB İsveç	Granges, İsveç	Sunstrip	Nikel Pigment Anodize Al	Alüminyum	0.93	0.16
VDM, Alüminyum GmbH, Almanya	VDM, Alüminyum GmbH, Almanya	Evidal-S	Nikel Pigment Anodize Al	Alüminyum	0.92	0.18
Arbonia, İsviçre	INCO Selective surface Ltd. İngiltere	Maxorb	Nikel folyo üzerine siyah Ni	Alüminyum	0.94	0.09
George Bucher GmbH, Almanya	George Bucher GmbH, Almanya	Bucher	Paslanmaz saçın kimyasal dönüşümü	Paslanmaz saç	0.85	0.11
AMCOR	Solarion, İsrail	Solarion 2000	Siyah krom	Paslanmaz saç	0.95	0.10

4.5. Yoğunlaştırıcı Toplayıcıların Termal Performansı

Yoğunlaştırıcı toplayıcıların termal performansı, açıklığın birim alanı başına absorblanmış ışıma, yoğunlaştırıcı ve alıcının optik karakteristikleri ve ışımadan hesaplanır. Alıcıdan çevreye olan termal kayıplar dikkate alınmalıdır. Bunun için alıcının birim alanını temel alan U_L kayıp katsayısı terimi kullanılır. Prensipinde, enerji denge hesaplamalarında akışkanın giriş sıcaklığının kullanımına olanak veren kazanç faktörü F_R ile, alıcı üzerindeki sıcaklık gradienti açıklanabilir.

Alıcılardan termal kayıpların hesaplanma yöntemleri, düzlem toplayıcılarda olduğu gibi kolayca özetlenemez. Şekiller ve dizaynlar oldukça değişkendir, sıcaklıklar daha yüksektir, kenar etkileri daha önemlidir., kondüksiyon terimleri oldukça yüksektir ve alıcı üzerine gelen ışıma akısı üniform değildir. Üniform olmayan ışıma akısı enerji absorblayan yüzey boyunca önemli sıcaklık gradientine sebep olabilir. Termal kayıpların hesaplanmasında tek bir genel metot göstermek zordur ve sonuçta her bir alıcı geometrisi özel olarak analiz edilmelidir.

Absorber üzerine yerleştirilen geçirgen kapak fark edilir miktarda güneş ışımasını absorblamıyorsa termal kayıplar gelen güneş ışımasının şiddetinden bağımsız olarak hesaplanabilir. Odaklama sistemleri için de bir etkin geçirgenlik-absorbtivite çarpımı kullanılmalıdır.

4.5.1. Anlık Verim

Güneş enerjisi toplayıcılarında anlık ısı verim; akışkana aktarılan ısı enerjisinin, güneş toplayıcısının güneşi gören net alanına gelen toplam güneş ışımasına oranı olarak tanımlanır. Yoğunlaştırıcı toplayıcılarda çoğunlukla direkt güneş ışıması değeri kullanılır.

$$\eta = \frac{Q_u}{A_a I} \quad (4.9)$$

Burada A_a yoğunlaştırıcı açıklığının gölgelenmemiş alanı, I direkt ışıma (W/m^2), Q_u ise faydalı ısıdır.

$$\text{Faydalı ısı } (Q_u) = \text{Alıcı yüzey tarafından absorblanmış güneş ışıması}(Q_a) - \text{Alıcı yüzeyden çevreye transfer olan ısı } (Q_t) \quad (4.10)$$

Alıcı yüzey tarafından absorblanan güneş ışıması miktarı toplayıcının optik özelliklerine bağlıdır.

$$Q_a = I\rho(\tau\alpha\gamma)_n A_a = I\eta_o A_a \quad (4.11)$$

A_r alıcı alanı, silindirik bir alıcı için D_o dış çapı göstermek üzere $\pi D_o L$ dir. Alıcı yüzeyden çevreye transfer olan ısı enerjisi ise, ısı kayıp katsayısı (U_L) ile sıcaklık farkının bir fonksiyonudur.

$$Q_t = U_L A_r \Delta T \quad (4.12)$$

Burada U_L ısı kayıp katsayısı W/m^2K , ΔT toplayıcının çalışma sıcaklığı ile çevre sıcaklığı arasındaki fark ($^{\circ}C$) tır.

Faydalı ısı enerjisi bu eşitlikler yardımıyla yeniden ifade edilirse;

$$Q_u = F[I\rho(\alpha\tau\gamma)_n A_a - U_L A_r \Delta T] \quad (4.13)$$

Bu denklemde F toplayıcı ısı transfer faktörüdür ve

$$\Delta T = T_r - T_a \text{ ise } F=1$$

$$\Delta T = T_m - T_a \text{ ise } F=F'$$

$$\Delta T = T_i - T_a \text{ ise } F=F_R$$

değerini alır. Burada;

$$T_r, \text{ Alıcı yüzey sıcaklığı } (^{\circ}C)$$

$$T_a, \text{ Çevre sıcaklığı } (^{\circ}C)$$

T_m , Ortalama akışkan sıcaklığı (°C)

T_i , Akışkanın toplayıcıya giriş sıcaklığı (°C)

F' , Toplayıcı verim faktörü

F_R , Toplayıcı ısı kazanç faktörü

Yoğunlaştırıcı bir toplayıcı için en çok kullanılan anlık verim denklemi;

$$\eta = \frac{Q_u}{A_a I} = F_R \left[\eta_o - U_L \frac{A_r}{A_a} \left(\frac{T_i - T_a}{I} \right) \right] \quad (4.14)$$

şeklindedir. Faydalı ısı akısına ait parametreleri içerecek şekilde ifade edilebilir.

$$Q_u = m C_p (T_o - T_i) \quad (4.15)$$

Burada:

m , Toplayıcıdan geçen akışkan debisi (kg/s)

C_p , Toplayıcıdan geçen akışkanın ısı kapasitesi (J/kgK)

T_o , Akışkanın toplayıcıdan çıkış sıcaklığı (°C)

Bu durumda anlık verim aşağıdaki denklem yardımı ile de bulunabilir.

$$\eta = \frac{m C_p (T_o - T_i)}{A_a I} \quad (4.16)$$

4.5.2. Toplayıcı Verim Faktörü

Toplayıcı verim faktörü, çevresinden akışkana tüm ısı transfer katsayısının U_o , ısı kayıp katsayısına U_L oranıdır.

$$F' = \frac{U_o}{U_L} \quad (4.17)$$

Isı kayıp katsayısı U_L absorber dış yüzeyinden çevreye radyasyon, konveksiyon ve rüzgâr kayıplarını içerir.

$$U_L = h_w + h_r + h_c \quad (4.18)$$

Absorber üzerine cam örtü koyulması ve/veya aradaki havanın vakumlanması durumları için U_L 'nin hesaplama yöntemleri farklılık gösterir.

Borunun dış çapı temel alınarak çevresinden akışkana tüm ısı transfer katsayısı

$$U_o = \left[\frac{1}{U_L} + \frac{D_o}{h_{fi} D_i} + \frac{D_o}{2k} \ln \left(\frac{D_o}{D_i} \right) \right]^{-1} \quad (4.19)$$

şeklindedir. Burada D_o ve D_i sırasıyla absorber borunun dış ve iç çapı, k boru malzemesinin ısı transfer katsayısı (W/mK), h_{fi} absorberin akışkanla temas ettiği iç yüzeyde film ısı transfer katsayısı (W/m²K) dir

Vakumlanmamış hava ısıtıcılarında $F'=0.8-0.9$ sıvı ısıtıcılarında $F'=0.9-0.95$, vakumlu toplayıcılarda $F'=0.95-1.00$ değerleri arasındadır.

4.5.3. Toplayıcı Isı Kazanç Faktörü

Isı kazanç faktörü, faydalı enerjinin alıcı yüzeyin her noktasının akışkan giriş sıcaklığında olması halindeki faydalı enerjiye oranıdır. Aşağıdaki (4.20) eşitliğiyle hesaplanabilir.

$$F_R = \frac{Q_u}{Q_{u(Ty=T_g)}} \quad (4.20)$$

$$F_R = \frac{mC_p}{A_r U_L} \left[1 - \exp\left(-\frac{A_r U_L F'}{mC_p}\right) \right] \quad (4.21)$$

F_R miktarı konvensiyonel bir ısı değıştiricinin etkinliğine eşittir. Gerçek ısı transferinin mümkün olan maksimum ısı transferine oranı olarak tanımlanır. Bir güneş enerjisi toplayıcısının mümkün olan maksimum yararlı enerji kazancı, tüm toplayıcı akışkan giriş sıcaklığında olduğunda gerçekleşir. Bu anda çevreye ısı kayıpları minimumdur. Toplayıcı ısı kazanç faktörü ile mümkün olan maksimum yararlı enerji kazancının çarpımı gerçek yararlı enerji kazancına (Q_u) eşittir.

$$Q_u = F_R (I \eta_o A_a - U_L A_r (T_i - T_a)) \quad (4.22)$$

Bu denklemle yararlı enerji kazancı akışkan giriş sıcaklığının bir fonksiyonu olarak hesaplanır. Güneş enerji sistemleri analiz edildiği zaman bu denklem uygun bir ifadedir, çünkü akışkan sıcaklığı genellikle bilinir. Ancak kayıplar absorberden tüm toplayıcı boyunca meydana geldiğinden ve absorberin akış yönünde sıcaklığı arttığından akışkan giriş sıcaklığını temel alan kayıplar çok küçüktür.

F_R çarpımının etkisi, toplayıcı absorberinin akışkan giriş sıcaklığında olduğu zamanki yararlı enerji kazancını gerçekte meydana gelen değere azaltmaktadır. Toplayıcı boyunca kütle akış hızı arttığından, toplayıcı boyunca sıcaklık yükselmesi azalır. Toplayıcı ortalama sıcaklığı daha düşük olduğundan bu durum daha az kayıplara sebep olur. Buna karşılık yararlı enerji kazancında bir artış vardır. Kütle transfer hızı arttığı için , bu artış toplayıcı ısı kazanç faktörüne bir artış olarak yansır. Toplayıcı ısı kazanç faktörü F_R , verim faktöründen (F') büyük olamaz. Akış hızı çok büyük olduğu için, girişten çıkışa sıcaklık yükselmesi sıfıra doğru azalır, ancak absorblayıcı yüzey sıcaklığı yine de akışkan sıcaklığından büyük olacaktır. Bu sıcaklık farkı, toplayıcı verim faktörü (F') ile açıklanır.

4.5.4. Toplayıcı Akış Faktörü

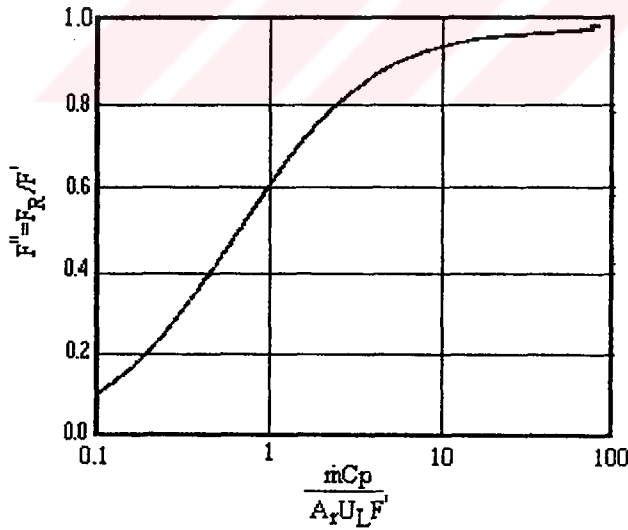
Toplayıcı akış faktörü F'' , ısı kazanç faktörünün (F_R) verim faktörüne F' oranıdır.

$$F'' = \frac{F_R}{F'} = \frac{mC_p}{A_r U_L F'} \left[1 - \exp\left(-\frac{A_r U_L F'}{mC_p}\right) \right] \quad (4.23)$$

Toplayıcı akış faktörü, tek bir değişkenin, boyutsuz toplayıcı kapasite hızının ($mC_p/A_r U_L F'$) fonksiyonudur ve değişimi Şekil 4.9'da verilmiştir.

4.5.5. Toplayıcı Isı Kayıp Katsayısı

Güneş enerjisi toplayıcılarında alıcı yüzey sıcaklığı her zaman çevre sıcaklığından daha yüksek olduğu için absorberden çevreye ısı kaybeder. Kaybedilen ısı miktarının hesabı için ısı kayıp katsayısı tanımına ihtiyaç vardır.



Şekil 4.9. $mC_p/A_r U_L F'$ 'nün fonksiyonu olarak toplayıcı akış faktörü

Silindirik, üzeri geçirgen örtü ile çevrilmiş ararı vakumlanmamış bir absorber için ısı kayıp katsayısı alıcı yüzey ile çevre arasındaki ısı dirençler yardımı ile hesaplanabilir.

Şekil 4.10'daki ısı dirençler yardımıyla ısı kayıp katsayısının değeri

$$U_L = \left[\frac{A_r}{(h_w + h_{r,c-a})A_c} + \frac{1}{h_{r,p-c} + h_{c,p-c}} \right]^{-1} \quad (4.24)$$

ifadesiyle hesaplanabilir. Burada;

h_w , rüzgâr konveksiyon katsayısı (W/m^2K)

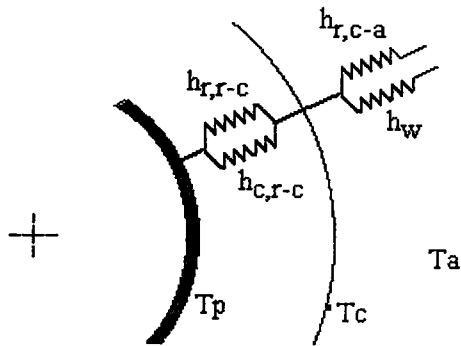
$h_{r,c-a}$, cam kapaktan çevreye radyasyon ısı transfer katsayısı (W/m^2K)

$h_{r,r-c}$, absorberden cama radyasyon ısı transfer katsayısı (W/m^2K)

$h_{c,r-c}$, absorber ile cam arasındaki konveksiyon katsayısı (W/m^2K)

Cam kapaktan çevreye radyasyon katsayısı $h_{r,c-a}$

$$h_{r,c-a} = \epsilon_c \sigma (T_c^2 + T_a^2) (T_c + T_a) \quad (4.25)$$



Şekil 4.10. Silindirik alıcı yüzeyli, vakumsuz, yoğunlaştırıcı toplayıcının ısı kayıp katsayısının hesabı için ısı dirençler

eşitliği ile veya lineerize edilmiş radyasyon katsayısı ile aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir.

$$h_{r,c-a} = 4\sigma\bar{T}^3 \quad \bar{T} = (T_c + T_a)/2 \quad (4.26)$$

Alıcı yüzeyinden cam kapağa radyasyon katsayısı $h_{r,r-c}$

$$h_{r,r-c} = \frac{\sigma(T_p^2 + T_c^2)(T_p + T_c)}{\frac{1-\epsilon_p}{\epsilon_p} + 1 + \frac{1-\epsilon_c}{\epsilon_c} + \frac{D_p}{D_c}} \quad (4.27)$$

Rüzgâr konveksiyon katsayısı için McAdams (1954) tarafından aşağıdaki eşitlik geliştirilmiştir.

$$h_w = 5.7 + 3.8V \quad (4.28)$$

Burada V rüzgâr hızı (m/s) h_w ise W/m²K dir. Eğer h_w 'in birimi kJ/m²hK olarak değiştirilirse

$$h_w = 4.9 + 3.27V \text{ olur.} \quad (4.29)$$

Ayrıca rüzgâr konveksiyon katsayısı için Watmuff vd. (1977) tarafından aşağıdaki eşitlik geliştirilmiştir.

$$h_w = 2.8 + 3.0V \quad (4.30)$$

Tek bir boru boyunca hava akış hızı için, Mc Adams eşitliği modifiye edilere rüzgâr konveksiyon katsayısı (h_w) bulunabilir (Duffie ve Beckman,1991).

$$Nu = 0.40 + 0.54 Re^{0.52} \quad 0.1 < Re < 1000 \quad (Nu = \frac{h_w d_{cam}}{k_{hava}}) \quad (4.31)$$

$$Nu = 0.30 Re^{0.6} \quad 1000 < Re < 50000 \quad (4.32)$$

Absorber yüzeyi ile cam boru arasındaki konvektif ısı transfer katsayısını ($h_{c,r-c}$) belirlemek için aşağıdaki eşitlik kullanılabilir (Eltez,1996).

$$h_{c,r-c} = 0.062(Ra)^{0.33} k / X \quad (4.33)$$

Burada $Ra = g\beta X^3 \Delta T / K\nu$; $X=1/2(D_{ci}-D_{\infty})$; $\Delta T=T_{port}-T_{\infty}$

k , havanın termal iletkenliği(W/mK)

K , havanın termal difüzyivitesi(m^2/s)

ν , havanın kinematik viskozitesi(m^2/s)

g , yerçekimi ivmesi (m/s^2)

β , ideal bir gaz için $1/T_{fm}$ (ortalama akışkan sıcaklığı)

Doğal konveksiyon ile ısı transferinin gerçekleştiği absorber-cam boru ara yüzeyi için bir başka eşitlik Demirel ve Kunç(1987) tarafından önerilmektedir.

$$h_{c,r-c} = 0.54Ra^{1/4} k / X \quad (4.34)$$

Cam örtü içerisine alınmış silindirik bir alıcı yüzey için ısı kayıp katsayısı; sıcaklık değişimlerinden çok, cam boru ile silindirik alıcı yüzey arasındaki mesafeye ve aradaki boşluğun vakumlu veya vakumsuz olmasına göre değişik değerler alır. Aradaki boşluğun havasının alındığı hallerde ısı kayıp katsayısının değişimi çok küçüktür. Pratikte, ısı kayıp katsayısının değeri sıcaklığa bağlı olarak büyük değişim göstermediğinden ısı dirençler yöntemi ile hesabı yerine, genellikle mükemmel bir yaklaşımla bilinen çalışma şartlarına bağlı olarak sabit seçilir. Bu yaklaşımla verim ifadesi lineer bir hale gelir.

$$\eta = F_R \rho(\tau\alpha)_n - \frac{A_r}{A_a} F_R U_L \frac{(T_i - T_a)}{I} \quad (4.35)$$

Bu ifadeye göre $(T_i-T_a)/I$ terimine karşılık verimdeki değişim grafiğe geçirilirse bir doğru elde edilir.

Şekil 4.11' deki doğrunun eğimi $F_R U_L A_r / A_a$ kayması $F_R \rho(\tau\alpha\gamma)_n$ değerlerini verir. $\rho(\tau\alpha\gamma)_n$ değeri toplayıcı konstrüksiyonunda kullanılan malzemelerin özellikleri olduğundan sabittir ve kayma değerinden F_R kolaylıkla belirlenir. Benzer olarak A_r / A_a değeri bilindiği için eğimden ısı kayıp katsayısı hesaplanır.

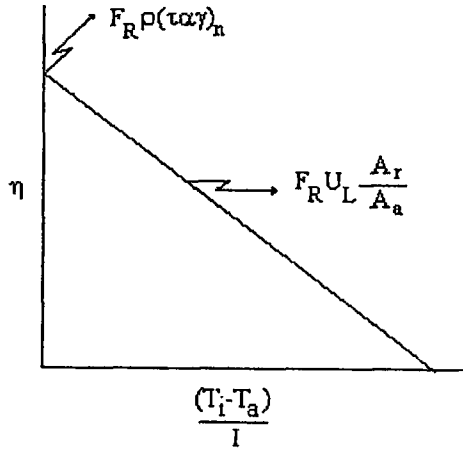
4.5.6. İçten Akış İçin Isı Transfer Eşitlikleri

Yaygın geometriler için ısı transfer katsayıları çoğu ısı transfer kitaplarında verilmiştir (Incropera ve DeWitt, 1985; Kays ve Crawford, 1980; McAdams, 1954).

Boruların içinden akan tam gelişmiş türbülent akış için (örn. $Re = \rho V D_H / \mu > 2200$) Kays ve Crawford, Petukhov eşitliğinin kullanılabileceğini önermektedirler.

$$Nu = \frac{(f/8) Re Pr}{1.07 + 12.7 \sqrt{f/8} (Pr^{2/3} - 1)} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^n \quad (4.36)$$

Burada ısıtma için $n=0.11$, soğutma için $n=0.25$ dir.



Şekil 4.11. F_R ve U_L 'nin grafiksel belirlenmesi

Paralel plaka hava ısıtıcılarında tam gelişmiş akış için aşağıdaki eşitlik kullanılabilir (Niles vd. 1978).

$$Nu = 0.033 Re^{0.8} Pr^{1/3} \quad (4.37)$$

Pürüzsüz bir absorber için Blasius ve Dittus Boelter eşitliği de kullanılabilir (Prasad ve Saini, 1988).

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.6} \quad (4.38)$$

Keskin kenarlı girişi olan ve L/D oranı 1.0' den daha büyük olan kısa borular için McAdams, Nu sayısının aşağıdaki gibi hesaplanacağını söylemiştir.

$$Nu_k = Nu_u \left[1 + \left(\frac{D}{L} \right)^{0.7} \right] \quad (4.39)$$

Türbülent akış bölgesi için bir diğer eşitlik Nusselt(1931) tarafından geliştirilmiştir.

$$Nu = 0.036 Re^{0.8} Pr^{1/3} (D_h / L)^{0.055} \quad (4.40)$$

Geçiş bölgesinde ($2300 < Re < 6000$) bir boru içindeki akış için ısıtma bölümünü başlangıcı ve L pozisyonu arasında ortalama Nu sayısı Housen(1943) eşitliğiyle hesaplanır.

$$Nu = 0.116 [Re^{2/3} - 125] Pr^{1/3} \left[1 + (D_h / L)^{2/3} \right] (\mu / \mu_w)^{0.14} \quad (4.41)$$

Borularda laminar akış için termal sınır şartları önemlidir. Tam gelişmiş hidrokinamik ve termal profillerle, Nusselt sayısı sabit duvar sıcaklığı için 3.7 'ye sabit duvar akısı için 4.4 'e eşittir.

Bir güneş toplayıcısındaki termal durum, sabit çevre sıcaklığı ve akan akışkan arasındaki sabit bir direnç ile gösterilir. Eğer bu direnç büyükse termal sınır şartı sabit ısı akısına yaklaşır, bu direnç küçükse termal sınır şartı sabit sıcaklığa yaklaşır. Bu nedenle bir güneş toplayıcısının teorik performansı, sabit duvar akısı ve sabit sıcaklık

için elde edilen sonuçlar arasında bulunmalıdır. Sabit duvar sıcaklığı kabulü daha düşük ısı transfer katsayıları verdiği için, bu ılımlı dizayn için tavsiye edilen bir kabuldür.

Kısa borular için, termal ve hidrodinamik sınır tabakaların oluşması , boru girişi yakınında ısı transfer katsayısında önemli bir artış meydana getirecektir. Heaton vd.(1964) yerel Nusselt sayıları için aşağıdaki eşitliği geliştirmişlerdir.

$$Nu = Nu_{\infty} + \frac{a(Re Pr D_h / L)^m}{1 + b(Re Pr D_h / L)^n} \quad (4.42)$$

Burada a,b,m ve n sabittir ve değerleri değişik durumlar için Tablo 4.4, 4.5 ve 4.6' da verilmiştir.

Tablo 4.4. Sabit Isı Hızına Sahip Dairesel Borular İçin Yerel Nu Hesaplanmasında (4.42) Eşitliğinin Sabitleri

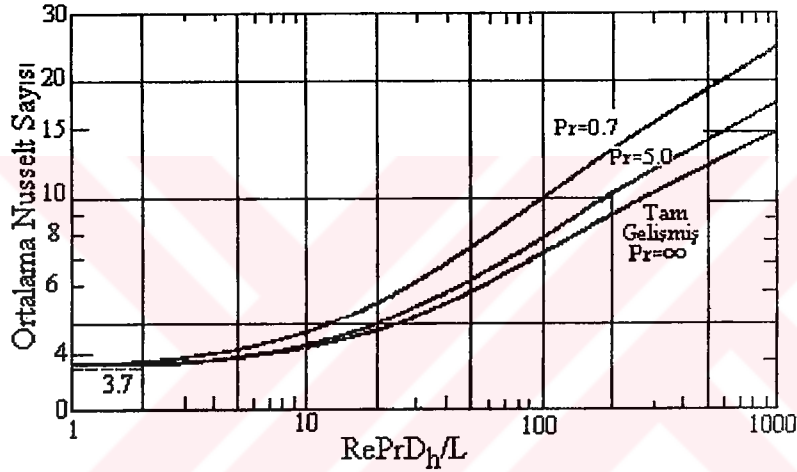
Prandtl sayısı	a	b	m	n
0.7	0.00398	0.0114	1.66	1.12
10	0.00236	0.00857	1.66	1.13
∞	0.00172	0.00281	1.66	1.29
$Nu_{\infty}=4.4$				

Tablo 4.5. Sabit Duvar Sıcaklığındaki Silindirik Borular İçin Ortalama Nu Hesaplanmasında (4.42) Eşitliğinin Sabitleri

Prandtl sayısı	a	b	m	n
0.7	0.0791	0.0331	1.15	0.82
5	0.0534	0.0335	1.15	0.82
∞	0.0461	0.0316	1.15	0.84
$Nu_{\infty}=3.7$				

Tablo 4.6. Bir Tanesi İzole Edilmiş Diğer Sabit Isı Akısında Sonsuz Düzlem Plakalarda Yerel Nu Hesaplanması İçin (4.42) Eşitliğinin Sabitleri

Prandtl sayısı	a	b	m	n
0.7	0.00398	0.0114	1.66	1.12
10	0.00236	0.00857	1.66	1.13
∞	0.00172	0.00281	1.66	1.29
$Nu_{\infty}=5.4$				



Şekil 4.12. Çeşitli Prandtl sayıları için kısa borularda ortalama Nu sayısı (Laminer akışta, sabit duvar sıcaklığında silindirik borular için)

Bir tarafı sabit sıcaklıkta diğer tarafı izole edilmiş paralel plakalar için Mercer vd. (1967) ortalama Nu sayısının $0.1 < Pr < 10$ için aşağıdaki eşitlikle hesaplanabileceğini belirtmektedir.

$$Nu = 4.9 + \frac{0.0606(Re Pr D_h / L)^{1.2}}{1 + 0.0909(Re Pr D_h / L)^{0.7} Pr^{0.17}} \quad (4.43)$$

$0 < Ra < 10^5$ ve $0^\circ \leq \phi \leq 60^\circ$ aralığında eğik plakalar arasında doğal konveksiyon ile akış için Hollands vd. (1976) korelasyonu kullanılır.

$$Nu = 1 + 1.44 \left[1 - \frac{1708(\sin 1.8\phi)^{1.6}}{Ra \cos \phi} \right] \left[1 - \frac{1708}{Ra \cos \phi} \right]^+ + \left[\frac{(Ra \cos \phi)^{1/3}}{5830} - 1 \right]^+ \quad (4.44)$$

$[]^+$ notasyonu parantez içindeki değerin negatif olduğunu belirtmek için kullanılır.

Yapay pürüz yüksekliğine sahip absorber plakalı bir hava ısıtıcı için ısı transfer katsayısı aşağıdaki eşitlikle verilir (Gupta, 1994).

$e^+ < 35$ için

$$h = 0.0024 \left(\frac{e}{D_h} \right)^{0.001} \left(\frac{W}{H} \right)^{-0.06} (Re)^{1.084} \exp[-0.04(1 - \alpha/60)^2] \frac{k}{D_h} \quad (4.45)$$

$e^+ > 35$ için

$$h = 0.0071 \left(\frac{e}{D_h} \right)^{-0.24} \left(\frac{W}{H} \right)^{-0.028} (Re)^{0.88} \exp[-0.475(1 - \alpha/60)^2] \frac{k}{D_h} \quad (4.46)$$

Burada, e^+ , pürüzlülük Re sayısı $[(e/D_h)(\sqrt{f/2})Re]$; e/D_h , bağıl pürüz yüksekliği; H , kanal yüksekliği(m); W , hava ısıtıcı kanalının genişliği(m).

Sürtünme Faktörü ve Basınç Düşüşü

Düz bir borudan akışkan akımı için basınç düşüşü ifadesi aşağıdaki şekilde verilir.

$$\Delta P = 2f \frac{G^2}{\rho_f} \frac{L}{D_h} \quad (4.47)$$

Sürtünme faktörü için değişik ifadeler mevcuttur.

- Darcy sürtünme faktörü (Duffie ve Beckman, 1991)

$$f = (0.79 \ln Re - 1.64)^{-2} \quad (4.48)$$

- Blasius ve Dittus – Boelter'e göre (Prasad ve Saini, 1988)

$$f = 0.079 Re^{-0.25} \quad (4.49)$$

- Wong'a göre (Wong, 1977)

$$f = 0.059 Re_h^{-0.2} \quad (4.50)$$

Yapay olarak pürüzlendirilmiş hava ısıtıcılar için sürtünme faktörü aşağıdaki eşitlikle verilir (Gupta,1994).

$$f = 0.1911(e/D)^{0.196} \left(\frac{W}{H} \right)^{-0.093} Re^{-0.165} \exp[-0.993(1 - \alpha/70)^2] \quad (4.51)$$

Dolgulu yataklarda basınç düşüşü ve ısı transfer katsayıları

Dolgulu ortamda sürtünme faktörü ve basınç düşüşü Ergun(1952) tarafından aşağıdaki eşitlikle ifade edilmiştir.

$$f = 150 \left[\frac{1 - \xi}{Re_h} + 1.75 \right] \quad (4.52)$$

$$\Delta P = f \frac{G^2}{\rho_f} \frac{L}{D_h} \frac{(1 - \xi)}{\xi^3} \quad (4.53)$$

Boşluk kesri ξ 'nin mevcut olmadığı durumlarda Dunkle ve Ellul (1972) eşitliği kullanılabilir.

$$\Delta P = \frac{LG^2}{\rho_f D_d} \left(21 + 1750 \frac{\mu}{GD_d} \right) \quad (4.54)$$

Burada D_d dolgu çapıdır. U kesiti için;

$$\Delta P = \frac{KG^2}{2\rho} \quad (4.55)$$

Burada G, kütleli akış hızı, kg/m^2s ; K, U kesiti için 1' dir(ASHRAE,1989).

Pompalama gücü ise;

$$P = \frac{G\Delta P}{\rho} \quad (4.56)$$

Dolgulu kanallarda Re sayısı;

$$Re = \frac{4r_h G}{\mu} \quad (4.57)$$

r_h , hidrolik yarıçap, dolgulu kanallar için boş hacmin nemli yüzeye oranıdır (Varshney ve Saini, 1998).

$$r_h = \frac{\xi D_d}{4(1-\xi)} \quad (4.58)$$

Dolgulu ortamda hacimsel ısı transfer katsayısı ve film ısı transfer katsayısı ile arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir (Duffie ve Beckman, 1991).

$$h_v = 650 \left(\frac{G}{D_d} \right)^{0.7} \quad (4.59)$$

$$h_v = 6h(1-\xi) \frac{\alpha}{D_d} \quad (4.60)$$

α , dolgu malzemesi için şekil faktörüdür.

Dolgulu yataklarda zorlanmış ısı transfer katsayıları ise Dixon ve Cresswell (1979) tarafından verilir.

Hava ile dolgu arasındaki ısı transfer katsayısı

$$Nu = \frac{hD_d}{k_f} = \frac{0.255}{\xi} Re_h^{2/3} Pr^{1/3} \quad (4.61)$$

Hava ile absorber arasındaki ısı transfer katsayısı

$$Nu = \frac{hD_d}{k_f} = 0.2 Re_h^{0.8} Pr^{1/3} \quad (Re=40-2000) \quad (4.62)$$

Absorberden dolguya ısı transfer katsayısı

$$h = 2.12 \frac{k_{rs}}{D_d} \quad (4.63)$$

Burada k_{rs} dolgunun radyal iletkenliğidir.

4.5.7. Kritik Radyasyon Seviyesi

Yoğunlaştırıcı bir toplayıcıda yararlı ısı eşitliğinin geliştirilmesiyle kritik radyasyon seviyesi belirlenebilir.

$$Q_u = F_R I \rho(\tau\alpha\gamma)_a A_a - F_R U_L A_r (T_i - T_a) \quad (4.64)$$

Absorblanmış ışıma ve kayıp terimlerinin eşit olduğu $Q_u=0$ yapan I_{krt} değeri kritik radyasyon seviyesidir.

$$I_{krt} = \frac{F_R U_L A_r (T_i - T_a)}{F_R \rho(\tau\alpha\gamma)_a A_a} \quad (4.65)$$

Yararlı ısı sıfır olduğunda verim değeri de sıfır olur. Bu andaki absorber yüzey sıcaklığı “durulma sıcaklığı” olarak tanımlanır.

4.5.8. Günlük Ortalama Toplayıcı Verimi

Bir güneş enerjisi toplama sisteminin aylık ortalama veriminin hesabı yapılırken anlık verim değeri yerine günlük ortalama verim değeri kullanılır. Günlük verim, bir gün boyunca elde edilen faydalı ısı enerjisinin gün boyunca toplayıcı üzerine gelen güneş ışımasına oranı olarak tanımlanır. Günlük ortalama toplayıcı verimi

$$\eta_{\text{ort}} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} \left[F_R I \eta_o - F_R U_L \left(\frac{A_r}{A_a} \right) (T_i - T_a) \right] dt}{\int_{t_1}^{t_2} I dt} \quad (4.66)$$

formülü ile hesaplanır. Burada t_1 , t_2 deney başlangıç ve bitiş saatleridir. Bu eşitliğin payı SI birim sisteminde bir enerji hızı eşitliğidir. Yararlı ısı kazancını verir. I W/m^2 olarak U_L de $\text{W/m}^2\text{K}$ olarak verildiğinde yararlı enerji kazancı $W(\text{J/s})$ olarak bulunur. Güneş ışıması için en uygun zaman birimi saniyeden ziyade saattir. Biz I 'yı $\text{J/m}^2\text{saat}$ birimi ile bir saatlik periyotta gelen ortalama enerji hızı olarak düşünebiliriz. Bu durumda yararlı enerji kazancını J/saat olarak elde etmek için termal kayıp terimini 3600s/saat ile çarpılmaktadır.

5. GÜNEŞ ENERJİLİ HAVA ISITICILAR

Bu tip ısıtıcılarda absorblanmış güneş enerjisinin transfer edildiği akışkan havadır. Sıcak havanın gerekli olduğu alanlarda, ısıyı önce bir akışkana ardından havaya aktarmak yerine direkt olarak havaya aktaran düzeneklerdir. Çoğunlukla binaların ısıtılması, absorpsiyonlu soğutma prosesi veya kurutucu madde yatakları kullanılarak binaların iklimlendirilmesi, tarım ve sanayi ürünlerinin kurutulması ve seraların ısıtılması için kullanılırlar.

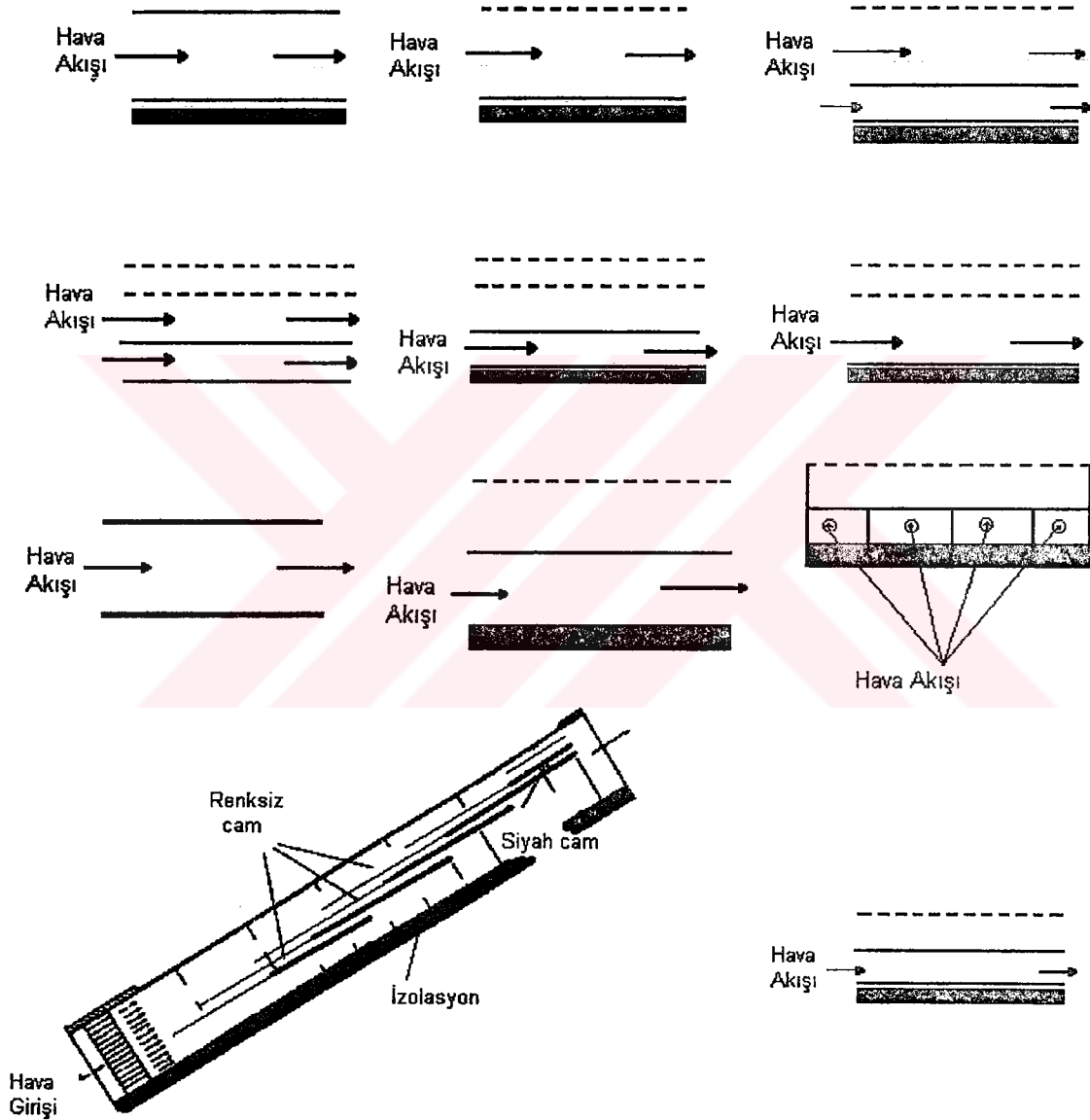
Güneş enerjisi ile havanın ısıtılmasında yaygın olarak düzlem toplayıcılar kullanılır. Düzlem toplayıcıların yapılması kolay, uzun ömürlü, ağırlıkça hafif ve güneşi izleme mekanizmaları olmadığı için ekonomik olmaları gibi avantajları vardır. Verimlerinin düşük olmasına ve yüksek sıcaklıklara ulaşamamasına rağmen kullanım kolaylığı nedeniyle çok fazla tercih edilirler. Çok değişik şekillerde dizaynları mevcuttur. Şekil 5.1’de değişik hava ısıtıcı tipleri görülmektedir.

Son yıllarda düzlem toplayıcılarda ulaşılan hava sıcaklığını ve verimi artırmak amacıyla bir çok değişik uygulama yapılmaktadır. Bunların içinde en yaygın olarak kullanılanlar, hava akış kanalına dolgu malzemesi yerleştirme, absorblayıcı plaka altına kanatçık eklenmesi , hava geçiş sayısının artırılması, absorbere değişik şekiller verilmesi, hava akış kanalının ölçülerinin değiştirilmesi ve seçici yüzeyli absorber kullanılmasıdır.

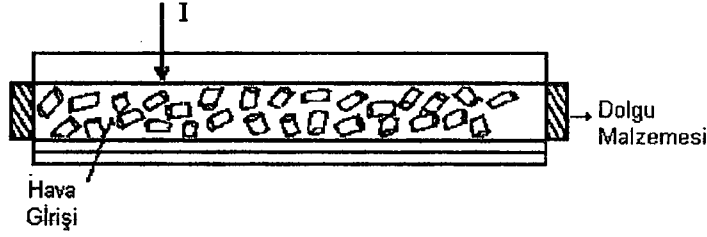
5.1. Dolgu Malzemesi Kullanılması

Hava ısıtmada kullanılan düzlem toplayıcıların verimini artırmak amacıyla, absorblayıcı yüzeyin altındaki hava akış kanalına çeşitli dolgu malzemeleri yerleştirilmektedir (Al-Nimr, 1994; Abu-Qudais ve Al-Nimr, 1996; Gupta, 1978; Ahmad vd., 1995; Choudhury vd., 1993; Al-Nimr, 1993). Genel dizaynı Şekil 5.2 da görülmektedir.

Toplayıcılarda dolgu kullanılması durumunda ısı transfer alanı artacağından ısı transfer hızı da artar. Dolgu olarak kullanılan materyalin termal ve ısıtım yayma özellikleri önemlidir. Toplayıcılarda dolgu malzemesi olarak duyulur ısı depolama amaçlı bir çok katı materyal kullanılabilir (Ahmad vd.,1996; Tong ve London, 1957; Chiou ve El-Wakil, 1966).



Şekil 5.1. Değişik hava ısıtıcı tipleri

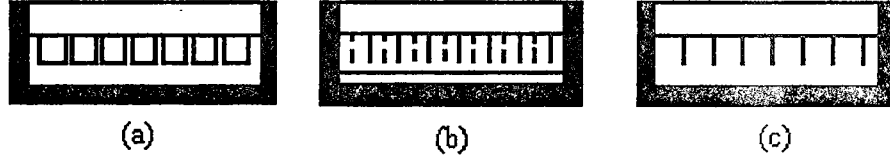


Şekil 5.2. Dolgu malzemeli toplayıcı

Bu güne kadar yapılan araştırmalarda , termal verimi artırmak için alüminyum folyo (Shomaker, 1961; Chiou vd., 1995), metal yünü (Lansing vd., 1979; Beckman, 1968) ve siyaha boyalı bakır tel (Kolb vd.,1999; Sharma vd.,1991; Hamid ve Beckman, 1971; Prasad ve Saini, 1993) kullanılmış, termal verimlerin klasik düzlem toplayıcılardan daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca yün (Sorour ve Hassab, 1986),ot ve ağaç kabukları (Hassab ve Sorour, 1989), boş küreler (Swartman ve Ogunlade, 1966), cam parçaları (Collier, 1979; Collier ve Arnold, 1980), cam bilye ve cam tüp (Hasatani vd., 1985), alüminyum ve demir talaşı (Mirsha ve Sharma, 1981; Cheema ve Mannan, 1979) gibi farklı şekil ve özelliklere sahip materyaller de denenmiştir.

5.2. Kanatçık Kullanımı

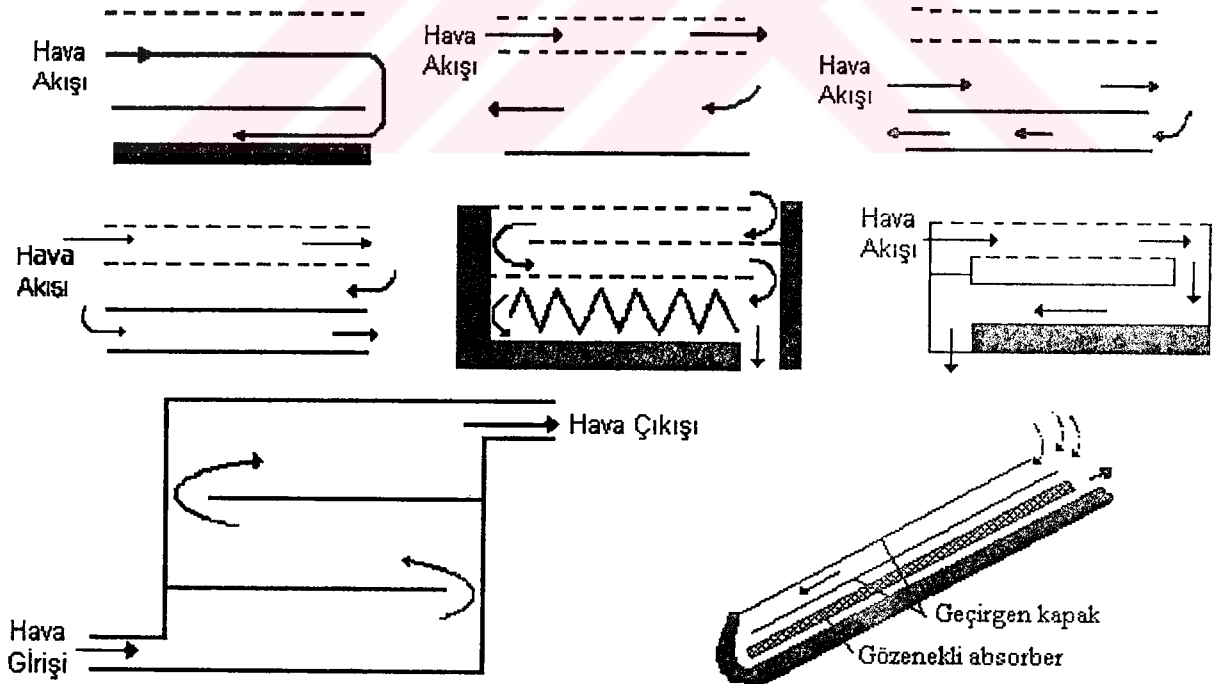
Absorblayıcı yüzeye, ısı transfer yüzeyini artırmak için kanatçık yerleştirme , toplayıcı verimini artırmak için denenen diğer bir metottur. Kanatçık malzemesinin ısı transfer katsayısı yüksek bir materyalden olması ve absorbere kolay monte edilebilir olması gereklidir. Havanın akış kanalına sıkça yerleştirilen bu kanatlar ile ısı transfer alanı artırılarak toplam transfer olan ısı ve dolayısıyla verimin artırılması sağlanmıştır (Garg vd., 1991; Bevill ve Brandt. 1968; Cole-Appel ve Haberstroh, 1976; Yeh ve Lin, 1996a; Hachemi, 1997; O'Brien-Bernini ve McGowan, 1984; Hachemi, 1995; Diab ve Pearson, 1982; Yeh, 1992). (Şekil 5.3)



Şekil 5.3. Hava akış kanalına kanatçık yerleştirilmesi (a-U kanatlar, b-kaydırılmış kanatlar, c-doğrusal kanatlar)

5.3. Hava Geçiş Sayısının Artırılması

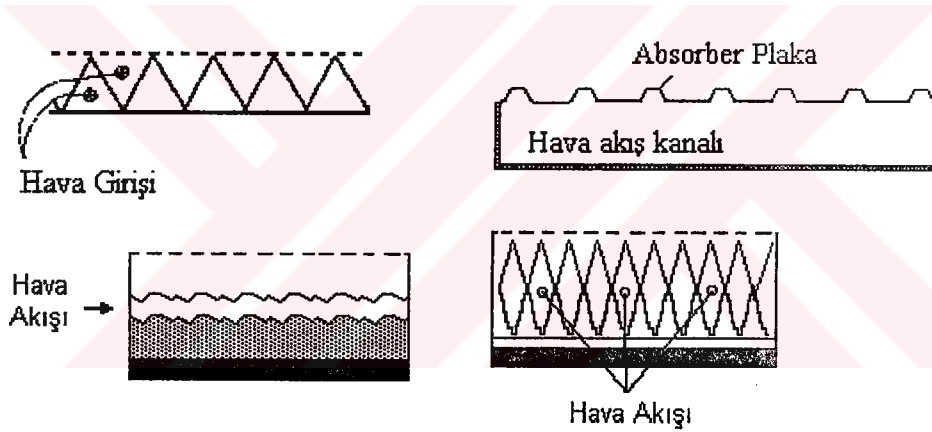
Toplayıcıya giren havanın, toplayıcı içinde kalış süresini artırarak daha fazla ısınmasını sağlayan bir dizayndır. Hava toplayıcı içinden iki veya üç defa (Bhargava vd., 1982; Wijesundera vd., 1982; Verma vd., 1992; El-Tawil vd., 1992; Choudhury vd., 1995a; Satcunanathan ve Deonarine, 1973) veya daha fazla (Al Mahdi ve Al Baharna, 1991) geçirilebilir. Ayrıca havanın geçiş yaptığı kanallardan birine değişik şekillerde katlanmış absorber veya gözenekli absorber plaka yerleştirilebilir (Soulayman, 1991). Çok farklı dizayn şekilleri vardır. Şekil 5.4’de hava geçiş sayısının artırıldığı toplayıcı tipleri görülmektedir.



Şekil 5.4. Hava geçiş sayısının artırıldığı toplayıcı tipleri

5.4. Absorbere Değişik Şekiller Verilmesi

Düzlem toplayıcıların veriminin artırılması için uygulanan diğer bir yöntem de, absorber plakaya pürüzlü bir görünüm vererek, güneş ışınımının absorblandığı yüzeyi artırmak ve içerden geçen havanın bu yüzeyle daha fazla temasını sağlamaktır. Yüzeyin pürüzlü olması ısı transfer katsayısını artıran türbülent akıştaki viskoz alt tabakayı bozduğu için daha fazla ısı transferi gerçekleşir. Absorber plakanın akordion şeklinde (Parker vd., 1993; Hollands ve Shewen, 1989; Liu vd., 1984) veya daha değişik şekillerde (Prasad ve Saini, 1988; Webb ve Eckert, 1972; Piao vd.,1994; Verma vd., 1991; Metwally vd., 1997; Gupta vd., 1997; Choudhury vd., 1988; Han, 1984; Han vd., 1978; Cartes ve Piacentini, 1990; Gupta ve Garg, 1967) katlanarak toplayıcı içine yerleştirilmesi oldukça yaygındır. Şekil 5.5’ de değişik absorber şekilleri görülmektedir.



Şekil 5.5. Çeşitli absorber şekilleri

5.5. Hava Akış Kanalının Ölçülerinin Değiştirilmesi

Güneş enerjili toplayıcılarda, havanın geçtiği kanalın yüksekliği değiştirilerek optimum bir açıklık oranı bulmaya çalışılır ve bunun toplayıcı verimine etkisi araştırılır(Hegazy, 1996; Yeh ve Lin, 1996b; Choundhury vd., 1995b; Rommel ve Moock, 1997).

5.6. Seçici Yüzeyli Absorber Kullanımı

Güneş enerjili hava ısıtıcıların termal performansını artırmanın bir yolu da absorbtivitesi (α) yüksek, yayma katsayısı (ϵ) düşük seçici yüzeyleri kullanılmasıdır. En iyi sonuç veren uygulamalardan biri olduğu için yaygın şekilde kullanılır (Duffie, 1962; Hottel ve Unger, 1959; Edwards vd., 1961; Hachemi, 1999a; Hachemi,1999b).

5.7. Güneş Enerjili Hava Isıtıcıların Tasarımı

Tüm güneş enerjisi uygulamalarında ihtiyaç duyulan en önemli parametre gelen güneş ışıması miktarıdır.

Güneş ışımasının atmosfer dışında yatay bir yüzeye gelen ısıma miktarı tam olarak hesaplanabilmesine rağmen bu ışmanın yeryüzüne ulaşırken tam olarak ne kadarının atmosferde soğurulduğu bilinmemektedir. Yeryüzünde yatay bir düzleme bir günde gelen güneş ışıması miktarı, güneş ışıması ölçümü yapan cihazlarla ölçülebilir veya atmosferik parametrelere bağlı olarak geliştirilen , bölgenin kendisine veya benzer iklim ve enlemdeki yakın çevresinde bir bölgeye özgü denklemler varsa, yaklaşık sonuç verecek şekilde hesaplanabilir.

Güneş ışımasının miktarı bilindikten sonra genel olarak güneş enerjili bir hava ısıtıcının dizaynında aşağıdaki bilgilere ihtiyaç vardır (Pawar vd., 1995).

Ulaşılmak istenen sıcaklık ve kullanım yerine göre;

- a) Gerekli enerji akış hızı
- b) Gerekli kütle akış hızı
- c) Toplayıcı boyunca gerekli sıcaklık yükselmesi
- d) Uygun absorber malzemesi
- e) Isıtıcının müsaade edilen maksimum uzunluğu
- f) Akış kanalının optimum derinliği ve genişliği
- g) Mevcut pompalama gücünün limiti bilinmelidir.

Güneş enerjili hava ısıtıcılarında en önemli parça güneş enerjisini toplayıp akışkana aktaran ve bu sayede ısı enerjisine çeviren toplayıcılardır. Toplayıcı tipi, boyutu, malzemesi, yoğunlaştırma oranı gibi faktörler güneş enerjili ısıtıcılarda ulaşılacak sıcaklığı ve dolayısıyla kullanım alanını belirleyecektir.



6. KURUTMA

6.1. Kurutmanın Bilimsel Temelleri

Gıdaların kurutularak muhafaza edilmesi yöntemi insanoğlunun kullandığı en eski dayandırma yöntemidir. Gıdalar, ya güneş ısısından faydalanarak veya başka kaynaklardan elde edilen ısı yardımı ile kurutulur. Kurutma yöntemi, kurutulacak maddedeki suyun uzaklaştırılması amacıyla ısının taşınma şekline göre sınıflandırılabilir. Konveksiyon kurutma, kontakt kurutma ve radyasyon kurutma olmak üzere üç farklı kurutma yöntemi vardır.

Konveksiyon kurutmada suyun buharlaşması için gerekli ısı, bir gaz tarafından genellikle hava tarafından taşınır. Sıcak hava kurutulacak maddenin içinden , üzerinden ve arasından geçirilir. Bu yöntem genel olarak sıcak hava kurutma tekniği olarak bilinir. Kontakt kurutma yönteminde ise evaporasyon için gerekli ısı kondüksiyonla taşınır. Yani kurutulacak madde hareketsiz kalırken veya hareket ederken bu sırada temas ettiği sıcak yüzeyden maddeye ısı taşınır. Radyasyon kurutmada kurutulacak maddeye ısı , herhangi maddi bir taşıyıcı gerekmeksizin civardaki bir radyasyon alanından ulaştırılır.

Bu üç yönteme ek olarak iki ayrı yöntem daha vardır. Bunlardan birisi dielektrik kurutma diğeri vakum kurutmadır. Dielektrik kurutmada ısı, yüksek frekanslı alternatif alanda bulunan materyal içinde sürtünme ile oluşturulmaktadır. Vakum kurutmada ise ısı, madde içindeki saklı enerjinin ortaya çıkarılmasıyla sağlanır. Bu amaçla ürün , basıncı gittikçe düşen (vakum altında) bir hücrede tutulur ve bu sırada ayrıca ısıtılmaya gerek kalmaksızın suyu kolayca buharlaşması sağlanır.

Kurutulacak maddeye hangi kurutma yönteminin uygulanacağı, materyalin niteliklerine ve kurutulmuş ürünün kullanılma alanı gibi çeşitli faktörlere bağlıdır.

Meyve sebzeler veya genel olarak çeşitli ürünler güneşte veya yapay kurutucularda kurutulabilmektedir. Ancak her ürünün güneşte kurutulması hem olanaklı

değil ve hem de doğru değildir. Ayrıca her bölge güneşte kurutma uygulamasına elverişli olmayabilir. Aynı şekilde güneşte kurutmada hijyenik koşulları kontrol etmek mümkün olmamakta ve kurutulan ürün açık alanda, çeşitli böcek, kuş ve benzer hayvanların zararına uğramakta ve ayrıca ürün tozlanmaktadır. Bunun gibi, güneşte kurutulan meyvelerde solunum bir süre devam etmesi ve hatta çoğu kez hafif bir fermentasyon belirmesi nedeniyle, madde kayıpları oluşmakta ve sonuçta verim yapay kurutmaya göre biraz daha düşmektedir. Ancak güneşte kurutulmuş bazı meyvelerin renginin yapay yolla kurutulanlardan daha iyi olduğu gözlenmektedir. Bunun nedeni ise güneşte kurutmada, tam olgunlaşmamış bazı meyvelerde kurutma başlangıcında, renkte bir gelişme oluşmasıdır. Bütün bunlara ek olarak güneşte kurutma uygulamasında, 20 dönümlük bir tarımsal alan için yaklaşık 1 dönümlük kurutma alanı ayrılma zorunluluğu başka bir olumsuzluktur.

6.2. Sorpsiyon İzotermi ve Su Aktivitesi

Gıdalarda bulunan suyun miktarı, kendini çevreleyen havanın bağıl nemi ile ilişkilidir. Ayrıca gıdalarda bulunan su değişik fiziksel niteliktedir. Gıdalardaki suyun miktarı suyun niteliklerine etki eden en önemli faktördür. Su ve niteliklerini belirlemek ve bunun gerek kurutma teknolojisi, gerekse gıdaların dayanıklılığı açısından anlamını ortaya koymak için birbiriyle ilişkili iki kavramı “sorpsiyon izotermi” ve “su aktivitesini” öncelikle incelemek gerekmektedir.

Bir gıda maddesi içindeki su buharlaşıp bulunduğu sıcaklıkta kendini çevreleyen atmosferle nem açısından bir dengeye ulaşır. Şekil 6.1’ de belli bir sıcaklık derecesinde farklı bağıl nem içeren koşullarda tutularak dengeye erişmiş bir gıdada, gıdanın nem içeriği ile bağıl nemi arasındaki ilişki gösterilmiştir. Bu ilişkiye “sorpsiyon izotermi” denir. Su aktivitesi temelde sorpsiyon olgusu ile iç içe bir kavramdır. Örneğin bir gıda maddesi %80 bağıl nemli atmosfer altında %20 su içerdiğinde dengede kalıyorsa bu gıda maddesinin %20 nem içerdiği durumdaki su aktivite değeri S_a 0.8 dir. Bir gıda maddesinin su aktivite değeri, havanın denge neminin 100’e oranıdır. Buna göre herhangi bir gıda maddesinin değişik su içeriğinde gösterdiği su aktivite değerleri

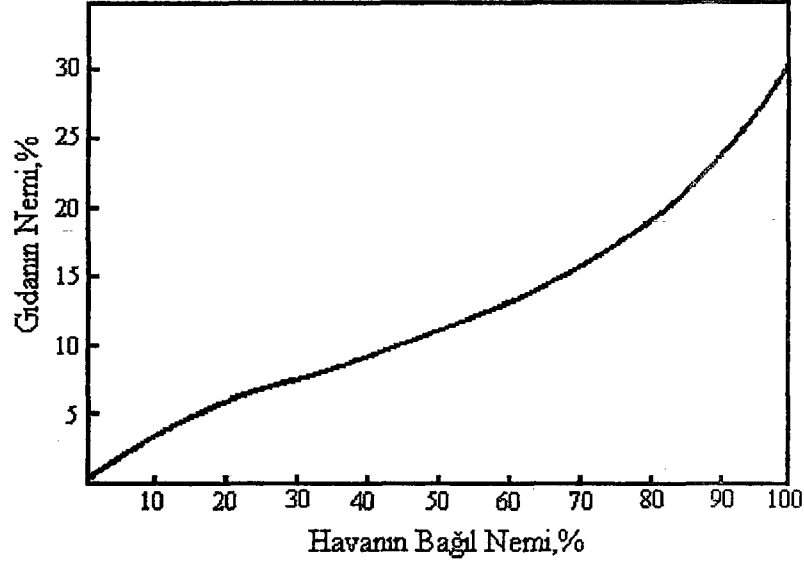
sorpsiyon izoterm eğrisinden bulunabilir. Su aktivitesi değeri su buhar basıncı açısından da tanımlanabilmektedir. Buna göre su aktivitesi, gıdadaki suyun buhar basıncının aynı sıcaklıktaki saf suyun buhar basıncına oranıdır.

Yaş gıdanın nemini vermesi (desorpsiyon) ile kuru gıdanın nem kazanması (adsorpsiyon) olgusu tam olarak aynı yolu izleyen bir dönüşüm değildir. Buna göre ıslak materyalin farklı bağıl nemli atmosferde tutulup dengeye erişmesi beklendikten sonra tartılarak ağırlık kaybının saptanmasıyla bulunan eğriye “desorpsiyon izotermi” denir. Buna karşı başlangıçta tam anlamıyla kuru olan aynı materyalin yine değişik bağıl nemli ortamlarda tutularak dengeye erişmesi beklendikten sonra tartılarak ağırlık artışının saptanmasıyla bulunan eğriye “adsorpsiyon” izotermi denir. Her iki olguya beraberce “sorpsiyon izotermi” denir. Adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermi Şekil 6.2’ de gösterilmiştir. (Cemeroğlu ve Acar, 1986)

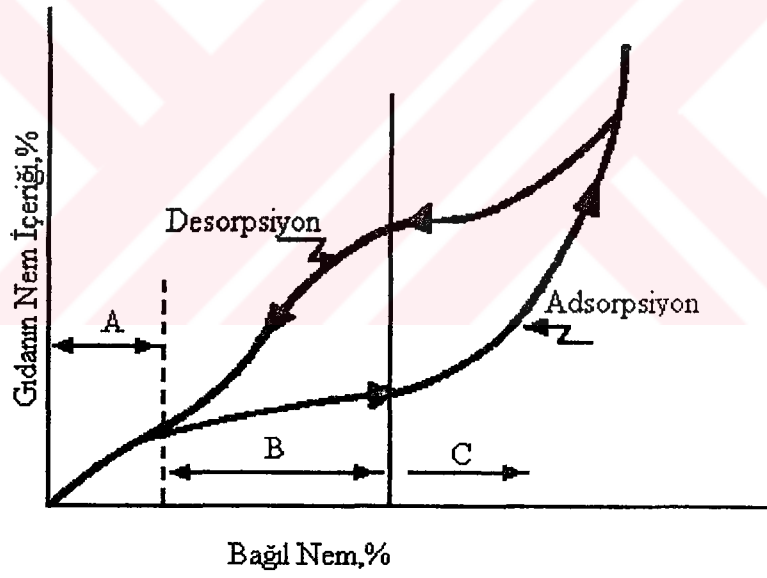
Desorpsiyon izotermi adsorpsiyon izotermi ile aynı yolu izlemeyerek bir bombe yapması olayına “histeresis” denir.

Sorpsiyon izoterm eğrileri genellikle S şeklinde eğriler olup, her kıvrım noktası, gıdadaki suyun niteliği ile ilgilidir. Nitekim Şekil 6.2’ de gösterilen sorpsiyon izotermi bu kıvrım noktalarına göre A,B,C gibi üç bölgeye ayrıldığı görülmektedir. A bölgesindeki su, materyal yüzeyinde tek bir molekül katmanı halinde sıkı sıkıya tutulmaktadır. Genellikle gıdalardaki %5’in altındaki su bu şekilde tek bir molekül tabakası halinde tutulmakta olup buna “ mono moleküler film” denir. Bu moleküllerin adsorpsiyon ısı 2000-10000 cal/mol olduğu dikkate alınırsa , materyale ne kadar güçlü olarak bağlandığı görülür. Bu nedenle kurutmada bu suyun uzaklaştırılması zordur veya çoğu kez olanaksızdır.

Sorpsiyon izotermi B bölgesinde ise, alttaki tek moleküllü su tabakasının bulunduğunu göstermektedir. Bu tabakada su gittikçe azalan bir adsorpsiyon ısıyla bağlanmış olduğundan bu suyun gevşek olarak bağlanmış bulunduğu kabul edilmektedir. C bölgesindeki su ise, kapiller veya gözeneklerde yoğunlaşmış halde



Şekil 6.1. Nem sorpsiyon izotermi



Şekil 6.2. Adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermi

bulunan ve içinde çeşitli maddelerin çözündüğü serbest sudur. Buna çoğunlukla kapiller su denir.

6.3. Gaz-Sıvı Dengesi

Katı maddenin bünyesindeki nem, nemin ve katının tabiatına bağlı olarak sıcaklıkla sistem üzerinde bir buhar basıncı meydana getirir. Şayet nemli bir katı belirli bir sıcaklık ve nemlilikte hava ortamına maruz kalırsa katının yüzeyindeki sıvının kısmi basıncı ile gazın kısmi basıncı eşit oluncaya kadar katı madde ya buharlaşma yoluyla nem kaybeder ya da gazdan nem adsorblar. Havanın sabit sıcaklık ve nemlilikte olmasından dolayı hava akımının özellikleri sabit kalır ve sistemin dengeye erişmesi için yeterli temas süresi oldukça uzun olur. Böyle bir durumda katı madde belirli bir nem değerine ulaşır ve katının hava ile daha fazla temasta kalması durumu değiştirmez. Böylece katıyla gaz arasında bir denge meydana gelir ve bu şartlarda katıdaki nem miktarı *denge nemi* olarak tanımlanır.

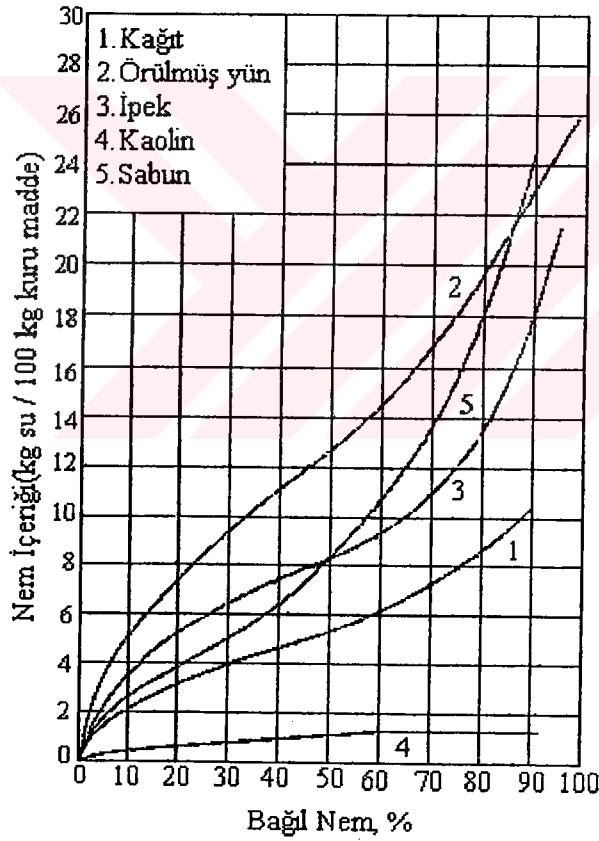
Pek çok katı madde için denge neminin miktarı dengeye yaklaşılma yönüne bağlıdır. Nem içeren bir katı maddenin kurumaya (desorpsiyon) veya kuru bir maddenin su adsorplamaya (sorpsiyon) terkedilmesine göre değişik değerler elde edilir. Kurutma hesaplamaları için genellikle desorpsiyon değerleri kullanılır. Katı madde denge nemi miktarından daha fazla neme sahipse denge eğrisi tarafından gösterilen denge nemi miktarına erişinceye kadar kuruma devam eder. Diğer taraftan katı madde denge değerinden daha az neme sahipse denge değerine ulaşmaya kadar nemlenme devam eder. Nemliliği sıfır olan hava için bütün maddelerin denge nemi miktarı sıfırdır.

Belirli bir % nemlilik için denge nemi büyük ölçüde katının cinsine bağlı olarak değişir. Nem içeren katılara ait denge eğrileri genellikle gazın bağıl nemi ve katının sıvı içeriği (kuru maddenin birim kütleindeki suyun kütlesi) arasındaki ilişki ile ifade edilir. Kum gibi suda çözünmeyen gözeneksiz katılarda havanın bütün sıcaklık ve nemlilikleri için denge nemi sıfıra yakındır. Diğer taraftan, odun, tekstil ve deri gibi organik maddelerde ise denge nemi büyük farklılıklar gösterir. Çeşitli katılara ait tipik denge eğrileri Şekil 6.3' de verilmiştir.

Şekil 6.3' de gösterilen denge eğrileri % 100 bağıl nem doğrusunu kesinceye kadar uzatılacak olursa bu şekilde bulunan nem miktarı katı maddenin sahip olabileceği

en düşük nem miktarıdır. Doymuş hava ile dengede bulunan katı maddenin sahip olabileceği en düşük su konsantrasyonuna **bağlı nem** denir. Bağlı nem içeren maddelere higroskopik madde adı verilir. Bağlı nem başka şartlar altında da varolabilir. Böyle bir nem katının bünyesindeki küçük kapillerde veya hücre duvarlarında çözelti halinde bulunur.

Bir katı bünyesinde denge neminden daha fazla miktardaki nem miktarına serbest nem denir. Serbest nem katının bünyesindeki toplam nem ile denge nemi arasındaki farka eşittir (Treybal, 1981; Coulson ve Richardson, 1991).



Şekil 6.3. 25 °C da çeşitli katılara ait denge nem eğrileri

6.4.Kuruma Hızı

Kuruma olayı ıslak materyalden suyun uzaklaştırılmasıdır. Kuruma olgusunun tam olarak ifade edilebilmesi için önce higroskopik nitelikte olmayan katı bir maddenin kurumasının izlenmesi gerekir. Buna göre sadece üstü açık bir sandık içine doldurulmuş, higroskopik nitelik taşımayan bir madde olan ıslak kumun kuruması iyi bir örnektir. Sandığın üstünden belli bir hızla geçirilen sıcak hava, yüzeydeki suyun buharlaşmasına neden olur. Islak yüzeyden buharlaşan su, kumdan bir miktar ısı absorbe eder. Sıcak havadan ıslak ve serin kuma akan ısı, kumun soğumasını engeller ve böylece kumun sıcaklık derecesi belli bir dengeye ulaşır. Eğer hava hızı yeterli bir düzeydeyse ve kum bir radyasyon kaynağından ayrıca ısı almıyorsa , kumun sıcaklık derecesi , sıcak havanın ıslak termometre sıcaklığına eşit hale gelir. Olay bu şekilde havanın ıslak termometre derecesinde devam eder ve sandığın yüzeyinde belli sürede, sabit miktarda su buharı uzaklaşır. Yüzeydeki su bitince, alt tabakalardaki su kum tanecikleri arasında oluşan kapiller kuvvetle yüzeye taşınır ve buradan buharlaşır. Kumdaki kapiller kuvvet alt tabakalardaki suyu yüzeye, yüzeyden uzaklaşan miktardaki kadar taşımaya yeterli geldiği sürece kumun yüzeyindeki buharlaşma hızı, yani kuruma hızı sabit kalır. Kuruma hızının sabit kalması demek, belli sürede , belli alandan aynı suyun uzaklaşması demektir. Bu süreye kurumanın “*sabit kuruma hızı dönemi*” denir. Sabit kuruma hızı dönemi devam ederken , sandıktaki kumun su içeriği alt tabakalardan üst tabakalara doğru gittikçe aşamalı olarak azalır. Nihayet kumun kapiller kuvveti artık suyu daha alt tabakalardan yüzeye ulaştırmaya yeterli gelmez, yani su artık derinlerde kalmıştır. Öyle bir an gelir ki, yüzeydeki su oranı sıfır olur. Artık bu andan itibaren, suyun buharlaşma hızı yavaşlar. Sabit kuruma hızı döneminden sonra başlayan bu döneme, “*azalan kuruma hızı dönemi*” denir. Bu dönem boyunca geçen her sürede belli bir alandan belli bir sürede uzaklaşan su miktarı, bir önceki süreye göre gittikçe azalmaktadır. Bu dönem boyunca kurumuş kum tabakası yüzeyden itibaren aşağıya doğru gelişir, kalınlaşır, yani kurumuş tabaka gittikçe derinlere iner. Üstteki kurumuş tabaka kalınlaştıkça, suyun buharlaşma hızı da aynı oranda yavaşlar. Bunun nedeni ise suyun sabit kuruma döneminde olduğu gibi kapiller kuvvetle yüzeye taşınıp buradan kolaylıkla buharlaşma olanağını kaybetmesidir. Su artık alt tabakalardaki gözeneklerde buhara dönüşmekte ve suya göre daha zor bir hareketle buradan yüzeye ulaşmaktadır.

Ayrıca buharın kurumuş tabaka içinde kat etmek zorunda kaldığı yol gittikçe daha uzamaktadır.

Kum higroskopik nitelikte değildir ve kumda bulunan suyun tamamı serbest sudur. Bu nedenle kuruma , su oranı sıfıra düşene kadar devam eder. Buna karşılık higroskopik nitelikteki bir madde örneğin gıdalarda kuruma olayı daha farklı bir şekilde gelişir.

Gıda maddelerindeki su “serbest su” dan “kimyasal bağlı su” ya kadar değişik şekillerde bulunur. Bu bakımdan tamamen serbest sudan ibaret olan kumdaki suyun uzaklaşmasıyla, bir gıda maddesindeki suyun uzaklaşma mekanizmaları arasında önemli farklılıklar vardır. Diğer taraftan,kumda olduğu gibi granül haldeki bir suyun, alt tabakalarda buharlaşarak yüzeye su buharı halinde ulaşabilmesi gözenekli yapı nedeniyle son derece kolaydır. Gıda maddeleri genellikle böyle bir granül yapıda olmadıklarından alt tabakalardan yüzeye su ve buhar hareketi zor ve sınırlıdır. Gıda maddelerinde bulunan suyun, materyal tarafından gevşek olarak tutulan kısmı yani kapiller su daha kolay uzaklaşabilir. Bu bakımdan gıdalardaki suyun büyük bir kısmını oluşturan zayıf bir şekilde bağlı suya, kuruma olayı bakımından; herhangi bir materyalin yüzeyindeki serbest halde bulunan su olarak bakılabilir. Gıda maddelerindeki bu suyun uzaklaştığı dönem sabit kuruma hızı dönemidir, Bu dönem boyunca birim zamanda uzaklaşan su miktarı sabit kalmaktadır. Gıda maddesindeki su miktarı azaldıkça geride kalan suyu materyale bağlayan güç artmaktadır. Bu nedenle, gıda maddesindeki su oranı belli bir düzeye inince sabit kuruma hızı dönemi sona erer ve kuruma hızının gittikçe düştüğü azalan kuruma hızı dönemi başlar. Diğer bir deyişle gıdalarda sabit kuruma hızı dönemi gıda içindeki suyun, buharlaşmanın meydana geldiği yüzeye ulaşma hızı, yüzeydeki buharlaşmayı karşıladığı sürece devam eder. Bu dönemde, kuruyan gıda maddesinin dışında ısıya az yada çok yalıtkan özellik gösteren bir tabaka oluşmakta ve bu tabakanın ısının iç kısımlara yeterince iletilmesini engellemektedir. Kuruma hızındaki değişimin meydana geldiği andaki gıdanın nem düzeyine kritik nem denir. Kuruma hızının değiştiği bu noktaya dönme noktası denir. Bir çok gıda maddesinin kurutulmasında iki hatta üç dönme noktası görülmektedir. Kritik nem her gıda maddesi için farklı düzeyde olup o gıda maddesinin bileşimi ile

ilişkili bir değerdir. Ancak bir genelleme yapılırsa, bir çok gıda maddesinin kritik nemi, bu gıdaların %58-65 bağıl nemli hava ile dengeye eriştiği zaman içerdiği su miktarına eşittir. Sabit ve azalan kuruma dönemlerindeki kuruma hızları bu amaçla geliştirilmiş eşitlikler yardımıyla hesaplanabilmektedir. Sabit kuruma hızı dönemindeki kuruma hız aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{hA(T_a - T_w)}{\lambda} = k_m A(H_w - H_a) \quad (6.1)$$

Burada;

- h , Kurutulan madde yüzeyindeki koşullara bağlı bir ısı transfer katsayısı (konvektif ısı transfer katsayısı $\text{kcal/m}^2\text{saat}^\circ\text{C}$)
- A , kurutulan maddenin toplam yüzey alanı, m^2
- T_a , Havanın kuru termometre sıcaklığı $^\circ\text{C}$
- T_w , Havanın yaş termometre sıcaklığı, $^\circ\text{C}$
- λ , Suyun buharlaşma gizli ısı kcal/kg
- k_m , Gıda maddesindeki rutubetin, ortamdaki havaya geçişini tamamlayan kütle transfer katsayısı ($\text{kg kuru hava /m}^2\text{saat}$)
- H_w , Havanın yaş termometre sıcaklığında (T_w) doymuş haldeki mutlak nemi $\text{kg su buharı/kg kuru hava}$
- H_a , Havanın bulunduğu koşullarda (T_a) mutlak nemi $\text{kg su buharı/kg kuru hava}$

Yukarıdaki eşitlikte kütle transfer katsayısı (k_m) kolaylıkla ölçülemediği için aşağıdaki Lewis sayısından yararlanılır.

$$Le = \frac{h}{k_m C_{pa}} \quad (6.2)$$

Burada Le , Lewis sayısı . Hava-su sistemlerine Lewis sayısı yaklaşık olarak birdir.

h , konvektif ısı transfer katsayısı, $\text{kcal/m}^2 \text{ saat } ^\circ\text{C}$

C_{pa} , Havanın ısı kapasitesi, $\text{kcal/kg kuru hava } ^\circ\text{C}$

Buna göre;

$$1 = \frac{h}{k_m 0.24} \text{ ve buradan } k_m = 4h \text{ kg kuru hava/m}^2\text{saat} \quad (6.3)$$

bulunur. Sabit kuruma hızı döneminde kuruma hızının hesaplanmasında k_m yerine $4h$ kullanılır.

Isı transfer katsayısı ise havanın katı yüzeyine paralel olarak aktığı durumda boyutsuz eşitliklerle hesaplanabilir.(McCabe ve Smith;1976)

$$h = 0.0128G^{0.8} \quad (6.4)$$

Burada h , ısı transfer katsayısı; G , kütleli hız (lb/ft²saat)

Hava akışı yüzeye dik olduğu zaman ise aşağıdaki eşitlik kullanılır.

$$h = 0.37G^{0.37} \quad (6.5)$$

Azalan kuruma hızı döneminde kuruma hızı ise aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

$$\frac{dM}{dt} = \frac{\pi^2 D}{4L^2} (M_c - M_e) \quad (6.6)$$

Burada D ,Tüm azalan kuruma dönemine ait su buharının havaya difüzyon katsayısı(m²/saat)

L , Kurutulan ürün kalınlığının yarısı,m

M_e , Kurutulan ürünün denge bağıl nemi(ERH)

M_c , Ürünün kritik nem oranı (kg su / kg kuru madde)

Difüzyon katsayısı gerçekte sabit değildir, nem içeriği ile değişir. D değeri küçük nem içeriklerinde daha azdır ve kuruma yüzeyi yakınında çok küçük olabilir. Sabit difüzyon katsayısı ile ifade edilen nem dağılımı Şekil 6.4'de ki gibidir. Pratikte kurutulan materyalde ortalama bir D değeri deneysel olarak hesaplanabilir. Bu amaçla aşağıdaki eşitlik kullanılır.

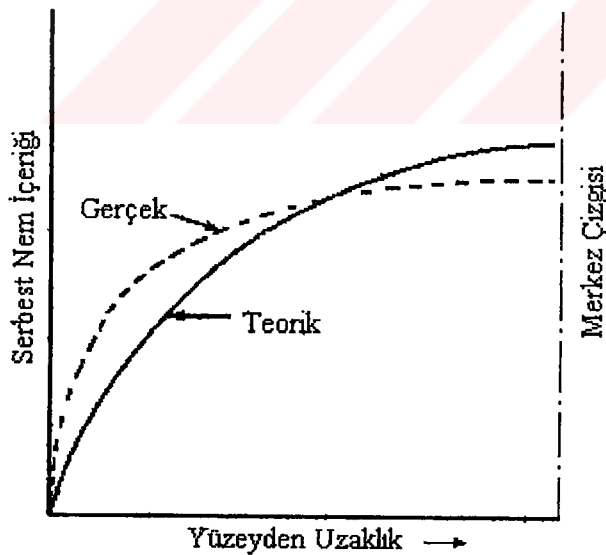
$$t = \frac{4l^2}{\pi^2 D} \ln \frac{8(M_o - M_e)}{\pi^2 (M - M_e)} \quad (6.7)$$

Eğer $\ln \frac{8(M_o - M_e)}{\pi^2 (M - M_e)}$ ifadesine karşı zaman grafiğe geçirilirse bir doğru elde edilir

ve eğiminden D hesaplanır (McCabe ve Smith;1976).

Difüzyon yavaş kuruyan materyallerin karakteristik davranışdır. Katı yüzeyinden havaya su buharının kütle transfer direnci genellikle ihmal edilir ve bütün kuruma hızını katıdaki difüzyon kontrol eder. Böylece yüzeydeki nem içeriği denge değerindedir veya denge değerine çok yakındır. Sıcaklıkla difüzyon katsayısı arttığından, katıdaki sıcaklığın artmasıyla kuruma hızı artar.

Kuruma hızı eşitliğinde kritik nem oranı M_e yerine herhangi bir t zamanında ürünün içerdiği nem düzeyi alınırsa o andaki kuruma hızı bulunur. Kritik nem oranı M_e alınırsa azalan kuruma hızı dönemindeki ortalama kuruma hızı bulunur.



Şekil 6.4. Gözeneksiz yassı katılarda her iki yüzeyden kurutulan maddede nem dağılımı. difüzyonla nem akışı (McCabe ve Smith;1976).

Azalan kuruma hızı dönemine ait eşitliğe göre kuruma hızı, kurutulan ürünün kalınlığı ile ters orantılıdır. Ürünün kalınlığı arttıkça kuruma hızı daha da düşecektir. Aynı eşitliğe göre kuruma hızı, ürünün içerdiği nem (veya kritik nem) ile denge nemi arasındaki farkla doğru orantılıdır. Bu fark arttıkça kuruma hızı yükselmekte , azaldıkça düşmektedir.

Azalan kuruma hızı döneminde kuruma hızı, üründe kalan nem düzeyine bağlı olarak lineer bir şekilde gittikçe azalır. Üründeki nem belirli bir düzeye ulaştınca kuruma hızı sıfıra düşer yani kuruma durur. ($M_e - M_c$) değeri sıfır olmuştur. Diğer bir deyişle, kurutucuda o sırada egemen olan koşullarda ürün ile hava arasında nem açısından denge oluşur. Bu koşullarda kurutucuda ne kadar tutulursa tutulsun , ürünün nemi artık değişmeden kalır. Bu durumda ürünün içerdiği su oranına o koşullardaki denge bağlı nemi (ERH) denir.

Azalan kuruma hızı dönemine ait iki önemli sonuç ortaya çıkmaktadır. Bunlardan birisi, kurutulan ürünlerin belirli bir nem düzeyine erişmesinden (kritik nem) sonra kurumaları gittikçe zorlaşmakta ve kuruma süresi uzamaktadır. Bu nedenle kurutucu uzun süre işgal edilmektedir. Diğer bir sonuç ise , kurutmada uygulanan koşullara göre ürün neminin ancak belirli bir düzeye kadar düşürülebilmesidir. Halbuki bir çok ürünün dayanıklı kalabilmesi için bunların, kurutucularda ulaşılanın da altında nem içermesi gerekmektedir. Bazı durumlarda bunu sağlamak için kurutma işlemine başka bir kurutma sisteminde, nemi çok düşük bir düzeye indirilmiş ılık hava kullanılarak devam edilir. Böylece daha düşük bir denge nemine ulaşılır.

6.5. Kuruma Hızına Etki Eden Faktörler

Kuruma hızı ısı ve kütle transferine etki eden faktörler tarafından kontrol edilir. Bu faktörlerin başlıcaları , sıcaklık derecesi, havanın nemi, kurutucudaki hızı, kurutulacak materyale maksimum yüzey alanı kazandıracak geometrik düzenleme (parça iriliği, şekli, yığın kalınlığı vs.) gibi fiziksel faktörlerle kurutulan materyalin başta bileşimi olmak üzere kendine özgü nitelikleridir.

Bu faktörlerin en önemlileri kurutulan ürünün kendine özgü nitelikleridir ve bu nitelikler kuruma boyunca değişip dururlar. Özellikle ürünün kimyasal bileşimi önem taşır. Eğer şeker, tuz ve benzerleri gibi küçük moleküllü erimiş maddelerce zengin bir materyal, bu maddelerce daha fakir bir materyalle kuruma açısından kıyaslanırsa , erimiş maddelerce zengin olanın daha zor kuruduğu görülür. Çözünmüş maddeler suyun buhar basıncını düşürmekte dolayısıyla suyun buharlaşmasını zorlaştırmaktadır. Aynı şekilde , ortamda yağ bulunması kuruma hızını sınırlayıcı önemli bir faktördür. Yağın sürekli faz olduğu bir emülsiyonda, su damlacıkları yağ tarafından adete izole edilmiş bulunduğundan böyle bir sistemde suyun buharlaştırılarak uzaklaştırılması güçtür. Diğer taraftan materyalin bileşimi onun suyu bağlama gücüyle de yakından ilişkilidir. Serbest su, gıdalarda öncelikle ve kolaylıkla uzaklaştırılabilen su olduğu halde, katı parçacıklarca adsorbsiyonla bağlanan su daha zor uzaklaşmaktadır. Nişasta, pektin gibi maddelerce zengin oluşturulan kolloidal jel içerisinde tutulan su ise daha zor uzaklaşmaktadır, bu nedenle nişasta ve pektince zengin maddelerin kurutulması oldukça güçtür. En zor uzaklaştırılan su ise hidrat formunda kimyasal bağlı sudur. Böylece materyalin bileşiminin suyu bağlama şekli bakımından kuruma hızına etki ettiği görülmektedir. Diğer taraftan meyve ve sebzeler hücrelerden oluşmuş doğal dokulardır. Bunlarda su hem hücre içinde hem de hücreler arasında bulunur. Hücreler arasındaki suyu uzaklaştırmak daha kolaydır. Ancak hücre ölünce hücre zarı daha fazla geçirgenlik kazanarak, hücre içindeki suyun uzaklaşmasını kolaylaştırır. Eğer doku haşlanmışsa geçirgenlik çok hızlanır. Bu nedenle haşlanmış ürünler daha hızlı kururlar.

Kuruma hızına etki eden, fakat kurutulan maddenin kendine özgü nitelikleri dışında kalan diğer faktörler ise optimize edilebilirler.

Kuruma hızı parçacıkların yüzey alanı ile doğru, kalınlıkla ters orantılıdır. Bu nedenle kurutulacak maddeler ne kadar küçükse yüzey alanı o kadar fazla, kalınlığı o kadar az olacağından kuruma hızı olumlu yönde etkilenmektedir. Püskürtülerek kurutma tekniğinde, sıvı ve ezme halindeki maddelerin, ince zerrecikler haline getirildikten sonra birkaç saniyede kurutulabilmesi bu nedenledir.

Kurutulan parçaların iriliğinin, kuruma hızına önemli etkide bulunmasına karşın, meyve ve sebze gibi ürünlerde kurumanın başlangıç aşamasında iri ve daha küçük parçalar halinde doğranmış dokular arasında , kuruma hızı bakımından belirgin bir fark görülmez. Ancak zaman ilerledikçe kuruma hızı parça iriliğine göre önemli ölçüde değişir. Çünkü özellikle azalan kuruma hızı döneminde, iç tabakalardaki suyun yüzeye difüzyonu , iri parçalarda zorlaşmakta ve kuruma hızı düşmektedir.

Parça iriliğinin kuruma hızına bu önemli etkisi yüzünden , kurutulacak meyve ve sebzelerin küçük parçalar halinde doğranması yararlıdır ancak bu her zaman mümkün değildir. Tüketim alanı bakımından bazı ürünlerin bütün halde kurutulması gerektiği gibi, doğranan veya kıyılan ürünlerde de belli bir irilik beklenir.

Kuruma hızına etki eden en önemli faktörlerden biri de kullanılan sıcak havanın yaş ve kuru termometre sıcaklıkları arasındaki farktır. Kullanılan sıcak havanın sadece kuru termometre sıcaklığı çoğu kez önemli bir anlam taşımaz. Yaş ve kuru termometre dereceleri arasında herhangi bir fark olmayan havanın , sıcaklık derecesi ne olursa olsun hiçbir kurutma etkisi yoktur. Yaş ve kuru termometre dereceleri arasındaki fark arttıkça kuruma hızı da artar. Bu doğru orantılı etki kurumanın başlangıcında çok belirgin ise de kuruma ilerledikçe yaş ve kuru termometre dereceleri arasındaki fark arttıkça kuruma hızı aynı oranda artmaz (Van Arsdel ve Copley, 1963).

Ayrıca yaş ve kuru termometre sıcaklıkları arasındaki fark sabit kalmak koşulu ile, havanın kuru termometre sıcaklığı yükseldiğinde , kurutmanın başlangıç aşamasında kuruma hızında herhangi bir değişme görülmezken ileriki aşamalarda bir artış olur. Kurumanın ileriki aşamalarında kuruma hızını sınırlayıcı faktör, iç tabakalardaki suyun yüzeye difüzyonudur. Sıcaklık artınca bu difüzyon olayı hızlanmakta ve buna bağlı olarak da kuruma hızı yükselmektedir.

Kuruma hızına etki eden diğer bir faktör, kurutucudaki hava hızıdır. Hava hızı arttıkça kuruma hızı da artmaktadır. Kurutulan maddenin yüzeyinde kuruma sırasında daima durgun bir buhar filmi oluşur. Bu film sürekli olarak uzaklaştırılırsa, suyun buharlaşmasında bir hızlanma görülür. İşte hava hızı, bu buhar filmini devamlı olarak

sürüklemek suretiyle kuruma hızını artırıcı yönde etkide bulunmaktadır. Ancak bu etki belli bir hava hızına ulaşılan kadar görülmektedir. Diğer taraftan hava hızının olumlu etkisi, kurumanın bulunduğu aşamaya göre değişmektedir. Kurumanın başlangıç aşamalarında hava hızı çok etkiliyse de kurumanın ileriki aşamalarında kuruma hızı artık, alt tabalardaki suyun yüzeye taşınma hızı ile sınırlandırıldığından, hava hızının yüksek olmasının bu konuda bir etkisi bulunmamaktadır.

6.6. Kuruma Teorileri

Nem içeren katı maddelerin kuruma hızları genel olarak birbirinden açık şekilde ayrılabilen iki veya bazen üç bölümden oluşur. Daha öncede belirtildiği gibi sabit kuruma hız periyodunda katı yüzeyindeki suyun hava akımına buharlaşmasını gaz fazı film transfer katsayısı kontrol etmektedir. Buna karşılık azalan hız periyodunda su buharının katı bünyesinden yüzeye transfer mekanizması daha farklıdır.

Gözeneksiz katılar genel olarak düzenli bir nem dağılım diyagramına sahiptirler. Şekil 6.4' deki kesikli çizgili eğri gözeneksiz yassı katılara ait tipik bir nem dağılımını göstermektedir. Bu eğri II. Fick difüzyon kanununa uyan bir eğridir .

6.6.1. Difüzyon Teorisi

Difüzyon teorisine göre katının iç kısımlarındaki suyun yüzeye hareketi katı içi difüzyonla gerçekleşir .II. Fick kanununa uyan buhar veya sıvıların transferinde bu tip difüzyon kontrollü kütle transferinin olduğu varsayılır. II. Fick kanununun tek yönlü difüzyon için matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial L^2} \right) \quad (6.8)$$

Burada C , A ve B ' den oluşan karışımdaki bileşenlerden herhangi birinin bileşimidir.

Yassı tabakaların kurutulmasında azalan hız periyodu için 6.8 eşitliğinin çözümünden aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$\frac{M - M_e}{M_c - M_e} = \frac{8}{\pi^2} (e^{-a\beta} + \frac{1}{9}e^{-9a\beta} + \frac{1}{25}e^{-25a\beta} + \dots) \quad (6.9)$$

Burada

$$\beta = Dt/L^2$$

$$a = (\pi/2)^2$$

M , t anındaki nem içeriği

M_c , kritik nem içeriği

M_e , denge nem içeriği

Eşitlik (6.9) katının başlangıçta homojen bir nemliliğe sahip olduğu ve kurumanın her iki yüzeyden gerçekleştiği durumlar için geçerlidir. Tek bir yüzeyden kuruma gerçekleşmesi durumunda difüzyon yolu iki katı olarak alınmalı, diğer bir deyişle β 'nin paydasına 4 ilave edilmelidir. Çok uzun kuruma zamanları için Eşitlik (6.8) aşağıdaki şekle indirgenebilir:

$$\frac{M - M_e}{M_c - M_e} = \frac{8}{\pi^2} e^{-a\beta} \quad (6.10)$$

Denklem (6.10) 'nın diferansiyelinin alınması ile daha önceden bahsedilen (6.6) eşitliği elde edilir.

6.6.2. Büzülme ve Kabuklaşma

Kolloidal gözeneksiz katılardan bağlı nemin uzaklaştırılmasıyla katı materyal büzülmeğe başlar. Çok küçük partiküllerde bu etkinin önemsiz olmasına karşın kuruma olayı büyük partiküllerde büzülmeden dolayı büyük güçlüklerle sebep olur. Böyle

katılarda dış yüzeyin iç kısımlardan önce nem kaybetmesinden dolayı dış tabakadaki sıvı konsantrasyonu iç kısımlardakinden daha düşük olur ve dış yüzey büzülür. Dış yüzey büzülmesi diffüzivitenin düşmesiyle kütle transferine karşı direncin artmasına, ürünün zedelenmesine ve kalitesinin düşmesine sebep olur .

Çok aşırı büzülme durumunda; büzülme ve diffüzivitedeki azalmanın birleşmesiyle katı dış yüzeyinde gözeneksiz bir tabaka oluşturarak katı içerisindeki sıvının transferi engellenmiş olur. Bu olaya kabuklaşma denir. Büzülme ve kabuklaşma kuruma hızının düşürülmesiyle minimuma indirgenebilir .Böylece katı bünyesinde düzenli bir konsantrasyon gradyenti sağlanmış olur. Ayrıca hava neminin kontrol altında tutulmasıyla da katıdaki kabuk etkisi azaltılabilir. Katı-sıcak hava ara yüzeyindeki denge nemi havanın nemliliği ile sabit tutulacağından havanın nemliliğinin artması denge nemini de artırır. Böylece serbest nem miktarı denge neminin artmasıyla azalır ve toplam serbest nem gradyentinin düşmesiyle büzülme ve kabuklaşma önlenmiş olur.

6.6.3. Kapiler Teori

Gözenekli katıların bünyesindeki sıvının hareket mekanizması Eşit. (6.10) ile açıklanamaz. Bunun nedeni gözenekli katılarda sıvının katı bünyesinde homojen bir konsantrasyon gradiyentine sahip olmamasıdır. Şekil 6.5' de yassı bir gözenekli katıya ait nem dağılım eğrisi görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi katının merkezinden dışına doğru iki farklı nem dağılım eğrisi mevcuttur. Gözenekli katılarda katı bünyesindeki sıvı önce kapiler hareketle yüzeye ve buradan da gaz filmi içerisinde difüzyonla gaz fazına transfer olur.

Gözenekli katılarda katı içerisindeki sıvının yüzeye hareketi, difüzyonla kütle transferinden ziyade kapiler hareketle meydana gelir. Kapiler teoriye göre katı madde değişik büyüklük ve şekillerde gözenek ve kanallara sahiptir. Bu durumda katı gözeneklerindeki sıvı kanallardan hareket ederek yüzeye ulaşır. Şekil 6.6' da gözenekli

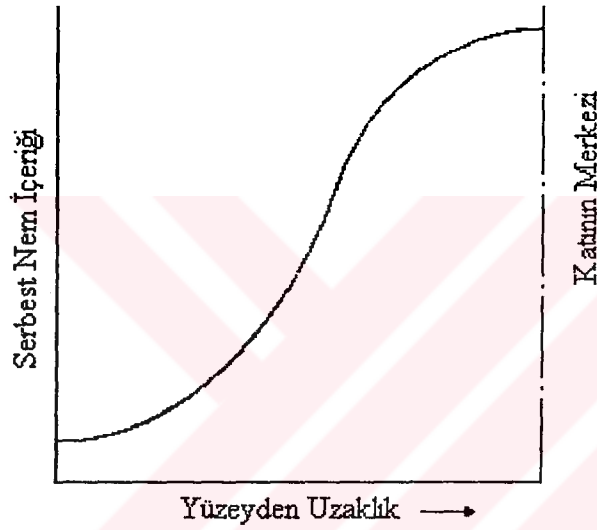
katılara ait tipik bir kuruma eğrisi görülmektedir. Bu tür katılar için aşağıdaki eşitlik önerilmiştir (Perry ve Green, 1984):

$$t_f = \frac{\rho_s d \lambda (M_e - M_e)}{h_t (t - t_s)} \ln \frac{(M_e - M_e)}{(M - M_e)} \quad (6.11)$$

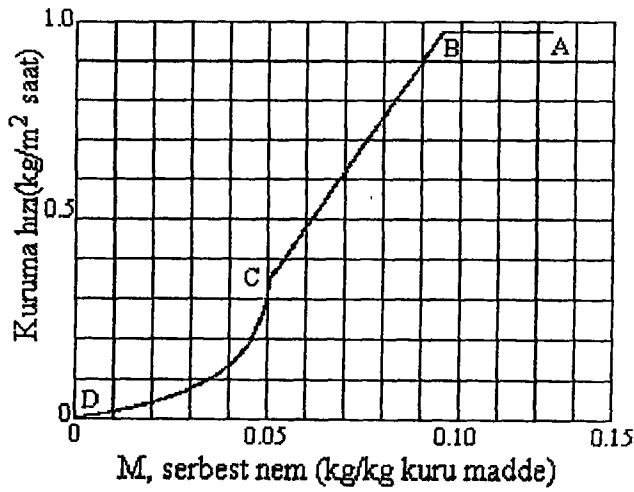
Burada ;

t_f , azalan hız periyodundaki kuruma zamanı

ρ_s , katının yoğunluğu



Şekil 6.5. Gözenekli katılara ait tipik bir nem dağılım diyagramı



Şekil 6.6. Gözenekli katılara ait tipik bir kuruma eğrisi

6.7. Kurutma Modelleri

Nemli katıların kurutulmasında kuruma hız eğrilerinin yorumlanması için bir çok matematiksel model geliştirilmiştir. Bu metotların başlıcaları aşağıda verilmiştir.

6.7.1. Üstel Fonksiyon Modeli

Sabit hız periyodu süresince kuruma hızı, materyalin gerçek nem içeriği ve materyalin sorpsiyon izotermiyle belirlenebilen denge nem içeriği arasındaki farkla doğru orantılıdır (Lewis, 1921).

$$\frac{dM}{dt} = -k(M - M_e) \quad (6.12)$$

Burada, M materyalin nem içeriği, M_e denge nemi, t kuruma zamanı ve k kuruma sabitidir. (6.12) eşitliği aşağıdaki şekilde integre edilebilir.

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \exp(-kt) \quad (6.13)$$

Burada MR nem oranı ve M_0 başlangıç nem içeriğidir. (6.13) eşitliği eksponansiyel veya logaritmik model olarak bilinir (Sabbah vd.,1977)

6.7.2. Difüzyon Modeli

Difüzyon eşitliğinin genel çözümü olan (6.9) eşitliği aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = A_0 \exp(-k_0 t) + A_1 \exp(-k_1 t) + \dots \quad (6.14)$$

Burada $A_0, A_1 \dots$ ve $k_0, k_1, \dots$ üstel fonksiyon modelindekine benzer katsayılardır. Pratikte genellikle bu eşitliğin ilk iki terimi kullanılır.

6.7.3. Fick Difüzyon Modeli

Çok uzun kuruma zamanları için (6.13) eşitliği yerine Fick difüzyon eşitliğinin basitleştirilmiş hali kullanılır ve basit Fick difüzyon modeli olarak adlandırılır.

$$MR = \frac{M - M_e}{M_e - M_e} = a \exp(-ct / L^2) \quad (6.15)$$

Bu eşitlikte L difüzyon yoludur ve materyalin kalınlığı olarak alınır, c ise havanın bağıl nemine ve sıcaklığa bağlı bir sabittir. (6.15) eşitliği kurutma verilerinin modellemesinde en çok kullanılan eşitliktir.

6.7.4. Page Modelleri

Kurutma verilerinin değerlendirilmesinde kullanılan diğer bir model ise Basit ve Modifiye edilmiş Page modelleridir. Page modelleri önceki modellere benzer şekilde üstel fonksiyon olarak ifade edilir (Page, 1949).

Basit Page Modeli

$$MR = \frac{M - M_e}{M_e - M_e} = a \exp(-kt^n) \quad (6.16)$$

Modifiye Page Modeli

$$MR = \frac{M - M_e}{M_e - M_e} = \exp(-k[t / L^2]^n) \quad (6.17)$$

6.7.5. Hukill Modeli

MR nem oranının 0.2 - 0.9 arasındaki değerleri için aşağıdaki eşitlik geliştirilmiştir (Hukill, 1947).

$$MR = \frac{M - M_e}{M_c - M_e} = \exp[-(a + bt)] \quad (6.18)$$

6.7.6. Zaman ve Bala Modeli

Zaman ve Bala(1989) geliştirdikleri modelde kurutucu ortam sıcaklığının etkisine de yer vermişlerdir.

$$\frac{dM}{dt} = -A \exp(-b/T_a)(M - M_e) \quad (6.19)$$

$$\ln \frac{M - M_e}{M_c - M_e} = -A \exp(-b/T_a)t \quad (6.20)$$

Yukarıdaki eşitliklerde, k kuruma hız sabitidir ve kuruyan materyalin mutlak sıcaklığının bir fonksiyonudur (Becker ve Sallans, 1956; Ross ve White, 1972). Kuruma hız sabitinin sıcaklıkla değişimini ifade etmek için aşağıdaki Arrhenius tipi eşitlik kullanılabilir (Henderson ve Pabis, 1961).

$$k = a \exp(-b/T_a) \quad (6.21)$$

Burada a ve b materyale ait sabitler, T_a mutlak sıcaklıktır.

Modeller azalan kuruma hız dönemini ifade edecek şekilde yazılmıştır. Sabit kuruma dönemi için kullanılacak olursa M_e yerine M_c , M_c yerine M_o yani başlangıç

nem içeriği yazılır. Çünkü sabit kuruma hızı başlangıç nem içeriği kritik nem değerine düşene kadar devam eder.

Materyalin kurutulması sırasında sadece azalan kuruma hızı gözlenirse kritik nem içeriği olmayacağı için M_c yerine M_o yazılır.

6.7.7. Küresel Bir Taneciğin Kuruma Modeli

Küresel bir tanenin kuruması sırasında zamanla nem içeriğindeki değişme aşağıdaki denklemle karakterize edilir (Sodha ve Chandra, 1994).

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{d}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left[r^2 \frac{\partial M}{\partial t} \right] \quad (6.22)$$

Burada M , parçacık içindeki r radyal uzaklıkta nem içeriği D tanenin nem difüzyon katsayısıdır. Aşağıdaki sınır şartları ile (6.22) denkleminin çözümü (6.23) ifadesiyle verilir. (Chakraverty ve De, 1981; Vishwanathan, 1983).

$$M(r,0)=M_o \text{ (başlangıç nem içeriği)}$$

$$M(r_p,t)=M_e \text{ (denge nem içeriği)}$$

$$\frac{M - M_e}{M_o - M_e} = \exp(-1.59z^{1.3}) \quad (6.23)$$

$$z = 6/d_p (Dt)^{1/2}$$

Burada d_p parçacık boyutu, t ise kuruma zamanıdır(s).

Difüzyon katsayısı aşağıdaki denklemle verilir;

$$D = 1.01 \times 10^{-8} \exp(-14160/T) \quad (6.24)$$

Katı sıcaklığı ise kurutucu giriş sıcaklığı ile çevre sıcaklığının ortalaması olarak verilir.

$$T = (T_g + T_a) / 2 + 273 \quad (6.25)$$



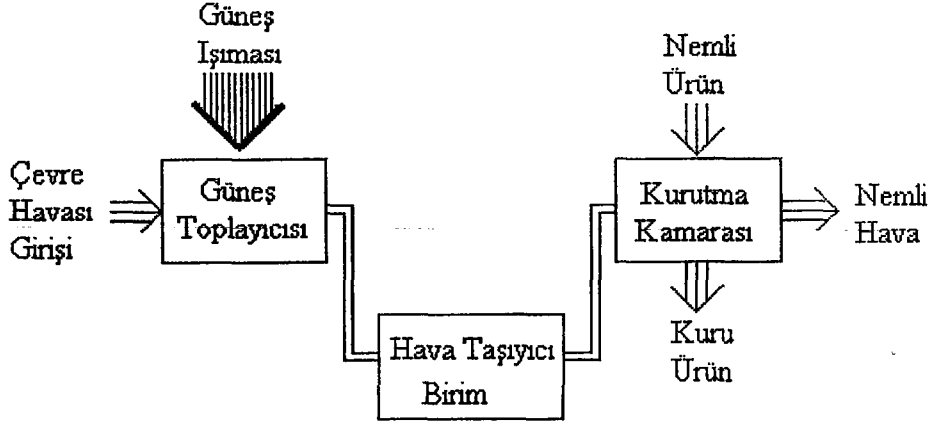
7.GÜNEŞ ENERJİLİ KURUTUCULAR

Tarımsal ürünlerin kurutularak saklanması, güneş enerjisinin en eski kullanım alanlarından biridir. Dünya 'da yaygın bir şekilde kullanılan geleneksel metot güneş ışınlarına açık olarak kurutmadır. Bu metotta sebze, meyve , tahıl, hububat, tütün gibi değişik farklı ürünler yere serilir, bozulmadan depolanabilecekleri kuruluğa ulaşınca kadar elle karıştırılırlar. Güneş ışınlarına açık olarak kurutmada bir çok teknik problem vardır. Çiğlenme, yağmur, böceklenme, atmosferik kirlenme , fazla miktarda toz olması , insan ve hayvanların kirletmesi bu problemlere örnek olarak verilebilir. Ayrıca açık kurutma prosesinde kontrol yoktur.

Bu nedenle daha iyi kalite kontrolü yapmak ve kayıpları azaltmak için yapay kurutma kullanılmalıdır. Daha önce yapılan kurutucularda, kurutmada kullanılacak havayı ısıtmak için elektrik enerjisi, kömür ve fosil yakıtlar gibi geleneksel yakıtlar kullanılmaktadır. Bununla beraber, bu yakıtların giderek azalması ve maliyetlerinin yüksek olması güneş enerjili tarımsal kurutucuların önemini artırmıştır.

Güneş enerjili kurutucularda kurutma için gerekli ısı enerjisi güneşten sağlanmaktadır. Bir güneş enerjili kurutma sistemi temel olarak üç bölümden oluşur. Bunlar çevre havasını ısıtmada kullanılan *güneş enerjili hava ısıtıcı*, ısıtılmış havanın kurutulacak üründen nemi uzaklaştırdığı *kurutma kamarası* ve ısınan havayı kurutma kamarasına ileten *hava taşıyıcı birim*dir. Şekil 7.1' de güneş enerjili kurutma sisteminin blok diyagramı görülmektedir.

Güneş enerjili kurutucular, direkt (aktif), indirekt (pasif) ve karışık modlu (kombine) tip olmak üzere üç grupta toplanabilirler. Güneş ışınımından direkt yararlanan kurutucularda duvarlar cam veya geçirgen plastik örtüden yapılmaktadır. Güneş ışınımının absorbe edilmesi kurutulacak ürüne ve geçirgen duvarların özelliğine bağlıdır. Bu tip kurutucularda hava sirkülasyonu; ısınan havanın yükselmesi prensibinden yararlanılarak yapılmaktadır.



Şekil 7.1. Bir kurutma sisteminin blok diyagramı

Güneş enerjisinden indirekt yararlanılan kurutucularda, hava kurutucunun dışında ısıtılmakta ve kurutucuya doğal veya zorlanmış konveksiyonla gönderilmektedir. Güneş ışınları kurutucuya direkt olarak girmez. Bu kurutucularda raflar üst üste yerleştirilerek daha küçük alanlarda daha çok ürün kurutulabilir. Gerekğinde ek bir ısıtıcı da kullanabilen bu kurutucularda hava akımı ayarlanabilir.

Karışık modlu kurutucular önceki iki tipin kombinasyonudur. Yapıları gereği güneşten hem direkt hem de kurutucuya eklenen güneşli bir hava ısıtıcı yardımıyla indirekt olarak yararlanılabilir. Direkt olarak yararlanma güneşi gören yüzeylerin saydam yada yarı saydam örtüyle kaplanmasıyla gerçekleştirilebilir.

7.1. Güneş Enerjili Kurutucu Tipleri

7.1.1. Kabin Kurutucu

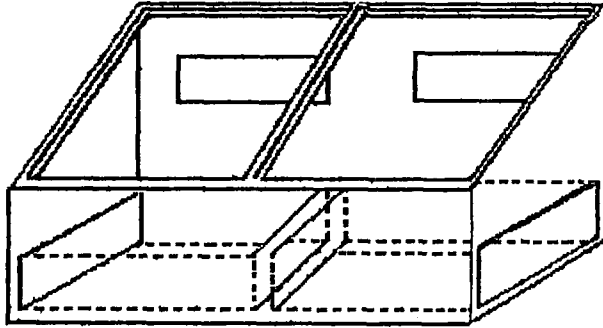
Meyve , sebze ve diğer tarımsal ürünlerin bir tabla içerisinde kurutulduğu ısı kutusu şeklindedir. Kurutucu kamarası tahtadan yapılmakta ve üst yüzeyi güneş ışınımını geçiren saydam bir örtü ile kaplanmaktadır. Kutunun arka yan ve ön üst kısımlarına delikler açılmıştır. Yine aynı delikler kutunun tabanında da bulunmaktadır.

Bu delikler içteki nemin dışarı çıkmasını ve içeride doğal konveksiyonla havanın hareketini sağlamaktadır. Aksi taktirde, kurutma alanında camın iç yüzeyi tamamen buğulanmakta ve bu da güneş ışınımının kurutucuya girmesine engel olmaktadır.

Kutunun yan ve alt tarafları izolasyon malzemesi ile çevrilidir. Kutunun iç yüzeyi güneş ışınımını absorblaması için siyaha boyalıdır veya yansıtıcı levhalarla kaplıdır. Bu sayede kutu içindeki havanın sıcaklığı yükselir. Nemli ürün alt kısımda delikli tepsiler içine yerleştirilir. Daha sonra tepsiler, üstüne direkt güneş ışınımı ulaşabilsin ve ürüne doğru sıcak hava geçebilsin diye tabandan birkaç cm yukarıda olacak şekilde kutuya yerleştirilir. Şekil 7.2' de kabin tipi kurutucu görülmektedir (Ong, 1988; Sharma vd.,1995; Ültanır,1975).

7.1.2. İç Bükey Kurutucu

Güneşli kurutmada meyveye gelen güneş ışınımının büyük bir kısmı yansımayla kaybolur. Kurutmada, radyasyonun yanında kondüksiyonla da meyve ye ısı iletimi yapılırsa meyveler daha uzun zamanda kuruyacaktır. Bu düşünceden hareketle Şekil 7.3' de görülen yarım silindir şeklinde iç bükey kurutucu yapılmıştır. Yarım silindirin kenarından ortaya kadar tahta yerleştirilmiş, tahtanın alt yüzeyi siyah plastikle üst

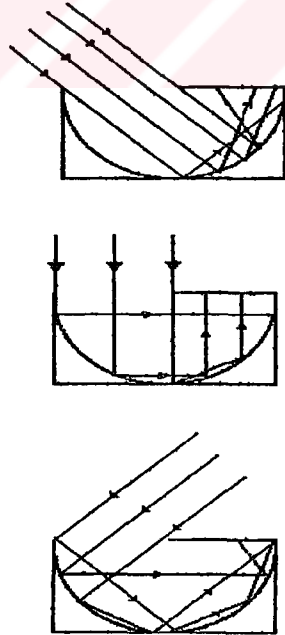


Şekil 7.2. Kabin tipi kurutucu

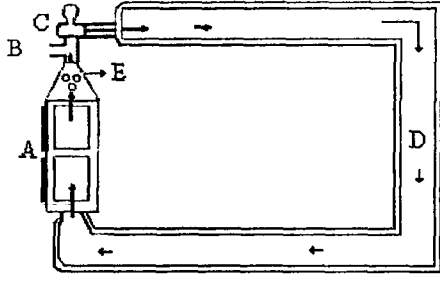
yüzeyi ise siyaha boyanmış alüminyumla kaplıdır. Silindire giren güneş ışınımı yansımaya plakaya çarpmakta plakayı ısıtarak meyveye kondüksiyonla ısıyı aktarmaktadır. Özel yapısı nedeniyle günün değişik saatlerinde gelen güneş ışınımı kolayca tekneye girebilmektedir. Bu tip kurutucu diğer kurutucularla beraber kullanılabilir.

7.1.3. Polietilen Isıtıcı Ve Kurutucu

Polietilen hava ısıtıcı ve kurutucu Şekil 7.4' de görülmektedir. Kurutucuda aspiratör tarafından çekilen hava tüpe gönderilmekte ve polietilen tüpte ısıtılan kurutucuya gelmektedir. Polietilen tüp altta siyah ve üstte açık renkli olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. İki polietilen arasındaki hava boşluğu güneş ışınımının yansımaya kaybolmasını önlemektedir. Güneş ışınımı üstteki polietilenden geçip alttaki siyah polietilen tarafından absorblanmakta ve havaya aktarılmaktadır. Kurutma dolabı raflı tip olmaktadır. Sistemde kullanılan hava sirküle edilebildiği gibi her dolaşımda taze hava da kullanılabilir(Bolin vd. 1978).



Şekil 7.3. İç bükçy (tekne) kurutucu (Bolin vd. 1979).



Şekil 7.4. Polietilen ısıtıcı ve kurutucu (a-Kurutma dolabı, b-taze hava girişi, c- fan, d-polietilen tüp, e-hava çıkışı)

7.1.4. Raf Tipi Güneşli Kurutucu

Raf tipi güneşli kurutucular güneş ışınımından direkt ve indirekt yararlanabildiği gibi hem direkt hem de indirekt yararlanabilirler. Kurutucu dolabın kuzeye bakan yüzü izole edilmekte diğer yüzeyler ise saydam örtülerle kaplanmaktadır. İzolasyon maddesi olarak cam yünü kullanılmaktadır. Raf sayısı ve kurutucunun boyutları, kurutucunun kapasitesine bağlıdır. Hava rafların arasından geçeceği için hava akışına fazla direnç göstermeyecek bir yapıda , temizlemesi kolay, hafif fakat sağlam olması istenir. Raf malzemesi, ürünü kirletmeyecek ve lekelemeyecek özellikte seçilmektedir. Raflar tahta bir çerçeve ve galvanizli elek telinden yapıldığı gibi amaca uygun olarak ince çیتالardan da yapılmaktadır.

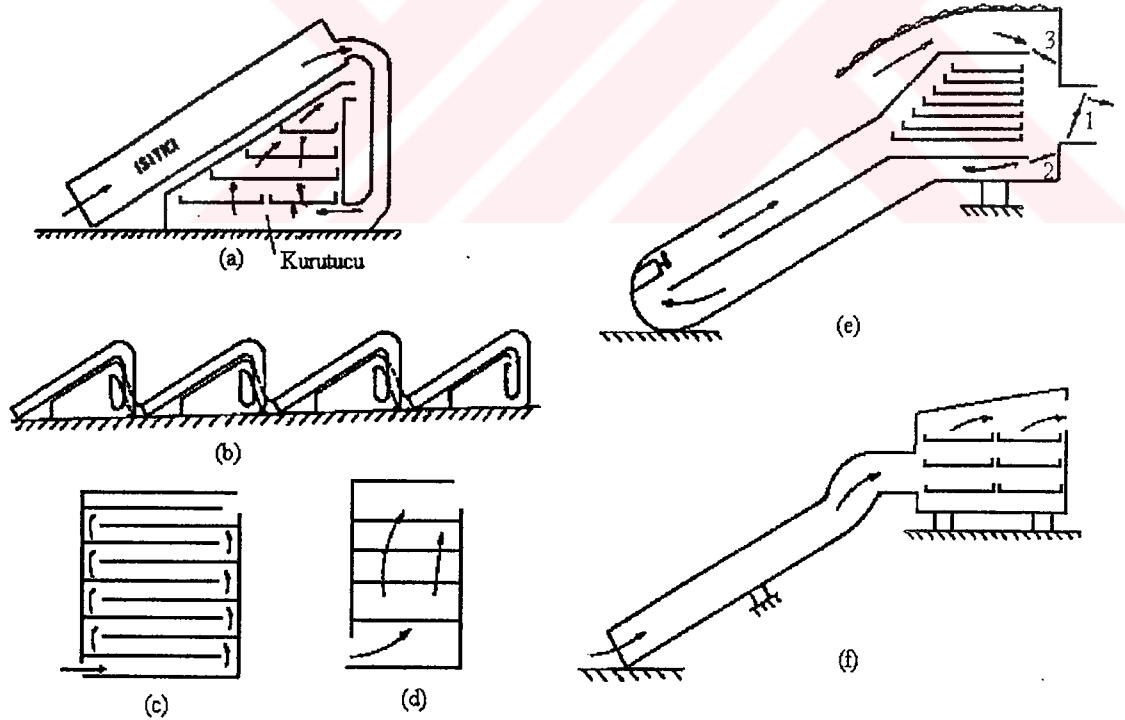
Hava, kurutucuya genellikle alttan girmekte, rafların altıdan, üstünden ve arasından geçerek üstten çıkmaktadır. Şekil 7.5 'de farklı tip kurutucunun ısıtıcıya bağlantı şekilleri görülmektedir. Şekildeki a tipinde ısıtıcıdan çıkan hava izoleli bir kanaldan geçerek ısıtıcının altına yerleştirilen kurutucuya alt yandan girerek, rafları geçerek üstten çıkmaktadır.Yer ekonomisi bakımından çok uygun görülmektedir ancak bir fana gereksinim duyulmaktadır. b tipinde ise hem ısı ekonomisi sağlanıyor hem de yüksek sıcaklıkta hava elde edilebiliyor.

Klasik bir düzenleme olan c tipinde ise hava her bir rafın altından dolaşmakta ve bu dolaşma için fana ihtiyaç duyulmaktadır (Farkas vd., 1999). Sıcak hava ürünün

ancak üst yüzeyine etki edeceğinden kuruma hızı da düşük olacaktır. Benzer bir düzenleme olan d tipinde ise hava yine alt yandan girmekte, delikli olan raflardan yükselerek üst yandan çıkmaktadır (Diamante ve Munro,1993; Kalra ve Bhardwaj, 1981).

Fan bulunan kurutuculardan biriside e düzenlemesidir. Ondüleli sacın altında ısınan hava 3 ve 2 vanalarından geçerek aspiratör tarafından emilmekte, bu sırada sistemin aşağıya doğru olan ısı kayıplarını azaltmaktadır. Hava ısıtıcıda bir kez daha ısıtıldıktan sonra raflara yandan verilmektedir. Hava çıkışta ya atmosfere atılır (1 açık), ya kısmen dolaştırılır (1,2 ve 3 açık) ya da tamamen kısa devre yapılabilir (1 ve 3 kapalı, 2 açık).

Son düzenleme olan f tipinde, ısıtılacak hava kurutucuya yandan girmekte, delikli rafların arasından geçerek üst yandan çıkmaktadır (Tırıs vd.,1995)



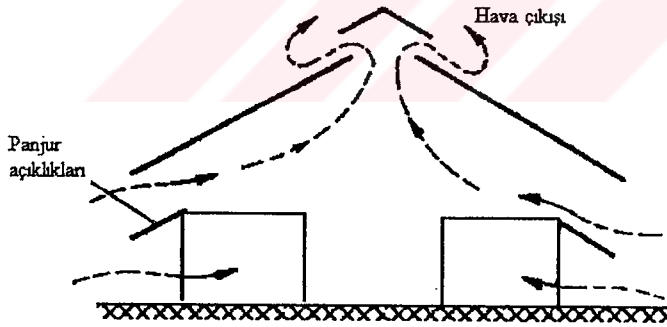
Şekil 7.5. Raflı tip kurutucunun ısıtıcıya bağlanış biçimleri (Akyurt vd., 1971)

7.1.5. Çatı Tipi Güneşli Kurutucu

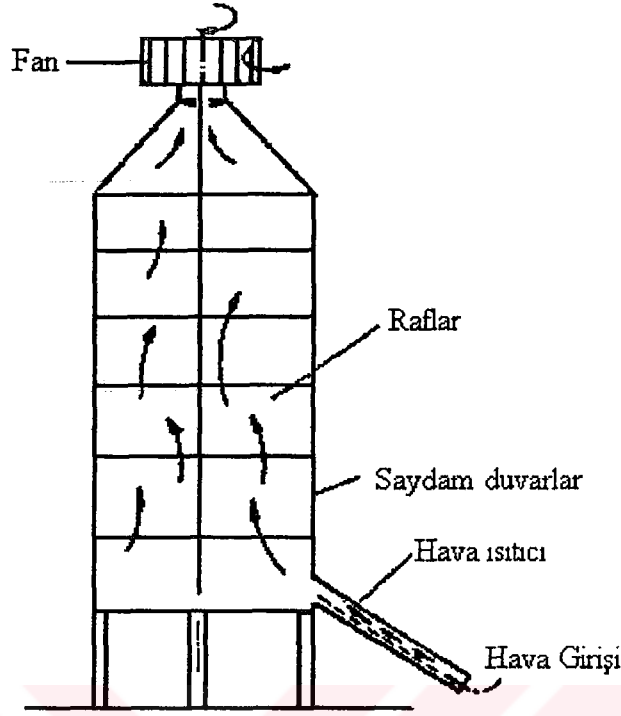
Çatı tipi güneşli kurutucu bir seraya benzemektedir. Şekil 7.6' da görüldüğü gibi hava yandaki panjurlardan içeri girmekte ve üstten çıkmaktadır. Kurutucunun uzun duvarı kuzey-güney doğrultusunda terleştirilmiş ve tüm duvarlar siyaha boyanmıştır. Ürünler, kurutucuda sıralar halinde raflarda kurutulmaktadır.

7.1.6. Aspiratörlü Güneşli Kurutucu

Şekil 7.7' de görüldüğü gibi raflı tip kurutucuya bir hava ısıtıcısı, rüzgarın etkisiyle dönen ve kurutucudan havayı çekerek atmosfere aktaran bir aspiratör eklenmiştir. Isıtıcıda ısınan hava yükselmekte aspiratörün emiş etkisiyle raflardan geçerek üstteki bacadan dışarı çıkmaktadır. Kurutucunun kuzey duvarı ve tabanı dışında diğer duvarlar güneş ışınımının kurutucuya girmesi için saydam örtüyle çevrilmiştir. Kuzey yönündeki duvar ve kurutucu tabanı ısı kayıplarını azaltmak amacıyla siyaha boyanmıştır. Isıtıcı güney yönünde ve belirli bir açıyla yerleştirilmiştir (Selçuk vd.,1974; Kılış,1981).



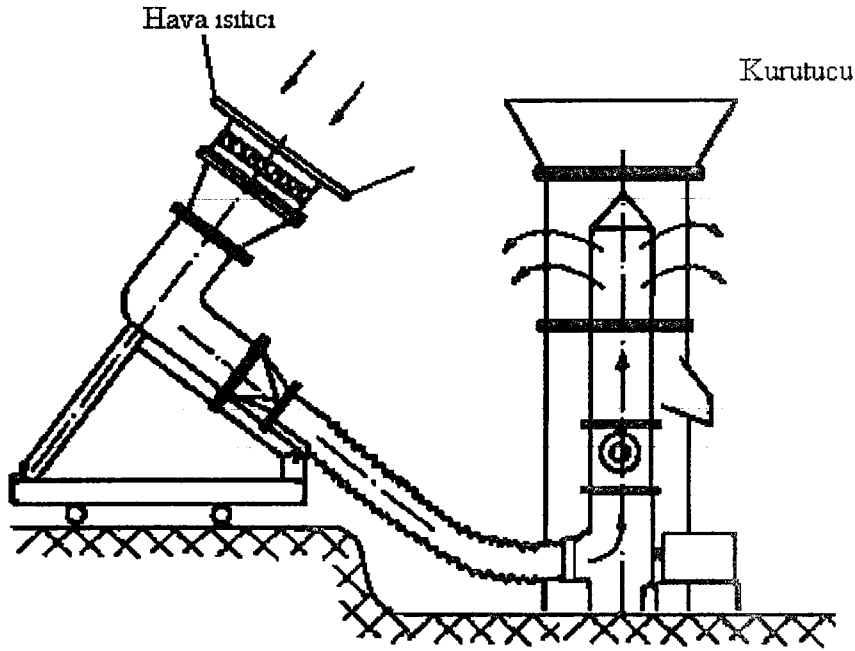
Şekil 7.6. Çatı tipi güneşli kurutucu (Kılış,1981)



Şekil 7.7. Aspiratörlü güneşli kurutucu

7.1.7. Güneşli Tahıl Kurutucu

Sürekli kurutucuların geliştirilmesi amacına yönelik pek çok araştırma yapılmıştır. Bu araştırmaların sonucu olarak sürekli tip bir tahıl kurutucusu geliştirilmiştir. Tahıl sürekli olarak, düşey yerleştirilmiş ve çevresinde delikler açılmış borudan çıkan sıcak hava akımının etkisiyle kurur ve kuruyan tahıl alttan alınır. Tahılın hareketi bir klepeyle kontrol edilir. Hava, tel örgü, kafes ve siyah plakadan meydana gelmiş ısıtıcıda ısıtılır. Şekil 7.8’ de sistemin çalışma prensibi ve genel görünüşü verilmiştir. Hava ısıtıcı ve hava kanalı açısı değiştirilebilir bir arabaya bindirilmiştir. Esnek bir hortum ısıtıcıyla kurutucu arasındaki bağlantıyı sağlar. Elektrik motorundan hareket alan bir aspiratör ısıtıcıdan havayı çeker ve kurutucuya gönderir.



Şekil 7.8. Güneşli tahıl kurutucu

7.1.8. Akışkan Yatak Kurutucu

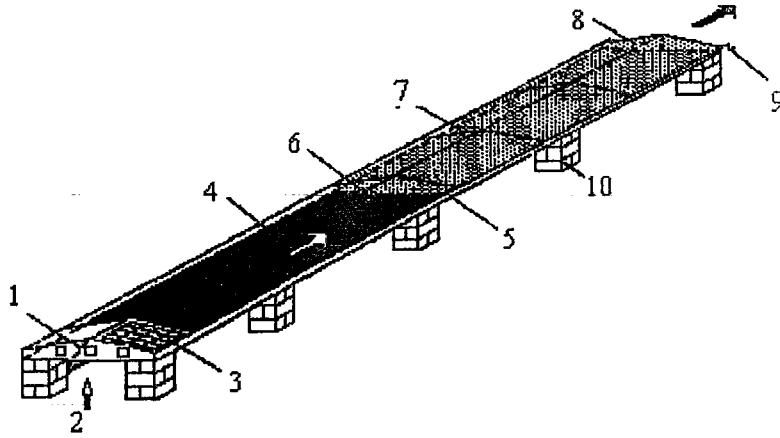
Akışkan yatak, katı tanelerle gaz arasındaki karşılıklı değme ve etkileşimin en çok olduğu süreçlerden birisidir. Şekil 7.9' da görüle akışkan yatak kurutucu iki üniteden meydana gelmiştir. Birincisi hava ısıtıcı diğeri ise akışkan yataklı kurutma dolabıdır. Hava ısıtıcısı yastık tipidir. Kurutucunun arka duvarı ve tabanı izole edilmiş olup tüm kasa siyaha boyanmıştır. Güneye bakan yüzü tahta çerçeveli camla örtülmüş ve eğimli yerleştirilmiştir. Kurutucuya ve ısıtıcıya verilecek eğimde minimum akışkanlaşma için gerekli güç, gerekli hava akımı ve güneş ışınımı göz önünde bulundurulmaktadır. Kurutucunun tabanında materyalin üzerine konduğu delikli plaka ya da distribütör vardır. Şekil 7,10'de görülen distribütörlerin a tipinde hava akımının kesilmesiyle küçük taneler deliklerden aşağıya düşerler. Bunu önlemek için b tipinde olduğu gibi alt alta zikzak delinmiş iki plaka kullanılabilir. Plaka deliklerinden hava geçebilmekte ancak taneler geçememektedir.

Isıtıcıda ısınan hava fan ile çekilmekte ve kurutucuya gönderilmektedir. Kurutucuya alttan giren hava distribütöre çarparak dağılır. Böylece hava taban yüzeyine düzgün olarak dağılmış distribütör deliklerinden çıkıp taneleri yukarı doğru iterek yataktan geçer. Yukarı doğru hava akımının hızı belirli bir değeri geçince taneler hava akımı içinde asılı kalırlar. Bu durumda hava ile taneler arasındaki sürtünme kuvveti tanelere olan yerçekiminin etkisini dengelemiş olur. Taneli kütle, sıvı özellikleri göstermeye başlar. Yatak akışkanlaşmaya başlamış olur. Bu noktadaki hava hızına minimum akışkanlaşma hızı denir. Hava hızı, minimum akışkanlaşma hızından daha büyük değerlere gittikçe taneler girdaplı hareketler yapmakta ve yatağın tabanından yüzüne doğru yükselmektedir. Bu evrede taneler ile hava çok iyi karışmakta ve yatak kütlesi çok iyi karıştırılmaktadır.

Kurutucuda kullanılan hava üstten çıkmakta istendiğinde çıkan hava tekrar kuruma işleminde kullanılabilir. Kurutma işleminde ısınan havanın yanında direkt etkide bulunan güneş ışınımına etkisi vardır. Renklerinin kararmaması için güneşi görmesi gereken bazı meyvelerin kurutulmasında başarı ile kullanılabilir. Bu kurutucuda ısı transfer alanı büyük olduğu için kurutma daha kısa sürede meydana gelmektedir. Ancak akışkanlaşmanın sağlanabilmesi için gerekli güç miktarı çok fazladır.

7.1.9. Güneşli Tünel Kurutucu

Şekil 7.11 'de görülen güneşli tünel kurutucu plastik levha ile kaplanmış düzlem güneş toplayıcısı, bir kurutma tüneli ve üç küçük eksenel akış fanından oluşmuştur. İmalatı basitleştirmek ve maliyeti düşürmek için, güneş enerjili toplayıcı herhangi ilave hava kanalı olmaksızın kurutma tüneline direkt olarak bağlanmıştır. Hem toplayıcı hem de kurutma tüneline alt izolasyon malzemesi olarak iki paralel metal plaka arasına yerleştirilmiş plastik köpük kullanılmıştır. Toplayıcıdaki izolatörün üst yüzeyi güneş ışınmasını absorblaması için siyaha boyanmıştır. Toplayıcı U.V. geçirgen plastik bir levha ile kaplanmıştır. Kurutma tüneline izolatörün üzerine tel elek ve onun üzerine de ürünün dizildiği plastik file yerleştirilmiştir. Toplayıcının güneş enerjisini

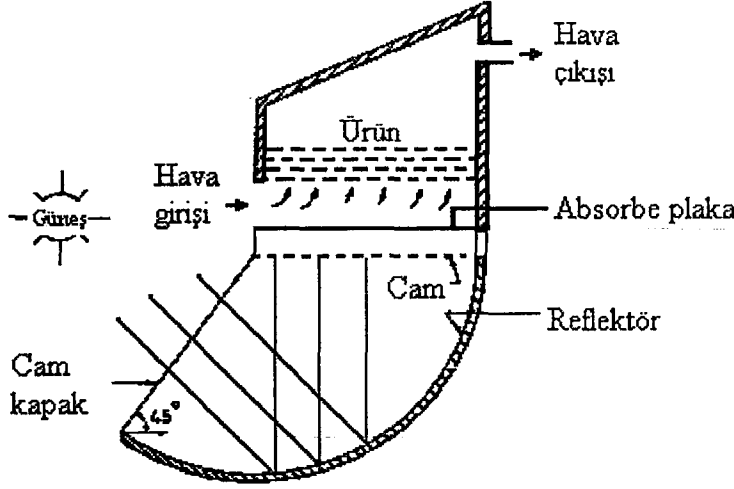


Şekil 7.11. Güneşli tünel kurutucu (1) fan, (2) hava girişi, (3) güneş hücresi modülü, (4) güneş enerjisi toplayıcısı, (5) metal levha, (6) toplayıcı çıkışı, (7) kurutma tüneli, (8) kurutma tünelinin çıkışı, (9) oluklu demir, (10) taşıyıcı blok.

7.1.10. Silindirik Reflektörlü Kurutucu

Şekil 7.12' de görülen kabin tipi kurutucunun tabanına absorber bir plaka onun da altına aynı açıklık alanına sahip silindirik bir reflektör yerleştirilmiştir. Güneş ışınması alttan silindirik reflektöre girer ve oradan seçici yüzeyli absorber plakaya yansıtılır. Kabin tipi kurutucu absorberin üzerine yerleştirilmiştir. Isınan hava alttan kurutucuya girer. Kurutucunun taban alanı absorber plakanın alanına eşittir.

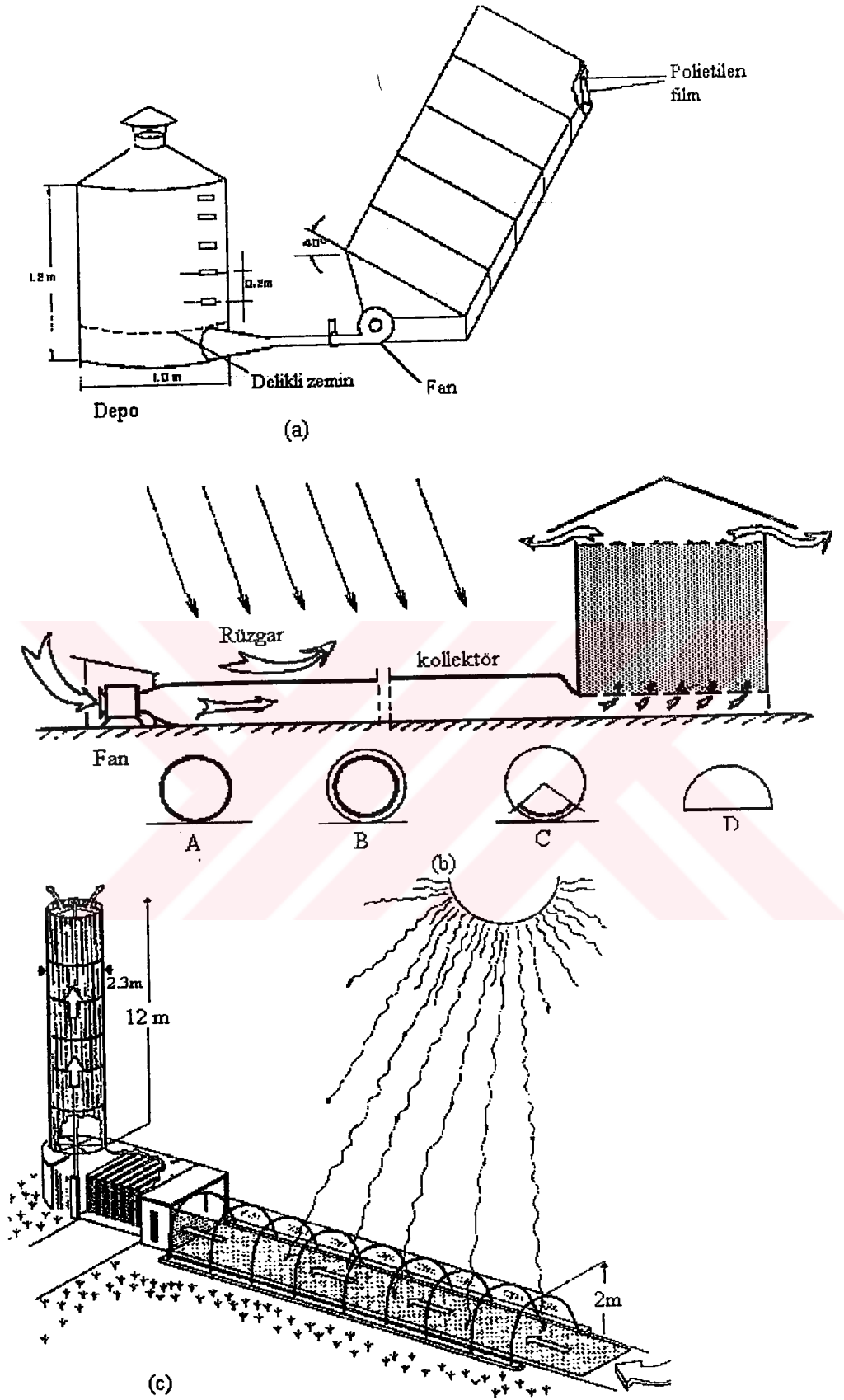
Sıcak hava tel elek üzerine yerleştirilen ürünü ısıtır ve ürünün içinden yüzeye sonra da kamara içinde nem hareketi başlar. Kurutma kamarası ve dış ortam arasındaki buhar basıncı farkı nedeniyle nemli hava üst kısımdaki delikten dışarı doğru çıkar (Goyal ve Tiwari, 1997).



Şekil 7.12. Silindirik Reflektörlü Kurutucu

7.1.11. Güneşli Ambar Tip Kurutucu

Endüstriyel ölçekte kurutma olanağı sağlayan ambar tipi kurutucularda hava basit bir güneş enerjisi toplayıcısı ile ısıtılarak kurutucu kamaraya gönderilir. Ambar içindeki tepsilere yerleştirilen ürün gelen sıcak hava ile kurutulur. Değişik dizayn şekilleri olan ambar tipi kurutucu Şekil 7.13'de verilmiştir. (a) da 10x8 m büyüklüğünde güneş enerjisi toplayıcı modülüne monte edilmiş ambar tip kurutucu görülmektedir (Roa ve Macedo, 1976). (b) de ise silindirik bir absorberden fanla geçirilen hava büyük ölçekli kurutma odasına gönderilmektedir (Fohr ve Figueiredo, 1987). (c) de ise 60 m uzunluğundaki hava geçiş kanalı güneş ışımasını geçiren bir kapak ile çevrelenmiştir. Burada doğal konveksiyonla ısınan hava 12 m uzunluğunda 2.3 m çapında dikey yerleştirilmiş silindirik bir ambara gönderilmektedir (Reus vd, 1997).



Şekil 7.13. Güneşli ambar tip kurutucular

7.2. Güneş Enerjili Kurutucularda Verim

Bir kurutma sistemi için verim en genel hali ile aşağıdaki gibidir.

$$\eta = \frac{\text{sıcak hava ile uzaklaştırılan gerçek nem kaybı}}{\text{sıcak havanın toplam teorik nem absorplama kapasitesi}} \quad (7.1)$$

Bu verim ifadesi mutlak nem cinsinden ifade edilebilir (Tırıs vd., 1995).

$$\eta = \frac{H_o - H_i}{H_{as} - H_i} \quad (7.2)$$

Burada H_o : Kurutma kamarasını terk eden havanın mutlak nemi (kg/kg)

H_i : Kurutma kamarasına giren havanın mutlak nemi (kg/kg)

H_{as} : Kurutma kamarasına giren havanın adyabatik doygunluk nemi (kg/kg)

Verim ifadesi benzer şekilde buharlaşan su kütlesi cinsinden aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\eta = \frac{W_o - W_t}{m_a t (H_{as} - H_i)} \quad (7.3)$$

Burada W_o : Ürünün başlangıç kütlesi (kg)

W_t : t zamanında ürünün kütlesi (kg)

t : zaman

Bir kurutma prosesi için enerji dengesi eşitliği (Ayensu, 1997)

$$W_{su} \lambda = W_{hava} C_p (T_\varphi - T_g) \quad (7.4)$$

şeklinde yazılabilir. Burada;

W_{su} : W_a kütlesindeki kurutucu hava tarafından absorblanan ve örnekten buharlaştırılan suyun kütlesi

C_p : Havanın spesifik ısı kapasitesi

λ : Kurutucu sıcaklığında buharlaşma gizli ısı

Bu enerji dengesi kurutucu içindeki havanın enerjisinin hiç kayıp olmadan tamamının nem çıkarmada kullanıldığı durumu ifade eder. Gerçekte bir miktar kayıp olacağı için enerji dengesi verim ifadesine dönüştürülebilir.

$$\eta = \frac{W_{su} \lambda}{W_{hava} C_p (T_f - T_g)} \quad (7.5)$$

Toplam buharlaşan su kütlesi aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

$$W_{su} = \frac{W_o (M_o - M_e)}{(100 - M_e)} \quad (7.6)$$

Burada M_e : denge nem içeriği

W_o : örneğin başlangıç kütlesi

M_o : başlangıç nem içeriğidir.

Direkt olarak güneş ışıını alan kurutucularda verim aşağıdaki ifade ile bulunur (Arinze vd., 1999).

$$\eta = \frac{W_{su} \lambda 100}{(A_a I t) + Q_f} \quad (7.7)$$

Burada t : W_{su} kg suyun buharlaşması için geçen zaman (saat)

A_a : Kurutucunun güneş ışınlarına maruz kalan alanı

I : Toplam güneş ışıması $\text{kJ/m}^2\text{saat}$

Q_f : t kuruma zamanında kurutucuya verilen fan enerjisidir

Güneş enerjili kurutma sistemlerinde güneş enerjili hava ısıtıcının ve kurutucunun kurutma verimi hesaplandıktan sonra sistemin toplam verimi hesaplanır.

$$\text{Sistem verimi} = \text{Hava ısıtıcı verimi} \times \text{kurutucu verimi} \quad (7.8)$$

8. KAYISI: ÜRETİMİ, İHRACATI VE ÖNEMİ

Kayısı, gerek üretimi gerekse ihracat geliri açısından ülkemizin önemli ürünleri arasındadır (Şekil 8.1). Aynı zamanda yüksek besin değerine sahip bir meyvedir. Kayısı diğer meyveler gibi günlük enerji ve protein gereksinimine çok az katkıda bulunur. Yapısının büyük bir kısmı sudan oluşur. Buna karşın minerallerden potasyum ve vitaminlerden A vitamininin bir ögesi olan B-karoten yönünden zengindir (Tablo 8.1). Vitamin A vücudu ve organları saran epitel doku ve gözün sağlığı, kemiklerin ve dişlerin gelişimi ve sağlığı, endokrin bezlerinin çalışması için elzemdir. Bu görevlerinden dolayı üremede ve büyümede enfeksiyonlara karşı direncin sağlanmasında ve görmede büyük etkinliği olan bir vitamindir. A vitamini, kanser etiolojisinde de önemli rol oynamaktadır. A vitamininin, ayrıca mikroorganizmanın ve sağlıklı hücrelerin direncini artırarak ta kanser hastalıklarına karşı koruyuculuk görevi yaptığı bir çok araştırmalarla gösterilmiştir. Ayrıca kayısı, beyin düzenli çalışmasını sağlar, karaciğerin tahrip olan kısmını onarır, kan yapımını artırır, kemiklerin daha düzgün ve sağlam olmasında önemli rol oynar.(Yücecan, 1994)

Tablo 8.1. 100 gram kayısının enerji ve besin değerleri

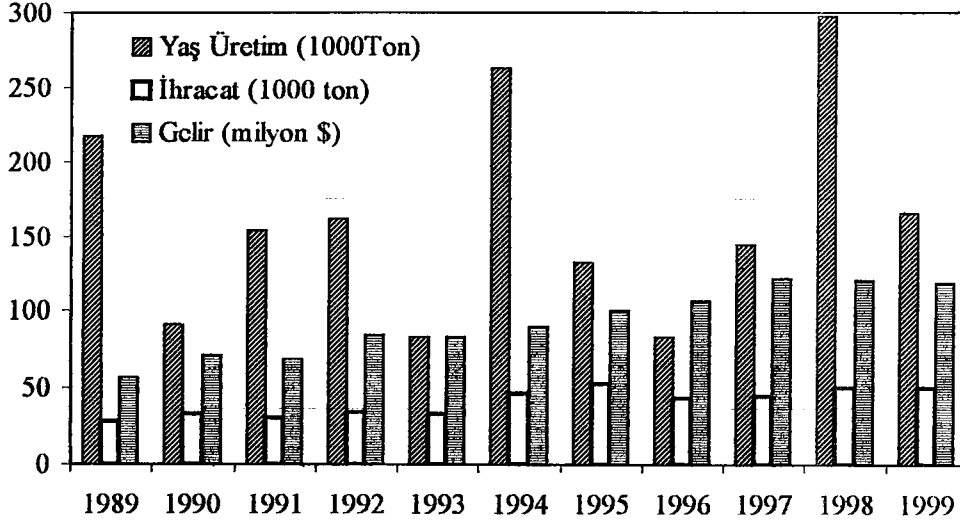
Besinler	Kayısı		
	Taze	Kuru	Pestil
Su,g	85.3	25.0	3.5
Enerji, kcal	51	260	332
Protein, g	1.0	5.0	5.6
Yağ ,g	0.2	0.5	1.0
Karbonhidrat ,g	12.8	66.5	84.6
Posa g	0.6	3.0	2.2
Kül, g	0.7	3.0	5.3
Kalsiyum, mg	16	67	86
Demir, mg	0.5	5.5	5.3
Fosfor, mg	23	108	130
Potasyum, mg	281	979	1260
Sodyum, mg	1	26	33
Vitamin A ve Karoten IU	2700	10900	14100
Tiamin, mg	0.03	0.01	Eser
Riboflavin, mg	0.04	0.16	0.08
Nasin, mg	0.6	3.3	3.6
Vitamin C, mg	10	12	15

8. KAYISI: ÜRETİMİ, İHRACATI VE ÖNEMİ

Kayısı, gerek üretimi gerekse ihracat geliri açısından ülkemizin önemli ürünleri arasındadır (Şekil 8.1). Aynı zamanda yüksek besin değerine sahip bir meyvedir. Kayısı diğer meyveler gibi günlük enerji ve protein gereksinimine çok az katkıda bulunur. Yapısının büyük bir kısmı sudan oluşur. Buna karşın minerallerden potasyum ve vitaminlerden A vitamininin bir ögesi olan B-karoten yönünden zengindir (Tablo 8.1). Vitamin A vücudu ve organları saran epitel doku ve gözün sağlığı, kemiklerin ve dişlerin gelişimi ve sağlığı, endokrin bezlerinin çalışması için elzemdir. Bu görevlerinden dolayı üremede ve büyümede enfeksiyonlara karşı direncin sağlanmasında ve görmede büyük etkinliği olan bir vitamindir. A vitamini, kanser etiolojisinde de önemli rol oynamaktadır. A vitamininin, ayrıca mikroorganizmanın ve sağlıklı hücrelerin direncini artırarak ta kanser hastalıklarına karşı koruyuculuk görevi yaptığı bir çok araştırmalarla gösterilmiştir. Ayrıca kayısı, beyin düzenli çalışmasını sağlar, karaciğerin tahrip olan kısmını onarır, kan yapımını artırır, kemiklerin daha düzgün ve sağlam olmasında önemli rol oynar.(Yücecan, 1994)

Tablo 8.1. 100 gram kayısının enerji ve besin değerleri

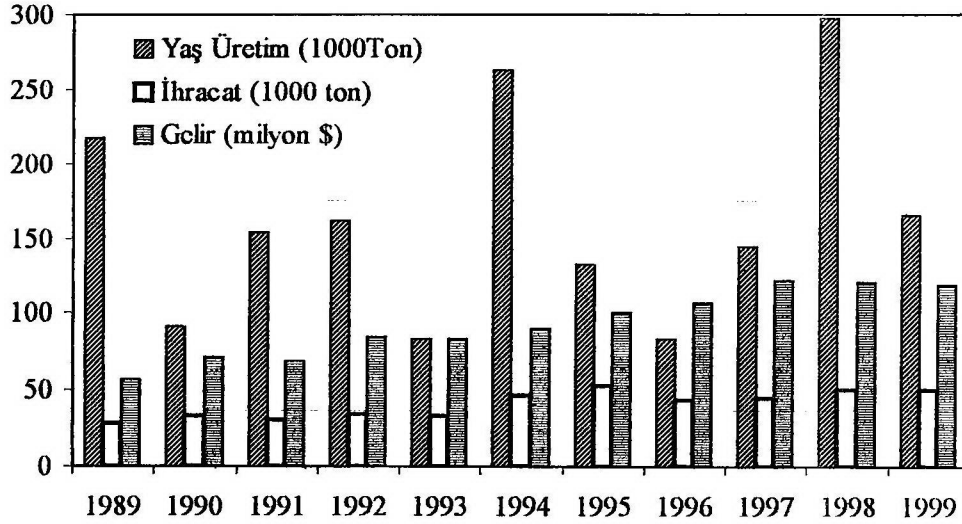
Besinler	Kayısı		
	Taze	Kuru	Pestil
Su,g	85.3	25.0	3.5
Enerji, kcal	51	260	332
Protein, g	1.0	5.0	5.6
Yağ ,g	0.2	0.5	1.0
Karbonhidrat ,g	12.8	66.5	84.6
Posa g	0.6	3.0	2.2
Kül, g	0.7	3.0	5.3
Kalsiyum, mg	16	67	86
Demir, mg	0.5	5.5	5.3
Fosfor, mg	23	108	130
Potasyum, mg	281	979	1260
Sodyum, mg	1	26	33
Vitamin A ve Karoten IU	2700	10900	14100
Tiamin, mg	0.03	0.01	Eser
Riboflavin, mg	0.04	0.16	0.08
Nasin, mg	0.6	3.3	3.6
Vitamin C, mg	10	12	15



Şekil 8.2. Yıllara göre kuru kayısı üretimi ve ihracatı

depolarda kaldıkları süre uzadıkça kükürtdioksit miktarı azalmaktadır. İlk birkaç ay sonra kükürtdioksitin %22' si ve 5 ay sonra ise %50' sinin kaybolduğu tespit edilmiştir. Kükürtlenmiş ve çeşitli şekillerde kurutulmuş kayısılar 3-4 sene muhafaza edilebilmektedir. Tam olgunluk çağında kurutulan kayısıların bünyesinde, %0.11 kükürtdioksit, % 18 su ve % 48 şeker vardır. Kuru kayısıdaki nem miktarının %15' in altında %20-%25'in üstünde olmaması gerekmektedir. Yüksek orandaki nem kayısının raf ömrünün kısaltılmasına ve kalitesinin düşmesine neden olmaktadır (Göğüş, 1994).

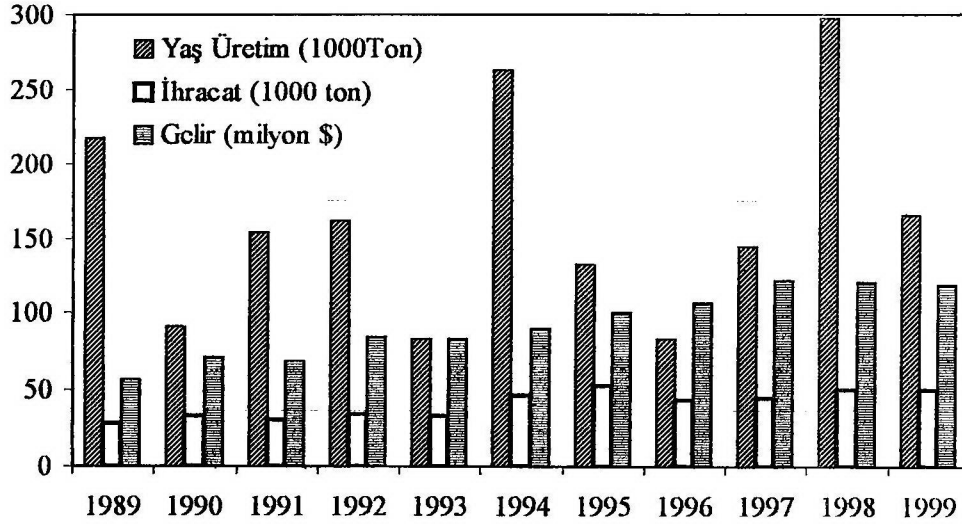
Kükürtleme işleminden sonra kayısılar güneşte kurutmaya alınmakta, işlemin 3. günü çekirdekleri çıkarılmakta ve kuruma 5. veya 6. gün tamamlanmaktadır. Ancak iklim şartlarına bağlı olarak kuruma uzayabilmektedir. Ancak güneşte kurutma için geniş alana ihtiyaç vardır. 20 dönümlük kayısı bahçesi için 1 dönüm kurutma alanı gerekmektedir (Şekil 8.3). Kurutulan kayısılar renk ve irilik bakımından kayısı işleme fabrikalarında tasnif edildikten (Şekil 8.4) sonra ambalajlanarak satışa sunulmaktadır (Şekil 8.5).



Şekil 8.2. Yıllara göre kuru kayısı üretimi ve ihracatı

depolarda kaldıkları süre uzadıkça kükürtdioksit miktarı azalmaktadır. İlk birkaç ay sonra kükürtdioksitin %22' si ve 5 ay sonra ise %50' sinin kaybolduğu tespit edilmiştir. Kükürtlenmiş ve çeşitli şekillerde kurutulmuş kayısılar 3-4 sene muhafaza edilebilmektedir. Tam olgunluk çağında kurutulan kayısıların bünyesinde, %0.11 kükürtdioksit, % 18 su ve % 48 şeker vardır. Kuru kayısıdaki nem miktarının %15' in altında %20-%25'in üstünde olmaması gerekmektedir. Yüksek orandaki nem kayısının raf ömrünün kısaltmasına ve kalitesinin düşmesine neden olmaktadır (Göğüş, 1994).

Kükürtleme işleminden sonra kayısılar güneşte kurutmaya alınmakta, işlemin 3. günü çekirdekleri çıkarılmakta ve kuruma 5. veya 6. gün tamamlanmaktadır. Ancak iklim şartlarına bağlı olarak kuruma uzayabilmektedir. Ancak güneşte kurutma için geniş alana ihtiyaç vardır. 20 dönümlük kayısı bahçesi için 1 dönüm kurutma alanı gerekmektedir (Şekil 8.3). Kurutulan kayısılar renk ve irilik bakımından kayısı işleme fabrikalarında tasnif edildikten (Şekil 8.4) sonra ambalajlanarak satışa sunulmaktadır (Şekil 8.5).



Şekil 8.2. Yıllara göre kuru kayısı üretimi ve ihracatı

depolarda kaldıkları süre uzadıkça kükürtdioksit miktarı azalmaktadır. İlk birkaç ay sonra kükürtdioksitin %22' si ve 5 ay sonra ise %50' sinin kaybolduğu tespit edilmiştir. Kükürtlenmiş ve çeşitli şekillerde kurutulmuş kayısılar 3-4 sene muhafaza edilebilmektedir. Tam olgunluk çağında kurutulan kayısıların bünyesinde, %0.11 kükürtdioksit, % 18 su ve % 48 şeker vardır. Kuru kayısındaki nem miktarının %15' in altında %20-%25'in üstünde olmaması gerekmektedir. Yüksek orandaki nem kayısının raf ömrünün kısaltmasına ve kalitesinin düşmesine neden olmaktadır (Göğüş, 1994).

Kükürtleme işleminden sonra kayısılar güneşte kurutmaya alınmakta, işlemin 3. günü çekirdekleri çıkarılmakta ve kuruma 5. veya 6. gün tamamlanmaktadır. Ancak iklim şartlarına bağlı olarak kuruma uzayabilmektedir. Ancak güneşte kurutma için geniş alana ihtiyaç vardır. 20 dönümlük kayısı bahçesi için 1 dönüm kurutma alanı gerekmektedir (Şekil 8.3). Kurutulan kayısılar renk ve irilik bakımından kayısı işleme fabrikalarında tasnif edildikten (Şekil 8.4) sonra ambalajlanarak satışa sunulmaktadır (Şekil 8.5).

9. MATERYAL VE METOT

9.1. Deney Setinin Tanıtımı Özellikleri ve Kısımları

Kurutmada konik yoğunlaştırıcı bir hava ısıtıcının performansının incelenmesi konulu çalışmada öncelikle kullanımına şimdiye kadar pek rastlanmamış güneşi doğuşundan batışına kadar izleyebilen konik yoğunlaştırıcı bir hava ısıtıcının tasarımı daha sonrada imalatı yapılarak deney seti hazırlandı. Konik yoğunlaştırıcı hava ısıtıcının verimini ve verime etki eden parametreleri incelemek amacıyla 1999 yılının yaz ayları boyunca seri deneyler yapıldı. Konik toplayıcının optimum çalışma şartları belirlendi. Konik yoğunlaştırıcı toplayıcıdan elde edilen sıcak havanın kurutmada kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla uygun bir kurutucu dizaynı ve imalatı yapıldı ve toplayıcıya monte edildi. Kurutulacak materyal olarak Elazığ-Malatya yöresinde büyük ekonomik öneme sahip bir meyve olan kayısı seçildi. Bu ürün kırsal kesimde yerlere serilen yaygılar üzerinde hijyenik şartlardan uzak olarak uzun sürede kurumaktadır. Yeni dizayn edilen konik toplayıcı bir hava ısıtıcının , ihracatıyla bölgenin ve Türkiye'nin ekonomisinde önemli bir yere sahip olan kayısının hijyenik şartlarda ve kısa sürede kurutulmasında kullanılabilirliği araştırıldı. Bu amaçla 2000 yılı yaz ayları boyunca deneyler yapıldı. Ayrıca kükürtlenmiş kayısının kuruma kinetiği tepsili kurutucuda , tek bir kayısı tanesinin değişik şartlarda kurutulmasıyla belirlendi.

9.2. Konik Yoğunlaştırıcı Hava Isıtıcı

Konik yoğunlaştırıcı güneş enerjisi toplayıcı temel olarak üç kısımdan oluşmuştur.

- Konik yoğunlaştırıcı hava ısıtıcı
- Hareket Mekanizması
- Sıcaklık ölçüm birimi

Şekil 9.1 'de görülen konik yoğunlaştırıcı hava ısıtıcı, 18-10 Cr-Ni paslanmaz çelikten imal edilmiş konik şekilli bir yansıtıcı ve odak düzlemine yerleştirilen siyah mat güneş enerjisi boyası ile boyanmış silindir şeklinde bakır bir borudan ibarettir. Koni, iç açısı (β) 76° olacak şekilde yapılmıştır. Bu, güneşten gelen ışınların dik olarak absorbere yansıtılacağı minimum açıdır. Konik yoğunlaştırıcı hava ısıtıcının karakteristik özellikleri Tablo 9.1' de verilmiştir.

Absorber olarak işlem gören bakır boru üzerine rüzgâr kayıplarını azaltmak amacıyla bora silikat cam bir boru geçirilmiştir. Absorber boru koniye , konik yansıtıcı ise bir flanş yardımıyla ana taşıyıcı demir boru üzerine monte edilmiştir. Demir boru güneş ışınlarından daha fazla faydalanılması için siyah güneş enerjisi boyası ile boyanmıştır. Silindir absorber boru içerisine boru iç çapı ile aynı ende bakır levha yerleştirilmiş , havanın sirkülasyonuna olanak tanımak amacıyla levhanın ucu ile boru ucu arasında 5 cm boşluk bırakılmıştır. Bu sayede absorber iki geçişli hale getirilmiştir. Absorber boruya havanın giriş ve çıkışını sağlayan ana taşıyıcı demir boru içersine koni ile birleştiği noktalardan yuva açılmış, absorber içindeki bakır levha itilerek bu yuvaya yerleştirilmiştir. Bu sayede absorbere giren ve absorberden çıkan havanın karışması önlenmiştir.

Ana taşıyıcı demir boru iki traktör kolu ile tüm sistemi taşıyan tabla üzerine monte edilmiştir. Traktör kollarının yüksekliği ayarlanarak farklı eğim açıları elde edilmiştir. Tabla tam orta kısmından beton zemine tesbit edilmiştir. Sistemi taşıyan tablanın ayaklarına monte edilmiş tekerlekler tablanın ve dolayısıyla tüm sistemin dönmesine olanak sağlamaktadır. Konik yoğunlaştırıcıyı taşıyan tabla üzerinde iki adet muhafaza dolabı vardır. Bu dolaplardan birine sıcaklık ölçüm birimi diğerine ise sistemi hareket ettiren elektronik devre yerleştirilerek güneş ışınlarından korunması sağlanmıştır.

Konik yoğunlaştırıcı hava ısıtma sisteminde iki adet hareket kolu vardır. Kollardan biri ana taşıyıcı borunun alt kısmına monte edilmiş bir flanşa diğeri ise alt tablayı beton zemine tesbit eden kola hareket verecek şekilde yerleştirilmiştir. İlk hareket kolu ile ana taşıyıcı demir boru dolayısıyla konik yansıtıcı ve ona bağlı absorber boru alt tablayı döndürmektedir.

Şekil 9.1 'de görülen konik yoğunlaştırıcı hava ısıtıcı, 18-10 Cr-Ni paslanmaz çelikten imal edilmiş konik şekilli bir yansıtıcı ve odak düzlemine yerleştirilen siyah mat güneş enerjisi boyası ile boyanmış silindir şeklinde bakır bir borudan ibarettir. Koni, iç açısı (β) 76° olacak şekilde yapılmıştır. Bu, güneşten gelen ışınların dik olarak absorbere yansıtılacağı minimum açıdır. Konik yoğunlaştırıcı hava ısıtıcının karakteristik özellikleri Tablo 9.1' de verilmiştir.

Absorber olarak işlem gören bakır boru üzerine rüzgâr kayıplarını azaltmak amacıyla bora silikat cam bir boru geçirilmiştir. Absorber boru koniye , konik yansıtıcı ise bir flanş yardımıyla ana taşıyıcı demir boru üzerine monte edilmiştir. Demir boru güneş ışınlarından daha fazla faydalanılması için siyah güneş enerjisi boyası ile boyanmıştır. Silindir absorber boru içerisine boru iç çapı ile aynı ende bakır levha yerleştirilmiş , havanın sirkülasyonuna olanak tanımak amacıyla levhanın ucu ile boru ucu arasında 5 cm boşluk bırakılmıştır. Bu sayede absorber iki geçişli hale getirilmiştir. Absorber boruya havanın giriş ve çıkışını sağlayan ana taşıyıcı demir boru içersine koni ile birleştiği noktalardan yuva açılmış, absorber içindeki bakır levha itilerek bu yuvaya yerleştirilmiştir. Bu sayede absorbere giren ve absorberden çıkan havanın karışması önlenmiştir.

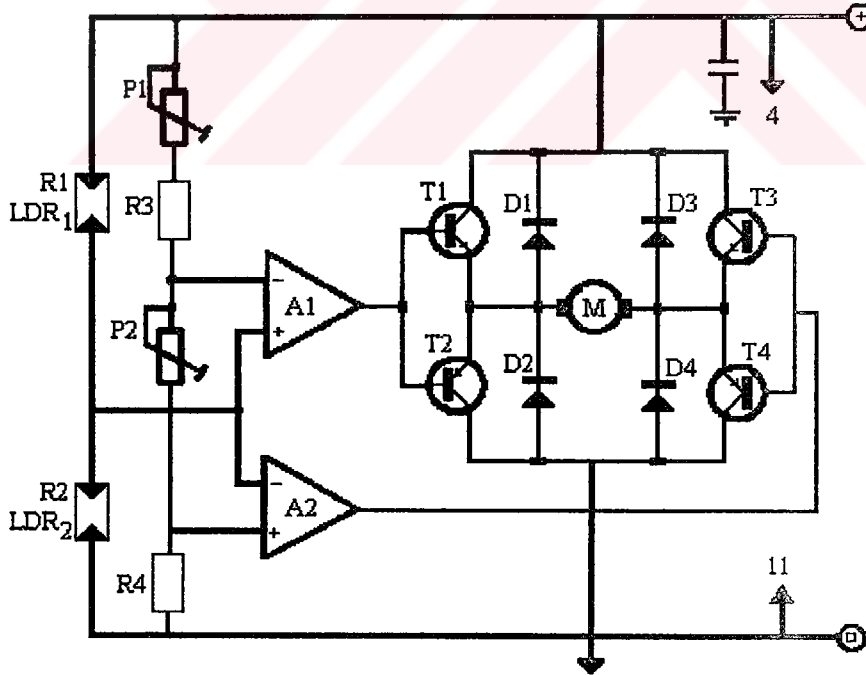
Ana taşıyıcı demir boru iki traktör kolu ile tüm sistemi taşıyan tabla üzerine monte edilmiştir. Traktör kollarının yüksekliği ayarlanarak farklı eğim açıları elde edilmiştir. Tabla tam orta kısmından beton zemine tesbit edilmiştir. Sistemi taşıyan tablanın ayaklarına monte edilmiş tekerlekler tablanın ve dolayısıyla tüm sistemin dönmesine olanak sağlamaktadır. Konik yoğunlaştırıcıyı taşıyan tabla üzerinde iki adet muhafaza dolabı vardır. Bu dolaplardan birine sıcaklık ölçüm birimi diğerine ise sistemi hareket ettiren elektronik devre yerleştirilerek güneş ışınlarından korunması sağlanmıştır.

Konik yoğunlaştırıcı hava ısıtma sisteminde iki adet hareket kolu vardır. Kollardan biri ana taşıyıcı borunun alt kısmına monte edilmiş bir flanşa diğeri ise alt tablayı beton zemine tesbit eden kola hareket verecek şekilde yerleştirilmiştir. İlk hareket kolu ile ana taşıyıcı demir boru dolayısıyla konik yansıtıcı ve ona bağlı absorber boru alt tablayı döndürmektedir.

Tablo 9.1. Konik yoğunlaştırıcı hava ısıtma sisteminin karakteristik özellikleri

Absorber alanı	0.295m ²
Koni açıklık alanı	2.22 m ²
β	76 °
Havanın kütleli debisi	Doğal akışta dolgusuz:7.5 kg/saat Doğal akışta dolgulu: 5.74 kg/saat Zorlanmış akışta:70,60,50,40,30 kg/saat
Toplayıcı eğim açısı, θ	28.4 °,33.4 °,38.4°
Absorber	Bakır boru, D _o =102 mm, D _i =100 mm, tek geçişte boru uzunluğu=920 mm, tek geçişte kesit alanı:2.88x10 ⁻³ m ²
Geçirgen kapak	Bora silikat cam (n _d =1.473,τ=0.9183,ρ _d =0.0697,α=0.012)
Geçirgen kapak iç çapı	114 mm
Geçirgen kapak dış çapı	120 mm
Seçici yüzey	Bakır üzerine nikel kaplanmış yüzeye siyah krom ile renklendirme (α=0.96, ε=0.12)
Seçici yüzey kalınlığı	0.2 mm
Siyah mat güneş enerjisi boyası	α=0.98, ε=0.88
Siyah boya için (γτα) _n	0.9012
Seçici yüzey için (γτα) _n	0.884
Yoğunlaştırıcı	18-10 Cr-Ni paslanmaz çelik
Dolgu malzemesi	6, 10 ve 14 sargı sayısında katlanmış alüminyum sinek teli, 35 delik/cm ² Tel açıklığı:1.5mmx2mm
Ana taşıyıcı boru	Demir boru, D _o = 137 mm , D _i = 127 mm, L=2 m
γ	1(Löf et al.1962)

olana kadar güneşi takip eder, eşit olduğu noktada durur. Şekil 9.2' de fotosellerle (LDR) güneş izleme sistemi görülmektedir. Her iki fotosel(LDR) aynı ışık aldığı anda çalışma geriliminin yarısı A1'in terslenmemiş (non-inverting) girişine ve diğer yarısı A2' nin terslenmemiş (inverting) girişine tatbik edilir. Güneşin konumu değiştiğinde fotoseller farklı ışık algırlar. Dolayısıyla R1 ve R2 farklıdır. A1 ve A2' ye gelen giriş sinyalleri farklı olduğu için motor saat yönüne veya saat yönü tersine döner. T1 ...T4 transistörlerinden oluşan köprü devresi motorun yönünü değiştirmek için kullanılırlar. D1...D4 diodları motorun anahtarlanması sırasında oluşan tepe gerilimleri bastırır. P1 ve P2 motor yönü için ön ayar potansiyometreleridir ve bunların ayarları fotoseller aynı ışık yoğunluğunda olduğunda yapılır. Eğer 2. fotosele 1. fotoselden daha az ışık gelirse, A noktasındaki gerilim besleme geriliminin yarısından fazladır. Sonuçta A1'in çıkışı yüksek olur, T1, T4 transistörleri iletime geçer ve motor döner. Eğer fotosellerin ışığı değişirse A noktasındaki gerilim besleme geriliminden daha azdır. Bu durumda A2 çıkışı yüksek olur ve T2,T3 transistörleri iletime geçer. Motor bir öncekine ters yönde döner.



Şekil 9.2. Güneş izleme sistemi

9.3. Kurutucu

Güneş enerjisini odak düzlemindeki silindirik absorbere yansıtarak yoğunlaştırma yapan hava ısıtıcıdan çıkan ısınmış havanın kullanımını sağlamak amacıyla sisteme bir kurutucu kamara monte edildi. Kurutucu kamara 42x46x100 cm ölçülerindedir. Bir ucu ana taşıyıcı boru ile aynı çapta olacak şekilde uzatılarak (50 cm) daraltılmış diğer ucu açık bırakılmıştır. Kurutucu kamara ile demir boru arasına spiral alüminyum boru yerleştirilmiştir. Borunun ucuna köpük izolatör sarılarak demir boru içine yerleştirilmiş, üzerine Al izolasyon bandı yapıştırılmıştır. Aynı işlem kurutucuya giriş noktasında da yapılmıştır. Bu sayede bağlantı noktalarında meydana gelebilecek hava sızıntısı önlenmeye çalışılmıştır. Spiral alüminyum boru ve kurutucu kamara dış yüzeyi ısı kayıplarını azaltmak amacıyla siyaha boyanmıştır.

Kurutucu içine 40x80 ebadında her biri yaklaşık 5 kg/tepsi kapasiteli 6 tepsi yerleştirilmiştir. Kurutucu kamara ile ana taşıyıcı demir borunun yaklaşık aynı yükseklikte olması için kurutucu kamara profil demirden yapılmış bir sehpa üzerine oturtulmuştur. Kurutucu içindeki maddenin ağırlığında meydana gelen azalmayı gözleyebilmek amacıyla kayısı tanelerinin düşmeyeceği kadar büyük deliklere sahip saplı elekten yapılmış bir tava kurutucu içine yerleştirilmiştir. Güneş enerjili kurutucunun resmi Şekil 9.3'de görülmektedir.

9.4. Ölçümler ve Kullanılan Cihazlar

Güneş enerjili toplayıcının performansının incelendiği deneylerde toplayıcı içinde 5 ayrı noktada hava sıcaklığı, çevre sıcaklığı, anlık ve istenen zaman aralığında toplam güneş ışıması ve rüzgâr hızı ölçümleri yapıldı. Ölçüm zaman aralığı doğal konveksiyon deneylerinde 15 dakika, zorlanmış konveksiyon deneylerinde 30 dakika., kurutma deneylerinde ise 1 saattir. Kurutma deneylerinde ise, bu ölçümlere ilave olarak havanın kurutucuya girişteki yaş ve kuru hazne sıcaklıkları ve kurutucu çıkışında hava hızı ölçüldü.

9.3. Kurutucu

Güneş enerjisini odak düzlemindeki silindirik absorbere yansıtarak yoğunlaştırma yapan hava ısıtıcıdan çıkan ısınmış havanın kullanımını sağlamak amacıyla sisteme bir kurutucu kamara monte edildi. Kurutucu kamara 42x46x100 cm ölçülerindedir. Bir ucu ana taşıyıcı boru ile aynı çapta olacak şekilde uzatılarak (50 cm) daraltılmış diğer ucu açık bırakılmıştır. Kurutucu kamara ile demir boru arasına spiral alüminyum boru yerleştirilmiştir. Borunun ucuna köpük izolatör sarılarak demir boru içine yerleştirilmiş, üzerine Al izolasyon bandı yapıştırılmıştır. Aynı işlem kurutucuya giriş noktasında da yapılmıştır. Bu sayede bağlantı noktalarında meydana gelebilecek hava sızıntısı önlenmeye çalışılmıştır. Spiral alüminyum boru ve kurutucu kamara dış yüzeyi ısı kayıplarını azaltmak amacıyla siyaha boyanmıştır.

Kurutucu içine 40x80 ebadında her biri yaklaşık 5 kg/tepsi kapasiteli 6 tepsi yerleştirilmiştir. Kurutucu kamara ile ana taşıyıcı demir borunun yaklaşık aynı yükseklikte olması için kurutucu kamara profil demirden yapılmış bir sehpa üzerine oturtulmuştur. Kurutucu içindeki maddenin ağırlığında meydana gelen azalmayı gözleyebilmek amacıyla kayısı tanelerinin düşmeyeceği kadar büyük deliklere sahip saplı elekten yapılmış bir tava kurutucu içine yerleştirilmiştir. Güneş enerjili kurutucunun resmi Şekil 9.3'de görülmektedir.

9.4. Ölçümler ve Kullanılan Cihazlar

Güneş enerjili toplayıcının performansının incelendiği deneylerde toplayıcı içinde 5 ayrı noktada hava sıcaklığı, çevre sıcaklığı, anlık ve istenen zaman aralığında toplam güneş ışıması ve rüzgâr hızı ölçümleri yapıldı. Ölçüm zaman aralığı doğal konveksiyon deneylerinde 15 dakika, zorlanmış konveksiyon deneylerinde 30 dakika., kurutma deneylerinde ise 1 saattir. Kurutma deneylerinde ise, bu ölçümlere ilave olarak havanın kurutucuya girişteki yaş ve kuru hazne sıcaklıkları ve kurutucu çıkışında hava hızı ölçüldü.

Sıcaklık ölçümleri demir-konstantan ısı çiftler ve Elimko marka 12 kanallı dijital sıcaklık okuyucu ile , rüzgâr hızı ölçümleri ise anemometre ile yapıldı. Rüzgar hızı ölçümlerinde , anemometre rüzgârın estiği yöne çevrildi, rüzgarı tam olarak içine aldığı anda arka arkaya 2-3 ölçüm yapıldı. Bu ölçümler birbirine çok yakın değerler olduğu için ortalaması alındı.

Değişik hava hızlarında çalışmak için 5 ayrı konumda çalıştırılabilen bir fan kullanıldı.

Kurutma deneylerinde ise, kurutucu kamara içindeki numune tepsisinin ağırlığı ± 1 gram duyarlılıkta 5000 gram kapasiteli, tek tane deneylerinde kayısının ağırlığı ise 300 gram kapasiteli ± 0.001 gram duyarlılıktaki dijital teraziler ile belirlendi. Kurutulan ürünün başlangıç ve son nem içerikleri METTLER marka infrared nem tayin cihazı ile belirlendi.

Konik yoğunlaştırıcı hava ısıtma sistemi ASHRAE ve Türk standartlarına göre test edilmiştir. Bu standartlara göre deneysel koşullar aşağıda özetlenmiştir:

- Kollektör güneye yönelik olarak enlem $\pm 15^\circ$ veya enleme eşit açıda yerleştirilir.
- İlk defa kullanılacak bir kollektör toplam 51000 kJ/m^2 güneş ışıınımına (yaklaşık üç gün) maruz kalıncaya kadar boş olarak bekletilir.
- Deneyler için hava koşullarının kararlı olduğu bir zaman aralığı seçilmelidir.
- Bütün deneyler güneş ışıınımının düzgün değiştiği zaman aralığında yapılmalıdır.
- Tüm deneyler sırasındaki güneş ışıınımı 630 W/m^2 den küçük olmamalıdır.
- Deneyler sırasında ortalama rüzgar hızı 5.4 m/s 'den büyük olmamalıdır.
- Deney için ölçümlere başlamadan önce ısı taşıyıcı akışkan kollektör içinde sabit debiyle en az bir saat dolaştırılmalıdır.
- Her deney adımımda
 - ❑ çevre sıcaklığı
 - ❑ ısı taşıyıcı akışkanın giriş ve çıkış sıcaklıkları
 - ❑ ısı taşıyıcı akışkanın kütle ve hacimsel debisi
 - ❑ kollektör üzerine gelen anlık ışıınımın direkt ve diffüz bileşenleri

- rüzgar hızı ve yönü ölçülür.
- Her adım için ölçümlerin yarısının öğleden önce, yarısını ise öğleden sonra alınması ve ölçüm noktalarının gerçek öğle zamanına göre simetrik seçilmesi tercih edilir.

9.4.1. Kipp-Zonen Piranometresi

Güneş ışıması ile ilgili bütün radiometrik ölçümler arasında en çok yapılan ölçüm toplam ışıma ölçümüdür. Bunlardan en çok kullanılanlar, yatay olan alıcı yüzeylere gelen enerjilik ışıma ile orantılı olarak mili volt mertebesinde potansiyel farkı (elektromotor kuvvet) oluşturanlardır. Bu küçük elektromotor kuvvet (e.m.f.) ya bir galvanometre veya potansiyometre yardımıyla kaydedilir ; ya da daha iyisi bu büyüklük belirli bir zamanda birim yüzeye gelen enerjiye dönüştürülerek elektronik bir aygıt yardımıyla toplanır (İntegrasyon yapılır). Bu tip aygıtlardan Avrupa'da en yaygın olarak kullanılan piranometre Kipp -Zonen laboratuvarında yapılmış olmaktadır. Sekil 9.4' de Kipp-Zonen piranometresinin perspektifi, kesiti ve termopilin yapısı görülmektedir. Bu aygıt esas itibarıyla metalik bir kutucukta bulunan bir termopilden ibarettir. Bunun üstünde 2 mm kalınlığında olan 3 ve 5 cm çaplarında, aralarında 1 cm boşluk bulunan iki yarıküresel koruyucu cam örtü bulunur. Termopilin hemen üzerinde bulunan ve onunla ısı alışverişi yapan cam örtünün içinde bulunduğu ortamla (atmosferle) ısı etkileşmesini ve atmosferik etkenlerle (rüzgâr, yağış vs.) direkt temasını kesmek için, bunun üzerine, arada 1 cm boşluk kalacak şekilde ikinci bir cam örtü konulmuştur. Termopili içeren küçük kutu ağır bir metalik taşıyıcı üzerine tespit edilmiştir. Metal kutucuğa, yatay konumda monte edilmiş olan beyaz lake boyalı metalik dairesel bir disk, yerden saçılan ve yayılan ışımının termopile gelmesini engeller. Çapı yeteri kadar büyük olan bu dairesel levha aynı zamanda termik ekran rolü de oynar. Termopil 14 adet manganin konstantan ısı çiftinden oluşmuştur, bunlardan her biri 10 mm uzunluğunda 1 mm genişliğinde ve 5 μ m kalınlığında ince yapraklardır. Yatay bir düzlemde yan yana yerleştirilerek uçları pirinç bir plakaya bağlı olan düşey bakır çubuklara lehimlenir. Hepsi güneş ışımasını soğuran özel mat siyah bir vernik ile kaplanır. Siyah yüzeyden yayılan ısı kısmen kondüksiyon ile, kalanı da radyasyon ve konveksiyon ile olur.

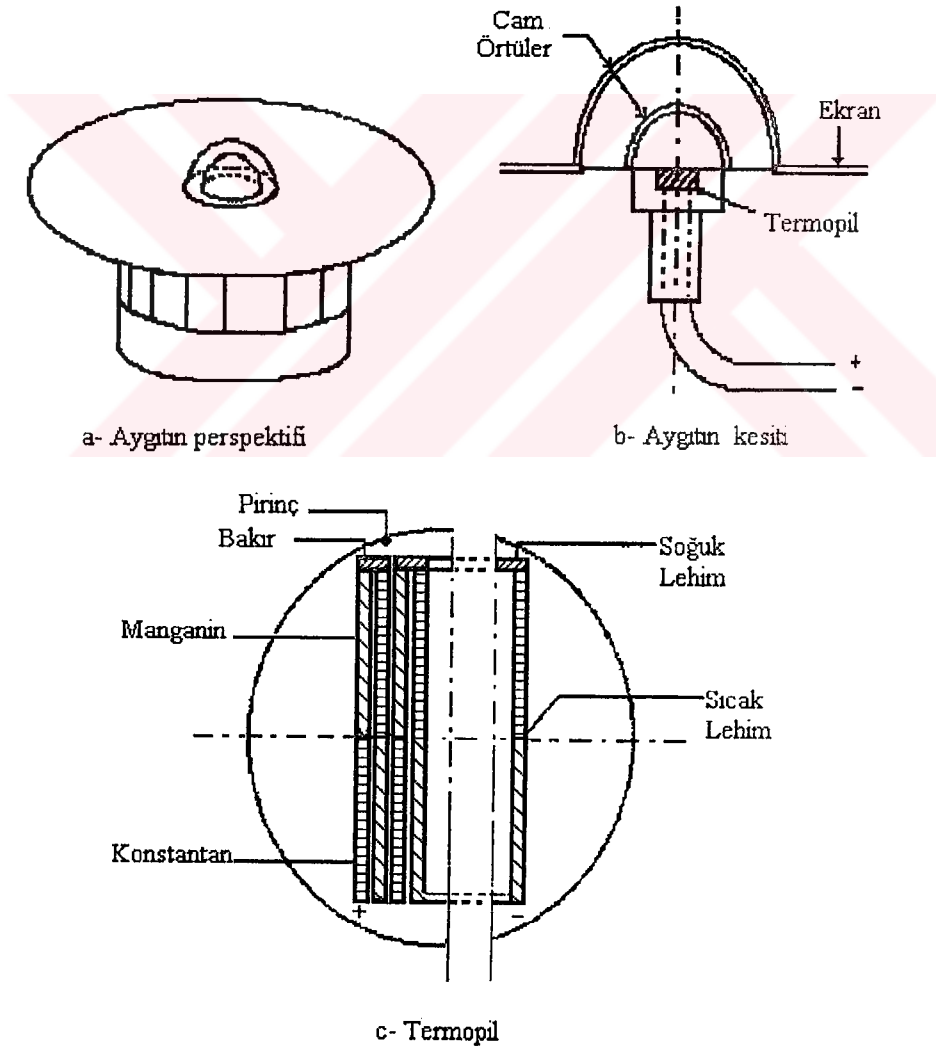
Kondüksiyon akısı iyi bir iletken olan termopil kütlesine (pirinç rondelaya) geçer. Tersine olarak ince yaprakçıklar zayıf iletkenliğe sahiptirler. Böylece orta hat ile uç hatlar arasında 20 °C civarında bir sıcaklık farkı gözlenir. Bu da 500 $\mu\text{V}^\circ\text{C}$ mertebesinde bir potansiyel farkın oluşmasına neden olur.

Termopilin karakteristikleri şöyledir:

İç direnç : 10 Ω

Duyarlık : 1 m W /cm² lik ışıma enerjisi başına 100-130 μV

Piranometre daima yatay konumda kullanılır.Şayet albedo değerini belirlemek için ters konumda kullanılırsa yeniden sıfırlanmalıdır. Albedo, üst ve alt piranometrelerden okunan değerlerin oranına eşittir.



Şekil 9.4. Kipp-Zonen Piranometresi

9.5. Deneyler

Yeni dizayn edilen konik yoğunlaştırıcı hava ısıtma sisteminin performansı üzerine doğal ve zorlanmış akışın, hava akış hızının , eğim açısının , farklı absorber yüzey ve dolgu malzemesi kullanımının etkisi araştırıldı.

Eğim açısının etkisini araştırmak amacıyla konik yoğunlaştırıcı toplayıcı enlem, enlem-5° ve enlem -10° olmak üzere üç ayrı açıda yerleştirildi ve çalıştırıldı.

Hava akış hızının etkisini görmek için toplayıcı dolgusuz durumda üç ayrı eğim açısında 70, 60, 50, 40 ve 30 kg/saat olmak üzere 5 farklı hava hızında , dolgulu durumda ise 70 ve 30 kg/saat olarak iki hava hızında çalıştırıldı.

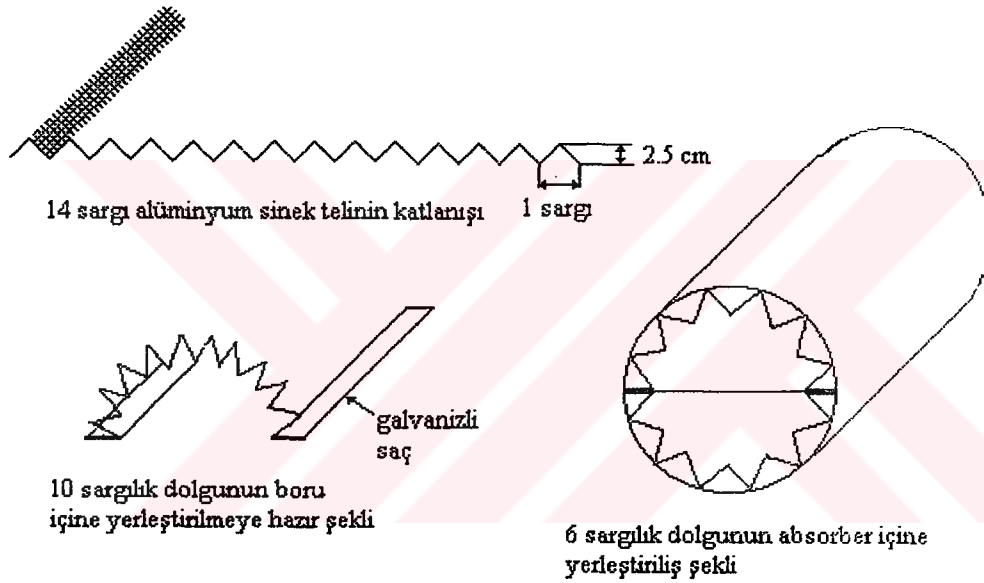
Farklı absorber yüzey olarak, siyah mat boyalı , seçici özellikli ve siyaha boyalı alüminyum sinek teli ile yapay olarak pürüzlendirilen yüzeyler kullanıldı. Seçici yüzey, bakır boru üzerine nikel kaplanmış yüzeye siyah krom ile renklendirme yapılmış 0.2 mm kalınlığında bir levhadır ve İSTEK ısı kollektörleri A.Ş.' den temin edilmiştir.

Seçici yüzeyli absorber, siyaha boyalı bakır borunun üzerine bu seçici yüzey tabakasının sıkıca sarılmasıyla elde edildi. Al sinek teli siyaha boyanmış ve üç kat olarak sıkıca siyaha boyalı bakır borunun üzerine sarılmış, bu şekilde yapay olarak pürüzlendirilmiş üçüncü absorber yüzey elde edilmiştir.

Dolgu malzemesinin kullanımının etkisinin incelendiği deneylerde farklı gözeneklilikte dolgu elde etmek amacıyla Al sinek teli 14,10 ve 6 sargı sayılarında akordion şeklinde katlanmış, uçlarına galvanizli saç dan şeritler geçirilerek absorber içinde her iki hava akış kanalına yerleştirilmiştir Şekil 9.5 ' de dolgu malzemesinin katlanış ve absorber içine yerleştiriliş şekli görülmektedir. Absorber içine yerleştirilen dolgu malzemesinin etkisi seçici yüzeyli ve siyah mat boyalı absorber için ayrı ayrı incelenmiştir.

Toplayıcıdan çıkan sıcak havanın kurutmada kullanılabilirliğini ve hava hızının kuruma sürecine etkisini araştırmak amacıyla üç farklı hava hızında çalışıldı. Kurutulan ürün olan kayısıdan bir miktar yere serilerek toplayıcının çalıştığı aynı hava şartları için güneşte kurutuldu ve kuruma süresi ve kuru ürün kalitesi bakımından mukayese edildi.

Aynı zamanda kurutulan ürünün laboratuarda tepsili kurutucuda sağlanan kararlı hal şartlarında kuruma kinetiğini araştırmak amacıyla deneyler yapıldı. Önceden kükürt dioksitle işleme sokulmuş kayısının kuruma hızına sabit sıcaklıkta (70 °C) hava hızının etkisi, ve sabit hızda (0.5 m/s) hava sıcaklığının etkisi incelendi.



Şekil 9.5. Dolgu malzemesinin katlanış ve absorbere yerleştiriliş şekilleri

10. DENEY SONUÇLARI

Yeni dizayn edilen konik yoğunlaştırıcı güneş enerjisi sistemi ile kurutmanın incelendiği çalışmadan elde edilen deney sonuçları; konik yoğunlaştırıcı hava ısıtma sistemi ve kurutma olarak iki kısma ayrılmıştır.

10.1. Konik Yoğunlaştırıcı Hava Isıtıcı Deney Sonuçları

Konik yoğunlaştırıcı hava ısıtıcının performansını incelemek amacıyla yapılan deneylerin sonuçları aşağıdaki düzende verilmiştir.

- Doğal konveksiyon
- Zorlanmış konveksiyon
- Farklı absorber yüzeyler ve dolgu malzemesi kullanımı
- Isı kazanç (F_R), Isı kayıp (U_L) katsayıları ve verimdeki iyileşme
- Günlük verimler
- Sisteme ait diğer parametreler: Basınç düşüşü, sürtünme faktörü, ısı transfer katsayısı, Colburn faktörü

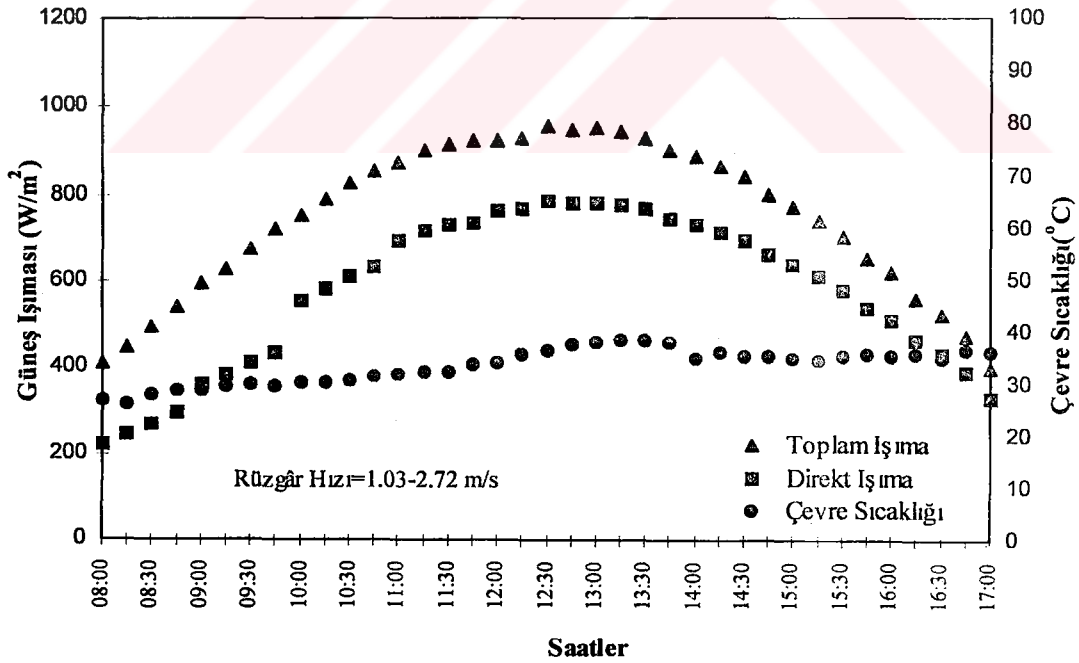
10.1.1. Doğal Konveksiyon

Konik yoğunlaştırıcı toplayıcının performans deneylerinin yürütüldüğü 1999 yılı yaz aylarını temsil eden ortalama bir gün için çevresel şartların zamanla değişimi Şekil 10.1' de verilmiştir.

Konik toplayıcı hava ısıtıcı, doğal ve zorlanmış akış durumları için enlem (38.4), enlem-5° (33.4), enlem-10° (28.4) olarak üç ayrı eğim açısında yerleştirildi. Doğal konveksiyon deneylerinde ana taşıyıcı demir boru ucuna takılı olan fan çıkarılarak havanın doğal akışı sağlandı. Şekil 10.2 ' de doğal akışta havanın geçirilmesi sonucunda üç ayrı eğim açısında çalıştırılan toplayıcıdan havanın çıkış sıcaklığının zamanla

değişimi görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi, en yüksek sıcaklık değerleri 28.4° de en düşük sıcaklık değerleri ise 38.4° de elde edilmiştir. 28.4° eğim açısında maksimum 155°C 'de sıcak hava elde edilebilmişken 38.4° de maksimum sıcaklık 110°C civarında kalmıştır.

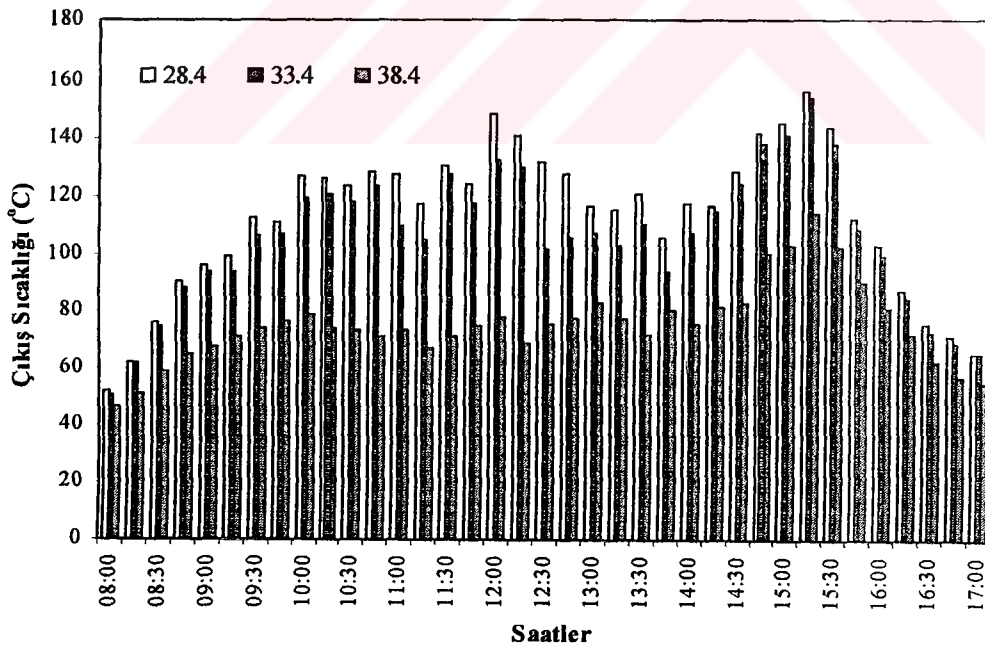
Şekilden görülen bir diğer sonuç ise sistemin saat 12:00 ve 15:15 ' de olmak üzere iki pik vermesidir. Bu sistemin geometrisinden ve izleme yönteminden kaynaklanan bir durumdur. Daha önceden bahsedildiği gibi sistem iki adet hareket kolu ile döndürülmektedir. Birinci hareket kolu ile koni güneşi sabah saatlerinden 14:00' e kadar izleyebilmektedir. Bu sırada koni güneş hareketine benzer bir hareket yapmaktadır. Örneğin öğle saatlerinde güneş tam tepedeyken koni de tepe noktadadır. Bu nedenle bu saatler arasındaki dağılım konvensiyonel güneş toplayıcılarınınkine benzerdir. Ancak güneş yüksekliğinin azalmaya başladığı 14:00' den sonra ilk kolun hareketi koniyi döndürmeye yetmediği için ikinci hareket kolu devreye girerek alt tablayı döndürmektedir. İkinci hareket kolu ile koni güneş hareketi yapmaz. İlk kolun



Şekil 10.1. Günün saatlerine göre çevre sıcaklığı ve anlık ışıma

hareketi ile sabit bir yükseklikteyken yatay ekseninde dönme hareketi yapar. Yaklaşık 15:00 saatlerinde güneşin yüksekliği ile koninin gördüğü açı aynı düzlem üzerindedir. Güneş tam olarak koni içine girdiği için de maksimum bir sıcaklık yükselmesi meydana gelmiştir. Ancak güneşin yüksekliği azalmaya devam ederken koni bu hareketi yapamadığı için yaklaşık 15:30 ' dan sonra sıcaklık hızlı bir şekilde düşmeye başlar. Ancak bu saatlerde konvensiyonel güneş toplayıcılarında da durum aynıdır. Kısaca özetlemek gerekirse sistemde ikinci hareket kolunun varlığı ve alt tablayla birlikte sistemi sabit bir yükseklikte döndürmesi , konvensiyonel güneş toplayıcılarında akışkan çıkış sıcaklığının düşmeye başladığı saat aralığında maksimum sıcaklık yükselmesi sağlaması nedeniyle ilave bir kazanç sağlamıştır.

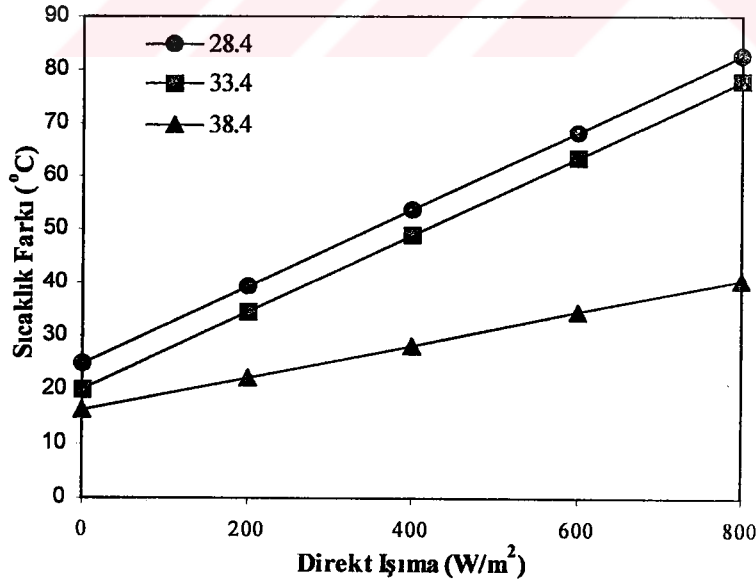
Deney yapıldığı günlerde 8:00-17:00 saatleri arasında 15 dakikalık aralıklarla yapılan ölçümlerden havanın toplayıcıya giriş ve çıkış sıcaklıklarının farkı alınmış ve aynı anda gelen direkt ışıma ile değişimi incelenmiştir. Deney yapılan günlerin birbirinden farklı olması nedeniyle gelen ışıma miktarı belirli bir saat dilimi için bile her



Şekil 10.2. Doğal akış durumunda farklı eğim açıları için hava çıkış sıcaklığının günün saatlerine göre değişimi

gün aynı değerde değildir. Bu nedenle farklı günlerde deney yapılmasından kaynaklanan güneş ışımasındaki değişimleri ortadan kaldırmak için direkt ısıma-sıcaklık yükselmesi grafikleri çizilmiştir. Bu şekilde ölçüm değerleri günden bağımsız hale gelir. Direkt ışıma karşı çizilen sıcaklık farkı grafikleri, tüm günde elde edilen değerleri en iyi açıklayan lineer regrason eşitliğinin grafiğe geçirilmesi ile oluşturuldu. Üç eğim açısı için toplayıcı üzerine gelen direkt ısıma ile akışkan sıcaklığındaki değişim Şekil 10.3 ' de verilmiştir. Giren ve çıkan akışkan sıcaklıkları arasındaki farkın en yüksek değerlerinin 28.4° 'lık eğim açısında elde edildiği görülmektedir. 33.4° 'lık eğim açısı 28.4° ile yakın bir değişim gösterirken 38.4° 'lık eğim açısında akışkan sıcaklığındaki yükselme oldukça düşmektedir. Bu şekil 10.2'den de görülen benzer bir sonuçtur. Aynı zamanda şekil 10.3' de kayma değerinin 0 olmaması, sistemin termal eylemsizliği nedeniyle, güneş ışıması kesildiği zaman bile havanın ısınmaya devam ettiğini göstermektedir.

Havanın doğal akışla ısıtıldığı durumda sistemin performansını belirtmek amacıyla verim eğrileri çizildi. İşletme noktası parametresi $((T_f - T_a)/I)$ değerine karşılık anlık verimin grafiğe geçirilmesiyle bir doğru ile ifade edilebilen bir değişim gözlenir.

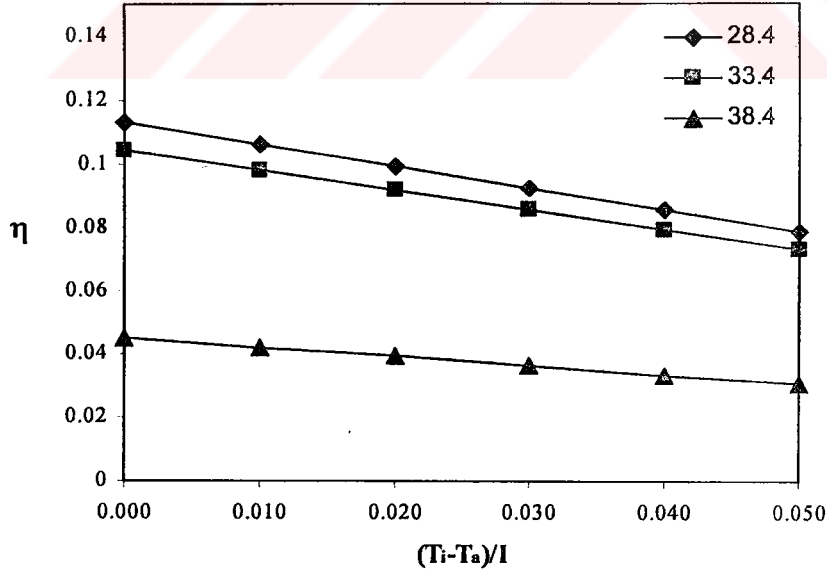


Şekil 10.3. Doğal akışı durumunda farklı eğim açıları için direkt ısıma ile akışkan sıcaklığındaki yükselme

Verim grafikleri çizilirken hava şartlarının birbirine çok yakın olduğu ve güneş öğlesine göre birbirine paralel saat dilimi olan 11:00-14:00 saatleri arasında alınan ölçüm değerleri kullanıldı. Bu saat diliminde elde edilen değerleri en iyi açıklayan lineer regresyon eşitliğinin grafiğe geçirilmesiyle, işletme noktası parametresine karşı anlık verimin değişimini gösteren grafikler oluşturuldu.

Şekil 10.4 ' de doğal akış şartları için güneş enerjili toplayıcının farklı eğim açılarına göre verim eğrileri görülmektedir. Sıcaklık yükselmesinde birbirine yakın değerler veren 28.4° ve 33.4° açılarının verim değerleri de yakın çıkmıştır. En yüksek verim değeri 28.4° de elde edilmesine rağmen bu değer % 11 civarında kalmıştır. Verimin bu kadar düşük çıkması, havanın yoğunluk farkından kaynaklanan doğal akışı sırasında çok düşük bir debiyle (7.5 kg/saat) sistemden geçmesinden kaynaklanır.

Sistemin geometrisinde havanın doğal akışını sınırlayan etkenler vardır. Ana taşıyıcı boruya 90° 'lik açıyla monte edilen absorber içinde hava giriş ve çıkışı aynı yolu takip eder . Hava absorbere giriş noktasından tepe noktasına doğru yoğunluk farkından dolayı hızla yükselmektedir. Ancak havanın bu noktadan sonra geçmek zorunda olduğu



Şekil 10.4. Doğal akışı durumunda farklı eğim açıları için işletme noktası parametresi ile anlık verimin değişimi

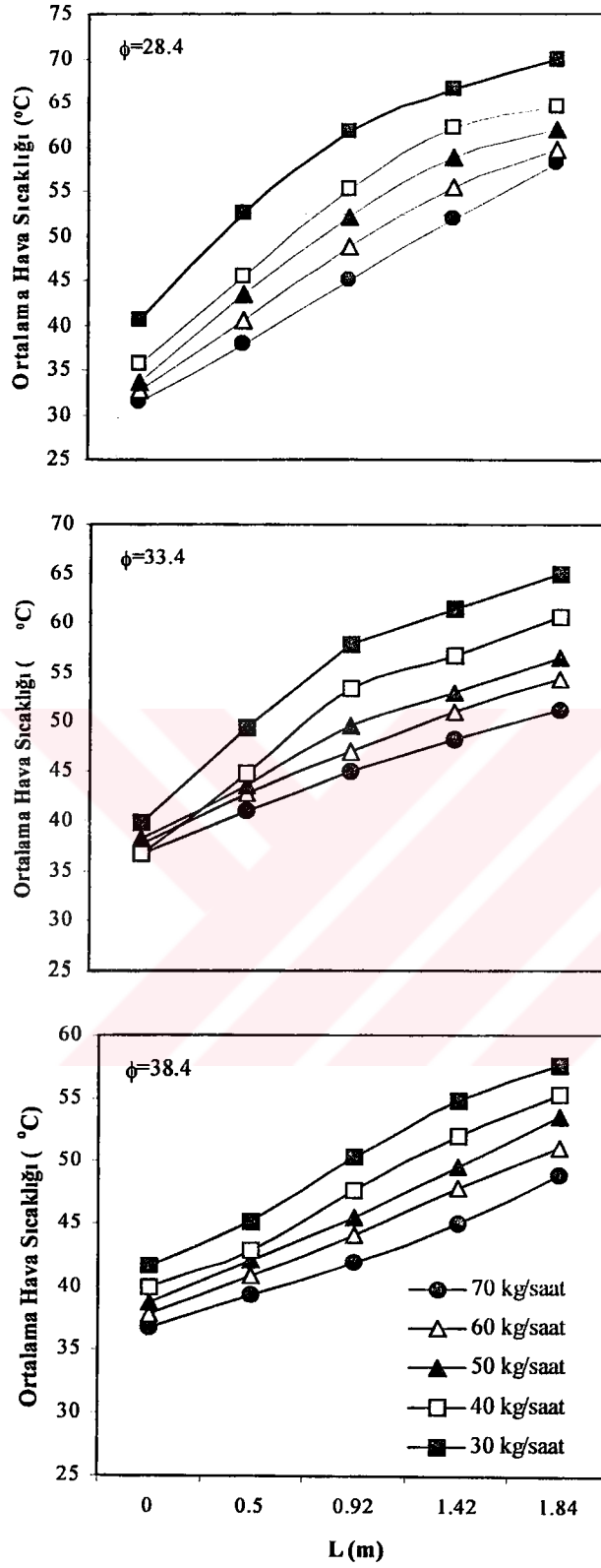
bir U dönüşü vardır. U dönüşü sonrasında havanın tersine aşağıya inmesi gerekmektedir. Bu nedenle absorber içinde ilerledikçe ısınan hava U kesitinde tıkanıp kalmakta ancak bir süre sonra sıcaklığındaki aşırı yükselmeyle önündeki havayı iterek absorber borunun çıkış noktasına ulaştırabilmektedir. Havanın kesikli devam eden bu akışı nedeniyle toplayıcıdan çıkış hızı düşük çıkmaktadır. Akışkan sıcaklığındaki yükselme çok yüksek değerlerde olmasına rağmen kütleli debi düşük kaldığı için sistem verimi düşük çıkmaktadır.

10.1.2. Zorlanmış Konveksiyon

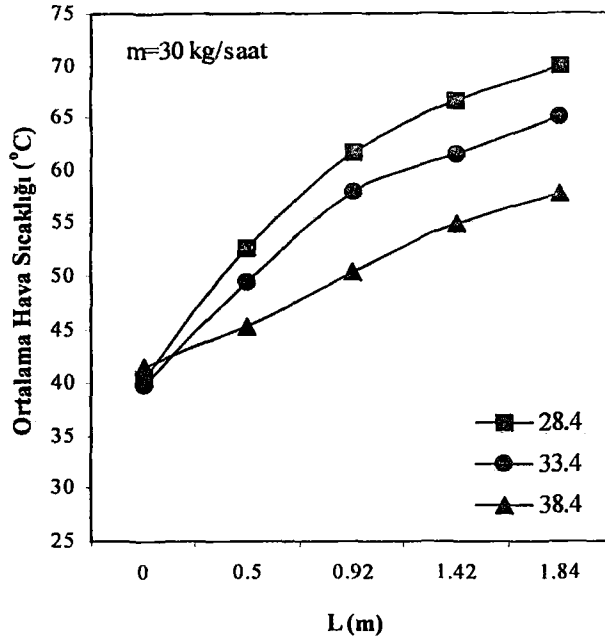
Havanın bir fan yardımıyla akışının sağlandığı zorlanmış akış durumunda beş ayrı hava hızında çalıştırılarak toplayıcı performansının değişimi araştırıldı. Şekil 10.5 ' de üç ayrı eğim açısında beş farklı kütleli debide çalıştırılan sistemde absorber uzunluğu ile ortalama hava sıcaklığının değişimi görülmektedir. 0 değeri absorbere girişi, 0.92 m , U dönüşünün olduğu tepe noktayı , 1.84 m değeri ise çıkış noktasını ifade etmektedir. Bu grafiklerdeki sıcaklıklar her bir nokta için günlük ortalama değerlerdir. Kütleli debinin artması ile hava sıcaklığında bir düşüş meydana gelmektedir. Yavaş bir şekilde akan bir akışkanın absorber içinde kalış süresi uzadığı için güneş ışınlarının absorblandığı yüzeyle daha fazla temas etmekte dolayısıyla daha fazla ısınmaktadır.

Şekil 10.6' da en yüksek hava sıcaklıklarının elde edildiği 30 kg/saat debide farklı eğim açıları için absorber uzunluğu ile ortalama hava sıcaklığının değişimi görülmektedir. Absorber uzunluğuyla ortalama sıcaklık arasında lineer bir değişim vardır. 28.4°, 33.4° ve 38.4° eğim açılarında ulaşılan günlük ortalama hava çıkış sıcaklıkları sırasıyla yaklaşık 70 °C, 65 °C ve 58 °C dir.

Şekil 10.7 ' de farklı eğim ve kütleli debilerde çalıştırılan hava ısıtıcıda direkt güneş ışıması ile hava sıcaklığındaki yükselmenin değişimi görülmektedir. Her üç eğimde de kütleli debinin yükselmesiyle farkın azaldığı görülmektedir. 28.4° eğimde her bir debi için çizilen doğrular birbirine daha yakinken eğim açısı arttıkça sıcaklık



Şekil 10.5. Zorlanmış akış şartlarında için absorber borunun çeşitli noktalarında günlük ortalama hava sıcaklığının değişimi



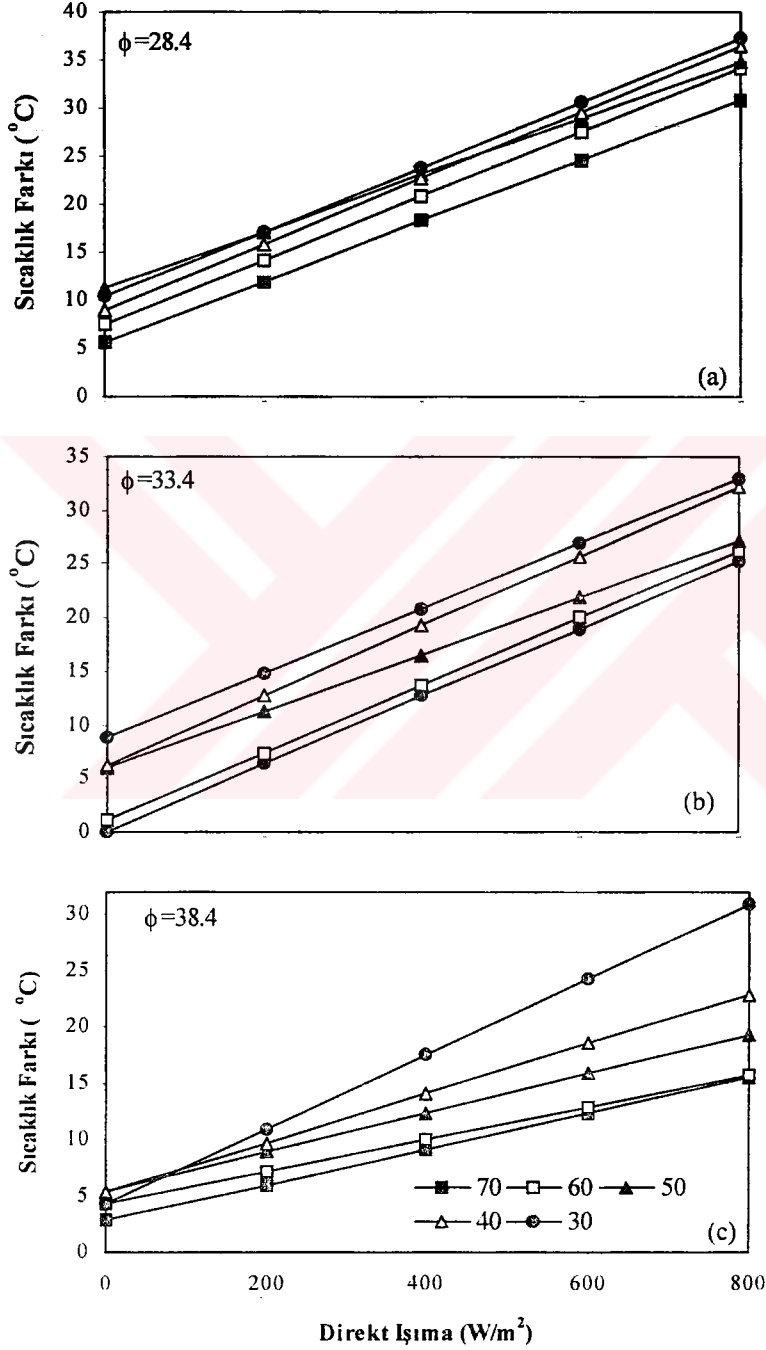
Şekil 10.6. 30 kg/saat debi ile çalıştırılan hava ısıtıcıda farklı eğim açıları için absorber boru uzunluğuyla hava sıcaklığının değişimi

farklı doğruları birbirinden uzaklaşmaya başlamıştır. Buradan yüksek eğim açılarında kütleli debideki değişimin daha önemli olduğu sonucu çıkarılabilir.

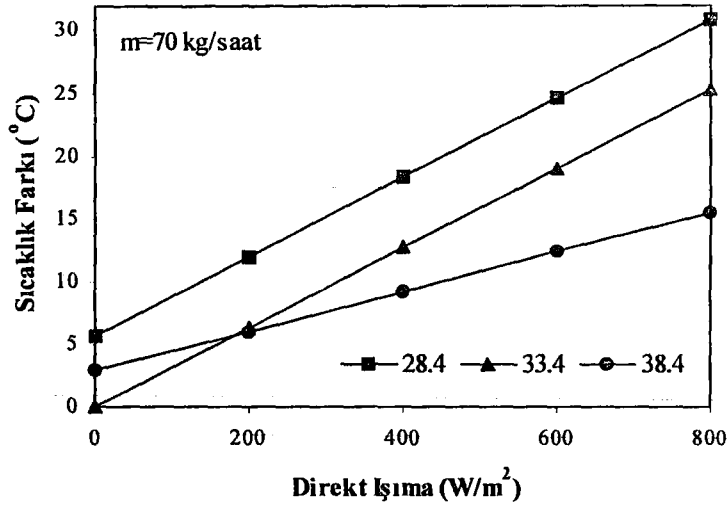
Şekil 10.8' de 70 kg/saat debide çalıştırılan hava ısıtıcının farklı eğim açıları için direkt ısıma-sıcaklık farkı değişimi verilmiştir. 28.4° ve 33.4° ' lik eğim açıları birbirine paralel doğrular verirken 38.4° farklı bir yönelim göstermektedir. Eğim açısındaki değişimin sıcaklık farkına etkisinin açık bir şekilde görülebildiği bu grafikte 28.4° , zorlanmış hava akışında sıcaklıktaki yükselmenin en çok olduğu eğim açısıdır. Maksimum direkt ısımanın toplayıcı içine girebildiği öğle saatlerinde 28.4°' lik eğimde yerleştirilen hava ısıtıcıdan zorlanmış akışla geçirilen hava absorber boyunca 30 °C' ye kadar ısınabilmektedir.

Şekil 10.9' da kütleli debi ile sıcaklık farkı arasındaki değişimin üç eğim için görülmektedir. Kütleli debinin artmasıyla sıcaklık farkı düşmektedir. Bunun nedeni daha önce açıklandı. Ancak grafikten elde edilen bir diğer sonuçta, eğim açısının

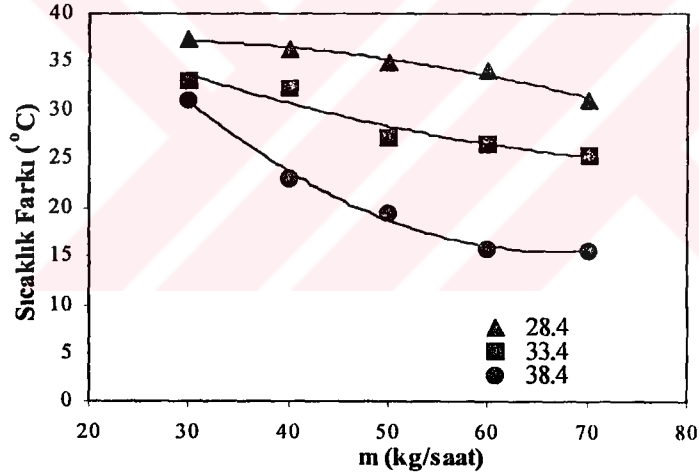
artmasıyla kütlelesel debinin sıcaklık farkına etkisinin artmasıdır. Enlem derecesine eşit bir açı ile yerleştirilen toplayıcıda, kütlelesel debinin artmasıyla sıcaklık farkı önemli ölçüde azalmasına rağmen yine de düzlem toplayıcılarla en iyi şartlarda elde dlebilen değerlerde kalmıştır.



Şekil 10.7. Farklı hava debileri ve eğim açıları için direkt ışıma ile sıcaklık farkının değişimi

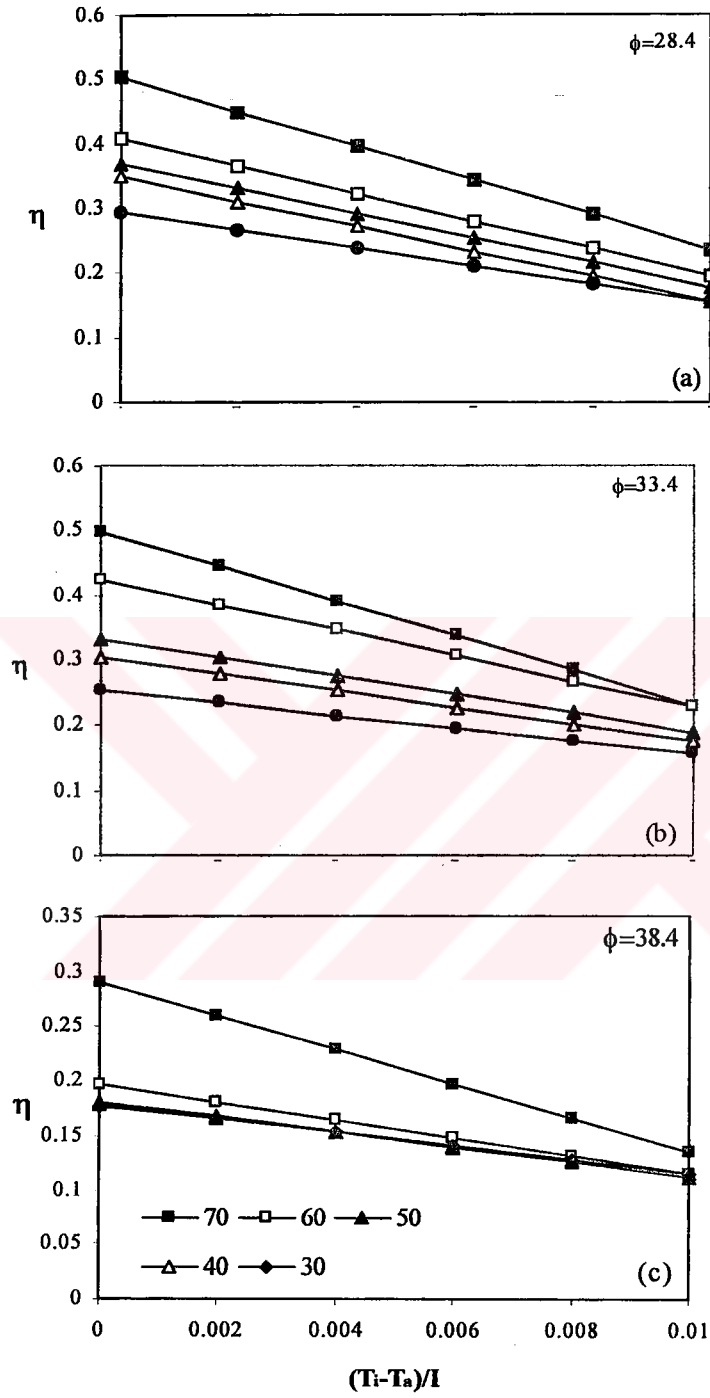


Şekil 10.8. 70 kg/saat hava debisi için farklı eğim açılarındaki direkt ısıma ile sıcaklık farkının değişimi

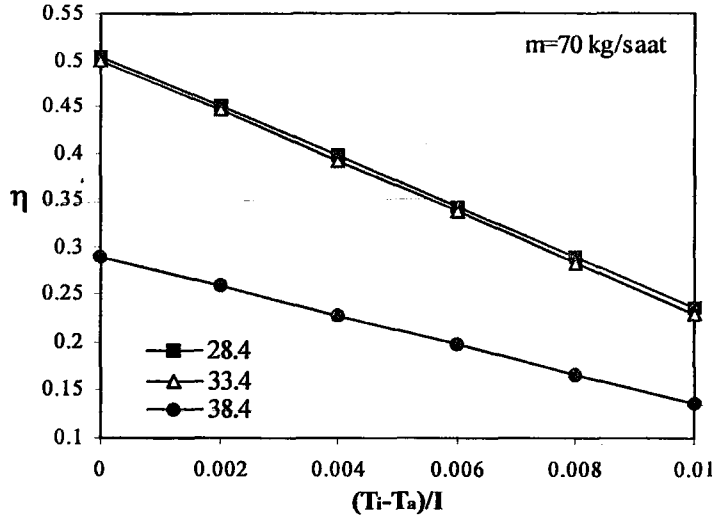


Şekil 10.9. Sıcaklık farkının kütleli debi ile değişimi

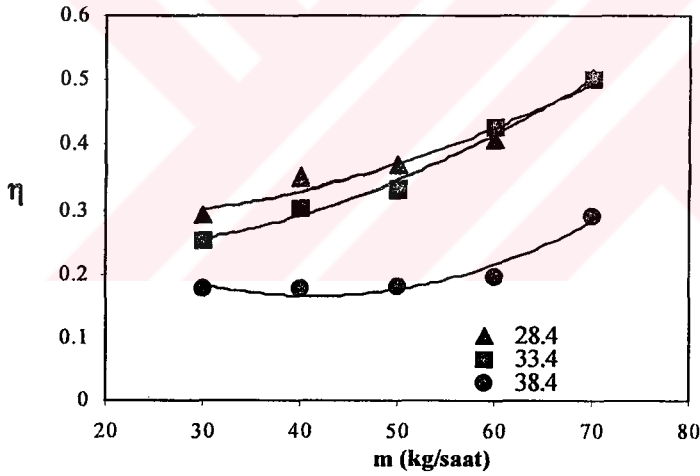
Zorlanmış hava akışında sistemin performansını belirlemek amacıyla işletme noktası parametresine $((T_i - T_a)/I)$ karşılık anlık verim grafiğe geçirildi. Şekil 10.10' da doğru denklemi ile ifade edilebilen bu değişimler görülmektedir. 28.4° ve 33.4° 'de kütleli debiler arasındaki fark açık bir şekilde görülmesine rağmen 38.4° 'de 70 kg/saat ' den daha düşük debiler neredeyse birbiri üzerine çakışık durumdadır.



Şekil 10.10. Çeşitli kütleli debi ve eğim açılarında işletme noktası parametresi $((T_i - T_a)/I)$ ile anlık verimin değişimi



Şekil 10.11. 70 kg/saat hava debisi için çeşitli eğim açılarındaki işletme noktası parametresi ile anlık verimin değişimi



Şekil 10.12. Anlık verimin kütleli debi ile değişimi

Zorlanmış konveksiyonda verim üzerine eğim açısının etkisini daha iyi görebilmek amacıyla 70 kg/saat debi için verimler grafiğe geçirildi. Şekil 10.11' de değişim görülmektedir. 70 kg/saat için 28.4° ve 33.4° ' lik eğim açılarının verimini birbirine çok yakın değişmesine rağmen en yüksek verim (%50) toplayıcı 28.4° açısı ile

yerleştirildiğinde elde edildi. En düşük verim değerleri 38.4° 'lık eğim açısında elde edildi (%30).

Şekil 10.12' de farklı eğim açıları için kütleli debi ile anlık verimin değişimi verilmiştir. Üç eğim açısında da debinin artması ile verim artmaktadır. 28.4° ve 33.4° lik eğim açılarında debinin artması ile verim değerlerinde birbirine yaklaşıma görülmektedir. Bu durum yüksek hava debilerinde 28.4° ve 33.4° arasındaki farkın ortadan kalkacağı şeklinde yorumlanabilir. Benzer şekilde açı büyüdükçe kütleli debinin etkisini ortadan kalkarak tüm debi değerlerinde yaklaşık aynı verim değeri elde edileceği söylenebilir.

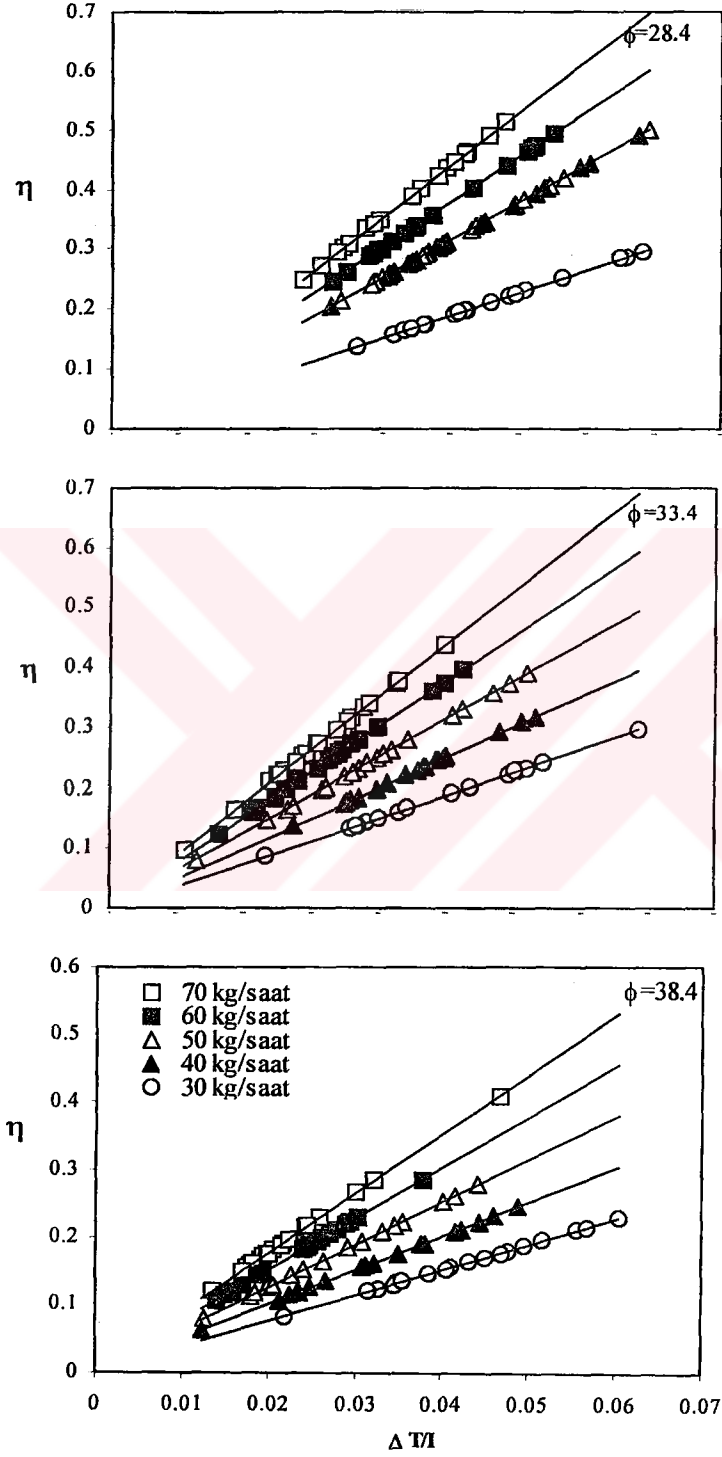
Şekil 10.13' de absorberden çıkan ve absorbere giren hava sıcaklıkları arasındaki farkın direkt ısımaya oranının verimle değişimi görülmektedir. Grafiklerden $y=ax$ şeklinde ifade edilebilen ve kütleli debi ile değişen bir dağılım görülmektedir. Buradaki doğrunun eğimi mC_p değerine karşılık geldiğinden kütleli debinin artması ile doğrunun eğimi artmaktadır. Şekil 10.14'de bu ifadenin açık bir ispatıdır.

10.1.3 Farklı Absorber Yüzeyler ve Dolgu Malzemesi Kullanımı

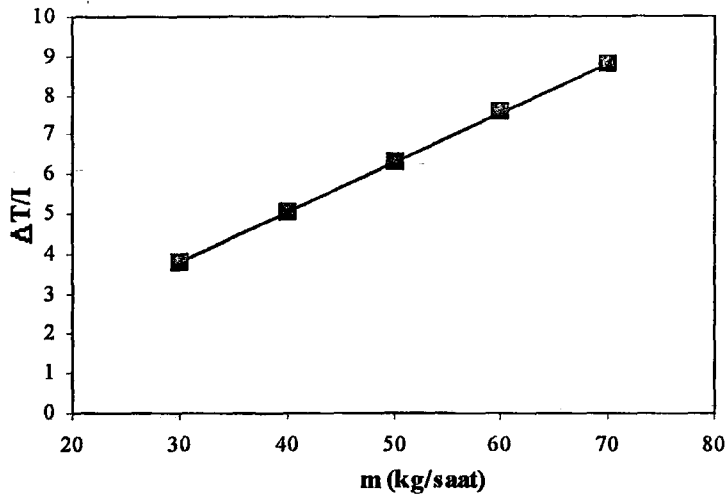
Absorberi siyah mat güneş enerjisi boyası ile boyanmış konik yoğunlaştırıcı hava ısıtıcıda verimin en iyi durumda %50 olduğu önceki grafiklerde görülmektedir. Bu değeri artırmak için farklı absorber yüzeyler ve hava akış kanalına dolgu malzemesi yerleştirme gibi yaygın olarak kullanılan yöntemler denendi. Bu bölümde farklı absorber yüzey ve dolgu malzemesi ile ilgili deney sonuçlarına yer verilmiştir.

Siyah boyanın absorbtivitesi çok yüksek olmasına rağmen emissivitesi (yayma katsayısı) çok yüksektir. Yani üzerine gelen güneş ışınlarını oldukça iyi oranda absorblamasına rağmen artan yüzey sıcaklığı ve yayma katsayısının büyük olması nedeni ile absorbladığı ısının oldukça büyük bir kesri radyasyon ve konveksiyonla cam boruya doğru transfer olur. Bu da absorber altında akan akışkana transfer olan ısıyı azaltır. Cam boru absorberden yansıyan bu uzun dalga boylu ışınları fazlaca

geçirmeyeceğinden cam ile absorber arasındaki durgun hava ısınır, çevreye transfer olarak kaybolan ısı miktarı artar. Absorbtiviteyi yüksek yayma katsayıları düşük seçici



Şekil 10.13. $\Delta T/I$ oranının anlık verimle değişimi



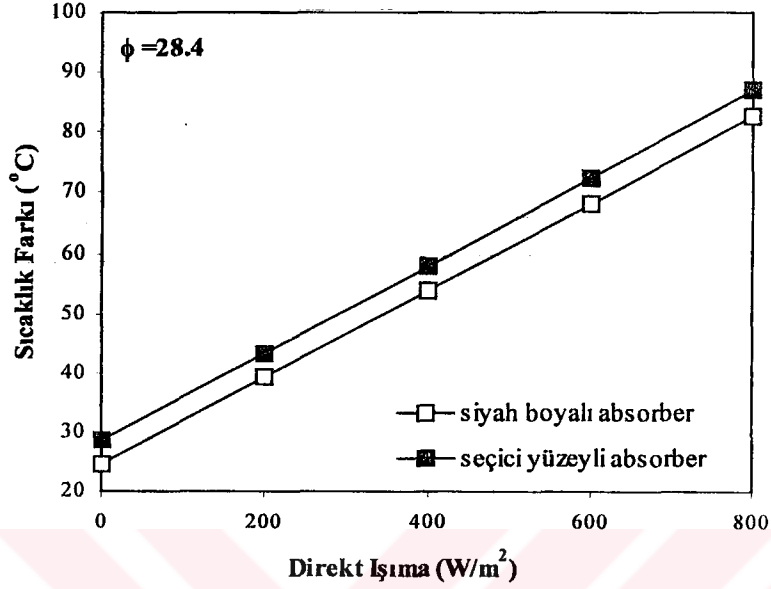
Şekil 10.14. Kütlesel debi ile $\Delta T/I$ oranının değişimi

yüzeyler çevreye transfer olan ısıyı azaltmak dolayısı ile akışkana aktarılan ısıyı artırmak için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu nedenle, bu çalışmada bakır üzerine nikel kaplanmış yüzeye siyah krom ile renklendirme yapılarak özel olarak imal edilen bir seçici yüzey kullanılmıştır ($\alpha=0.96$, $\epsilon=0.12$).

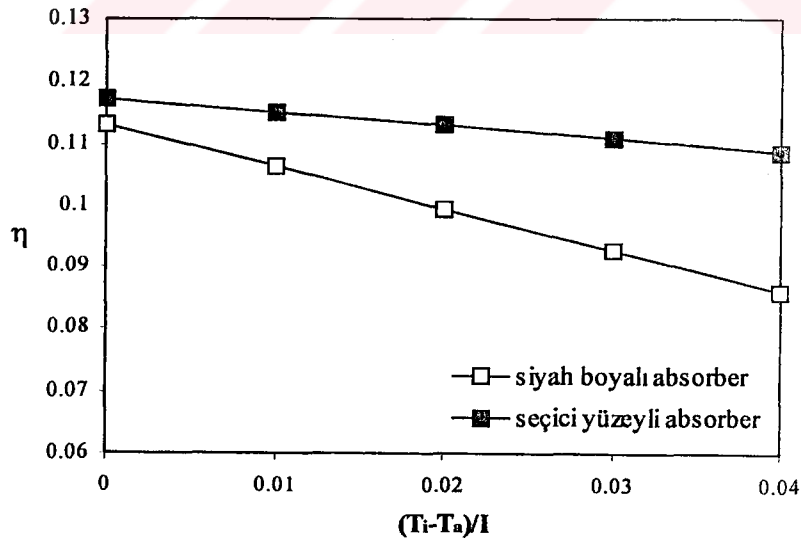
Seçici yüzeyli absorber ile doğal ve zorlanmış akış şartları için deneyler yapıldı. Deneyler en yüksek verimin elde edildiği 28.4° eğim açısı ve zorlanmış akış için 70 kg/saat' lik hava debisinde yapıldı.

Şekil 10.15' de doğal akış şartları için siyah boyalı ve seçici yüzeyli absorber birbirleri ile karşılaştırıldı. Her iki tip absorber için şekil 10.15' de direkt ışıma ile sıcaklık yükselmesinin (ΔT), Şekil 10.16'da işletme noktası parametresi ile anlık verimin değişimi görülmektedir. Seçici yüzeyli absorber kullanıldığı durumda daha yüksek sıcaklık farkı gözlenmiş dolayısıyla da daha yüksek verim değerleri elde edilmiştir. Siyah boyalı ve seçici yüzeyli absorberde her ışıma değeri için yaklaşık 4-5 $^\circ\text{C}$ sıcaklık farkı mevcuttur. Verim eğrisinde sıcaklık farkına oranla daha belirgin bir yükselme vardır. Doğal akışta seçici yüzey kullanımı verimi % 3.6 artırmaktadır. Aynı

zamanda seçici yüzeyli absobere ait verim doğrusunun eğiminin düşük olması çevreye radyasyon ve konveksiyonla kaybolan ısı miktarının azaldığının bir göstergesidir.

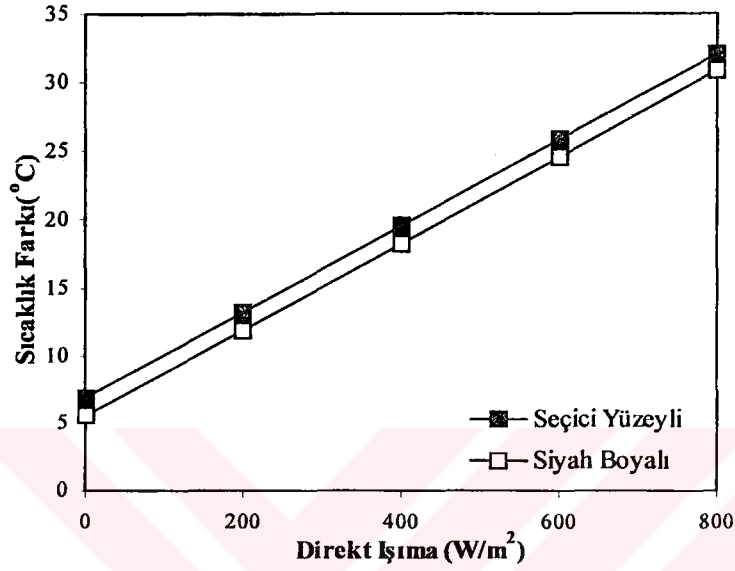


Şekil 10.15. Siyah boyalı ve seçici yüzeyli absorber yüzeyler için doğal konveksiyonda akışkan giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki farkın (ΔT) direkt ışıma ile değişimi

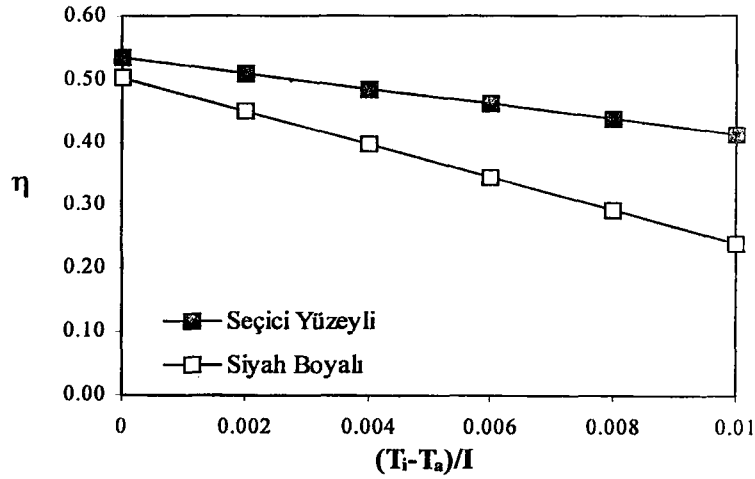


Şekil 10.16. Siyah boyalı ve seçici yüzeyli absorber yüzeyler için doğal konveksiyonda işletme noktası parametresi ile anlık verimin değişimi

Havanın bir fan yardımı ile sistemden geçirildiği zorlanmış akış deneylerinde, her iki absorber tipinin karşılaştırılmasına olanak veren, direkt ısıma ile sıcaklık farkının değişimi şekil 10.17’de, işletme noktası parametresi ile anlık verimin değişimi ise şekil 10.18’ de verilmiştir.



Şekil 10.17. 70 kg/saat debide siyah boyalı ve seçici yüzeyli absorber yüzeyler için direkt ısıma- ΔT ilişkisi



Şekil 2.18. 70 kg/saat debide siyah boyalı ve seçici yüzeyli absorber yüzeyler için işletme noktası parametresi ile anlık verimin değişimi

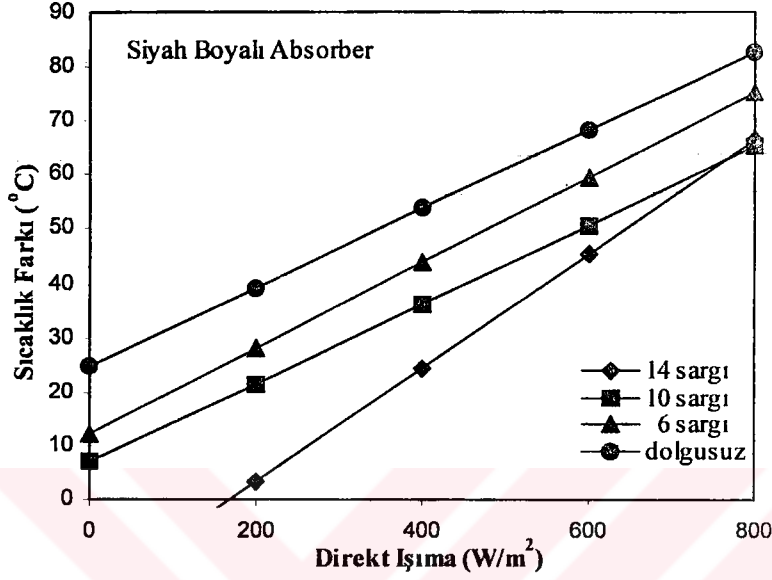
Direkt ısıma-sıcaklık farkını gösteren grafikte seçici yüzeyli absorber kullanıldığı durumda daha yüksek sıcaklık farkının elde edildiği ve ΔT ' ler arasındaki farkın her ısıma değeri için sabit kaldığı görülmektedir. Verim grafiğinde ise, doğal konveksiyonda olduğu gibi seçici yüzeyli absorber kullanımının siyah boyalı absorbere göre verimi artırdığı görülmektedir. İşletme noktası parametresinin sıfır değeri için yani akışkan giriş sıcaklığı ile çevre sıcaklığının eşit olduğu anda verim %53' e çıkarak % 6 lık bir iyileşme meydana gelmiştir. Ancak bu parametrenin artan değerleri için verimdeki iyileşme % 90 lara ulaşmaktadır.

Yukarıda verilen sonuçlardan absorberden çevreye ısı kayıplarını azaltan seçici yüzeyin absorber kullanımının konik yoğunlaştırıcı toplayıcının verimini artırmada tek başına yeterli olmadığı sonucuna varılmıştır. Bu nedenle, hava ısıtıcının verimini daha fazla artırmak amacı ile absorberin altındaki hava akış kanalına dolgu malzemesi yerleştirildi. Dolgu malzemesi kullanılarak akışkanla temas eden absorber yüzeyi artırılmış, dolayısı ile absorblanan ısının içindeki akışkana daha fazla transfer edilmesi sağlanmış olur. Bu amaçla ısıl iletkenliği yüksek bir materyal olan alüminyum sinck teli kullanıldı. 14,10 ve 6 olmak üzere üç farklı sargı sayısında katlanan alüminyum tel absorber içine yerleştirildi.

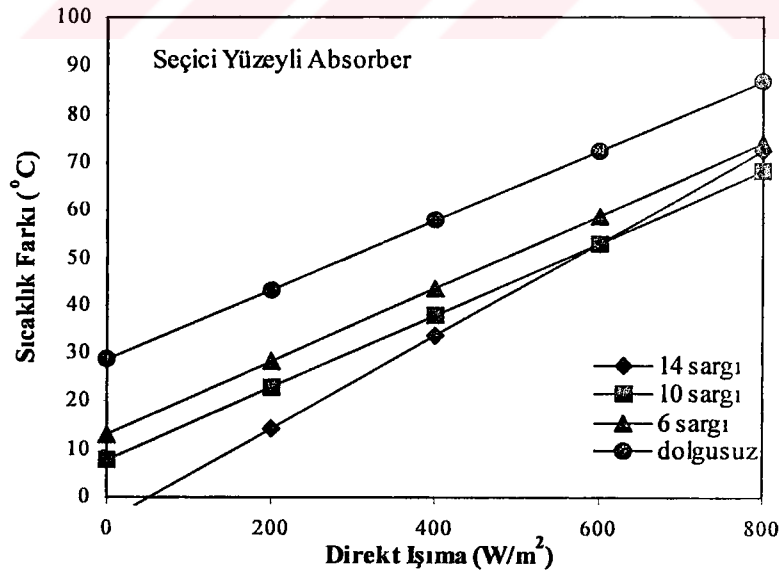
Farklı sargı sayılarında dolgu malzemesi kullanımının verim üzerine etkisi doğal ve zorlanmış hava akışları, seçici ve siyah boyalı absorber durumları için ayrı ayrı incelendi. 14 sargılık dolgu malzemesi kullanıldığı durumda siyah boyalı bakır boru üzerine siyah boyalı alüminyum sinck teli sarılarak elde edilen yapay olarak pürüzlendirilmiş üçüncü farklı absorber yüzeyi olarak kullanıldı.

Şekil 10.19 ve 10.20 havanın akış kanalından doğal olarak geçirildiği durumda iki değişik absorber yüzey için direkt ısıma ile sıcaklık farkı arasındaki değişime dolgu malzemesi kullanımının etkisini göstermektedir. Bu grafiklerde tam bir karşılaştırma yapılabilmesi için hava akış kanalının boş olduğu durumda elde edilen sonuçlara da yer verilmiştir. Hava akış kanalına 14, 10 ve 6 sargı sayılarından oluşan dolgu malzemeleri yerleştirmenin akışkan sıcaklığındaki yükselmeyi olumsuz etkilediği her iki şekilden de açık olarak görülmektedir. Akış kanalına yerleştirilen dolgu malzemesinin havanın

hareketine sistem geometrisi yanında ilave bir basınç düşüşü oluşturmaması nedeni ile ΔT lerde düşüş görülmüştür. Dolgu malzemesindeki sargı sayısının artması ile havanın akışı sırasında karşılaştığı direnç arttığından dolayı ΔT lerdeki düşüş de artmıştır.



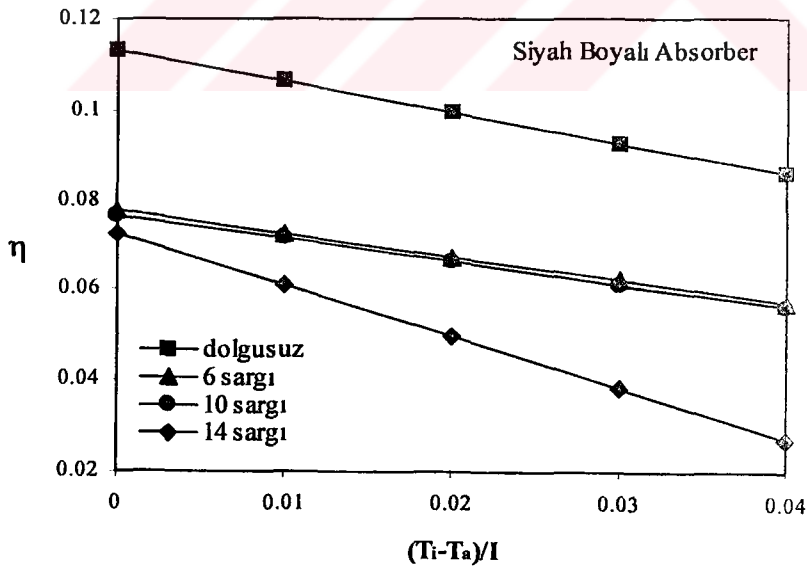
Şekil 10.19. Doğal konveksiyonla akışta siyah boyalı absorberli hava ısıtıcıda dolgu malzemesi kullanımının sıcaklık farkına etkisi



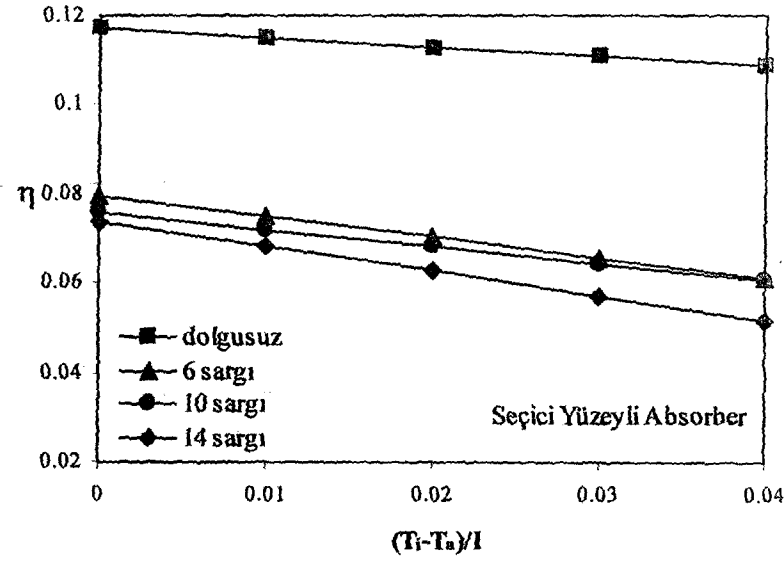
Şekil 10.20. Doğal konveksiyonla akışta seçici yüzeyli absorber kullanılan hava ısıtıcıda dolgu malzemesi kullanımının sıcaklık farkına etkisi

Şekil 10.21 ve 10.22’ de yine havanın doğal akışı sırasında akış kanalına yerleştirilen dolgu malzemesinin her iki absorber yüzeyi için verime etkisi görülmektedir. Sıcaklık farkındaki düşüş verim grafiklerine de yansımıştır. Dolgusuz durumda elde edilen % 12 lik verim dolgu malzemesi kullanımı ile %8 lere düşmüştür. Dolgu malzemesi kullanımının direkt ısıma-sıcaklık farkı grafiklerine göre verim eğrilerinde daha fazla bir düşüşe neden olduğu görülmektedir. Akış kanalına yerleştirilen dolgu malzemesinin havanın hareketini engellemesi nedeniyle sıcaklık yükselmesini azaltmasının yanı sıra sistemden geçen havanın kütleli debisini de düşürmüştür. Dolgusuz durumda ortalama 7.5 kg/saat debiyle sistemden geçen hava dolgulu durumda ancak ortalama 5.74 kg/saat debiyle sistemi terk etmiştir. Verimin hesaplandığı $mC_p\Delta T / A_a I$ denklemi göz önüne alınırsa paydaki iki terimin düşmesi verimde de önemli bir düşüşün olmasına neden olmuştur.

Bu grafiklerden anlaşılabileceği üzere doğal akış durumunda hava akış kanalına dolgu malzemesi yerleştirmek pratik değildir. Bu durum havanın bir fan yardımı ile sistemden geçirilmesi ile aşılabılır.

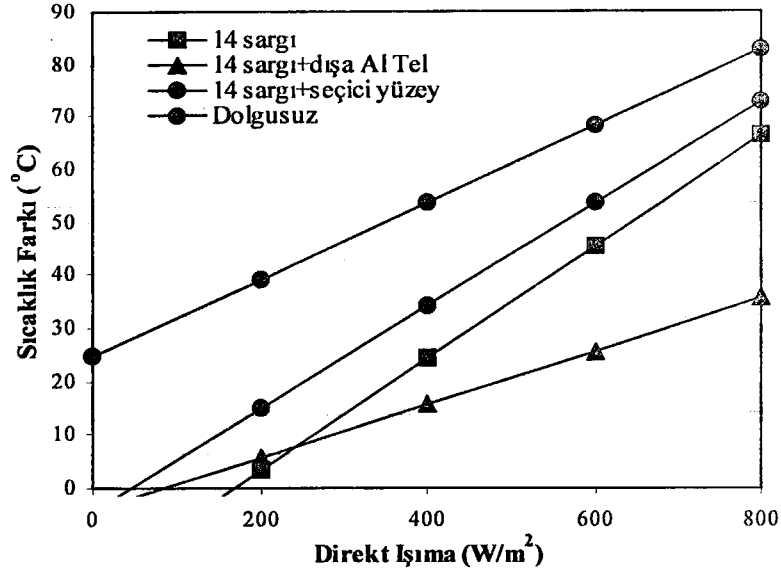


Şekil 10.21. Doğal akış şartlarında siyah boyalı absorber için işletme noktası parametresi ile anlık verimin değişimi

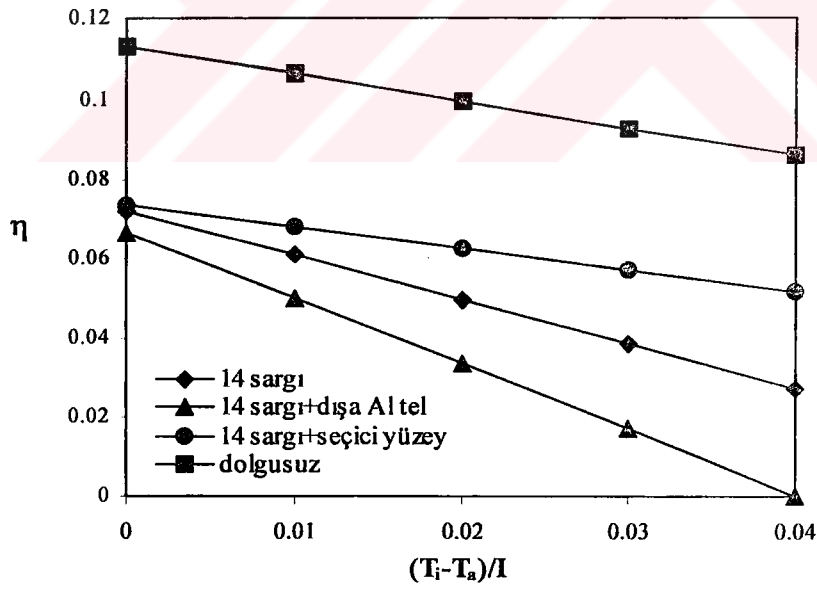


Şekil 10.22. Doğal akış şartlarında seçici yüzeyli absorber için işletme noktası parametresi ile anlık verimin değişimi

Hava akış kanalına 14 sargı sayılı dolgu malzemesi yerleştirildiği durumda yapay olarak pürüzlendirilmiş üçüncü bir absorber yüzey daha denendi. Siyah boyalı bakır boru üzerine siyah boyalı Al sinek teli sarılarak elde edilen bu yüzeyin siyah boyalı ve seçici yüzey ile karşılaştırılması Şekil 10.23'de $I-\Delta T$ grafiği olarak, 10.24'de verim grafiği olarak verilmiştir. Pürüzlü bir yüzeye çarpan güneş ışınımı yüzeyin absorbtivitesi oranında soğurulur, yansıtma katsayısı oranında yansıtılır. Pürüzlü yüzeyden yansıyan ışınlar yüzey pürüzlerine çarparak tekrar tekrar absorblandığı için cam boruya yansıyan kesir azalır. Bu durum güneşten gelen ışınların absorblanan kesrinin arttığı anlamına geldiği için sistem verimini artırması beklenir. Ancak buradaki sistemde beklenen etkiyi yapmadığı aksine siyah boyalı absorber boru ile ulaşılandan daha düşük bir sıcaklık yükselmesi elde edildiği görülmüştür. Verim grafiğinden de diğer absorber yüzeylere oranla en düşük verime (%6.5) sahip olduğu anlaşılmaktadır. Aynı zamanda verim grafiğinin eğiminin diğerlerine göre daha yüksek olması absorber yüzeyinden çevreye kaybolan ısının fazla olduğunun göstergesidir.



Şekil 10.23. Doğal akışta 14 sargılık dolgu malzemesinde farklı absorber yüzey kullanımının sıcaklık farkına etkisi



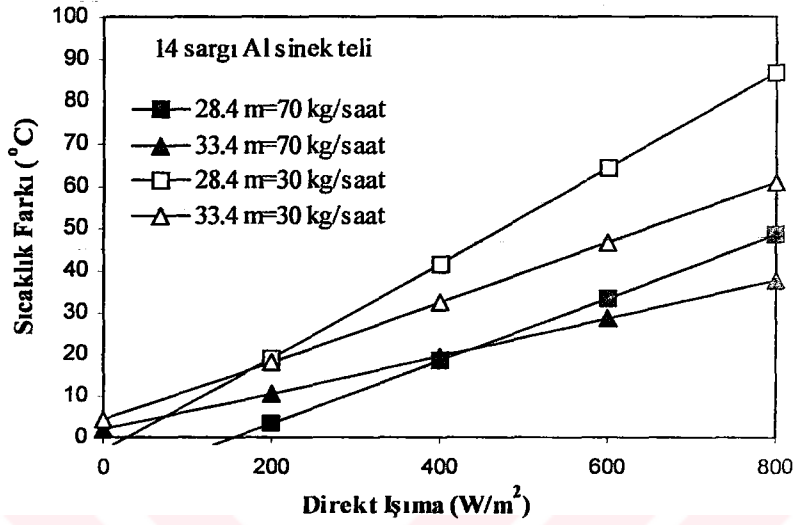
Şekil 10.24. Doğal akışta 14 sargılık dolgu malzemesinde farklı absorber yüzey kullanımının anlık verime etkisi

Sinek teli üzerindeki gözenekli yapı, yüzeyin güneş ışıının etkili bir şekilde absorblanmasını sağlamıştır. Ancak şekillerden görüldüğü üzere bu ısıyı etkili bir şekilde altındaki bakır boruya iletememiştir. Kendi yüzeyi fazla ısındığından absorbladığı bu ısıyı cam boru ile arasındaki durağan havaya ve çevreye transfer ettiği sonucuna varılmıştır. Verim grafiğinin eğiminin yüksek olması da bu düşüncüyü destekleyici yöndedir. Ancak hava yapay olarak pürüzlendirilmiş böyle bir yüzeyin altından değil de üstünden geçirilmiş olsaydı, burada elde edilenin tersine, beklenen sonuca ulaşılabilirdi.

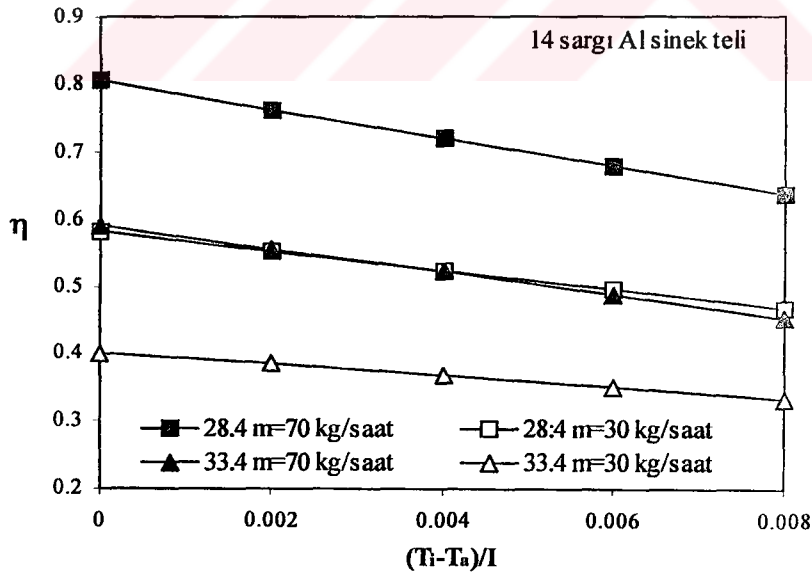
Zorlanmış hava akışında sistem verimine dolgu malzemesi yerleştirmenin etkisini incelemek amacıyla ilk önce 14 sargı alüminyum sinek telinin dolgu olarak hava kanalına yerleştirildiği durumda iki eğim açısı ve iki kütleli debi ile çalışıldı. Dolgusuz durumda verimleri birbirlerine oldukça yakın olan 28.4° ve 33.4° lik eğim açıları böylece bir dolgu malzemesi için birlikte denenerek eğim açısının optimum değeri bulunmaya çalışıldı. Hava debisi olarak en yüksek verimler 70 kg/saat ' de elde edilmesine rağmen sistemin ulaşabildiği maksimum sıcaklık değerleri 30 kg/saat ' lik debide elde edildi. Bu nedenle 14 sargı sayısında dolgu malzemesi kullanıldığı durumda sistemin maksimum verim ve maksimum sıcaklık yükselmesi değerleri hakkında bilgi sahibi olmak amacıyla 70 ve 30 kg/saat ' lik hava debilerinde çalışıldı. 14 sargılı dolgu malzemesinin kullanıldığı durumda iki eğim açısı ve iki kütleli debi ile yapılan deneylerin sonuçları Şekil 10.25' de $I-\Delta T$ grafiği olarak, 10.26' da ise verim grafiği olarak verilmiştir. Eğim açıları arasındaki fark dolgu malzemesi kullanımında açıkça görülmektedir. 28.4° lik eğim açısı 33.4° lik açıya göre daha yüksek sıcaklık yükselmesi ve dolayısı ile daha yüksek verim sağlamıştır. 14 sargılı dolgu malzemeli ve 28.4° lik eğim açısında yerleştirilen sistem 30 kg/saat kütleli debide yaklaşık 90°C lik maksimum bir sıcaklık yükselmesi göstermekte, 70 kg/saat ' de bu değer yaklaşık yarıya düşmektedir.

Eğim açıları arasındaki belirgin fark verim grafiklerinden de gözlenmektedir. Dolgusuz durumda neredeyse birbirine çakışık olan doğrular burada birbirlerinden ayrılmışlardır. 33.4° lik eğim açısında 70 kg/saat ' lik debide verim değeri, 28.4° de 30 kg/saat debide elde edilen verim ile çalışmaktadır. Bu şekillerden görüldüğü üzere

28.4° lik eğim açısı konik yoğunlaştırıcı hava ısıtma sistemi için bulunulan enlem derecesi için en uygun yerleştirme açısıdır.



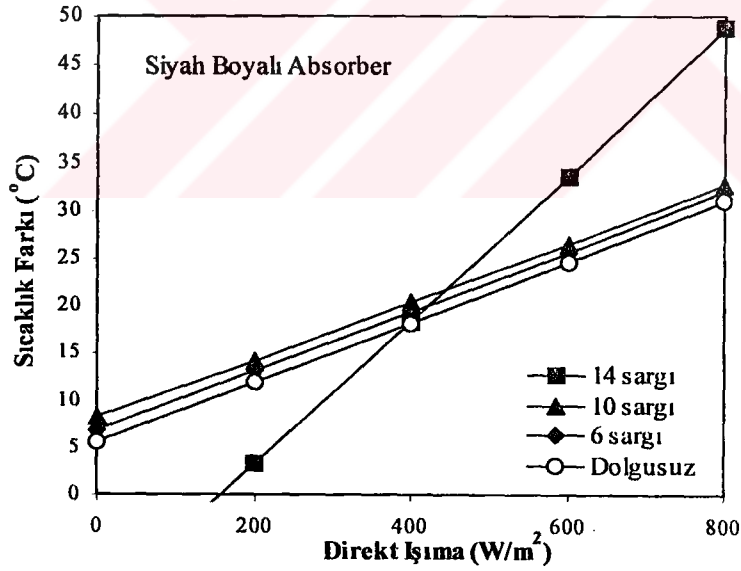
Şekil 10.25. 14 sargılı dolgunun kullanıldığı durumda farklı eğim açıları ve kütleli debiler için direkt ışımayla sıcaklık farkının değişimi



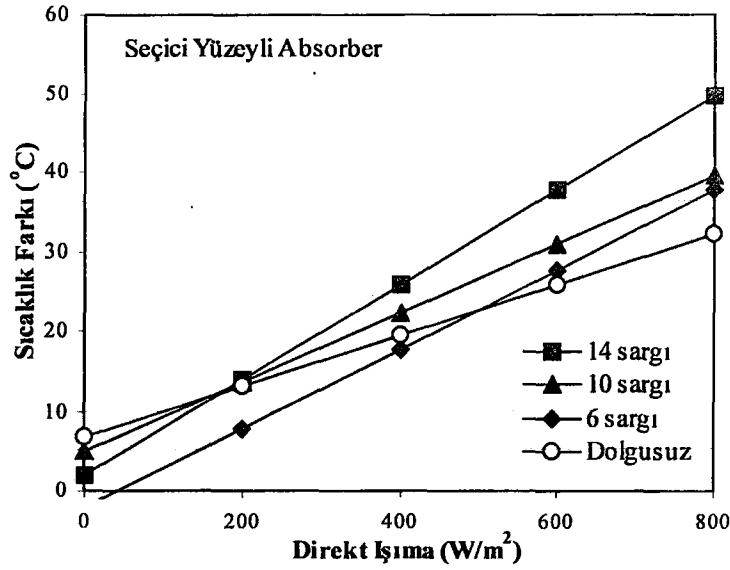
Şekil 10.26. 14 sargılı dolgunun kullanıldığı durumda farklı eğim açıları ve kütleli debiler için anlık verimin değişimi

Absorber boru içindeki hava akışkan alana 14 sargı sayılık dolgu malzemesi yanında 10 ve 6 sargı sayılarından oluşan dolgu malzemeleri de koyuldu. Farklı sargı sayılarında dolgu malzemesi kullanımının sistem performansına etkisi siyah boyalı ve seçici yüzeyli absorberler için ayrı ayrı incelendi.

Şekil 10.27' de siyah boyalı absorber, Şekil 10.28' de ise seçici yüzeyli absorber durumları için farklı sargı sayılarında dolgu malzemesi kullanımının absorberden geçen hava sıcaklığındaki yükselmeye etkisi görülmektedir. Dolgu malzemesi yerleştirilmesi akışkan sıcaklığında yükselmeye neden olmuştur. Siyah boyalı absorber de 6 ve 10 sargılık dolgu malzemeleri dolgusuz durum ile birbirlerine paralel eğriler vermesine rağmen 14 sargılık dolgu malzemesi belirgin bir artış sağlamıştır. Maksimum ısımanın geldiği öğlen saatlerinde akışkan sıcaklığında yaklaşık 50 °C lik bir yükselme meydana gelebilmektedir. Seçici yüzeyli absorber kullanımı ise çeşitli sargı sayıları daha belirgin bir şekilde absorbere giren ve çıkan hava sıcaklıkları arasındaki farkı artırmıştır.

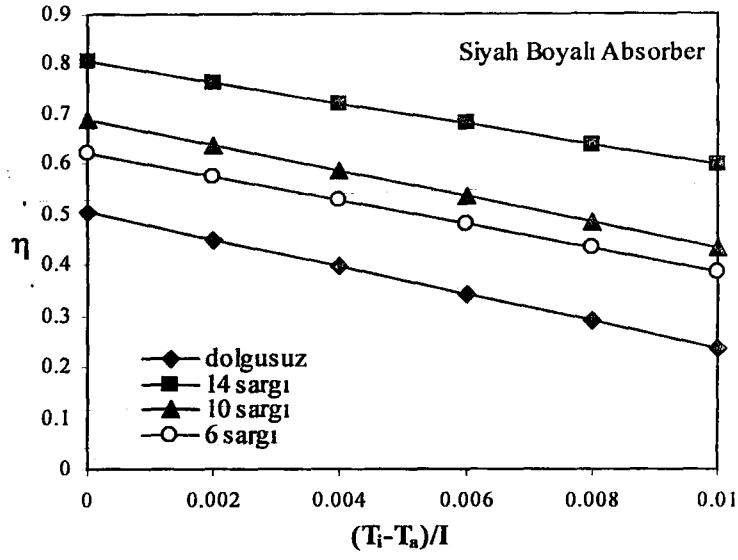


Şekil 10.27. Siyah boyalı absorberde farklı sargı sayısında dolgu malzemesi kullanımının sıcaklık farkına etkisi

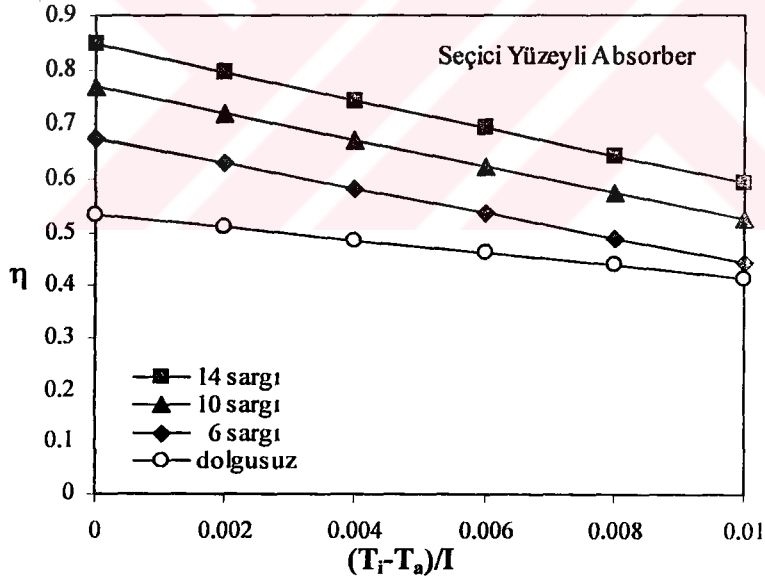


Şekil 10.28. Seçici yüzeyli absorberde farklı sargı sayısında dolgu malzemesi kullanımının sıcaklık farkına etkisi

Farklı sargı sayılarında dolgu malzemesi kullanımının verime etkisi Şekil 10.29’ da siyah boyalı absorber , Şekil 10.30’ da seçici yüzeyli absorber durumları için verilmiştir. Her iki şekilden de görüldüğü gibi absorber içine yerleştirilen dolgu malzemesinin sargı sayısındaki artış ile verimde önemli yükselmeler olmuştur. Burada hava bir fan yardımı ile sisteme beslendiğinden dolgu malzemesinin oluşturduğu basınç düşüşü aşılmış ve doğal konveksiyon da görülenin tersine sonuçlar elde edilmiştir. Dolgunsuz durumda %50 civarında olan verim 14 sargılı dolgu malzemesi kullanımı ile siyah boyalı absorberde % 80’ e seçici yüzeyli absorber de % 84’ e çıkmıştır. Dolgu malzemesinin sargı sayısı arttıkça bakır boru ile temas noktası artmakta ve daha çok noktadan alüminyum tele kondüksiyonla ısı transferi olmaktadır. Isının havaya aktarıldığı yüzey alanı arttığı için sistem veriminde önemli derecede bir artış meydana gelmektedir.

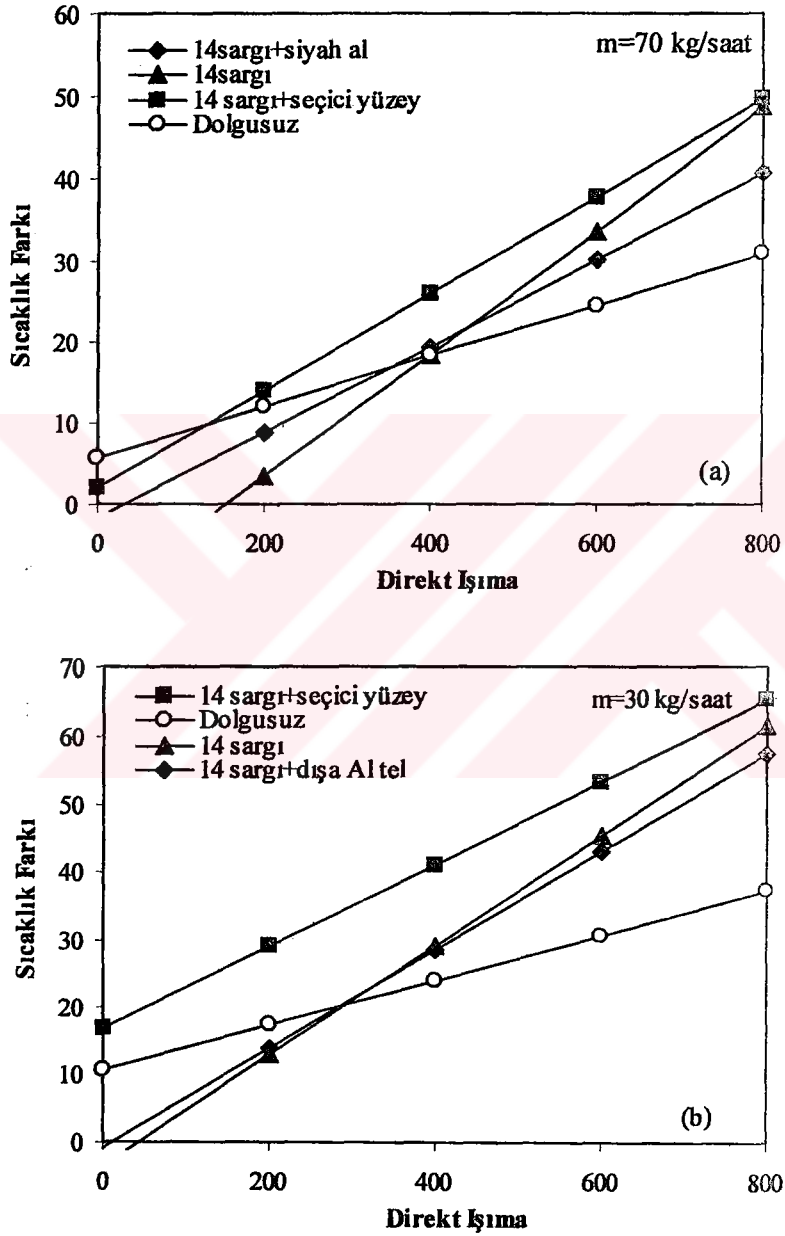


Şekil 3.29. Siyah boyalı absorberde farklı sargı sayısında dolgu malzemesi kullanımının anlık verime etkisi



Şekil 10.30. Seçici yüzeyli absorberde farklı sargı sayısında dolgu malzemesi kullanımının verime etkisi

14 sargı sayısında dolgu malzemesi kullanıldığı durumda kullanılan üç ayrı absorber yüzeyin, havanın zorlanmış akışında, iki ayrı hava debisinde , absorber içinde hava sıcaklığındaki yükselmeye etkisi Şekil 10.31’ de verilmiştir.



Şekil 10.31. Zorlanmış akış şartlarında iki ayrı kütleli debi için farklı absorber yüzey kullanımının sıcaklık farkına etkisi

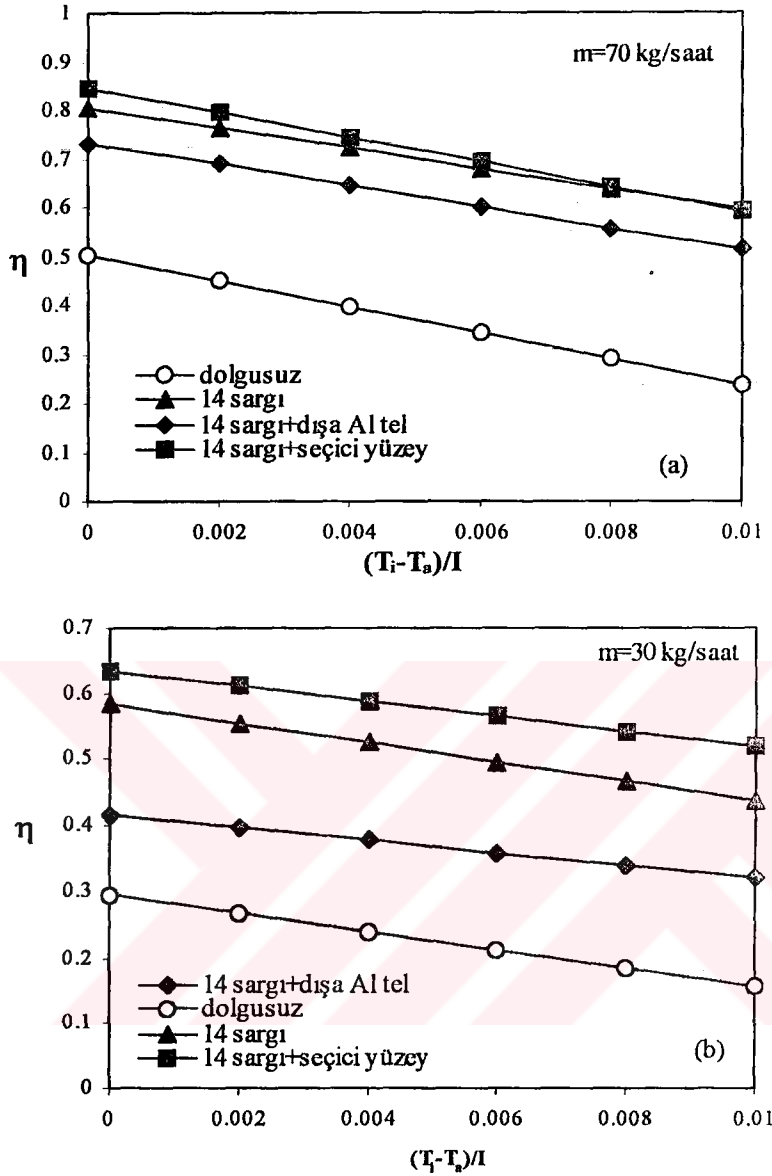
Her iki kütleli debi için çizilen grafikten de görüldüğü üzere, hava akış kanalına 14 sargılık dolgu malzemesinin yerleştirildiği durumda seçici yüzeyli absorber kullanımı ile en yüksek sıcaklık farkı değerleri elde edilmiştir. Bakır boru üzerine siyah alüminyum sinek teli sarılarak yapay olarak pürüzlendirilmiş absorber yüzeyi ise en düşük sıcaklık farkı değerlerini vermiştir. Her üç durumda da hava akış kanalında dolgu olduğu için dolgusuz duruma oranla $\Delta T'$ lerde artış görülmüştür.

Şekil 10.32' de aynı durum için verim grafikleri verilmiştir. Sistem 70 kg/ saat debide çalıştırıldığında maksimum verim değerleri elde edilmiştir. Sıcaklık farkı grafiklerindeki ile benzer olarak 14 sargılık dolgu malzemesi kullanıldığı durumda en yüksek verim seçici yüzey kaplamada, en düşük verim bakır boru üzerine alüminyum sinek teli kaplamada elde edilmiştir. Doğal konveksiyon grafiklerinde detaylı olarak anlatılan nedenlerden dolayı yapay olarak pürüzlendirilen yüzey verimin düşmesine neden olmuştur. Verim değerinin siyah boyalı bakır borudakinden daha düşük olması, yüzey üzerine gelen güneş ışınlarının alttaki bakır boruya fazlaca ulaşmadığının üstteki gözenekli sinek teli tarafından soğurulduğunun göstergesidir. Siyah sinek teli absorbladığı bu ısıyı etkili bir şekilde bakır boruya transfer edememiş kendi yüzeyini ısıtmıştır.

Bu grafiklerden elde edilen diğer bir nokta da 14 sargılık dolgu kullanıldığı durumda 30 kg/saat debide oldukça yüksek verim değerlerinin elde edilmesidir.

10.1.4. Isı Kazanç (F_R), Isı kayıp (U_L) Katsayıları ve Verimdeki İyileşme

Isı kazanç faktörünü temsil eden F_R büyüklüğü, konvensiyonel bir ısı değiştiricinin etkinliğine eşittir. Gerçek ısı transferinin, olası maksimum ısı transferine oranı olarak tanımlanır. Bir güneş enerjili toplayıcısında olası maksimum yararlı enerji kazancı, tüm toplayıcı akışkan giriş sıcaklığında olduğunda gerçekleşir. Bu anda çevreye ısı kayıpları minimumdur.



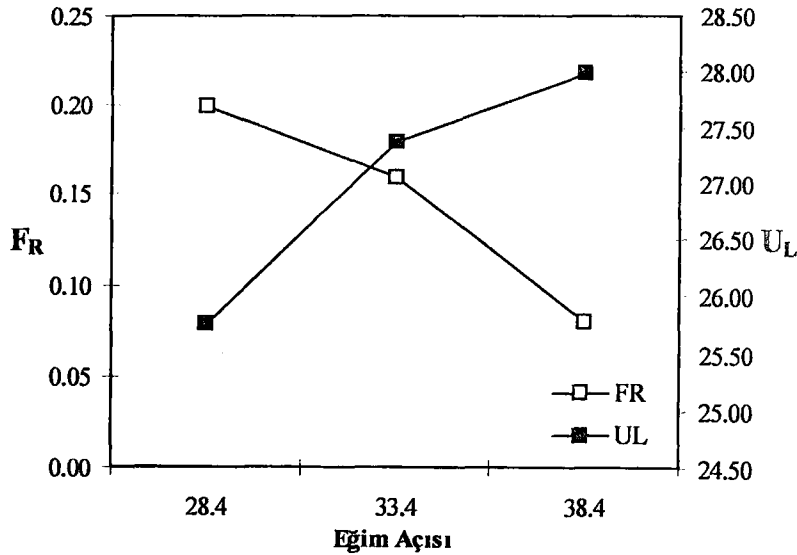
Şekil 10.32. Zorlanmış akış şartlarında iki ayrı kütleli debi için farklı absorber yüzey kullanımının verime etkisi

U_L ısı kayıp katsayısıdır. Tüm absorber yüzeyinden çevreye konveksiyon ve radyasyonla transfer olan ısının ölçüsünü gösterir. Cam boru ile silindirik alıcı yüzey arasındaki mesafeye ve aradaki havanın vakumlanmış veya vakumlanmamış olmasına göre değişik değerler alır. Aradaki boşluğun havasının alındığı hallerde ısı transfer katsayısının değişimi çok düşüktür. Pratikte ısı kayıp katsayısının değeri sıcaklığa bağlı

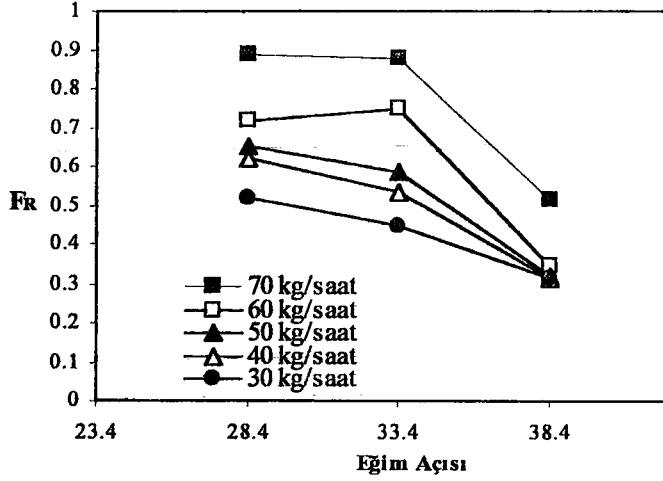
olarak büyük değişim göstermediğinden genellikle çalışma şartlarına bağlı olarak sabit seçilir. Bu yaklaşımla lineer hale gelen verim ifadesi (4.35) eşitliğinin ve Şekil 4.11' de gösterilen metotla grafiğe geçirilmesiyle F_R ve U_L deneysel olarak bulunabilir. Daha önceki bölümlerde işletme noktası parametresine $((T_i - T_a)/I)$ karşı çizilen η grafiklerinde elde edilen doğrunun kaymasından F_R eğiminden U_L belirlenir.

Doğal akış şartlarında çalıştırılan toplayıcının ısı kazanç ve ısı kayıp faktörünün eğim açısıyla değişimi Şekil 10.33' de verilmiştir. Güneş enerjili hava ısıtma sisteminde verim değerleri eğim açısının artmasıyla azaldığı için ısı kazanç faktörü de artan eğim açısıyla azalmaktadır. Sistemin doğal konveksiyon veriminin düşük olması nedeniyle ısı kazanç faktörü 0.2' de kalmıştır.

Zorlanmış akış şartlarında çalıştırılan konik yoğunlaştırıcılı hava ısıtma sisteminde ısı kazanç faktörünün eğim açısıyla değişimi Şekil 10.34' de verilmiştir. Doğal akış şartlarında olduğu gibi, eğim açısındaki artışla ısı kazanç faktörü azalmaktadır. Ancak ısı kazanç faktörünün değeri zorlanmış akış şartlarında artış göstermiştir. En yüksek hava debisinde 0.9 değerine ulaşan ısı kazanç faktörü düşük hava debilerinde 0.5 civarında kalmıştır.



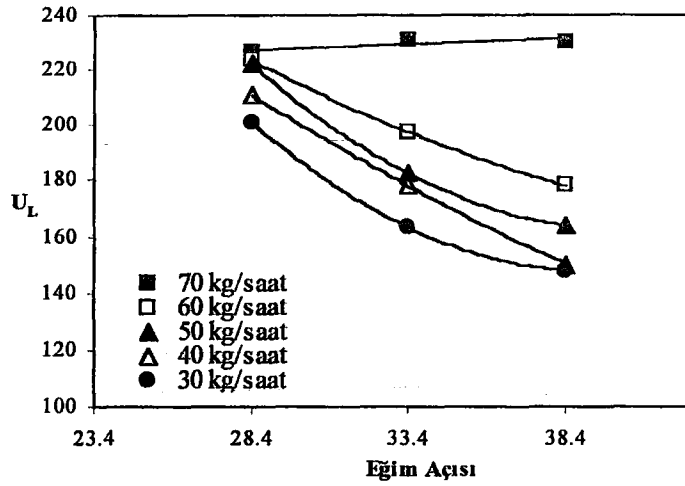
Şekil 10.33. Doğal akış şartlarında ısı kazanç ve ısı kayıp katsayılarının eğim açısıyla değişimi



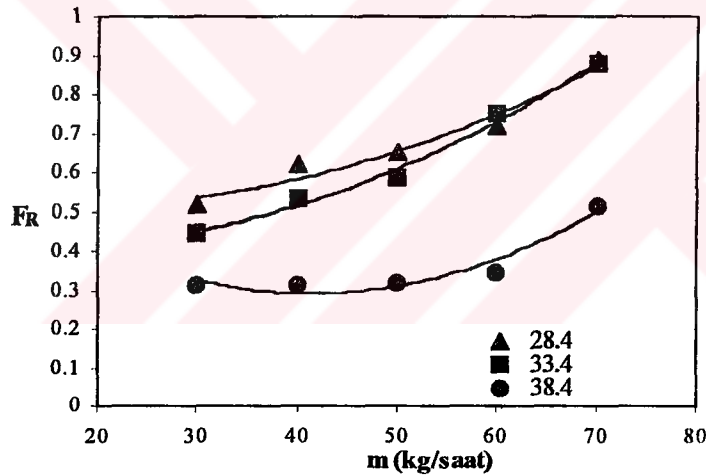
Şekil 10.34. Zorlanmış akış şartlarında farklı kütleli debiler için ısı kazanç faktörünün eğim açısıyla değişimi

Şekil 10.35’ de ise zorlanmış akış şartlarında eğim açısıyla ısı kayıp katsayısındaki değişim görülmektedir. 70 kg/saat debide eğim açısının artmasıyla U_L değerinde fazla bir değişim görülmemesine rağmen diğer hava debilerinde azalma görülmektedir.

Zorlanmış akış şartlarında kütleli debi ile ısı kazanç katsayısının değişimi Şekil 10.36’ da , ısı kayıp katsayısının değişimi 10.37’ de verilmiştir. Her iki grafikten görüldüğü üzere kütleli debinin artmasıyla F_R ve U_L ’ de ikinci dereceden bir değişimle ifade edilebilen bir artış görülmektedir. Isı kazanç faktörünün kütleli debi ile artması sistemin veriminin artması nedeniyle olur. 28.4° ve 33.4° eğim açılarında 70 kg/saat debide ısı kazanç katsayısı değerleri birbiriyle çakışmıştır. Bu durum yüksek debi değerlerinde iki eğim açısı arasındaki farkın ortadan kalkacağı şeklinde yorumlanabilir. Isı kayıp katsayısının tüm debilerde yüksek değerlerde olması ise absorber yüzey sıcaklığının yüksek olmasından kaynaklanır. Hava ısıtma sistemi güneşi yoğunlaştıran yapıda olduğu için absorber yüzey üzerinde düzlem toplayıcılara kıyasla daha yüksek bir ısı yoğunluğu oluşmaktadır. Absorber yüzey sıcaklığının artması ile çevre ile arasındaki sıcaklık farkı artacağından çevreye transfer olan ısı dolayısıyla ısı kayıp katsayısı U_L ‘nin artmasına neden olur.

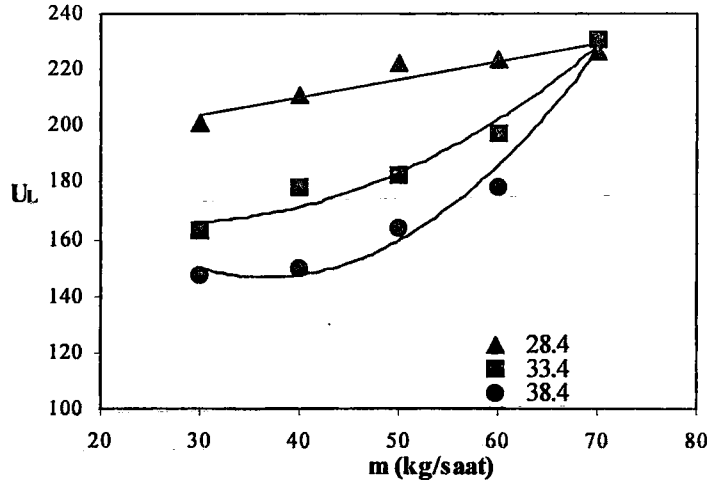


Şekil 10.35. Zorlanmış akış şartlarında farklı kütleli debiler için ısı kayıp faktörünün eğim açısıyla değişimi



Şekil 10.36. Farklı eğim açıları için ısı kazanç faktörünün kütleli debi ile değişimi

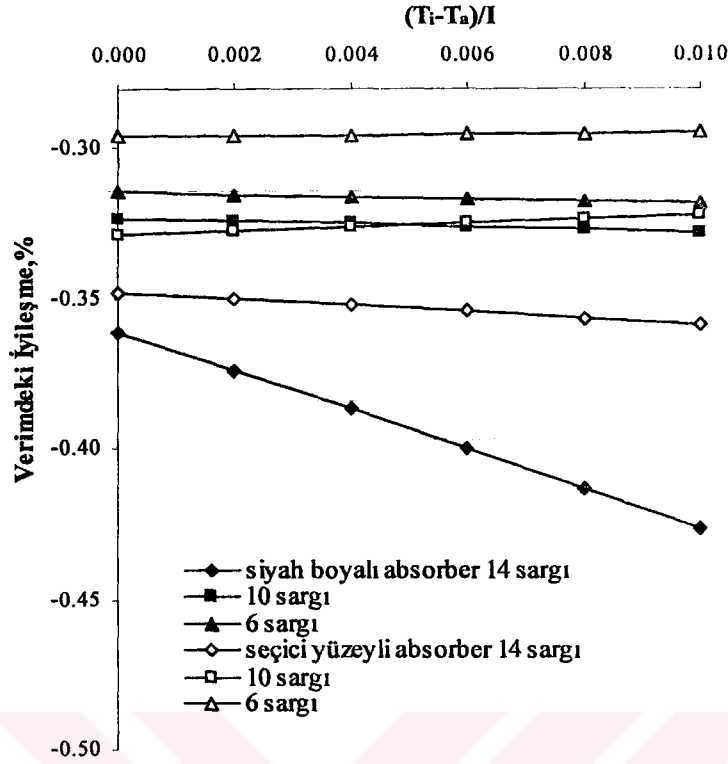
Hava akış kanalına dolgu malzemesi yerleştirmenin etkisi, doğal ve zorlanmış akış şartlarında siyah boyalı ve seçici yüzeyli absorber durumları için incelendi. Hava akış kanalına sinek teli gibi dolgu malzemesinin yerleştirildiği durumlarda F_R verim faktörü yerine literatürde yaygın olarak verimdeki % iyileşme terimi kullanılır. Anlık verimi ifade eden 4.35 eşitliğinde dolgu malzemesini açıklayan, onunla bağlantılı hiçbir parametre olmadığından verimde meydana gelecek değişimi F_R olarak ifade etmek



Şekil 10.37. Farklı eğim açıları için ısı kayıp faktörünün kütleli debi ile değişimi

doğru olmayacaktır. F_R ile ifade edilse bile dolgusuz durumda bulunan F_R ile aynı olmayacaktır. Bu nedenle F_R verim faktörü yerine dolgulu durumdaki verim ile dolgusuz durumdaki verimin farkının alınması ve dolgusuz durumdakine oranlanmasıyla verimdeki iyileşme yüzdesi belirlenir ve dolgu malzemesinden kaynaklanan verimdeki değişimi bu değer ile ifade etmek daha doğru olur.

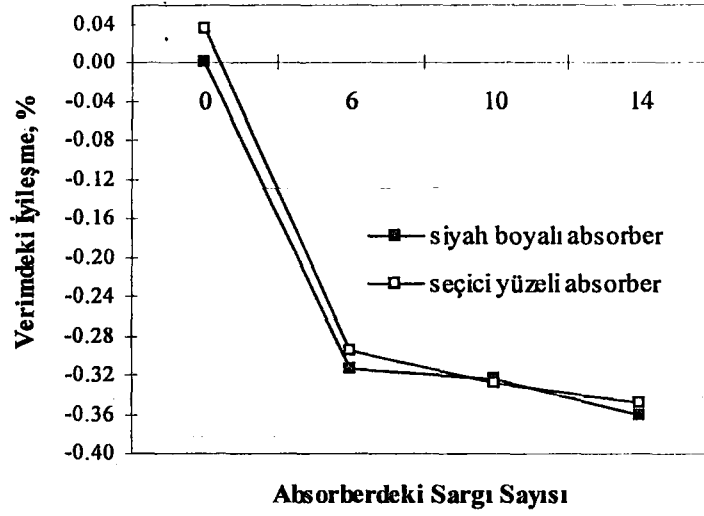
Şekil 10.38' de doğal akış şartlarında siyah boyalı ve seçici yüzeyli absorber durumları için işletme noktası parametresi ile verimdeki % iyileşmenin değişimi görülmektedir. Daha önce çizilen verim grafiklerinden de anlaşıldığı üzere dolgu malzemesi kullanımı doğal akış şartlarında verimi artırmamış aksine azaltmıştır. Verimdeki bu negatif etki dolgu malzemesinin akış kanalında oluşturduğu basınç düşüşü nedeniyle havanın hareketinin azalmasından kaynaklanır. Seçici yüzey kullanımı siyah boyalı absorbere göre verimi artırmış gibi görünse de dolgu malzemesi kullanımı genel olarak doğal konveksiyon verimini azaltmıştır.



Şekil 10.38. Doğal akış şartlarında siyah boyalı ve seçici yüzeyli absorberlerde kullanılan dolgu malzemesinin işletme noktası parametresi ile verimdeki iyileşme değişimine etkisi

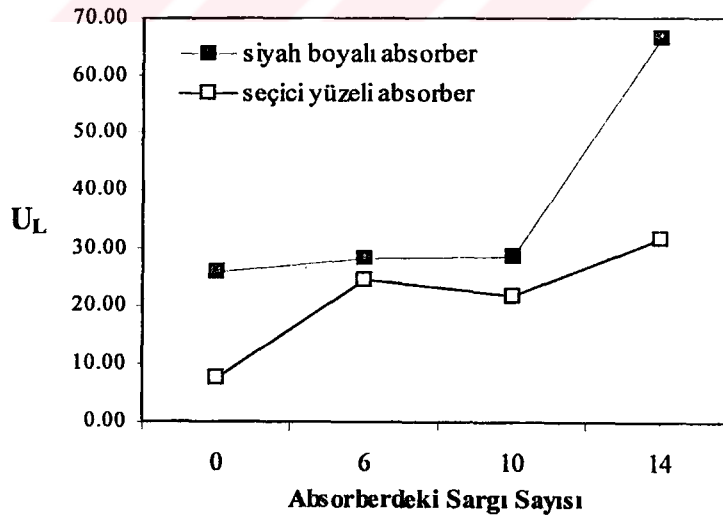
Şekil 10.39' da yine doğal akış sisteminde absorberdeki sargı sayısı ile verimdeki iyileşme görülmektedir. Akış sistemine yerleştirilen dolgu malzemesinin sargı sayısının artmasıyla verim düşmektedir. Dolgu malzemesi kullanımıyla meydana gelen düşüş 6, 10 ve 14 sargı sayıları için sırasıyla %31.5, %32.4 ve %36.2' dir. Hava akış kanalına yerleştirilen dolgu malzemesinin sargı sayısının artmasıyla basınç düşüşü artar. Sistemden doğal akışta geçen hava bu basınç düşüşünü yenemediği için akış hızı düşer. Havanın kütleli debisinin azalmasıyla verim de düşer.

Dolgulu durumda ısı kayıp katsayısındaki değişim de Şekil 10.40' da verilmiştir. Seçici yüzeyli absorber kullanımında az, siyah boyalı absorber kullanımında daha çok olsa da genel olarak sargı sayısının artmasıyla U_L değerinde bir artış görülmektedir.



Şekil 10.39. Doğal akış şartlarında absorberdeki sargı sayısının verimdeki iyileşmeye etkisi

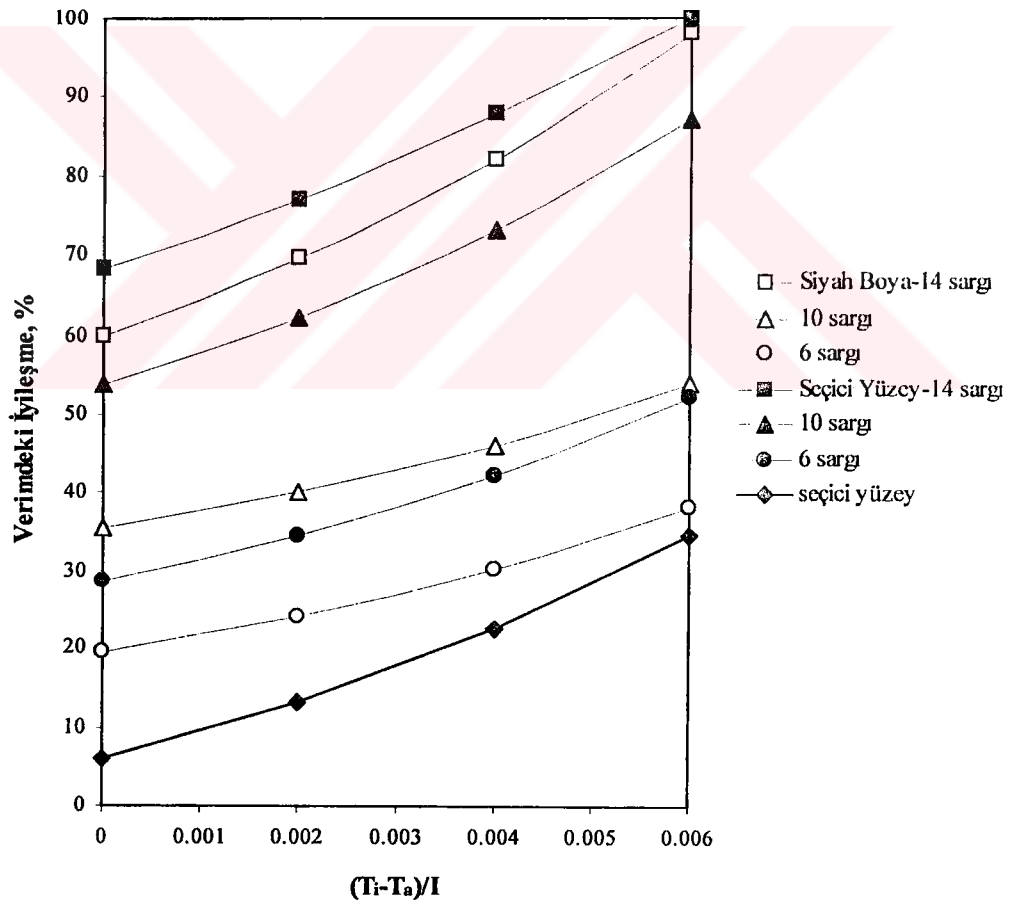
Dolgulu durumda havanın absorber yüzeyinden ısıyı etkili bir şekilde absorblayamaması nedeniyle absorber yüzey sıcaklığı artar bu da ısı kayıp katsayısının artmasına neden olur.



Şekil 10.40. Doğal akış şartlarında absorberdeki sargı sayısı ile ısı kayıp katsayısının değişimi

Bu durum havanın doğal akışı nedeniyle ortaya çıkan bir sonuç olduğu için zorlanmış akış şartlarında bu olumsuzluk ortadan kalkar.

Şekil 10.41' de zorlanmış akışta siyah boyalı ve seçici yüzey kullanıldığı durumlarda absorber içine dolgu malzemesi yerleştirmenin etkisi, işletme noktası parametresine göre verimdeki iyileşme grafiğinde verilmektedir. Zorlanmış konveksiyonda dolgu malzemesi kullanımı sistem veriminde beklendiği gibi pozitif bir etkiye neden olmaktadır. Tek başına seçici yüzey kullanımı %6 oranında verimde iyileşme sağlarken, seçici yüzey yanı sıra hava akış kanalına 14 sargılık dolgunun yerleştirilmesiyle yaklaşık %70 iyileşme sağlanmıştır.

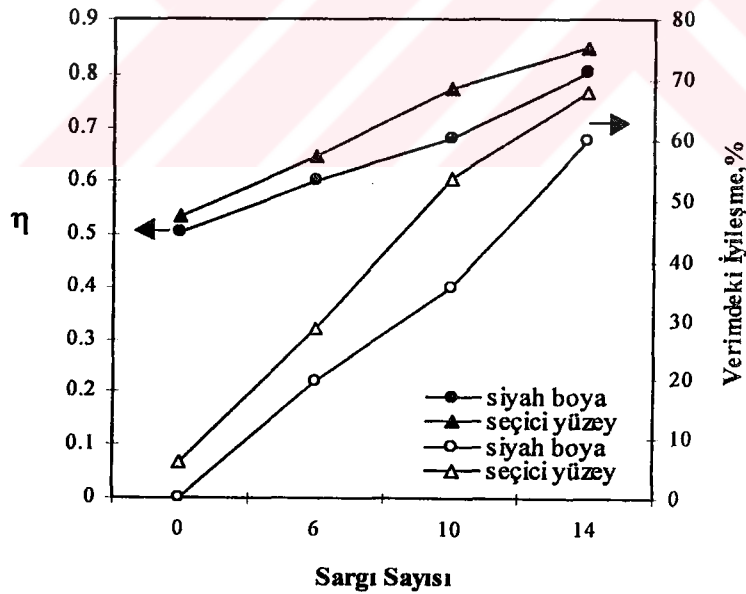


Şekil 10.41. Zorlanmış akış şartlarında işletme noktası parametresi ile verimdeki iyileşmenin değişimi

Dolgu malzemesinde kullanılan sargı sayısının artmasıyla verimin değişimi ve verimdeki iyileşme 70 kg/saat hava debisinde çalıştırılan sistem için Şekil 10.42' de görülmektedir. Tüm sonuçlar ise Tablo 10.1' de özetlenmiştir. Tablo 10.1' e göre 30 kg/saat debide verimdeki iyileşme 70 kg/saat debide meydana gelenden çok daha fazladır.

Absorber içine yerleştirilen dolgu malzemesinin sargı sayısı arttıkça, dolgu absorber ile daha çok noktadan temas ettiği için absorber yüzeyin ısısı alttan geçen akışkana daha fazla transfer edilebilmektedir. Bu sayede dolgunun içinden geçen hava daha fazla ısınacağından sistemin verimi artacaktır.

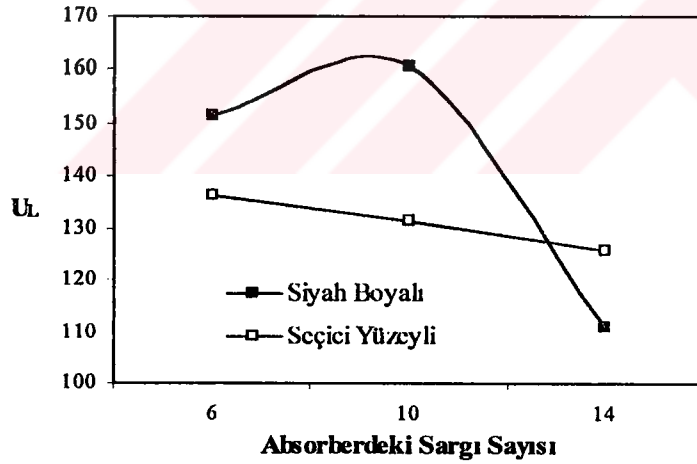
Şekil 10.43' de zorlanmış hava akışında çalıştırılan sistemde dolgu malzemesindeki sargı sayısı ile ısı kayıp katsayısının değişimi görülmektedir. Doğal konveksiyonda gözlenen artışın tersine burada sargı sayısının artmasıyla U_L ' de bir azalma görülmektedir. Absorber yüzeyden ısının etkili bir şekilde dolgu malzemesine



Şekil 10.42. Absorberdeki sargı sayısı ile anlık verimin ve verimdeki % iyileşmenin değişimi

Tablo 10.1. Zorlanmış Akış Şartlarında Seçici Yüzeyli ve Siyah Boyalı Absorberler İçin Çeşitli Sargı Sayılarında Dolgu Malzemeleri İçin Anlık Verimler ve Verimdeki İyileşme

m=70			m=30	
$\phi=28.4$	η	Verimdeki İyileşme, %	η	Verimdeki İyileşme, %
Siyah Boyalı Absorber				
Dolgunsuz	0.5030	—	0.2935	---
14 sargı	0.8045	60.0	0.5825	98.5
10 sargı	0.6811	35.4		
6 sargı	0.6011	19.5		
Seçici Yüzeyli Absorber				
Dolgunsuz	0.5332	6.0		
14 sargı	0.8459	68.2	0.6327	115.6
10 sargı	0.7733	53.7		
6 sargı	0.6475	28.7		
14 sargı+dışa Al tel	0.7318	45.5	0.4156	41.6

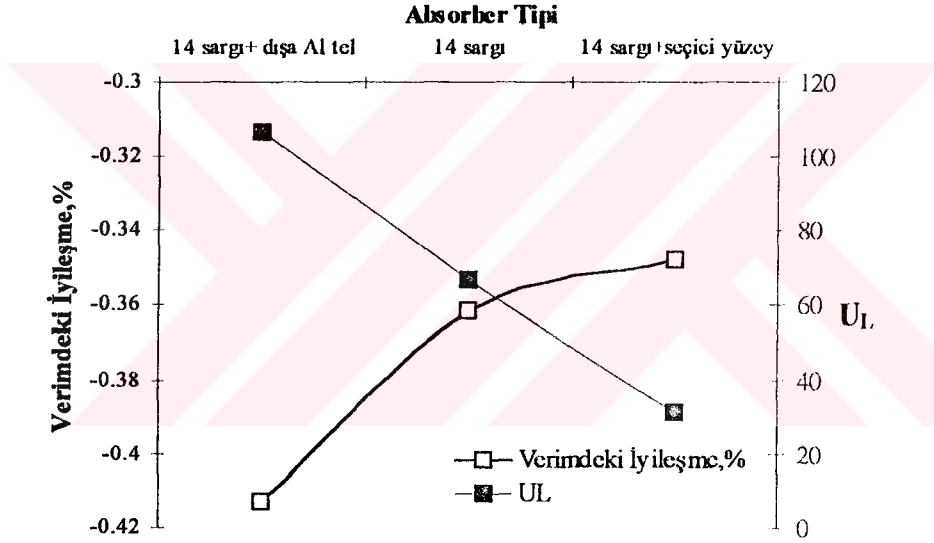


Şekil 10.43. Zorlanmış akış şartlarında dolgu malzemesindeki sargı sayısının ısı kayıp katsayısına etkisi

oradan da havaya aktarılması absorber yüzey sıcaklığında bir düşüşe neden olur. Yüzey sıcaklığı düşünce çevreye kaybolan ısı miktarı da azalır ve U_L ' de düşüş görülür. Seçici yüzeyli absorber kullanıldığı durumda ısı kayıp katsayısı siyah boyalı absorbere göre

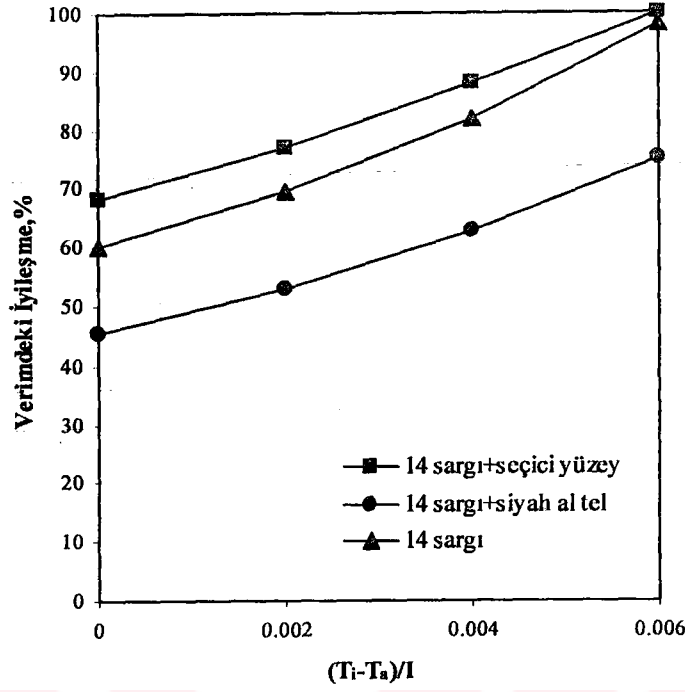
daha düşüktür. Bu da yukarıda bahsedilen absorber yüzey sıcaklığının daha düşük olması ile açıklanabilir.

14 sargılık dolgu malzemesinin kullanıldığı durumda denenen üç ayrı absorber yüzeyin sistemin doğal konveksiyon verimine etkisi ve ısı kayıp katsayısındaki değişim Şekil 10.44' de verilmiştir. Üç ayrı absorber yüzey birbiriyle karşılaştırılırsa, seçici yüzey kaplamanın diğerlerine göre verimi artırdığı, ısı kayıp katsayısını azalttığı görülür. Sistemde dolgu malzemesi olması ve akışın doğal gerçekleşmesi nedeniyle sistemin verimi azalmaktadır.

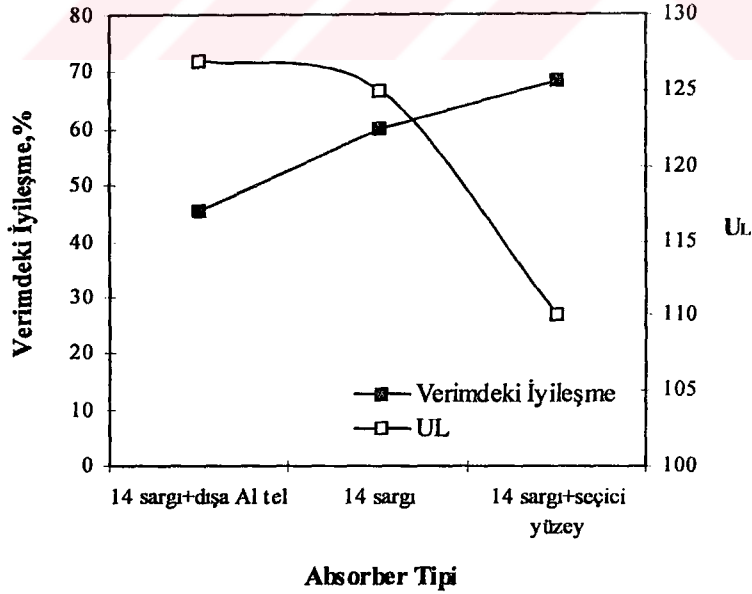


Şekil 10.44. Doğal akış şartlarında üç ayrı absorber yüzey kullanımının verimdeki iyileşme ve ısı kayıp katsayısına etkisi

Uygunluğu denenen üç ayrı absorber yüzeyin, sistemin zorlamış konveksiyon verimine etkisi Şekil 10.45 ve 10.46' da işletme noktası ve absorber tipine göre çizilen



Şekil 10.45. Zorlanmış akışta üç ayrı absorber yüzeyin 14 sargılı dolgu malzemesiyle birlikte kullanıldığı durumda işletme noktası parametresi ile verimdeki iyileşmenin değişimi



Şekil 10.46. Zorlanmış akışta farklı absorber yüzey kullanımının verimdeki iyileşme ve ısı kaybı katsayısına etkisi

verimdeki iyileşme grafiklerinde verilmiştir. 14 sargılık dolgu malzemesi yerleştirildiği durumda, seçici yüzeyli absorberle sistem veriminde %70' lik iyileşme sağlanmaktadır. Bakır boru üzerine siyah alüminyum sinek teli sarımla elde edilen absorber yüzey dolgusuz duruma göre sistem verimini %45 oranında artırsa da 14 sargılık dolgunun kullanıldığı diğer tüm absorber yüzeylerle karşılaştırıldığında verimi düşürmüştür. Isı kayıp katsayısının değeri bakır boru üzerine seçici yüzey kaplamasıyla oldukça azalmaktadır, bu da güneş ışınlarını absorber üzerine yansıyarak gelen güneş ışınlarından maksimum oranda faydalanılmasını sağlamaktadır.

10.1.5. Günlük Verimler

Konik yoğunlaştırıcı hava ısıtma sisteminin tüm parametreler için anlık veriminin işletme noktası parametresi ile değişimi 4.35 eşitliğine göre belirlendikten sonra elde edilen doğruların eğiminden önceki bölümde bahsedilen F_R ve U_L değerleri hesaplandı. Bu parametreler aynı eşitlikte yerine yazılarak faydalı ısıyı veren denklemler elde edildi. Bu denklemlerden ölçüm periyotlarındaki toplam faydalı ısılar belirlendi ve o zaman aralığında güneş enerjili toplayıcıya gelen toplam anlık ışıma bölünerek ölçüm periyoduna ait verimler elde edildi. Doğal konveksiyon deneyinde 15 dakikalık ölçümler alındığı için 15 dakikalık verimler, zorlanmış konveksiyonda ise 30 dakikalık verimler hesaplandı. Bu verimlerin hesaplandığı zaman dilimine göre grafiğe geçirilmesiyle ölçüm periyotlarındaki sistemin veriminin günün saatleriyle değişimi belirlendi.

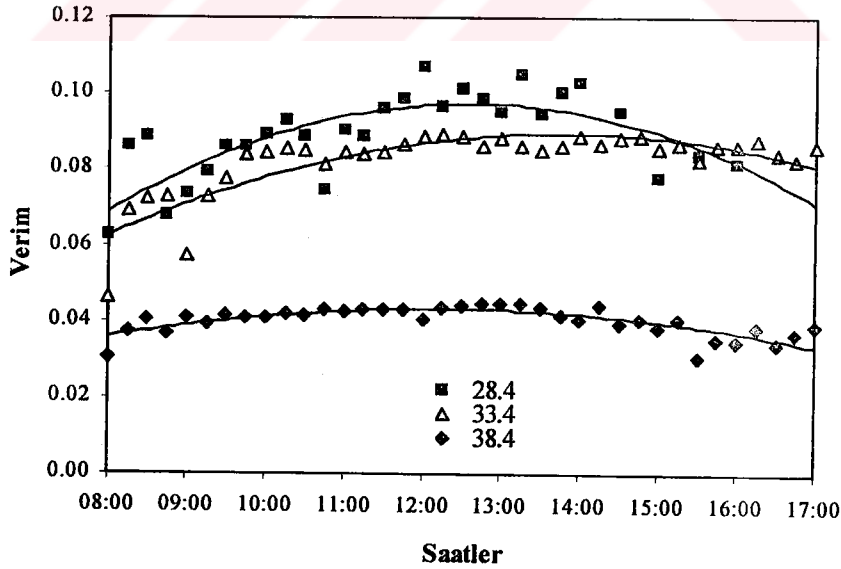
Her bir ölçüm periyodu için hesaplanan faydalı ısının günlük toplamı alındı ve bu toplamın 8:00 –17:00 saatleri arasında gelen toplam direkt ışıma ve yoğunlaştırıcı açıklık alanına bölünmesiyle sistemin günlük verimi hesaplandı. Her bir parametre için ayrı ayrı yapılan bu işlemler doğal ve zorlanmış konveksiyon için iki ayrı başlık altında toplandı.

10.1.5.1. Doğal Konveksiyonda Saatlik ve Günlük Verimler

Üç farklı eğim açısında doğal akış şartlarında çalıştırılan sistemin veriminin günün saatlerine göre değişimi Şekil 10.47’ de verilmiştir. Şekildeki her bir nokta sistemin 15 dakikalık verimini göstermektedir. 28.4° eğim açısında öğle saatlerine kadar artan sistem verimi saat 14:00’ den sonra güneşten gelen ısımanın azalmasıyla düşmeye başlamıştır. 33.4° lik eğim açısında da benzer bir eğilim gözlenmesine rağmen 38.4° lik eğim açısında sistemin verimi günün saatleriyle fazla bir değişim göstermektedir.

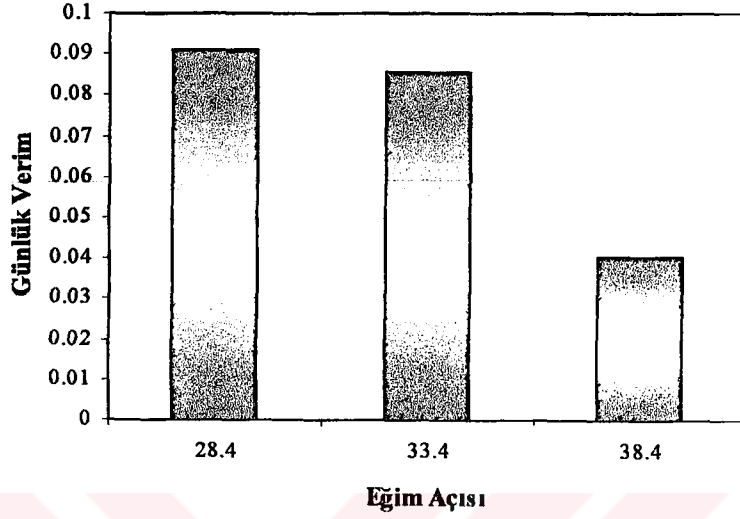
Şekil 10.48’ de konik toplayıcı hava ısıtma sisteminin doğal konveksiyonda günlük veriminin eğim açısıyla değişimi görülmektedir. 28.4° lik eğim açısında sistemin günlük toplam verimi %9 dolaylarındadır. Bu değeri %8.5 ile 33.4° eğim açısı izlerken 38.4° lik eğim açısında sistemin günlük toplam verimi %4’ de kalmıştır.

Şekil 10.49’ da siyah boyalı ve seçici yüzeyli absorber kullanımı için sistem veriminin doğal konveksiyonda günün saatlerine göre değişimi görülmektedir. Siyah boyalı absorberde elde edilen en yüksek verim değeri %9 iken seçici yüzeyli absorber

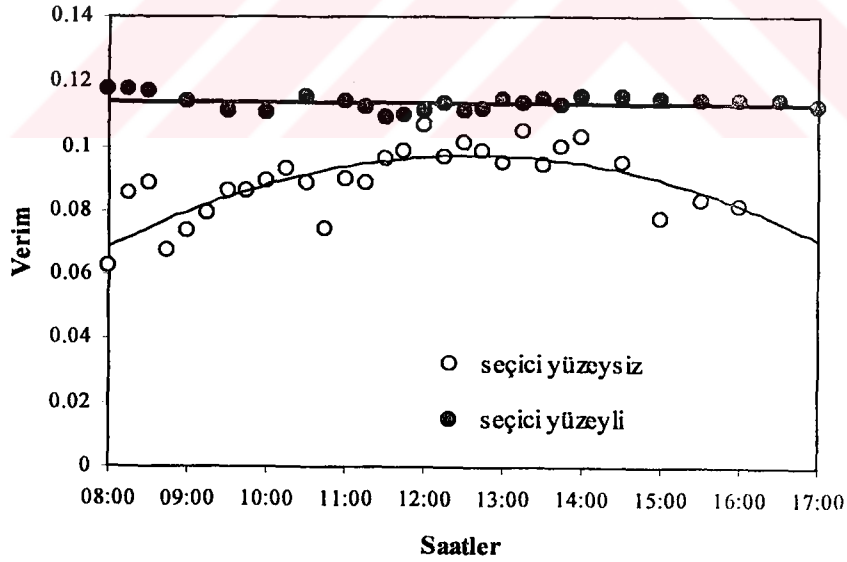


Şekil 10.47. Doğal akış sisteminde farklı eğim açılarındaki sistem veriminin günün saatlerine göre değişimi

kullanımı ile bu değer %12' ye çıkartılarak sistem veriminde %33' lük bir iyileşme sağlanmıştır. Seçici yüzeyli absorber kullanıldığında sistemin verimi günün saatleriyle bir değişim göstermemiş yaklaşık sabit kalmıştır.



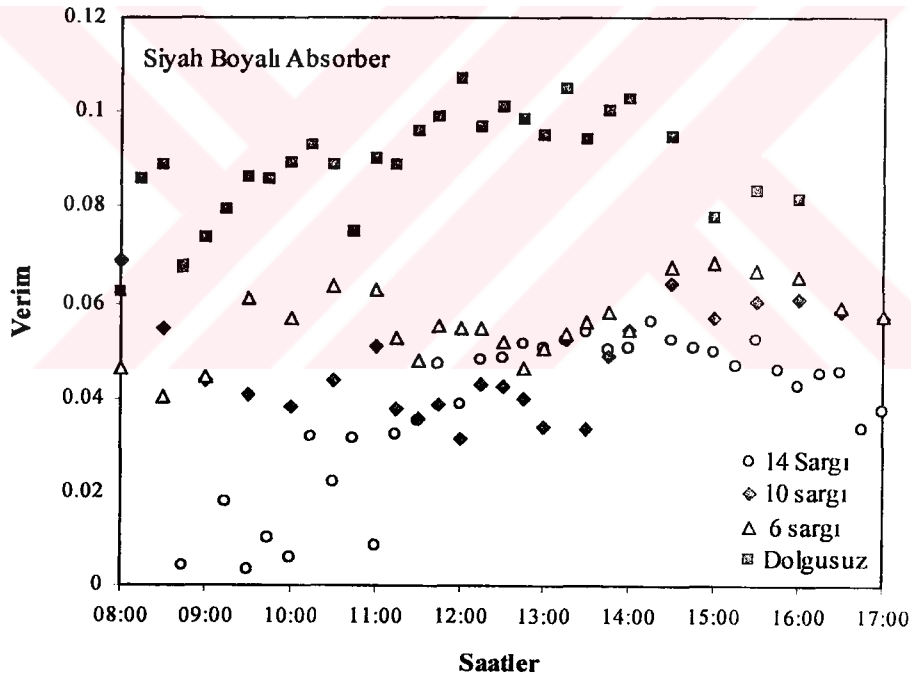
Şekil 10.48. Doğal akışta hava ısıtma sisteminin günlük veriminin toplayıcı eğim açısıyla değişimi



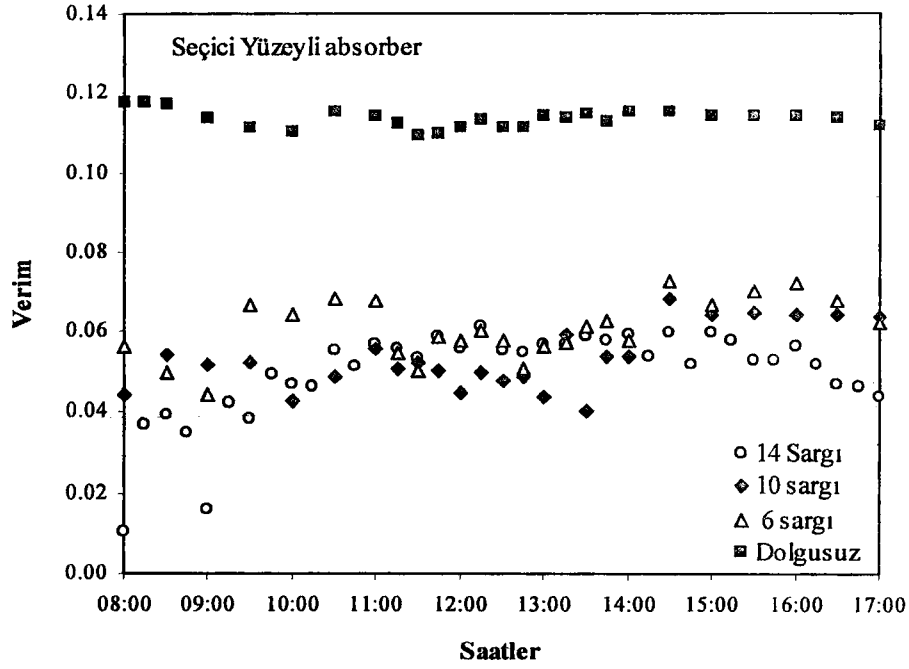
Şekil 10.49. Doğal akış şartlarında siyah boyalı ve seçici yüzeyli absorber kullanıldığı durumda sistem veriminin günün saatleri ile değişimi

Şekil 10.50’ de siyah boyalı absorberde, Şekil 10.51’ de ise seçici yüzeyli absorber için dolgu malzemesi kullanımıyla günün saatlerine göre verimdeki düşüşler görülmektedir. Her iki absorber tipinde de dolgu malzemesi kullanımı verimi önemli ölçüde düşürmüştür. Yaklaşık % 50 oranındaki düşüşle seçici yüzeyli absorberde bu durum daha açık bir şekilde görülmektedir. Bu grafiklerden görülen diğer bir sonuçta sargı sayısındaki değişimin birbirinden ayırt edilebilecek bir etkiye sahip olmamasıdır.

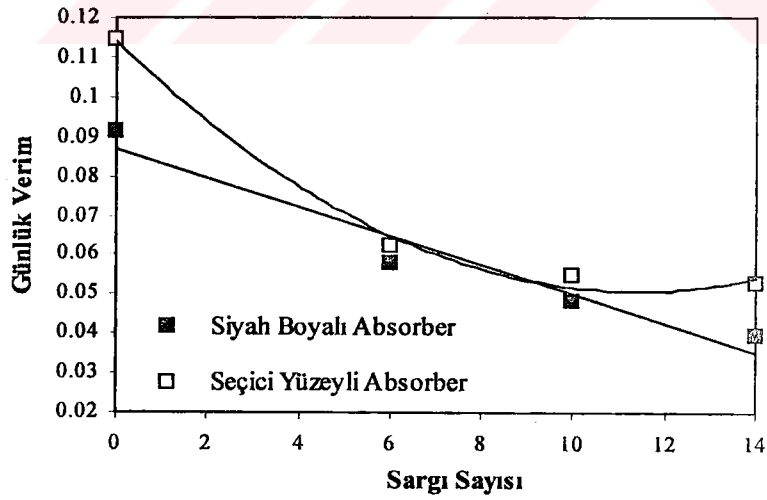
Doğal konveksiyonda absorbere yerleştirilen dolgu malzemesinin sargı sayısı ile sistemin günlük veriminin değişimi Şekil 10.52’ de verilmiştir. Verimdeki düşüş burada daha açık bir şekilde görülmektedir. Siyah boyalı absorberde verimdeki düşüş linceer bir



Şekil 10.50. Doğal akış şartlarında , siyah boyalı absorber de farklı sargı sayıları için verimin günün saatlerine göre değişimi



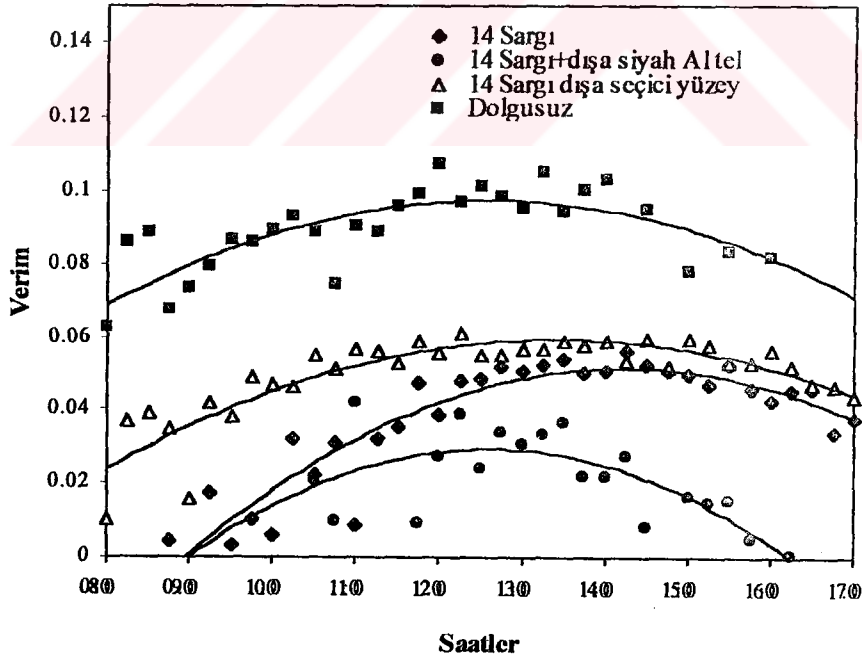
Şekil 10.51. Doğal akış şartlarında , seçici yüzeyli absorber de farklı sargı sayıları için verimin günün saatlerine göre değişimi



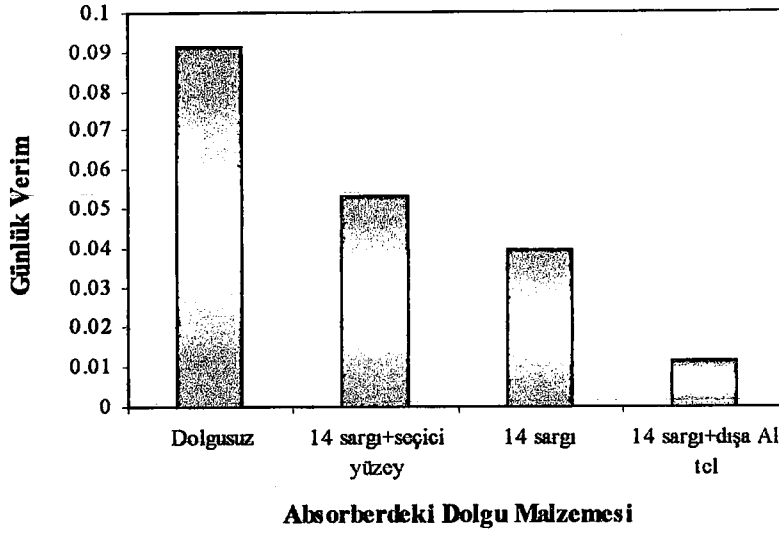
Şekil 10.52. Doğal konveksiyonda siyah boyalı ve seçici yüzeyli absorber için sargı sayısı ile günlük verimin değişimi

değişim göstermesine rağmen seçici yüzeyli absorberde ikinci dereceden bir değişim sergilemiştir. Seçici yüzeyli absorberde sargı sayısının artmasıyla verimde önemli bir değişime sebep olmamış, sistemin verimi %5.5 –6 civarında sabit kalmıştır. Her iki absorber yüzey için eğrilerin davranışından, daha yüksek sargı sayısında dolgu kullanılmasının seçici yüzeyli absorber verimini değiştirmemesi siyah boyalı absorber de ise verimi düşürmeye devam etmesi beklenebilir.

14 sargılık dolgu malzemesinin kullanıldığı durumda farklı absorber yüzeylerin denenmesine ait verimlerin günün saatlerine göre değişimi Şekil 10.53' de, absorber tipine göre değişimi şekil 10.54' de verilmiştir. Siyah boyalı absorberde elde edilen verimle karşılaştırılırsa, seçici yüzey kullanımı sistemin verimini %33 artırmış, alüminyum sinek teli kullanımı % 70 azaltmıştır. Ancak dolgusuz duruma göre her üç absorber yüzey hava akış kanalında dolgu kullanıldığı için sistemin verimi azalmıştır. Verimdeki bu azalma seçici yüzeyli absorberde %42, siyah boyalı absorberde %57, ve alüminyum sinek teli sarılan absorberde %87 dir.



Şekil 10.53. Doğal konveksiyonda 14 sargılık dolgunun kullanıldığı durumda farklı absorber

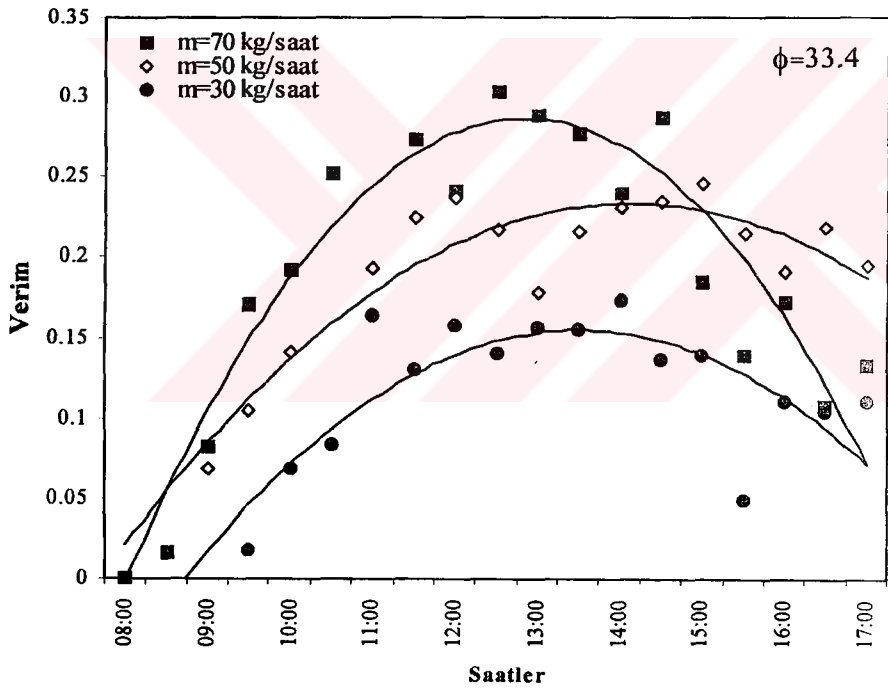
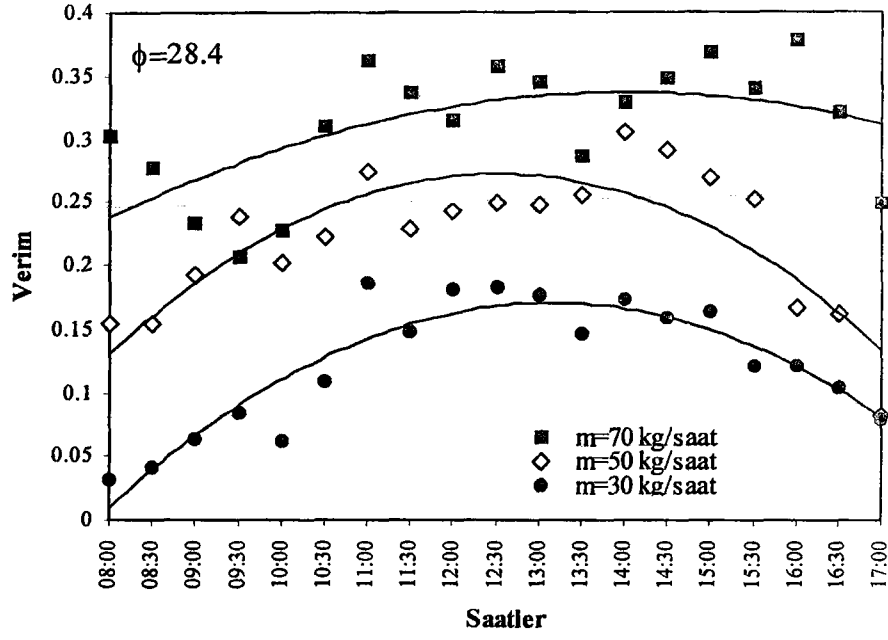


Şekil 10.54. Doğal konveksiyonda 14 sargılı dolgunun kullanıldığı durumda farklı absorber yüzey kullanımının günlük verime etkisi

10.1.5.2. Zorlanmış Konveksiyonda Saatlik ve Günlük Verimler

Şekil 10.55’ de zorlanmış konveksiyonda farklı hava hızlarında çalıştırılan sistemde saatlere göre verimin değişimi görülmektedir. Denenen üç eğim açısından, hava hızına göre verimdeki değişimin net olarak seçilebildiği ikisine yer verilmiştir. 38.4° de kütleli hava debisinin sistem verimine etkisi olmadığından burada yer verilmemiştir. 28.4° ve 33.4° eğim açıları ise, noktaların çokluğu nedeniyle birbiri içine girerek değişimin gözlenmesine engel olmaması için kütleli debilerden sadece üç tanesine yer verilmiştir.

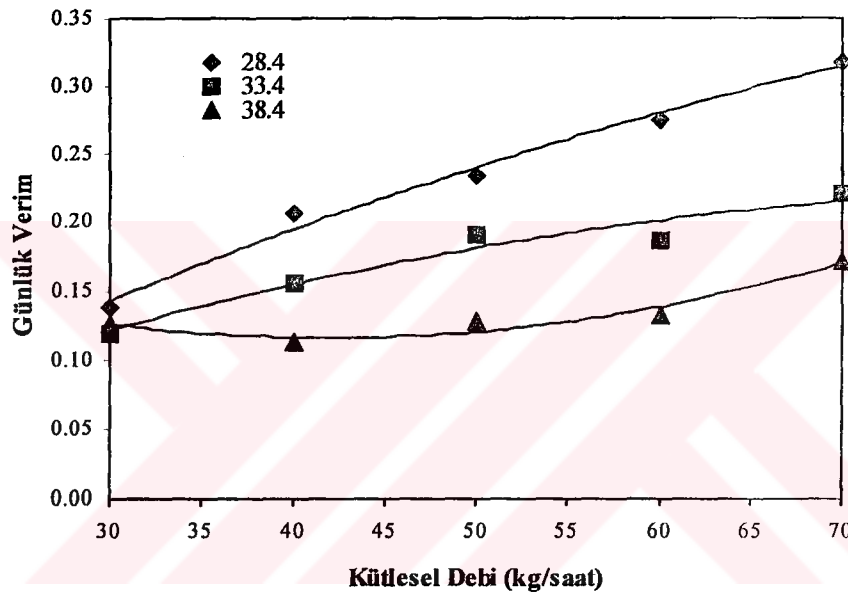
Şekil 10.56’ da kütleli debi ile günlük verimin değişimi görülmektedir. Üç ayrı eğim açısında da kütleli debinin artmasıyla günlük verim sürekli artış göstermiştir. İkinci dereceden lineer regresyonun sonucunu gösteren bu eğrilerin denklemleri Tablo 10.2’ de verilmiştir. Konik toplayıcı hava ısıtıcının yerleştirilme açısı arttıkça farklı hava hızında çalışmanın günlük verime etkisi azalmaktadır.



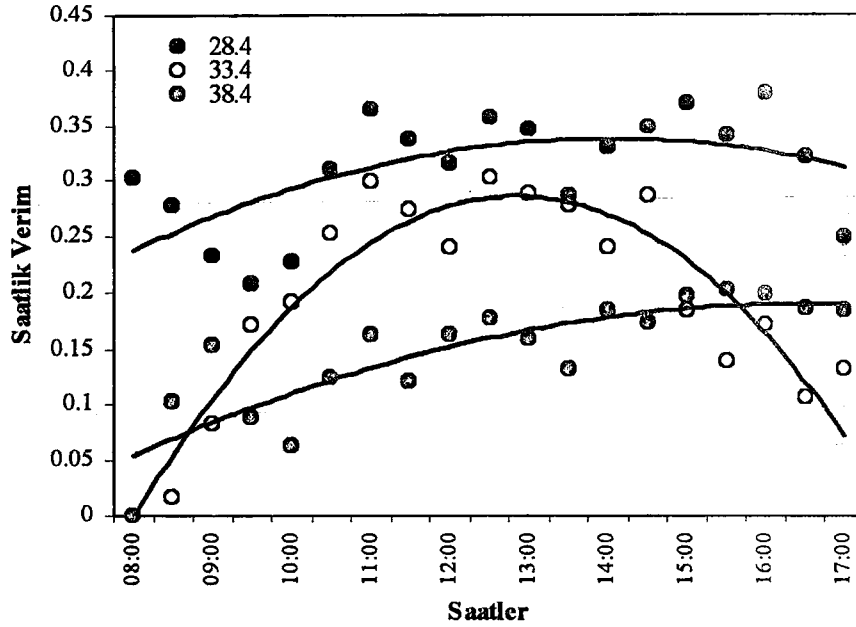
Şekil 10.55. Zorlanmış konveksiyonda iki ayrı eğim açısı için farklı kütleli debilerde verimin günün saatlerine göre değişimi

Tablo 10.2. Farklı Eğim Açılarında Kütlesel Debi İle Günlük Verim Arasındaki Regrasyon Eşitlikleri

Eğim Açısı, ϕ	Regrasyon eşitliği	R^2
28.4	$\eta = -0.0475 + 0.0072.m - 3 \times 10^{-5}.m^2$	0.9861
33.4	$\eta = -0.0151 + 0.0055.m - 3 \times 10^{-5}.m^2$	0.9419
38.4	$\eta = 0.2375 + 0.0058.m - 7 \times 10^{-5}.m^2$	0.9477

**Şekil 10.56.** Farklı eğim açıları için kütleli debi ile günlük verimin değişimi

Şekil 10.57' de ise farklı eğim açıları için 70 kg/saat hava debisinde çalıştırılan sistem veriminin saatlere göre değişimi verilmiştir. 28.4° ve 38.4°'lik eğim açılarındaki verim günün saatlerine göre daha az bir değişim göstermesine rağmen, 33.4°'lik eğim açısında bu değişim daha fazladır. Farklı açılarda yerleştirmenin toplayıcı verimine etkisi zorlanmış konveksiyonda, doğal konveksiyona göre daha belirgindir.

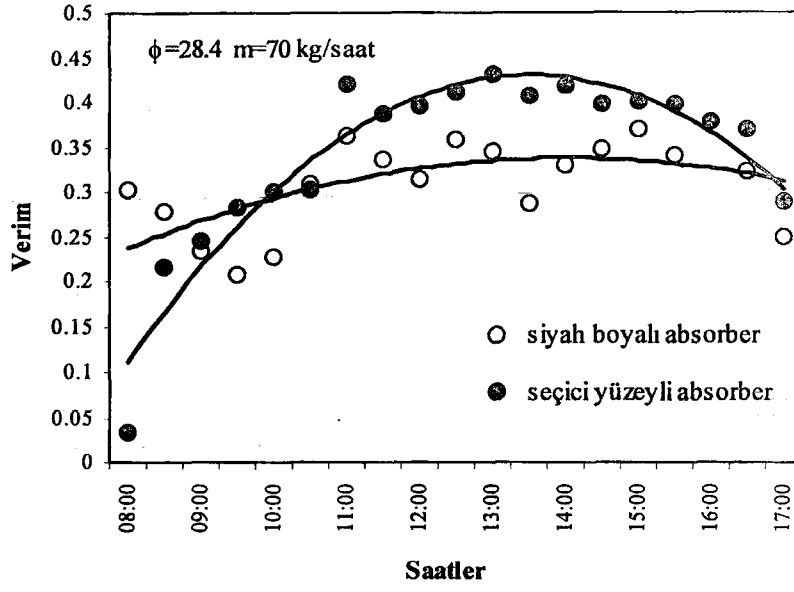


Şekil 10.57. Farklı eğim açılarında günün saatlerine göre verimin değişimi

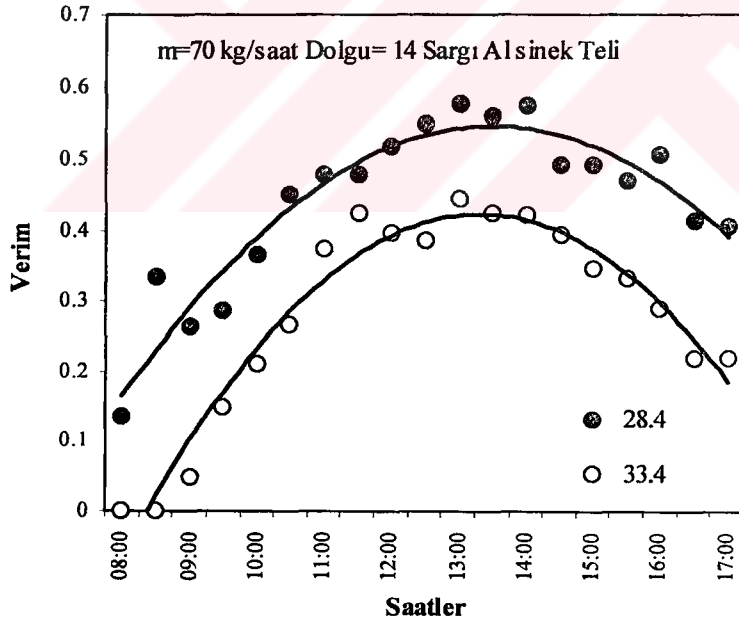
28.4° eğim açısında 70 kg/saat debiyle çalıştırılan sistemde siyah boyalı ve seçici yüzeyli absorber kullanıldığı durumda verimin saatlere göre değişimi Şekil 10.58' de verilmiştir. Seçici yüzey kullanımı ile sistemin günlük verimi ortalama %32' den %37.5'e çıkarılarak ortalama%17 oranında artırılmıştır.

Hava akış kanalına 14 sargı dolgunun yerleştirildiği durumda, Şekil 10.59' da iki eğim açısında, Şekil 10.60' da iki kütleli debide saatlere göre verimin değişimi görülmektedir. Her iki eğim açısında da verimin zamanla değişimi ikinci dereceden bir değişim göstermektedir. Öğlen saatlerinde 28.4°'lik eğim açısında yaklaşık maksimum %55, 33.4°'de %40 verim değerine ulaşılmıştır.

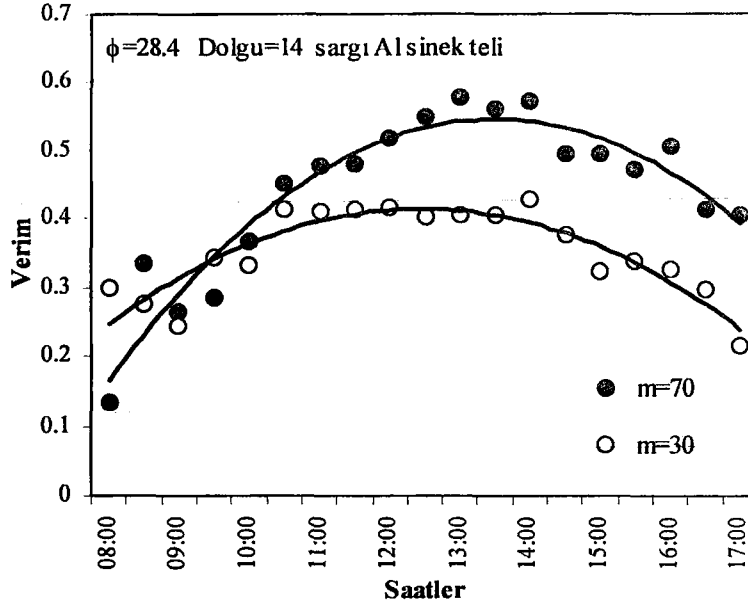
Kütleli debinin etkisini gösteren diğer grafikte de verim zamanla ikinci dereceden bir eğriyle ifade edilebilen değişim göstermektedir. Havanın 70 kg/saat kütleli debiyle sistemden geçtiği durumda 30 kg/saat debiye göre daha yüksek verim değerleri elde edilmiştir.



Şekil 10.58. Zorlanmış konveksiyonda 70 kg/saat debide seçici yüzeyli ve siyah boyalı absorberler için günün saatleriyle verimin değişimi



Şekil 10.59. Alüminyum sinek telinin dolgu olarak kullanıldığı durumda iki ayrı eğim açısı için günün saatlerine göre verimin değişimi



Şekil 10.60. Alüminyum sinek telinin dolgu olarak kullanıldığı durumda iki ayrı kütleli debi için günün saatlerine göre verimin değişimi

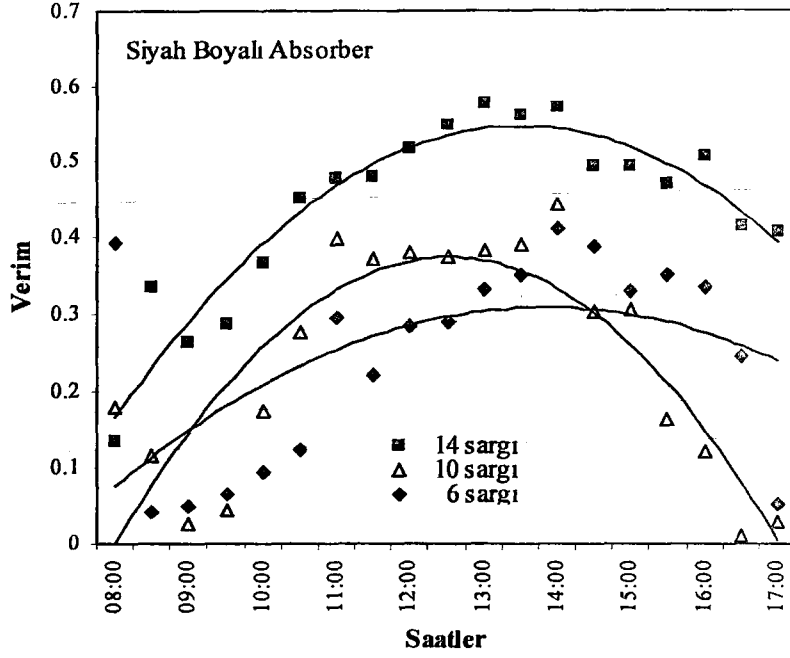
Çeşitli sargı sayılarında dolgu malzemesi kullanımının verime etkisi, siyah boyalı absorber için Şekil 10.61' de ,seçici yüzeyli absorber için Şekil 10.62' de görülmektedir. Seçici yüzeyli absorber kullanımında sargı sayısındaki değişimin verime etkisi daha düzenlidir. Siyah boyalı absorber kullanımında ise özellikle 6 sargı sayısında dolgu kullanımında daha dağınık sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 10.63' de ise her iki tip absorber yüzeyi için sargı sayısındaki değişimle günlük verimin değişimi görülmektedir. Sargı sayısındaki artışla günlük verimdeki değişim her iki absorberde de aynı türde eğri ile ifade edilmiştir. Grafikteki eğrilerin denklemleri aşağıda verilmiştir.

Siyah boyalı absorber için;

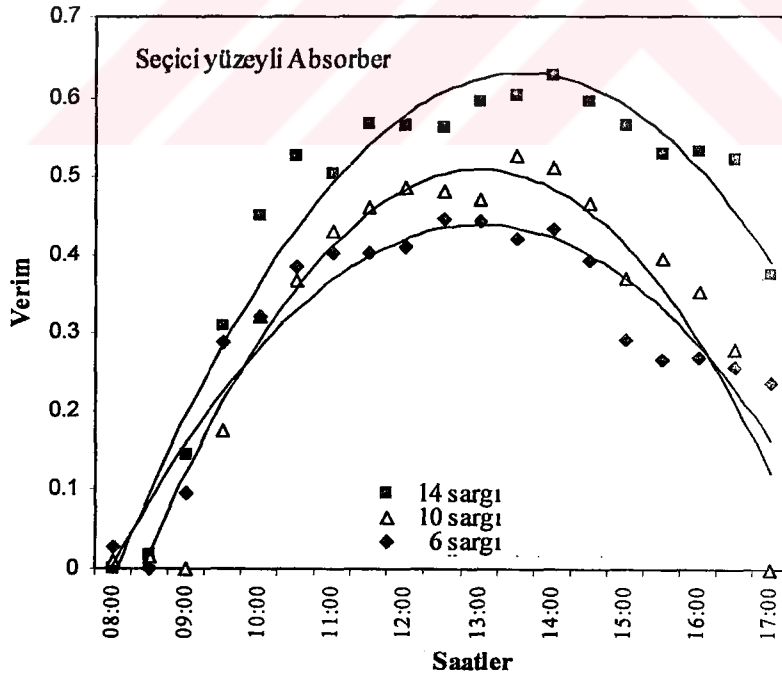
$$\eta = 0.3194 + 0.0056 \times N_{\text{sargı}} + 0.0004 \times N_{\text{sargı}}^2 \quad R^2 = 0.9968$$

Seçici yüzeyli absorber için;

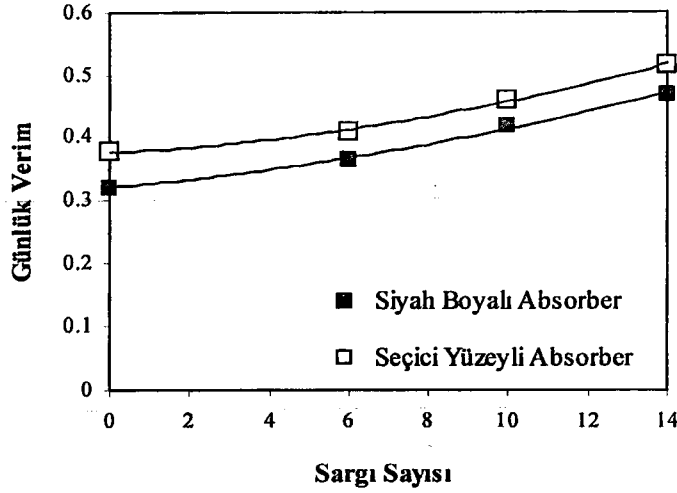
$$\eta = 0.3747 + 0.0003 \times N_{\text{sargı}} + 0.0005 \times N_{\text{sargı}}^2 \quad R^2 = 0.9981$$



Şekil 10.61. Zorlanmış konveksiyonda siyah boyalı absorber de farklı sargı sayılarında dolgu malzemesi kullanıldığı durumda günün saatlerine göre verimin değişimi



Şekil 10.62. Zorlanmış konveksiyonda siyah boyalı absorber de farklı sargı sayılarında dolgu malzemesi kullanıldığı durumda günün saatlerine göre verimin değişimi



Şekil 10.63. Zorlanmış konveksiyonda siyah boyalı ve seçici yüzeyli absorber için sargı sayısı ile günlük verimin değişimi

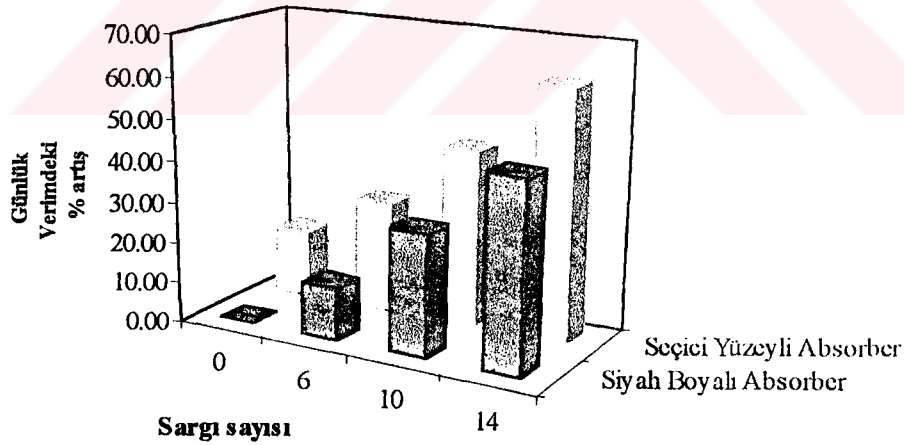
Siyah boyalı dolgusuz duruma göre seçici yüzey ve dolgu malzemesi kullanımının günlük verimde meydana getirdiği değişimler Şekil 10.64' de ve Tablo 10.3' de verilmiştir. Anlık verimdeki % iyileşme en iyi durumda %38.2 iken günlük verimde bu iyileşme %61' de kalmıştır. Anlık verimde düşük olup günlük verimde yükselen tek değer dolgusuz seçici yüzeyli absorber kullanımıdır. Anlık verimde %6 olan değer günlük verimde %17.2' ye çıkmıştır.

Tablo 10.3. Zorlanmış Akış Şartlarında Dolgu Malzemesi ve Farklı Absorber Yüzey Kullanımının Sistemin Günlük Veriminde Meydana Getirdiği % İyileşme

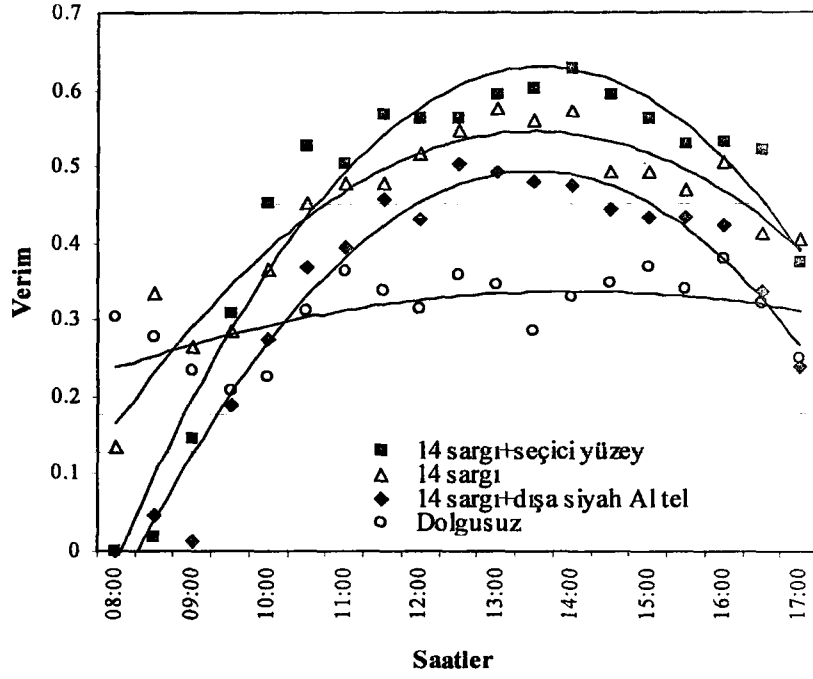
Sargı Sayısı	Siyah boyalı absorber	Seçici yüzeyli absorber	Siyah Al sinek teli
0	0.00	17.2	----
6	13.1	28.5	----
10	30.0	43.4	----
14	46.0	61.1	22.9

Bu bölümde son olarak 14 sargı sayılı Al sinek telinin dolgu olarak kullanıldığı durumda, üç ayrı seçici yüzey kullanımına ait saatlik (Şekil 10.65) ve günlük verimin (Şekil 10.66) zamanla değişimine yer verilmiştir. Şekil 10.65'den görüldüğü gibi 14 sargılık dolgu malzemesinin kullanımı her üç absorber yüzey için dolgusuz duruma göre verimi artırmıştır. Ancak 14 sargı temel alındığında siyah bakır boru üzerine Al sinek teli sarılarak elde edilen absorber yüzey sistem verimini azaltmaktadır. Bu azalma her iki kütleli debi için Şekil 10.66 dan da görülmektedir.

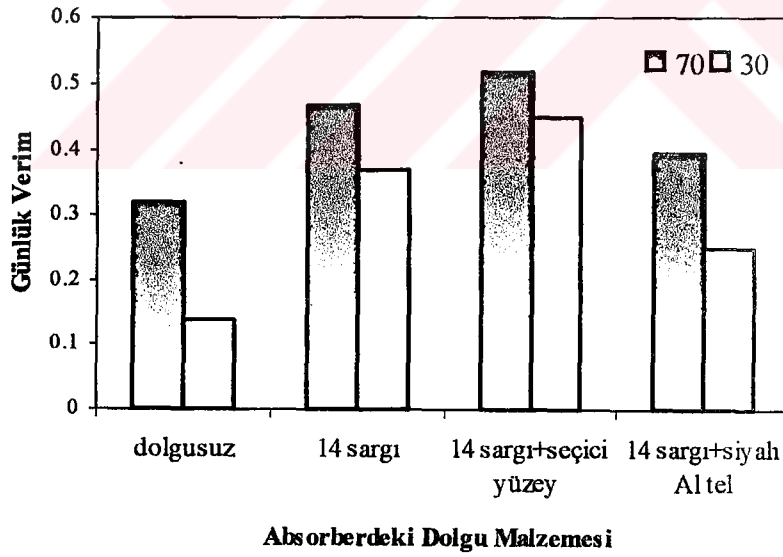
Şekil 10.67' de 14 sargılık dolgu malzemesi kullanımının her üç absorber yüzey için günlük verimde meydana getirdiği artış görülmektedir. Grafikten ilk dikkati çeken nokta, sistem 30 kg/saat debide çalıştırıldığında verimde çok daha fazla artışın olmasıdır. 14 sargılık dolgu ile birlikte seçici yüzey kullanıldığı durumda 70 kg/saat debide çalışılırken verimde en fazla %61 oranında iyileştirme sağlanırken 30 kg/saatte günlük verim %14' den %45'e çıkarak %223 oranında artmıştır.



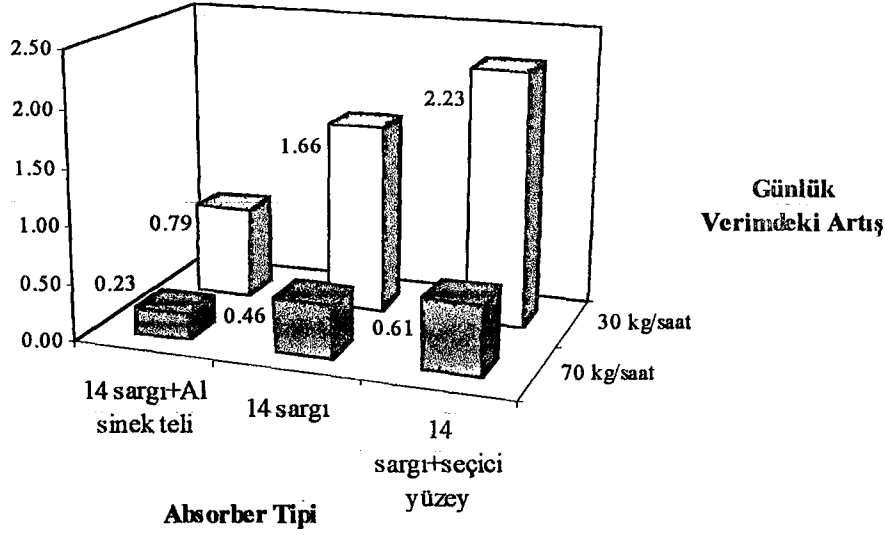
Şekil 10.64. Zorlanmış konveksiyonda seçici yüzeyli ve siyah boyalı absorber için dolgu malzemesindeki sargı sayısındaki değişimle günlük verimdeki % artış



Şekil 10.65. Zorlanmış konveksiyonda 14 sargılı dolgu malzemesi kullanımında farklı absorber yüzeylerin verime etkisi



Şekil 10.66. Zorlanmış konveksiyonda iki ayrı kütleli debide kullanılan farklı absorber yüzeylerin günlük verimde meydana getirdikleri değişme



Şekil 10.67. Farklı absorber tipleri kullanımının günlük verimde meydana getirdiği artış

10.1.6. Sisteme Ait Diğer Parametreler: Basınç Düşüşü, sürtünme, Isı transfer Katsayısı, Colburn Faktörü

İki geçişli absorberden oluşan konik yoğunlaştırıcı hava ısıtma sistemi için basınç düşüşü absorber ve tüm sistem için hesaplandı. Absorber borudaki hesaplanırken U dönüşü ve 1.84 m uzunluğundaki boru dikkate alındı. Tablo 10.4' de dolgunsuz durum için iki geçişli absorber sistemine ait basınç düşüşü hesapları verilmiştir. Sürtünme faktörü Blasius ve Dittus Boelter eşitliğinden hesaplandı.

Tablo 10.4. Zorlanmış Konveksiyonda Dolgunsuz Durum için absorberdeki basınç düşüşü

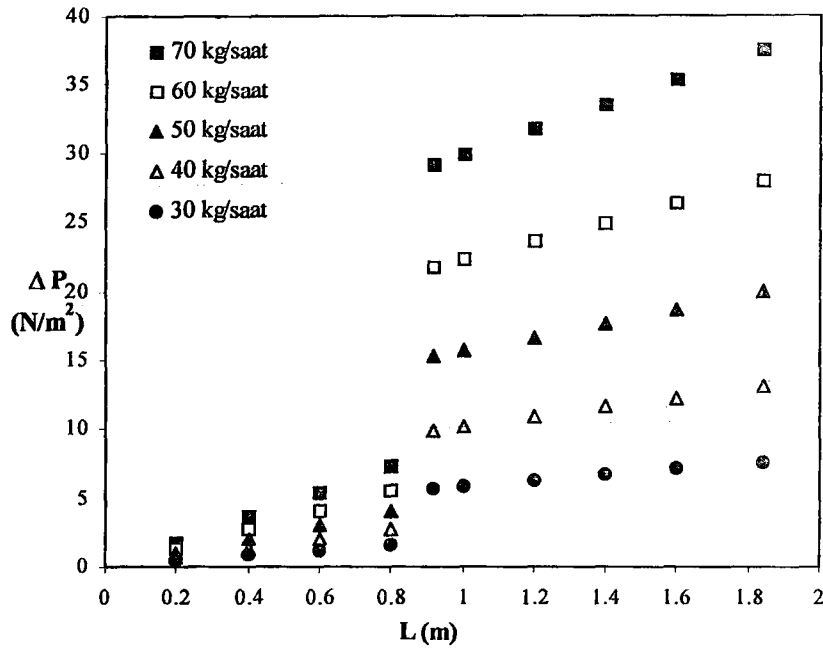
m(kg/saat)	Tek geçişli boruda G(kg/m ² s)	Re _h	f×10 ³	ΔP(N/m ²)
70	6.75	20890	6.57	37.48
60	5.78	17903	6.83	25.97
50	4.82	14902	7.15	19.86
40	3.86	11922	7.56	13.08
30	2.89	8941	8.12	7.60

Şekil 10.68' de U dönüşüne sahip ve iki geçişte toplam 1.84 m uzunluğundaki absorberde boru uzunluğuyla basınç düşüşünün değişimi verilmiştir. 0.92 m' ye karşılık gelen L uzunluğunda ΔP ' lerde büyük bir artış görülmektedir. Bu kısım absorber boruda L uzunluğunda U dönüşünün bulunduğu yeri ifade etmektedir. Absorber boruda meydana gelen basınç düşüşü havanın kütsel debisinin artmasıyla artmıştır. Ayrıca düşük hızda hava akışında, boru uzunluğu ile ΔP önemli ölçüde değişmezken, hava debisinin artmasıyla basınç düşüşünün boru uzunluğuna bağımlılığı artmaktadır. Bir akışkanın taşınmasında yürütücü kuvvet basınç düşüşü olduğu için ΔP 'nin büyümesiyle akışkanın transfer olma hızı da artacaktır.

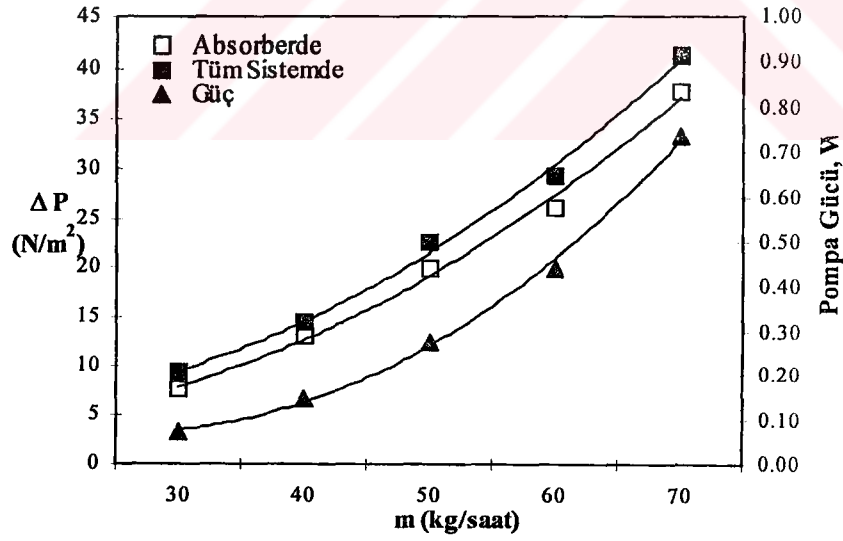
Şekil 10.69' da ise absorber boru ile tüm hava ısıtıcı sistemi için birim uzunluk başına ΔP 'nin ve tüm sistem için gerekli pompalama gücünün kütsel debi ile değişimi verilmiştir. Bir önceki grafikte benzer olarak kütsel debinin artmasıyla absorberin birim uzunluğu başına basınç düşüşü de artmaktadır. Tüm sistemde, absorbere ilave olarak ana taşıyıcı boru ile absorber arasındaki ani daralma, ani genişleme, iki tane 90°'lik dirsek ve ana taşıyıcı borunun uzunluğundan kaynaklanan bir sürtünme kuvveti ve bu sürtünmeyi karşılayacak basınç düşüşü mevcuttur. Pompalama gücü de basınç düşüşüne paralel olarak artmıştır. Sistemde akışkanın akması için gerekli basınç düşüşünün artmasıyla pompanın bunu karşılamak için sisteme vereceği iş dolayısıyla pompa gücü de artmaktadır.

Şekil 10.70' de Re sayılarına göre sürtünme faktörünün değişimi, 10.71' de Re sayısı ile Colburn faktörü ve ısı transfer katsayısının değişimi, 10.72' de ise sürtünme faktörüyle Colburn faktörünün değişimi verilmiş, grafiklerdeki regresyon denklemleri Tablo 10.5' de verilmiştir.

Dolgusuz düz boruda Re sayısının artmasıyla fanning sürtünme faktörü azalmaktadır. f_{in} hesaplandığı Blasius ve Dittus-Boelter eşitliğinde de f , Re sayısı ile ters orantılıdır. Bir akışkan düşük hava hızında (yani düşük Re sayısında) akarken akış kanalında daha uzun süre kalır bu süre içerisinde boru yüzeyiyle daha çok temas halindedir ve dolayısıyla boru içindeki pürüzlülüğün etkilenir. Hava akış hızı yükseldikçe havanın boru iç yüzeyiyle temas süresi kısaldığından ve iç yüzeydeki



Şekil 10.68. Absorber boru boyunca basınç düşüşü

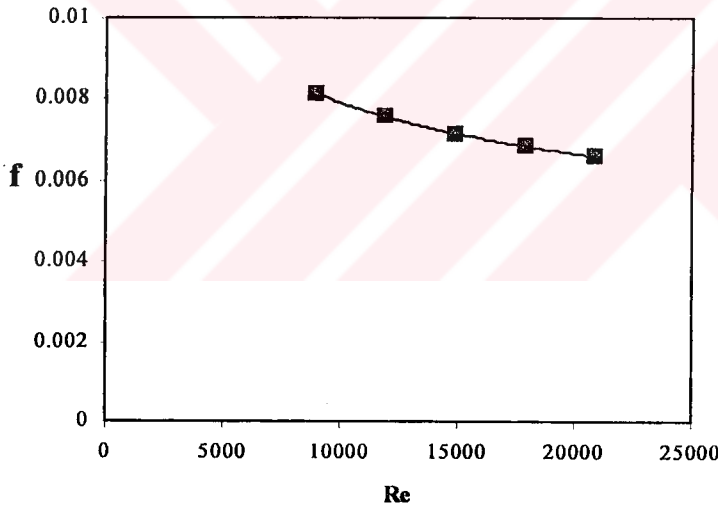


Şekil 10.69. Absorber boru ve tüm sistem için basınç düşüşü ve pompalama gücünün kütleli debi ile değişimi

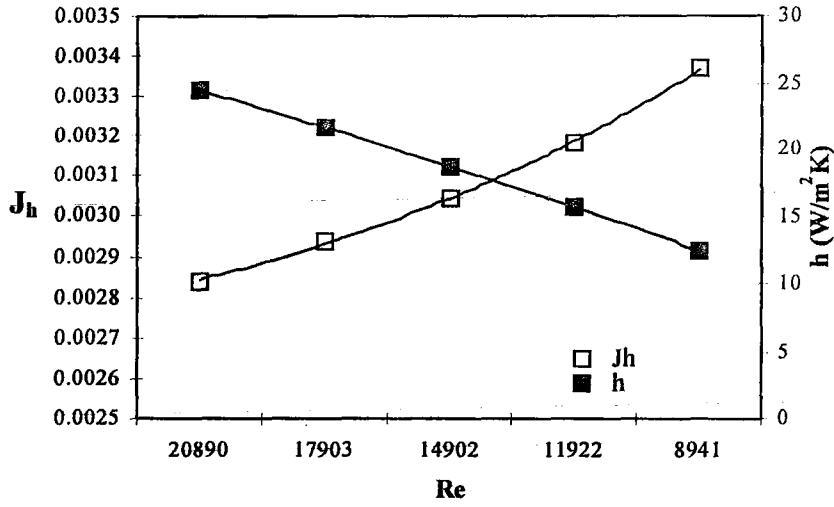
pürüzlülüklerden etkilenmeyecek kadar yüksek hava hızında sistemden geçtiğinden sürtünme faktörü de düşük çıkar.

Şekil 10.71'deki ısı transfer katsayıları Blasius ve Dittus-Boelter eşitliğinden hesaplandı. Isı transfer katsayısı uygulanan kütleli debi aralığında 12 ile 24.5 arasında değişmektedir. Re sayısı arttıkça ısı transfer katsayısı artmıştır. Boru içindeki akışkanın oluşturduğu türbülans ve girdaplar ısı transferini artırmaktadır. Ancak Colburn faktörü ile Re sayısı arasında ters orantılı bir ilişki vardır. Re sayısı azaldıkça J_h artmıştır.

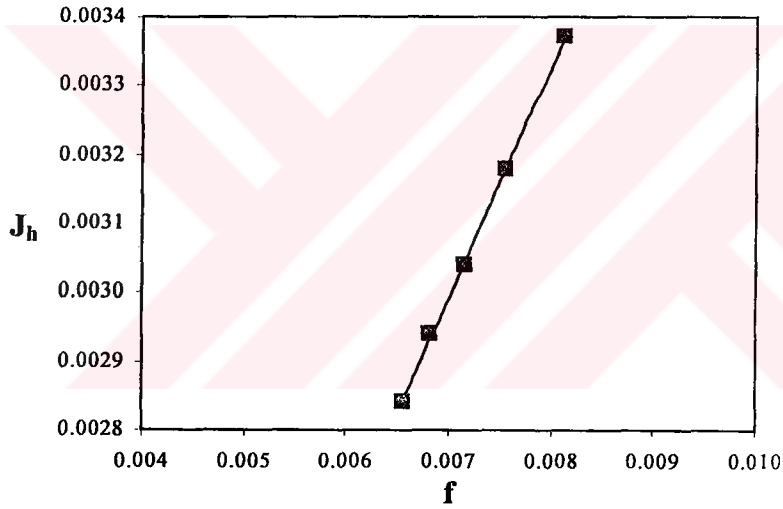
Şekil 10.72' de fanning sürtünme faktörü ile J_h arasındaki ilişki verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere aralarında doğrusal bir ilişki vardır. Sürtünme faktörü arttıkça Colburn faktörü de artmaktadır.



Şekil 10.70. Zorlanmış konveksiyonda dolusuz absorberde Re sayısı ile sürtünme faktörünün değişimi



Şekil 10.71. Zorlanmış konveksiyonda dolgusuz durumda Re sayısı ile Colburn faktörü ve ısı transfer katsayısının değişimi

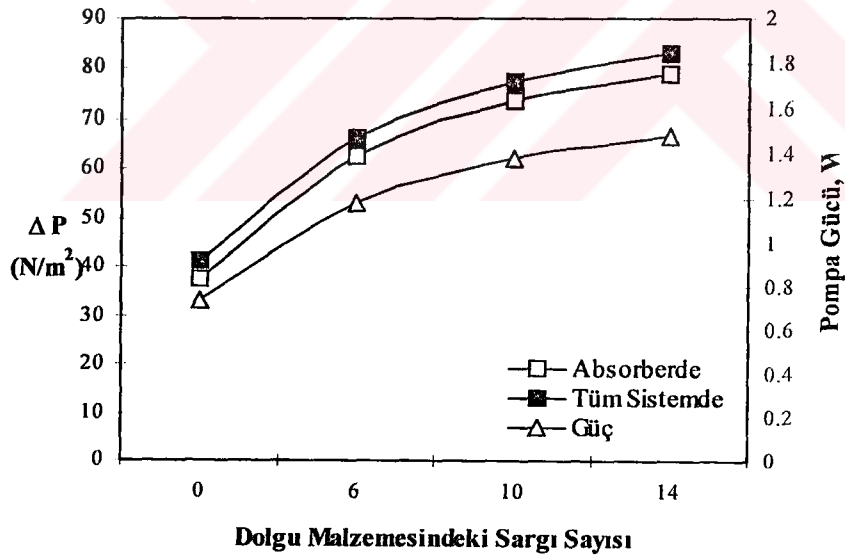


Şekil 10.72. Dolgusuz durumda sürtünme faktörü ile Colburn faktörünün değişimi

Tablo 10.5. Şekil 10.70 10.71 ve 10.72' De Çizilen Eğrilerin Regresyon Eşitliklerinin Denklemleri

İlişki	Eğri Denklemleri	R ²
Re-J _h	$J_h = 0.0037 - 4 \times 10^{-8} (Re)$	0.9782
f-J _h	$J_h = 0.1591 f^{0.8009}$	0.9996
Re-f	$f = 0.0787 (Re)^{-0.2496}$	1
Re-h	$h = 3.5255 + 0.001 (Re)$	0.9994

Absorberin altındaki hava akış kanalına dolgu yerleştirildiği durumda sistemin basınç düşüşü ve pompalama gücü Şekil 10.73' de , ısı transfer alanı, gözeneklilik ve fanning sürtünme faktörü Şekil 10.74' de , hacimsel ısı transfer katsayısı ise Şekil 10.75' de verilmiştir. Dolgulu durum için sisteme ait değişkenler Tablo 10.6' da verilmiştir. Dolgusuz durumda 6 sargılık dolgu kullanıldığı duruma göre yaklaşık üç kat artan ΔP sargı sayısındaki artışla aynı hızda artmamıştır. Sargı sayısındaki artışla ΔP ' deki değişimin az olması bu üç dolguda gözenekliliğin birbirine çok yakın olmasıyla dolayısıyla sürtünme faktörlerinin birbirine çok yakın olmasıyla açıklanabilir. Ancak 14 sargı sayılı dolgu malzemesi kullanıldığı durumda pompalama gücü dolgusuz duruma göre iki kat artmıştır. Isı transfer alanının sargı sayısı arttıkça artması nedeniyle hacimsel ısı transfer katsayısı da artmaktadır. Absorber içine yerleştirilen dolgu malzemesinin sargı sayısı ile sürtünme faktörü fazlaca değişmemiştir. Gözenekliliğin her üç sargı sayısında da birbirine çok yakın değerlerde olması havanın akışı sırasında yaklaşık aynı etkiyi yapmıştır.

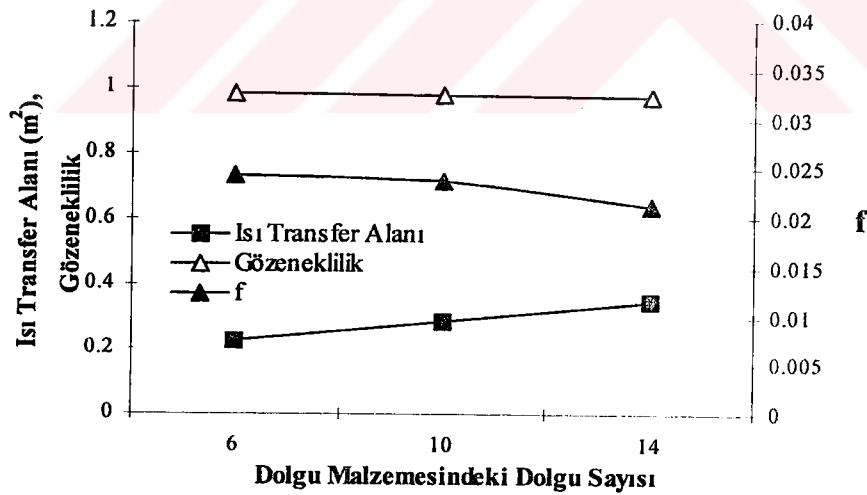


Şekil 10.73. Hava akış kanalına dolgu malzemesi yerleştirildiği durumda dolgu malzemesindeki sargı sayısı ile absorber ve tüm sistem için basınç düşüşü ve pompalama gücünün değişimi

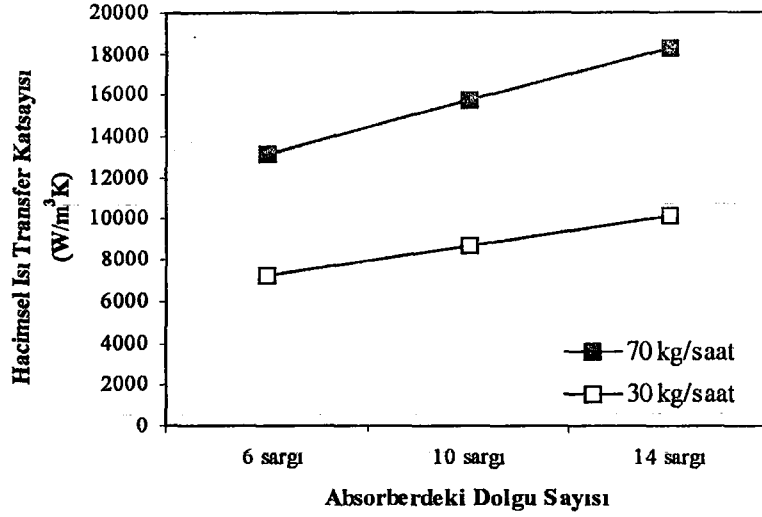
Tablo 10.6. Dolgulu Durumda Sistemin Akış Özellikleri

	Absorberdeki sargı sayısı		
	14 sargı	10 sargı	6 sargı
	6.95	6.91	6.88
$G(\text{kg/m}^2\text{s})$			
$r_h(\text{m})$	0.0148	0.0182	0.0234
Sürtünme faktörü(f)	0.0212	0.0239	0.0244
Gözeneklilik(ϵ)	0.972	0.977	0.982
$\Delta P(\text{absorber}) \text{ N/m}^2$	79.14	73.64	62.4
Isı transfer alanı, $A(\text{m}^2)$	0.346	0.284	0.223
Hacimsel ısı transfer katsayısı, $h_v(\text{W/m}^3\text{K})$	18267	15742	13162

Şekil 10.76' da absorbere yerleştirilen dolgu malzemesi ve dolgu malzemesindeki sargı sayısının artmasıyla ısı transfer katsayısı ve Colburn faktörünün değişimi

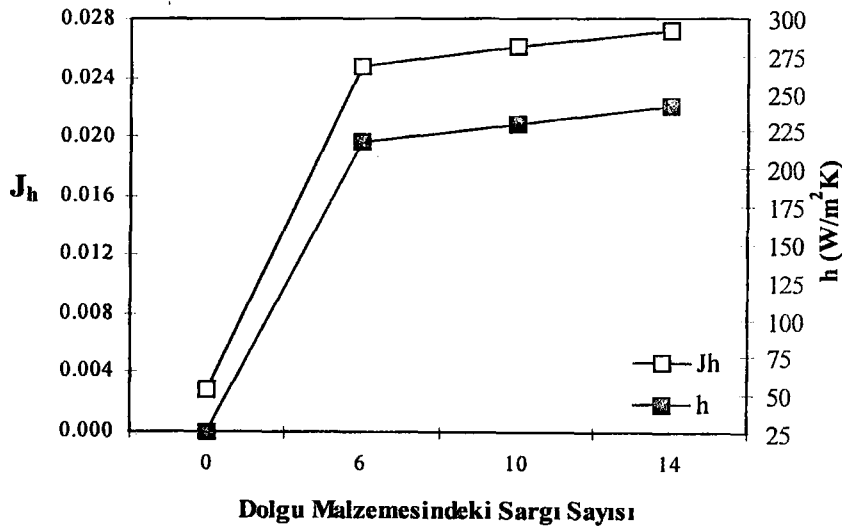


Şekil 10.74. Absorbere yerleştirilen dolgu malzemesinin sargı sayısı ile ısı transfer alanı gözeneklilik ve sürtünme faktörünün değişimi



Şekil 10.75. Absorbere yerleştirilen dolgu malzemesinin sargı sayısı ile hacimsel ısı transfer katsayısının değişimi

görülmektedir. Dolgu malzemeli durum için ısı transfer katsayısı Dixon ve Cresswell(1979)'in tanımladığı eşitlik ile hesaplanmıştır. Hava akış kanalına dolgu malzemesi yerleştirme ısı transfer katsayısını ve Colburn faktörünü olumlu etkilemiştir. Dolgusuz durumda $24.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ olan ısı transfer katsayısı 14 sargılı dolgu kullanıldığı durumda 241 olarak yaklaşık 10 kat artırmıştır.



Şekil 10.76. Dolgu malzemesindeki sargı sayısı ile Colburn faktörü ve ısı transfer katsayısının değişimi

10.2. Kurutma Deney Sonuçları

Güneş enerjili hava ısıtıcı ile elde edilen sıcak havanın kurutmada kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla konik yoğunlaştırıcı toplayıcıda hava çıkış noktasına bir kurutma kamerası eklendi. 4.5 kg/ tepsi kapasiteli 6 tepside ibaret olan kurutucuda yaklaşık 27-30 kg yaş ürün kurutulabilmektedir.

Kurutulacak materyal olarak bölgede yüksek ekonomik değere sahip olan, güneşte kurutulması uzun zaman alan ve hijyenik koşullardan uzak olarak kurutulan, kayısı seçildi.

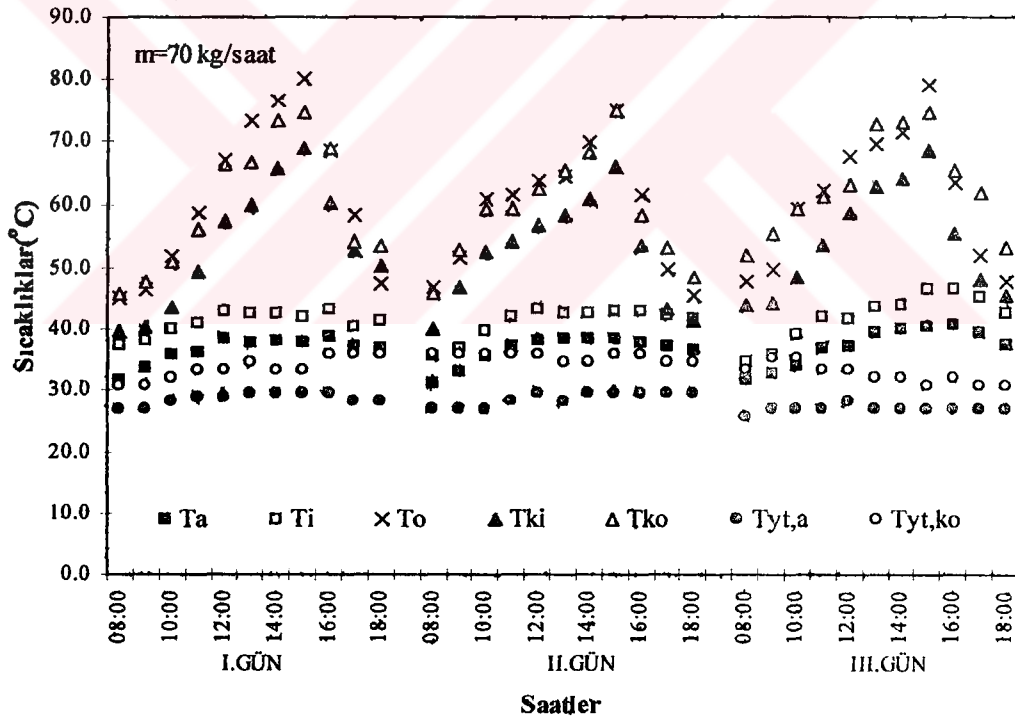
Kurutucuya, yaklaşık 30 kg kapasitede olmasına rağmen, işleme zorluğu nedeniyle her denemede bir kasa (yaklaşık 10 kg) kükürt dioksit ile işleme sokulmuş kayısı yerleştirildi. Kurutmada Hacıhalil cinsi kayısı kullanıldı. Kayıılar bahçelerde kurulan kükürtleme odalarında 36-48 saat SO₂ gazı ile muamele edildikten sonra dışarı çıkarılan kayıılar, zaman geçirilmeden güneş enerjili kurutma kamerasına başlangıç ağırlığı belirlenerek yerleştirildi. Bu sırada alınan birkaç örnek kayısı hava geçirmeyecek şekilde kilitli poşetlere koyularak ertesi gün nem içeriği belirlenmek üzere muhafaza edildi. Kurutucu içine yerleştirilen kayısının ağırlık kaybı, üçüncü rafa yerleştirilen ızgaralı bir tava içine koyulan yaklaşık 250 gram kayısının saat başlarında ağırlıkları ölçülerek belirlendi.

Kurutma işlemi üç ayrı hava debisinde gerçekleştirildi. Aynı zamanda kurutma süresini karşılaştırmak amacıyla kükürtlenmiş kayısı direkt güneş güneş ışınlarına maruz bırakılarak da kurutuldu. Küçük ızgaralı bir tepsi içine koyulan kayısı üzerine gölge düşmeyecek şekilde kurutucu kamara yakınına yerleştirildi ve saat başı ağırlığı ölçüldü.

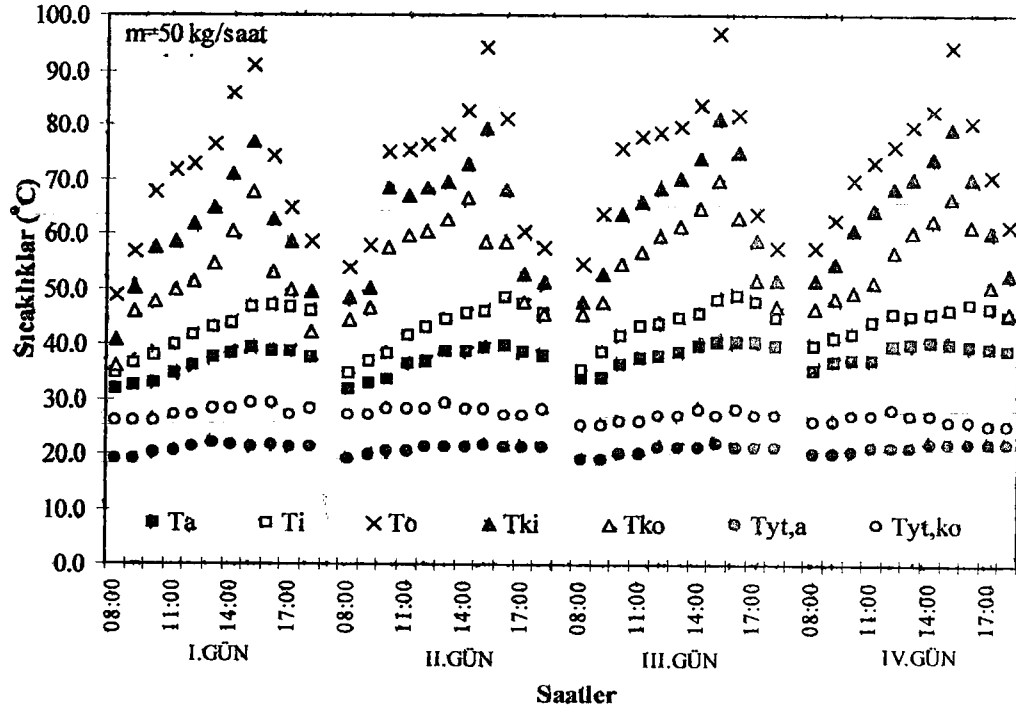
Çekirdekli olarak kurutucu kamaraya yerleştirilen kayııların çekirdekleri ikinci günde çıkarılacak hale gelmektedir. 70 kg/saat hava debisinde ikinci gün saat 10:00' da, 60 kg/saat debide 14:00' de , 50 kg/saat debisinde ise 18:00' de çıkarıldı. Güneşte kurutmada ise ancak üçüncü günde çekirdekler çıkarılacak hale gelmektedir. Kayııların

şeklini bozmadan yapılan çekirdek çıkarma (patikleme) işleminden sonra çıkarılan çekirdekler tartıldı ve başlangıç ağırlığından çıkarılarak yaş kaybının başlangıç ağırlığı belirlendi.

Kurutma deneyleri boyunca kurutucu kamaranın giriş ve çıkışında yaş ve kuru termometre sıcaklıkları yanında çevre sıcaklığı, havanın ısıtıcıya giriş ve çıkış sıcaklıkları, anlık ısıma ve rüzgâr hızı ölçümleri de yapıldı. Şekil 10.77' de 70 kg/saat, Şekil 10.78' de 50 kg/saat debilerinde çalıştırılan sisteme ait sıcaklık değerlerinin günlere ve saatlere göre değişimi görülmektedir. 50 kg/saat debide kurutucuya giren hava bazı saatlerde 80 °C' yi bulmuştur. Bu sıcaklık kaybının ısısal olarak bozulmadan dayanabileceği en yüksek sıcaklıktır. Bu nedenle daha düşük hava debilerinde çalışılmamıştır.



Şekil 10.77. 70 kg/saat debide hava geçirildiği durumda güneş enerjili kurutma sistemine ait sıcaklıkların saatlerle değişimi

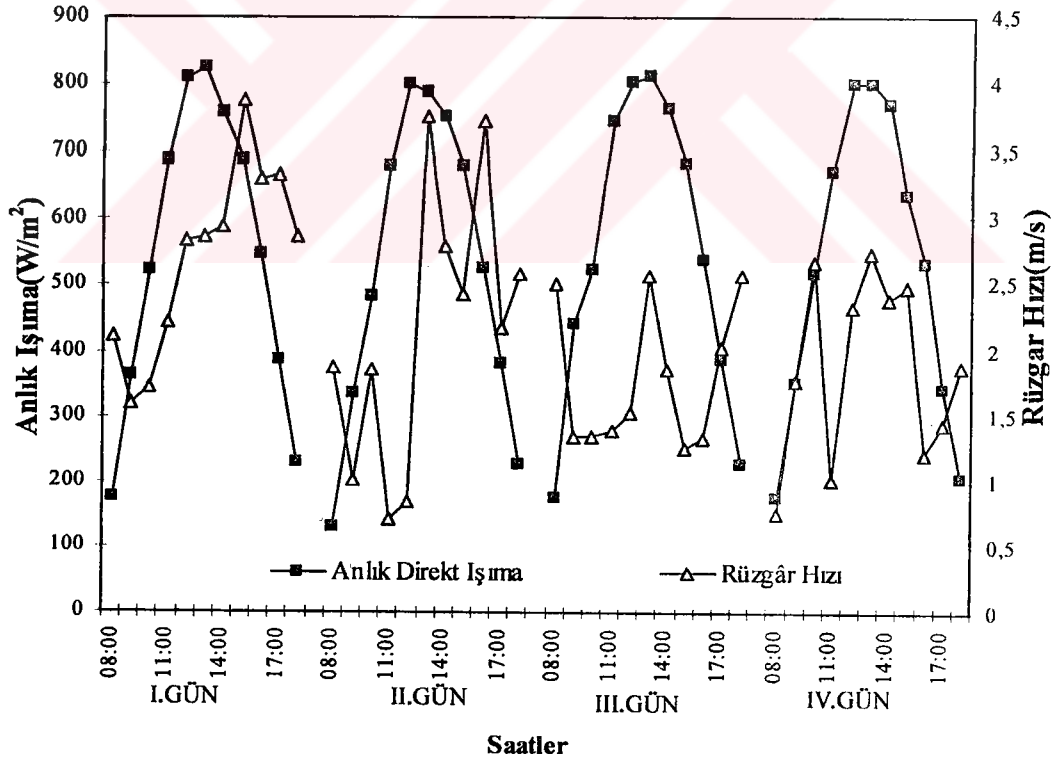


Şekil 10.78. 50 kg/saat debide hava geçirildiği durumda güneş enerjili kurutma sistemine ait sıcaklıkların saatlerle değişimi

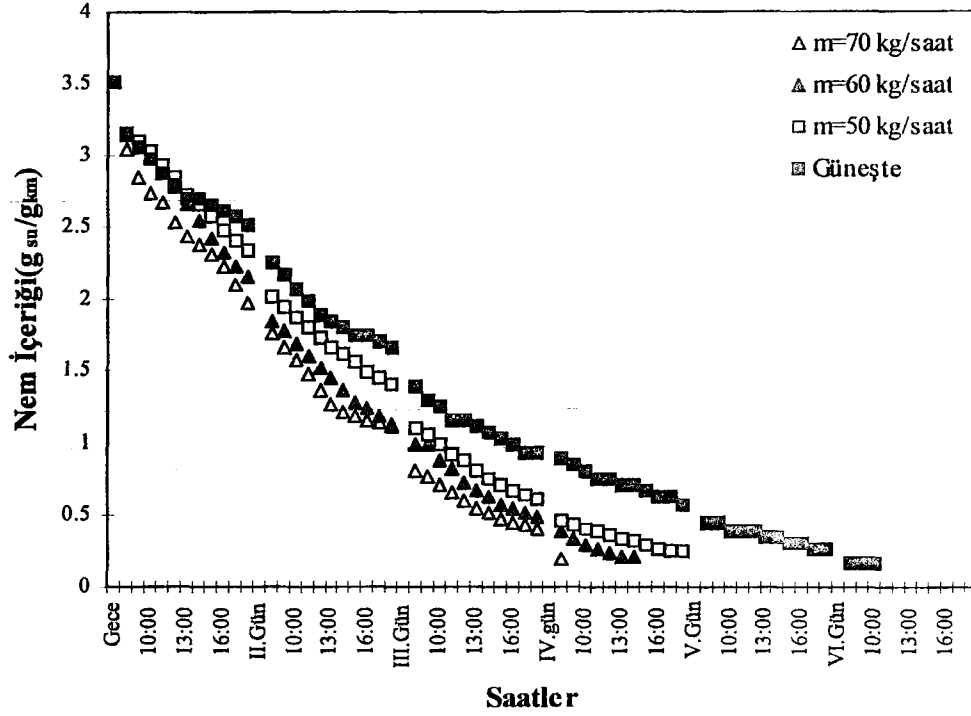
Şekil 10.79' de ise deney yapılan günlere ait çevre şartlarını temsil etmesi bakımından, anlık ışıma ve rüzgâr hızının dört günlük çalışma sırasında günün saatlerine göre değişimi verilmiştir. Deney yapılan günlerde anlık direkt ışıma öğlen saatlerinde maksimum 800 W/m^2 değerine, rüzgâr hızı ise maksimum 3.5 m/s değerine çıkmıştır.

Başlangıç nemi ortalama %77.81 olan Hacihalil cinsi kükürtlenmiş kayısı farklı kütleli debilerde ve yere serilerek %18 nem içeriğine kadar kurutuldu. Kurutulan kayısılar gerek çiftçilerinin depolarında gerekse iç ve dış piyasada satışa sunulmadan önce sanayicilerin depolarında bekletilmektedir. Kayısı bekleme sırasında da nem kaybedeceğinden kurutma işlemi sonunda optimum bir nem içeriğinde tutulmalıdır. %18'lik bu nem içeriği depolama odalarında kayısının bozulmadan muhafaza edilebileceği ve depolama odalarında aşırı kurumaya uğramayacağı bir değerdir.

Şekil 10.80' da kayısıların kurutulması sırasında elde edilen ağırlık kayıplarından, su miktarının kuru madde miktarına oranlanmasıyla bulunan nem içeriğinin zamanla değişimi görülmektedir. En uzun kuruma süresi güneşte kurutmada en kısa kurutma süresi ise 70 kg/saat hava debisinde elde edilmiştir. 70 kg/saat debide kurutulan kayısılar 3 günde istenen seviyede kuruyarak 4. gün sabah saatlerinde kurutucu kamaradan çıkarılacak seviyeye gelmiştir. 60 kg/saat ve 50 kg/saat debilerinde ise 4. gün sırasıyla 14:00 ve 18:00' de istenen kuruluğa ulaşılmıştır. Yere serilerek güneşte kurutma işlemi ise 6. gün sabah saatlerine kadar devam etmiştir. Sistem kayısıyı , güneşte kurutmaya göre iki gün, diğer güneş enerjili sistemlere göre yarım gün veya bir gün daha kısa sürede kurutarak, kurutmada etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Kayısının ağaçlardan toplanması, kükürtlenmesi, çekirdeklerinin çıkarılması ve kurutulması gibi işlemlerin bir ay gibi kısa bir sürede gerçekleştiği düşünülürse güneşte kurumaya göre sağlanan iki günlük kazancın, zamanın para anlamına geldiği gelişmekte olan ülkemizde önemi daha iyi anlaşılabacaktır.



Şekil 10.79. Güneş enerjili kurutmanın gerçekleştirildiği günleri temsil eden bir çalışma periyodu için anlık ısıma ve rüzgâr hızının günün saatlerine göre değişimi

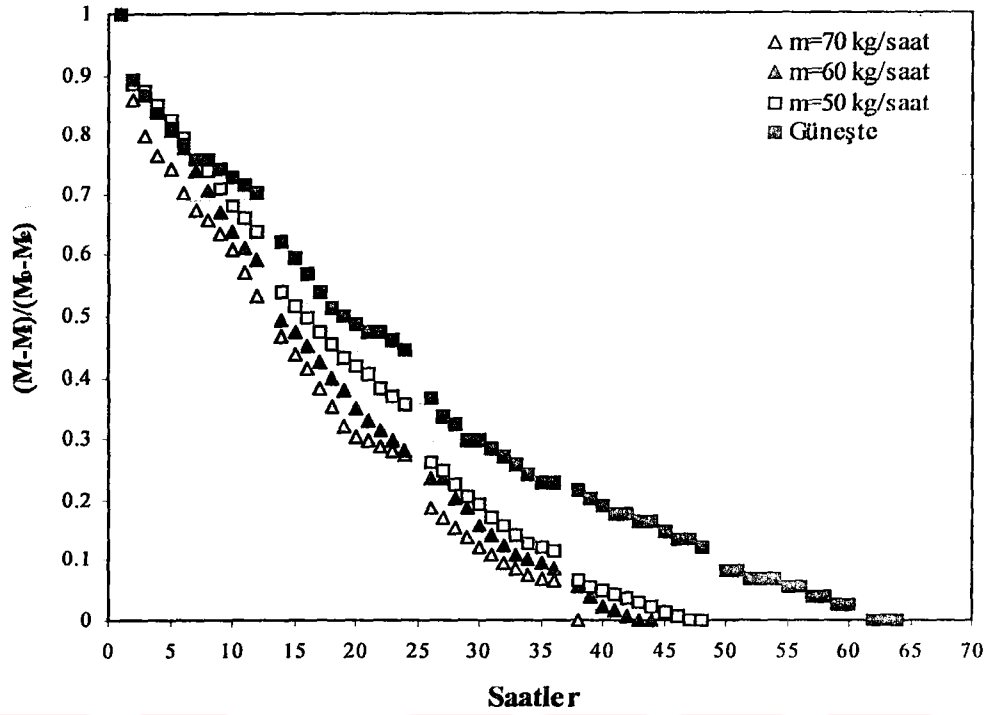


Şekil 10.80. Güneş enerjili kurutmada zamanla nem içeriğindeki değişme

Grafikten görüldüğü üzere sisteme gönderilen hava hızı düştükçe kuruma süresi uzamaktadır. Sistemin daha düşük hava debilerinde çalıştırılmasının hem yüksek sıcaklıklara ulaşılacağından kayısıya zarar vermesi hem de kurutma süresini uzatması gibi dezavantajları vardır.

Şekildeki noktaların dağılımındaki kesiklilik geceleri göstermektedir. Siyaha boyalı kurutma kamarası gün boyu güneşten gelen ışınları absorblamış ve ısınmıştır. Güneşin batmasından sonra ortam sıcaklığının da yüksek olması nedeniyle sistemdeki termal eylemsizlik kayısıyı kurutmaya bir süre daha devam etmektedir.

Bu kurutma eğrilerinden kurutmaya son verilen noktadaki nem içerikleri denge nem içeriği olarak kullanıldı ve her bir zaman dilimi için nem oranları $\left(\frac{M - M_e}{M_o - M_e} \right)$ belirlendi. Şekil 10.81' de çeşitli kütleli debiler ve güneşte kurutma için zamanla nem oranındaki değişim görülmektedir.

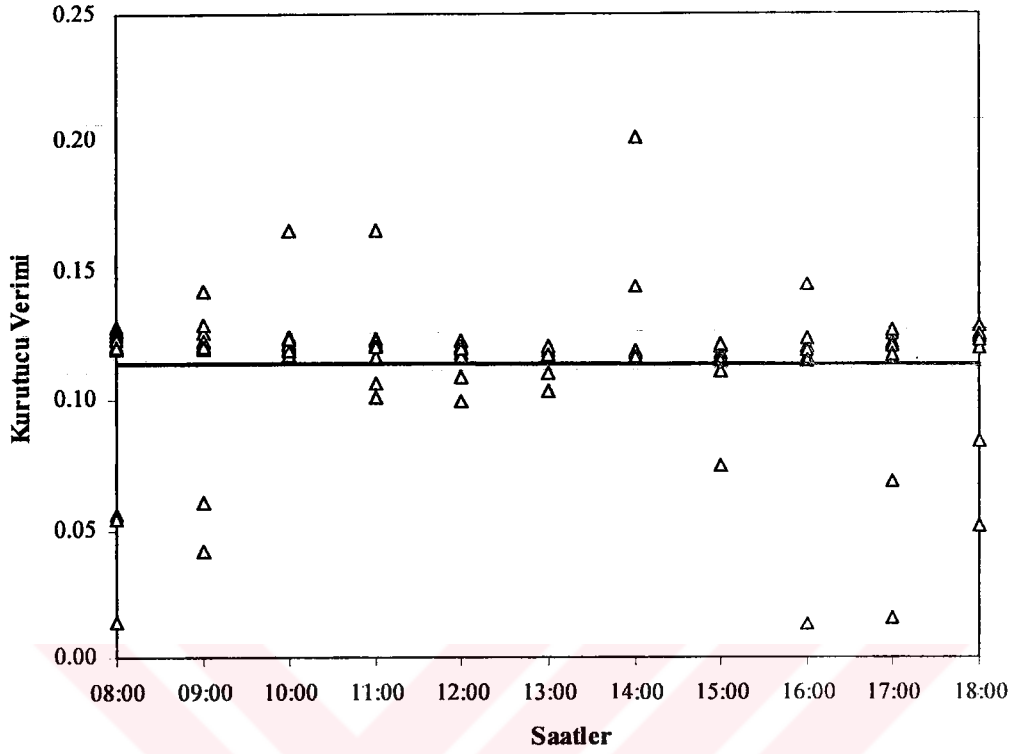


Şekil 10.81. Güneş enerjili kurutmada zamanla nem oranının değişimi

Ancak kükürtlenmiş kayısının kuruma kinetiğinin, sistemin geceleri kapatılması nedeniyle kesikli ve günün her saatinde farklı sıcaklık elde edilen böyle bir sistemde belirlenmesi doğru bir sonuç vermemektedir.

Kurutucu kamaraya giren ve çıkan havanın yaş ve kuru termometre sıcaklıkları kullanılarak kurutucu verimi hesaplandı. Verimin zamana göre değişimi Şekil 10.82’ de verilmiştir. Kurutucu verimi günün saatleriyle fazlaca değişmeyerek 0.12’ lik sabit bir değerde kalmıştır. Bu ilk etapta düşük bir verim olarak düşünülse de, kurutucu kamaranın tam dolu olmadığı , deneylerdekinin iki-üç katı kadar daha ürün yüklenebileceği göz önüne alınırsa, verimin düşüklüğü anlaşılmış olur. Hesaplanan bu verim değeri yaş ve kuru termometre sıcaklıkları ile hesaplanan havanın mutlak nemine dayanan bir verimdir.

Güneş enerjili kurutma sisteminde kurutulan kükürtlenmiş kayısının kararlı ve sürekli şartlarda kuruma kinetiğini incelemek amacıyla laboratuvar ortamında tepsili kurutucuda tek tane deneyleri yapıldı. Havanın elektrikli bir ısıtıcıyla ısıtarak bir fan



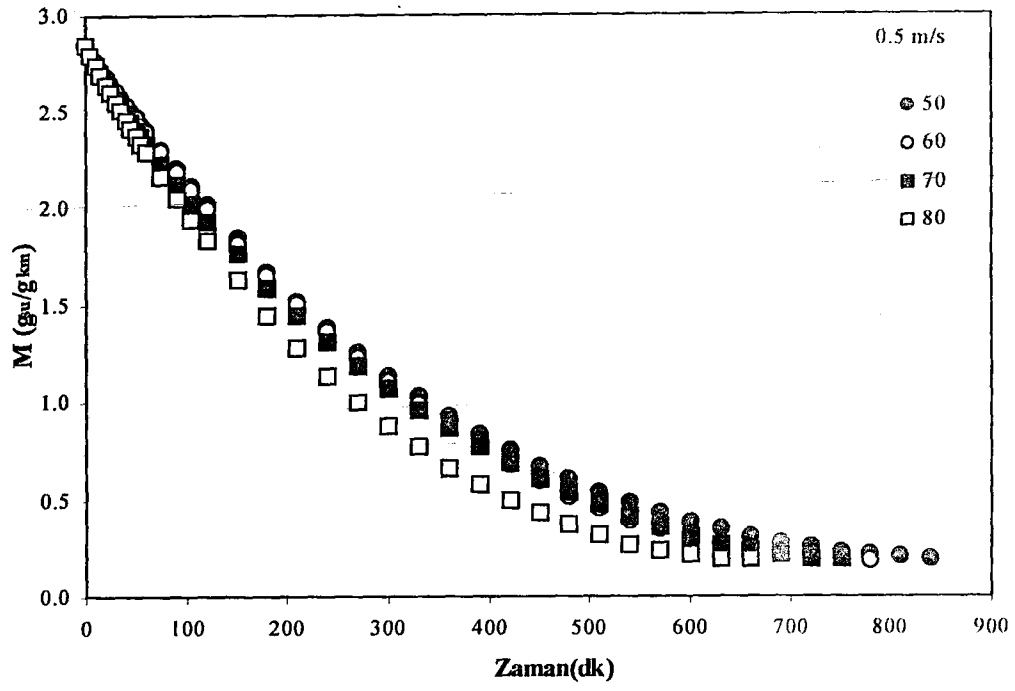
Şekil 10.82. Güneş enerjili kurutucu veriminin günün saatlerine göre değişimi

yardımıyla tepsilere gönderildiği kurutucuda hassas olmayacağı düşüncesiyle terazi ve ona asılı bulunan tepsiler çıkarıldı. ± 0.001 gram hassasiyetli dijital bir terazi kullanıldı, bu terazinin orta kısmına , ucuna alüminyum bir çubuğun lehimli olduğu levha yerleştirildi. Alüminyum çubuğun uç kısmı bükülerek ucuna , ucu kayısı tanesine geçirilmiş bir olta takılmıştır. Bu sayede hem kayısı tanesinin hava hızından etkilenmemesi sağlanmış hem de hassas ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Bu kayısı ile aynı doğrultuda merkezine ısı çift yerleştirilen ikinci bir kayısı ile kuruma sırasında tane içi sıcaklık belirlenmiştir.

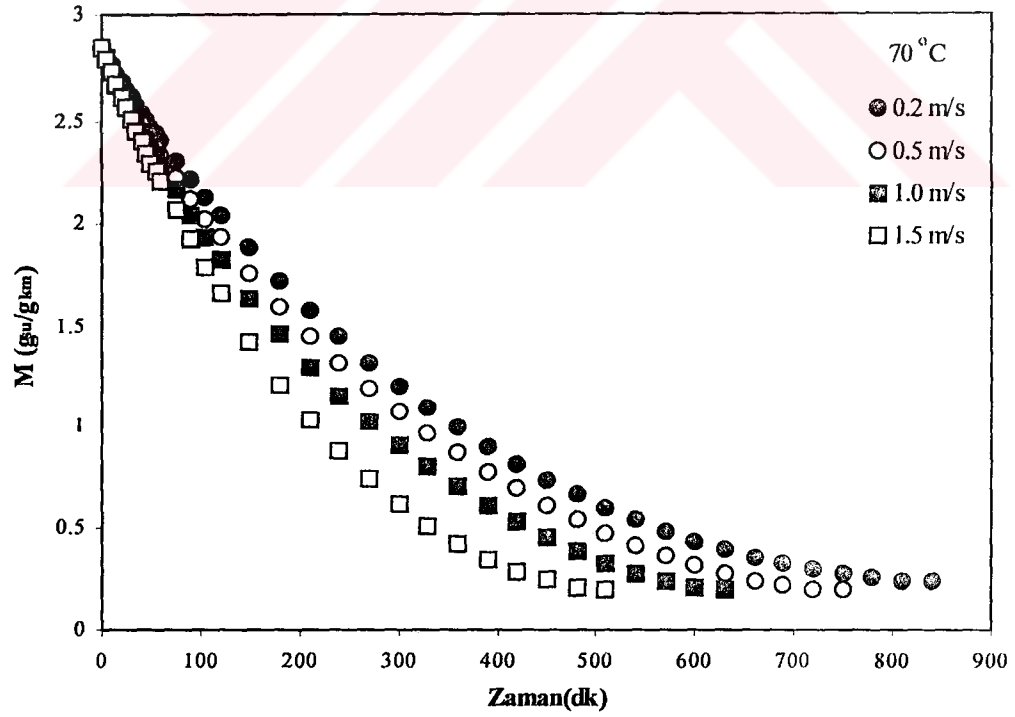
Kayısı kuruma kinetiği farklı hava hızları ve sıcaklıklarda incelenilmeye çalışıldı. Bu amaçla dört farklı hava hızı ve dört farklı sıcaklıkta deneyler yapıldı. Kuruma kinetiği incelenirken güneş enerjili kurutma sistemindeki şartlar sağlanmaya çalışıldı. 0.5 m/s'lik hız, güneş enerjili kurutucuda kayısı taneleri üzerinden akan ortalama hava

hızına karşılık gelmektedir. Havanın kurutucu kamaradan çıkış sıcaklığı günün saatlerine göre 50°C-80°C arasında değişmektedir. Bu nedenle 0.5 m/s sabit hızda 50 °C, 60 °C, 70 °C ve 80 °C hava sıcaklıklarında deneyler yapılmıştır. Sabit sıcaklık deneyleri ise 70 °C de 0.2, 0.5, 1.0 ve 1.5 m/s hava hızlarında gerçekleştirilmiştir. Şekil 10.83, 0.5 m/s sabit hava hızında dört ayrı hava sıcaklığında yürütülen deneyler sonucunda zamanla nem içeriğindeki değişmeyi göstermektedir.

Kayısı dış yüzeyi gözenekli bir yapıda olup bünyesindeki suyu jel halinde iç kısımlarda tutan bir meyvedir bu nedenle kayısının kuruması uzun süre alır. Şekilden de görüldüğü üzere değişik hava sıcaklıkları için 680 – 840 dakika arasında süren kuruma zamanları elde edilmiştir. 50 °C, 60 °C ve 70 °C hava sıcaklıklarında nem içeriği birbirine çok yakın bir azalma gösterdiğinden bu sıcaklıkları temsil eden noktalar neredeyse birbiri üzerinde çakışık durumdadır. 80 °C hava sıcaklığı ile nem içeriğinde diğer sıcaklıklara göre belirgin bir şekilde daha hızlı bir azalma görülmektedir. En düşük hava sıcaklığı olan 50 °C’ de en uzun kuruma zamanı elde edilmiştir. Nem içeriğinin sabit kaldığı 0.18 değerinde kuruma işlemine son verilmiştir. Bu değer denge nem içeriği olarak daha sonraki hesaplamalarda kullanılmıştır. Şekil 10.84’ de tek bir kayısı tanesinin sabit hava sıcaklıkta dört farklı hava hızında kurutulması sonucunda zamanla nem içeriğindeki değişme görülmektedir. En kısa sürede kuruma 1.5 m/s, en yavaş kuruma ise 0.2 m/s hava hızında gözlenmiştir. Önceki grafiğin tersine burada parametreler arasında daha belirgin bir fark gözlenmektedir. Buradan tek tane kurutmayı, hava sıcaklığından ziyade hava hızının daha belirgin bir şekilde etkilediği anlaşılmaktadır. Her bir hava hızı kuruma süresini yaklaşık iki saat değiştirmiştir. Kayısı merkezindeki ile yüzeydeki nem konsantrasyonları eşit olana kadar, merkezden yüzeye nem transferi olur, ancak yüksek hızdaki hava yüzeydeki nemi uzaklaştırdığı için denge kurulamaz. Hava hızı yükseldikçe havanın kayısı yüzeyinden uzaklaştırdığı nem miktarı artacak ve nem dengesi kurulamadığı için merkezden kayısı yüzeyine nem transfer olmaya devam eder. Bu nedenle hava hızı, hava sıcaklığından daha fazla nem difüzyonunu artırır. Sabit hız ve sabit sıcaklık için zamanla nem içeriğindeki değişimi en iyi ifade eden denklemler ve korelasyon katsayıları Tablo 10.7’de verilmiştir.



Şekil 10.83. Sabit hava hızında nem içeriğinin zamanla değişimi

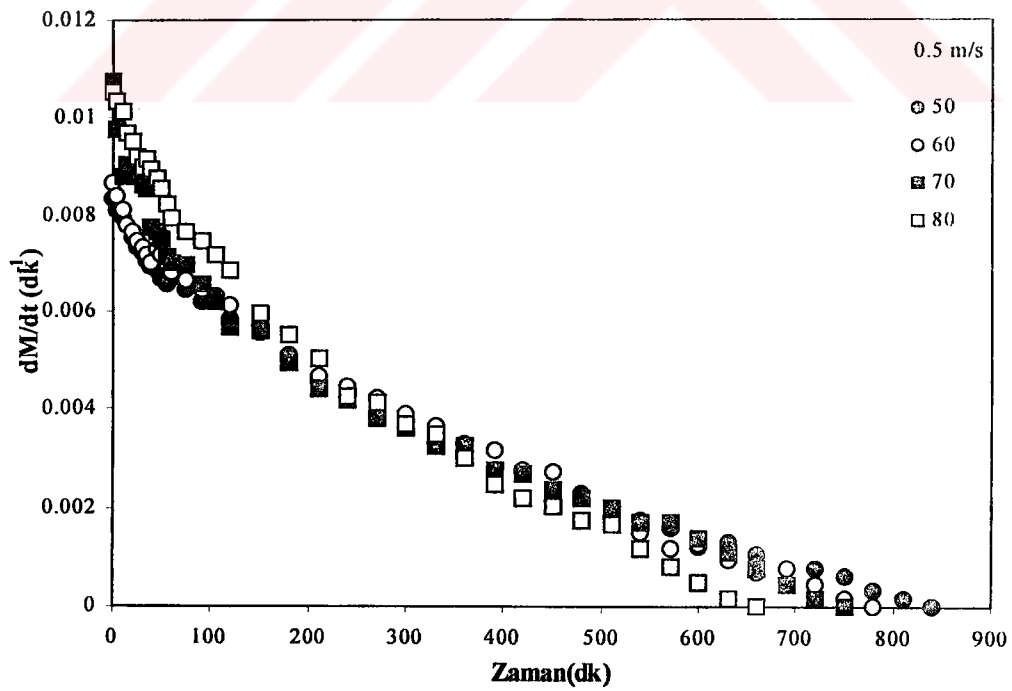


Şekil 10.84. Sabit sıcaklıkta zamanla nem içeriğindeki değişim

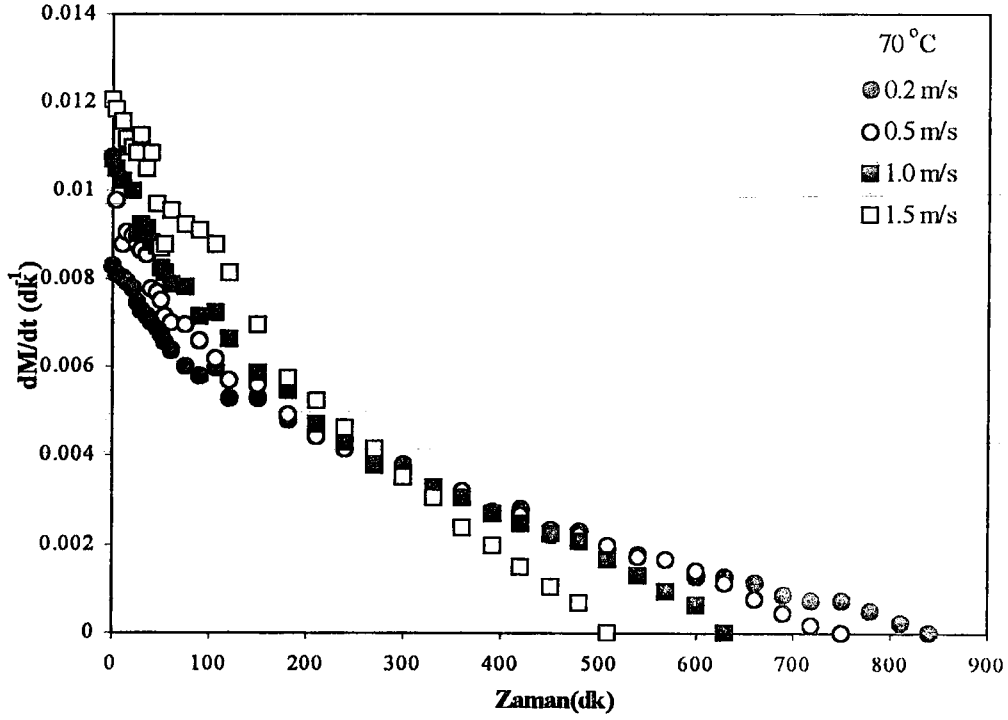
Nem içeriğindeki değişimin zamana göre türevi alınarak kuruma hızı belirlenmiş ve her bir zaman aralığı için grafiğe geçirilmiştir. Zamanla kuruma hızındaki değişim sabit hava hızı için Şekil 10.85’ de , sabit sıcaklık için Şekil 10.86’ da verilmiştir. Grafiklerden de görüldüğü üzere kayısı kurutulmasında sabit hız dönemi görülmemiş, tüm kuruma süreci azalan kuruma döneminde gerçekleşmiştir.

Tablo 10.7. Zamanla Nem İçeriğindeki Değişimi Veren Eşitlikler ve Korelasyon Katsayıları

Sıcaklık (oC)	Hava hızı m/s	$M = a + bt + ct^2 + dt^3$				R^2
		a	$bx10^3$	$cx10^6$	$dx10^9$	
50	0.5	2.8387	-7.7	8	-3	1
60	0.5	2.8337	-7.7	7	-2	1
70	0.5	2.8094	-8.3	9	-4	0.9997
80	0.5	2.8292	-9.6	10	-5	0.9999
70	0.2	2.8241	-7.3	7	-2	0.9999
70	1.0	2.8230	-9.7	10	-6	0.9998
70	1.5	2.8440	-11.8	20	-7	1

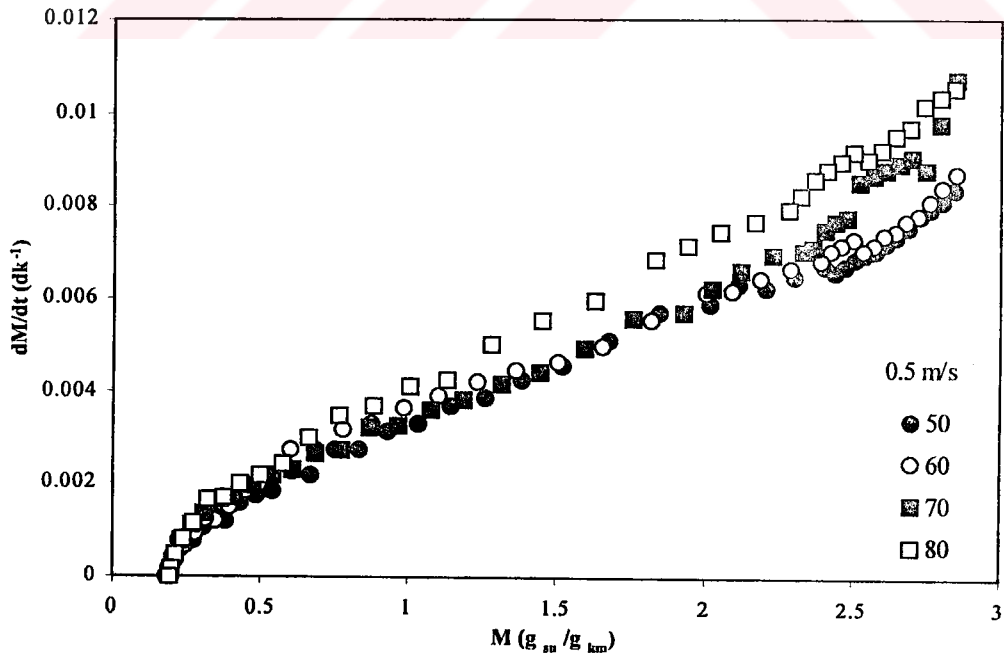


Şekil 10.85. Sabit hava hızında kuruma hızının zamanla değişimi

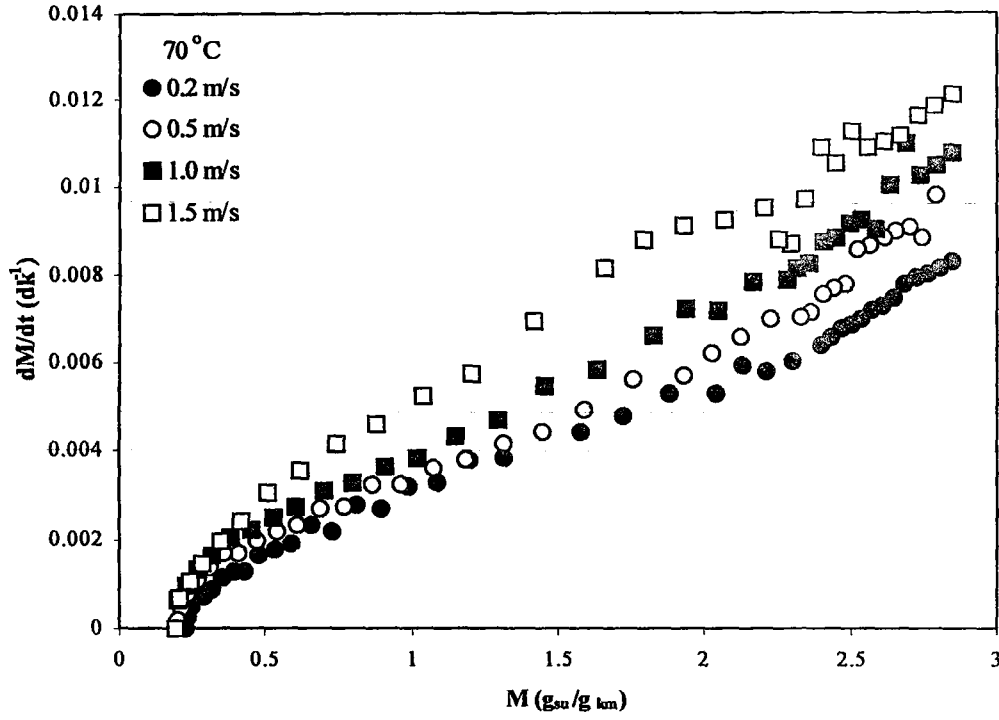


Şekil 10.86. Sabit hava sıcaklığında zamanla kuruma hızının değişimi

Şekil 10.87 ve 10.88' de sabit hız ve sabit sıcaklık şartları için nem içeriğiyle kuruma hızının değişimi görülmektedir.



Şekil 10.87. Sabit hava hızında nem içeriğiyle kuruma hızının değişimi



Şekil 10.88. Sabit sıcaklıkta nem içeriğiyle kuruma hızının değişimi

Grafiklerdeki değişimi en iyi ifade eden eşitlikler Tablo 10.8' de verilmiştir. Nem içeriği-kuruma hızı ilişkisinde sabit sıcaklıkta hava hızının artmasıyla ve sabit hızda hava sıcaklığının artmasıyla doğrunun eğimi artmıştır.

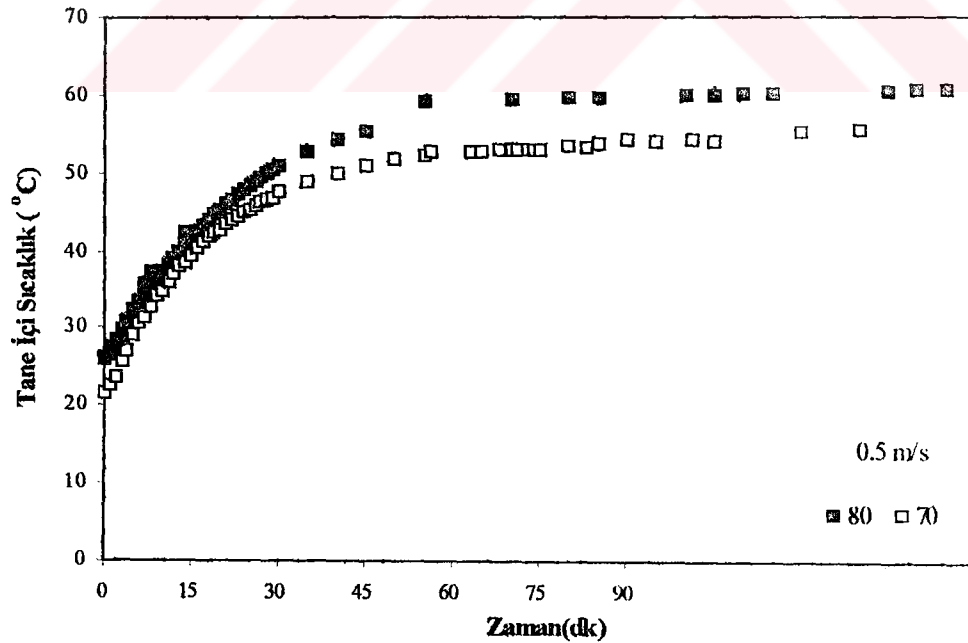
Tablo 10.8. Nem İçeriği İle Kuruma Hızındaki Değişimi Veren Eşitlikler Ve Korelasyon Katsayıları

Sıcaklık (°C)	Hava hızı m/s	$dM/dt = aM^b$		R^2
		$a \times 10^3$	b	
50	0.5	2.9	1.0511	0.9290
60	0.5	3.1	1.0043	0.9268
70	0.5	3.3	1.0299	0.9197
80	0.5	3.6	1.0624	0.9173
70	0.2	2.8	1.0504	0.9510
70	1.0	4.0	0.8988	0.9829
70	1.5	4.7	0.9295	0.9737

Şekil 10.89' da sabit hızda farklı sıcaklıklarda yürütülen deneylerde zamanla kayısı tanesinin sıcaklığındaki değişim görülmektedir. Sıcaklığın artmasıyla tane içi sıcaklığında da belirgin bir artış görülmektedir.

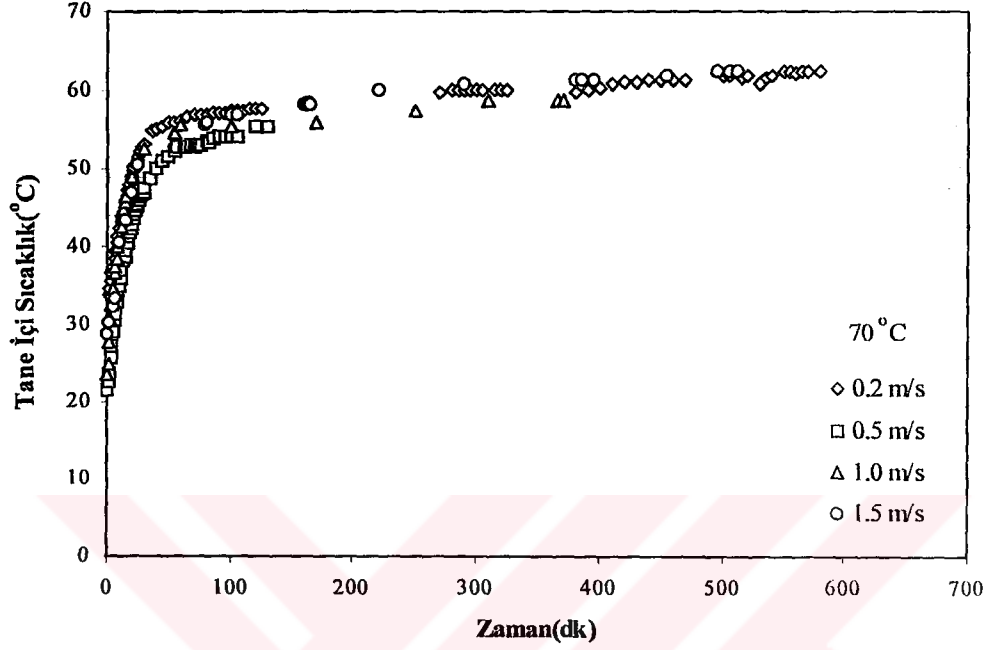
Şekil 10.90' da ise 70 °C sabit sıcaklıkta farklı hava hızlarında zamanla tane içi sıcaklığındaki değişim görülmektedir. Sıcaklığın tersine hava hızındaki değişim tane içi sıcaklığını fazla etkilememiştir. Ancak hava hızındaki azalma tane sıcaklığı ile sistem sıcaklığının dengeye ulaşma süresini artırmıştır. Tane içi sıcaklığı ile denge yaklaşık iki saatlik bir sürede kurulabilmekte bu zamandan sonra fazla bir değişim gözlenmemektedir.

Çoğu kurutma deneylerinde modelleme, zamanla nem oranındaki değişimi ifade eden denklem araştırılarak yapılır. Tek tane kayısı kurutma deneylerinde zamanla nem oranındaki değişim $\frac{M - M_e}{M_o - M_e} = a \cdot \exp(-kt)$ şeklinde üstel bir eşitlik ile ifade edilebilmektedir. Burada a, bir sabit, k kuruma hız sabiti, t ise zamandır. Sabit sıcaklıkta hava hızının ve sabit hızda hava sıcaklığının etkisinin incelendiği deneyler de elde



Şekil 10.89. 0.5 m/s hava hızında farklı kurutucu ortam sıcaklıkları için tane içi sıcaklığın zamanla değişimi

edilen zaman- nem oranı değişimini en iyi ifade eden denklemler korelasyon katsayıları ile birlikte Tablo 10.9' da verilmiştir.



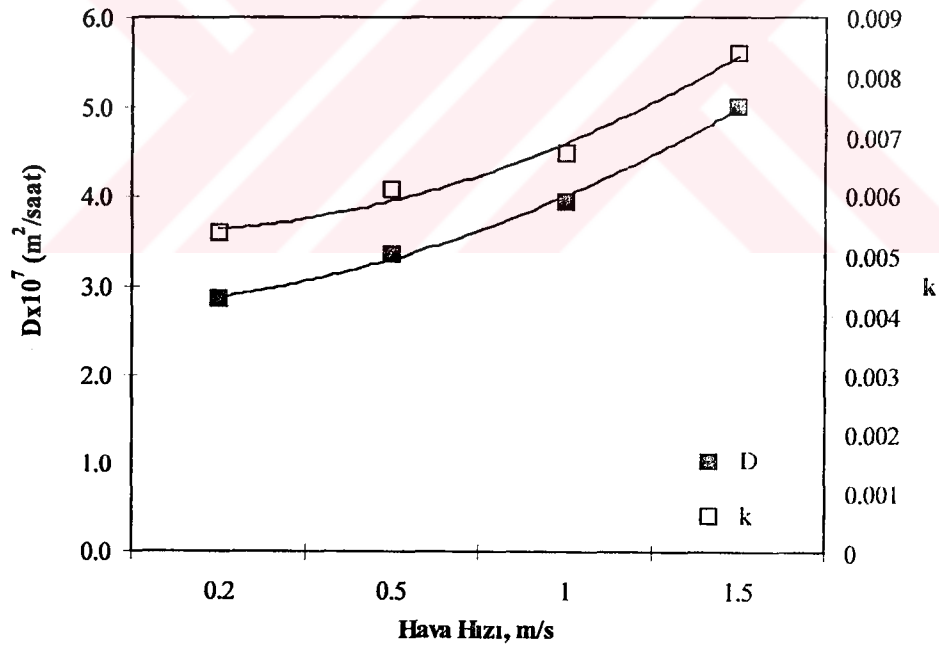
Şekil 10.90. Sabit sıcaklıkta farklı hava hızları için tane içi sıcaklığın zamanla değişimi

Tablo 10.9. Zamanla Nem Oranındaki Değişimi Veren Eşitlikler ve Korelasyon Katsayıları

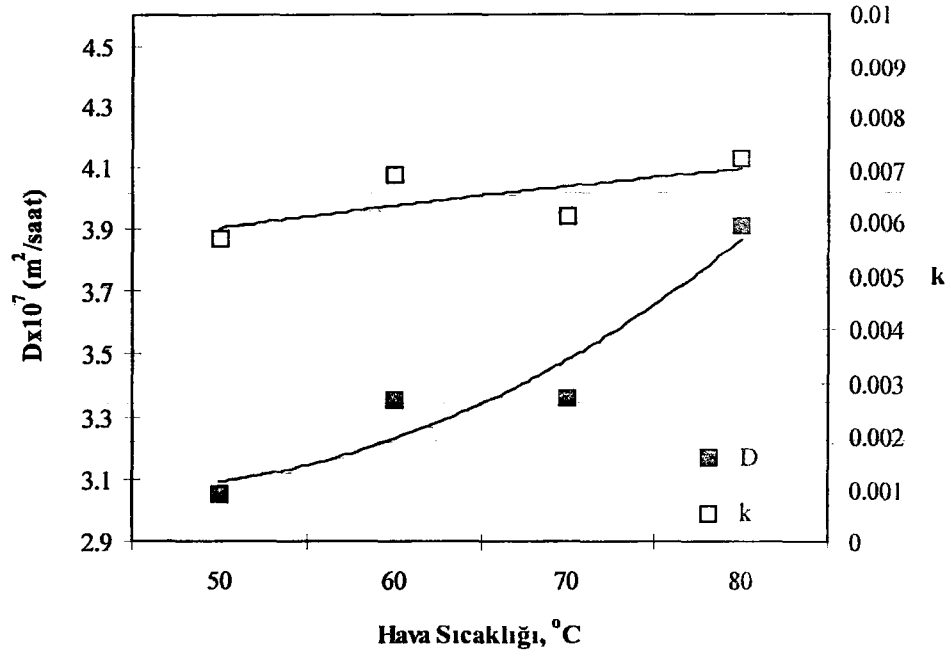
Sıcaklık (°C)	Hava hızı m/s	MR = a exp(-kt)		R ²
		a	k x10 ³	
50	0.5	1.3668	5.7	0.8939
60	0.5	1.5535	6.9	0.8173
70	0.5	1.3324	6.1	0.8818
80	0.5	1.3499	7.2	0.8950
70	0.2	1.3338	5.4	0.9113
70	1.0	1.2748	6.7	0.8986
70	1.5	1.2775	8.4	0.9350

Kükürtlü kayısının kuruma kinetiğinin incelendiği çalışmada son olarak her bir durum için difüzyon katsayıları hesaplanmıştır. Bu amaçla 6.14 çitliğı kullanılmıştır. $\ln \frac{8(M_o - M_e)}{\pi^2(M - M_e)}$ ifadesine karşı zaman grafiğı geçirildiğinde elde edilen doğrunun eğimi $\frac{4l^2}{\pi^2 D}$ ifadesini verir. Buradan l (örnek kalınlığının yarısı) bilindiğıne göre (0.015 m) difüzyon katsayısı m²/saat olarak hesaplanır. Her bir hava sıcaklığı ve hava hızında bu işlemler tekrarlandı ve sonuçları Tablo 10.10' da verildi.

Kuruma hız sabiti ve difüzyon katsayısının hava hızı ile değışimi Şekil 10.91' de, kurutucu ortam sıcaklığıyla değışimi Şekil 10.92' de verilmiştir. Tek tane kayısının kuruma hızı ve difüzyon katsayısı artan hava hızı ve artan sıcaklıkla artmaktadır ve bu değışimler ikinci dereceden regresyon eşitlikleriyle ifade edilebilmektedir.



Şekil 10.91. Sabit sıcaklıkta hava hızıyla difüzyon katsayısı ve kuruma hızının değışimi



Şekil 10.92. Sabit hava hızında hava sıcaklığıyla difüzyon katsayısı ve kuruma hızının değişimi

Tablo 10.10. Farklı Hava Hızı ve Sıcaklıklar İçin Difüzyon Katsayısındaki Değişim

Dx10 ⁷ (m ² /saat)		
70 °C	0.2 m/s	2.858
	0.5 m/s	3.361
	1.0 m/s	3.937
	1.5 m/s	4.992
0.5 m/s	50 °C	3.051
	60 °C	3.353
	70 °C	3.361
	80 °C	3.904

11. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yeni dizayn edilen konik yoğunlaştırıcı güneş enerjili hava ısıtma sisteminin kurutmada kullanımının araştırıldığı bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Sistemin güneşi izlemesinde iki hareket kolu kullanılması ve ilk kol ile güneş hareketine benzer bir yol izlemesi, saat 12' de pik değerinin elde edilmesine neden olmuştur, ikinci hareket kolunun sistemi sabit bir yükseklikte yatay ekseninde çevirmesi, yaklaşık 15:00 saatlerinde güneş yüksekliği ile koninin gördüğü açının aynı düzlemde olması nedeniyle güneşin tam olarak koni içine girmesi ikinci pik ve maksimum sıcaklığın elde edilmesini sağlamaktadır. Bu ikinci pik değeriyle sistem, konvansiyonel hava ısıtıcılarda hava sıcaklığının düşmeye başladığı öğle sonu saatlerinde sıcaklıkta oldukça büyük oranda yükselmeye neden olduğu için ilave bir kazanç sağlamaktadır.
2. Konik yoğunlaştırıcı hava ısıtıcısının yerleştirileceği en iyi eğim açısının 28.4° olduğu bulunmuştur. 33.4° lik eğim açısının 28.4° ye oldukça yakın davranış gösterdiği, enlem derecesine eşit açıda (38.4°) yerleştirmenin ise düzlem toplayıcılara yakın değerler verdiği görüldü.
3. Doğal akışta absorber içinde ısınarak yükselen hava U dönüşü yapmaya ve çıkış noktasına ulaşmak için çıktığı yükseklikten aşağı inmeye zorlandığı için hava akış hızı dolayısı ile verim düşmektedir. Ancak havanın doğal akışı sırasında yaygın olarak kullanılan hava ısıtıcılarla ulaşılamayacak 155°C gibi yüksek değerler elde edilmektedir. Zorlanmış akışta ise kütleli debinin artmasıyla sistem verimi yükselmektedir.
4. Doğal akışta seçici yüzey kullanımı verimi artırmakta, dolgu malzemesi kullanımı ise düşürmektedir. Zorlanmış konveksiyonda seçici yüzey kullanımı anlık verimi yükseltmektedir. Absorberden çevreye ısı kayıplarını azaltan seçici yüzeyli absorber kullanımının konik yoğunlaştırıcı toplayıcının verimini

artırmada tek başına yeterli olmadığı sonucuna varıldı. Hava akış kanalına yerleştirilen dolgu malzemesinin sistemin anlık verimini sargı sayısı ile artırdığı görüldü. Seçici yüzeyli absorberde dolgu malzemesi kullanımında verimdeki iyileşme daha yüksektir.

5. Güneş enerjili hava ısıtıcı verimini artırmak için bakır boru üzerine siyah Al sinek teli sarılarak yapay olarak pürüzlendirilen üçüncü bir absorber de sistem veriminin artması gerekirken beklenen etkiyi yapmadığı aksine verimi azalttığı gözlemlendi. Sinek telinin güneş ışınımını etkili bir şekilde absorbladığı halde bu ısıyı alttaki bakır boruya iletmediği sonucuna varıldı.
6. Isı kazanç katsayısı doğal ve zorlanmış akışta eğim açısının artmasıyla azalmıştır. Isı kayıp katsayısı ise, doğal akışta eğim açısının artmasıyla artmış, zorlanmış akışta ise azalmıştır. Zorlanmış akışta F_R ve U_L kütleli debinin artmasıyla artmıştır. Absorber boru altındaki hava hareketi ile ısıнын etkili bir şekilde akışkana aktarıldığı ancak yine bu hareketle absorber boru altında oluşturulan yüksek sirkülasyonun absorber yüzeyinden ısıнын çevreye transfer olma hızını da artırdığı anlaşılmaktadır. Genel olarak sistemin ısı kayıp katsayısı yüksektir. Doğal akışta 25-28 W/m²K seviyesinde olan bu değer zorlanmış akışta 160-230 W/m²K arasında değişmektedir. Sistemin bu kadar yüksek U_L değerine sahip olması absorber boru ile cam arasındaki havanın vakumlanmamış olmasından kaynaklanmaktadır.
7. Doğal akışta hava akış kanalına dolgu malzemesi yerleştirme sistem veriminde azalmaya neden olmuştur. Dolgu malzemesindeki sargı sayısının artmasıyla sistem verimi daha da düşmektedir. Bu sonuçlardan hava ısıtma sisteminin doğal akış şartlarında çalıştırıldığında dolgu malzemesi kullanmanın pratik olmadığı anlaşılmaktadır. Zorlanmış akış şartlarında ise dolgu malzemesi kullanımı beklendiği gibi verimde pozitif bir iyileşme sağlamıştır. Güneş enerjili hava ısıtıcısının en yüksek verim değeri seçici yüzeyli absorber ve hava akış kanalına 14 sargı alüminyum sinek telinin dolgu malzemesi olarak yerleştirildiği

durumda elde edilmiştir (% 85). Bu durumda sistem veriminde % 68' lik bir iyileşme sağlandı.

8. Dolgulu durumda U_L değerinin dolgu malzemesinin sargı sayısındaki artış ile doğal akışta arttığı, zorlanmış akışta ise düştüğü görüldü. En yüksek hava debisinde maksimum değere ulaşan U_L sisteme dolgu malzemesi yerleştirilmesiyle ve sargı sayısının artmasıyla düşürülmüştür. Hava akış kanalına 14 sargılık dolgu malzemesi yerleştirmek ısı kayıp katsayısını yarı yarıya azalttığından ilave bir kazanç sağlamaktadır.
9. 14 sargılık dolgu malzemesine ilave olarak üç ayrı absorber yüzeyinin denendiği çalışmada hem doğal hem zorlanmış akışta en yüksek verimde iyileşme ve en düşük U_L değeri seçici yüzey kullanımında , en az iyileşme ile en yüksek U_L değeri siyah boya üzerine Al sinek teli sarımı ile elde edildi. Bu durum absorber yüzeyi Al sinek teli sarılarak yapay olarak pürüzlendirmenin sistem verimini düşürdüğü için uygun olmadığı sonucuna varıldı.
10. Günlük verimler ise anlık verimlere göre daha düşük değerlerde kaldı. En yüksek anlık verimin (%85) elde edildiği seçici yüzeyli absorber altına 14 sargı sayısında dolgu malzemesi yerleştirme ile sistemin günlük verimi %52 seviyesinde kaldı.
11. Sistemde basınç düşüşü, absorber ve tüm boru hattında kütledebinin artan değerleriyle artmakta ve bunu karşılamak için sisteme 0.1-0.7 W arasında pompalama gücü sağlanmaktadır. Dolgulu durumda ise basınç düşüşü sargı sayısının artmasıyla arttığı için gerekli pompalama gücü 14 sargılık dolgu malzemesi kullanıldığı durumda iki katına çıkmaktadır.
12. Dolgusuz düz boruda Re sayısının artmasıyla faning sürtünme faktörü azalmaktadır. Dolgulu durumda ise boru içindeki pürüzlülük arttığından sürtünme faktörü dolgusuz duruma göre yaklaşık dört kat artmıştır. Ancak

sürtünme faktörü, gözenekliliğin yaklaşık aynı olması nedeniyle dolgu malzemesinin sargı sayısındaki artışla değişmemektedir.

13. Güneş enerjili hava ısıtma sisteminde, ısı transfer katsayısı kütleli hava debisinin artmasıyla yükselmekte ve dolgu olarak 14 sargılı alüminyum sinek teli kullanıldığı durumda ise dolgunsuz duruma göre yaklaşık 10 kat artmaktadır. Hacimsel ısı transfer katsayısı ise sargı sayısındaki değişimle 13000-18000 W/m³K arasında değişmektedir.
14. Konik yoğunlaştırıcı güneş enerjili sisteminden elde edilen sıcak hava ile kükürtlenmiş kayısı güneşte kurutmaya kıyasla 2 gün daha kısa sürede kurutulmaktadır. Kuru ürün kalitesi açısından güneşte ve kurutucuda kuruyan kayısılar incelendiğinde, kurutucudaki kayısıların tozdan kirden etkilenmeden daha temiz kaldığı kurutmanın hijyenik olarak tamamlandığı görüldü. Kurutucu içindeki hava akış hızına bağlı olarak kuruma sürelerinde birkaç saatlik değişimler oldu.
15. Kükürtlenmiş kayısının kararlı ve sürekli şartlarda kuruma kinetiğini incelendiği çalışmada; kayısı dış yüzeyi gözenekli yapıda olması, bünyesindeki suyu jel halinde iç kısımlarda tutması nedeniyle uzun sürede kuruduğu, kayısı kuruma süresine, hava sıcaklığından ziyade hava hızının daha etkili olduğu ve kuruma olayının başından sonuna azalan kuruma periyodunda gerçekleştiği ve zamanla nem oranındaki değişimin en iyi $MR = a.exp(-kt)$ şeklinde üstel bir eşitlik ile ifade edilebildiği sonuçlarına varıldı. Bu ifadede ki kuruma hız sabitinin artan sıcaklıkla ve artan hava hızıyla arttığı görüldü.
16. Sabit hız ve sabit sıcaklıkta ayrı olarak yürütülen tane içi sıcaklık ölçüm deneylerinde tane içine ulaşılan sıcaklığı hava sıcaklığının etkilediği ancak hava hızının etkilemediği sadece dengeye ulaşma süresini uzattığı görüldü.
17. Kükürtlenmiş kayısının kuruma kinetiklerinin incelendiği çalışmada son olarak difüzyon katsayılarının artan sıcaklık ve artan hava hızı ile arttığı 2.86×10^{-7} ile

$4.99 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{saat}$ arasında değişen değerler aldığı görüldü. En yüksek difüzyon katsayısı $4.99 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{saat}$ ile 70°C , 1.5 m/s şartlarında elde edilirken güneş enerjili kurutucu çalışma şartlarını ortalama olarak ifade eden 70°C , 0.5 m/s ' de ise $3.36 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{saat}$ değeri elde edildi.

ÖNERİLER

Sistem verimini daha fazla artırmak için absorber boru ile cam arasındaki hacmin havası boşaltılmalıdır. Eğer hava ısıtıcı orta sıcaklık uygulamalarında (150°C - 350°C) kullanılmak istenirse güneşı iki ekseninde izlemesi sağlanmalıdır.

Ulaşabildiği sıcaklıklar bakımından, ortaya koyulan güneş enerjili kurutucu ile kayısı yanında yörede endüstriyel ve tarımsal ölçekte ter türlü materyali kurutmak için uygundur. Özellikle yüksek sıcaklıkta bozunmayacak materyalleri hızlı ve etkili bir şekilde kurutabilecek kapasitededir. Kurutucunun kapasitesi artırılarak daha fazla miktarda madde kurutulması sağlanabilir veya sistem kurutmanın yanı sıra sistemin kiş aylarındaki performansı araştırılarak seraların ısıtılması, binaların ısıtılması ve havalandırılması gibi boşluk ısıtma uygulamalarında kullanılabilir.

12. KAYNAKLAR

- Abu-Qudais, M.K. and Al-Nimr, M.A., 1996, Theoretical and experimental study of matrix solar air heater under transient condition. *Int. Journal of Solar Energy*, 18, 3, 137-146.
- Ahmad, A., Saini, J.S., and Varma, H.K., 1995, Effect of geometrical and thermophysical characteristics of bed materials on the enhancement of thermal performance of packed bed solar air heaters. *Energy Conversion and Management*, 36, 12, 1185-119.
- Ahmad, A., Saini, J.S., and Varma, H.K., 1996, Thermohydraulic performance of packed bed solar air heaters. *Energy Conv. Manag.*, 37, 205-214.
- Akyurt, M., Sevilir, E., Söylemez, E. and Selçuk, M.K., 1971, Güneş enerjisi ve bazı yakıtlarla meyve ve sebze kurutulması, TÜBİTAK, Ankara, 175.
- Al-Hamdani, N., Al-Riahi, M. and Tahir, K., 1989, Estimation of diffuse fraction of daily and monthly average global radiation for Fudhaliyah Baghdad. *Solar Energy*, 42, 81-85.
- Al-Mahdi, N., Al-Baharna, N.S., 1991, Thermal performance of an n-pass solar air heaters. *Renewable Energy*, 1, 3-4, 527-532
- Al-Nimr, M.A., 1994, Dynamic behavior of cylindrical matrix solar air heater. *Renewable Energy*, 4, 5, 579-583.
- Al-Nimr, M.A., 1993, Transient behavior of a matrix solar air heater. *Energy Conversion and Management* 34, 8, 649-656.
- Al-Riahi, M. Al- Hamdani, N. and Tahir, K., 1992, An empirical method for estimation of hourly diffuse fraction of global radiation. *Renewable Energy*, 2, 451-456.

- Arata, A. Sharma, V.K. and Spagna, G., 1993, Performance evaluation of solar assisted dryers for low temperature drying application-II. Experimental results. *Energy Convers. Mgmt.*, 34, 5, 417-426.
- Arinze, E.A., Schoenau, G.J. and Sokhansanj, S., 1999, Design and experimental evaluation of a solar dryer for commercial high- quality hay production. *Renewable Energy* , 16, 639-642.
- ASHRAE, 1989, Handbook of fundamentals. American Society of Heating Refrigerating and Air- conditioning Engineers, Atlanta.
- Ayensu, A., 1997, Dehydration of food crops using a solar dryer with convective heat flow. *Solar Energy*, 59, 4-6, 121-126.
- Baldemir, F., 1986, Güneş enerjisi toplayıcıları (les Capteurs heliothermiques' den çeviri). Elazığ.
- Baldemir, F.,1992, Güneş ışıması, ısı dönüşüm ve uygulamaları (Le rayonnement solaria technique et documentation' den çeviri). Elazığ
- Barra, O.A. and Franceschi, L.,1982, The parabolic trough plants using black body receivers: experimental and theoretical analyses. *Solar Energy*, 28, 163-171.
- Bhargava, A. K., Garg, H. P. and Sharma, V.K., 1982, Evaluation of the performance of air heaters of conventional designs. *Solar Energy*, 29, 523.
- Becker, H.A. and Sallans, H.R., 1956, A study of internal moisture movement in the drying of wheat kernal. *Cereal Chemistry*, 32, 212-226.
- Beckman, W.A., 1968, Radiation and convection heat transfer in a porous bed. *Trans. ASME Journal of Engineering for power*, 51-54.
- Bevill, V. D. and Brandt, H. 1968, A solar energy collector for heating air. *Solar Energy*, 12, 1, 19-29.

- Bolin, H.R. and Stafford, A.E., 1974, Effect of processing and storage on provitamin A and C in apricots. *J. Food Sci.*, 30, 1034.
- Bolin, H.R., Stafford, A.E. and Huxsoll, C.C., 1978, Solar heated fruit dehydrator, *Solar Energy*, 20, 289-291,
- Bolin, H.R., Stafford, A. E. and Huxsoll, C.C., 1979, Solar trough dryer. *Solar Energy*, 22, 455-457.
- Cemeroğlu, B. and Acar, J., 1986, Meyve ve sebze işleme teknolojisi. Gıda Teknolojisi Derneği, yayın no:6 Ankara.
- Chakraverty, A. and De, D.S., 1981, Post-harvest technology of cereals and pulses. Oxford and IBH Publishing Co., New Delhi.
- Cheema, L.S., and Mannan, K.D., 1979, Performance of parallel flow packed bed air heaters. In *Proceedings of ISES Silver Jubilee Congress*, Boex K.W., and Glenn, B.N. Atlanta, GA, 259-263.
- Chiou, J.P., and El-Wakil, M.M., 1966, Heat transfer and Flow Characteristics of porous matrices with radiation as heat source. *J. Heat Transfer*, 88, 69-76.
- Chiou, J.P., El Wakil, M.M. and Duffie J.A., 1995, A slit and expanded aluminum- foil matrix solar collector. *Solar Energy*, 9, 2, 73-80.
- Choudhury, C., Garg, H.P., and Prakash, J., 1993, Transient analysis of rock bed air heaters for intermediate temperature applications. *International Journal of Energy Research* 17, 5, 377-392
- Choudhury, C., Chauhan, P.M., Garg, H.P., 1995b, Design curves for conventional solar air heaters. *Renewable Energy* 6, 7, 739-749.

- Choudhury, C., Chauhan, P.M., Garg, H.P., 1995a, Performance and cost analysis of two-pass solar air heaters. *Heat Recovery Systems and CHP*, 15, 8, 755-773.
- Choudhury, C., Andersen, S.L. and Rekstad, J., 1988, A solar air heater for low temperature applications. *Solar Energy*, 40, 4, 335- 343.
- Cole-Appel, B.E. and Haberstroh, R.D., 1976, Performance of air cooled flat plate collectors. *Solar Collectors*, Ed. K.W. Böer, Joint Conf. August 15th-20th Winnipeg.
- Collares-Periera, M. and Rabl, A., 1979, The average distribution of solar radiation correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values. *Solar Energy*, 22, 155.
- Collier, R.K., 1979, The characterization of crushed glass as a transpired air heating solar collector material. *Proc. Of Int. Solar Energy Society*, Atlanta, GA, 264-268.
- Collier, R. K. and Arnold, F.H., 1980, Comparison of transpired beds for solar collector applications. In *Proceedings of the Annual ISES Meeting*, 3, 451-455.
- Cartes, A. and Piacentini, R., 1990, Improvement of the efficiency of a bare solar collector by means of turbulence promoters. *Appl. Energy*, 36, 253-256.
- Coulson J.M. and Richardson, J.F., 1991, *Chemical Engineering Volume 2*, 4th Ed. Pergamon Press, Oxford.
- Demirel, Y. and Kunç, Ş., 1987, Thermal performance study of a solar air heater with packed flow passage. *Energy Convers. Mgmt.*, 27, 3, 317-325.
- Diab, M.R. and Pearson, J.T., 1982, Heat transfer characteristics of a solar heater incorporating a finned absorber. 4th Int. Conf. Mechanical Power Engineering, Paper No: III-14, Cairo.

- Diamante, L. M. and Munro, P.A., 1993, Mathematical modeling of the thin layer solar drying of sweet potato slices. *Solar Energy*, 51, 4, 274-276.
- Dixon, A.G. and Cresswell, D.I., 1979, *AIChE J*, 25, 663.
- Duffie, J.A., and L  f, G.O.G, 1962, Focusing solar collectors for power generation. World Power Conference, Paper 207 III. 7/5
- Duffie, J.A., 1962, New materials in solar energy utilization. *Solar Energy*, 6,3.
- Duffie, J.A., and Beckman, W.A., 1991, *Solar engineering of Thermal Processes*. John Wiley and Sons Inc, second edition, New York.
- Dunkle, R.W. and Ellul, W.H.J, 1972, Randomly packed particulate bed regenerators and evaporative coders. *Trans. of the Inst. Of Engineers(Australia)*, MC8, 117.
- Edenburn, M.W., 1976, Performance analysis of a cylindrical parabolic focusing collector and comparison with experimental results. *Solar Energy*, 18, 437-444.
- Edwards, E.K., Gier, J.T., Nelson, K. E. and Roddick, R.D., 1961, Spectral and directional thermal radiation characteristics of selective surfaces for solar collectors. *Proc. of the U.N. Conference on New Sources of Energy*, Rome.
- El-Tawil, Y.A., El-Abd, M.A., El-Weshain, G.A., 1992, Increased solar collectors efficiency with reversed-pass air flow system. *Int. Journal of Solar Energy*, 11,1-2,63-72
- Eltez, M., 1996, Simulation of thermal behavior for modular design of parabolic trough solar concentrators. *Proceedings of the First Trabzon International Energy and Environment Symposium*, July 29-31. Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey, 37-41.
- Enerji İstatistikleri, 1997, T  rkiye 7. Enerji Kongresi, 3-8 Kasım, Ankara.

- Erbs, D.G., Klein, S.A. and Duffie, J.A., 1982, Estimation of the diffuse radiation fraction for hourly, daily and monthly average global radiation. *Solar Energy*, 28, 293.
- Ergun, S., 1952, Fluid flow through packed columns. *Chem. Eng. Prog.* 68, 89.
- Farkas, I., Seres, I. and Mészáros, C.S., 1999, Analytical and experimental study of a modular solar dryer. *Renewable Energy*, 16, 773- 778.
- Fries, J.S., 1981, Solar lighting system, US Patent.
- Fohr, J. P. and Figuerido, A.R., 1987, Agricultural solar air collectors: design and performances. *Solar Energy*, 38, 5, 311-321.
- Garg, H.P., Jha, R., Choundhury, C., and Datta, G., 1991, Theoretical analysis on a new finned type solar air heater. *Energy*, 16, 10, 1231-1238.
- Goyal R.K., and Tiwari, G.N., 1997, Parametric study of a reverse flat plate absorber cabinet dryer: A new concept. *Solar energy*, 60, 1, 41-48.
- Göğüş, A.K., 1994, Kayısı ve kayısı mamulleri standartları ile ilgili görüşler. *Standard Kayısı Özel Sayısı*, 33, 86-93.
- Gupta D., 1994, Investigations on fluid flow and heat transfer in solar air heaters with roughened absorbers. Ph. D. Thesis University of Roorke, India.
- Gupta, D., Solanki, S.C. and Saini, J.S., 1997, Thermohydraulic performance of solar air heaters with roughened absorber plates. *Solar Energy*, 61, 1, 33-42.
- Gupta, C.L. and Garg, H. P., 1967, Performance studies on solar air heaters. *Solar Energy*, 11, 1, 25-31.

- Gupta, S. C., 1978, Effectiveness of packed- bed solar air heaters. *Solar Energy Int. Prog.*, vol 2.Ed. T.N. Veziroğlu, P.Press, 767.
- Hachemi, A.,1995, Thermal performance enhancement of solar air heaters, by fan-blown absorber plate with rectangular fins. *Int. J. Energy Research*, 19, 7.
- Hachemi, A.,1997, Thermal heat performance enhancement by interaction between the radiation and convection in solar air heaters. *Renewable Energy*, 12,4, 419-433.
- Hachemi, A., 1999a, Comparative study on the thermal performance of solar air heaters collectors with selective and non-selective absorber plate. *Renewable Energy*, 17, 103-112.
- Hachemi, A., 1999b, Experimental study of heat transfer and flow friction in solar air heaters with and without selective absorbers. *Renewable Energy*, 17, 155-168.
- Hallak, H., Hilal, J, Hilal, F and Rahhal R., 1996, The staircase solar dryer: design and characteristics. *Renewable Energy*, 7, 2, 177-183.
- Hamid Y.H., Beckman, W.A.,1971, Performance of air-goled radiatively heat screen matrices. *Journal of Engineering for Power. Trans. of the ASME*, 221-224.
- Han, J.C., 1984, Heat transfer and friction in channels with two opposite rib roughened walls. *Trans. ASME J. Heat Transfer*, 106, 774-781.
- Han, J.C., Glicksman, L. R. and Rohsenow, W. M, 1978, Heat transfer and friction for rib roughened surfaces. *Int J. Heat and Mass Transfer*, 21, 1143-1156.
- Hassab, M.A. and Sorour, M.M. 1989, Heat transfer studies in matrix-type solar air heaters. *Journal of Solar Energy Engineering*, 111, 82-87.

- Hassan, K.E., and El-Refal, M.F, 1973, Theoretical performance of cylindrical parabolic solar concentrators. *Solar Energy*, 15, 219-244.
- Hasatani, M., Itaya, Y. and Adachi, K., 1985, Heat transfer and thermal storage characteristics of optically semi-transparent material packed-bed solar air heaters. *Current Research in HTM, IIT Madras India*, 61-70.
- Hausen, H., 1943, Darstellung des warmenberanges in rohren durch verallgemeinerte potenzbeziehungen. *VDIZ*, 4, 91-98.
- Heaton, H.S., Reynolds, W.C. and Kats, W.M., 1964, Heat transfer in annular passages simultaneous development of velocity and temperature fields in laminar flow. *Int J. Heat and Mass Transfer* , 7, 763.
- Hegazy Adel, A., 1996, Optimization of Flow- channel depth for conventional flat-plate solar air heaters. *Renewable Energy* 7, 1, 15-21.
- Henderson. S. M. and Pabis, S., 1961, Grain drying theory: I. temperature effect on drying coefficient. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 6, 169-174.
- Hollands, K.G.T. , Unny, T.E., Raithby, G.D. and Konicek, L., 1976, Free convection heat transfer across inclined air layers. *Trans. ASME J. Heat transfer*, 98, 189-193.
- Hollands, K.G. T. and Shewen, E.C., 1989, Optimization of flow passage geometry for air heating plate type solar collectors. *ASME J. Solar Energy Engineering*, 103, 323-330.
- Hottel, H.C and Unger, T.A., 1959, The properties of a copper oxide- aluminum selective black surface absorber of solar energy. *Solar Energy*, 3,10.

- Hukill, W.V., 1947, Basic principles in drying corn and grain sorghum. *Agricultural Engineering*, 28, 8,335-338.
- Incropera, F.P. and DeWitt, D.P., 1985, *Fundamentals of heat and mass transfer*, Wiley, New York.
- Kalogirou, S., Lloyd, S. and Ward, J., 1997, Modeling optimization and performance evaluation of a parabolic trough solar collector steam generation system. *Solar Energy*, 60, 49- 59.
- Kalra, S.K. and Bhardwaj, K.C., 1981, Use of simple solar dehydrator for drying fruit and vegetable products. *J. Food Sci. Technol (India)*, 18, 23.
- Kays, W.M. and Crawford, M.E.,1980, *Convective heat and Mass transfer*. 2nd Ed. McGraw-Hill, New York.
- Kılıç, A. ve Öztürk, A, 1983, *Güneş enerjisi*, Kipaş Dağıtımçılık, İstanbul
- Kılış, B., 1981, *Solar energy assisted crop and fruit drying systems: Theory and Applications*, METU, Ankara, 333.
- Kolb, A., Winter, E.R.F. and Viskanta R, 1999, Experimental studies on a solar air collector with metal matrix absorber. *Solar Energy*, 65, 2, 91-98.
- Krider, J.F., 1979. *Medium and high temperature solar processes*. Academic Press, New York.
- Krider J.F. and Kreith., 1981, *Solar energy handbook*. Mc Graw Hill, New York
- Lansing, F.L., Clarke, V. and Reynolds, R., 1979, A high performance porous flat plate solar collector. *Energy*, 4, 685-694.

- Lewis, W. K., 1921, The rate of drying of solid materials. *Industrial and Engineering Chemistry*, 13, 427-432.
- Liu, V.D., Diaz, L.A., and Suryanarayana, N.V., 1984, Heat transfer enhancement in air heating Flat-plate solar collectors. *J. Solar Energy Engineering*, 106, 358-363.
- Liu B.Y.H. and Jordan, R.C., 1960, The interrelationship and characteristics distribution of direct, diffuse and total solar radiation, *Solar Energy*, 4, 3, 1-19.
- Löf, G.O.G., Fester, D.A., and Duffie, J.A., 1962, Energy balance on a parabolic cylinder solar reflector. *Trans. ASME, J. Engrg. for Power.*, 84A, 24.
- McAdams, W.H., 1954, Heat transmission. 3rd ed. McGraw-Hill, New York.
- McCabe, W.L. and Smith, J.C., 1976, Unit operations of chemical engineering. Third edition, McGraw-Hill Book Company.
- McLean, B.L., 1989, Solar collector device, US. Patent.
- Mercer, W.E., Pearce, W.M. and Hitchcock, J.E., 1967, Laminar forced convection in the entrance region between parallel flat plates. *Trans. ASME J. Heat Transfer*, 89, 251.
- Metwally, M.N., Abou-Ziyan, H.Z and El-Leathy, A.M., 1997, Performance of advanced corrugated-duct solar air collector compared with five conventional designs. *Renewable Energy*, 10, 4, 519-537.
- Mirsha, C.B. and Sharma, S.P., 1981, Performance study of air-heater packed-bed solar energy collector. *International Journal of Energy*, 6, 153-157.

- Murphy, L.M. and May, E.K., 1982, Steam generation in line-focus solar collectors: a comparative assessment of thermal performance, operating stability, and cost issues. SERI/TR-1311.
- Niles, P.W., Carnegie, E.J., Pohl, J.G. and Cherne, J.M., 1978, Design and performance of an air collector for industrial crop dehydration. *Solar Energy*, 20, 19-23.
- Nusselt, W., 1931, Der warmaustausch zwischen wand und wasser im rohr. *Forsch. Geb. Ingenieurwes*, 2, 309.
- O'Brien-Bernini, F.C. and McGowan, J.G., 1984, Performance modeling of non-metallic flat plate solar collectors. *Solar Energy*, 33, 3/4, 305-319.
- Ong, K.S., 1988, Guidelines for design of cabinet-type greenhouse-type and forced convection indirect type solar dryers. Report submitted to FAO, Thailand.
- Orgill, J.F. and Hollands, K.G.T., 1977, Correlation equation for hourly diffuse radiation on a horizontal surface. *Solar Energy*, 19, 357.
- Page, G.E., 1949, Factors influencing the maximum rates of air-drying shelled corn in thin layers. M.S. Thesis. M.E. Dept. Purdue.
- Page, J.K., 1964, The estimation of monthly mean values of daily total short-wave radiation of vertical and inclined surfaces from sunshine records for latitudes 40°N- 40°S. *Proc. Of the UN Conference on New Sources of Energy*, 4, 378.
- Parker, B.F., Lindley, M.R., Colliver, D.G. and Murphy, W.E., 1993, Thermal performance of three solar air heaters. *Solar Energy*, 51, 6, 467-479
- Pawar, R.S., Takwale, M.G., and Bhide, V.G., 1995, Solar drying of custard powder. *Energy Convers. Mgmt.* 36, 11, 1085-1096.

- Perry, R.H. and Green, D.W., 1984, Perry's Chemical Engineer' Handbook. 6th ed. McGraw-Hill, New York.
- Piao, V., Hauptmann, E.G., and Iqbal, M., 1994, Forced convective heat transfer in cross-corrugated solar air heaters. Journal Energy Engineering, Trans. of the ASME, 116, 4, 212-214.
- Prasad, B.N., and Saini, J.S., 1988, Effect of artificial Roughness on heat transfer and friction factor in solar air heater. Solar Energy, 41, 555-560
- Prasad, B.N., and Saini, J.S., 1993, Comparative performance study of packed bed solar air heaters. In Proceedings of The Eight ISME Conference IIT, Delhi, India, 190-197
- Prasad, B.N and Saini, J.S., 1988, Thermo-hydraulic optimization of artificially roughened solar air heaters. Proc. NSEC, Solar Energy Society of India, Hyderabad.
- Rabl, A., 1979, Prism with total internal reflection as solar reflectors. Solar Energy, 19, 555
- Rabl, A., 1976, Comparison of solar concentrators. Solar Energy, 18, 93-111.
- Rabl, A., 1985, Active solar collectors and Their Applications, Oxford University Press
- Reus, M., Benkert, S.T., Aeberhard, A., Martina, P., Raush, G.F., Rentzell, B.V. and Sogari, N., 1997, Modeling and experimental investigation of a plot plant for solar wood drying. Solar Energy, 59, 4-6, 259-270.
- Riendl, D.T., Beckman, W.A. and Duffie, J.A., 1990, Diffuse fraction correlations. Solar Energy, 45, 1.
- Roa, G. and Macedo, I.C., 1976, Grain drying in stationary bins with solar heated air. Solar Energy, 18, 445-449.

- Rohsenow, W.M. and Choi, H., 1961, Heat, mass and momentum transfer. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1961
- Rommel, M. and Moock. W., 1997, Collector efficiency factor F' for absorbers with rectangular fluid ducts contacting the entire surface. Solar Energy, 60, 3/4, 199-207.
- Ross, I.J. and White, G.M., 1972, Thin layer drying characteristics of white corn. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 15, 175-177.
- Ruth, D.W. and Chant, R.E., 1976, The relationship of diffuse radiation to total radiation to Canada. Solar Energy, 18, 153.
- Sabbah, M.A., Keener, H.M. and Meyer, G.E., 1977, Simulation of solar grain drying using the logarithmic model. Page Number: 77-3012. American society of Agricultural engineers, St. Joseph, Michigan.
- Sarsilmaz, C., Yıldız, C. and Pehlivan, D., 2000, Drying of apricots in a rotary column cylindrical dryer (RCCD) supported with solar energy. Renewable Energy, 21, 117-127.
- Satcunanathan, S. and Deonarine, S., 1973, A two-pass solar air heater. Solar Energy, 15, 41-49.
- Sayigh, A.A.M., 1977, Solar energy engineering. Academic Press, Inc. Orlando.
- Schirmer, P., Janjai, S., Esper, A., Smitabhindu, R. and Mühlbauer, W., 1996, Experimental investigation of the performance of the solar tunnel dryer for drying bananas. Renewable Energy, 7, 2, 119-129.
- Selçuk, M.K., Ersay, Ö. and Akyurt, M., 1974, Development theoretical analysis and performance evaluation of shelf type solar dryers. Solar Energy, 16, 81-88.
- Sharma S.P., Saini, J.S. and Varma, H.K., 1991, Thermal performance of packed-bed solar air heaters. Solar Energy, 47, 2, 59-67.

- Sharma, V. K., Colangelo, A. and Spagna, G., 1995, Experimental investigation of different solar dryers suitable for fruit and vegetable drying. *Renewable energy*, 6,4, 413- 424.
- Shomaker, M.J.,1961, Notes on a solar collector with unique air permeable media. *Solar Energy*, 5, 138-141.
- Sims, W.H., 1982, Evacuated envelope and solar energy receiver. US patent.
- Sodha, M.S. and Chandra, R., 1994, Solar drying systems and their testing procedures: a review. *Energy Convers. Mgmt.* 35, 3, 219-267.
- Sorour, M.M. and Hassab, M.A., 1986, A screen type solar air heater. In *Proc. of the Eighth International Heat transfer Conference*, 6, 3097-3103.
- Soulayman, S.S., 1991, Theoretical and experimental study of a two-channel air heater with perforated first absorber. *Renewable Energy*, 1,3-4, 331-334.
- Stanhill, G., 1966, Diffuse sky and cloud radiation in Israel. *Solar Energy*, 10,2,69.
- Swartman, R. K. and Ogunlade, O., 1966, An investigation of packed bed collectors, *Solar Energy*, 10, 106-110.
- Tırıs, Ç., Tırıs, M. and Dinçer, İ., 1995, Investigation of the thermal efficiencies of a solar dryer. *Energy Conversion and Management*, 36,3, 205-212.
- Tırıs, M., Tırıs, Ç., Erdallı, Y., 1997, Güneş enerjili su ısıtma sistemleri, Tübitak-MAM, Gebze-Kocaeli.
- Tong, L.S and London, A.L.,1957, Heat Transfer and flow friction Characteristics of woven screen and cross-rod matrixes, 79, 1558-1570.
- Treybal R.E., 1981. *Mass transfer Operations* 3rd Ed. McGraw-Hill Inc., New York.

- Tuller, S.E., 1976, The relationship between diffuse, total and extraterrestrial solar radiation. *Solar Energy*, 18, 259.
- Uroshevich, M., 1981, Solar collector. US Patent.
- Ültanır, M. Ö., 1975, Türkiye köy ve çiftliklerinde güneş enerjisinden faydalanma imkânları üzerine bir araştırma, Ankara Üniv. Ziraat Fak. 561. Ankara, 109.
- Van Arsdel, W.B., and Copley, M.J, 1963, Food Dehydration vol.1. Principles, Avi Publishing Co., Westport, Conn.
- Varshney, L. and Saini, J.S., 1998, Heat transfer and friction factor correlations for rectangular solar air heater duct packed with wire mesh screen matrices. *Solar Energy*, 62,4, 255-262.
- Verma, R., Chandra, R., and Garg H.P., 1991, Parametric studies on the corrugated solar air heaters with and without cover. *Renewable Energy*, 1,3-4,361-371.
- Verma, R., Chandra, R. and Garg, H.P., 1992, Optimization of solar air heaters of different designs. *Renewable Energy*, 2,4-5,521-531.
- Vishwanathan, V., 1983, Gas solid operations in fluidized beds. Ph. D. thesis, IIT Delhi.
- Watmuff, J.H., Charters, W.M.S. and Proctor, D., 1977, Solar and wind induced external coefficients for solar collectors. *COMPLES*, 2,56.
- Webb, R.L., and Eckerts, E.R.G., 1972, Application of Rough Surfaces to heat exchanger design. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 15, 1647-1658.
- Wijeysundera, N.E., 1977, Effect of angular misorientation on the performance of conical, spherical and parabolic solar concentrators. *Solar Energy*, 19,5783-5788.
- Wijeysundera, N.E., Ah, L.L. and Tijoe, L.E., 1982, Thermal performance study of two pass solar heaters. *Solar Energy*, 28, 363.
- Woodworth, R. N. and Ulf, B., 1978, Non-tracking solar energy collector. US patent.

- Wong, H.Y.,1977, Handbook of essential formula and data on heat transfer for engineers. Longman, London, 1977.
- Wright, B., and Mason, J.J., 1978, Field performance of certain selective and neutral surface in solar collector. Sun Mankind' s Future Source of Energy., 2,1082-1084.
- Yeh, H.M 1992, Theory of baffled solar air heaters. Energy, 17,7,697-702.
- Yeh, H.M and Lin, T.T , 1996a, Efficiency improvement of flat-plate solar air heaters. Energy, 21,6,435-443.
- Yeh, H.M and Lin, C.Y., 1996b, The effect of collector aspect ratio on the collector efficiency of upward-type flat-plate solar air heater. Energy, 21, 10, 843-850.
- Yücecan, S., 1994, Kayısın beslenmemizdeki yeri ve önemi, Standard Kayısı Özel Sayısı, 33, 61-63.
- Zaman, M.A. and Bala, B.K.,1989, Thin layer solar drying of rough rice. Solar Energy, 42, 2, 167-171.

13. EKLER

Ek 1. Doğal Konveksiyon Dency Sonuçları

Tablo E1.1. $\phi=28.4$ eğim açısında doğal konveksiyonda giriş, çıkış, çevre sıcaklıkları ve anlık direkt ışıma (W/m^2)

Saatler	T_i	T_e	T_a	Anlık Direkt Işıma (W/m^2)
08:00	38.0	51.6	27.3	146.53
08:15	35.5	61.8	27.9	196.51
08:30	36.7	75.6	29.3	222.10
08:45	44.5	90.2	29.6	239.01
09:00	42.5	95.6	28.5	258.21
09:15	43.6	99.3	28.9	330.05
09:30	42.6	112.5	29.1	351.54
09:45	44.7	110.7	30.3	370.27
10:00	42.8	126.6	29.4	394.52
10:15	44.8	126.0	29.5	498.25
10:30	49.5	123.6	32.3	525.60
10:45	62.8	128.3	32.5	540.27
11:00	52.0	127.9	34.0	560.28
11:15	57.0	117.2	33.5	649.51
11:30	52.0	130.4	35.0	670.70
11:45	48.4	124.2	34.0	679.79
12:00	40.8	148.4	35.0	692.66
12:15	53.0	140.4	34.8	769.51
12:30	48.2	131.8	34.7	779.38
12:45	50.0	127.9	35.3	767.04
13:00	58.0	116.8	35.1	774.44
13:15	45.0	115.0	35.7	771.15
13:30	56.1	121.0	36.3	755.51
13:45	52.2	105.2	36.5	746.46
14:00	46.0	116.9	34.8	755.51
14:30	48.6	128.1	35.3	704.49
15:00	56.5	145.1	35.2	683.09
15:30	60.9	143.7	35.5	587.62
16:00	51.8	102.5	34.0	503.68
16:30	54.0	75.0	33.8	428.78
17:00	51.0	65.0	33.9	325.09

Tablo E1.2. $\phi=33.4$ eğim açısında doğal konveksiyonda giriş, çıkış, çevre sıcaklıkları ve anlık direkt ışıma (W/m^2)

Saatler	T_i	T_e	T_a	Anlık Direkt Işıma (W/m^2)
08:00	39.8	50.3	29.1	120.88
08:15	40.0	61.8	29.6	179.03
08:30	45.2	74.7	29.8	199.22
08:45	42.3	88.3	30.1	219.86
09:00	48.0	93.6	29.2	241.85
09:15	52.2	93.5	29.1	332.28
09:30	45.6	106.3	29.0	356.70
09:45	53.2	107.2	29.8	376.58
10:00	43.7	119.0	30.1	391.35
10:15	45.8	121.0	31.7	465.12
10:30	49.2	118.2	32.1	491.61
10:45	61.7	123.2	32.4	505.82
11:00	52.0	109.8	32.5	525.20
11:15	55.0	105.0	33.0	560.09
11:30	54.4	127.6	33.1	578.97
11:45	48.4	117.1	33.2	587.05
12:00	40.8	132.2	33.3	593.12
12:15	40.2	130.0	33.3	726.71
12:30	44.5	101.6	34.6	735.76
12:45	57.0	105.7	34.7	734.94
13:00	46.9	106.7	35.7	732.47
13:15	53.8	102.5	34.4	726.71
13:30	61.3	110.5	36.7	713.54
13:45	55.8	93.6	34.6	714.36
14:00	43.3	107.0	35.2	700.37
14:15	54.3	114.7	36.9	664.98
14:30	46.4	124.0	35.5	649.35
14:45	45.4	138.1	36.0	618.90
15:00	53.7	140.8	36.1	592.56
15:15	49.6	153.7	35.9	563.76
15:30	65.6	137.6	37.2	531.66
15:45	54.2	108.0	37.3	480.63
16:00	50.5	99.6	37.5	458.41
16:15	47.0	84.4	37.8	409.85
16:30	51.0	72.6	36.4	384.34
16:45	55.5	68.3	36.7	344.84
17:00	47.7	64.8	37.7	314.39

Tablo E1.3. $\phi=38.4$ eğim açısında doğal konveksiyonda giriş, çıkış, çevre sıcaklıkları ve anlık direkt ısıma (W/m^2)

Saatler	T_i	T_c	T_a	Anlık Direkt Isıma (W/m^2)
08:00	33.4	46.2	27.0	138.65
08:15	32.1	51.2	26.0	245.70
08:30	32.4	58.7	28.0	269.72
08:45	36.8	64.5	28.8	295.93
09:00	33.9	67.6	29.0	325.42
09:15	36.1	71.1	29.5	381.47
09:30	35.1	74.0	29.9	408.71
09:45	35.1	76.6	29.5	435.96
10:00	36.4	78.7	30.4	455.94
10:15	36.0	73.8	30.5	581.54
10:30	37.5	73.4	30.7	611.06
10:45	35.7	70.7	31.4	630.25
11:00	37.6	73.0	32.0	644.27
11:15	37.1	67.2	32.2	714.71
11:30	38.3	71.1	32.5	728.22
11:45	38.8	74.4	33.7	734.58
12:00	45.0	78.0	34.4	734.58
12:15	39.3	68.4	35.8	765.39
12:30	39.4	75.3	36.7	785.14
12:45	39.5	76.9	37.7	801.60
13:00	39.3	83.0	38.0	781.85
13:15	39.6	77.0	38.6	774.44
13:30	42.3	71.5	38.3	764.57
13:45	48.1	80.2	38.1	742.35
14:00	45.1	75.2	35.0	730.82
14:15	39.3	81.4	36.1	709.43
14:30	47.4	82.5	35.4	690.50
14:45	47.2	99.7	35.2	658.40
15:00	47.6	102.5	35.1	636.18
15:15	46.0	114.1	34.7	609.02
15:30	62.0	101.8	35.5	576.10
15:45	56.9	89.6	35.6	536.60
16:00	51.7	80.4	35.5	509.44
16:15	48.0	71.8	35.6	460.88
16:30	50.4	62.1	34.9	429.61
16:45	49.2	56.7	36.5	388.46
17:00	43.6	54.3	36.2	325.91

Tablo E1.4. $\phi=28.4$ eğim açısında seçici yüzeyli absorber için doğal konveksiyonda giriş, çıkış, çevre sıcaklıkları ve anlık direkt ısıma (W/m^2)

Saatler	T_i	T_e	T_a	Anlık Direkt Isıma (W/m^2)
08:00	23.2	48.6	22.3	117.19
08:15	24.0	60.5	22.5	167.43
08:30	25.1	70.6	23.0	191.49
09:00	29.1	89.3	23.4	237.64
09:30	36.8	103.8	23.5	335.16
10:00	37.9	105.6	25.2	377.50
10:30	33.8	102.1	24.6	473.99
11:00	37.8	116.2	25.6	511.50
11:15	45.6	118.4	25.9	571.67
11:30	52.3	122.1	26.2	582.86
11:45	53.4	123.7	26.2	591.07
12:00	48.5	133.2	26.3	607.49
12:15	45.6	126.9	26.5	670.75
12:30	52.3	127.7	26.7	671.57
12:45	53.6	112.5	27.7	669.10
13:00	44.8	109.1	28.7	658.40
13:15	43.4	118.9	27.2	654.31
13:30	42.8	121.8	28.4	652.67
13:45	48.2	103.6	28.6	627.19
14:00	40.6	112.4	28.5	613.21
14:30	41.8	110.6	29.7	544.83
15:00	39.8	123.1	28.7	507.79
15:30	38.9	117.0	27.8	442.77
16:00	39.0	91.7	28.7	383.52
16:30	37.1	70.1	28.2	304.51
17:00	36.5	63.2	27.4	223.86

Ek.1.1. Doğal Konveksiyonda Dolgu Malzemesi Kullanıldığı Deneylerin Sonuçları

Tablo E1.5. $\phi=28.4$ eğim açısında 14 sargı Al teli dolgu kullanıldığı durum için doğal konveksiyonda giriş, çıkış, çevre sıcaklıkları ve anlık direkt ısıma (W/m^2)

Saatler	T_i	T_e	T_s	Anlık Direkt Isıma (W/m^2)
08:00	38.6	38.8	28.6	130.90
08:15	37.6	41.0	28.5	171.63
08:30	39.1	41.3	29.6	189.72
08:45	38.6	47.6	29.3	211.78
09:00	40.5	48.5	29.5	230.75
09:15	43.4	56.2	30.1	343.74
09:30	47.6	58.2	29.7	370.64
09:45	46.5	61.4	30.7	392.75
10:00	45.7	67.5	30.4	413.08
10:15	45.2	77.4	30.8	502.54
10:30	50.2	66.0	32.1	526.07
10:45	47.5	72.4	32.8	538.53
11:00	53.5	74.3	32.4	558.61
11:15	51.6	93.0	33.3	641.26
11:30	48.6	83.3	33.5	652.85
11:45	46.6	98.6	34.0	660.57
12:00	47.8	96.3	34.1	675.25
12:15	46.9	89.3	35.6	740.70
12:30	47.4	107.7	35.1	742.35
12:45	44.6	111.4	33.6	767.04
13:00	44.6	110.0	34.1	762.92
13:15	42.6	94.9	33.4	738.23
13:30	44.1	97.3	34.2	719.30
13:45	41.6	103.8	33.5	706.96
14:00	44.8	95.4	34.3	688.85
14:15	42.5	108.1	33.9	672.39
14:30	42.0	110.0	34.9	666.63
14:45	43.5	125.0	34.5	641.94
15:00	45.2	116.9	35.3	635.36
15:15	46.2	98.7	35.6	604.08
15:30	43.3	104.4	35.6	545.65
15:45	46.2	81.0	35.9	513.55
16:00	43.8	86.3	37.0	524.25
16:15	45.6	77.0	34.7	418.91
16:30	42.8	68.2	35.2	381.05
16:45	43.0	62.5	34.4	337.43
17:00	42.6	59.1	35.3	288.05

Tablo E1.6. $\phi=28.4$ eğim açısında 10 sargı Al teli dolgu kullanıldığı durum için doğal konveksiyonda giriş, çıkış, çevre sıcaklıkları ve anlık direkt ısıma (W/m^2)

Saatler	T_i	T_c	T_a	Anlık Direkt Isıma (W/m^2)
08:00	23.6	38.3	22.0	145.44
08:30	27.4	53.2	22.1	183.28
09:00	32.6	62.4	22.3	222.94
09:30	39.8	66.8	22.7	343.79
10:00	43.9	71.2	23.0	379.46
10:30	46.1	76.4	23.2	492.68
11:00	43.7	93.4	23.6	526.19
11:15	40.3	102.7	23.8	613.12
11:30	41.2	104.0	24.2	595.73
11:45	42.1	94.1	24.5	606.31
12:00	44.6	90.3	24.7	612.36
12:15	42.5	102.3	24.9	672.39
12:30	42.2	94.5	25.1	680.62
12:45	44.6	92.7	25.6	674.04
13:00	46.4	85.7	25.3	668.28
13:15	37.1	97.4	25.3	676.51
13:30	48.2	102.1	26.7	655.11
13:45	41.3	103.2	27.8	628.77
14:00	38.6	97.6	28.3	600.79
14:30	37.8	84.9	26.9	547.39
15:00	40.8	85.3	26.4	522.06
15:30	38.9	80.1	27.4	446.89
16:00	37.6	71.4	27.8	384.34
16:30	36.5	67.3	27.4	322.62
17:00	35.2	57.8	27.6	244.43

Tablo E1.7. $\phi=28.4$ eğim açısında 6 sargı Al teli dolgu kullanıldığı durum için doğal konveksiyonda giriş, çıkış, çevre sıcaklıkları ve anlık direkt ısıma (W/m^2)

Saatler	T_i	T_e	T_a	Anlık Direkt Isıma (W/m^2)
08:00	22.6	45.6	17.0	125.93
08:30	26.3	51.4	17.1	187.83
09:00	27.3	56.7	16.8	226.29
09:30	25.2	77.5	17.3	346.47
10:00	29.7	81.8	18.5	382.29
10:30	28.3	76.7	18.4	504.49
11:00	30.3	74.4	18.5	527.65
11:15	30.9	85.7	20.4	610.74
11:30	33.2	90.6	20.9	592.64
11:45	30.4	82.3	20.1	606.22
12:00	31.2	84.8	21.4	609.23
12:15	32.3	91.6	20.6	674.04
12:30	33.5	100.1	20.6	672.39
12:45	36.7	100.0	20.7	670.75
13:00	33.6	98.6	20.4	667.45
13:15	33.4	103.7	21.8	672.39
13:30	32.5	96.7	22.0	646.88
13:45	30.7	95.8	21.2	620.54
14:00	32.8	90.1	22.0	598.32
14:30	30.3	101.5	21.4	544.83
15:00	27.9	91.1	21.5	522.61
15:30	29.6	80.4	22.0	445.24
16:00	30.1	70.1	22.6	380.23
16:30	32.1	64.2	22.8	320.97
17:00	30.7	51.0	23.0	242.79

Tablo E1.8. $\phi=28.4$ eğim açısında 14 sargı Al teli dolgu ve seçici yüzeyli absorber kullanıldığı durum için doğal konveksiyonda giriş, çıkış, çevre sıcaklıkları ve anlık direkt ışıma (W/m^2)

Saatler	T_i	T_c	T_a	Anlık Direkt Işıma (W/m^2)
08:00	33.3	39.7	23.7	116.97
08:15	33.2	48.8	24.2	182.04
08:30	34.3	52.1	24.7	206.15
08:45	37.0	53.7	23.7	231.73
09:00	42.1	51.5	24.4	250.92
09:15	41.3	59.4	24.5	379.49
09:30	44.8	59.6	25.1	408.26
09:45	44.5	67.3	26.7	438.40
10:00	44.6	88.4	27.0	468.54
10:15	43.4	84.5	27.2	495.05
10:30	44.0	75.8	27.4	516.61
10:45	45.1	77.8	27.9	531.90
11:00	42.5	80.7	27.9	548.59
11:15	44.8	95.6	28.9	616.55
11:30	46.7	85.6	28.4	635.70
11:45	45.5	100.3	29.5	650.25
12:00	45.1	98.7	29.6	654.08
12:15	42.5	96.5	28.7	706.06
12:30	49.2	110.7	30.1	701.96
12:45	50.3	118.6	30.5	690.46
13:00	47.5	114.6	30.7	697.03
13:15	48.2	95.6	30.0	692.14
13:30	45.6	102.3	30.2	675.68
13:45	46.1	108.3	30.2	662.52
14:00	44.3	102.6	29.9	641.12
14:15	50.6	110.8	30.8	617.25
14:30	43.6	115.2	31.2	594.21
14:45	48.7	117.3	31.1	571.16
15:00	43.2	120.2	30.2	532.48
15:15	43.3	100.5	30.6	494.62
15:30	45.5	106.4	31.1	466.64
15:45	43.3	84.3	31.2	433.72
16:00	43.4	88.3	30.9	392.57
16:15	43.3	79.1	31.2	361.30
16:30	43.6	70.2	30.8	319.32
16:45	44.0	65.3	31.2	283.94
17:00	41.6	61.2	30.5	251.84

Tablo E1.9. $\phi=28.4$ eğim açısında 10 sargı Al teli dolgu ve seçici yüzeyli absorber kullanıldığı durum için doğal konveksiyonda giriş, çıkış, çevre sıcaklıkları ve anlık direkt ışıma (W/m^2)

Saatler	T_i	T_c	T_a	Anlık Direkt Işıma (W/m^2)
08:00	27.0	40.3	22.1	149.49
08:30	31.0	55.6	22.7	205.76
09:00	35.0	66.3	22.9	255.64
09:30	40.0	70.4	23.2	331.07
10:00	44.1	77.5	23.6	373.70
10:30	45.2	80.3	23.0	448.41
11:00	43.4	97.8	23.5	488.42
11:15	41.3	107.6	24.1	660.80
11:30	40.4	107.0	24.7	637.60
11:45	42.1	96.7	24.2	649.60
12:00	44.5	92.3	24.3	656.80
12:15	42.6	105.4	25.0	626.44
12:30	42.3	97.0	24.2	651.15
12:45	44.5	93.0	25.7	693.39
13:00	46.5	88.0	25.3	682.23
13:15	35.4	103.0	25.2	616.28
13:30	49.2	105.0	27.8	650.18
13:45	41.1	106.0	28.7	657.72
14:00	38.6	100.0	26.8	646.42
14:30	37.8	86.8	26.6	577.75
15:00	40.8	89.2	26.9	533.30
15:30	39.2	81.2	27.4	450.18
16:00	38.7	73.4	27.8	393.39
16:30	36.5	69.2	27.5	302.86
17:00	34.5	60.1	27.3	223.03

Tablo E1.10. $\phi=28.4$ eğim açısında 6 sargı Al teli dolgu ve seçici yüzeyli absorber kullanıldığı durum için doğal konveksiyonda giriş, çıkış, çevre sıcaklıkları ve anlık direkt ısıma (W/m^2)

Saatler	T_i	T_c	T_a	Anlık Direkt Isıma (W/m^2)
08:00	22.8	46.7	17.6	134.99
08:30	26.7	52.8	18.0	192.26
09:00	27.8	58.4	18.2	231.52
09:30	26.2	78.4	18.5	351.48
10:00	29.3	83.0	19.0	387.39
10:30	29.3	90.2	19.2	503.36
11:00	31.3	82.3	19.3	528.82
11:15	31.9	93.4	19.7	607.37
11:30	33.8	94.1	19.9	587.83
11:45	31.4	93.8	20.1	602.11
12:00	31.7	90.4	20.5	605.12
12:15	32.8	98.4	20.8	670.75
12:30	33.8	93.4	21.0	669.10
12:45	37.7	100.5	20.7	668.28
13:00	34.6	95.6	21.3	665.81
13:15	34.4	94.7	21.8	668.28
13:30	32.8	100.4	22.0	643.59
13:45	31.7	97.8	21.7	618.90
14:00	33.8	88.6	21.9	596.68
14:30	30.7	82.1	22.2	541.53
15:00	32.8	76.5	21.4	518.49
15:30	30.3	71.3	21.6	442.77
16:00	27.9	68.4	21.8	377.76
16:30	29.6	61.5	22.0	314.39
17:00	30.1	54.3	22.1	244.43

Tablo E1.11. $\phi=28.4$ eğim açısında 14 sargı Al teli dolgu ve dışa siyal Al tel sarımı ile elde edilen absorber için doğal konveksiyonda giriş, çıkış, çevre sıcaklıkları ve anlık direkt ışıma (W/m^2)

Saatler	T_i	T_c	T_a	Anlık Direkt Işıma (W/m^2)
08:00	32.0	35.0	23.6	130.85
08:15	31.6	42.4	24.6	197.05
08:30	33.1	40.5	24.6	220.03
08:45	34.6	40.6	24.5	240.96
09:00	36.9	46.7	24.3	262.91
09:15	39.1	48.5	24.9	364.01
09:30	39.1	51.7	25.1	385.20
09:45	44.4	57.8	25.4	411.52
10:00	40.4	59.3	26.2	441.05
10:15	45.9	78.2	26.9	593.78
10:30	41.0	58.8	27.1	630.63
10:45	44.0	76.0	26.8	639.64
11:00	43.0	75.4	27.7	663.39
11:15	42.5	70.5	27.6	606.86
11:30	49.2	60.4	27.9	617.15
11:45	46.0	49.2	28.0	628.90
12:00	41.8	69.5	28.8	639.19
12:15	41.0	87.4	28.4	723.42
12:30	46.3	75.0	29.4	721.77
12:45	44.0	63.8	28.2	721.77
13:00	43.8	65.7	29.8	715.19
13:15	43.2	69.7	29.8	708.60
13:30	43.3	86.7	29.8	698.73
13:45	45.7	80.1	28.8	676.51
14:00	44.0	68.0	29.9	649.35
14:15	44.6	89.9	30.1	625.48
14:30	46.4	67.4	30.6	594.21
14:45	48.4	83.7	29.4	576.10
15:00	43.0	77.0	30.0	548.94
15:15	43.3	71.7	30.4	513.55
15:30	42.0	61.1	29.5	479.81
15:45	41.8	59.0	29.2	445.24
16:00	43.8	56.7	30.1	402.45
16:15	41.4	56.5	29.5	372.00
16:30	42.5	52.3	29.7	325.91
16:45	41.7	50.7	30.1	297.93
17:00	41.1	47.8	29.5	279.82

Ek.2. Zorlanmış Konveksiyon Deney Sonuçları

Tablo E2.1. Zorlanmış Konveksiyonda $\phi=28.4$ Eğim Açısı ve 70 Kg/Saat Hava Debisinde İçin Absorber Boyunca Ölçülen Sıcaklıklar ve Anlık Direkt Işıma (W/m^2)

Saatler	T_1 (giriş)	T_2	T_3 (orta)	T_4	T_5 (çıkış)	T_a (çevre)	Anlık Direkt Işıma (W/m^2)
08:00	27.3	29.1	30.2	33.3	36.7	26.0	190.03
08:30	28.2	30.9	32.2	36.7	42.8	26.0	278.81
09:00	29.0	32.6	34.4	40.1	46.0	26.0	326.35
09:30	30.6	35.3	37.6	46.4	55.0	26.0	439.65
10:00	31.7	37.0	39.2	48.6	56.3	27.0	486.53
10:30	32.6	38.2	40.9	50.4	57.3	28.2	626.25
11:00	32.9	39.2	42.2	52.6	63.4	29.5	669.00
11:30	33.7	39.8	42.4	52.9	63.7	29.0	759.91
12:00	35.8	40.5	43.4	54.9	62.4	30.5	778.66
12:30	35.5	41.6	44.1	55.3	66.0	31.0	802.43
13:00	35.6	41.6	44.4	54.0	66.4	31.0	798.31
13:30	37.2	42.0	44.3	53.9	64.5	30.8	783.50
14:00	36.5	41.8	44.1	52.2	63.0	31.5	756.34
14:30	36.4	42.8	47.1	54.3	60.2	32.0	715.19
15:00	36.4	43.8	49.7	57.3	68.8	33.0	674.86
15:30	36.8	42.3	46.9	61.4	72.6	33.0	616.43
16:00	35.8	40.2	43.0	51.2	60.0	33.0	547.30
16:30	36.6	40.3	41.9	45.7	50.9	33.0	465.00
17:00	37.0	40.2	40.9	44.7	48.2	33.0	396.69

Tablo E2.2. Zorlanmış Konveksiyonda $\phi=28.4$ Eğim Açısı ve 60 Kg/Saat Hava Debisinde İçin Absorber Boyunca Ölçülen Sıcaklıklar ve Anlık Direkt Işıma (W/m^2)

Saatler	T_1 (giriş)	T_2	T_3 (orta)	T_4	T_5 (çıkış)	T_a (çevre)	Anlık Direkt Işıma (W/m^2)
08:00	26.2	29.2	30.6	34.1	37.8	23.0	187.05
08:30	26.4	29.5	31.3	36.3	44.2	24.0	285.08
09:00	27.6	32.3	34.8	41.8	48.3	24.0	333.40
09:30	29.0	34.7	37.3	48.1	55.7	25.0	457.89
10:00	30.3	36.2	38.9	49.8	57.3	27.0	506.43
10:30	30.2	36.7	39.7	51.0	58.5	27.8	636.72
11:00	31.2	38.4	41.0	52.5	61.5	29.0	676.14
11:30	32.5	39.3	42.2	54.2	63.7	29.0	757.35
12:00	33.0	40.6	42.9	54.9	64.3	29.0	789.66
12:30	33.6	40.6	42.8	54.3	65.0	29.7	797.49
13:00	34.5	40.2	42.4	54.0	64.8	30.0	797.49
13:30	34.2	39.6	42.3	52.3	64.6	30.0	774.44
14:00	36.5	39.3	41.3	53.2	65.6	32.5	753.05
14:30	34.5	39.5	44.0	57.3	68.2	32.0	714.36
15:00	35.2	42.7	45.7	66.0	76.0	33.0	664.98
15:30	35.7	48.0	51.6	66.4	75.8	33.0	614.78
16:00	38.3	46.3	48.6	59.3	61.4	33.0	538.24
16:30	37.4	41.8	43.9	48.9	52.7	32.5	469.93
17:00	35.2	38.6	40.9	43.4	48.8	32.0	390.93

Tablo E 2.3. Zorlanmış Konveksiyonda $\phi=28.4$ Eğim Açısı ve 50 Kg/Saat Hava Debisinde İçin Absorber Boyunca Ölçülen Sıcaklıklar ve Anlık Direkt Işıma (W/m^2) :

Saatler	T ₁ (giriş)	T ₂	T ₃ (orta)	T ₄	T ₅ (çıkış)	T _a (çevre)	Anlık Direkt Işıma (W/m^2)
08:00	24.4	26.8	27.7	31.1	39.2	22.5	186.90
08:30	26.0	31.1	32.4	40.5	45.2	23.0	300.72
09:00	27.0	32.2	34.5	42.7	49.6	24.0	350.00
09:30	27.7	35.1	37.3	50.0	56.9	24.5	490.16
10:00	29.5	38.0	40.6	54.6	58.1	25.0	541.87
10:30	30.8	39.9	43.1	57.3	61.5	26.0	658.17
11:00	31.8	42.6	44.4	59.0	64.4	28.4	702.20
11:30	34.0	43.2	45.5	60.0	65.0	28.5	781.85
12:00	34.2	44.0	45.6	60.8	65.3	29.0	804.07
12:30	34.7	44.0	46.8	61.3	65.9	29.5	812.30
13:00	35.0	45.0	46.0	61.8	66.4	30.0	810.66
13:30	35.6	42.6	45.1	60.0	66.0	31.0	795.84
14:00	34.8	44.6	47.0	62.8	69.7	31.6	764.57
14:30	34.8	45.5	48.2	62.0	70.2	32.0	725.89
15:00	36.3	45.3	48.4	66.7	77.3	32.5	675.68
15:30	36.3	46.3	49.9	63.6	77.3	32.0	613.96
16:00	36.8	45.2	47.7	55.5	66.4	31.0	553.06
16:30	36.6	42.6	44.8	51.2	59.8	31.0	484.75
17:00	38.5	42.0	43.2	48.0	52.2	32.0	404.09

Tablo E 2.4. Zorlanmış Konveksiyonda $\phi=28.4$ Eğim Açısı ve 40 Kg/Saat Hava Debisinde İçin Absorber Boyunca Ölçülen Sıcaklıklar ve Anlık Direkt Işıma (W/m^2)

Saatler	T ₁ (giriş)	T ₂	T ₃ (orta)	T ₄	T ₅ (çıkış)	T _a (çevre)	Anlık Direkt Işıma (W/m^2)
08:00	28.1	31.4	32.8	38.8	40.0	23.5	153.08
08:30	28.8	34.2	36.2	45.6	48.4	24.0	278.24
09:00	30.6	39.1	40.3	51.1	53.1	25.0	325.58
09:30	30.8	39.0	41.8	56.8	59.2	26.0	480.20
10:00	31.6	40.2	42.9	58.6	60.9	26.0	533.71
10:30	32.8	43.0	45.0	61.3	63.4	28.0	636.72
11:00	33.0	44.8	47.2	66.2	66.3	31.2	679.93
11:30	34.7	46.9	49.1	67.2	65.0	31.0	744.77
12:00	35.0	47.0	50.4	68.5	68.0	32.0	757.48
12:30	36.3	47.4	51.3	65.0	69.2	33.0	791.73
13:00	36.8	48.0	50.5	65.2	69.0	34.0	785.14
13:30	37.0	49.3	53.2	66.3	72.0	34.2	781.85
14:00	38.0	51.8	53.2	70.9	71.0	34.8	746.46
14:30	40.0	52.6	54.0	71.2	74.0	35.0	698.73
15:00	39.8	51.0	53.5	73.1	80.2	35.0	646.88
15:30	40.8	53.1	55.0	71.7	79.1	35.0	599.97
16:00	41.0	49.9	51.6	66.6	69.2	35.0	518.49
16:30	41.7	49.5	51.6	63.0	64.0	33.5	452.65
17:00	40.4	44.7	45.9	51.7	52.5	33.0	373.64

Tablo E 2.5. Zorlanmış Konveksiyonda $\phi=28.4$ Eğim Açısı ve 30 Kg/Saat Hava Debisinde İçin Absorber Boyunca Ölçülen Sıcaklıklar ve Anlık Direkt Işıma (W/m^2)

Saatler	T_1 (giriş)	T_2	T_3 (orta)	T_4	T_5 (çıkış)	T_a (çevre)	Anlık Direkt Işıma (W/m^2)
08:00	32.3	39.9	40.9	45.8	46.6	29.0	188.58
08:30	33.3	42.5	43.6	52.3	53.3	29.0	266.22
09:00	35.7	43.9	45.8	58.2	59.6	30.8	304.85
09:30	37.5	45.6	48.2	60.0	64.4	31.8	405.09
10:00	39.2	49.2	53.6	65.2	66.9	31.9	453.36
10:30	39.6	51.8	56.1	66.0	70.4	32.2	590.14
11:00	40.0	52.4	59.8	67.1	74.0	34.9	653.26
11:30	41.6	59.5	65.4	70.8	72.4	34.3	739.87
12:00	41.2	57.1	65.1	71.8	76.4	35.0	761.45
12:30	41.4	58.0	64.8	71.8	77.6	35.0	781.85
13:00	42.0	58.6	65.1	70.8	78.0	35.4	781.03
13:30	42.8	58.4	65.0	73.7	76.9	35.2	792.55
14:00	43.0	58.3	64.3	74.2	76.5	36.0	754.69
14:30	44.0	58.9	65.6	76.7	79.7	36.9	705.31
15:00	43.8	57.0	64.0	75.1	82.0	37.0	653.46
15:30	43.5	56.2	62.7	75.3	79.6	36.2	605.73
16:00	43.0	53.4	60.2	71.3	72.5	36.0	528.37
16:30	42.8	50.6	58.8	65.2	66.6	35.8	464.17
17:00	42.0	47.6	54.6	54.3	55.8	35.2	381.05

Tablo E 2.6. Zorlanmış Konveksiyonda $\phi=33.4$ Eğim Açısı ve 70 Kg/Saat Hava Debisinde İçin Absorber Boyunca Ölçülen Sıcaklıklar ve Anlık Direkt Işıma (W/m^2)

Saatler	T_1 (giriş)	T_2	T_3 (orta)	T_4	T_5 (çıkış)	T_a (çevre)	Anlık Direkt Işıma (W/m^2)
08:00	32.5	33.2	34.1	34.8	35.6	27.8	129.75
08:30	31.3	34.3	35.9	36.6	37.3	27.4	238.99
09:00	32.0	36.2	38.2	43.0	44.0	28.1	282.53
09:30	33.5	37.4	39.1	46.0	51.4	28.8	417.58
10:00	35.0	41.0	43.6	50.3	51.5	29.8	460.36
10:30	35.5	43.1	46.1	54.0	56.1	30.8	546.23
11:00	36.0	43.6	46.5	54.5	58.3	31.7	580.50
11:30	37.6	43.6	45.9	54.8	59.2	32.5	613.44
12:00	39.1	43.8	46.3	54.6	57.3	33.4	637.78
12:30	39.0	43.8	46.4	53.8	60.7	33.5	746.46
13:00	39.2	45.0	47.4	52.9	62.1	33.3	743.17
13:30	39.0	44.0	46.0	52.4	61.4	33.1	723.42
14:00	40.5	43.4	45.6	52.2	59.0	33.5	712.72
14:30	40.7	49.0	51.3	55.0	58.0	35.2	684.74
15:00	42.1	51.1	54.5	59.8	62.6	34.0	610.67
15:30	42.2	50.1	52.7	67.0	70.0	34.9	561.29
16:00	41.8	46.4	48.3	54.8	56.5	35.6	531.66
16:30	40.4	42.3	43.9	47.4	48.2	34.1	418.91
17:00	40.4	41.9	43.4	43.8	44.2	35.0	344.84

Tablo E2.7. Zorlanmış Konveksiyonda $\phi=33.4$ Eğim Açısı ve 60 Kg/Saat Hava Debisinde İçin Absorber Boyunca Ölçülen Sıcaklıklar ve Anlık Direkt Işıma (W/m^2)

Saatler	T_1 (giriş)	T_2	T_3 (orta)	T_4	T_5 (çıkış)	T_a (çevre)	Anlık Direkt Işıma (W/m^2)
08:00	34.6	35.4	35.8	36.1	36.4	27.1	84.22
08:30	33.0	35.1	36.4	37.4	38.8	27.8	207.38
09:00	33.4	39.2	40.9	43.6	45.8	27.2	250.38
09:30	35.4	41.1	43.9	48.1	50.6	28.1	409.65
10:00	36.5	43.2	45.7	49.7	51.7	28.5	457.62
10:30	37.5	43.3	46.0	52.7	56.9	30.5	559.71
11:00	37.5	44.4	47.3	54.6	58.0	31.5	601.38
11:30	36.6	43.7	46.3	55.9	60.2	32.1	595.95
12:00	37.6	44.8	47.3	54.6	59.1	30.9	629.52
12:30	37.4	44.1	46.0	53.1	60.7	31.2	753.05
13:00	39.2	43.1	45.5	52.6	59.3	31.5	767.04
13:30	40.2	43.5	45.6	52.5	58.8	31.7	754.69
14:00	40.3	43.6	45.7	51.0	60.6	33.1	723.42
14:30	40.5	48.2	50.9	58.2	62.4	33.2	672.39
15:00	41.3	53.3	56.7	59.7	71.0	34.3	621.37
15:30	42.0	50.1	52.7	67.4	70.8	34.4	548.94
16:00	41.1	46.6	48.5	56.7	58.8	34.2	492.98
16:30	40.8	43.7	45.1	47.5	49.7	34.9	403.27
17:00	40.9	42.7	43.7	44.3	45.0	35.6	251.84

Tablo E2.8. Zorlanmış Konveksiyonda $\phi=33.4$ Eğim Açısı ve 50 Kg/Saat Hava Debisinde İçin Absorber Boyunca Ölçülen Sıcaklıklar ve Anlık Direkt Işıma (W/m^2)

Saatler	T_1 (giriş)	T_2	T_3 (orta)	T_4	T_5 (çıkış)	T_a (çevre)	Anlık Direkt Işıma (W/m^2)
08:00	31.2	32.4	33.1	34.9	37.0	26.0	110.70
08:30	32.4	35.2	36.6	40.4	41.0	27.0	232.53
09:00	32.6	38.3	39.7	47.0	49.0	27.8	277.26
09:30	35.8	45.2	48.2	49.8	52.6	29.4	422.24
10:00	36.2	46.6	49.4	53.8	57.0	30.0	471.11
10:30	38.6	49.2	49.4	54.5	58.0	28.9	462.93
11:00	35.1	45.5	49.1	57.3	59.8	31.0	485.48
11:30	35.8	45.9	50.0	59.9	63.0	30.0	710.25
12:00	37.0	44.7	49.5	58.2	62.6	31.0	734.12
12:30	37.4	44.0	48.0	57.3	61.0	31.5	744.82
13:00	39.0	43.8	45.8	55.8	57.6	31.7	788.43
13:30	38.4	42.1	44.0	52.0	59.9	32.1	815.59
14:00	38.6	40.0	41.4	51.7	61.2	32.6	702.84
14:30	38.8	44.5	47.0	58.2	62.2	34.0	649.35
15:00	36.6	44.0	49.8	64.5	70.5	32.8	595.85
15:30	38.4	41.5	43.6	68.3	72.5	33.6	550.59
16:00	39.3	42.1	43.5	52.3	59.9	33.9	507.79
16:30	37.8	38.8	39.5	50.4	43.6	33.8	451.83
17:00	37.3	38.2	38.9	45.7	47.6	33.0	376.11

Tablo E2.9. Zorlanmış Konveksiyonda $\phi=33.4$ Eğim Açısı ve 40 Kg/Saat Hava Debisinde İçin Absorber Boyunca Ölçülen Sıcaklıklar ve Anlık Direkt Işıma (W/m^2)

Saatler	T_1 (giriş)	T_2	T_3 (orta)	T_4	T_5 (çıkış)	T_a (çevre)	Anlık Direkt Işıma (W/m^2)
08:00	31.3	33.7	35.6	36.7	38.8	24.2	164.20
08:30	31.8	35.1	38.5	41.7	45.3	25.0	276.65
09:00	32.7	40.6	42.7	47.5	52.8	26.2	328.38
09:30	33.2	43.4	45.5	52.6	56.6	26.7	467.30
10:00	34.1	45.6	48.2	55.3	59.5	27.0	510.92
10:30	33.6	45.1	47.8	57.0	61.0	27.3	588.67
11:00	34.6	44.7	47.1	62.3	64.7	29.2	620.96
11:30	35.9	46.1	48.2	64.0	61.0	29.2	713.69
12:00	36.0	46.9	48.4	65.2	65.0	29.9	730.51
12:30	36.4	45.4	49.7	62.8	64.0	29.8	770.33
13:00	37.0	44.6	48.3	61.9	63.6	29.9	764.57
13:30	37.4	45.1	51.0	63.3	65.1	31.5	750.58
14:00	38.9	46.4	48.2	59.2	64.2	31.9	724.24
14:30	38.2	46.4	48.7	63.1	66.0	33.1	674.04
15:00	40.4	55.7	57.8	73.4	76.5	32.5	623.83
15:30	42.1	53.4	56.1	74.0	77.3	32.8	557.99
16:00	41.8	47.4	49.2	61.3	63.5	33.5	492.15
16:30	40.1	44.4	45.4	50.3	60.0	33.7	423.02
17:00	40.0	42.8	43.9	46.9	49.3	34.1	339.08

Tablo E2.10. Zorlanmış Konveksiyonda $\phi=33.4$ Eğim Açısı ve 30 Kg/Saat Hava Debisinde İçin Absorber Boyunca Ölçülen Sıcaklıklar ve Anlık Direkt Işıma (W/m^2)

Saatler	T_1 (giriş)	T_2	T_3 (orta)	T_4	T_5 (çıkış)	T_a (çevre)	Anlık Direkt Işıma (W/m^2)
08:00	33.0	36.8	37.9	41.8	42.4	25.5	154.69
08:30	33.7	39.5	40.7	48.4	49.5	27.0	255.14
09:00	35.4	45.2	46.2	57.8	59.4	27.3	306.06
09:30	36.7	50.9	51.5	59.3	62.0	27.2	427.70
10:00	38.2	51.3	54.0	61.2	64.0	29.0	481.00
10:30	40.0	52.4	54.8	62.3	65.1	29.6	658.15
11:00	39.8	52.0	54.5	65.0	68.0	32.1	704.69
11:30	39.0	50.1	52.6	70.5	72.2	32.6	652.21
12:00	39.8	50.0	51.5	67.5	68.8	32.6	672.71
12:30	41.0	49.7	51.6	66.5	68.7	32.7	771.15
13:00	40.8	49.3	51.4	64.5	68.9	32.9	760.45
13:30	40.2	48.7	51.1	64.7	67.4	33.0	740.70
14:00	40.6	49.5	51.4	65.9	70.6	34.3	697.90
14:30	42.3	58.2	59.6	68.3	72.0	34.0	673.21
15:00	43.7	60.1	63.8	72.6	79.3	34.6	591.74
15:30	44.1	53.8	55.8	71.6	78.4	35.3	532.81
16:00	43.5	49.4	51.2	58.3	67.2	35.9	465.53
16:30	42.3	45.9	47.5	51.2	60.8	35.5	417.26
17:00	42.8	45.6	46.5	49.9	50.5	37.2	334.14

Tablo E2.11. Zorlanmış Konveksiyonda $\phi=38.4$ Eğim Açısı ve 70 Kg/Saat Hava Debisinde İçin Absorber Boyunca Ölçülen Sıcaklıklar ve Anlık Direkt Işıma (W/m^2)

Saatler	T_1 (giriş)	T_2	T_3 (orta)	T_4	T_5 (çıkış)	T_a (çevre)	Anlık Direkt Işıma (W/m^2)
08:00	30.0	29.9	30.0	30.1	34.5	27.1	96.51
08:30	31.2	30.2	31.5	32.8	38.7	28.5	248.93
09:00	31.7	34.2	35.6	37.1	41.4	29.2	300.66
09:30	35.6	36.9	39.0	43.7	43.6	30.5	420.17
10:00	36.4	38.5	40.5	46.8	44.9	29.8	472.85
10:30	36.8	39.2	41.1	47.3	47.8	31.0	565.22
11:00	37.8	40.0	41.8	47.3	53.4	33.2	600.81
11:30	39.8	40.0	41.9	47.0	51.9	33.0	693.13
12:00	39.5	41.5	43.3	47.5	54.0	33.2	709.49
12:30	40.6	41.5	43.1	48.1	55.9	35.0	772.80
13:00	41.5	41.7	43.6	48.3	55.6	35.0	773.62
13:30	42.5	42.2	43.7	47.9	55.4	34.7	756.34
14:00	40.2	42.1	44.1	49.0	54.6	35.0	720.13
14:30	39.8	43.6	45.4	49.2	54.6	34.7	683.91
15:00	39.5	42.5	45.5	52.6	53.0	35.5	631.24
15:30	39.4	43.0	45.5	55.0	52.0	36.0	565.40
16:00	38.9	41.5	43.2	46.1	51.0	35.4	497.92
16:30	38.2	39.8	40.8	41.6	47.0	36.4	358.75
17:00	37.6	39.0	39.2	39.7	41.6	36.3	297.07

Tablo E2.12. Zorlanmış Konveksiyonda $\phi=38.4$ Eğim Açısı ve 60 Kg/Saat Hava Debisinde İçin Absorber Boyunca Ölçülen Sıcaklıklar ve Anlık Direkt Işıma (W/m^2)

Saatler	T_1 (giriş)	T_2	T_3 (orta)	T_4	T_5 (çıkış)	T_a (çevre)	Anlık Direkt Işıma (W/m^2)
08:00	30.8	31.2	32.6	33.2	35.2	27.7	144.84
08:30	31.0	32.5	33.6	35.4	37.4	29.0	248.41
09:00	31.7	33.6	38.6	39.7	42.9	30.6	297.18
09:30	35.6	39.1	41.1	46.9	48.0	30.4	423.21
10:00	36.4	40.1	43.5	48.9	50.0	31.2	470.80
10:30	36.8	41.8	45.2	49.5	50.6	32.3	571.43
11:00	37.8	42.1	45.2	49.9	52.9	35.0	615.66
11:30	39.8	42.5	45.2	49.8	53.6	34.6	720.30
12:00	39.5	42.8	44.5	49.8	53.8	35.4	740.73
12:30	40.6	43.2	45.5	49.9	54.1	35.8	793.37
13:00	41.5	42.9	44.5	49.3	53.8	35.2	790.08
13:30	42.5	42.8	45.2	48.6	54.7	34.3	768.68
14:00	40.2	43.0	46.5	49.9	54.6	36.1	752.22
14:30	39.8	46.4	48.6	51.9	57.2	36.3	706.13
15:00	39.5	46.5	50.4	56.8	56.8	37.7	639.47
15:30	39.4	47.5	52.3	59.0	55.7	37.4	584.33
16:00	38.9	45.7	49.0	50.9	52.3	38.0	511.91
16:30	38.2	42.8	46.0	47.2	44.8	37.8	439.48
17:00	37.6	41.0	41.5	42.6	42.7	36.3	364.59

Tablo E2.13. Zorlanmış Konveksiyonda $\phi=38.4$ Eğim Açısı ve 50 Kg/Saat Hava Debisinde İçin Absorber Boyunca Ölçülen Sıcaklıklar ve Anlık Direkt Işıma (W/m^2)

Saatler	T_1 (giriş)	T_2	T_3 (orta)	T_4	T_5 (çıkış)	T_a (çevre)	Anlık Direkt Işıma (W/m^2)
08:00	28.3	29.0	32.0	35.2	36.3	24.3	199.89
08:30	30.0	33.3	34.8	37.0	40.0	28.2	281.69
09:00	33.1	37.1	38.6	42.0	43.4	29.1	334.22
09:30	34.8	39.0	40.8	47.2	48.5	30.3	443.40
10:00	35.8	41.9	43.1	50.9	52.8	30.5	491.44
10:30	36.1	41.9	43.3	51.8	53.5	31.2	597.96
11:00	36.5	40.8	42.6	50.0	56.1	34.0	635.24
11:30	37.8	41.6	43.8	51.1	57.6	32.9	753.87
12:00	39.5	42.8	44.6	51.4	56.8	33.9	761.28
12:30	40.3	43.4	45.0	51.4	56.2	34.7	780.20
13:00	40.8	42.6	44.4	51.7	54.7	36.0	778.56
13:30	40.7	43.9	45.6	50.0	55.8	37.2	757.98
14:00	40.7	44.0	46.1	51.3	54.1	37.0	724.24
14:30	41.2	45.8	48.1	55.6	57.7	37.4	686.38
15:00	43.0	46.8	51.4	60.3	69.4	37.0	636.18
15:30	45.0	47.3	52.0	61.1	69.7	37.8	561.29
16:00	43.3	45.7	47.7	52.7	59.8	37.0	499.56
16:30	42.0	44.7	45.3	47.3	50.7	37.0	424.67
17:00	40.0	41.0	42.0	43.8	44.3	36.6	344.01

Tablo E2.14. Zorlanmış Konveksiyonda $\phi=38.4$ Eğim Açısı ve 40 Kg/Saat Hava Debisinde İçin Absorber Boyunca Ölçülen Sıcaklıklar ve Anlık Direkt Işıma (W/m^2)

Saatler	T_1 (giriş)	T_2	T_3 (orta)	T_4	T_5 (çıkış)	T_a (çevre)	Anlık Direkt Işıma (W/m^2)
08:00	30.4	32.3	33.3	37.0	37.6	27.1	170.90
08:30	31.3	33.7	35.4	39.3	42.3	27.3	264.97
09:00	32.1	36.8	38.7	45.2	46.6	27.9	315.41
09:30	33.8	38.3	40.3	47.2	49.0	28.4	435.28
10:00	34.2	38.8	41.0	48.9	54.0	28.9	477.65
10:30	34.4	39.6	41.7	50.5	57.0	28.8	601.15
11:00	35.9	43.1	43.8	50.3	60.4	31.7	643.56
11:30	36.2	41.5	43.0	51.0	57.6	31.0	693.50
12:00	37.3	43.4	44.8	51.6	56.4	32.0	715.78
12:30	38.8	43.2	44.9	52.1	56.2	33.7	776.91
13:00	39.2	44.0	45.1	50.9	55.6	33.1	775.27
13:30	38.5	42.9	44.2	50.5	57.4	33.4	761.28
14:00	38.5	43.4	45.1	52.7	55.7	34.0	731.65
14:30	40.2	48.6	49.8	56.5	61.7	34.1	686.38
15:00	43.7	51.1	54.4	64.0	72.1	34.1	641.94
15:30	43.4	50.2	54.4	64.0	71.3	34.3	571.16
16:00	44.0	52.0	55.5	57.6	60.3	36.0	507.79
16:30	42.8	47.2	49.1	51.8	52.8	35.6	430.43
17:00	41.8	44.7	45.6	45.8	46.0	35.6	341.55

Tablo E2.15. Zorlanmış Konveksiyonda $\phi=38.4$ Eğim Açısı ve 30 Kg/Saat Hava Debisinde İçin Absorber Boyunca Ölçülen Sıcaklıklar Ve Anlık Direkt Işıma (W/m^2)

Saatler	T_1 (giriş)	T_2	T_3 (orta)	T_4	T_5 (çıkış)	T_6 (çevre)	Anlık Direkt Işıma (W/m^2)
08:00	31.0	33.6	34.5	38.7	39.1	25.3	145.83
08:30	30.4	33.9	35.3	40.2	41.0	26.5	235.56
09:00	31.0	34.8	36.8	42.5	47.8	27.0	278.26
09:30	32.5	38.3	40.1	49.8	51.0	27.3	388.20
10:00	33.0	39.8	41.4	52.9	54.5	27.5	433.80
10:30	34.7	42.5	45.6	52.8	58.8	29.2	558.93
11:00	34.2	42.0	44.4	52.2	59.0	31.0	602.96
11:30	35.0	42.8	45.3	52.8	62.1	31.0	667.59
12:00	35.1	40.0	41.6	52.8	61.7	31.2	693.00
12:30	35.2	39.5	41.1	51.6	61.3	30.9	752.22
13:00	35.8	41.0	42.3	51.6	61.5	31.0	746.46
13:30	36.2	42.0	43.6	52.3	60.4	31.2	740.70
14:00	37.4	42.7	44.7	54.6	62.7	31.5	711.07
14:30	36.9	44.0	46.6	58.0	64.8	33.1	687.21
15:00	37.0	48.8	52.2	60.3	72.5	33.1	688.03
15:30	37.8	49.1	51.5	59.7	72.0	33.1	602.44
16:00	38.8	47.9	49.6	55.1	64.1	33.6	540.71
16:30	38.0	42.5	44.2	49.6	53.7	33.1	497.92
17:00	37.6	40.9	42.5	43.1	46.8	34.3	421.38

Tablo E2.16. Zorlanmış Konveksiyonda $\phi=28.4$ Eğim Açısı ve 70 Kg/Saat Hava Debisinde Seçici Yüzeyle Absorber İçin Giriş,Orta, Çıkış, Çevre Sıcaklıkları ve Anlık Direkt Işıma (W/m^2)

Saatler	T_1 (giriş)	T_2	T_3 (orta)	T_4	T_5 (çıkış)	T_6 (çevre)	Anlık Direkt Işıma (W/m^2)
08:00	27.0	29.5	30.4	33.3	34.1	22.6	110.74
08:30	26.8	30.3	31.5	35.8	36.8	22.9	161.36
09:00	28.6	34.9	36.8	43.8	46.4	24.1	198.16
09:30	29.9	37.8	40.2	49.1	51.6	23.7	307.38
10:00	31.5	39.1	41.1	49.6	51.7	24.7	345.17
10:30	32.3	39.3	41.6	49.5	51.6	25.4	391.95
11:00	30.8	34.9	36.6	40.9	53.6	26.9	411.32
11:30	31.8	40.0	42.0	49.7	56.8	27.2	488.68
12:00	32.4	41.1	43.6	53.1	54.2	26.3	479.00
12:30	34.5	42.9	44.8	55.2	57.8	27.6	636.64
13:00	34.4	43.4	46.3	56.9	60.3	28.6	631.99
13:30	35.6	46.0	48.2	61.9	64.7	28.5	641.46
14:00	35.5	45.6	48.7	61.7	66.1	28.9	621.13
14:30	36.3	47.2	49.9	56.2	57.3	29.0	548.12
15:00	35.0	49.0	50.7	54.4	55.1	28.7	531.66
15:30	34.0	47.0	48.4	50.4	50.8	27.4	227.59
16:00	32.3	43.1	43.8	44.3	44.6	27.5	190.84
16:30	31.0	36.0	37.1	38.7	43.6	29.3	347.19
17:00	30.8	34.8	35.9	37.0	41.9	27.5	254.12

Ek 2.1. Zorlanmış Konveksiyonda Dolgu Malzemeli Kullanıldığı Deneylerin Sonuçları

Tablo E2.17. Zorlanmış Konveksiyonda $\phi=28.4$ Eğim Açısı ve 70 Kg/Saat Hava Debisinde 14 Sargı Dolgu Malzemesinin Kullanıldığı Durum İçin Giriş,Orta, Çıkış, Çevre Sıcaklıkları ve Anlık Direkt Işıma (W/m^2)

Saatler	$T_1(\text{giriş})$	$T_2(\text{orta})$	$T_3(\text{çıkış})$	$T_4(\text{çevre})$	Anlık Direkt Işıma (W/m^2)
08:00	28.6	34.1	35.5	20.9	222.29
08:30	27.5	39.3	41.0	21.6	289.83
09:00	31.6	48.0	57.5	22.1	357.69
09:30	31.7	52.0	60.0	23.1	393.84
10:00	32.2	54.6	58.2	23.8	438.55
10:30	32.5	55.9	59.6	23.6	571.52
11:00	34.2	58.8	67.0	24.7	608.35
11:30	35.0	61.0	74.0	24.8	687.01
12:00	35.5	67.6	77.4	25.9	704.44
12:30	36.8	71.9	81.4	27.7	735.76
13:00	37.6	74.3	84.8	29.6	717.66
13:30	38.2	76.2	83.7	29.8	709.43
14:00	38.3	80.8	80.0	30.5	666.63
14:30	38.6	72.2	78.0	29.2	633.71
15:00	39.0	56.0	61.0	29.8	571.16
15:30	39.2	51.3	55.0	31.0	500.38
16:00	38.5	47.2	50.0	31.3	433.72
16:30	37.8	44.0	46.0	30.6	362.12
17:00	37.3	41.6	43.7	31.0	287.23

Tablo E2.18. Zorlanmış Konveksiyonda $\phi=33.4$ Eğim Açısı ve 70 Kg/Saat Hava Debisinde 14 Sargı Dolgu Malzemesinin Kullanıldığı Durum İçin Giriş,Orta, Çıkış, Çevre Sıcaklıkları ve Anlık Direkt Işıma (W/m^2)

Saatler	$T_1(\text{giriş})$	$T_2(\text{orta})$	$T_3(\text{çıkış})$	$T_4(\text{çevre})$	Anlık Direkt Işıma (W/m^2)
08:00	33.7	38.9	40.5	26.5	161.53
08:30	33.2	43.0	44.8	26.4	201.31
09:00	34.6	54.0	55.8	27.5	246.05
09:30	36.2	57.5	63.3	27.2	375.27
10:00	37.4	60.2	63.3	28.5	418.60
10:30	38.3	61.4	64.7	29.9	473.44
11:00	37.5	64.7	64.9	32.0	503.85
11:30	39.5	67.6	70.0	32.0	705.31
12:00	40.2	68.0	70.5	32.0	717.66
12:30	40.6	67.0	71.5	32.6	730.40
13:00	40.2	64.1	72.9	33.7	717.33
13:30	40.0	64.1	74.2	33.0	715.19
14:00	39.5	63.0	76.9	32.8	684.74
14:30	41.0	74.9	78.6	33.1	624.66
15:00	41.6	65.6	71.4	33.0	595.85
15:30	41.5	61.1	64.8	32.8	529.19
16:00	41.2	50.6	54.4	32.6	446.07
16:30	40.8	46.1	48.5	32.1	381.87
17:00	39.6	43.6	45.2	32.0	306.98

Tablo E2.19. Zorlanmış Konveksiyonda $\phi=28.4$ Eğim Açısı ve 30 Kg/Saat Hava Debisinde 14 Sargı Dolgu Malzemesinin Kullanıldığı Durum İçin Giriş, Orta, Çıkış, Çevre Sıcaklıkları ve Anlık Direkt Işıma (W/m^2)

Saatler	T_1 (giriş)	T_2 (orta)	T_3 (çıkış)	T_4 (çevre)	Anlık Direkt Işıma (W/m^2)
08:00	23.8	38.6	42.7	20.2	188.75
08:30	25.6	49.8	56.8	21.0	241.70
09:00	27.6	80.0	91.1	21.2	294.57
09:30	28.4	85.0	96.0	22.0	413.31
10:00	29.5	80.9	90.7	21.9	467.67
10:30	29.7	82.6	91.2	22.8	595.79
11:00	29.4	85.0	95.5	22.4	632.93
11:30	31.3	96.1	97.2	22.7	711.07
12:00	31.9	105.8	106.6	23.6	730.00
12:30	33.4	108.0	112.5	24.6	736.59
13:00	33.7	110.0	115.6	24.7	723.42
13:30	33.8	112.0	118.0	25.3	710.25
14:00	32.9	112.0	119.8	25.3	682.27
14:30	35.4	115.6	120.8	25.9	627.13
15:00	36.2	77.4	89.7	25.5	577.75
15:30	35.3	60.8	67.8	26.2	501.21
16:00	34.5	49.0	54.0	25.8	441.95
16:30	34.6	45.9	48.2	26.8	378.58
17:00	34.6	42.3	43.6	26.1	293.81

Tablo E2.20. Zorlanmış Konveksiyonda $\phi=33.4$ Eğim Açısı ve 30 Kg/Saat Hava Debisinde 14 Sargı Dolgu Malzemesinin Kullanıldığı Durum İçin Giriş, Orta, Çıkış, Çevre Sıcaklıkları ve Anlık Direkt Işıma (W/m^2)

Saatler	T_1 (giriş)	T_2 (orta)	T_3 (çıkış)	T_4 (çevre)	Anlık Direkt Işıma (W/m^2)
08:00	26.9	40.5	42.7	20.6	147.24
08:30	27.2	47.2	48.9	20.5	240.22
09:00	28.3	64.3	66.5	20.8	289.21
09:30	30.6	76.0	78.0	21.7	409.58
10:00	32.0	76.8	78.9	21.5	455.95
10:30	33.0	78.6	81.4	22.9	561.64
11:00	32.9	80.1	82.0	24.2	608.20
11:30	33.9	82.1	84.2	23.8	672.56
12:00	35.1	85.7	87.6	25.4	696.13
12:30	35.9	85.3	89.7	26.1	737.41
13:00	36.9	85.1	87.6	26.2	734.12
13:30	36.7	82.4	84.7	26.0	711.90
14:00	36.3	85.4	87.5	26.8	680.62
14:30	37.0	97.3	99.1	26.9	630.42
15:00	38.0	87.6	90.3	28.6	576.92
15:30	38.4	74.2	76.3	28.2	511.08
16:00	38.3	57.6	59.6	29.0	437.84
16:30	37.2	48.2	50.4	29.0	375.29
17:00	38.0	45.0	47.0	29.0	298.75

Tablo E2.21. Zorlanmış Konveksiyonda $\phi=28.4$ Eğim Açısı ve 70 Kg/Saat Hava Debisinde 14 Sargı Dolgu Malzemesi ve Seçici Yüzeyli Absorber İçin Giriş,Orta, Çıkış, Çevre Sıcaklıkları ve Anlık Direkt Işıma (W/m^2)

Saatler	T_1 (giriş)	T_2 (orta)	T_3 (çıkış)	T_4 (çevre)	Anlık Direkt Işıma (W/m^2)
08:00	30.8	39.2	40.7	24.5	105.40
08:30	30.6	43.1	49.6	24.2	215.96
09:00	31.6	55.1	57.3	24.7	266.20
09:30	33.5	57.1	66.1	25.7	394.31
10:00	33.8	53.6	63.0	26.8	444.75
10:30	34.6	54.7	64.1	27.8	540.56
11:00	35.1	56.1	70.0	27.2	576.31
11:30	35.3	58.4	73.6	28.0	637.41
12:00	36.0	60.5	76.3	28.2	664.99
12:30	36.7	61.0	79.4	28.6	706.96
13:00	37.1	65.0	79.0	29.4	692.14
13:30	37.0	68.1	81.4	30.2	666.63
14:00	36.7	70.5	83.6	30.4	635.36
14:30	36.4	58.9	79.6	29.8	590.91
15:00	36.3	52.1	71.0	29.7	537.42
15:30	36.0	45.7	60.5	29.6	480.63
16:00	35.9	43.1	55.8	30.2	408.21
16:30	35.3	41.6	53.7	30.2	334.14
17:00	35.0	40.8	42.3	29.3	254.31

Tablo E2.22. Zorlanmış Konveksiyonda $\phi=28.4$ Eğim Açısı ve 30 Kg/Saat Hava Debisinde 14 Sargı Dolgu Malzemesi ve Seçici Yüzeyli Absorber İçin Giriş,Orta, Çıkış, Çevre Sıcaklıkları ve Anlık Direkt Işıma (W/m^2)

Saatler	T_1 (giriş)	T_2 (orta)	T_3 (çıkış)	T_4 (çevre)	Anlık Direkt Işıma (W/m^2)
08:00	23.9	33.3	34.8	21.6	139.28
08:30	26.3	37.4	39.7	20.2	172.50
09:00	28.6	67.2	71.9	21.9	213.88
09:30	29.9	67.0	71.4	23.5	286.25
10:00	33.3	73.5	77.1	23.7	308.61
10:30	33.3	70.6	74.1	23.8	451.06
11:00	35.1	75.2	77.6	24.9	485.45
11:30	37.3	83.5	86.6	25.8	590.80
12:00	38.2	89.5	92.9	26.0	618.58
12:30	39.1	93.4	97.3	27.3	699.55
13:00	38.7	99.3	102.2	28.3	714.36
13:30	35.6	76.8	87.0	32.0	229.34
14:00	34.7	59.5	61.8	28.8	230.73
14:30	33.2	51.0	62.0	27.5	281.58
15:00	37.1	59.8	63.3	29.3	256.12
15:30	34.0	42.2	60.3	27.5	24.78
16:00	33.8	40.0	59.0	27.1	29.11
16:30	35.7	42.1	55.0	27.9	71.91
17:00	34.0	43.0	43.4	27.5	65.96

Tablo E2.23. Zorlanmış Konveksiyonda $\phi=28.4$ Eğim Açısı ve 70 Kg/Saat Hava Debisinde 14 Sargı Dolgu ve Dışa Al Sinek Teli Sarılmış Absorber İçin Giriş,Orta, Çıkış, Çevre Sıcaklıkları ve Anlık Direkt Işıma (W/m^2)

Saatler	$T_1(\text{giriş})$	$T_2(\text{orta})$	$T_3(\text{çıkış})$	$T_4(\text{çevre})$	Anlık Direkt Işıma (W/m^2)
08:00	29.0	34.0	38.0	24.1	132.47
08:30	30.4	40.0	47.3	24.2	222.29
09:00	32.0	51.6	56.6	24.0	267.25
09:30	34.0	54.7	62.0	24.5	401.06
10:00	35.2	51.8	62.9	26.3	457.51
10:30	35.7	51.6	62.4	27.3	545.72
11:00	36.7	53.6	64.8	28.0	582.39
11:30	37.0	54.5	67.1	28.5	667.05
12:00	37.1	56.3	68.8	28.0	687.74
12:30	37.7	58.1	75.8	30.3	712.72
13:00	38.0	61.0	76.0	30.1	696.26
13:30	38.1	62.7	78.1	30.0	688.03
14:00	38.4	63.1	79.1	30.7	660.05
14:30	38.8	60.2	74.6	30.4	612.31
15:00	38.6	50.9	60.6	30.6	558.82
15:30	38.1	46.0	52.2	31.0	489.69
16:00	38.1	42.6	46.0	31.5	422.20
16:30	38.3	41.2	43.2	31.4	359.65
17:00	37.6	39.5	40.8	30.5	293.81

Tablo E2.24. Zorlanmış Konveksiyonda $\phi=28.4$ Eğim Açısı ve 30 Kg/Saat Hava Debisinde 14 Sargı Dolgu ve Dışa Al Sinek Teli Sarılmış Absorber İçin Giriş,Orta, Çıkış, Çevre Sıcaklıkları ve Anlık Direkt Işıma (W/m^2)

Saatler	$T_1(\text{giriş})$	$T_2(\text{orta})$	$T_3(\text{çıkış})$	$T_4(\text{çevre})$	Anlık Direkt Işıma (W/m^2)
08:00	31.8	38.7	41.2	24.7	131.45
08:30	31.7	48.6	54.2	24.9	217.42
09:00	33.8	64.7	73.4	24.8	266.25
09:30	34.5	69.9	77.7	25.4	401.96
10:00	36.3	71.2	76.0	26.4	434.24
10:30	36.3	66.0	74.4	27.1	511.03
11:00	37.4	70.9	75.6	28.3	547.93
11:30	37.6	72.0	78.9	28.0	637.25
12:00	38.2	75.5	82.9	29.1	649.49
12:30	39.4	77.2	86.2	30.1	675.17
13:00	39.3	80.4	90.4	30.2	696.42
13:30	39.0	80.4	88.6	30.0	634.26
14:00	39.1	93.4	99.0	30.3	629.63
14:30	39.7	79.2	87.7	30.3	620.54
15:00	38.8	63.6	71.2	30.3	549.76
15:30	38.4	51.8	57.3	30.7	480.63
16:00	38.5	47.3	50.6	31.1	403.27
16:30	38.0	43.4	45.2	30.8	349.78
17:00	36.6	40.1	41.6	29.5	266.65

Tablo E2.25. Zorlanmış Konveksiyonda $\phi=28.4$ Eğim Açısı ve 70 Kg/Saat Hava Debisinde 10 Sargı Dolgu Kullanımı İçin Giriş,Orta, Çıkış, Çevre Sıcaklıkları ve Anlık Direkt Işıma (W/m^2)

Saatler	$T_1(\text{giriş})$	$T_2(\text{orta})$	$T_3(\text{çıkış})$	$T_4(\text{çevre})$	Anlık Direkt Işıma (W/m^2)
08:00	26.0	35.4	36.1	24.7	126.28
08:30	27.0	39.6	41.2	24.0	147.46
09:00	27.2	46.2	48.2	23.1	183.42
09:30	31.0	48.6	50.7	24.4	299.01
10:00	32.3	50.6	52.4	24.9	337.72
10:30	34.5	52.9	54.1	25.7	436.05
11:00	33.9	53.1	54.7	27.1	465.12
11:30	34.0	55.6	55.8	25.1	600.94
12:00	36.7	59.8	61.1	28.8	674.34
12:30	37.0	60.1	62.3	27.1	791.54
13:00	36.7	62.9	65.8	27.6	762.10
13:30	36.2	68.8	73.8	27.8	748.93
14:00	34.5	71.1	75.0	27.8	689.67
14:30	34.7	61.2	63.7	27.8	581.04
15:00	35.0	59.8	61.8	27.5	497.92
15:30	34.6	55.2	57.4	28.0	470.76
16:00	34.2	51.6	53.4	28.2	409.85
16:30	33.8	47.1	49.2	28.6	343.19
17:00	33.4	40.0	41.6	28.7	255.95

Tablo E2.26. Zorlanmış Konveksiyonda $\phi=28.4$ Eğim Açısı ve 70 Kg/Saat Hava Debisinde 6 Sargı Dolgu Kullanımı İçin Giriş,Orta, Çıkış, Çevre Sıcaklıkları ve Anlık Direkt Işıma (W/m^2)

Saatler	$T_1(\text{giriş})$	$T_2(\text{orta})$	$T_3(\text{çıkış})$	$T_4(\text{çevre})$	Anlık Direkt Işıma (W/m^2)
08:00	20.0	26.8	27.6	17.9	72.09
08:30	21.0	28.2	29.9	18.2	101.79
09:00	22.0	32.7	35.8	18.2	135.97
09:30	22.6	32.3	35.0	18.4	169.74
10:00	23.1	27.8	36.8	19.3	196.78
10:30	24.5	32.7	40.4	20.1	295.78
11:00	23.9	36.4	43.8	20.9	318.93
11:30	27.5	40.5	51.7	21.0	603.42
12:00	28.5	42.5	53.6	22.2	608.86
12:30	29.6	47.0	55.4	22.5	663.34
13:00	29.3	45.7	56.6	22.4	671.57
13:30	29.9	46.4	56.1	23.4	659.22
14:00	28.0	51.0	55.5	23.5	607.37
14:30	29.2	49.9	52.5	24.3	358.27
15:00	27.4	47.2	49.0	23.4	298.56
15:30	28.5	42.1	44.2	23.2	269.51
16:00	27.9	38.4	40.7	23.1	227.26
16:30	27.5	32.4	35.4	22.8	180.53
17:00	26.2	31.2	33.4	22.7	120.16

Tablo E2.27. Zorlanmış Konveksiyonda $\phi=28.4$ Eğim Açısı ve 70 Kg/Saat Hava Debisinde 14 Sargı Dolgu ve Seçici Yüzey Kullanımı İçin Giriş,Orta, Çıkış, Çevre Sıcaklıkları ve Anlık Direkt Işıma (W/m^2)

Saatler	T_1 (giriş)	T_2 (orta)	T_3 (çıkış)	T_4 (çevre)	Anlık Direkt Işıma (W/m^2)
08:00	25.2	35.1	37.2	20.9	141.96
08:30	26.1	41.2	42.3	21.1	181.03
09:00	28.2	47.6	49.2	20.5	223.24
09:30	29.6	50.2	52.1	21.6	340.23
10:00	29.4	51.2	53.4	22.5	380.80
10:30	30.5	53.4	55.9	22.5	484.75
11:00	31.6	56.4	58.4	24.0	522.53
11:30	32.6	58.2	60.5	25.0	595.98
12:00	33.4	61.2	63.6	25.9	613.24
12:30	33.3	62.3	65.5	24.6	686.38
13:00	34.3	65.4	67.5	25.4	674.04
13:30	35.2	68.7	73.2	28.1	648.52
14:00	35.6	70.4	74.5	28.3	599.97
14:30	35.3	61.3	64.4	27.9	551.41
15:00	35.7	60.1	62.7	26.5	506.15
15:30	36.0	55.9	58.6	28.0	477.34
16:00	35.9	53.6	56.6	28.2	414.79
16:30	35.8	48.2	50.8	28.5	353.07
17:00	35.6	40.7	42.8	28.7	258.42

Tablo E2.28. Zorlanmış Konveksiyonda $\phi=28.4$ Eğim Açısı ve 70 Kg/Saat Hava Debisinde 6 Sargı Dolgu ve Seçici Yüzey Kullanımı İçin Giriş,Orta, Çıkış, Çevre Sıcaklıkları ve Anlık Direkt Işıma (W/m^2)

Saatler	T_1 (giriş)	T_2 (orta)	T_3 (çıkış)	T_4 (çevre)	Anlık Direkt Işıma (W/m^2)
08:00	21.5	27.6	29.0	16.5	173.75
08:30	22.2	29.9	32.3	16.9	188.71
09:00	22.8	35.8	36.7	17.2	225.76
09:30	23.0	35.0	38.0	17.4	347.20
10:00	23.7	36.8	38.8	17.9	382.54
10:30	24.2	40.4	42.4	18.1	497.55
11:00	24.8	43.8	47.0	18.4	516.96
11:30	25.4	44.2	48.2	18.7	586.53
12:00	26.0	49.1	53.6	19.0	602.30
12:30	26.3	54.5	59.0	19.5	667.45
13:00	27.0	54.4	59.6	20.1	664.98
13:30	28.1	56.1	60.8	20.8	643.59
14:00	28.5	53.1	59.2	21.7	593.38
14:30	29.2	52.5	57.4	21.8	538.90
15:00	30.2	49.0	53.0	22.0	516.79
15:30	31.1	44.2	49.2	22.4	444.42
16:00	30.6	40.7	46.2	23.0	376.93
16:30	29.5	35.4	38.9	23.2	318.50
17:00	28.7	33.4	37.6	23.7	244.43

E 3. Kayısı Kurutma Deney Sonuçları

Tablo E3.1. Güneşte Kayısı Kurutma Deneylerinin Yapıldığı Günler İçin 70 Kg/Saat Hava Debisinde Günlere ve Saatlere Göre Çevre, Kollektör Giriş-Çıkış Sıcaklıkları, Kurutucu Giriş ve Çıkışı İçin Yaş ve Kuru Termometre Sıcaklıkları İle Anlık ve Toplam Direkt Işıma Miktarları, Rüzgâr Hızı Değerleri

I.Gün	T _a	T _i	T _o	T _{ki}	T _{ko}	T _{YT,a}	T _{YT,ko}	Anlık Direkt Işıma Toplam	Direkt Işıma (MJ/m ² saat)	Rüzgâr hızı (m/s)
08:00	31.6	37.4	45.2	39.7	35.6	21.0	24.0	176.05	0.49	2.12
09:00	33.7	38.0	46.3	40.2	37.0	21.0	24.0	362.10	1.15	1.60
10:00	35.8	40.0	51.8	43.4	39.7	22.0	25.0	522.85	1.70	1.72
11:00	36.3	41.1	58.6	49.2	43.5	22.5	26.0	689.28	2.32	2.22
12:00	38.5	42.8	66.9	57.3	51.5	22.5	26.0	808.18	2.79	2.84
13:00	37.7	42.6	73.2	59.9	51.8	23.0	27.0	825.47	2.91	2.87
14:00	38.2	42.5	76.6	65.7	57.0	23.0	26.0	757.98	2.85	2.94
15:00	37.7	42.1	80.0	68.8	58.0	23.0	26.0	688.85	2.63	3.88
16:00	38.7	43.2	68.6	60.1	53.5	23.0	28.0	546.47	2.25	3.31
17:00	37.0	40.3	58.4	52.7	42.2	22.0	28.0	385.98	1.67	3.33
18:00	36.8	41.2	47.4	50.4	41.7	22.0	28.0	228.80	1.13	2.87
II.Gün										
08:00	31.1	35.4	46.8	39.9	35.6	21.0	28.0	130.62	0.23	1.87
09:00	33.1	36.8	51.7	46.8	41.1	21.0	28.0	334.32	1.01	1.01
10:00	35.4	39.7	60.7	52.4	46.1	21.0	28.0	484.70	1.52	1.85
11:00	37.3	42.1	61.4	54.2	46.0	22.0	28.0	679.93	2.26	0.71
12:00	38.2	43.1	63.7	56.6	48.6	23.0	28.0	799.13	2.78	0.85
13:00	38.4	42.5	64.4	58.4	50.9	22.0	27.0	789.26	2.89	3.76
14:00	38.4	42.7	69.7	60.8	53.1	23.0	27.0	752.22	2.82	2.80
15:00	38.3	43.0	75.0	66.0	58.2	23.0	28.0	680.62	2.60	2.43
16:00	37.7	42.9	61.5	53.4	45.4	23.0	28.0	526.72	2.20	3.73
17:00	37.0	42.4	49.6	43.2	41.4	23.0	27.0	379.40	1.65	2.17
18:00	36.4	41.7	45.4	41.4	37.6	23.0	27.0	225.50	1.11	2.58
III.Gün										
08:00	31.8	34.7	47.6	43.8	40.4	20.0	26.0	174.06	0.48	2.51
09:00	32.6	36.0	49.7	44.2	43.2	21.0	27.5	440.90	1.38	1.35
10:00	34.0	39.0	59.3	48.5	46.0	21.0	27.5	522.82	1.70	1.34
11:00	36.9	42.0	62.0	53.6	47.5	21.0	26.0	744.50	2.48	1.39
12:00	37.2	41.6	67.5	58.6	49.1	22.0	26.0	804.10	2.80	1.53
13:00	39.3	43.4	69.4	62.8	56.5	21.0	25.0	812.30	2.93	2.57
14:00	39.9	43.8	71.4	64.0	56.9	21.0	25.0	764.60	2.86	1.86
15:00	40.5	46.6	79.1	68.5	58.0	21.0	24.0	684.00	2.61	1.26
16:00	40.6	46.3	63.3	55.3	50.7	21.0	25.0	536.60	2.20	1.33
17:00	39.5	45.2	51.9	48.2	48.1	21.0	24.0	386.00	1.64	2.02
18:00	37.6	42.5	47.6	45.4	41.4	21.0	24.0	228.00	1.12	2.56

Tablo E3.2. Güneşte Kayısı Kurutma Deneylerinin Yapıldığı Günler İçin 50 Kg/Saat Hava Debisinde Günlere ve Saatlere Göre Çevre, Kollektör Giriş-Çıkış Sıcaklıkları, Kurutucu Giriş ve Çıkışı İçin Yaş ve Kuru Termometre Sıcaklıkları İle Anlık ve Toplam Direkt İşıma Miktarları, Rüzgâr Hızı Değerleri

I.Gün	T _a	T _i	T _o	T _{ki}	T _{ko}	T _{YT,a}	T _{YT,ko}	Anlık Direkt İşma Toplam	Direkt İşma (MJ/m ² saat)	Rüzgâr hızı (m/s)
08:00	08:00	31.6	34.5	48.8	40.6	36.1	19.0	174.60	0.47	0.76
09:00	09:00	32.2	36.3	56.7	50.1	45.8	19.0	350.50	1.10	1.77
10:00	10:00	32.9	38.0	67.7	57.5	47.8	20.0	515.30	1.67	2.68
11:00	11:00	34.7	39.7	71.7	58.7	49.9	20.5	671.81	2.27	1.01
12:00	12:00	36.1	41.5	72.6	61.7	51.4	21.0	799.10	2.77	2.33
13:00	13:00	37.3	43.0	76.5	64.8	54.7	22.0	801.60	2.90	2.74
14:00	14:00	38.3	43.6	85.7	70.8	60.5	21.5	769.50	2.84	2.39
15:00	15:00	39.2	46.5	90.8	76.6	67.7	21.0	633.30	2.62	2.48
16:00	16:00	38.7	46.8	74.1	62.6	53.1	21.5	530.80	2.21	1.21
17:00	17:00	38.5	46.4	64.8	58.6	49.7	21.0	340.70	1.62	1.43
18:00	18:00	37.6	45.7	58.7	49.5	42.1	21.0	204.10	1.03	1.87
II.Gün										
08:00	08:00	31.8	34.7	53.7	48.5	44.2	19.0	180.40	0.50	1.92
09:00	09:00	32.7	36.7	58.0	50.2	46.5	19.5	355.20	1.15	1.36
10:00	10:00	33.3	38.3	74.9	68.3	57.4	20.5	498.60	1.59	2.26
11:00	11:00	36.3	41.6	75.4	66.9	59.7	20.5	662.70	2.20	1.74
12:00	12:00	36.6	43.0	76.4	68.3	60.3	21.0	794.40	2.74	1.24
13:00	13:00	38.4	44.4	78.1	69.5	62.7	21.0	802.40	2.93	1.35
14:00	14:00	38.7	45.4	82.6	72.6	66.7	21.0	763.00	2.83	2.80
15:00	15:00	39.2	45.9	94.3	79.3	58.6	21.5	683.00	2.65	0.81
16:00	16:00	39.5	48.3	81.0	68.0	58.5	21.0	558.00	2.23	1.42
17:00	17:00	38.5	47.2	60.4	52.6	47.7	21.0	409.80	1.67	1.58
18:00	18:00	37.8	45.4	57.6	51.1	45.6	21.0	228.80	1.13	1.79
III.Gün										
08:00	08:00	33.7	35.4	54.7	47.6	45.4	19.0	187.20	0.51	2.16
09:00	09:00	34.0	38.4	63.5	52.8	47.7	19.0	378.20	1.20	1.51
10:00	10:00	36.4	41.6	75.6	63.6	54.4	20.0	520.00	1.68	0.90
11:00	11:00	37.5	43.3	77.9	65.8	56.6	20.0	677.30	2.30	1.14
12:00	12:00	37.9	43.8	78.5	68.5	59.7	21.0	796.70	2.78	1.85
13:00	13:00	38.6	44.7	79.6	70.2	61.5	21.0	799.90	2.91	1.57
14:00	14:00	39.7	45.6	83.7	73.9	64.7	21.0	762.00	2.83	1.25
15:00	15:00	40.5	47.9	96.6	81.1	69.9	22.0	679.80	2.63	0.72
16:00	16:00	40.2	48.9	81.7	74.8	62.8	21.0	539.00	2.23	0.57
17:00	17:00	40.2	47.5	63.6	58.9	51.6	21.0	406.60	1.52	1.78
18:00	18:00	39.6	44.8	57.5	51.6	47.0	21.0	226.30	1.02	2.14

Tablo E3.3. Kayısının Farklı Kütlesel Hava Debilerinde ve Güneşte Kurutulması Sırasında Günlere ve Saatlere Göre Ağırlık Kayıpları(g) ve Toplam Kuru Madde Miktarları(g)

	m=70 kg/saat	m=60 kg/saat	m=50 kg/saat	Güneşte
Gece	256	175	195	100
08:00	236	157	179	92
09:00	231	149	177	90
10:00	226	145	174	88
11:00	220	142	170	86
12:00	214	137	166	84
13:00	207	133	161	82
14:00	201	131	158	82
15:00	194	128	154	81
16:00	188	125	150	80
17:00	183	120	147	79
18:00	179	115	144	78
İLGİN				
08:00	161	107	130	72
09:00	157	103	127	70
10:00	153	100	124	68
11:00	148	96	121	66
12:00	143	92	118	64
13:00	139	88	115	63
14:00	134	86	113	62
15:00	130	85	111	61
16:00	127	84	108	61
17:00	124	83	106	60
18:00	121	82	104	59
İLGİN				
08:00	103	77	91	53
09:00	100	77	89	51
10:00	97	73	86	50
11:00	94	71	83	48
12:00	91	67	81	48
13:00	88	65	78	47
14:00	86	63	76	46
15:00	84	61	74	45
16:00	82	60	72	44
17:00	81	59	71	43
18:00	80	58	70	43

Tablo E3.3. ' ün devamı

IV. gün				
08:00	68	54	63	42
09:00		52	62	41
10:00		50	61	40
11:00		49	60	39
12:00		48	59	39
13:00		47	58	38
14:00		47	57	38
15:00			56	37
16:00			55	36
17:00			54	36
18:00			54	35
V. Gün				
08:00				32
09:00				32
10:00				31
11:00				31
12:00				31
13:00				30
14:00				30
15:00				29
16:00				29
17:00				28
18:00				28
VLGün				
08:00				26
09:00				26
10:00				26
Koru madde	56.8064	38.8325	43.2708	22.19

Tablo E3.4. 0.5 m/s Sabit Hızda ve Değişik Sıcaklıklarda Yürütülen Tek Tane Kayısı Kurutma Deneylerinde Ağırlık Kayıpları(G) ve Kuru Madde Miktarları

Zaman(dk)	50	60	70	80
0	15.496	15.586	15.768	15.612
5	15.328	15.41	15.548	15.398
10	15.165	15.24	15.348	15.188
15	15.005	15.076	15.168	14.982
20	14.848	14.918	14.983	14.785
25	14.696	14.763	14.8	14.592
30	14.548	14.612	14.62	14.405
35	14.403	14.463	14.443	14.222
40	14.261	14.318	14.268	14.036
45	14.121	14.176	14.109	13.854
50	13.983	14.028	13.952	13.676
55	13.848	13.883	13.798	13.502
60	13.716	13.741	13.652	13.335
75	13.311	13.328	13.221	12.852
90	12.921	12.924	12.793	12.386
105	12.546	12.533	12.388	11.932
120	12.165	12.157	12.007	11.495
150	11.457	11.413	11.308	10.662
180	10.767	10.74	10.621	9.934
210	10.148	10.134	10.014	9.261
240	9.598	9.569	9.47	8.649
270	9.086	9.029	8.957	8.132
300	8.618	8.517	8.49	7.629
330	8.175	8.042	8.047	7.179
360	7.777	7.597	7.648	6.754
390	7.401	7.197	7.251	6.388
420	7.067	6.812	6.914	6.088
450	6.738	6.478	6.585	5.821
480	6.476	6.146	6.298	5.576
510	6.201	5.878	6.027	5.365
540	5.979	5.652	5.784	5.163
570	5.766	5.472	5.575	5.022
600	5.574	5.328	5.368	4.923
630	5.427	5.175	5.197	4.863
660	5.271	5.062	5.06	4.842
690	5.142	4.978	4.967	
720	5.049	4.885	4.91	
750	4.956	4.832	4.889	
780	4.881			
785		4.807		
810	4.841			
835	4.826			
Kuru madde	4.029	4.052	4.099	4.060

Tablo E3.5. 70 °C Sabit Sıcaklıkta ve Değişik Hava Hızlarına Yürütülen Tek Tane Kayısı Kurutma Deneylerinde Ağırlık Kayıpları(g) ve Kuru Madde Miktarları

Zaman(dk)	0.2 m/s	0.5 m/s	1 m/s	1.5 m/s
0	15.379	15.768	15.437	15.617
5	15.214	15.548	15.222	15.372
10	15.052	15.348	15.012	15.132
15	14.892	15.168	14.807	14.897
20	14.734	14.983	14.587	14.671
25	14.579	14.800	14.387	14.448
30	14.430	14.620	14.207	14.228
35	14.285	14.443	14.022	14.000
40	14.142	14.268	13.839	13.787
45	14.002	14.109	13.662	13.567
50	13.865	13.952	13.487	13.371
55	13.730	13.798	13.322	13.195
60	13.599	13.652	13.159	13.017
75	13.217	13.221	12.687	12.438
90	12.857	12.793	12.217	11.877
105	12.509	12.388	11.787	11.323
120	12.152	12.007	11.352	10.790
150	11.519	11.308	10.555	9.802
180	10.884	10.621	9.850	8.956
210	10.310	10.014	9.190	8.257
240	9.780	9.470	8.625	7.619
270	9.248	8.957	8.106	7.057
300	8.790	8.490	7.647	6.551
330	8.334	8.047	7.207	6.120
360	7.942	7.648	6.810	5.748
390	7.559	7.251	6.438	5.454
420	7.234	6.914	6.111	5.214
450	6.900	6.585	5.811	5.034
480	6.637	6.298	5.541	4.907
505				4.836
510	6.360	6.027	5.293	
540	6.130	5.784	5.094	
570	5.917	5.575	4.937	
600	5.719	5.368	4.821	
615			4.782	
630	5.566	5.197		
660	5.413	5.060		
690	5.278	4.967		
720	5.173	4.910		
750	5.086	4.889		
780	4.999			
810	4.941			
840	4.914			
Kuru madde	4.880	4.899	4.814	4.860

Tablo E3.6. 0.5 m/s ve 80 °C Sıcaklığında Yürütülen Tek Tane Kayısı Kurutma Deneyinde Tane İçi Sıcaklığın Zamanla Değişimi

Zaman(dk)	Tane içi sıcaklık(°C)	Zaman(dk)	Tane içi sıcaklık(°C)
0	25.90	45	55.25
1	26.60	55	59.20
2	27.60	70	59.40
3	28.80	80	59.80
4	29.80	85	59.80
5	32.30	100	60.00
6	33.50	105	60.00
7	35.70	110	60.10
8	35.31	115	60.30
9	36.31	135	60.40
10	37.28	140	60.70
11	38.21	145	60.80
12	39.12	215	63.50
13	40.00	250	63.60
14	40.84	330	62.90
15	41.67	420	60.90
16	42.46	440	61.10
17	43.22	500	62.60
18	43.96		
19	44.68		
20	45.36		
21	46.03		
22	46.66		
23	47.27		
24	47.86		
25	48.43		
26	48.97		
27	49.48		
28	49.98		
29	50.45		
30	50.90		
35	52.84		
40	54.28		

Tablo E3.7. 0.5 m/s ve 70 °C Sıcaklığında Yürütülen Tek Tane Kayısı Kurutma Dencisinde Tane İçi Sıcaklığın Zamanla Değişimi

Zaman(dk)	Tane içi sıcaklık(°C)	Zaman(dk)	Tane içi sıcaklık(°C)
0.0	21.6	45.0	51.0
1.0	22.6	50.0	51.6
2.0	23.6	55.0	52.2
3.0	25.7	56.0	52.7
4.0	27.1	61.0	52.7
5.0	29.0	65.0	52.8
6.0	30.6	68.0	53.0
7.0	31.4	70.0	53.0
8.0	32.8	71.0	52.9
9.0	34.1	73.0	53.0
10.0	34.8	74.0	53.1
11.0	36.0	75.0	53.1
12.0	37.0	80.0	53.5
13.0	38.1	83.0	53.4
14.0	38.7	85.0	53.8
15.0	39.5	90.0	54.2
16.0	40.4	95.0	54.1
17.0	41.2	101.0	54.2
18.0	41.9		
19.0	42.4		
20.0	42.8		
21.0	43.5		
22.0	44.0		
23.0	44.6		
24.0	45.1		
25.0	45.3		
26.0	45.9		
27.0	46.3		
28.0	46.6		
29.0	46.9		
30.0	47.5		
35.0	48.8		
40.0	50.0		

Tablo E3.8. 70 °C Sabit Hava Sıcaklığında Farklı Hızlarda Yürütülen Tek Tane Kayısı Kurutma Deneyinde Tane İçi Sıcaklığın Zamanla Değişimi

Zaman	0.2 m/s	Zaman	0.5 m/s	Zaman	1.0 m/s	Zaman	1.5 m/s
1.0	33.8	0.0	21.6	0.0	23.7	0.0	28.6
2.0	34.7	1.0	22.6	1.0	24.9	1.0	30.2
3.0	35.6	2.0	23.6	2.0	27.8	3.0	32.2
4.0	36.7	3.0	25.7	3.0	30.4	6.0	33.4
5.0	37.4	4.0	27.1	4.0	32.5	10.0	40.4
6.0	38.4	5.0	29.0	5.0	34.6	15.0	43.4
7.0	39.4	6.0	30.6	6.0	36.6	20.0	47.0
8.0	40.4	7.0	31.4	7.0	37.5	25.0	50.4
9.0	41.3	8.0	32.8	8.0	38.4	79.0	55.7
10.0	42.2	9.0	34.1	9.0	40.0	80.0	55.8
11.0	43.0	10.0	34.8	10.0	41.4	100.0	57.0
12.0	43.9	11.0	36.0	11.0	42.6	105.0	56.9
13.0	44.4	12.0	37.0	12.0	43.8	106.0	56.9
14.0	45.0	13.0	38.1	13.0	44.8	160.0	58.3
15.0	45.8	14.0	38.7	14.0	45.6	161.0	58.3
16.0	46.5	15.0	39.5	15.0	46.4	163.0	58.4
17.0	47.3	16.0	40.4	20.0	49.0	164.0	58.3
18.0	48.0	17.0	41.2	30.0	52.6	220.0	60.0
19.0	48.4	18.0	41.9	55.0	54.6	290.0	60.7
20.0	49.1	19.0	42.4	60.0	55.6	300.0	61.4
21.0	49.7	20.0	42.8	100.0	55.4	305.0	61.4
22.0	50.2	21.0	43.5	170.0	55.8	395.0	61.2
23.0	50.4	22.0	44.0	250.0	57.5	455.0	61.7
24.0	51.0	23.0	44.6	310.0	58.7	495.0	62.3
25.0	51.5	24.0	45.1	365.0	58.7	505.0	62.3
26.0	52.0	25.0	45.3	370.0	58.8	512.0	62.3
27.0	52.4	26.0	45.9				
28.0	52.8	27.0	46.3				
29.0	53.1	28.0	46.6				
30.0	53.2	29.0	46.9				
34.0	54.9	30.0	47.5				
37.0	55.0	35.0	48.8				
40.0	55.2	40.0	50.0				
45.0	55.4	45.0	51.0				
50.0	55.9	50.0	51.6				
55.0	56.0	55.0	52.2				
60.0	56.2	60.0	52.7				
65.0	56.6	63.0	52.7				
70.0	56.8	65.0	52.8				
75.0	56.9	68.0	53.0				
80.0	57.0	70.0	53.0				
85.0	57.1	71.0	52.9				
90.0	57.2	73.0	53.0				
95.0	57.3	74.0	53.1				
100.0	57.4	75.0	53.1				
105.0	57.5	80.0	53.5				
110.0	57.5	83.0	53.4				
115.0	57.6	85.0	53.8				
120.0	57.8	90.0	54.2				
125.0	57.8	95.0	54.1				

E 3.8' in devamı

270.0	59.8	101.0	54.2
280.0	59.9	102.0	54.1
285.0	60.0	120.0	55.4
290.0	60.1	130.0	55.5
295.0	60.1		
300.0	60.0		
305.0	60.1		
315.0	60.0		
320.0	59.9		
325.0	59.9		
330.0	59.8		
350.0	60.0		
400.0	60.2		
410.0	60.8		
420.0	61.0		
430.0	60.9		
440.0	61.2		
450.0	61.2		
460.0	61.4		
470.0	61.4		
500.0	61.9		
505.0	61.7		
510.0	62.4		
515.0	61.5		
520.0	61.9		
530.0	60.7		
535.0	61.5		
540.0	61.9		
550.0	62.3		
555.0	62.2		
560.0	62.1		
565.0	62.2		
570.0	62.3		
580.0	62.4		

EC YÜKSELİ
DOKÜMANTASYON MERKEZİ