

**VAKUM TÜPLÜ GÜNEŞ ENERJİLİ SU  
DAMITILMASININ DENEYSEL OLARAK  
İNCELENMESİ**

**2013  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

**Semra ÜLKER**

**VAKUM TÜPLÜ GÜNEŞ ENERJİLİ SU DAMITILMASININ DENEYSEL  
OLARAK İNCELENMESİ**

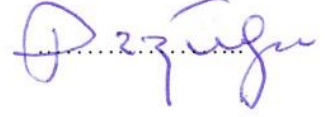
**Semra ÜLKER**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
Haziran 2013**

Semra ÜLKER tarafından hazırlanan “VAKUM TÜPLÜ GÜNEŞ ENERJİLİ SU DAMITILMASININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Ziyaddin RECEBLİ  
Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana bilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 17/06/2013

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Muhammet KAYFECİ (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Ziyaddin RECEBLİ (KBÜ)

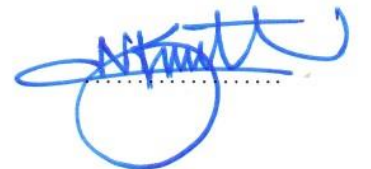
Üye : Yrd. Doç. Dr. Engin ÖZBAŞ (OMÜ)



...../...../2013

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



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

Semra ÜLKER

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **VAKUM TÜPLÜ GÜNEŞ ENERJİLİ SU DAMITILMASININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**Semra ÜLKER**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Doç. Dr. Ziyaddin RECEBLİ**

**Mayıs 2013, 59 sayfa**

Tarafımızca yapılan bu çalışmada, deniz suyunun damıtılarak, içme ve kullanım suyu elde edilmesi amacıyla kullanılan yöntemler teknik olarak incelenmiştir. Dere suyundan içme suyu elde edilmesinde değişik yöntemler kullanılmakta ve bunlardan biriside güneş enerjisiyle su damıtılmasıdır. Çalışmalarımıza bir güneş enerjili su damıtıcı yapılmasıyla başlanmıştır. Damıtma işlemi için enerji kaynağı olarak güneş enerjisi kullanılmıştır. Sistemde bir adet 150cm boyunda vakum tüp, yoğuşma örtüsü olarak tek eğimli yoğuşma örtüsü kullanılmıştır. Yapılan deneylerde Samsun koşulları ve dere suyu baz alınmıştır. Güneş enerjili dere suyu damıtıcısında, Samsun ili iklim koşulları (dış hava sıcaklığı, güneş ışınım miktarı, ışınım süresi), vakum tüplerin su sıcaklıkları, depo suyu sıcaklığı, damıtma havuzu sıcaklığı, vakum tüplü güneş kolektörü cam yüzey sıcaklığı ölçülerek değerlendirilmiştir. Bir güneş damıtıcısının güneş enerjisinden maksimum yarar sağlayabilmesi için değişik şartlar denenmiştir. En başta 15 litre hacimli cam depo değerleri alınmış daha sonra

vakumlu cam tüpü kullanılmış fakat yalıtımsız değerler alınmıştır. Daha sonra yine vakumlu cam tüpü kullanılmış bu sefer yalıtılmış ve bu değerler alınmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, sistemin verimi, iklim şartlarına, damıtma yöntemlerine, damıtıcının örtü şekillerine, dere suyu miktarına ve yoğunluğuna göre değişmektedir.

**Anahtar Sözcükler :** Güneş enerjisiyle damıtma, vakum tüplü güneş kolektörü, dere suyu damıtma, yoğuşma.

**Bilim Kodu** : 914.5.074

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF VACUUM TUBE SOLAR WATER DISTILLATION**

**Semra ÜLKER**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Energy Systems Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Assoc. Prof. Dr. Ziyaddin RECEBLİ**

**June 2013, 59 pages**

This study, made by us, the distilled, the sea water for drinking and industrial water is used for the purpose of obtaining methods technically have been studied. Deep water drinking water from one of the various methods in use and one of them is solar-powered water is distilled. We started with a solar water distiller. Solar energy has been used as a source of energy for the distillation process. 150 cm tall in a vacuum tube system, as a single curved condensation cover is used. The Experiments said conditions and stream water. Solar-powered between distiller, Samsun province, climatic conditions, stream water vacuum tubes water temperatures, water temperature, distillation, vacuum tube solar collector glass surface temperature of the pool temperature is measured and evaluated. A solar in distiller solar energy to Provide the maximum benefit in different terms. Top 15 liters volume is then vacuum glass tubes, glass values used, but insulation values. Then again, this time in vacuum glass tubes used in insulated and these values. As a result of the system's

efficiency experiments, distilling methods, climate conditions, stream water quantity and density of the still cover patterns may vary according to the.

**Key Words** : Vacuum tube solar collector, solar-powered stream water distillation, distillation, condensation.

**Science Code** : 914.5.074



## TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Engin ÖZBAŞ ve Doç. Dr. Ziyaddin RECEBLİ' ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa</u></b>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
BÖLÜM 1.....	1
GİRİŞ.....	1
1.1. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ.....	2
1.2. ÇALIŞMANIN AMACI.....	2
BÖLÜM 2.....	3
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
BÖLÜM 3.....	10
GÜNEŞ ENERJİSİYLE SU DAMITILMASI.....	10
3.1. GÜNEŞ ENERJİSİNDEN YARARLANARAK SUYUN DAMITILMASI.....	10
3.2. BUHARLAŞMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER.....	16
3.2.1. Meteorolojik Faktörler.....	16
3.2.2. Coğrafik ve Topoğrafik Faktörler.....	18
3.2.3. Suyun Kalitesi ve Bulunduğu Ortam.....	19
3.2.3.1. Su Kütlesinin Büyüklüğü.....	19
3.3. GÜNEŞ ENERJİLİ DAMITICILAR VE DAMITMA SİSTEMLERİ.....	20
3.3.1. Havuz Tipi Damıtıcılar.....	20
3.3.1.1. Havuz Tipi Damıtıcıların Çalışma Prensipleri.....	21

	<b><u>Sayfa</u></b>
3.3.1.2. Havuz Tipi Damıtıcıların Genel Yapısı .....	22
3.3.1.3. Saydam Örtünün Özellikleri .....	22
3.3.1.4. Havuz Özellikleri .....	24
3.3.1.5. Toplama Oluklarının Özellikleri .....	25
3.3.1.6. Havuz Tipi Damıtıcıların Konstrüksiyonları .....	26
3.3.1.7. Havuz Tipi Damıtıcıların Performansa Etki Eden Faktörler .....	29
3.3.1.8. Havuzdaki Su Derinliğinin Etkisi .....	30
3.3.1.9. Damıtma Havuzlarının Konstrüksiyonla İlgili Özelliklerinin Performansa Etkisi .....	31
3.3.2. Yüksek Sıcaklıklı ve Aktif Çalışan Damıtıcılar .....	34
<b>BÖLÜM 4</b> .....	<b>36</b>
<b>MATERYAL VE METOT</b> .....	<b>36</b>
4.1. MATERYAL .....	36
4.1.1. Damıtma Havuzu .....	38
4.1.2. Temiz Su Toplama Kanalı .....	38
4.1.3. Üst Yoğuşma (Saydam) Örtüsü .....	38
4.1.4. Vakumlu Güneş Kolektörleri .....	39
4.1.5. Vakumlu Güneş Kolektörlerinin Çalışma Prensibi .....	39
4.1.6. Saydam Örtü .....	40
4.1.7. Yutucu Yüzey .....	40
4.1.8. Yalıtım Malzemesi .....	41
4.1.9. Diğer Malzemeler .....	41
4.2. METOT .....	41
4.3. BUHARLAŞMA ISISI .....	43
<b>BÖLÜM 5</b> .....	<b>44</b>
<b>ARAŞTIRMA BULGULARI</b> .....	<b>44</b>
5.1. DENEY SONUÇLARI .....	44
5.1.1. 25/05/2013 Tarihli Deney .....	44
5.1.2. 27/05/2013 Tarihli Deney .....	45
5.1.3. 29/05/2013 Tarihli Deney .....	45

	<b><u>Sayfa</u></b>
BÖLÜM 6 .....	49
SONUÇLAR.....	49
KAYNAKLAR.....	50
EK AÇIKLAMALAR A. DENEY ÇİZELGELERİ.....	52
ÖZGEÇMİŞ .....	59

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 3.1. Hidrolojik çevrim .....	10
Şekil 3.2. Basit damıtma ve yoğuşma .....	12
Şekil 3.3. Tek havuzlu cam çatılı güneş damıtma sistemi.....	15
Şekil 3.4. Basit düşük maliyetli yoğuşma ve damıtma ile arıtma metodu .....	16
Şekil 3.5. Tek havuzlu cam çatılı güneş damıtma sistemi.....	21
Şekil 3.6. Havuz tipi güneş enerjili damıtıcı.....	22
Şekil 3.7. Uygulamada bazı büyük güneş enerjili damıtıcılardan kesitler .....	27
Şekil 3.8. Yüksek sıcaklıklı sistemler .....	34
Şekil 3.9. Cezayir’ de yapılmış olan sistem.....	35
Şekil 3.10. Aktif çalışan güneş enerjili damıtma havuzu ve düz yüzeyle kolektör ....	35
Şekil 4.1. Işınım şiddetini ölçen solarimetre .....	37
Şekil 4.2. Avometre.....	37
Şekil 4.3. Tek eğimli üst yoğuşma örtüsünün kesitleri .....	38
Şekil 4.4. Tek eğimli üst yoğuşma örtüsünün görünümü .....	39
Şekil 4.5. Vakumlu kolektörün görünüş ve kısımları.....	39
Şekil 4.6. Vakum tüplü kolektörün çalışma prensibi .....	40
Şekil 4.7. Deneyde kullanılan güneş enerjili damıtma sistemi genel görünüşü .....	42
Şekil 4.8. Sıcaklık-hacim grafiği.....	43
Şekil 5.1. Işınım şiddeti ile iç ortam sıcaklık karşılaştırmaları.....	46
Şekil 5.2. Işınım şiddeti ile su sıcaklığı karşılaştırmaları .....	46
Şekil 5.3. Işınım şiddeti ile dış cam yüzey sıcaklıkları karşılaştırmaları .....	46
Şekil 5.4. Işınım şiddeti ile hortum sıcaklık karşılaştırmaları .....	47
Şekil 5.5. Işınım şiddeti ile dış sıcaklık karşılaştırmaları .....	47

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 3.1. Serbest su yüzeyinde buharlaşma miktarının enlemlere göre değişimi..	18
Çizelge Ek A.1. Işınım ölçüm değerleri.....	53
Çizelge Ek A.2. İç ortam sıcaklık değerleri .....	54
Çizelge Ek A.3. Su sıcaklık değerleri .....	55
Çizelge Ek A.4. Dış cam yüzey sıcaklık değerleri .....	56
Çizelge Ek A.5. Hortum sıcaklık değerleri .....	57
Çizelge Ek A.6. Dış ortam sıcaklık değerleri .....	58

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

- E : Toplam verim  
°F : Fransız sertliği  
G : Günlük ışınım miktarı (MJ/m<sup>2</sup>), (kWh/m<sup>2</sup>), (W/m<sup>2</sup>), (kcal/m<sup>2</sup>)  
h<sub>b</sub> : Doymuş kuru buharın entalpisi (kcal/kg)  
h<sub>s</sub> : Doymuş suyun buharın entalpisi (kcal/kg)  
µm : Mikrometre  
Q<sub>su</sub> : Günlük yoğuşan su kapasitesi (litre/gün), (litre/m<sup>2</sup>)

### KISALTMALAR

- AGMD : Hava boşluklu zarlı damıtma  
DCMD : Direkt bağlantılı membranlı (zarlı) damıtma  
DMD : Dağıtımali çok etkili damıtma  
ED : Elektrodializ  
EPSEA : El Paso Güneş Enerji Kurumu  
HD : Nemlendirmeli ve nemlendirmesiz damıtma  
MD : Membranlı (zarlı) damıtma  
MED : Çok etkili damıtma  
MSF : Çok aşamalı flas  
MSFD : Çok katlı hızlı damıtma  
NMSU : New Mexico Devlet Üniversitesi  
PCM : Faz değiştiren malzeme  
RO : Ters ozmos  
SPMD : Güneş enerjisi kaynaklı membranlı (zarlı) damıtma  
WHO : Dünya Sağlık Örgütü

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Eskiçağda şehirlerin, kullanılabilir bir su kaynağının bulunduğu yerlerde kurulması tercih ediliyordu. Artık şimdilerde daha iyi planlama yapılıyor ve çoğunlukla su kaynaklarının uzağında kuruluyor. Bunun nedeni de suyu taşımamanın insanları taşımaktan daha kolay olması ihtimalidir. Ancak su gereksinimimiz hızla artmış ve su sıkıntısı günümüzde, dünyanın pek çok bölgesinde ekonomik büyümeyi sınırlayan en önemli etkenlerden biri durumuna gelmiştir. Nüfus artışı, sanayileşme ve etkin tarım faaliyetlerinin dünyanın kısıtlı yeraltı ve yerüstü kaynaklarını tükettiği ve çevre sorunlarını arttırdığı bir gerçektir. Sanayileşme ve gelişme hamlelerine paralel olarak ülkemizde de kaynak tüketimi hızla artmaktadır. Dünyada ve ülkemizde su kaynaklarının giderek tükenmesi ve mevcut su kaynaklarının kullanılamayacak duruma gelmesi, su temini konusunu ön plana çıkarmaktadır. Özellikle, su gibi doğal bir kaynağın geriye dönülemez bir şekilde tüketilmesine engel olmak için bekleyecek zamanın olmaması, insanoğlunu bu kaynakları koruyacak ve kurtaracak teknolojileri kullanmaya ve geliştirmeye mecbur kılmaktadır. Yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından en akıcı bir şekilde yararlanılması gerekmektedir. Güneş enerjisi de bu enerji kaynaklarından birini oluşturmaktadır [1]. İçme ve kullanım suyuna duyulan ihtiyacın artması, bilim adamlarını arayışlara ve bu konuda çalışmalar yapmaya yönlendirmiştir. Dünya üzerindeki su potansiyelinin yalnızca %0,5'i içilebilecek nitelikte olup, %97'si deniz suyu, %2,5'i ise tuz içermesinden dolayı tuzlu yeraltı suyu olarak sınıflandırılmaktadır. Güneş enerjisiyle damıtmadaki temel teori, doğada var olan su çevriminin minyatür olarak yeniden yapılandırılmasıdır. Küresel su çevriminde güneş, su kaynaklarını ve yüzey sularını buharlaştırır, hayvan ve bitkilerde solunuma sebep olur. Atmosferdeki nem arttıkça buhar bulutlarda yoğunlaşır ve uygun soğutma koşulları ile dünyaya yağmur olarak geri döner. Güneş enerjili havuzla damıtma işlemi dünyada doğal olarak gerçekleşmektedir [2]. İlk yapılan damıtıcıların mantığı bu döngüye dayanmaktadır.



Geliştirilen damıtma sistemleri de bu prensibe göre çalışır. Damıtma havuzuna alınan dere suyu, güneş enerjisiyle buharlaştırılır. Buharlaşan su, daha soğuk saydam örtüde yoğunlaşır. Yoğunlaşan su toplanarak içilebilir ve kullanılabilir su elde edilir. Bu konu üzerine çalışmalarına hız veren bilim adamları, daha iyi verim elde edebilmek için çeşitli tipte damıtma sistemleri dizaynlar yapmışlardır. Bunun neticesinde de çok değişik modelde güneş enerjili damıtma sistemleri ortaya çıkmıştır.

## **1.1. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ**

Günümüzün sanayileşmiş ülkeleri yetersiz su rezervlerine rağmen içme suyu ihtiyaçlarını rahat karşılamaktadırlar. Buna karşın dünya nüfusunun hemen %25'i ciddi boyutlarda içme suyu sıkıntısı çekmektedir. Aynı zamanda bu bölgelerde kullanılan içme suları hijyenik şartlardan yoksundur. Bugün dünyada ciddi bir temiz su sıkıntısı yaşanmaktadır. Su kaynaklarının kirlenmesi ve nüfus artışı yüzünden 2025'li yıllar da nüfusun üçte ikisi temiz su sıkıntısı çekecektir. Su sıkıntısı daha çok kuzey Afrika ve Güney Asya ülkeleri gibi kurak alanlarda yaşanmaktadır (15°-35° Kuzey enlemlerinde). Bu durum karşısında en geçerli çözüm güneş enerjisiyle damıtma olarak görülmektedir. Temiz suya en çok ihtiyaç duyan yerler aynı zamanda yoğun güneş enerjisine sahip yerlerdir. Bu yüzden de termal güneş enerjili damıtma işlemi, uygulana bilecek en etkili yöntemdir [3].

## **1.2. ÇALIŞMANIN AMACI**

Bu çalışmadaki amacımız; Samsun koşullarında deniz suyunun damıtılarak temiz içme suyu elde edilmesidir. Bu nedenle basit bir güneş enerjili damıtma düzeneği kurulmuştur. Sistemde kolektör olarak bir adet 150cm uzunluğunda vakum tüplü güneş kolektörü kullanılmıştır. Sistem hazırlandıktan sonra deneylere başlanmış, başta üst yoğuşma örtüsü üzeri güneş görebilecek şekilde herhangi bir yalıtım yapılmamıştır. Gerekli değerler alındıktan sonra üst yoğuşma örtüsü camyünü ile yalıtılarak değerler alınmış ve farklı miktarlarda suyun damıtıldığı gözlemlenmiştir.

## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Öztürk tarafından yapılan bilim uzmanlık tez çalışmasında camdan tek eğimli basit bir güneş damıtıcısı imal edilmiş ve bu damıtıcının performansını etkileyen parametrelerden rüzgâr hızı, ışınım şiddeti ve üst yoğuşma örtüsü incelenmiştir. Laboratuvar ortamında güneş simülasyonu yapılmıştır. Bu çalışmanın sonunda İstanbul koşullarında basit bir damıtıcının üst yoğuşma örtü eğimi  $33^\circ$  olarak bulunmuştur. Damıtıcı üst yoğuşma örtüsü üzerinde değişik hızlarda hava akımı oluşturulmuş ve damıtılan su miktarlarındaki artış ve azalışlar incelenmiştir. İncelemeler sonunda 3m/saatlik rüzgâr hızında damıtılan su miktarı maksimum olmuştur. Çeşitli amaçlar için kullanılan düşük sıcaklıkta faz değiştiren malzemeler (PCM) damıtıcının performansını artırmak için kullanılmıştır. Bunun için damıtıcıya bir PCM kolektörü yerleştirilmiş ve yapılan deneyde PCM kullanılmadan elde edilen damıtılmış su miktarın dan %54,5 daha fazla damıtılmış su elde edilmiştir [4].

Mamlook vd. tarafından yapılan çalışmada farklı güneş sistemleri uygulamalarının performansları birbirleriyle mukayese edilmiştir. Değişik güneş sistemlerinin karşılaştırılmasında bulanık mantık metodolojilerinin kullanıldığı bir çalışma yapılmıştır. Ürdün'de öncelikle kullanılan güneş sistemlerin düzeni incelenmiştir. Bu sistem güneş enerjili damıtma, güneş ile ısıtma, fotovoltatik ve güneşle elektrik gücü üretimi ile ilgilidir. Bu sistemler yararlarına ve maliyetlerine göre karşılaştırılmıştır. Maliyetlerine göre güneş enerjili damıtmanın en iyi yöntem olduğu tespit edilmiştir. Güneş havuzlarının en iyi ikinci yöntem olduğu ve bununda elektrik üretimi için gerekli olduğu belirtilmiştir. Daha sonra ise sırayla güneşle ısıtma ve fotovoltatik yöntemleri sıralanmıştır. Sonuç olarak güneşle su ısıtmanın daha fazla ilerlemeye ihtiyacının olmadığı belirlenmiştir [5].

Abdel-Rassoul Ortadoğu'da, su dağıtımı için kullanılan değişik damıtma sistemlerinin ekonomik değerlendirilmesini yapmış ve güneş enerjisinin damıtmada kullanımıyla, damıtma maliyetinin indirilebileceğini açıklamıştır. Güneş enerjisiyle damıtmanın çok basit ve direkt bir metot olduğu, yalnızca geniş alan gerektirdiği enerji sarfiyatının az olduğu ve kıyıda köşede kalmış yerler için çok uygun bir yöntem olduğu belirtilmiştir. Çok katlı hızlı (MSF) damıtma işleminin çok enerji gerektirdiği fakat tersine ozmos (RO) un enerjiyi daha az kullandığı belirlenmiştir. Tersine ozmos ve elektrodiyalizin (ED) en uygun yöntemler olduğu görülmüştür [6].

Abdel-Dayem bu çalışmada, çok etkili yoğuşma ve buharlaşma çevrimine dayalı basit güneş enerjili damıtıcıların nümerik ve deneysel performansını göstermektedir. Deneysel cihazı, Mısır'da Mattarria Mühendislik Fakültesi (Kahire)'n deki laboratuvarında kurulmuş ve test edilmiştir. Damıtma odası nemlendirici (buharlaştırıcı) ve nem alıcı (yoğuşturucu) ünitelerden oluşmuştur. Bu iki kısımdaki hava sirkülasyonu doğal konveksiyona sağlanmıştır. Soğuk tuzlu su önceden içeride ısıtılmış ve daha sonra güneş kolektör çerçevesinde ısı değişimine maruz bırakılmıştır. Bu cihazda düz plakalı kolektör alanı  $3,1m^2$  dir ve kapalı bir çerçevesi vardır. Ayrıca depolama tankı bulunmaktadır. Yıllık, farklı derecelerde elde edilecek ısı tahmin edilmiştir. Optimum kolektör alanı sistemin ömrünün maksimum olmasını sağlamıştır. Nümerik ve deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. 241 gün su üretildiği tespit edilmiştir [7].

Belessiotis ve Delyannis bu çalışmaların yapıldığı sıralarda tüm enerji kaynaklarındaki fiyat artışının, dönüştürülebilirler hariç, bütçe açısından çok yıkıcı bir etki yaptığını belirtmişlerdir. Dönüştürülebilir enerjilere günümüz koşullarındaki teknolojilerle ve araştırmalarla yönelmek, bir fırsat ve ilerleme olarak kabul edilmiştir. Bu şekilde fiyatlar aşağı çekilmekte ve daha uzun ömürlü olmaktadır. Yaptıkları çalışmada, Ege Takım Adaları'nda, ihtiyaç olan su miktarlarını adalara göre incelemişler ve bu adalardaki bireysel veya küçük yerleşim alanlarının su ihtiyacının, kurulabilecek güneş damıtıcısı ile sağlanıp sağlanamayacağını araştırmışlar ve bir ön ısı analizi yapmışlardır. Buralarda kurulması planlanan güneş damıtıcıları küçük çaplı ve küçük toplumlar için uygun görülmüştür [8].

Abu-Jabal vd. birlikte Tokyo'da yaptıkları çalışmada, yeni bir güneş damıtıcısı geliştirmişler ve performans testi Gaza El Hazar Üniversitesi'nde yapılmıştır. Tokyo'daki 20 Ebara Ortaklığı bu sistemi geliştirip üretmiştir. El Azhar Üniversitesi Su Araştırmaları Merkezi de bu sistemin performans testlerini yapmıştır. Damıtıcı, buharlaşmanın dizi halinde üç ayrı bölümden meydana geldiği bir sistemdir. Bu sistemde emisyonun sıfır olduğu ve damıtma işleminin üç etkili buharlaştırıcılarla suyun buharlaştırılmasıyla yapıldığı anlatılmıştır. Yapılan testlerden sonra, Filistin için bu damıtma sisteminin uygulanabilir olduğunu görmüşlerdir [9].

Garcia-Rodriguez vd. birlikte İspanya'nın iklimsel koşulları temel alınarak bir küresel analiz yapmışlardır. Bu analizde bir damıtma süreci için, değişik tipte, farklı sıcaklık aralıklarında çalışabilecek güneş kolektörlerini incelemişler ve birbirleriyle karşılaştırmışlardır. Her bir ısı bölümünde uygun güneş kolektörlerinin farklı yönleri çalıştırılmıştır. Bunlar; damıtma ünitesinde temiz su üretimi ve sisteme ısı pompası takıldığı takdirde üretilen temiz su miktarıdır. Son olarak da güneş kolektörü yerleştirilecek alan bu kısımda da enerji üretilmesi düşünülmektedir. Bu karşılaştırmalar sonucunda, parabolik güneş toplayıcılarının deniz suyu dağıtımını için umut verici olduğunu görmüşlerdir [10].

Hummel yaptığı çalışmada, geleneksel güneş enerjili sistemlerdeki gelişmeleri inceleyerek, dağıtım çok etkili damıtma (DMD) üzerinde durmuş ve ayrıca eski teknikler olan MSF, MED ve LTV süreçlerini incelemiştir. Bilgisayar teknolojisini kullanarak bu süreçlerin, ekonomikliklerini, maksimum yeteneklerini ve bugünün en iyi sistemleriyle karşılaştırılabileceğini belirtmiş ve DMD sistemi için bir ısı geçiş katsayısı hesaplamıştır. El-Bahi ve inan (1998) birlikte yeni bir damıtıcı dizaynı yapmışlardır. Klasik bir damıtma kabı üzerinde 4° bir açıyla cam örtü yerleştirmişlerdir. Bu damıtıcıda yoğunlaştırıcı güneş ışınlarına maruz kalmayacak şekilde yerleştirilmiştir. Yoğuşma ve buharlaşma kısımları ayrı üniteler halindedir. Yoğuşma kısmının buharlaşma kısmı kenarına bir ayna yerleştirilerek verimin artırılması sağlanmıştır. Damıtıcıda, yoğunlaştırıcı kısmı olmadan deneyler yapılmış ve %70 kazanç sağlanmış, yoğuşma kısmıyla beraber yapılan deneylerde %75 kazanç sağlamışlardır [11].

Koning ve Thiesen bu çalışmada temeli güneş enerjisiyle ısıl damıtmaya dayalı metrekarede 40 litre su üreten küçük ölçekli damıtma sistemini anlatmışlardır. Amaçlanan; bu sistemin enerji verimini en üst düzeye çıkarmak ve mümkün olan en üst düzeyde taze su üretmektir. Buharlaşma ve yoğunlaşma bölümleri birbirinden ayrı ayrıdır. Kullanılan kolektör düzlem yüzey yerine kübik şekilde yapılmıştır. Ayrıca sisteme aynalar ilave edilerek güneş enerjisinin girişi artırılmış ve rüzgârdan korunmak için yararlanılmıştır. Hava akışını test ve kontrol edebilmek için mikro kontrolör kullanılmıştır. Bonaire adasında yapılmış olan ilk örnek metrekare başına 40 litre temiz su üretmiştir. 20 yıl kullanım ömrünün olduğu belirtilmiştir. Su kaynağı herhangi bir kaynak olabilmektedir (deniz suyu, metallerin kirlettiği su ve minerallerin zehirli su, Bangladeş'teki arsenik tarafından zehirlenmiş kuyu suyu) [12].

Müller vd. tarafından yapılan bu çalışmada çok katlı güneş enerjisiyle damıtma sistemlerinde ısı geri kazanımı anlatılmıştır. Bu sistemin en önemli yararı kullanımının kolay olması, pompa ve elektronik kontrole imkân tanınmasıdır. Ayrıca bu ünite elektrik enerjisi gerektirmez. Bu havuz 50 ile 500 litre içecek su üretmektedir [13].

Greenpace tarafından desteklenen bu projede üç tip güneş enerjisiyle damıtma sistemi kurulmuştur. Çok katlı ısı geri kazanımı bölümleri bulunmaktadır. 4m<sup>2</sup> düzlem kolektör (1m<sup>2</sup> buharlaşma yüzeyli), 2,4m<sup>2</sup> parabolik yansıtıcı (0,66m<sup>2</sup> buharlaşma yüzeyli), 2m<sup>2</sup> boşaltılmış tüplü kolektörler (1m<sup>2</sup> buharlaşma yüzeyli). Kolektörlü arıtma modülünde ünitenin en alt katmanı arıtma kulesinin ilk basamağı olarak hizmet eder. Aynı zamanda 22 arıtılmış su içinde tank görevi görür. Kolektörün yüzeyinde üretilen ısı da burada ortaya çıkar. Yoğunlaşma, direkt olarak kolektörün ısı transfer ortamı oluşturmasıyla gerçekleşir. Kolektör, yoğunlaşma ünitesinin altına yerleştirilir, sirkülasyon güneş kolektöründen normal termal konveksiyon aracılığı ile gerçekleşir. 2m<sup>2</sup> yüzeyli iki kolektörün kendi, sirkülasyon sistemi vardır. Kolektörlerin taban ve tavanındaki ilave yansıtıcılar gelen ışığın yüzeyini genişletir. 24 saatte üretilen toplam arıtılmış su 44kg'dır. Bir günde toplanan güneş enerjisi ise 7,23KW/m<sup>2</sup>d'dir. Bu şu anlama gelir; güneş enerjisinin kullanılan enerjiye oranı %98 olarak hesaplanır. Basit sera tipi damıtma ünitesi

referans olarak kurulmuş ve aynı zamanda m<sup>2</sup> başına 4 litre su üretilmiştir. Bu iki ünite mukayese edildiğinde, basit bir sistemdeki giriş, enerji seviyesinden 2,75 kere daha verimli olduğu görülmüştür. Parabolik yansıma modeli her zaman doğu-batı yönünde yerleştirilir. Gelen ısının genişliği 1,5m'dir. Yansıtıcı alıcının üzerine gün boyu sürekli ışık gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Odak noktası gün boyu absorber yüzeyinde 20cm genişliğinde hareket edecek şekilde ayarlanır. Bu şu anlama gelir: Coğrafi duruma bağlı olarak yalnızca bir günlük ayarlama, odak çizgisi pozisyonu için yeterlidir. Absorber aynı zamanda tuzlu suyu da tutar ve bu arıtma kulesinin 1. basamağında olur. Rüzgârlı durumlarda ısı kaybı çok fazla olur. Çünkü absorber gölgede kalır. Ayrıca gece yoğun ısı kaybı tabanda olur ve sistemi hızla soğutur. Bazı rüzgârlı bölgelerde absorber cam kapakla korunarak çözüm bulunabilir. Fakat camın üzerinde yansıma olduğu için enerji kaybı dikkate alınmalıdır. Güneş ışınları dar açıyla geldiğinde pek çok ünite mümkün olduğunca birleştirilmeli ve parabolik reflektörün kenarındaki ısı kaybı minimuma indirilir. Ölçüm sonuçları şunu gösterir: Parabolik reflektör sistemi bir yandan hızla ısıtırken geceleri bu ısı hızla kaybolmaktadır. Sonuç olarak reflektörlü 2,4m<sup>2</sup> büyüklüğündeki bir sistemden alınacak sonuçla 4m<sup>2</sup>'lik düzlem yüzeyli sistemden alınacak sonuç aynıdır. Bu yüzden yalıtıma önem verilmelidir. Bu kurulacak iklim koşullarıyla da ilgilidir. Başka bir çözüm ise bükümlü tüplü kolektör kullanmaktır. Tüpler direkt olarak buharlaşma bölümüne bağlanmıştır. Su tüplerden geçer, bu tüplerde ısı da taşınmaktadır. Bu kolektörler rüzgâra çok duyarlıdır ve 100°C de bile yüksek verimlilikle çalışırlar. Fakat şuna dikkat edilmelidir: Etkili alandaki tüplerin arasındaki geniş alan daraltılınca ve sınırlı oranda performans başarılı sayılmaktadır; optik verimde % 40 civarında olmaktadır.

El Paso Güneş Enerji Kurumu (EPSEA), SolAqua, Sondia Ulusal Laboratuvarları ve New Mexico Devlet Üniversitesi ile birlikte çalışmışlardır. Bu çalışmalar 1994-97 yılları arasında Temas Devlet Enerji Korunumu Kurumunca da desteklenmiştir. İlk çalışmalar El Paso'da bir güneş enerjili damıtma tesisi kurularak başlamıştır. Orijinal planlar, ailelere de kendilerininkini kurmaları için verilmiştir. Fakat onlar bu cihazı çalıştırmayı başaramamışlardır. Proje aynı zamanda New Meksika'da Columbus'daki pilot havuzlar ile ilgili olup EPSEA'da 33 tane havuz inşa etmiştir ve bunları New Meksika'nın güneyindeki yerleşim yerlerine dağıtmıştır.

MNSU'nun pilot çalışmaları şunu göstermiştir: güneş enerjili damıtma havuzları et kili bir şekilde tuzu, ağır metalleri, bakteri ve mikropları su kaynağından yok etmektedir. Bu sistemde genel havuzun çalıştırma işlemi basittir ve havuzun güneşe doğru konulması gerekir. Bir veya iki günde bir havuza su konur, havuzun tabanı temizlenir. Havuzlar modülerdir ve daha çok su üretimi için yan yana paralel olarak havuzlar birbirine bağlanabilir. Su havuzun tabanında buharlaştıkça geride tuz ve diğer maddeler kalır. Zaman geçtikçe tuz iyi temizlenmezse birikir. Bu yüzden uygun bir şekilde çalıştırılması için her gün ortalama 3 kere su ilave edilmesi gerekir. Örneğin havuz 5 litre su üretiyorsa 15 litre su eklenmelidir, 10 litresi havuzdan ayrılır. Bu ayrılan 10 litre su tuz birikmesini önlemek için kullanılır. Bu 10 litrelik su, iyi kalitede ise yıkama işlemlerinde (evde) kullanılabilir. Bu şekilde çalışan havuzlarda her hangi bir tortu birikmez. Eğer bu işlem unutulursa havuz tabanı sirke ile elle temizlenir. Arizona Üniversitesinden Dr. Andrew Veil bu suyun daha sağlıklı olduğunu savunmuştur.

Aybar vd. yaptıkları bu çalışmada eğimli güneş enerjisiyle damıtma sistemine ait bir deneyi anlatılmışlardır. Bu deneyde Kuzey Kıbrıs'ın çevre koşulları dikkate alınmıştır. Farklı güneş enerjili havuz sistemlerinde besleme suyu güneş enerjisini absorber edici yüzeylere düşer. Sistem sürekli temiz ve sıcak su üretir. Emici yüzeylerde sürekli şekilde akış suyunun tutulması buharlaşma oranını ve buna bağlı olarak da damıtılmış su miktarını arttırır. Bu sistemin eğimli yüzeyi cam kapaktan oluşan bir absorberdir. Suyun yüzeye verilmesi ile sürekli bir su tabakası oluşmuştur. Isıtma ve buharlaşma işlemi, bu absorber edici tabakada; yoğunlaşma işi ise cam kapakta olmaktadır. Bu sistemin en önemli özelliği hem temiz hem de sıcak suyu aynı zamanda üretmesidir. Sıcak su evlerde kullanılabilir. Buharlaştırmayı arttırmak için gözenekli bir ortam kullanılabilir. Sisteme 30° eğim verilir. Bu şekilde suyun damlaması hızlandırılır ve daha çok su elde edilir. Orta tanktan gelen besleme suyu dağıtım borusuna gider (çapı 11mm). Yarı boyuna 2mm'dir. Sistem üç değişik şekilde test edilmiştir [14]. Bunlar;

- Çıplak yüzeyli
- Siyah kumaşlı fitilli
- Siyah yünlü fitilli.

Bu fitillerin kullanılması, temiz su üretimini çıplak yüzeyli olandan 2–3 kat fazla arttırmıştır. Elde edilen sıcak su da evde kullanılacak sıcaklığa ulaşmıştır. Basit tip güneş enerjili fitilli damıtıcıda besleme suyu yavaş delikli absorber edici yatak tarafından emilir. İki avantajı vardır: ilki fitile eğim verilebilir. Böylece, besleme suyu güneş ışınlarından daha uygun açıyla yararlanabilir. İkincisi ise damıtıcıda daha az besleme suyu bulundurulur. Böylece su, daha hızlı bir şekilde kızgın hale getirilir ve yüksek sıcaklığa ulaştırılır. Su eğimden dolayı yüzeye gider ve yüzeyde su seviyesi artar. Güneş enerjisi yüzeyi ısıtır. Suyun bir kısmı buharlaşır ve cam kapak aracılığıyla yoğunlaşır. Geride kalan besleme suyu sıcaktır, diğer kanala akar. Sıcak su, yüzeyden bu kanalla alınır. Temiz su ve sıcak su ayrı tanklarda toplanır. Basit temel tip güneş fitilli damıtıcılar; basit temel tip güneş enerjili damıtıcılardan daha verimlidir. Kurulum ücretleri daha düşüktür.

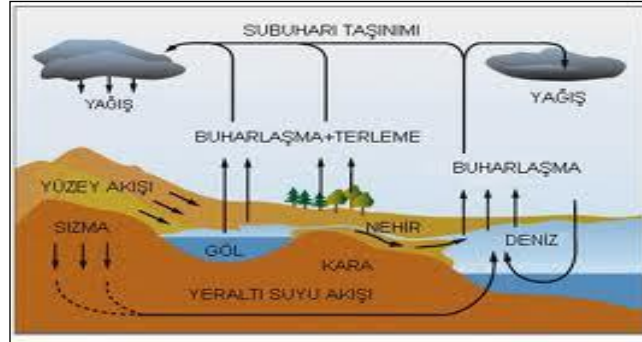


## BÖLÜM 3

### GÜNEŞ ENERJİSİYLE SU DAMITILMASI

#### 3.1. GÜNEŞ ENERJİSİNDEN YARARLANILARAK SUYUN DAMITILMASI

Su tabiatta çeşitli yerlerde ve çeşitli hallerde (katı, sıvı, gaz) bulunmakta ve yer kürenin çeşitli kısımları arasında durmadan dönüp durmaktadır. Suyun bulunduğu depolardan çeşitli etkiler nedeniyle sıvı halden gaz haline geçerek atmosfere intikali ve oradan tekrar yoğunlaşarak yeryüzüne düşmesi sırasında takip ettiği olaylar zincirine Hidrolojik Çevrim denir Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Hidrolojik çevrim.

Damıtma ile temiz su üretimi basit ve etkili bir yöntemdir ve aynı zamanda güvenlidir. Bu işlem enerji gerektirir ve güneş enerjisi ısı kaynağı olarak kullanılabilir. Bu işlem sırasında su buharlaşır, böylece içindeki maddelerden ayrılır ve saf su olarak yoğunlaşır. Güneş enerjili damıtma havuzları sudaki tuzu, ağır metalleri ve sudan kaynaklanan hastalıkları yok etmektedir. Güneş enerjisiyle damıtma elde edilen saf su pek çok şişelenmiş sudan çokta iyidir [12].

Güvenilir içme suyunun dağıtımı ve kullanılabilirliği ile ilgili durum, gelişmekte olan ve hatta gelişmiş ülkelerde bile ortadadır. Bu durum; gelecekte artan nüfusun baskısı,

tarımsal koşullar, iklim değışiklikleri, karaların ve su kaynaklarının aşırı kullanımı yüzünden daha da kötüleşecektir.

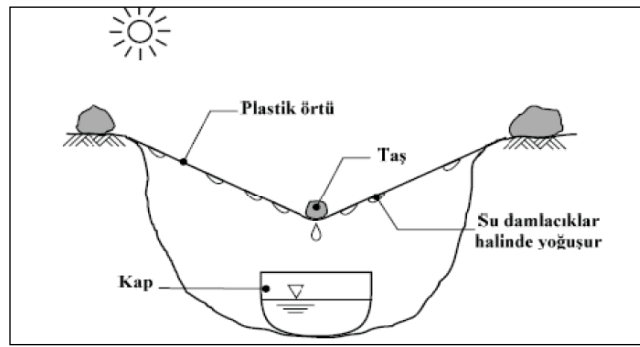
Güvenilir içme suyunun dağıtımı ve kullanılabilirliği ile ilgili durum, gelişmekte olan hatta gelişmiş ülkelerde bile ortadadır. Bu durum; gelecekte artan nüfusun baskısı, tarımsal koşullar, iklim değışiklikleri, karaların ve su kaynaklarının aşırı kullanımı yüzünden daha da kötüleşecektir. İnsanlar, su kaynağı olmadığı yerlerde yaşayamamaktadırlar. Arıtma ve damıtma, bu tip durumlarda en yaygın yöntemdir [12].

Özellikle tropik ve yarı tropik bölgelerde içecek su problemi çok fazladır. Bu problemler şöyle sıralanabilir:

- Parazit veya mikropların su kaynaklarını kirletmeleri
- Arsenik ve madenlerin suları kirletmesi
- Aşırı orman kesimi ve çölleşme (su sterilizasyonu için ağaçların kesilmesi)
- Pet şişelerin birikmesi sonucu ortaya çıkan çöpler (özellikle küçük adalarda)
- Karbon miktarının azalması ve CO<sub>2</sub> miktarının artması (taşıma sistemi yüzünden).
- Artan nüfusun ihtiyacını karşılamak için sürekli su ithal etmek

Yukarıdaki faktörler ve diğerleri her yıl binlerce insanın ölmesine veya hastalıklardan muzdarip olmasına ve çok miktarda para harcanmasına sebep olmaktadır [12]. Dünyadaki suyun %97'si okyanus suyudur. Kalan %3'ünün de %80'i ya tuzludur ya da kullanıma uygun değildir. Ancak %5'i içilebilecek sudur. Bu yüzden pek çok kişi içecek su bulamamaktadır. Bu durum, düşük yaşam standartlarına ve sağlık sorunlarına sebep olmaktadır. Temiz ve ucuz su elde etmek için pek çok teknolojiler geliştirilmiştir. Bunlardan bir tanesi güneş enerjili bazı teknolojilerdir. Güneş enerjisiyle arıtma ve damıtmada suyu temizlemek için direkt güneş ışınımı kullanılır. Kullanılan alete güneş havuzu denir. Pek çoğu, bir taban ve şeffaf kapaktan oluşur. Güneş, tabandaki suyu ısıtır ve bu da buharlaşmayı sağlar. Nem yükselir ve kapakta yoğunlaşır. Böylece, damıtılan su tuzu, mineralleri, mikropları geride bırakarak birikir. Kurulması pahalı olmasına rağmen çok etkili ve

uzun ömürlüdür. Eğer uygun şekilde inşa edilir, çalıştırılır ve yürütülürse uygun bir fiyatla temiz su elde edilir [2]. Damıtma ve yoğunlaşma yoluyla su toplamak eskiden beri uygulanan bir tekniktir Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Yere bir oyuk yapılmış, oyuğun dibine bir kap konulmuştur. Oyuğun üstüne plastik bir örtü gerilmiş, plastiğin uçlarına ağırlığı kaldırsın diye taşlar bırakılmıştır. Küçük bir taş tam merkeze yerleştirilmiştir. Böylece örtüye, kabın üzerine doğru bir eğim verilmiştir. Toprakta gelen su buharlaşmış, plastik örtünün iç kısmında yoğunlaşmış ve kabın içinde birikmiştir [15].



Şekil 3.2. Basit damıtma ve yoğunlaşma [15].

Suyu buharlaştırmak için yaklaşık 2260KJ/kg enerji gerekmektedir ve büyük çaplı kullanım için damıtma işlemi çok pahalıya mal olmaktadır. Bu şu demektir: 1 litre su üretmek için gerekli ısı miktarı 2260KJ dür. Bununla birlikte, deniz suyunu buharlaştırmada harcanan ısının büyük bölümü, buhar yoğunlaşırken geri alınmaktadır. Dolayısıyla, daha az enerji tüketen bir damıtma cihazı tasarlamak olanaklı olabilecektir.

Bilinen ilk güneş enerjili damıtmanın 1551 yılında yapıldığı anlaşılmaktadır. Belirttiğine göre, Arap kimyacılar konkav aynaları içine değişik çiçekler koyup, temiz su dolu bir vazanın üzerine yapıştırarak kullanmışlardır. Güneş ısısı çiçeklerin suyu damıtarak parfüm haline gelmesine sebep olmuştur [2]. Güneş enerjili damıtıcılarda modern çağ 1872’de Kuzey Sili’de Laf Salinas yakınlarında İsveçli Mühendis Charles Wilson tarafından büyük bir havuz tipi damıtıcının inşasıyla başlamıştır. Geniş ölçekli bu havuz, Sili’deki maden çalışanlarına içecek su üretmek için kurulmuştur. Dizayn edilmiş 4700m<sup>2</sup>’lik cam kapaklı damıtıcı, uzun seneler

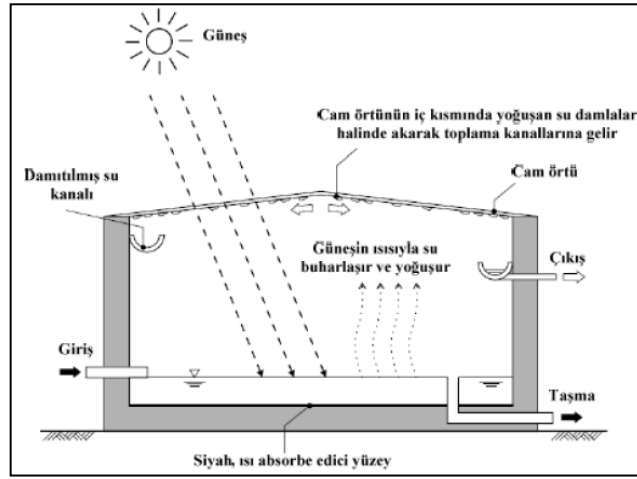
boyunca nitrat işleme tesisi olarak hizmet vermiştir. Harding tarafından tarif edilen orijinal havuz tipi damıtıcı, 61m uzunluğunda ve 1,4m genişliğinde ahşap bölmelerden inşa edilmiştir. Bu damıtıcı ile günde  $1\text{m}^2$  buharlaşma yüzeyinden 5kg su elde edildiği bilinmektedir. Bu da bir günde toplam 23 000 litre suya karşılık gelmektedir [4]. II. Dünya savaşında Amerikan donanmasına su üretmek için çok geniş miktarda plastik havuzlarda (200 000 adet) üretilmiştir. 1953 yılında küçük ölçekli güneş enerjili damıtma havuzu inşa edilmiştir ( $0,18\text{m}^2$  taban alanlı). Bu havuz, plexiglas tabana ve plexiglas örtüye sahiptir. Bu modelde damlacıkların yoğunlaşması ile plastik kabın iç yüzeyindeki damıtılmış su test edilmiştir. Geliştirilmiş modeli Bari Ticaret fuarında (Eylül 1953) plexiglasda banlı ( $0,25\text{m}^2$ ) ve camla kaplanmış bir damıtma havuzu sergilenmiştir. Diğer bir modelde ise damıtma havuzunun  $2\text{m}^2$ 'lik alana sahip tahtadan yapılmış bir tabanı, camdan üst yoğunlaşma örtüsü bulunmaktadır. Havuzun altına yerleştirilmiş mantar, ısı yalıtımı amacıyla kullanılmıştır. Damıtma havuzu ile yapılan çalışmalarda havuzdaki suyun kaybolduğu görülmüştür. Nedeni ise, izolasyonun iyi yapılmamış olmasından dolayı suyun sistemden kaçmasıdır. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar, daha iyi bir model yapılmasına yardımcı olmuştur [16].

1954'te üç adet güneş enerjili damıtma havuzu imal edilmiştir. Bu havuzlar demirden ( $1,5\text{-}3\text{m}^2$ lik alan) ve üst örtüsü camdan yapılmıştır. Tabanların altına yerleştirilen mantar, izolasyon amaçlı kullanılmıştır. Yaz aylarında yapılan deneylerde günde  $3\text{litre}/\text{m}^2$  su üretilmiştir [16]. 1955'de imal edilen güneş enerjili damıtma havuzu  $10\text{m}^2$ 'lik alana sahiptir. Bu havuzun tabanı betondan, üst yoğunlaşma örtüsü camdan yapılmıştır. Üniversite binasının çatısına yerleştirilmiştir. Havuzun tabanı delikli briketlerin üzerine konmuştur. Bunun amacı termal izolasyon sağlamaktır. Bu test, bir havuzun binaya nasıl entegre edileceğini göstermiştir. Özellikle de güney bölgelerde inşa edilmiş düz çatılı binalar için uygun olabileceği düşünülmüştür. Bu sistemde, üst yoğunlaşma örtüsü olarak kullanılan camın yağmur suyunu da toplamada yararlanılabileceği belirtilmiştir [16]. Bari'deki araştırma çalışmalarında, 1957'de pexiglas tüplerden oluşan bir damıtma havuzu kurulmuştur. Damıtma havuzu  $0,33\text{m}^2$  alana sahip ve anotlanmış alüminyum karışımı romboidal plexiglas tüpün içinde yüzmektedir. Üst yüzey güneş enerjisini geçirmekte ve alt yüzey yoğunlaştırıcı görevini yerine getirmektedir. Böylece aradaki hava, güneş enerjisi ile ısınmakta ve

alttaki hava dış yüzeyi çevreleyen hava ile soğutmaktadır. Bu şekilde damıtma havuzu izolasyona ihtiyaç duymamaktadır [16]. 1958'de dikey şekilde imal edilen damıtma havuzu, ılıman bölgelerde uygulanmak üzere tasarlanmıştır. Bu damıtma havuzu, dikey dört adet havuzun birbiri üzerine konulmasıyla bir cam serada inşa edilmiştir. Bu damıtma havuzunun toplam alanı  $1\text{m}^2$ 'dir ve zeminin alanı havuza kadar  $0,3\text{m}^2$ 'dir. Damıtma havuzunun tabanı, havuzu çevreleyen hava dolayısıyla termal bir izolasyona ihtiyaç duymamaktadır. Test süresince güneş ışınlarının az olduğu zamanlarda bile yeterli miktarda damıtılmış su elde etmek mümkün olmuştur. Elde edilen deney sonuçları 1958'deki Teheran Konferansı'nda, çalışmanın bir özeti de 1961'de Birleşmiş Milletlerin Yeni Enerji Kaynakları ile ilgili birimi tarafından Roma'da sunulmuştur [16]. 1962 yılında yeni bir damıtma havuzu tasarlanmıştır. Bu havuz basamaklı biçimde yapılmıştır. Havuz, siyah anotlanmış alüminyumdan yapılmış ve tuzlu suyu toplamak için kullanılmıştır. Üst cam örtü yaklaşık  $20^\circ$ lik bir eğime sahiptir ve tabanında tuzlu su bulunmaktadır. Bu damıtma havuzu  $5\text{cm}$ 'lik polystyrene plastik ile izole edilmiştir. Damıtma havuzları  $1,5$  ile  $3\text{m}^2$  arasında alanlara sahiptir. Bu modelle çok miktarda su üretimi yapılmıştır. Tuzlu su, geceleyin havuza verilmektedir. İlk üst havuzdan, en alttaki havuzlar dolana kadar boşaltım işlemi devam etmektedir. Fazla tuzlu su, en alttaki havuzdan tüpler kullanılarak gün boyunca boşaltılmaktadır. Cam örtü, havuzların temizlenmesi için kolaylıkla kaldırılabilir şekilde yapılmıştır. Bu havuzlardan düzinelerce inşa edilmiştir. Özellikle kurak adalarda Pantelleria (Akdeniz'de Sicilya ile Tunus'un arasında) ve Tremiti (Apulia) ve diğer sahil alanlarında kurulup, test edilmiştir [16].

1964'te başka bir dikey güneş enerjili damıtma havuzu seraya konulmuştur. Beş adet havuzu bulunmaktadır. Bu havuzlar anotlanmış alüminyumdan yapılmıştır ve birbirlerinin üzerinde durmaktadırlar. Her biri  $2\text{m}^2$  olmak üzere toplam havuz alanı  $10\text{m}^2$ 'dir. Yoğunlaşma, cam yüzey alanları ve duvarları  $12\text{m}^2$  alana sahiptir. Damıtılmış su, dikey cam panellerde yoğunlaşmış ve seranın tabanında toplanmıştır. Yaz aylarında günlük 20 litre su üretimi olduğu gözlenmiştir [16]. Deniz suyunu alıp damıtmanın olduğu cihaza taşıyan pompalar, borular, kanallar gibi elemanların oluşturduğu kısma pompalama ünitesi, pompalama ünitesine gerekli enerjiyi sağlayan kısma güç ünitesi ve asıl damıtma olayının gerçekleştiği, güneş çanağı, toplayıcı, ısı değiştirici, taze su deposu gibi elemanların oluşturduğu kısma damıtma

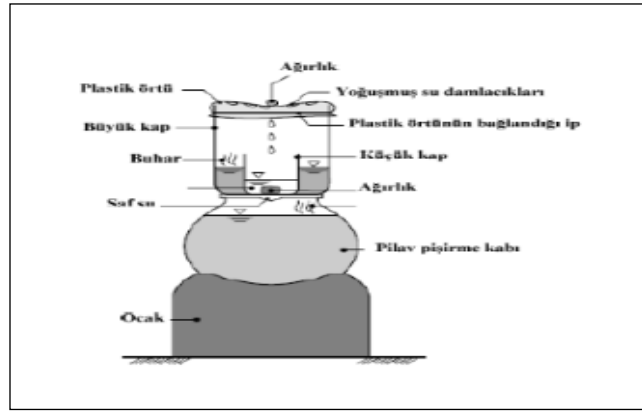
ünitesi denir. Bir güneş enerjili damıtma sistemi, güneş çanağının bulunduğu damıtma ünitesi esas alınarak tasarlanmış ve hesaplamalar bu bölüm için yapılmıştır Şekil 3.3'de gösterilmiştir. Güneş enerjili damıtma ünitelerinin en önemli elemanları güneş çanaklarıdır [4]. Güneş çanakları, işlevleri aynı olmasına rağmen, yapıldıkları malzeme, geometri, cam örtü ve sayısı, havuz tipi sayısı gibi özellikleri çok çeşitlidir. Ayrıca küçük kapasiteli güneş damıtıcıları da bulunmaktadır. Bunlar sadece güneş çanaklarından meydana geldiği gibi verimi arttıracak ek ısıtıcılar, pompalar da bulunabilir [4]. Bir güneş çanağı denizden çanağa pompalanan deniz suyunun örtü arasındaki sıcaklık farkını maksimum yapar. Sıcaklık farkının fazla olması verimi arttıran en önemli fonksiyondur.



Şekil 3.3. Tek havuzlu cam çatılı güneş damıtma sistemi [4].

Aktif çalışma yönteminde, ilave enerjinin çanağa girmesi doğal dolaşım ve zorlanmış dolaşım ile olur. Doğal dolaşımında, sıcak su, havuz suyu ve sıcak besleme suyu arasındaki basınç farkından dolayı kendiliğinden hareket eder. Zorlanmış dolaşımında ise, pompası kullanılarak dolaşım sağlanır. Deniz suyunun aktif ve pasif yollarla ısıtılması sonucunda, deniz suyu buharlaşır ve su yüzeyinin hemen üzerinde havayla karışarak havayı nemlendirir. Bunun sonucunda, havanın yoğunluğunda farklılıklar ortaya çıkar. Bu farklılıklar sayesinde de hava-su buharı karışımı hareket ederek, çanak içinde dolaşır. Hareketli karışım, daha düşük sıcaklıktaki saydam örtüye ulaşır temasa geçtiğinde, su buharı yüzey üzerinde yoğuşur. Oluşan taze su, saydam örtünün eğiminden dolayı alt kısımlara akar. Buradan damlalar halinde yoğuşma oluşuna dökülür ve oradan da çanak dışındaki depoya iletilir. Isısını kaybetmiş çanak

içerisindeki hava, nemlendirme olayının tekrarı için sıcak deniz suyunun yüzeyine geri döner [4]. Burada asıl amaçlanan tuzlu suyun ısıtılması olduğu için, diğer enerjilerden yararlanılabilir. Ama güneş enerjisi diğer enerji kaynaklarına göre en iyi alternatif ısıtma aracıdır. Çünkü bu enerji tükenmediği için dünyanın her yerinde rahatlıkla bulunabilir. Şu unutulmamalıdır ki, eğer güneş ışınlarından yararlanılıyor ise, verim güneş enerjisinin ışınım yoğunluğuna ve o bölgenin ne kadar güneş aldığına bağlıdır.



Şekil 3.4. Basit düşük maliyetli yoğuşma ve damıtma ile arıtma metodu [15].

Basit düşük maliyetli arıtma metotları, diğer enerjilerin uygun olduğu yerlerde kullanılabilir. Şekil 3.4'de gösterilmiştir. Bu metoda, mutfakta kullanılan temel alet edevatı gerektirir. İki çaydanlık, biri diğerinin 1/4'ü kadar olacak ve plastik bir örtü gerekmektedir. Küçük çaydanlık büyüğünün içine yerleştirilir ve bir taşla ağırlık yapılır. Deniz suyu dış kaba konulur. Büyük çaydanlık, plastik örtü ile iyice kapatılır ve çevresi lastik ile sarılır. Bu, ev yapımı damıtma havuzu, ocak veya soba gibi ısıtıcıların üstüne konabilir. Ama ısı düşük dereceli olmalıdır. Bir iki dakika içinde büyük çaydanlıktaki su buharlaşmaya başlar. Plastik örtü, buharın dışarıya çıkmasını engellediği için damlalar yoğunlaşır ve bu damlalar, damlacıklar haline gelip akmaya başlar. Geride kalan tuz, büyük çaydanlığın içinde kalır [15].

## **3.2. BUHARLAŞMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER**

### **3.2.1. Meteorolojik Faktörler**

#### **3.2.1.1. Güneş Radyasyonu**

Isının başlıca kaynağı güneşten gelen radyasyondur. Azalan veya artan ısı değişimleri, buharlaşma miktarı için önemli bir faktördür. Güneşten gelen enerji miktarı mevsime, günün saatine ve havanın bulutlu veya açık olmasına göre değişir. Radyasyon enerjisi, aynı zamanda enlem, yükseklik ve yöne göre de değişiklik gösterir.

#### **3.2.1.2. Hava Buhar Basıncı**

Buharlaşma, su yüzeyindeki buhar basıncı ile suyun üstündeki buhar basıncının arasındaki fark ile orantılıdır. Sudaki buhar basıncı ( $e_w$ ), havadaki buhar basıncından ( $e_a$ ) büyük olduğu müddetçe buharlaşma devam eder ve [ $e_w = e_a$ ] olunca buharlaşma durur. Buna göre hava buhar basıncı arttıkça buharlaşma miktarı azalır.

#### **3.2.1.3. Sıcaklık**

Doymuş buhar basıncı sıcaklığa bağlı olduğundan buharlaşma oranı, hava ve su sıcaklıklarından büyük miktarda etkilenir. Buharlaşmanın günlük ve yıllık değişimleri, sıcaklığın günlük ve yıllık değişmelerine çok benzer. Gün esnasında buharlaşma sabah saatlerinde minimum, öğleden sonra 12:00-15:00 saatleri arasında ise maksimum değerine ulaşır. Yine sıcaklıkla ilgili olarak buharlaşma soğuk mevsimde az, sıcak mevsimde fazladır.

#### **3.2.1.4. Rüzgâr**

Buharlaşmanın devam etmesi için difüzyon ve konveksiyon ile su buharının su yüzeyinden uzaklaşması gerekir. Bu durum havanın hareketi (rüzgâr) ile mümkündür. Rüzgâr hızı ne kadar fazla olursa buharlaşma o kadar fazla olur.



### 3.2.1.5. Basınç

Hava basıncı arttıkça birim hacimdeki molekül sayısı artar ve sudan havaya sıçrayan moleküllerin hava moleküllerine çarpıp yeniden suya dönmeleri ihtimali yükselmiş olacağından buharlaşma azalır. Ancak bu etki diğerlerinin yanında önemsizdir. Yükseklikle basınç azaldığından, yüksek yerlerde buharlaşma fazlalaşır.

### 3.2.2. Coğrafi ve Topoğrafi Faktörler

Buharlaşma olayında buharlaşmanın gerçekleşeceği bölgenin, coğrafi konumu ve güneşe karşı konumu önemli yer tutmaktadır.

#### 3.2.2.1. Enlem

Özellikle serbest su yüzeylerinden meydana gelen buharlaşma miktarının enlem derecelerine göre değişmekte olduğu tespit edilmiştir. Farklı enlem derecelerine sahip bölgelerde açık su yüzeyinde meydana gelen yıllık ortalama buharlaşma miktarları Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Serbest su yüzeyinde buharlaşma miktarının enlemlere göre değişimi.

Enlem Derecesi	Ort. Buharlaşma (mm/yıl)
0°- 10° ( Ekvator Bölgesi )	1150
10°- 30° ( Alize Bölgesinde )	2250
30° - 40° arası	1600
40° - 50° arası	1000
50° - 60° arası	450

#### 3.2.2.2 Yükseklik

Diğer faktörler değişmediği takdirde yükseklik arttıkça buharlaşma miktarı artar. Çünkü yükseldikçe hava basıncı azalır. Diğer taraftan yükseldikçe havanın sıcaklığı azalacağından buharlaşma miktarı da azalır. Fakat bu azalma hava basıncından ileri

gelen çoğalmayı telafi edemediğinden yükseldikçe buharlaşmanın az bir miktar arttığı kabul edilir.

### **3.2.2.3. Bakı**

Güneye ve Batıya bakan yamaçlardaki sular güneş ışınlarına daha çok maruz olduklarından buharlaşma Kuzey ve Doğuya bakan yamaçlara göre daha fazla olur.

Enlem Derecesi Ort. Buharlaşma (mm/yıl)

- 0°-10° (Ekvator Bölgesi) 1150
- 10°-30° (Alize Bölgesinde) 2250
- 30°-40° arası 1600
- 40°-50° arası 1000
- 50°-60° arası 450

### **3.2.3. Suyun Kalitesi ve Bulunduğu Ortam**

Su kütlesinin büyüklüğü, tuzluluk durumu, bulanıklılığı ve hareketliliği buharlaşma miktarı üzerinde etkilidir.

#### **3.2.3.1. Su Kütlesinin Büyüklüğü**

Derin su kütleleri hava sıcaklığındaki değişimlere geç uyarlar. Bu sebeple derin sularda buharlaşma, sıg su kütlelerine göre yazın daha az, kışın daha çok olur.

#### **3.2.3.2. Tuz Durumu**

Tuzlu sular, tatlı sulara göre daha az buharlaşır. Çünkü suda erimiş tuzlar buhar basıncını azaltır.

### **3.2.3.3. Kirlenme**

Durgun su yüzeyinde biriken yabancı maddeler toz veya yağ tabakaları, buharlaşma oranına olumsuz etki yapar.

### **3.2.3.4. Dalgalı ve Hareket Halindeki Su**

Akan sulardaki buharlaşmanın durgun sulardaki buharlaşmadan %7 ile %9 oranında yüksek olduğu araştırmalarla bulunmuştur [17].

## **3.3. GÜNEŞ ENERJİLİ DAMITICILAR VE DAMITMA SİSTEMLERİ**

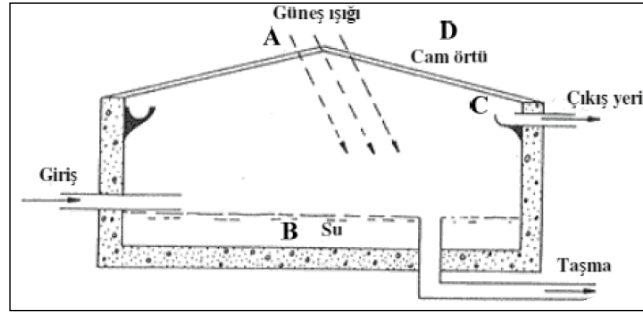
### **3.3.1. Havuz Tipi Damıtıcılar**

Güneş enerjili damıtma sistemlerinin kurulması ve çalıştırılması çok pahalı değildir. En önemli dezavantajı ısı etkilerinin düşük olmasıdır. Bu yüzden iyi bir sonuç almak için büyük alanlara ihtiyaç vardır. Bu da ilk yatırım maliyetini çok artırmaktadır.

Güneş enerjili damıtma havuzu yağmur suyu ile aynı prensiplerde çalışır. Buharlaşma ve yoğunlaşma okyanuslardaki su buharlaşır, soğur, yoğunlaşır ve yağmur olarak dünyaya geri döner. Su buharlaştığında saf su olarak buharlaşır ve tüm pislikler geride kalır. Damıtma havuzları bu doğal işlemi taklit eder. Damıtma havuzunun cam kapağı ve su geçirmeyen zarlı iç yüzeyi vardır. İç yüzeyde absorbe işleminin hızlanması için siyah malzeme kullanılır. Cam kapak, güneş radyasyonunu içeri geçirir (kısa dalga), siyah taban sayesinde olmaktadır. Su ısınmaya başlar ve buhar miktarı artar. Taban aynı zamanda infra-red (uzun dalga) ışınlarını da geçirir ve bu, havuza yansıtılıp güneş enerjisi havuzun için de hapsedilir (sera etkisi). Isıtılmış su buharlaşır ve camda yoğunlaşır. Yoğunlaşmış su, depolama tankına gider [17]. Klasik güneş enerjili damıtma havuzu, temiz su elde etmek için en kolay çözümdür. Fakat kullanımı kurulumu yüzünden sıkıntı oluşturmaktadır. Ayrıca elde edilen temiz su miktarı azdır. Tropik bölgelerde, kolektörde m<sup>2</sup>'de yaklaşık 1m<sup>3</sup>/yıl ürün vermektedir. Elde edilen ürünün arttırılması, maliyetin düşürülmesine ve kullanım kolaylığına bağlıdır.

### 3.3.1.1. Havuz Tipi Damıtıcıların Çalışma Prensibi

Havuz her sabah veya her akşam doldurulur, birikmiş su havuzdan alınır. Havuz güneş battıktan sonra da ısınıp kaybedene kadar su üretir. Her gün su ilave edilmelidir. İlave edilen su tuz birikmesine engel olur. Normalde su, elle veya otomatik olarak günde bir kez ilave edilmelidir (Yazın en iyisi geceleyin, kışın ise sabahleyin). Ayrıca havuza su yavaş bir hızla eklenmelidir Şekil 3.5’de gösterilmiştir. Güneş ışığı (A) cam veya plastik örtüden geçerek (D) absorbe edilir. Burada absorber, çanak ya da pis suyla doldurulmuş ve siyaha boyanmış tabandır (B). Aynen düzlem kolektör absorberlerin deki gibi bu absorber tabanı siyah olursa çok iyi çalışır. Bu tabanın siyah, mat boyalı olması istenilir. Mat, siyah olmasının nedeni daha iyi absorbe edici olması ve geriye yansımayı önlemesidir. Bu durum, özellikle su berraksa daha çok önem kazanır. Absorbe edilen güneş ışığı, tabanı ve kademeli olarak suyu ısıtır ve su buhar haline geçer. Bu işlemde güneş ışığı ısıya dönüşür ve bu ısı suya transfer edilir. Isı kaybını minimuma indirmek gerekmektedir. Bunun için damıtıcı tabanın ve saydam örtünün iyi izole edilmesi çok önemlidir. Eğer taban kuru bir yüzeye yerleştirilirse bu iyi bir izolasyon olarak düşünülebilir.



Şekil 3.5. Tek havuzlu cam çatılı güneş damıtma sistemi.

Su, havuzun tabanında ısınır, buharlaşır ve atıkları geride bırakır. Bu buhar cam örtüde (C) düşük ısıda yoğunlaşır ve çıkış yeri olarak gösterilen (D) su toplama kanallarından dışarıya alınır. Cam örtünün ısısı düşüktür; çünkü hava ile temas halindedir. Bu durumda ısının sudan ve buhardan az olması gerekir. Bu olay, rüzgâr soğutması ile de yapılabilir. Gece ısı düştüğünde de bu olay gerçekleşebilir. Eğer havuza konulmuş olan su tuzlu ise; tuz ve diğer atıklar buharlaşmaz ve tabanda kalır. Yoğunlaşmış sıvının tuzlusuyla karışmasını önlemek için havuza en az 10° yatay



Saydam örtüde olması istenilen özellikler şunlardır:

- Saydam örtünün sıcaklığı, su sıcaklığından düşük olmalı ve yeterli sıcaklık farkını sağlayarak suyun yüzeyi ile örtünün arasında istenilen ısı taşınım akımlarını oluşturmalıdır. Bu şekilde örtü yüzeyindeki yoğuşma istenilen seviyeye ulaşabilmelidir. Örtü, üzerine gelen güneş ışınımını yansıtmayarak tamamen geçirmelidir.
- Örtü, dış ortam şartlarına mümkün olduğu kadar uzun süre dayanabilecek malzemeden yapılmalı, kararlılığı yüksek olmalı, 45m/saat'lik rüzgâr hızlarına dayanabilmelidir.
- Güneş ışınları, örtünün fiziksel ve kimyasal yapısında olumsuz etkiler oluşturmamalıdır.
- Örtü, havuzdan buharlaşan suyun, kendi üstüne doğru yoğuşmasına ve bir film halinde akarak toplayıcı oluklara ulaşmasına imkân vermelidir. Örtü, özellikle damlalıklı bir yoğuşmaya neden olmamalıdır. Çünkü bu tür bir yoğuşmada, damlalar halinde damıtıcıya gelen güneş ışınımının saçılmasına ve çoğunun geri yansıtılmasına neden olur. Ayrıca damlalar özellikle herhangi bir dış etkenle örtü ya da havuz sarsıldığında buharlaşan suyun toplayıcı oluklara ulaşmadan tekrar havuz içerisindeki damıtılmamış suyun içerisine düşerler. Bu iki durum, havuz tipi damıtıcının performansında düşüşe neden olur.
- Örtü malzemesi, uzun dalga boylu ışınımını yansıtılmamalıdır. Böylece güneş ışınımı ile damıtıcıya gelen enerjinin, uzun dalga boylu ışınım ile dışarıya kaçışı engellenmiş ve sera etkisi oluşturularak ısı damıtıcı içerisinde hapsedilmiş olur.
- Örtü sıcaklığının düşük seviyede tutulabilmesi için, örtü malzemesinin ısı iletkenliği, mümkün olduğu kadar yüksek olmalıdır.
- Örtü malzemesi, yüzeyde toz parçacıkları toplanmasına neden olacak elektrostatik özelliklere sahip olmamalıdır.
- Örtü, yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklı olmalıdır.
- Örtü malzemesi, kolay bulunabilir, işlenmesi basit ucuz olmalıdır [4].

Saydam örtü için iki malzeme kullanılması önerilmiştir. Bunlar cam ve saydam plastik malzemelerdir.

Camın özellikleri şu şekilde sıralanabilir:

- Güneş ışınımı için yüksek, damıtıcıda havuzdaki sudan kapağa yansıyan ışınım için düşük geçirgenliğe sahiptir.
- Güneş ışınımını absorbe etme seviyesi düşüktür
- Ultraviyole ışınlarından etkilenmez.
- Yüksek sıcaklıklara ve kötü dış şartlara uzun süre dayanabilir ve özellikleri kaybetmez.
- Camın en büyük dezavantajlarından birisi, kırılma ve mekanik darbelerle karşı dayanıksız olmasıdır.
- Diğer malzemelere göre daha pahalıdır.
- Ağır bir malzeme olması nedeniyle kurma ve montaj aşamasında sorun oluşturulabilir.

Plastik malzemelerin özellikleri de şu şekilde sıralanabilir.

- Güneş ışınımı kadar ısı ışınımında yüksek geçirgenliğe sahiptirler. Bu havuz tipi damıtıcıların verimini olumsuz şekilde etkiler.
- Ultraviyole ışınımını absorbe ettikleri için bir müddet sonra deforme olup kullanılamaz hale gelirler.
- Düşük ıslanabilme özelliğine sahip olmadıklarından, damlacık halinde yoğunlaşmaya sebep olur. Bu verimin düşük olmasına neden olur.
- Mekanik darbelerle karşı cama göre daha dayanıklıdır fakat yüksek ısılarda deforme olabilmektedirler.
- Cama göre ucuz ve hafif bir malzemedir.
- Kullanım süresi cama göre daha kısadır [4].

#### **3.3.1.4. Havuz Özellikleri**

Damıtılacak suyun buharlaştırılmak üzere toplandığı, damıtıcıya gelen güneş ışınımının absorbe edilerek buharlaşmanın sağlandığı bölümdür. Havuzun tabanı su

ve ısıya karşı yalıtım yapıldıktan sonra, güneş ışınımının iyi bir şekilde absorbe edilebilmesi için siyah boya ile boyanır ya da üzerine siyah bir tabaka serilir.

Olması istenilen özellikler şunlardır:

- Havuz tabanının güneş ışınımını absorpsiyonu, ortalama 0,95 seviyesinde olmalı, bu amaçla siyah renkli malzeme kullanılmalıdır.
- Malzemeler sudan özellikle tuzdan etkilenmemeli, özelliklerini kaybetmemelidir.
- Yüksek sıcaklıklara (60-80°C) dayanabilmelidir.
- Atmosferin korozif etkisinden etkilenmemelidir.
- Havuz tabanı gibi kenarlar da ısı ve suya karşı izole edilmelidir.
- Havuz tabanındaki malzemeler, elde edilen damıtılmış suyun tadını veya özelliklerini bozabilecek herhangi bir gaz veya buhar yaymamalıdır.
- Havuzdaki suyun boşaltılabilmesi için gerekli tedbirler alınmalıdır.
- Havuz tabanı ısıya ve suya karşı yalıtılmalıdır. İzolasyon malzemeleri, hafif, kolay uygulanabilir olmalı, yüksek sıcaklıklardan etkilenmemelidir.
- Sistemde bulunan tüm birleşim yerleri, özellikle buhar kaçaklarına karşı sızdırmaz hale getirilmelidir.

Stok tanklarının ve bina çatılarının kaplanmasında kullanılan asfalt esaslı kaplayıcılar, özellikle derin havuz tipi damıtıcıların havuz tabanı kaplamalarında kullanılmaktadır. Isı yalıtım malzemesi olarak, flexible, kapalı hücreli plastik malzemeler (polystren esaslı malzemeler vb.) kullanılmaktadır. Buhar kaçaklarına karşı kullanılan sızdırmazlık malzemelerinde ise, genellikle silikon kauçuk esaslı malzemeler kullanılmıştır [4].

### **3.3.1.5. Toplama Oluklarının Özellikleri**

Bu toplama oluklarının görevi saydam örtü üzerinde yoğunlaşarak örtüdeki eğim sayesinde kenarlara akan damıtılmış suyun damıtıcı dışına alınmasını sağlamaktır. Bu nedenle de damıtılmış suyun damıtıcı dışına alınması için suyun eğimle akmasını sağlamak üzere hafif bir eğim verilir. Toplama oluklarının mümkün olduğu kadar



yüksek sıcaklıktan, sudan ve ortamın korozif şartlarından etkilenmemesi, kolay monte edilebilir, taşınabilir, ekonomik ve ucuz olması istenir. Burada dikkat edilmesi gereken önemli konulardan bir tanesi ise oluk içerisinde bulunan damıtılmış suyun yeniden buharlaşması ve sistemde performans düşüklüğü oluşturmaya engel olmaktır. Bu amaçla toplama olukları; direkt güneş ışınımından uzak tutulmalıdır. Yalıtımı yapılmalıdır. Toplama oluklarının boyları kısa tutulmalıdır. Nedeni ise, damıtılmış suyun toplama oluklarındaki durma süresini minimuma indirmektir. Değişik malzemelerden yapılabilmektedir. Yaygın olarak plastik ve paslanmaz çelik kullanılmıştır [4].

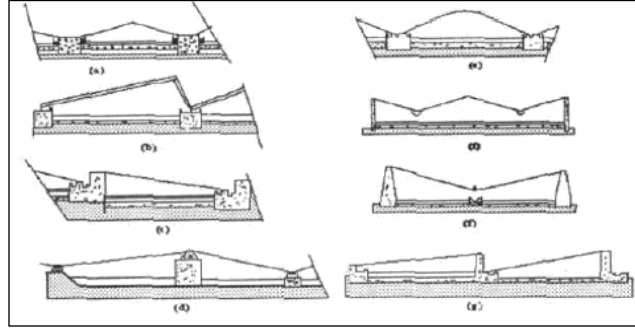
### **3.3.1.6. Havuz Tipi Damıtıcıların Konstrüksiyonları**

Genel olarak damıtıcılar şu özelliklere sahip olmalıdır;

- Damıtıcı, arazide kolay olarak kurulabilmeli, pratik olmalıdır.
- Kolay uygulanabilir olmalıdır.
- Hafif olmalıdır.
- Diğer enerji kaynaklarından mümkün olduğu kadar az yararlanılmalıdır.
- İlk yatırım ve işletme maliyetleri mümkün olduğu kadar düşük olmalıdır.

Güneş enerjili damıtıcılarla ilgili olarak bazı kesitler Şekil 3.7'de verilmiştir. Şekil 3.7.a'da gösterilen bir Avustralya dizaynıdır. Bu modelde yan elemanlar betondan yapılmıştır. Üzerinde oluşturulmuş oyuklar cam kapağın kenarlarının yerleştirilmesi içindir. Eskiden polietilen olan fakat şimdi butik kauçuktan yapılan havuz, ısı izolasyonu yapılmış bir yüzey üzerine oturmaktadır. Bu havuz damıtılan suyun toplanması için oluklar içerir ve cam kapak kenarları izole edilmiştir. Damıtılan suyun toplandığı oluklar, asbest çimentodan yapılmış ve yan duvarlar arasındaki boşluktan oluşmaktadır. Bu asbestli bölüm, beton kısımdan ayrılmıştır ve havuz tarafından kolonlarla desteklenmiştir. Çatı şeklindeki yapının tepe noktası iki karşılıklı cam kapak için mafsal vazifesi görecektir şekilde silikon kauçuk keçeler kullanılarak şekillendirilmiştir. Bu dizaynda tuzlu su akışı sürekli olduğu için tabanın iyi gizlendirilmesi gerekmektedir. Nispeten uzun damıtıcılarda, sistemin içinde 2-3cm derinliğinde su bulunduğundan emin olmak için havuz içinde bir boydan bir

boya 1 veya 1,5m aralıkla setler oluşturulur. Öyleci, eğimli damıtıcının uzunluğu boyunca sürekli bir tuzlu su akışı vardır. Bu dizayn oldukça iyi sonuçlar vermiştir ve birkaç ufak değişiklikle Avustralya'da bir çok uygulamada kullanılmıştır. Dizaynda maliyeti artıran en önemli sorun camın fiyatıdır. Sera camı en ucuz olanıdır, fakat her ebatta olmaması hücrelerin genişliğini sınırlar [4].



Şekil 3.7. Uygulamada bazı büyük güneş enerjili damıtıcılardan kesitler.

En yaygın şekilde kullanılan damıtıcılardan biri genellikle Yunan adalarında uygulanan ve Şekil 3.7.b'de gösterilen damıtıcıdır. Bunlar alüminyum cam destekleri ve damıtılmış suyun toplandığı olukları olan cam örtü sistemleridir. Yan duvarları çiftler halinde 1,5m genişlikte bölme ayrılmış beton kirişlerdir. Havuz tabanı butik kauçuktan yapılmıştır. Bu damıtıcılar ekvatora doğru eğimli ve asimetrikler [4].

Şekil 3.7.c'de tek eğimli damıtıcı dizaynı gösterilmiştir. Bu dizayn Mc Gill Üniversitesinin Haiti'deki araştırma enstitüsü tarafından geliştirilmiştir. Bu damıtıcı çok az bir eğimi olacak şekilde yapılmıştır. Hücrelerin her biri bir öncekinden biraz daha aşağıda olacak şekilde merdiven basamakları gibi düzenlenmiştir. Damıtılan suyun ve yağmur suyunun toplandığı oluklar beton duvarlar içine açılmıştır. Butik kauçuktan yapılan havuz tabanı beton duvarlara yapıştırılmıştır, fakat cam kapağın kenarlarına kadar uzanmadığı için bazı problemlere neden olmuştur. Bu problemlerden en önemlisi havuzun altındaki kumun zamanla sıkışmasından dolayı butik kauçuğun havuz kenarlarından sıyrılmasıdır [4]. Las Marinas, İspanya'da kullanılan dizayn Şekil 3.7.d'de gösterilmiştir. Bu dizayn derin havuz prensibine göre yapılmıştır. Bu sistemde, ayrı hücreler yerine 28m uzunluğunda 31m genişliğinde sürekli bir havuz kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, damıtma

havuzundaki su derinliğinin mümkün olduğu kadar az olması gerektiğine karar verilmiştir. Bu nedenle İspanya’da sistemde 10cm’lik bir su derinliği uygulanmıştır. Havuz taban sistemini sızdırmaz hale getirmek için asfalt, şeritler halinde yüzeylere yapıştırılmıştır. Cam destekleri ve toplama olukları, prekast elemanlar içinde şekillendirilmiştir. Asfalt mastik malzeme, eklem yerlerindeki sızdırmazlığı sağlamak için kullanılmıştır [4]. Şekil 3.7.e’de gösterilmiş olan damıtıcı, 0,1mm Tedlar plastikle örtülmüştür. Örtü kenarları, butil kauçuk havuz tabanı ile beraber hava sızdırmaz bir ortam oluşturmak için beton havuz kenarlarının içine gömülür. Damıtıcı içindeki hava ufak bir fan yardımı ile 6mmSS basınç altında tutularak örtünün şişirilmesi sağlanır. Şişirilerek örtüye verilen silindirik formun sahip olduğu şekil avantajı ile sistem performansının artırılması yoluna gidilmiştir. Silindirik örtü formu ile aynı havuz alanı için damıtıcının güneşe maruz kaldığı örtü yüzey alanı artar [4].

Şekil 3.7.f’de gösterilen damıtıcıda toplama olukları, bölümlere boylamasına değil de enlemesine yerleştirilmiştir. Bölümler dar ve toplama olukları kısa olduğundan damıtılmış su akışının damıtıcı içerisindeki akış süresi kısaltılmış olur. Ayrıca damıtılmış suda oluşabilecek yeniden buharlaşma için daha az süre bırakılmış olur [4]. Yapılan bir karşılaştırmada ise, güneşin günlük ve mevsimsel hareketine göre, çift eğimli damıtma havuzu tek eğimli damıtma havuzundan daha fazla güneş ışınımı absorbe ettiği belirlenmiştir. Buna karşın tek eğimlide daha az güneş ışınımı ve taşınım kaybı olmuştur. Gölgeleyen bölümler, ek yoğunlaşma alanı olarak kullanılabilir. Ticari, yaptığı araştırmada tek eğimli damıtma havuzlarının çift eğimli damıtma havuzlarından özellikle soğuk iklimlerde daha iyi verim alındığını savunmuştur. Bunun tam tersinin sıcak iklimlerde iyi sonuç vereceğini belirtmiştir [3].

Venezuela’da, tek eğimli güneş enerjili damıtma havuzu dizaynı yapılmış ve bu dizayn tuzu sudan ayırmada kullanılmıştır. 100 tane yerleşik düzen yaşayan aile seçilmiş ve bu sistem kurulmuştur. 380 tane damıtma ünitesi dizayn edilmiştir. Bunlar günlük kullanım ihtiyacına göre düşünülmüştür. Sistemin günlük üretimi 5 litre olarak ölçülmüştür. Yapılan deneysel analiz sonucunda ise, bunun çok iyi alternatif bir çözüm olabileceği gözlemlenmiştir [3].

### 3.3.1.7. Havuz Tipi Damıtıcıların Performansına Etki Eden Faktörler

Gerekli olan şartlar şunlardır:

- Birim zamanda damıtıcının birim alanına gelen güneş ışınımı
- Damıtma sisteminin kurulmuş olduğu yerin açık gün ve bulutluluk oranı
- Ortam sıcaklığındaki değişim
- Rüzgâr hızı
- Güneş ışınımını etkileyecek diğer atmosferik şartlar (enlem v.b.)

Güneş enerjili havuz tipi damıtma sistemleri, atmosferik şartlardan önemli ölçüde etkilenirler. Bunlardan en önemlisi ise, sistemin asıl enerji kaynağı olan güneş ışınımıdır. Damıtma işlemi sırasında amaç suyun buharlaştırılması olduğu için güneş ışınımı çok önemlidir. Bu nedenle, damıtma sistemine bir enerji girişi olmaz ise, damıtma havuzunun içerisindeki su hızla soğur, buhar basıncı hızla düşer ve buna bağlı olarak buharlaşma işlemi durur. Damıtma işleminde enerji transferi olmaktadır. Bu olay, damıtma havuzundaki suya ısının transfer edilmesi ve yoğuşan buharın ısısının çekilmesi ile gerçekleşir [4]. Ortam sıcaklığının ve rüzgârın özellikle damıtıcıdan çevreye olan ısı geçişinde etkisi olmaktadır. Ortam sıcaklığının düşük olması, ilk olarak yoğuşma örtüsü sıcaklığının düşmesine neden olur. Ayrıca damıtma havuzunun kenarlarından çevreye ısı kayıplarının artmasına neden olur. Yüksek ortam sıcaklığı damıtıcı performansına olumlu yönde etki etmektedir. Yüksek ortam sıcaklığı, asıl damıtma havuzu içi şartlarına etki etmektedir. Böylece havuzun içindeki su sıcaklığı artarak, diğer taraftan damıtıcıdan ortama olan ısı kayıplarını azaltılarak damıtıcının verimini artırılmaktadır [4]. Rüzgâr, özellikle saydam örtüden çevreye olan ısı geçişini etkileyen, saydam örtü sıcaklığını kontrol eden önemli atmosferik faktörlerden biridir. Rüzgâr hızının artması, örtüden çevreye olan taşınım ile olan ısı geçişini artırarak, saydam örtü üstündeki yoğuşma oranını yükseltmekte, dolayısıyla damıtıcı veriminin artmasını sağlamaktadır. Ancak bu hızının belli seviyeleri aşmaması gerekmektedir. Çünkü daha yüksek seviyelerdeki rüzgâr hızları, örtü içindeki su sıcaklığının düşmesine, buharlaşma miktarının azalmasına neden olmakta ve damıtıcı verimi olumsuz yönde etkilenmektedir [4].

### 3.3.1.8. Havuzdaki Su Derinliğinin Etkisi

Damıtma havuzundaki su derinliğinin artması havuzun ısı kapasitesinin artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle damıtıcıdan elde edilecek damıtılmış suyun elde edilme süresi uzamaktadır. Su derinliği az olan damıtma havuzlarında ise, havuz içerisindeki su miktarı az olduğundan, havuzdaki su kısa zamanda buharlaşma için gerekli sıcaklığa ulaşır ve buharlaşma başlar. Böylece damıtıcıya gelen enerjinin büyük bir kısmı, suyun sıcaklığının artırılmasından ziyade buharlaşma için harcanır ve damıtıcı çok kısa sürede devreye girer. Derin havuzlu damıtıcıların içerdikleri su miktarı fazla olduğu için, gelen enerjinin büyük bir bölümü, su sıcaklığının buharlaşma için gerekli olan seviyeye ulaştırılması için harcanır. Bu nedenle buharlaşma için harcanabilen enerji miktarı sığ havuzlara göre daha azdır ve damıtıcı daha geç devreye girer [4].

Su derinliği az olan damıtma havuzlarında su miktarı daha az olduğundan, damıtıcıdaki su sıcaklığı derin havuzlara göre daha yüksektir. Bu çeşit damıtıcıların derin olanlara göre daha verimli olmasının önemli nedenlerinden birisidir (Derinliği az havuzlarda 70°C, derin havuzlarda maksimum 50°C). Derinliği az olan damıtma havuzlarında su miktarı az olduğundan sisteme gelen enerjiye bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Sabah saatlerinde su sıcaklığı hızla yükselir. Öğleden sonra maksimum seviyesine ulaşır ve akşam saatlerinde hızla düşer ve pratik olarak örtü sıcaklığına eşit bir değere ulaşır, dolayısıyla damıtma durur. Derinliği fazla olan damıtma havuzlarında ise, su sıcaklığının ve verimin gün boyunca değişimi derinliği az olan damıtma havuzlarına göre daha azdır. Derin havuzlu damıtıcılarda, sabah saatlerinde damıtma daha yavaş olur ve düşük de olsa maksimum sıcaklıklara geç ulaşırlar. İçerideki yaklaşık 30cm derinlikteki suyun kazandırdığı ısı depolama özelliği ile gün düz vakti yavaş olan damıtma güneş battıktan sonra akşam hatta gece vakitlerinde devam eder. Bunda en büyük etkenlerden biride, geceleyin atmosferik şartlarla daha da düşen örtü sıcaklığıdır. Gündüz vakitlerinde havuzda depolanan ısı, akşam ve gece vakitlerinde suyun sıcaklığı örtü sıcaklığına düşünceye kadar damıtmanın sürmesine neden olur [4]. Derinliği az olan damıtma havuzlarında olması istenen su derinliği çok düşüktür (2-10cm). Ancak bu su derinliğini istenen seviyede sabit tutmak son derece zordur. Bu nedenle, bu tip damıtıcılarda havuz

tabanı ve eğim son derece düzgün bir şekilde yapılmalıdır. Eğer bu işleme dikkat edilmezse, su damıtma havuzunun içerisinde belli noktalarda toplanarak gölcükler oluşturur ve sudaki adacıklar gibi kuru noktaların oluşmasına neden olur. Bu kuru noktalar damıtıcı veriminin düşmesine neden olduğu gibi, bu bölgelerde havuz tabanı direk olarak güneş ışınımına ve yüksek sıcaklıklara maruz kaldığından deforme olur.

Derinliği az olan damıtma havuzlarında, damıtıcıya su beslenmesi, boşaltılması v.b. havuzdaki su akışı çok dikkatli yapılmalıdır [4]. Bunların yanında besleme suyu olarak tabir ettiğimiz damıtma havuzundaki tuzlu suyun ısısının yüksek seviyelere çıkartılması ayrıca şu özelliklerde çok önemlidir: Gelen güneş radyasyonunun (ışınımın) üst yoğuşma örtüsü tarafından büyük oranda absorbe edilmemesi gerekir. Zeminin ve duvarların çok iyi izole edilmesi gerekir. Su seviyesi çok olmazsa onu bu harlaştırmak için çok ısı gerekmez.

### **3.3.1.9. Damıtma Havuzlarının Konstrüksiyonla İlgili Özelliklerinin Performansa Etkisi**

Bu özellikleri şu şekilde sıralayabiliriz:

- Havuz konstrüksiyonu ısı kapasitesi
- Havuz kayıpları, taban ve çevresinin izolasyonu
- Sistemde oluşacak buhar kaçakları, sızdırmazlık önlemleri
- Örtü formu
- Saydam örtünün eğim açısı
- Sistemin içerisindeki hava sirkülasyonu
- Havuz tabanının ısıyı absorbe etme yeteneği
- Damıtıcının yönlendirilmesi

Yoğuşma örtüsünün eğim açısı, damıtıcının üzerine gelen ışınımı yansıtma oranını etkileyen en önemli unsurdur. Açının artması yansıtma oranını etkiler. Bu sebeple, sisteme giren enerji miktarı azalacağından sistemin verimi düşecektir. Ayrıca örtünün eğim açısı, örtüde yoğuşacak olan suyun toplama kanallarına akışını kontrol eder. Eğim açısı küçük olursa, örtüde yoğuşan suyun damıtma havuzuna damlama

durumu oluşabilir. Ayrıca eğimin küçük olması yoğuşan suyun toplama kanallarına akış süresinin ve aldığı yolunda kısa olmasını sağlar [4].

Güneş enerjili damıtma havuzları yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar:

- Güneş damıtıcılarında en verimli sonuç havuz tipi dizaynlarında elde edilmiştir. Bunlar, en yüksek miktarda temiz su üretimini gerçekleştirmiştir.
- Kurulması en kolay olan damıtma sistemidir.
- Yazın en iyi damıtma havuzlarındaki temiz su üretimi  $20\text{MJ}/\text{m}^2\text{gün}$ ,  $5\text{litre}/\text{m}^2\text{gün}$ ,  $700\text{-}1000\text{litre}/\text{m}^2$  ortalama yıllıktır.
- Suyun damıtılması, güneş radyasyon yoğunluğunun damıtma havuzunun termal kapasitesini aşmasıyla başlar. Bu değer, yaklaşık olarak  $4\text{MJ}/\text{m}^2$ 'dir. Çeşitli şekillerde imal edilmiş havuzlarda, damıtmanın güneş battıktan sonra da devam ettiği belirlenmiştir.
- Korozyonu önlemek için tuzlu su içeren havuz metalden (anotlanmış siyah alüminyum doymuş halde olmalıdır) veya plastikten yapılmalıdır. Tahtadan yapılmış havuzlar çok verimli değildir. Çünkü tahtaların çürümeye karşı bir işleme tabi tutulması gerekmektedir.
- Güneş radyasyonunun absorbe edilme gücünün yüksek olması için siyah renkli bir toplayıcı olması gerekir. Bu yüzden siyahlatılmış metal havuzlardan en iyi anodik işlem elde edilir. Damıtma havuzlarının siyaha boyanması kötü bir koku etkisi oluşturabilir. Suyun konulduğu havuzun boyama işleminden kaçınılmalıdır. Tuzlu suyun konulduğu havuzun siyahlığını artırmak için belki yeşil organik boya ilave edilebilir. Böyle bir solüsyon damıtma havuzlarında güneş radyasyonunun emilme miktarını artırmak için kullanılabilir.
- Havuzun tabanında su penceresi ve tüm havuzda hava penceresi bulunmalıdır (yalnızca tuzlu su girişi ve temiz su çıkışları haricinde).
- Temiz su şeffaf kapağın iç yüzeyinde yoğunlaşacağından havuzun alt tarafında bir delik içinde toplanmalıdır. Delikler aşağıya doğru %1'lik eğimli olmalıdır. Taze suyun damıtılmış su çıkışlarına ve dışarıdaki toplama kabına doğru aktığına emin olunmalıdır.
- Damıtılmış suyun tadı kötü olabilir (içmek amaçlı), damıtılmış su bir kireç parçası veya bir çeper aracılığıyla filtre edilmelidir (bu kireç taşı suya bir

miktar kalsiyum tuzu ilave eder) ya da bu organik tadı ve kokuyu yok etmek için karbon tozu ilave edilebilir.

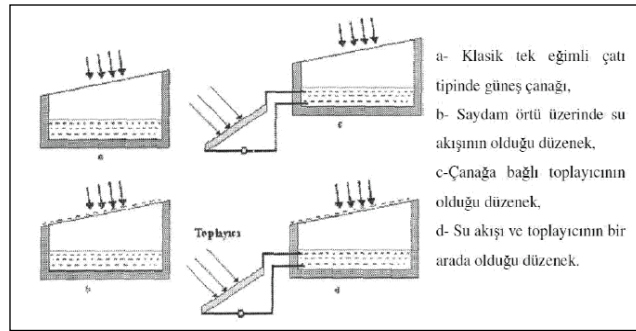
- Tuzlu su içeren tepsilerin tabanı ısı kaybını önlemek için izole edilmelidir. Çünkü güneş ışınlarıyla ısınan tuzlu su 70-80°C'ye ulaştığında mantarla yapılmış izolasyon yeterli gelmeyebilir. Daha iyi sonuç, esnek plastik kaplanarak elde edilebilir. Bu esnek plastik her yerden satın alınabilir.
- Küçük damıtma havuzları için esnek plastik kutu, mesela balıklar için kullanılan yiyecek ve diğer paketlemeler için kullanılan kutular güneş havuzlarına adapte edilebilir. Bu adaptasyon cam ve plastik kapak ile az bir eğimle yapılabilir. Bu kutu kendi başına tuzlu su kabı olarak kullanılır ve bir çukur açılarak damıtılmış su toplanır. Günlük, yaklaşık 1 litre taze su üretimi 0,3-0,5m<sup>2</sup>'lik bir kutuyla yapılabilir.
- Transparan (cam veya plastik) kapaklar güneş radyasyonunun giriş noktası olmalıdır. İç yüzey, damıtılmış su için yoğunlaştırıcı gibi çalışır. Örtünün yaklaşık 20° bir eğimi ve hava penceresi olmalıdır. Silikon ile yapılan sızdırmazlık iyi sonuç verebilir. Üst örtü damıtma havuzlarının periyodik temizliği için portatif olmalıdır.
- Tuzlu su damıtma havuzuna doldurulmalıdır. Yatay veya basamaklı eğimli üst damıtma havuzunda tuzlu su, havuzdan kaba yüksekte akmalıdır. Genelde tuzlu su böyle kaplara elle veya pompayla konulmaktadır.
- Buharlaşma sırasında tuzlu sudaki su konsantrasyonu artar, tuz konsantrasyonu başlangıçtaki değerinin iki katına çıktığında beyazlamış tuz birikmeye başlar. Bu tuz, kalsiyum sülfat ve karbonattır. Bu olay, güneş radyasyonunun emilmesinin azalmasına sebep olur. Bu yüzden havuza yeni tuzlu su ilave edilmelidir.
- Damıtma havuzlarından tuzlu suyu almak ve yeniden tuzlu su koymak önemli bir dizayn problemidir. Aslında çok fazla miktarda temiz su elde etmek, havuzdaki damıtılacak su oranının ve derinliğinin az olması ile mümkündür. Aynı zamanda tuzlu suyun buharlaşması sonrasında tuz birikintisi bırakır bunun temizlenmesi gerekir.
- Güneş enerjili damıtma havuzlarının başarısı iyi bir kuruluma, tuzlu su doğumuna, damıtıcının bakımına ve kalan tuzun temizlenmesine bağlıdır. Bu bazen çok su ihtiyacı olan yerlerde sorun yaratabilir.



- Aynı zamanda dizayn ile birlikte seçilen malzemenin hitap edeceği kişi sayısına göre seçilmesi daha faydalı olacaktır [16].

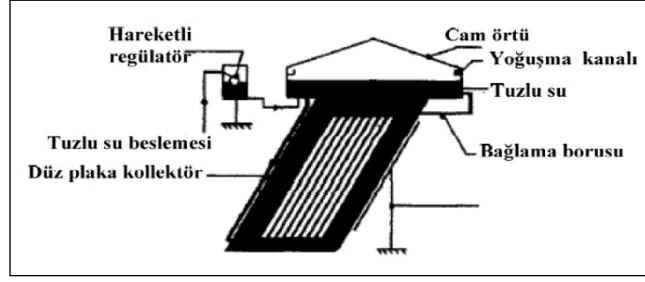
### 3.3.2. Yüksek Sıcaklıklı ve Aktif Çalışan Damıtıcılar

Havuz tipi bir güneş çanağında maksimum ürün elde etmenin en ekonomik yolu, bir ısı enerji kaynağı sayesinde elde edilen ısınmın, ilave ısı olarak çanağı beslemesiyle, saydam örtü ile deniz suyu arasındaki sıcaklık farkını maksimum yapmaktır. Bu ilave enerji kaynağının, damıtma sisteminin çevresindeki bir termik santral olabileceği düşünülerek yeni sistemler geliştirilmiştir. Atık sıcak su sabit bir debide çanağı beslerken saydam örtü üzerinden su geçirilerek hareketli bir su filminin oluşturulmasıda düşünülmüş ve bu konu üzerinde çalışmalar yapılmıştır [4]. Saydam örtü ile deniz suyu arasındaki sıcaklık farkını maksimum yapmak için, ya saydam örtü üzerinden su akışı oluşturularak, örtü sıcaklığı düşürülür, ya da havuz içerisine ısı değiştiricisi yerleştirilerek tuzlu deniz suyu sıcaklığı artırılır. Bunların her ikisi de aynı zamanda düşünülebilir [4].



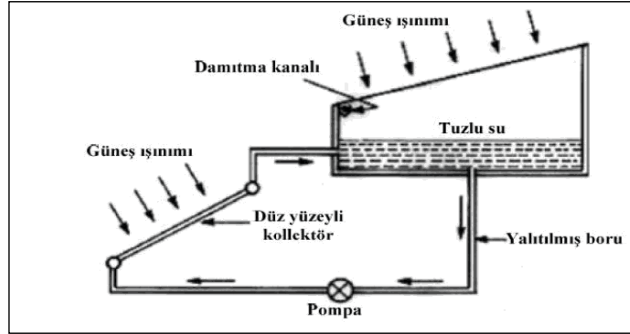
Şekil 3.8. Yüksek sıcaklıklı sistemler.

Bu amaçla Şekil 3.8'de yüksek sıcaklıklı damıtma sistemleri geliştirilmiştir. Aynı koşullar altında, bu düzenekler denenmiş ve bunların verimlilikleri birbirleri ile ve klasik tek eğimli çatı tipindeki güneş çanağı ile mukayese edilmiştir [4]. Cezayir'de bu çalışmaya benzer bir çalışma yapılmıştır Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Bu çalışmada güneş damıtıcısının verimini artırmak için sisteme güneş kolektörü ilave edilmiştir. Tuzlu su kolektörde ısıtılmaktadır. Birleştirilmiş damıtma sisteminin veriminin basit güneş damıtıcısına göre dört katı olduğu bulunmuştur [19].



Şekil 3.9. Cezayir’de yapılmış olan sistem [19].

Şekil 3.10’da bu çalışmayla ilgili başka bir sistem anlatılmıştır. Havuzun tabanı güneş ışınımını absorbe etmek için siyah renge boyanmıştır. Üst yoğuşma örtüsü camdan yapılmıştır. Havuz 1m<sup>2</sup> alana sahiptir. Toplam 4m<sup>2</sup> yüzey alanına sahip iki adet güneş kolektörü kullanılmıştır. Aktif damıtma işleminde güneş kolektöründen gelen sıcak su damıtma havuzuna pompalanır. Böylece cam ile su yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı artacaktır. Pompa sadece güneş ışınımının alındığı 09:00-16:00 saatleri arasında çalıştırılmıştır. Pek çok parametre; Örneğin su, iç cam, dış cam, buhar, ısı, toplam ışınım ve difuz eden güneş ışınımı (cam kapak ve kolektör üzerindeki) ile elde edilen damıtılmış su, değişik derinlik ve modalarda her saat ölçülmüştür.



Şekil 3.10. Aktif çalışan güneş enerjili damıtma havuzu ve düz yüzeyli kolektör.

## BÖLÜM 4

### MATERYAL VE METOT

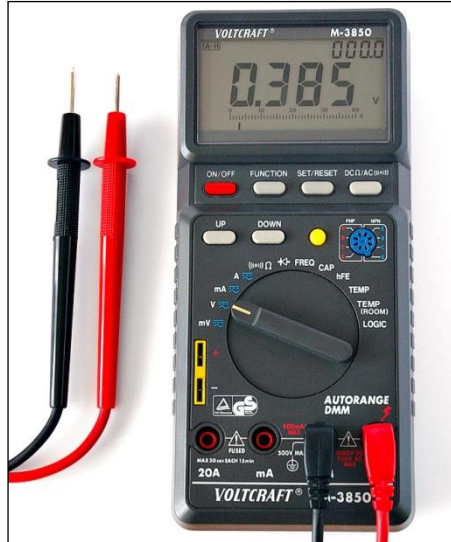
#### 4.1. MATERYAL

Güneş enerjili su damıtıcı, tabanı ve yan yüzeyleri siyah olan, üzeri saydam ve eğimli bir malzeme ile örtülü, içinde atık su veya deniz suyu bulunan kapalı bir kaptır. Bir güneş enerjili damıtma sisteminin çalışma ilkesi şöyledir: eğimli yüzeyi güneşe bakacak şekilde konumlandırılmış damıtıcı üzerine gelen güneş ışınları, saydam örtüden geçerek, siyaha boyanmış iç yüzey ve içerdeki deniz suyu veya kirli su tarafından soğurulur. Böylece damıtıcı içindeki deniz suyu veya kirli su ısınır ve suyun buhar basıncı artar. Sıydam örtü ile su arasında kalan hava içindeki su buharının basıncı, ısınan suyun buhar basıncından düşüktür. Bu nedenle su buharı, doğal olarak yüksek basınçtan alçak basınca doğru yükselir. Yükselen su buharı saydam örtüye değdiğinde, örtünün sıcaklığı su buharının sıcaklığından düşük olduğundan, su buharı örtü yüzeyinde tabaka yoğunlaşması şeklinde su damlacıkları oluşturur. Örtünün alt yüzeyinde tabaka olarak yoğunlaşan su, örtünün eğimli olmasından dolayı, aşağıya doğru bir akıntı oluşturur; damıtıcı tabanına paralel ve saydam örtüye bitişik olarak konmuş olukta toplanır. Bu olukta toplanan su, buradan dışarıya alınarak bir depoya akar. Damıtma sistemindeki; cam örtü dış yüzey sıcaklığı, depo suyu sıcaklığı damıtma havuzu sıcaklığı, cam örtü iç yüzey sıcaklığı, güneş kolektörü yüzey sıcaklığı, güneş kolektörü su çıkış sıcaklığı gibi parametrelerin ölçümü için 5 adet sıcaklığı algılamada kullanılan E-0.5 T2LTTEA tipi Fe-Const. Termokupl malzeme uçları gümüş lehimlidir. Termokuplların kesiti  $2 \times 0.5 \text{ m}^2$ , yalıtımı iki kat teflon ve maksimum ölçüm sıcaklığı  $200^\circ\text{C}$ 'dir. Güneş radyasyon ölçümünde; Şekil 4.1'de gösterilen Instruments haemmi messgerate solar 118 türü bir solarimetre cihazı kullanılmıştır. Cihaz güneş radyasyonunu algılayan bir yüzey elemanı ile değeri dijital olarak gösteren bir cihazdan oluşmaktadır. Cihaz üzerinde farklı birimlere ait beş kademeli bir anahtar mevcuttur.



Şekil 4.1. Işınım şiddetini ölçen solarimetre.

Yapılan deney ve ölçümlerin tutulması dijital avometre ve solarimetre (Şekil 4.1'de ve Şekil 4.2'de) kullanılmıştır. Ölçümler el ile her 15 dakikada bir olmak üzere alınmıştır. Bu veriler için Word ve Excel programları kullanılmıştır.



Şekil 4.2. Avometre.

#### 4.1.1. Damıtma Havuzu

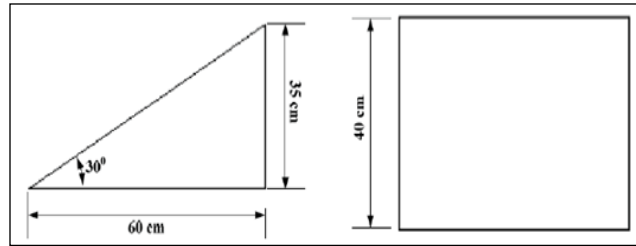
Bu kısım içerisine deniz suyunun konulduğu kısımdır plastik malzemeden imal edilmiştir. Tabanı ve i kısımları siyah mat boya ile boyanmıştır. Damıtıcının evresi straforla ve camyünüyle kaplanarak ısı yalıtımı yapılmıştır.

#### 4.1.2. Temiz Su Toplama Kanalı

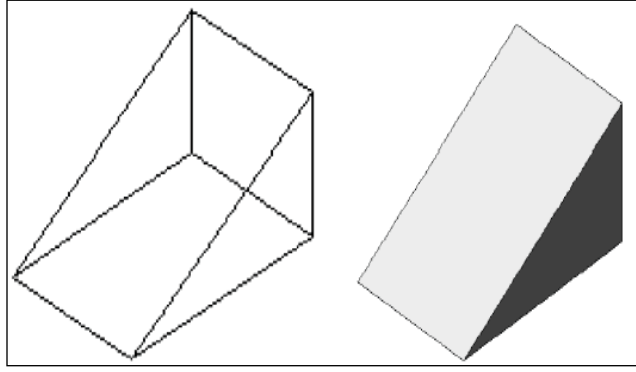
Damıtma havuzunun iç kısmına monte edilecek şekilde cam ve ucu galvaniz malzemeden yapılmış, eğimli şekilde damıtıcının iç kısımlarına tutturulmuştur. Damıtıcının üst yoğuşma örtüsünde yoğuşan sular, bu kanala akmaktadır. Eğimli yapılmasının nedeni ise bu kanallara gelen suyun doğal akışla akarak, damıtıcının dışındaki bir toplama kabında birikmesini sağlamaktadır. Bunun için, bu temiz su kanallarındaki suyun toplama kaplarına akabilmesi için de u kısımlarında açıklık bırakılmıştır. Bu kanal mat siyah boya ile boyanmıştır.

#### 4.1.3. Üst Yoğuşma (Saydam) Örtüsü

Saydam yoğuşma örtüsü olarak 4 mm kalınlığında cam malzeme şekil 4.3'de ve şekil 4.4'de kullanılmıştır. Örtü kenarları birbirine silikonla tutturulmuştur. Bu üst yoğuşma örtüleri damıtıcının yüksek kenarlarına oturtulacak şekilde imal edilmiştir.



şekil 4.3. Tek eğimli üst yoğuşma örtüsünün kesitleri.



Şekil 4.4. Tek eğimli üst yoğunlaşma örtüsünün görünümü.

#### 4.1.4. Vakumlu Güneş Kolektörleri

Vakum borulu toplayıcının dışında geçirgenliği yüksek cam boru veya cam plaka ve bunun içinde eş eksensel durumda madeni boru ya da selektif malzemeyle kaplanmış cam borudan oluşur Şekil 4.5’de gösterilmiştir. İç ve dıştaki boru arasındaki hava boşaltıldığından taşınım kayıpları azaltılmıştır. İç borunun içinden su yerine hava geçirilirse sıcak hava elde edilir ve sıcak hava ısıtma tesisatlarında kullanılır.

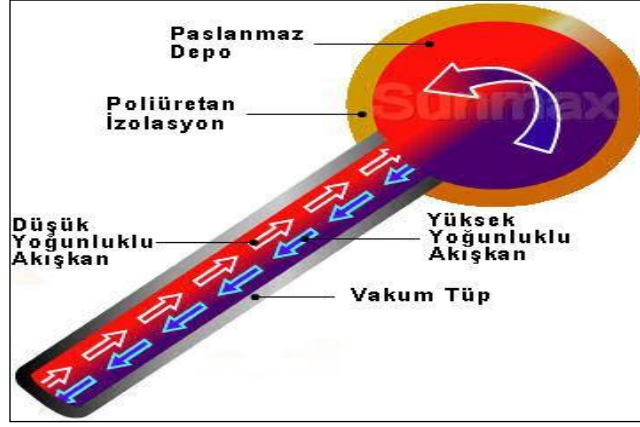


Şekil 4.5. Vakumlu kolektörün görünüş ve kısımları.

#### 4.1.5. Vakumlu Güneş Kolektör Sistemlerinin Çalışma Prensibi

Dıştaki saydam cam boru veya cam plaka güneş ışınlarının iç boruya gelmesine olanak sağlar. İç boru, siyah yüzeyi aracılığıyla, ışınları toplar ve kendi içinden geçen akışkanı (suyu) ısıtır. Isınan suyun hacmi artarak yoğunluğu azalır ve yukarı doğru

hareket eder. Böylelikle depoya ulaşır ve buradan istenilen yerlere sevk edilerek kullanma suyu olarak ya da ısıtma tesisatında kullanılır. Şekil 4.6'da sistemin çalışma prensibi görülmektedir.



Şekil 4.6. Vakum tüplü kolektörün çalışma prensibi.

Vakum borulu toplayıcının verimi düz toplayıcıya göre fazla olmakla beraber cam kırılması ve dış borular arasındaki kar birikiminden dolayı toplayıcının örtülmesi gibi sakıncaları vardır. Bu sistemde 120-150°C gibi sıcaklıklar elde etmek mümkündür. Sistem yüzeyleri arasında havasının tamamıyla boşaltılması veya tamamen havasını boşaltmadan vakumsuz olması ve yüksek molekül ağırlıklı asal gazların doldurulması ile sızdırmazlık sağlanarak performansı arttırılabilir. Silindir boru şeklindeki kolektörler, doğal olarak yüksek sıkıştırma direncine ve dış darbelere karşı dayanıklıdır.

#### 4.1.6. Saydam Örtü

Güneş ışınımını geçiren ve üstten ısı kaybını önleyen elemandır. Bir veya birkaç tane olabilir. Saydam örtü ayrıca yutucu yüzeyi yağmur, dolu veya toz gibi dış etkilerden korumaktadır. Saydam örtü olarak cam malzemeler kullanılmıştır.

#### 4.1.7. Yutucu Yüzey

Düz toplayıcıda güneş ışınımı yutan ve ısıyı, borulardaki akışkana aktaran kısımdır. Yutucu yüzeyin, güneş ışınımını yutma oranının büyük olması gerekir. Işınımı

yutarak ısının levhanın ısıyı temas halindeki akışkana iyi bir şekilde iletilmesi için, ısı iletim katsayısı yüksek malzemeler seçilmelidir. Toplayıcılarda yutucu yüzey olarak genellikle bakır, alüminyum ve paslanmaz çelik kullanılır. Bu toplayıcıda yutucu yüzey olarak alüminyum kullanılmıştır.

#### **4.1.8. Yalıtım Malzemesi**

Düz toplayıcıda güneş ışınımı almayan alt ve yan kısımlardan olan ısı kayıplarının azaltılması için kullanılmıştır. Kullanılan malzemenin ısı iletimi az olmalıdır. Camyünü ve strafor malzeme ile yalıtım yapılmıştır.

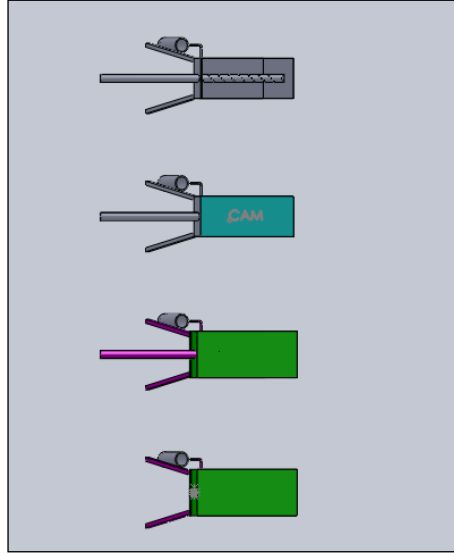
#### **4.1.9. Diğer Malzemeler**

Deney düzeneğinin yapımında ayrıca 2mm kalınlığında sunta, 20x20x2mm demir profil, plastik borular kullanılmıştır. Demir profillerden stant yapılmıştır. Plastik borular ise damıtılan suyu taşımak amaçlı kullanılmıştır. Boruların etrafı alüminyum folyo ile kaplanarak izole edilmiştir.

#### **4.2. METOT**

Deney düzeneği, daha önceleri güneş enerjisiyle su damıtılması konusunda yapılmış olan tez ve makaleler incelendikten sonra imal edilmiştir. Bu konuyla ilgili çeşitli deneyler yapılmıştır. Yapılan deneylerde Samsun koşullarında bir güneş enerjili su damıtıcısının performansını etkileyen parametreler olan güneş ışınımı, havuz içerisindeki su derinliği, saydam örtünün şekli, sisteme ilave edilen güneş kolektörü incelenmiştir.





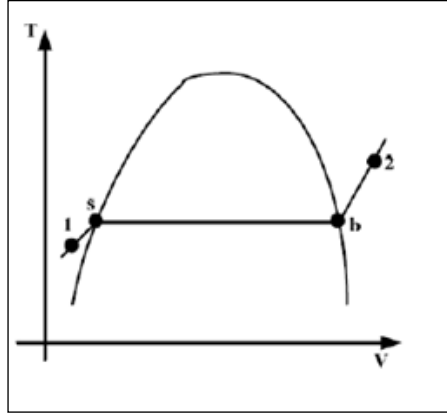
Şekil 4.7. Denede kullanılan güneş enerjili damıtma sisteminin genel görünüşü.

Çalışma Prensibi: Mat siyah boya ile iç yüzeyi boyanmış depoda sürekli olarak dere suyu bulunmaktadır. Amaç, deponun güneş enerjisini absorbe etmesidir. Bu deponun içerisinde sürekli dere suyu bulunacağından havuzdaki su damıtıldıkça ve eksildikçe depodan su ilave edilecektir. Siyah mat renge boyanmış damıtma havuzundaki dere suyu, vakum tüplü kolektör vasıtasıyla güneş ışınımı ile ısıtacak ve sıcaklığı artacaktır. Sıcaklığı arttıkça buharlaşarak üstteki cam örtüde yoğunlaşacaktır. Daha sonra üst yoğunlaşma örtüsündeki eğimden dolayı yoğunlaşan su, damlacıklar halinde aşağı doğru akacak ve damıtma havuzunun iç kısmına yerleştirilmiş toplama kanalından alınacaktır. Buradan da havuzun dışına taşınacak ve toplama kabında depolanacaktır. Suyun kolektörde dolaşımı ise vakum tüplü güneş kolektörünün çalışma prensibinin gereği olarak doğal olacaktır. Damıtıcıda üst yoğunlaşma örtüsü önce güneşe açık olarak değerler alınacak daha sonra camyünü ile yalıtılmadan tüplü değerler alınıp son olarak camyünü ile yalıtılıp tüplü değerler alınacak ve karşılaştırma yapılacaktır.

Şekil 4.7’de en alttan üste doğru sırasıyla yalıtımsız, vakum tüplü yalıtımsız, vakum tüplü yalıtımlı ve en üst kısımda ise sistemin iç kısmı gösterilmiştir.

### 4.3. BUHARLAŞMA ISISI

Herhangi bir basınçta kaynama noktasına kadar ısıtılmış suya verilmeye devam edilirse buharlaşma başlar. Buharlaşma işlemi esnasında sıcaklık sabit kalır. Isı verilmeye devam edilirse su tamamen buharlaşır ve doymuş kuru buhar olur 1kg suyu kaynama noktasında buhar haline dönüştürmek için gerekli olan ısıya buharlaşma ısı denir. Sıcaklık ve basınç arttırıldıkça buharlaşma ısısının değeri küçülerek kritik noktada sifira eşit olmaktadır. Buharlaşma ısı,  $[h_b = h_b - h_s]$  ile hesaplanır. Burada  $(h_b)$  doymuş kuru buharın entalpisidir,  $(h_s)$  ise doymuş suyun entalpisidir. Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Sıcaklık-hacim grafiği.

## BÖLÜM 5

### ARAŞTIRMA BULGULARI

#### 5.1. DENEY SONUÇLARI

Güneş enerjili damıtma sisteminde; tek eğimli yoğuşma örtüsü (yalıtımsız), tek eğimli yoğuşma örtüsü (yalıtlımlı) kullanılarak vakum tüplü güneş kolektörü ile ısıtılan suyun damıtılması amacıyla deney çalışmaları yapılmıştır. Termokupllar; bir adet vakum tüp, iç ortam, dış ortam, su sıcaklığı, cam yüzey sıcaklığı değerlerini almak üzere bağlantıları yapılmış, avometre ile 15'er dakika arayla değerler alınmıştır. En başta 15 litrelik cam depo ile sonra vakumlu cam tüpü kullanıp yalıtım yapılmadan daha sonra ise vakumlu cam tüpü kullanılıp üst yoğuşma örtüsü camyünü ile yalıtılarak değerler alınmıştır.

##### 5.1.1. 25/05/2013 Tarihli Deney

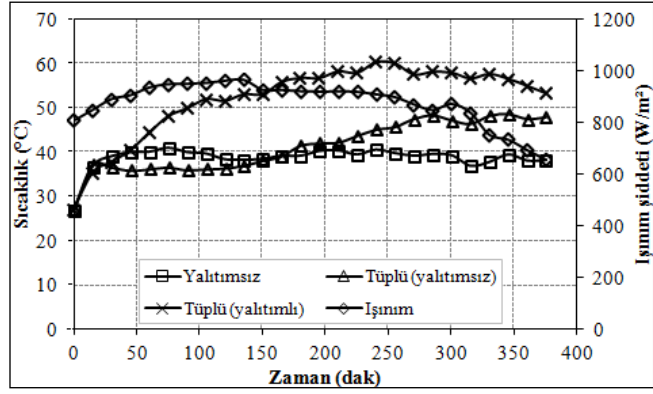
Bu deneyde üst yüzey yoğuşma örtüsü güneşe açık olacak şekilde yalıtım yapılmadan değer alınmıştır. Sistem çalışır hale getirilerek toplamda 15 litre dere suyu ile deneye başlanmıştır. Deneye saat 10:00'da başlanmış saat 16:30'da bırakılmış ve 15'er dakikalık arayla değerler alınmıştır. Gün boyunca ölçülen sıcaklıklarının birbirinden farklı değerlerde olduğu gözlemlenmiştir. Güneş ışınım değeri öğle saatlerine kadar yükseldiği, öğleden sonraki vakitlerde giderek azalmaya başladığı gözlemlenmiştir. Depo suyu sıcaklığı giderek yükselmiş akşam 16:00'dan sonra azalmaya başlamıştır. Yoğuşmanın gündüzden daha çok gece saatlerinde olduğu gözlemlenmiş gündüz vakitlerine 60ml gece saatlerinde 100ml toplamda 160ml su damıtıldığı gözlemlenmiştir.

### **5.1.2. 27/05/2013 Tarihli Deney**

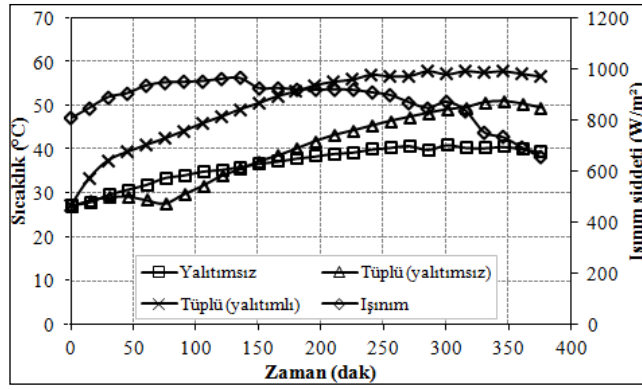
Bu deneyde üst yüzey yoğuşma örtüsü camyünü ile yalıtımsız değer alınmıştır. Sistem çalışır hale getirilerek toplamda 15 litre dere suyu ile deneye başlanmıştır. Deneye saat 10:00'da başlanmış saat 16:30'da bırakılmış ve 15'er dakikalık arayla değerler alınmıştır. Gün boyunca ölçülen vakum tüplerin sıcaklıklarının birbirinden farklı değerlerde olduğu gözlemlenmiştir. Güneş ışınlamı değeri öğle saatlerine kadar yükseldiği, öğleden sonraki vakitlerde giderek azalmaya başladığı gözlemlenmiştir. Depo suyu sıcaklığı giderek yükselmiş akşam 16:00'dan sonra azalmaya başlamıştır. Yoğuşmanın gündüzden daha çok gece saatlerinde oluştuğu gözlemlenmiş gündüz vakitlerine 110ml gece saatlerinde 150ml toplamda 260ml su damıtıldığı gözlemlenmiştir.

### **5.1.3. 29/05/2013 Tarihli Deney**

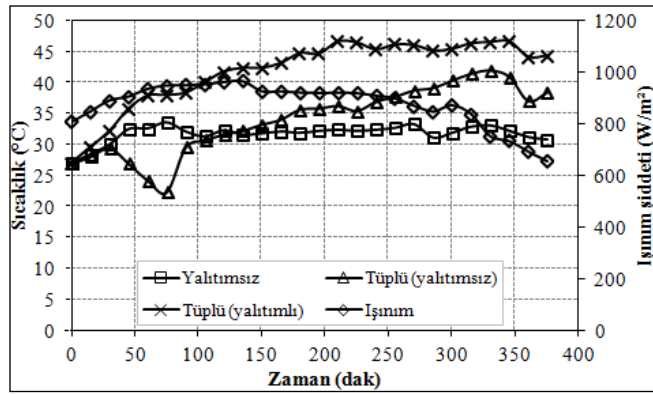
Bu deneyde üst yüzey yoğuşma örtüsü cam yünü ile yalıtılarak değeri alınmıştır. Önceki gün depoda kalan su ile deneye devam edilmiştir. Deneye saat 10:00'da başlanmış saat 16:30'da bırakılmış ve 15'er dakikalık arayla değerler alınmıştır. Gün boyunca ölçülen vakum tüplerin sıcaklıklarının birbirinden farklı değerlerde olduğu gözlemlenmiştir. Güneş ışınlamı değeri öğle saatlerine kadar yükseldiği, öğleden sonraki vakitlerde giderek azalmaya başladığı gözlemlenmiştir. Depo suyu sıcaklığı giderek yükselmiş akşam 16:00'dan sonra azalmaya başlamıştır. Yoğuşmanın gündüzden daha çok gece saatlerinde oluştuğu gözlemlenmiş gündüz vakitlerine 180ml gece saatlerinde 200ml toplamda 380ml su damıtıldığı gözlemlenmiştir.



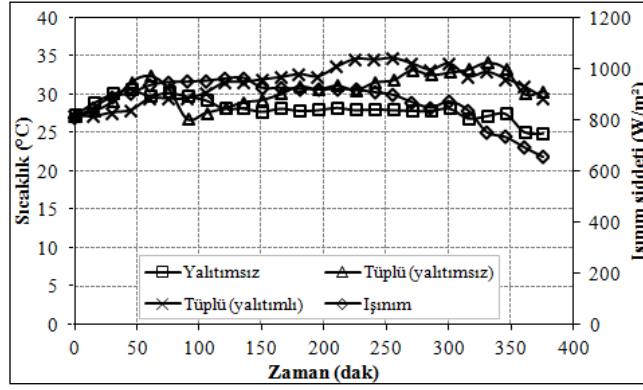
Şekil 5.1. Işınım şiddeti ile iç ortam sıcaklık karşılaştırmaları.



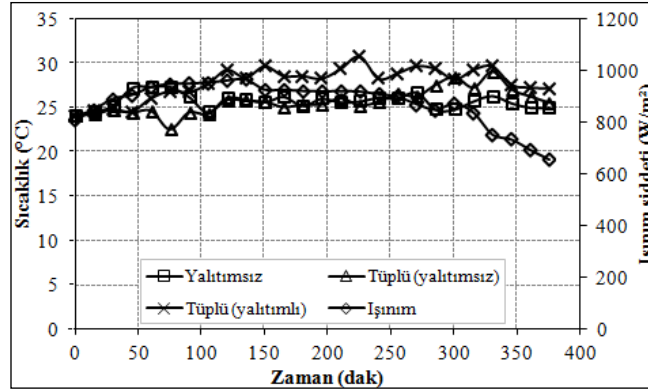
Şekil 5.2. Işınım şiddeti ile su sıcaklığı karşılaştırmaları.



Şekil 5.3. Işınım şiddeti ile dış cam yüzey sıcaklık karşılaştırmaları.



Şekil 5.4. Işınım şiddeti ile hortum sıcaklık karşılaştırmaları.



Şekil 5.5. Işınım şiddeti ile dış ortam sıcaklık karşılaştırmaları.

Şekil 5.1'de Işınım şiddeti ile iç ortam sıcaklık karşılaştırmaları yapılmış en yüksek sıcaklığa tüplü yalıtımlı sistemde ulaşılmıştır. Sistemin yalıtımsız halinde ışınım şiddeti miktarı saat 12:15'e kadar artmış bu esnada iç ortam sıcaklık değeri artmış bir zaman sonra ya artmış ya da azalmıştır. Saat 15:00'den sonra ışınım şiddeti miktarı düşmeye başlamış iç ortam sıcaklığı ise ya artmış ya da azalmıştır. Şekil 5.2'de Işınım şiddeti miktarı ile su sıcaklık karşılaştırmaları yapılmıştır. Sistemde ışınım şiddeti miktarı öğleye kadar artmış bu esnada suyun sıcaklık değeri de artmıştır. Işınım şiddeti miktarı bir süre suyun sıcaklık değeri arttıkça artmıştır. Örneğin sistem yalıtımsızken suyun sıcaklık değeri arttıkça ışınım şiddeti miktarı artmıştır. Deney başlangıç saatinde suyun sıcaklığı  $27,2^{\circ}\text{C}$  iken ışınım şiddeti  $809,3\text{W/m}^2$ 'dir. Işınım şiddeti öğle saatinde  $963\text{W/m}^2$  olmuş suyun sıcaklığı ise  $36^{\circ}\text{C}$ 'ye yükselmiştir. Şekil 5.3'de Işınım şiddeti ile dış cam yüzey sıcaklık karşılaştırmaları yapılmış olup en yüksek dış cam yüzey sıcaklığına tüplü yalıtımlı sistemde ulaşılmıştır. Şekil 5.4'de Işınım şiddeti ile hortum sıcaklığı karşılaştırmaları yapılmış olup öğleden sonra en

yüksek sıcaklıklara tüplü yalıtımlı sistemde ulaşılmıştır. Öğlen 14:00'dan sonra hortum sıcaklığı sürekli olarak azalmıştır. Işınım şiddeti miktarı ise ya azalmış ya da artmıştır. Şekil 5.5'de Işınım şiddeti miktarı ile dış ortam sıcaklığı değerleri karşılaştırılmıştır. Deney ilk başlangıç saatlerinde dış cam yüzey sıcaklık değerleri ışınım şiddeti miktarı ile beraber artmıştır.

## BÖLÜM 6

### SONUÇLAR

Yaptığımız çalışmada, eğimli güneş damıtıcısından mayıs ayında Samsun koşullarında maksimum miktarda su damıtmak amacıyla üst yoğunlaşma örtüsünün yalıtımlı ve yalıtımsız olarak tasarlanmış ve deneyleri yapılmıştır. Bunun için hazırlanan düzenekte üst yoğunlaşma örtüsü olarak tek eğimli düzenek kullanılmıştır. Yapılan bütün deneylerde uygulanan ışınım süresi aynı ve ortalama 6 saattir. Damıtılan su miktarları deney başlangıcından 24 saat sonra ölçülmüştür. Su kirlendikçe sistemin veriminin de etkilendiği görülmüştür. Derinliği az olan damıtma havuzunda su sıcaklığı maksimum olmuştur. Çünkü derin su kütlesi hava sıcaklığındaki değişime geç uymaktadır. Derin havuzlarda buharlaşma, sığ havuzlara göre yazın daha az, kışın ise daha çok olmaktadır. Daha önce yapılan çalışmalardan yola çıkarak tuzlu suyun tatlı suya göre daha az buharlaştığı görülmüştür. Dış ortam sıcaklığına bağlı olarak verim artmış ya da azalmıştır. Hava sıcaklığı arttıkça buharlaşmanın arttığı görülmüştür. Damıtma sisteminde buharlaşmanın sabah saatlerinde minimum, öğleden sonra 12:00-15:00 saatleri arasında maksimum seviyeye ulaştığı görülmüştür. Buharlaşmanın devam etmesi için su buharının damıtıcı yüzeyinden uzaklaşması gerekmektedir. Deneylerden elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, sistemin verimi, iklim şartlarına, damıtma yöntemlerine, dış ortam sıcaklığına, güneş ışınım değerlerine, depo yalıtımına, damıtıcının örtü şekillerine, su derinliğine göre değişmektedir.



## KAYNAKLAR

1. Alibas, K. ve Baycık, H., “Güneş enerjisi ve güneş enerjisinden yararlanma olanakları”, *Mühendis ve Makine Dergisi*, 331: 30-36 (1987).
2. Perlin, J. and Gordes, J. N., “An historical and prospective review of solar water purification”, *Bringing Water to the World, ASES*, Riverton, Santa Barbara, 181: 193-205 (2005).
3. Lindblom, J., “Solar thermal technologies for seawater desalination, renewable energy sytems”, *Lulea University of Technology*, Luleå, Sweden, 2-5 (2003).
4. Öztürk, Y., “Güneş enerjisiyle tuzlu su damıtılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 74-78 (2004).
5. Mamlook, R., Akash B. A., and Nijmeh, S., “Fuzzy Sets Programming to Perform Evaloation of Solar Systems in Jordan”, *Energy Conversion and Management*, 42: 1717-1726 (2001).
6. Abdel-Rassoul, R. A., “Potential for economic solar desalination in the middle east”, *Renewable Energy*, 14: 345-349 (1998).
7. Abdel-Dayem, A. M., “Experimental and numerical performance of a multi-effect condensation-evaporation solar water distillation sytem”, *Energy*, 31: 2710-2727 (2006).
8. Belessiotis, V. and Delyannis, E., “Water shortage and renewable energies (re) desalination possible technological applications”, *Desalination*, 139: 133 (2001).
9. Abu-Jabal, M. S., Kamiya, I., and Narasaki, Y., “Proving test for a solar- powered desalination sytem in gaza-palestine”, *Desalination*, 137: 1-6 (2001).
10. Garcia-Rodriguez, L., “Seawater desalination driven by renewable energies”, *Desalination*, 143: 103-113 (2002).
11. Hummel, R. L., “Solar distillation with economies of scale”, *Desalination*, 134: 159-171 (2001).
12. De Koning, J. and Thiesen, S., “Aqua solaris- an optimized small scale desalination system with 40 litres output per square meter based upon solar-thermal distillation”, *Desalination*, 182: 503-509 (2005).
13. Müller, C., Schwarzer, K., Vieira da Silva, E., and Mertes, C., “Solar thermal desalination systems with multi-layer heat recovery”, *Solar-Institut Jülich, Universidade Federal do Ceara*, Aachen, Germany, 2000: 2005 (2004).

14. Aybar, H. S., Egeliolu, F., and Atikol, U “An experimental study on annclined solar water distillation sytem”, *Desalination*, 180: 285-289 (2005).
15. Smith, M. and Shaw, R., “Journal for appropriate technologies for water supply and sanitation”, Technical Brief, No.40, *Desalination*,124: 29-32 (1994).
16. Nebbia, G., “Evacuated solar still system for getting fresh water from seawater”, *Applied Thermal Engineering*, 18: 1067-1075 (2005).
17. İnternet: Devlet Meteoroloji İşleri Genel Kurumu, “2006 Devlet Meteoroloji İşleri Müdürlüğü”, <http://www.meteor.gov.tr> (2006).
18. İhsan, S., “Güneş enerjisiyle tuzlu su damıtılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 35-38 (2012).
19. Boukar, M. and Harmim, A., “Effect of climatic conditions on the performance of a simple basin solar still”, *Desalination*, 137: 15-55 (2001).

**EK AÇIKLAMALAR A.  
DENEY ÇİZELGELERİ**

Çizelge Ek A.1. Işınım ölçüm değerleri.

Yalıtımsız			Tüplü-Yalıtımsız			Tüplü-Yalıtımlı		
Tarih	Saat	Işınım	Tarih	Saat	Işınım	Tarih	Saat	Işınım
25.05.2013	10:00:00	809,3	27.05.2013	10:00:00	808,5	29.05.2013	10:00:00	807,4
25.05.2013	10:15:00	851,1	27.05.2013	10:15:00	846,7	29.05.2013	10:15:00	828,3
25.05.2013	10:30:00	893,1	27.05.2013	10:30:00	861,2	29.05.2013	10:30:00	841,5
25.05.2013	10:45:00	907,9	27.05.2013	10:45:00	874,4	29.05.2013	10:45:00	868,3
25.05.2013	11:00:00	937,5	27.05.2013	11:00:00	892,9	29.05.2013	11:00:00	890,3
25.05.2013	11:15:00	950,4	27.05.2013	11:15:00	935,6	29.05.2013	11:15:00	901,8
25.05.2013	11:30:00	951,8	27.05.2013	11:30:00	946,6	29.05.2013	11:30:00	923,1
25.05.2013	11:45:00	954,9	27.05.2013	11:45:00	957,5	29.05.2013	11:45:00	941,0
25.05.2013	12:00:00	963,6	27.05.2013	12:00:00	971,3	29.05.2013	12:00:00	953,4
25.05.2013	12:15:00	967,0	27.05.2013	12:15:00	976,8	29.05.2013	12:15:00	958,5
25.05.2013	12:30:00	928,0	27.05.2013	12:30:00	980,1	29.05.2013	12:30:00	958,9
25.05.2013	12:45:00	927,5	27.05.2013	12:45:00	979,1	29.05.2013	12:45:00	949,0
25.05.2013	13:00:00	923,3	27.05.2013	13:00:00	975,1	29.05.2013	13:00:00	961,1
25.05.2013	13:15:00	921,3	27.05.2013	13:15:00	977,1	29.05.2013	13:15:00	942,9
25.05.2013	13:30:00	922,5	27.05.2013	13:30:00	967,3	29.05.2013	13:30:00	899,6
25.05.2013	13:45:00	920,5	27.05.2013	13:45:00	942,9	29.05.2013	13:45:00	865,3
25.05.2013	14:00:00	911,2	27.05.2013	14:00:00	932,0	29.05.2013	14:00:00	870,6
25.05.2013	14:15:00	900,3	27.05.2013	14:15:00	916,1	29.05.2013	14:15:00	758,1
25.05.2013	14:30:00	871,9	27.05.2013	14:30:00	886,1	29.05.2013	14:30:00	633,3
25.05.2013	14:45:00	850,6	27.05.2013	14:45:00	853,6	29.05.2013	14:45:00	587,5
25.05.2013	15:00:00	873,9	27.05.2013	15:00:00	831,0	29.05.2013	15:00:00	673,8
25.05.2013	15:15:00	839,4	27.05.2013	15:15:00	795,9	29.05.2013	15:15:00	538,5
25.05.2013	15:30:00	754,6	27.05.2013	15:30:00	764,3	29.05.2013	15:30:00	520,4
25.05.2013	15:45:00	735,3	27.05.2013	15:45:00	738,0	29.05.2013	15:45:00	431,1
25.05.2013	16:00:00	695,1	27.05.2013	16:00:00	729,0	29.05.2013	16:00:00	400,6
25.05.2013	16:15:00	657,8	27.05.2013	16:15:00	645,8	29.05.2013	16:15:00	266,6
25.05.2013	16:30:00	115,1	27.05.2013	16:30:00	646,8	29.05.2013	16:30:00	345,0

Çizelge Ek A.2. İç ortam sıcaklık değerleri.

Yalıtımsız			Tüplü-Yalıtımsız			Tüplü-Yalıtımlı		
Tarih	Saat	İç Ortam	Tarih	Saat	İç Ortam	Tarih	Saat	İç Ortam
25.05.2013	10:00:00	26,9	27.05.2013	10:00:00	27,0	29.05.2013	10:00:00	27,1
25.05.2013	10:15:00	36,8	27.05.2013	10:15:00	37,0	29.05.2013	10:15:00	35,4
25.05.2013	10:30:00	39,1	27.05.2013	10:30:00	36,5	29.05.2013	10:30:00	37,8
25.05.2013	10:45:00	40,0	27.05.2013	10:45:00	35,8	29.05.2013	10:45:00	40,5
25.05.2013	11:00:00	40,1	27.05.2013	11:00:00	36,1	29.05.2013	11:00:00	44,5
25.05.2013	11:15:00	41,0	27.05.2013	11:15:00	36,5	29.05.2013	11:15:00	48,2
25.05.2013	11:30:00	40,0	27.05.2013	11:30:00	35,9	29.05.2013	11:30:00	50,0
25.05.2013	11:45:00	39,7	27.05.2013	11:45:00	36,1	29.05.2013	11:45:00	52,1
25.05.2013	12:00:00	38,4	27.05.2013	12:00:00	36,3	29.05.2013	12:00:00	51,7
25.05.2013	12:15:00	38,3	27.05.2013	12:15:00	36,9	29.05.2013	12:15:00	53,2
25.05.2013	12:30:00	38,5	27.05.2013	12:30:00	38,0	29.05.2013	12:30:00	53,2
25.05.2013	12:45:00	39,2	27.05.2013	12:45:00	39,0	29.05.2013	12:45:00	56,0
25.05.2013	13:00:00	39,2	27.05.2013	13:00:00	41,4	29.05.2013	13:00:00	56,9
25.05.2013	13:15:00	40,3	27.05.2013	13:15:00	41,9	29.05.2013	13:15:00	56,9
25.05.2013	13:30:00	40,4	27.05.2013	13:30:00	42,1	29.05.2013	13:30:00	58,4
25.05.2013	13:45:00	39,5	27.05.2013	13:45:00	43,6	29.05.2013	13:45:00	58,1
25.05.2013	14:00:00	40,6	27.05.2013	14:00:00	45,0	29.05.2013	14:00:00	60,5
25.05.2013	14:15:00	39,8	27.05.2013	14:15:00	45,6	29.05.2013	14:15:00	60,2
25.05.2013	14:30:00	39,2	27.05.2013	14:30:00	47,4	29.05.2013	14:30:00	57,7
25.05.2013	14:45:00	39,6	27.05.2013	14:45:00	48,2	29.05.2013	14:45:00	58,3
25.05.2013	15:00:00	39,3	27.05.2013	15:00:00	47,1	29.05.2013	15:00:00	58,1
25.05.2013	15:15:00	36,9	27.05.2013	15:15:00	46,3	29.05.2013	15:15:00	56,8
25.05.2013	15:30:00	37,8	27.05.2013	15:30:00	48,1	29.05.2013	15:30:00	57,8
25.05.2013	15:45:00	39,5	27.05.2013	15:45:00	48,5	29.05.2013	15:45:00	56,7
25.05.2013	16:00:00	38,1	27.05.2013	16:00:00	47,4	29.05.2013	16:00:00	55,1
25.05.2013	16:15:00	38,2	27.05.2013	16:15:00	47,8	29.05.2013	16:15:00	53,4
25.05.2013	16:30:00	34,2	27.05.2013	16:30:00	44,6	29.05.2013	16:30:00	53,3

Çizelge Ek A.3. Su sıcaklık değerleri.

Yalıtımsız			Tüplü-Yalıtımsız			Tüplü-Yalıtımlı		
Tarih	Saat	Suyun S.	Tarih	Saat	Suyun S.	Tarih	Saat	Suyun S.
25.05.2013	10:00:00	27,2	27.05.2013	10:00:00	27,0	29.05.2013	10:00:00	27,1
25.05.2013	10:15:00	27,9	27.05.2013	10:15:00	28,4	29.05.2013	10:15:00	33,5
25.05.2013	10:30:00	29,6	27.05.2013	10:30:00	29,1	29.05.2013	10:30:00	37,5
25.05.2013	10:45:00	30,8	27.05.2013	10:45:00	29,3	29.05.2013	10:45:00	39,4
25.05.2013	11:00:00	31,9	27.05.2013	11:00:00	28,5	29.05.2013	11:00:00	41,0
25.05.2013	11:15:00	33,5	27.05.2013	11:15:00	27,7	29.05.2013	11:15:00	42,5
25.05.2013	11:30:00	34,1	27.05.2013	11:30:00	29,8	29.05.2013	11:30:00	44,2
25.05.2013	11:45:00	35,0	27.05.2013	11:45:00	31,7	29.05.2013	11:45:00	46,0
25.05.2013	12:00:00	35,4	27.05.2013	12:00:00	34,0	29.05.2013	12:00:00	47,5
25.05.2013	12:15:00	36,0	27.05.2013	12:15:00	35,5	29.05.2013	12:15:00	49,2
25.05.2013	12:30:00	36,8	27.05.2013	12:30:00	37,3	29.05.2013	12:30:00	50,6
25.05.2013	12:45:00	37,3	27.05.2013	12:45:00	38,6	29.05.2013	12:45:00	52,2
25.05.2013	13:00:00	38,0	27.05.2013	13:00:00	40,2	29.05.2013	13:00:00	53,3
25.05.2013	13:15:00	38,5	27.05.2013	13:15:00	41,9	29.05.2013	13:15:00	54,7
25.05.2013	13:30:00	39,1	27.05.2013	13:30:00	43,3	29.05.2013	13:30:00	55,5
25.05.2013	13:45:00	39,4	27.05.2013	13:45:00	44,3	29.05.2013	13:45:00	56,0
25.05.2013	14:00:00	40,1	27.05.2013	14:00:00	45,4	29.05.2013	14:00:00	57,1
25.05.2013	14:15:00	40,5	27.05.2013	14:15:00	46,5	29.05.2013	14:15:00	56,7
25.05.2013	14:30:00	40,9	27.05.2013	14:30:00	47,4	29.05.2013	14:30:00	56,8
25.05.2013	14:45:00	40,0	27.05.2013	14:45:00	48,3	29.05.2013	14:45:00	57,9
25.05.2013	15:00:00	41,1	27.05.2013	15:00:00	49,1	29.05.2013	15:00:00	57,2
25.05.2013	15:15:00	40,5	27.05.2013	15:15:00	49,6	29.05.2013	15:15:00	57,9
25.05.2013	15:30:00	40,4	27.05.2013	15:30:00	50,7	29.05.2013	15:30:00	57,6
25.05.2013	15:45:00	40,7	27.05.2013	15:45:00	51,0	29.05.2013	15:45:00	57,9
25.05.2013	16:00:00	40,2	27.05.2013	16:00:00	50,4	29.05.2013	16:00:00	57,3
25.05.2013	16:15:00	39,5	27.05.2013	16:15:00	49,5	29.05.2013	16:15:00	56,7
25.05.2013	16:30:00	38,7	27.05.2013	16:30:00	50,0	29.05.2013	16:30:00	56,2

Çizelge Ek A.4. Dış cam yüzey sıcaklık değerleri.

Yalıtımsız			Tüplü-Yalıtımsız			Tüplü-Yalıtımlı		
Tarih	Saat	Dış Cam	Tarih	Saat	Dış Cam	Tarih	Saat	Dış Cam
25.05.2013	10:00:00	27,1	27.05.2013	10:00:00	27,0	29.05.2013	10:00:00	27,1
25.05.2013	10:15:00	28,5	27.05.2013	10:15:00	28,1	29.05.2013	10:15:00	29,7
25.05.2013	10:30:00	30,1	27.05.2013	10:30:00	29,5	29.05.2013	10:30:00	32,3
25.05.2013	10:45:00	32,6	27.05.2013	10:45:00	27,0	29.05.2013	10:45:00	35,9
25.05.2013	11:00:00	32,7	27.05.2013	11:00:00	24,3	29.05.2013	11:00:00	38,0
25.05.2013	11:15:00	33,7	27.05.2013	11:15:00	22,4	29.05.2013	11:15:00	38,1
25.05.2013	11:30:00	32,2	27.05.2013	11:30:00	29,6	29.05.2013	11:30:00	38,5
25.05.2013	11:45:00	31,4	27.05.2013	11:45:00	30,8	29.05.2013	11:45:00	40,2
25.05.2013	12:00:00	32,4	27.05.2013	12:00:00	31,7	29.05.2013	12:00:00	41,9
25.05.2013	12:15:00	31,7	27.05.2013	12:15:00	32,3	29.05.2013	12:15:00	42,5
25.05.2013	12:30:00	31,9	27.05.2013	12:30:00	33,3	29.05.2013	12:30:00	42,5
25.05.2013	12:45:00	32,2	27.05.2013	12:45:00	34,1	29.05.2013	12:45:00	43,3
25.05.2013	13:00:00	32,0	27.05.2013	13:00:00	35,7	29.05.2013	13:00:00	44,9
25.05.2013	13:15:00	32,3	27.05.2013	13:15:00	35,9	29.05.2013	13:15:00	44,8
25.05.2013	13:30:00	32,5	27.05.2013	13:30:00	36,3	29.05.2013	13:30:00	46,8
25.05.2013	13:45:00	32,3	27.05.2013	13:45:00	35,5	29.05.2013	13:45:00	46,6
25.05.2013	14:00:00	32,5	27.05.2013	14:00:00	37,0	29.05.2013	14:00:00	45,5
25.05.2013	14:15:00	32,8	27.05.2013	14:15:00	37,8	29.05.2013	14:15:00	46,3
25.05.2013	14:30:00	33,4	27.05.2013	14:30:00	38,8	29.05.2013	14:30:00	46,2
25.05.2013	14:45:00	31,2	27.05.2013	14:45:00	39,2	29.05.2013	14:45:00	45,3
25.05.2013	15:00:00	32,0	27.05.2013	15:00:00	40,4	29.05.2013	15:00:00	45,6
25.05.2013	15:15:00	33,0	27.05.2013	15:15:00	41,5	29.05.2013	15:15:00	46,5
25.05.2013	15:30:00	33,2	27.05.2013	15:30:00	42,0	29.05.2013	15:30:00	46,7
25.05.2013	15:45:00	32,3	27.05.2013	15:45:00	41,0	29.05.2013	15:45:00	46,8
25.05.2013	16:00:00	31,3	27.05.2013	16:00:00	37,1	29.05.2013	16:00:00	44,3
25.05.2013	16:15:00	30,9	27.05.2013	16:15:00	38,5	29.05.2013	16:15:00	44,5
25.05.2013	16:30:00	28,6	27.05.2013	16:30:00	37,7	29.05.2013	16:30:00	43,3

Çizelge Ek A.5. Hortum sıcaklık değerleri.

Yalıtımsız			Tüplü-Yalıtımsız			Tüplü-Yalıtımlı		
Tarih	Saat	Hortum	Tarih	Saat	Hortum	Tarih	Saat	Hortum
25.05.2013	10:00:00	27,3	27.05.2013	10:00:00	27,2	29.05.2013	10:00:00	27,3
25.05.2013	10:15:00	28,9	27.05.2013	10:15:00	27,8	29.05.2013	10:15:00	27,2
25.05.2013	10:30:00	30,1	27.05.2013	10:30:00	29,1	29.05.2013	10:30:00	27,7
25.05.2013	10:45:00	30,7	27.05.2013	10:45:00	31,6	29.05.2013	10:45:00	28,0
25.05.2013	11:00:00	29,9	27.05.2013	11:00:00	32,5	29.05.2013	11:00:00	29,5
25.05.2013	11:15:00	30,3	27.05.2013	11:15:00	30,9	29.05.2013	11:15:00	29,5
25.05.2013	11:30:00	29,8	27.05.2013	11:30:00	26,8	29.05.2013	11:30:00	29,5
25.05.2013	11:45:00	29,3	27.05.2013	11:45:00	27,6	29.05.2013	11:45:00	30,3
25.05.2013	12:00:00	28,2	27.05.2013	12:00:00	28,2	29.05.2013	12:00:00	31,6
25.05.2013	12:15:00	28,2	27.05.2013	12:15:00	29,0	29.05.2013	12:15:00	31,7
25.05.2013	12:30:00	27,8	27.05.2013	12:30:00	29,3	29.05.2013	12:30:00	32,0
25.05.2013	12:45:00	28,2	27.05.2013	12:45:00	30,1	29.05.2013	12:45:00	32,3
25.05.2013	13:00:00	27,9	27.05.2013	13:00:00	31,1	29.05.2013	13:00:00	32,7
25.05.2013	13:15:00	28,0	27.05.2013	13:15:00	30,7	29.05.2013	13:15:00	32,4
25.05.2013	13:30:00	28,3	27.05.2013	13:30:00	31,2	29.05.2013	13:30:00	33,7
25.05.2013	13:45:00	28,0	27.05.2013	13:45:00	30,6	29.05.2013	13:45:00	34,7
25.05.2013	14:00:00	28,1	27.05.2013	14:00:00	31,6	29.05.2013	14:00:00	34,6
25.05.2013	14:15:00	28,0	27.05.2013	14:15:00	31,9	29.05.2013	14:15:00	34,8
25.05.2013	14:30:00	27,9	27.05.2013	14:30:00	33,2	29.05.2013	14:30:00	34,1
25.05.2013	14:45:00	27,9	27.05.2013	14:45:00	32,6	29.05.2013	14:45:00	33,3
25.05.2013	15:00:00	28,2	27.05.2013	15:00:00	32,9	29.05.2013	15:00:00	34,1
25.05.2013	15:15:00	26,9	27.05.2013	15:15:00	33,3	29.05.2013	15:15:00	32,4
25.05.2013	15:30:00	27,2	27.05.2013	15:30:00	34,2	29.05.2013	15:30:00	33,0
25.05.2013	15:45:00	27,5	27.05.2013	15:45:00	33,4	29.05.2013	15:45:00	32,1
25.05.2013	16:00:00	25,1	27.05.2013	16:00:00	30,1	29.05.2013	16:00:00	31,1
25.05.2013	16:15:00	24,9	27.05.2013	16:15:00	30,4	29.05.2013	16:15:00	29,6
25.05.2013	16:30:00	24,6	27.05.2013	16:30:00	30,6	29.05.2013	16:30:00	29,8



Çizelge Ek A.6. Dış ortam sıcaklık değerleri.

Yalıtımsız			Tüplü-Yalıtımsız			Tüplü-Yalıtımlı		
Tarih	Saat	Dış Ortam	Tarih	Saat	Dış Ortam	Tarih	Saat	Dış Ortam
25.05.2013	10:00:00	24,1	27.05.2013	10:00:00	24,2	29.05.2013	10:00:00	24,1
25.05.2013	10:15:00	24,5	27.05.2013	10:15:00	24,3	29.05.2013	10:15:00	24,7
25.05.2013	10:30:00	25,2	27.05.2013	10:30:00	24,8	29.05.2013	10:30:00	24,8
25.05.2013	10:45:00	27,2	27.05.2013	10:45:00	24,5	29.05.2013	10:45:00	24,6
25.05.2013	11:00:00	27,3	27.05.2013	11:00:00	24,7	29.05.2013	11:00:00	26,1
25.05.2013	11:15:00	27,3	27.05.2013	11:15:00	22,6	29.05.2013	11:15:00	26,9
25.05.2013	11:30:00	26,2	27.05.2013	11:30:00	24,5	29.05.2013	11:30:00	26,8
25.05.2013	11:45:00	24,5	27.05.2013	11:45:00	24,3	29.05.2013	11:45:00	27,7
25.05.2013	12:00:00	26,1	27.05.2013	12:00:00	25,9	29.05.2013	12:00:00	29,3
25.05.2013	12:15:00	25,9	27.05.2013	12:15:00	25,8	29.05.2013	12:15:00	28,4
25.05.2013	12:30:00	25,6	27.05.2013	12:30:00	25,7	29.05.2013	12:30:00	29,7
25.05.2013	12:45:00	26,2	27.05.2013	12:45:00	25,1	29.05.2013	12:45:00	28,6
25.05.2013	13:00:00	25,2	27.05.2013	13:00:00	25,4	29.05.2013	13:00:00	28,6
25.05.2013	13:15:00	26,0	27.05.2013	13:15:00	25,4	29.05.2013	13:15:00	28,3
25.05.2013	13:30:00	25,6	27.05.2013	13:30:00	26,1	29.05.2013	13:30:00	29,4
25.05.2013	13:45:00	25,7	27.05.2013	13:45:00	25,3	29.05.2013	13:45:00	30,8
25.05.2013	14:00:00	26,1	27.05.2013	14:00:00	25,7	29.05.2013	14:00:00	28,3
25.05.2013	14:15:00	26,0	27.05.2013	14:15:00	26,6	29.05.2013	14:15:00	28,9
25.05.2013	14:30:00	26,7	27.05.2013	14:30:00	26,3	29.05.2013	14:30:00	29,7
25.05.2013	14:45:00	24,8	27.05.2013	14:45:00	27,6	29.05.2013	14:45:00	29,4
25.05.2013	15:00:00	24,8	27.05.2013	15:00:00	28,5	29.05.2013	15:00:00	28,2
25.05.2013	15:15:00	25,7	27.05.2013	15:15:00	27,3	29.05.2013	15:15:00	29,3
25.05.2013	15:30:00	26,3	27.05.2013	15:30:00	29,1	29.05.2013	15:30:00	29,7
25.05.2013	15:45:00	25,5	27.05.2013	15:45:00	27,1	29.05.2013	15:45:00	27,6
25.05.2013	16:00:00	25,0	27.05.2013	16:00:00	26,3	29.05.2013	16:00:00	27,3
25.05.2013	16:15:00	25,0	27.05.2013	16:15:00	25,6	29.05.2013	16:15:00	27,2
25.05.2013	16:30:00	24,8	27.05.2013	16:30:00	25,4	29.05.2013	16:30:00	27,6

## ÖZGEÇMİŞ

Semra ÜLKER 1988'de Bursa'da doğdu; ilk ve ortaöğrenimini aynı şehirde tamamladı. Bursa Atatürk Lisesinden mezun olduktan sonra 2008 yılında Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü'ne girdi; 2011'de "iyi" derece ile mezun olduktan sonra Uludağ Üniversitesi Yenişehir İbrahim Orhan Meslek Yüksek Okulu İklimlendirme Soğutma Bölümünde Öğretmen olarak göreve başladı. Halen; 2011 yılında Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başlamış olduğu yüksek lisans programını, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı altında sürdürmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres: Selçukbey Mahallesi.  
Ülker Sokak, No. 3, D: 2  
Yıldırım / BURSA

Tel: (531) 389 0183

E-posta: smrulkr@uludag.edu.tr