



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ SU DAMITMA SİSTEMİ PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASI

Hüseyin ÜNSAL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2017

KONYA

Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ SU DAMITMA SİSTEMİ PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASI

Hüseyin ÜNSAL

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. H. Kürşad ERSOY

2017, 78 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. H. Kürşad ERSOY
Yrd. Doç. Dr. Faruk KÖSE
Yrd. Doç. Dilek NUR ÖZEN

Bu çalışmada güneş enerjisi ile çalışan aktif ve pasif damıtma sisteminin teorik ve deneysel analizleri yapıldı. Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) raporunda öne çıkan Konya, Mersin, Muğla, Şanlıurfa ve Antalya illeri için teorik olarak damıtma sisteminin performansı araştırıldı. Damıtma sisteminde yapılan teorik analiz deneysel sistemle Konya şartlarında karşılaştırıldı. Gün içerisinde 6.00-19.00 saatleri arasında yapılan teorik ve deneysel analiz sonuçlarında sistem verimi ve damıtılmış su kütlesi miktarı bulundu. Bulunan teorik sonuçlara göre aktif ve pasif sistemin her ikisi için maksimum damıtma miktarı Şanlıurfa'da olmaktadır. Damıtma miktarı, pasif sistem için teorik analizde 742,90 g deneysel analizde ise 708,29 g, aktif sistem için teorik analizde 3629,24 g deneysel analizde ise 3458,77 g bulunmuştur. Damıtma sistem verimi pasif sistem için teorik analizde % 9,39 deneysel analizde % 8,79 aktif sistem için teorik analizde verim %11,89 deneysel analizde verim %10,66 bulunmuştur. Deneyler esansında ışınımın olmadığı gece saatlerinde de damıtmanın devam ettiği gözlenmiştir. Gece üretilen damıtma miktarı dikkate alındığında sistem verimi pasif sistemde %20,9 aktif sistemde ise %16,7 bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Su, Damıtma, Güneş enerjisi, Verim,

ABSTRACT

MS THESIS

PERFORMANCE INVESTIGATION OF WATER DISTILLATION SYSTEM POWERED BY SOLAR ENERGY

Hüseyin ÜNSAL

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

Advisor: Prof. Dr. H. Kürşad ERSOY

2017, 78 Page

Jury

Prof. Dr. H. Kürşad ERSOY
Yrd. Doç. Dr. Faruk KÖSE
Yrd. Doç. Dilek NUR ÖZEN

In this study, theoretical and experimental analyzes were carried out for active and passive distillation system working with solar energy. Distillation system performance was investigated theoretically for Konya, Mersin, Muğla, Şanlıurfa, and Antalya which come forward in the Solar Energy Potential Atlas (GEPA) report due to the potential of Solar Energy. Theoretical analysis of the distillation system was compared with the experimental system in conditions of Konya. According to results maximum amount of distillation was found in the Şanlıurfa for both passive system and active system. The theoretical and experimental analyzes was made between 06.00 am - 07.00 pm hours during the day were determinated the amount of system efficiency and distilled water mass. The amount of distillation was found in the theoretical analysis for the passive system 742.90 g, experimental analysis 708.29 g, in the theoretical analysis for the active system 3629.24 g experimental analysis 3458.77 g. Distillation system efficiency was found for passive system 9,39% of theoretical analysis 8.79% of experimental analysis, for the active system efficiency in the theoretical analysis 11,89% and experimental analysis 10.66%. It has been observed that the distillation continues during the experiments night hours when there is no radiation. Considering the amount of distillation produced at night, system efficiency was found 20.9% for passive system and 16.7% for active system.

Keywords: Water, Distillation, Solar energy, Efficiency,

ÖNSÖZ

Yaptığım bütün çalışmalarda beni her daim destekleyen, yanımda olan ve her zaman bana güven veren değerli aileme teşekkür ederim. Beni bu tez çalışmasına yönlendiren eski danışmanım Prof. Dr. Muammer ÖZGÖREN'e teşekkür ederim. Tez aşamasında kısa bir süre danışmanlığımı yapan Yrd. Doç. Dr. Faruk KÖSE'ye ve tezimin son aşamasında danışmanlığımı üstlenen Prof. Dr. H. Kürşad ERSOY'a teşekkür ederim. Bu tez çalışmasında bana bütün gayretiyle yardımcı olan, değerli zamanını ayıran Yrd. Doç. Dr. Özgür SOLMAZ'a ve çalışmalarımda emeği geçen herkese en içten teşekkürlerimi sunarım.

Hüseyin ÜNSAL

KONYA-2017

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Su ve Önemi 1
1.1.1. Dünya'da su kaynakları ve kullanılabilirliği 2
1.1.2. Türkiye'de su kaynakları ve kullanılabilirliği 4
1.1.3. Konya'da su kaynakları ve kullanılabilirliği 5
1.2.Güneş Enerjisi 6
1.3. Damıtma Sistemi ve Önemi 7
1.4. Suyun Buharlaşma ve Yoğuşma İlkesi 8

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **10**

3.MATERYAL VE YÖNTEM **19**

3.1. Güneş Enerjili Damıtma Sistemlerinin Tarihçesi 19
3.2. Güneş Enerjili Damıtma Sistemlerinin Sınıflandırılması 22
3.2.1. Pasif Sistemler 22
3.2.2. Aktif sistemler 26
3.3. Damıtma Performansını Etkileyen Faktörler 30
3.4. Damıtma Sisteminde Olması Gereken Özellikler 31
3.5. Deneysel Sistem 31
3.5. Hesaplama Metodolojisi 35
3.5.1. Güneş Işınımı Hesap Metodolojisi 36
3.5.2. Damıtma Sistemi Hesap Metodolojisi 39
3.5.3. Belirsizlik Analizi 48

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA **53**

4.1. Beş Farklı İl İçin Yıllık Damıtma Analizi 53
4.2. Teorik ve Deneysel Sonuçların Aktif ve Pasif Sistemde Karşılaştırılması 58
4.3. Gece ve Gündüz Su Üretiminin Deneysel Karşılaştırması 62

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER **68**

5.1 Sonuçlar 68
5.2 Öneriler 69

KAYNAKLAR **70**

EKLER 73

ÖZGEÇMİŞ 76

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A_s	Su havza alanı (taban alan)	(m^2)
A_c	Kolektör alanı	(m^2)
C_w	Havzadaki suyun özgül ısısı	(J/kgK)
F_c	Güneş kolektörü ortalama ısı kazanç faktörü	(-)
$h_{t,bi-a}$	Havuz iç yüzeyinden atmosfere gerçekleşen toplam ısı transfer katsayısı	($W/m^2\,^0C$)
$h_{r,w-gi}$	Su yüzeyinden cama ışınımla gerçekleşen ısı transfer katsayısı	($W/m^2\,^0C$)
$h_{c,w-gi}$	Su yüzeyinden cama taşınımla gerçekleşen ısı transfer katsayısı	($W/m^2\,^0C$)
$h_{e,w-gi}$	Su yüzeyinden cama buharlaşma sürecinde oluşan ısı transfer katsayısı	($W/m^2\,^0C$)
$h_{c,go-a}$	Camdan atmosfere taşınımla gerçekleşen ısı transfer katsayısı	($W/m^2\,^0C$)
$h_{t,bi-a}$	Havuz iç yüzeyinden atmosfere gerçekleşen toplam ısı transfer katsayısı	($W/m^2\,^0C$)
$h_{r,bo-a}$	Havuz dış yüzeyinden atmosfere gerçekleşen ışınımla ısı transfer katsayısı	($W/m^2\,^0C$)
$h_{r,g-a}$	Camdan atmosfere ışınımla gerçekleşen ısı transfer katsayısı	($W/m^2\,^0C$)
$h_{t,w-gi}$	Su yüzeyinden cama gerçekleşen toplam ısı transfer katsayısı	($W/m^2\,^0C$)
$h_{t,go-a}$	Camdan atmosfere gerçekleşen toplam ısı transfer katsayısı	($W/m^2\,^0C$)
$h_{c,bi-w}$	Havuz iç yüzeyinden suya ısı taşınım katsayısı	($W/m^2\,^0C$)
$I(t)_c$	Kolektörün eğimli yüzeyine gelen güneş ışınım şiddeti	(W/m^2)
$I(t)_s$	Damıtma havuzunun eğimli yüzeyine gelen güneş ışınımı	(W/m^2)
K_g	Camın ısıl iletkenliği	($W/m\,^0C$)
K_i	Taban yalıtım malzemesi ısı iletkenliği	($W/m\,^0C$)
L	Buharlaşma gizli ısısı	(J/kg)
L_g	Camın kalınlığı	(m)
L_i	Taban yalıtım malzemesi kalınlığı	(m)
M_w	Havzadaki damıtılacak su kütlesi	(kg)
m_{ew}	Saatlik damıtılmış su kütlesi	(kg/saat)
P_w	Su yüzeyindeki kısmi buhar basıncı	(N/m^2)
P_g	Camın iç yüzeyindeki kısmi buhar basıncı	(N/m^2)
$q_{r,go-a}$	Camdan atmosfere ışınımla ısı transferi	($W/m^2\,^0C$)
$q_{c,go-a}$	Camdan atmosfere taşınımla ısı transferi	(W/m^2)
$q_{c,w-gi}$	Sudan cama taşınımla ısı transferi	(W/m^2)
$q_{r,w-gi}$	Sudan cama ışınımla ısı transferi	(W/m^2)
$q_{e,w-gi}$	Sudan cama buharlaşma ile ısı transferi	(W/m^2)
$q_{c,bi-w}$	Havuz tabanından suya taşınımla ısı transferi	(W/m^2)
$q_{t,bi-a}$	Havuz tabanından atmosfere toplam ısı transferi (taşınım, ışınım, iletim)	(W/m^2)
$q_{t,w-gi}$	Su yüzeyinden cama toplam ısı transferi	(W/m^2)
$q_{t,go-a}$	Camdan atmosfere toplam ısı transferi	(W/m^2)
t	Zaman	(saniye)
T_a	Çevre sıcaklığı	(^0C)
T_b	Havuz tabanı sıcaklığı	(^0C)
T_g	Camın yüzey sıcaklığı	(^0C)
T_{go}	Cam yüzeyin ilk sıcaklığı	(^0C)

T_w	Su sıcaklığı	(^{0}C)
T_{wo}	Suyun ilk sıcaklığı	(^{0}C)
$U_{t,bottom}$	Toplam alt ısı transfer katsayısı	(^{0}C)
$U_{c,lost}$	Kolektöre ait toplam ısı transfer katsayısı	(W/m$^{2\,0}$C)
$U_{t,lost}$	Damıtma havuzunun toplam ısı transfer katsayısı	(W/m^{2o}C)
$U_{t,top}$	Toplam üst ısı transfer katsayısı	(W/m$^{2\,0}$C)
V_w	Rüzgar hızı	(m/s)
$(\alpha\tau)_{c,eff}$	Kolektör efektif yansıtma katsayısı	(-)
$(\alpha\tau)_{b,eff}$	Damıtma havuzu efektif yansıtma katsayısı	(-)
ε_{eff}	Etkin yayıcılık	(-)
ε_g	Cam örtünün yayıcılığı	(-)
ε_w	Suyun yayıcılığı	(-)
σ	Stefan Boltzman Sabiti	(W / m^2 K^4)
α'_g	Üst yoğuşma örtüsü (camın) yutma oranı	(-)
α'_b	Damıtma havuzu tabanı yutma oranı	(-)
α'_w	Suyun yutma oranı	(-)

Kısaltmalar ve Alt indisler

DMİ	Devlet meteoroloji işleri
a	Çevre
b	Havuz
c	Taşınım
e	Buharlaşma
g	Cam
i	İç
o	Dış
r	Işınım
t	Toplam
w	Su

1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze insanlar yaşama koşullarını kolaylaştırmak ve karşılaştığı sorunların üstesinden gelebilmek için birçok çalışma yapmışlardır. Bu sorunların çözümünde başarılı olunmuştur ama buna müteakip sürekli yeni sorunlar karşımıza çıkmaktadır. Hiç şüphesiz bu yeni sorunlarında insanoğlu üstesinden gelecektir ve gelmelidir, çünkü bunlar gün geçtikçe insan hayatını tehdit eden sorunlar haline gelmiştir. 18. Yüzyılda başlayan sanayi devrimi ile enerji talebindeki artış fosil kaynakların önemini artırmıştır. 20. Yüzyılın ortalarına kadar fosil kaynaklara artan talep devam etmiş fakat yeryüzünde bu kaynakların tükenme durumu ortaya çıkmıştır. Süregelen bu sorunlar 1970'li yıllarda tüm dünya ülkelerinde petrol krizini meydana getirmiş ve yeni enerji kaynakları arayışları önem kazanmıştır.

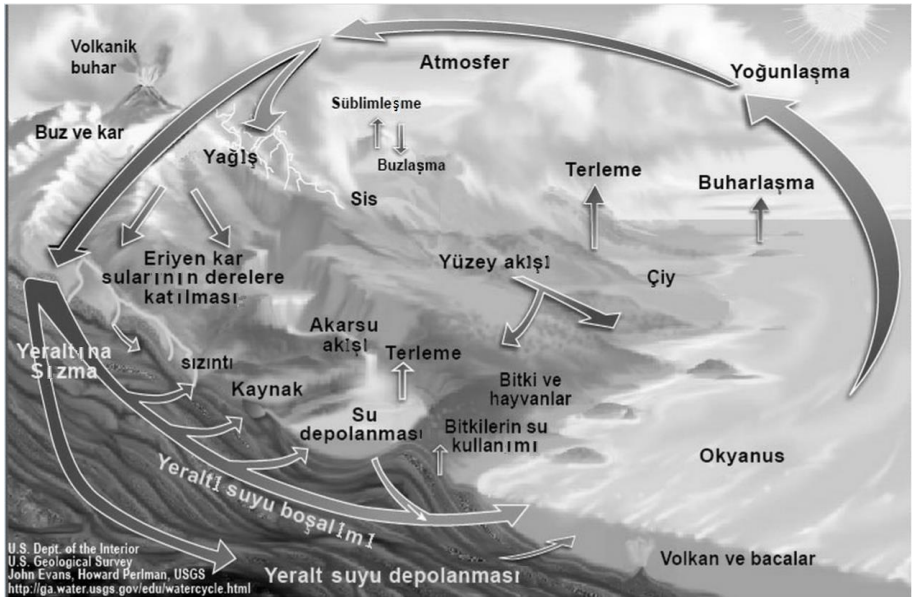
Sanayileşme ve kentleşme beraberinde çevre kirliliğini hayatımızı tehdit edecek noktalara kadar getirmiştir. Bu kirlilik son yıllarda etkisini bariz bir şekilde göstermektedir. Ülkemizde, başta İstanbul olmak üzere nüfus yoğunluğunun fazla olduğu kentlerde su kirliliği önemli ölçüde insanların sağlığını tehdit etmektedir. Bunun yanında özellikle yaz aylarında içme ve kullanım suyu sıkıntısı da yaşanmaktadır. Deniz suyu ve kirli suların yenilenebilir bir kaynak olan güneş enerjisi ile damıtılması, su probleminin çözümüne katkı sağlayabilmektedir. Çevre kirliliği konusunun önemli hale geldiği günümüzde bu çalışmalar gün geçtikçe önem kazanmaktadır.

1.1. Su ve Önemi

Su dünyada bol miktarda bulunan ve yaşam için gerekli olan, kokusuz ve tatsız bir bileşiktir. Sıklıkla renksiz olarak tanımlanmasına rağmen kızıl dalga boylarında ışığı hafifçe emmesi nedeniyle doğal bir mavi renge sahiptir. Su canlılar için yaşam kaynağıdır. Tüm canlılar için temel besin maddesidir. Canlılar, %50 - % 95 oranında sudan oluşmaktadırlar. İnsanın ilk hali olan cenin de su oranı % 85 iken, yeni doğan bir bebekte bu oran %75 ve yetişkin bir insanda bu oran %60 olmaktadır (Anonim, 2015).

Su özellikleri itibariyle yalnız canlı çevre üzerinde değil, cansız çevre üzerinde de oldukça etkili bir maddedir. Kayaların fiziksel olarak parçalanıp toprağın oluşması, içindeki maddelerin çözünerek toprağın verimli hale gelmesi, bitkilerin ortaya çıkması, kökten dallardaki yapraklara kadar gerekli yapı taşlarının taşınması ve fotosentez gibi doğa olayları su sayesinde gerçekleşmektedir (Özsoy, 2009).

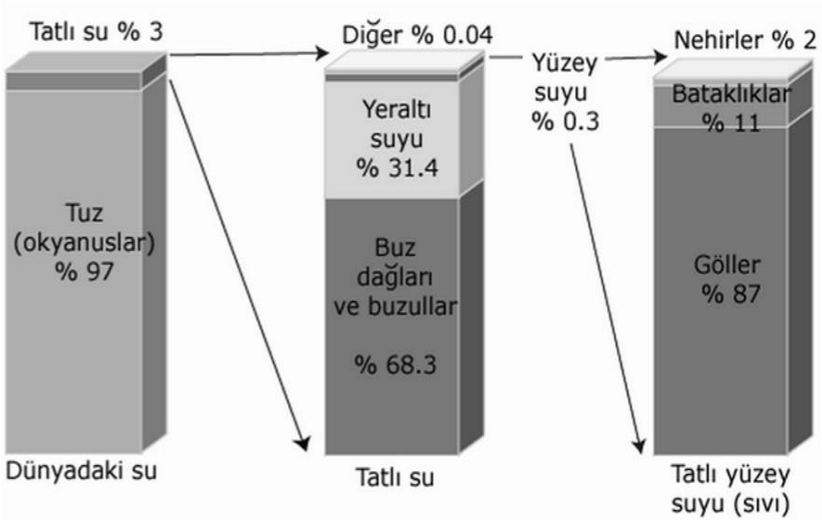
Şekil 1.1.'den görüleceği üzere su, hidrolik çevrim içerisinde; kıta, okyanus ve atmosfer ortamları arasında devamlı bir dönüşüm halindedir. Dünya yüzeyine yağışla düşen su miktarı 119000 km^3 olup bunun 72000 km^3'ü buharlaşarak atmosfere geri dönmekte ve 47000 km^3'ü akışa geçerek nehirler vasıtasıyla denizler ve kapalı havzalardaki göllere ulaşmaktadır.



Şekil 1.1. Su Döngüsü (Anonymous, 2014)

1.1.1. Dünya'da su kaynakları ve kullanılabilirliği

Dünya'daki su miktarının dağılımı Şekil 1.2'de gösterilmektedir. Dünyamızda toplam su miktarı 1,4 milyar km^3 olmakla birlikte bu suyun % 97,5 'i denizlerde ve okyanuslardaki tuzlu sulardan oluşmaktadır. Geriye kalan 2,5'lik pay yani 35 milyon km^3 tatlı su kaynağı olup, çeşitli amaçlar için kullanılabilir olduğu belirlenmiştir. Ancak tatlı su miktarının % 68,7 'si kutuplarda (Antartika ve Greenland) buzul kütle, % 0,8 'i yer altında fosil, %30,1'i yeraltı suyu ve % 0,4'ü yerüstü suyu ve atmosferik buharlardan oluşmaktadır. Öte yandan bu kaynakların tümüne ulaşmak ta kolay değildir. Nehirler ve göllerdeki su miktarından kat kat fazla su potansiyeline sahip yer altı suları çoğu kez ulaşılması imkansız derinliklerde bulunmakta, yüzey sularının çoğu ise ya insanların ihtiyaç duyduğu yerlerden çok uzaklarda, yada kontrol altına alınmayan taşkınlar nedeniyle faydalanmadan denizlere boşalmaktadır.



Şekil 1.2. Dünyadaki suyun dağılımı (Anonymous, 2014)

Dünyada kişi başına kullanılabilir su potansiyeli Çizelge 1.1'de gösterilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi 1995 yılına göre dünya nüfusunun sadece %55 yeterli miktarda suya ulaşmakta, %19'luk bir kısmına ise kişi başına 500 m^3'den az su düşmektedir. Bu oranın 2025 yılında ise % 48 ile yeterli suya ulaşan olarak değişeceği tahmin edilmektedir.

Çizelge 1.1. Dünyadaki kişi başına kullanılabilir su potansiyeli (Bilgiç, 2008,)

DURUM	Su kaynağı (m^3/kişi)	Yıllar			
		1995		2025	
		Nüfus (Milyon)	Dünya Nüfusuna Oranı (%)	Nüfus (Milyon)	Dünya Nüfusuna Oranı (%)
Su Kıtlığı Var	<500	1077	19	1783	25
	500-1000	587	10	624	9
Su Stresi Var	1000-1700	669	12	1077	15
Su Yeterli	>1700	3091	55	3494	48
Sınıflandırma Dışı		241	4	296	4
Toplam		5665	100	7274	100

Susuzluktan ve kirli sulardan ölümler; BM verilerine göre, dünyada 1,4 milyar kişi, temiz içilebilir sudan yoksundur. Yine dünya nüfusunun %40'ı (2,6 milyar kişi), arıtılmamış sağlık açısından sakıncalı suyu tüketmek zorundadır. Sağlık şartlarına uygun olmayan suların neden olduğu kolera, ishal ve tifo gibi hastalıklardan insanlar hayatını kaybetmektedir. Dünya'da yılda yaklaşık 8 milyon kişi, sudan kaynaklanan hastalıklar sonucu ölmektedir (Özey, 2010).

1.1.2. Türkiye'de su kaynakları ve kullanılabilirliği

Türkiye'nin ortalama yıllık yağış miktarı yaklaşık 643 mm'dir. Bu miktardaki yağış yılda ortalama 501 milyar m^3suya denk gelmektedir. Bu suyun 274 milyar m^3'ü toprak ve su yüzeyleri ile bitkilerden olan buharlaşmalar yoluyla atmosfere geri dönmekte, 69 milyar m^3'lük kısmı yeraltı suyunu beslemekte, 158 milyar m^3'lük kısmı ise akışa geçerek çeşitli büyüklükteki akarsular vasıtasıyla denizlere ve kapalı havzalardaki göllere boşalmaktadır. Türkiye, su kaynakları ve bu kaynakların kullanımı ve değerlendirilmesi konusundaki faaliyetleriyle bulunduğu coğrafi bölgede ender sorunsuz ülkelerden biri ya da su miktarı açısından yeterli bir ülke olarak gözükmesine rağmen, özellikle kişi başına kullanılabilir su potansiyelinin incelenmesiyle gerçeğin farklı olduğu daha net görülmektedir. Uluslararası ölçütlere göre kişi başına 10 bin m^3 su düşmekte ise o ülke "su zengini" sayılmakta; miktar, 3 bin ile 10 bin m^3 arasında ise, "yeterli suyu olan ülke", kişi başına kullanılabilir su miktarı bin ile 3 bin m^3 arasında ise "su sıkıntısı olan ülke" diye tanımlanmakta, miktar 1000 m^3'ün altındaysa, ülke ya da bölge su fakiri sayılmaktadır. Türkiye'nin kişi başına düşen kullanılabilir su varlığı Çizelge 1.2'de diğer bazı ülkeler ve dünya ortalaması ile karşılaştırıldığında su zengini olmayan ülkeler arasında olduğu görülmektedir.

Çizelge 1.2. Bazı ülkeler ve Türkiye'nin Kişi Başına Düşen Kullanılabilir Su Potansiyeli (m3/yıl) (Anaç ve Çeliker, 2004).

Ülke Adı	**Su Potansiyeli (m^3/yıl.kişi)**
Irak	2020
Lübnan	1300
Suriye	1200
Asya Ortalaması	3000
Batı Avrupa Ortalaması	5000
Afrika Ortalaması	7000
Güney Amerika Ortalaması	23000
Dünya Ortalaması	7600
TÜRKİYE	1640

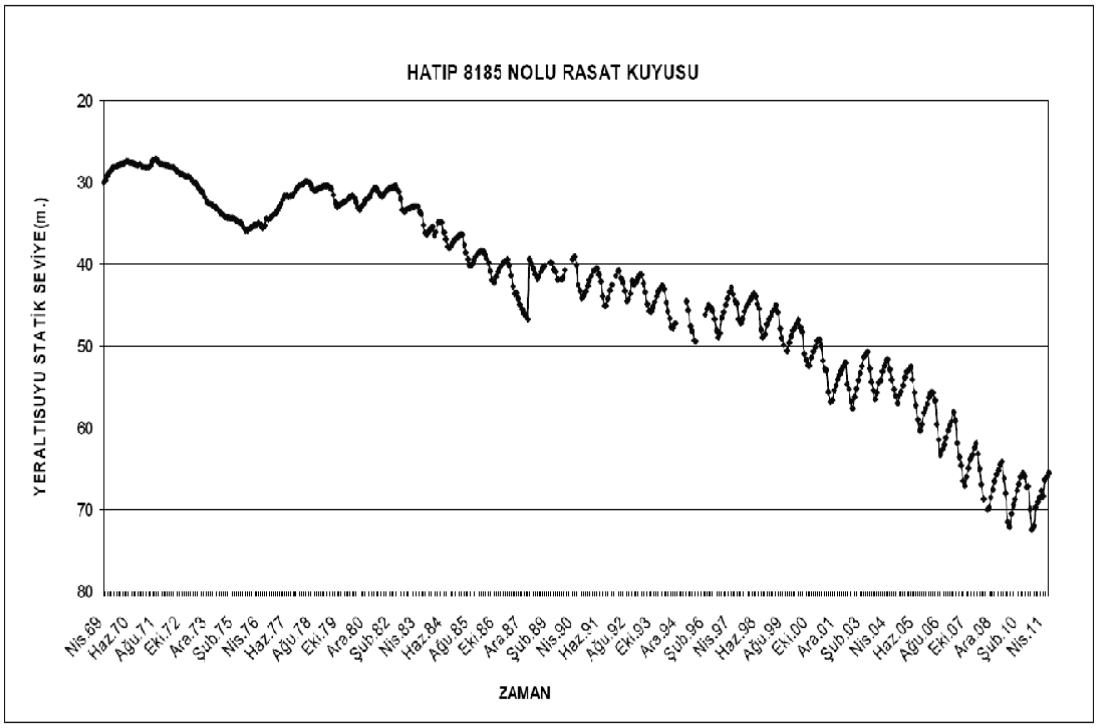
Türkiye bugünkü nüfusu ve kişi başına su tüketim miktarı ile su potansiyeli kendisine yeten bir ülkedir. Ancak hem nüfus hem de kişi başına su kullanım miktarları artmaktadır. Ayrıca gelişen sanayi ve gerçekleştirilen sulama projeleri ile suya olan ihtiyacımız sürekli artmaktadır. Bu gelişmeler gelecekte ihtiyaç duyduğumuz suyu

temin etmede sorunlar yaşanabileceğini göstermektedir. 2030 yılı için nüfusun 100 milyon olacağı kabulü ile kişi başına düşen kullanılabilir su miktarının 1000 m^3/yıl olarak öngörülmektedir. Bundan dolayı ilerleyen dönemlerde ülkemiz su fakiri ülkeler sınıfına gireceği belirtilmektedir (Olgun, 2011).

1.1.3. Konya'da su kaynakları ve kullanılabilirliği

Konya'da kişi başına düşen ortalama yüzey suyu 670 m^3 eğer yer altı suları da dahil edilirse 1431 m^3 olmaktadır. Buna göre Konya ili su azlığı (stresi) çeken sınıfına girmektedir. Önümüzdeki yıllarda olacak nüfus artışlarını dikkate aldığımızda gelecek nesillerin döneminde su azlığı yaşayan bir il konumunda olacaktır. Ancak yeraltı suyu potansiyelinin yaklaşık 2 katı fazla su çekilmeye devam edildiği takdirde ilerde su kıtlığı çeken il durumuna gelinecektir. Kuyulardaki yer altı suyu seviyeleri fiili çekim, küresel ısınma ve iklim değerlerine bağlı olarak mevsimsel değişim göstermekte ve aşırı çekimlerin etkisindedir. Örnek olarak verilen Çizelge 1.3.'te görüleceği gibi seviyelerde son 20 yıl içerisinde çekimlerin de etkisiyle 15-50 m arasında düşüşler olmuştur.

Çizelge 1.3. Konya'da kuyulardaki yeraltı suyu seviyelerinin yıllara göre değişimi (Olgun, 2011)



İlde ki su kaynakları özellikle son yıllarda birçok baskı ve olumsuz etki altındadır. Yağışın ve su kaynaklarının azlığı, iklim değişikliği ve yaşanan kuraklık, sanayinin gelişmeye başlaması ve endüstriyel atık su deşarjları, arıtılmayan evsel atık su

deşarjları, tarımsal amaçlı bilinçsiz su tüketimi, tarımdan kaynaklanan atık sular, yer altı suyunun azalması, katı atık depolama sorunu bu baskı ve etkilerin başlıcalarıdır. Konya Ovasında sulu tarıma geçilmesi ile birlikte yeraltı ve yerüstü su kaynakları önemli ölçüde baskı altına girmiştir. Özellikle yeraltı suyunun aşırı kullanımı sonucu yeraltı suyu seviyeleri hızla düşmektedir. Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından hazırlanan Konya Havza Koruma Eylem Planı onaylanmıştır. Ayrıca Büyükşehir Belediyesine ait atık su arıtma tesisi mevcut olup, 3 adet sanayi tesisinin arıtma tesisi çıkış suları geri kazanılmakta ve tesis arazisinde sulama suyu olarak kullanılmaktadır.

1.2.Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi şeklindeki füzyon sürecinden açığa çıkan ışıma enerjisidir. Termonükleer bir reaktör olan güneşten çeşitli dalga boylarında (62 MW/m^2) enerji yayılmakta ve güneşin bütün yüzeyinden yayılan enerjinin sadece iki milyarda biri yeryüzüne gelmektedir. Dünya'ya güneşten, 150 milyon km kat ederek gelen enerji, dünya'da bir yılda kullanılan enerjinin yaklaşık 15 bin katıdır. Güneş enerjisinin atmosfer dışındaki ışınım değeri yaklaşık 1.370 W/m^2'dir. Güneş enerjisinin yeryüzündeki dağılımı dünyanın şekli nedeniyle büyük farklılıklar göstermekte olup, dünyaya gelen ortalama güneş enerjisi 0 – 1.100 W/m^2 mertebesindedir. Güneş radyasyonunun enerji olarak % 46'sı spektrumun kızılötesi bölgesinde, % 45'i görünür ışık bölgesinde geri kalan yüzdesi de mor ötesinde bulunur. Güneş ışınımının tamamı yer yüzeyine ulaşmaz, % 30 kadarı dünya atmosferi tarafından geriye yansıtılır, % 50'si atmosferi geçerek dünya yüzeyine ulaşır. Güneşten gelen ışınımının % 20'si ise, atmosfer ve bulutlarda tutulur.

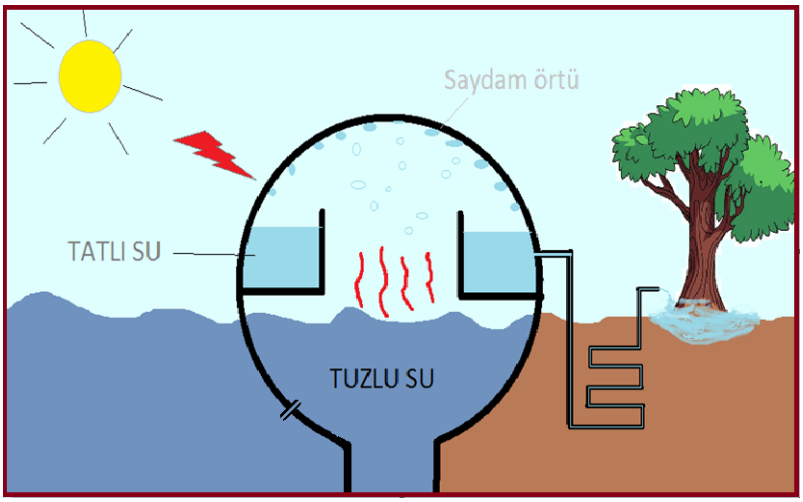
Güneş enerjisinin kullanım alanları aşağıda verilmiştir;

- Kullanım için sıcak su eldesi
- Isıtma
- Soğutma
- Kurutma
- Pişirme
- Damıtma
- Tuz üretimi
- Sulama
- Elektrik üretimi
- Buhar üretimi

Türkiye'nin güneş enerji potansiyeli; Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DMİ) mevcut bulunan 1966–1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanarak EİE tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye ortalama güneşlenme süresinin günlük toplam 7,2 saat, ışınım şiddetinin günlük toplam 3,6 kWh/m² olduğu tespit edilmiştir. Ülkemiz 781.000 km^2 yüzey alanıyla, 36° - 42° kuzey enlemleri arasında güneşli bir kuşakta yer almakta ve güneş enerjisi potansiyeli bakımından coğrafi olarak son derece iyi bir konumda bulunmaktadır. Elektrik İşleri Etüt İdaresi resmi raporlarına göre Türkiye'nin yıllık güneşlenme süresi 2.640 saat ve yıllık yatay güneş ışınım şiddetinin 1.311 kWh/m^2'dir.

1.3. Damıtma Sistemi ve Önemi

Damıtma sistemi suyun buharlaşma ve yoğuşma ilkesine göre gerçekleşir. Kirli sudan temiz su elde etme yöntemlerinden birisi de damıtmadır. Bu işlem kirli suyun ısınarak buharlaşması ve su sıcaklığından daha soğuk olan yüzeyde saf su halinde yoğuşarak temiz su elde edilmesi ile gerçekleşir. Bu işlem için bir enerjiye gereksinim vardır ve bu enerji konvansiyonel enerji sistemleri ile sağlanabilir fakat en yaygın çevreci ve etkili yöntem güneş enerjisi destekli damıtma sistemleridir. Şekil 1.3.'te güneş enerjisi ile çalışan damıtma sisteminin basit bir şekli gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Güneş enerjili damıtma sisteminin basit çalışma sistemi

Şekil 1.3.'te, güneş enerjisi ile arıtılacak su yüzeyi üzerine bir saydam örtü geçirilmiştir. Böylece, suyun hava ile teması kesilip sıcaklığı artmakta ve suyun

buharlaşması gerçekleşmektedir. Buharlaşan su saf sudur (arıtılmış temiz su) ve tuzlu sudan daha soğuk olan saydam örtü yüzeyine temas ederek yoğunlaşmaktadır. Saydam örtüden toplama kaplarına aktarılan temiz su sıcaklığı yüksek olduğu için toprak altında bulunan ısı değiştiricisi vasıtasıyla soğutulup kullanılabilir hale getirilebilmektedir.

1.4. Suyun Buharlaşma ve Yoğuşma İlkesi

Buhar; suyun gaz halidir. Doymuş buhar, kızdırılmış buhar ve doymamış buhar olarak üç farklı özellik gösterir.

Bağıl nem; aynı sıcaklık ve %100 doyma seviyesinde havanın içerisinde bulunabilecek nem miktarına bağlı olarak ortam havasının içinde bulunan nem miktarını tanımlar. Havanın içindeki su buharının kısmi basıncının o havanın çiğ noktasındaki nemin doyma basıncına oranıdır. Genellikle yüzde olarak ifade edilir.

Mutlak nem; 1 kg kuru hava içerisinde bulunan buhar kütlesidir (x). Sonuç her zaman: (1+x) kg hava/buhar karışımıdır. Birimi g/kg olarak verilir.

Yoğuşma; buharın soğuması ile oluşur. Yoğunlaşma, havanın çiğ noktasına ulaşıldığında, yani havanın belli bir sıcaklıkta daha fazla su alamayacağı zaman, doğal olarak ortaya çıkan bir olgudur. Hava, belirli bir sıcaklıkta ancak belirli miktarda su buharı tutabilir. Daha fazla nem tutamayacak duruma gelen doymuş havanın bağıl nemi yüzde 100'dür. Havanın sıcaklığı yükseldikçe tutabileceği su buharı miktarı artar, sıcaklığı düştükçe bu miktar azalır. Çünkü hava soğudukça taşıdığı buharın bir bölümü yoğunlaşarak suya dönüşecektir. Demek ki, doymamış hava belirli bir dereceye kadar soğutulduğunda doyma noktasına ulaşır; daha da soğutulduğunda içindeki nem su damlacıkları halinde havadan ayrılır. Bu sıcaklığa Şekil 1.6.' da gösterilen "çiğ noktası" denir (Bulut ve Ünveren, 2011).



Şekil 1.6. Psikometrik diyagramda çiğ noktası (Çınar, 2007)

Duyulur Isı (Q_d - kJ/kg) Nemli havadan, kuru termometre sıcaklığını değiştirmek için verilmesi ya da alınması gereken ısı miktarıdır.

Gizli Isı (Q_g - kcal/kg) Nemli havadan, kuru termometre sıcaklığı değiştirilmeksizin içerisindeki su buharının yoğuşturulması yani faz durumunu değiştirmek için verilen veya alınan ısı miktarıdır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Literatürde damıtma sistemleri üzerine yapılan birçok çalışma mevcuttur. Çalışmaların odak noktası bir damıtma sistemini tasarlamak ve tasarlanan sistemin verimliliğini belirlemek üzerinedir. Bu nedenle yapılan çalışmaların genelinde, verimi artıracak şekilde tasarlanan sistem, aynı çalışma şartlarında geleneksel damıtma sistemi ile karşılaştırılmaktadır. Aşağıda konu ile ilgili kaynak araştırması sunulmuştur.

Raju ve Narayana (2016) yılında yapmış oldukları çalışmada düz plaka kollektörlü aktif güneş enerjili damıtma sisteminin kolektör sayısına göre verimini deneysel olarak incelemişlerdir. Bu çalışmada 1 m^2 havuz alanı ve $2m^2$ kollektör alanına sahip kolektörler kullanmışlardır. Çalışma sonuçlarına göre damıtma sistemine 2 tane kollektör seri bağlanması durumda tek kolektörlüye göre %41 daha fazla damıtma sağlandığı ve verimin % 0,47 daha fazla, 3 tane kollektör seri bağlandığında damıtılmış su miktarı % 89 daha fazla olduğunu bulmuştur. Bununla birlikte damıtma verimi 3 kollektörlü sistemde % 0,48 daha az olduğu tespit etmişlerdir. Damıtma ürünü fazla olmasına rağmen alan artışından dolayı verimin düştüğünü belirtmişlerdir.

Aybar vd. (2015) yılında yapmış oldukları çalışmada, Kuzey Kıbrıs iklim koşullarında çift havza eğimli bir güneş enerjili damıtma sistemini tasarlamışlardır. Bu sistemi test etmiş ve geleneksel tek havzalı sistemle karşılaştırmışlardır. Siyah fitil kullanıldığında tatlı su üretim hızı her iki sistemde de artmaktadır ve iki sistem karşılaştırıldığında çift havza eğimli damıtma sisteminde yoğuşan su miktarı ve su sıcaklığı tek havza eğimli sisteme göre daha fazla olduğunu ifade etmişlerdir.

Eltawil ve Omara (2014) yılında yapmış oldukları çalışmada tek eğimli damıtma sisteminin verimini, elektrik ve kaliteli su şartlarından yoksun olan uzak yerler için artırmayı hedeflemişlerdir. Deney düzeneği için, düz plaka kolektör, püskürtme ünitesi, delikli tüp, kondenser ve güneş hava kolektörü kullanmışlardır. Geliştirilmiş damıtma sistemi (DSS) aktif ve pasif modda çalıştırılarak geleneksel damıtma sistemi (CSS) ile karşılaştırmışlardır. DSS fotovoltaik (PV) sistemi tarafından desteklenmektedir ve farklı modlarda çalıştırılmıştır. DSS nin verimliliği CSS den değişik tiplere bağlı olarak %51-148 oranında daha fazla olmaktadır. Bu geliştirilmiş damıtma sistemi uygun hava şartlarında ve su talebi çok fazla olmadığında tuzdan arındırma işlemi için uygunluğu ortaya konmuştur.

Arslan (2012) yılında yapmış olduğu çalışmada damıtma sistemlerinde uygun değişiklikler yaparak damıtma verimini artırmayı hedeflemiştir. Güneş enerjili damıtma

sistemi için temel ısı ve kütle transferi ifadelerini tasarım ve iklim parametrelerine göre elde etmiş ve günlük damıtılmış su miktarı ve verimliliklerini karşılaştırmıştır. Çalışma sonuçlarına göre maksimum üretilen su miktarı ve verimin dairesel kutu şekilli damıtma sisteminde olduğunu tespit etmiş ve günlük üretilen tatlı su miktarı 12,37 litre, verim %68,1 olduğunu bulmuştur.

Ketrez vd. (2012) yılında yapmış oldukları çalışmada ısı pompası destekli bir güneş enerjili damıtma sistemi tasarlamışlardır. Çalışmalarında, güneş enerjisinden yararlanarak deniz suyunun kullanım suyu haline getirilmesi ve soğutulmasını amaçlamışlardır. Ayrıca, sisteme ısı pompası eklenerek damıtma miktarını belirlemişlerdir. Isı pompası için 1/6 HP'lik bir kompresör ve soğutucu akışkan olarak da R134a kullanılmıştır. Damıtma sisteminin ve ısı pompasının belirlenen noktalardaki sıcaklıkları, buharlaşma ve damıtılan su miktarları ölçülerek elde edilen sonuçları incelemişlerdir. Isı pompası kullanımının sadece güneş enerjisiyle damıtmaya nazaran %35 daha fazla damıtma sağladığını belirtmişlerdir.

Badran (2011) yılında yapmış olduğu çalışmada, aktif tek eğimli güneş enerjili damıtma sisteminin performansını farklı çalışma parametrelerini kullanarak teorik ve deneysel olarak incelemiştir. Çalışmada kullandığı parametreler; 1-2,5-5 cm yalıtım malzemesi kalınlığı, güneş yoğunluğu, toplam ısı kayıp katsayısı, yutma ve yansıtma katsayılarının etkisi, damıtma örtüsü ile su arasındaki sıcaklık farkı ve rüzgâr hızıdır. Rüzgâr hızının ve yalıtım kalınlığının toplam ürün miktarına katkı sağladığını ve güneş enerjili damıtma sisteminin teorik verimini maksimum %16 olduğunu ifade etmiştir.

Akbulut ve Kıncay (2011) yılında yapmış oldukları çalışmada İstanbul ili iklim koşullarında güneş enerjisinden yararlanılarak deniz suyunun damıtılması işlemini parametrik olarak değerlendirmişlerdir. Bu değerlendirme aktif ve pasif güneş enerjili damıtma sistemleri için yapılmıştır. İstanbul iline ait olan ve İstanbul Meteoroloji Bölge Müdürlüğüne bağlı Florya istasyonunun ölçümlerinden temin edilen, 1999-2010 yılları arasındaki aylık ortalama verilerin kullanıldığı hesaplamalar sonucunda aktif sistemin verimi %24,33 - %43,76 arasında değişirken pasif sistemin verimi %15,50 - %27, 53 arasında gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Düşük maliyetli vakum tüplü bir güneş kolektörünün sisteme entegre edilmesi ile önemli derecede verim farkının elde edilmiş olması nedeniyle aktif güneş enerjili damıtma sisteminin tercihini önermişlerdir.

Tiwari vd. (2009) yılında yapmış oldukları çalışmada, düz plaka kolektör ile entegre edilmiş aktif ve pasif güneş enerjili damıtma sistemi için parametrik bir çalışmayı teorik olarak sunmuşlardır. Modellerini kütle ve enerji dengesi denklemlerine

dayalı olarak geliştirilmişlerdir. Damıtma sisteminin performansına cam örtünün iç ve dış yüzey sıcaklıklarının etkisini çalışmışlardır. Dolayısıyla, bu makalede, (a) cam örtünün iç ve dış yüzey sıcaklıkları (Tgi = Tgo) eşit ve (b) cam örtünün iç ve dış yüzey sıcaklıkları (Tgi ≠ Tgo) eşit olmayan her iki varsayım için ısıl modellerin günlük verim değerlerini karşılaştırmayı hedeflemişlerdir. Çalışmada, aktif ve pasif güneş damıtma sisteminin her iki varsayım arasındaki karşılaştırılması, saatlik verim değerlerine göre yapılmıştır. Aktif güneş damıtma sisteminin ısıl performansı; su derinliği, cam kapak kalınlığı, yalıtım kalınlığı, yoğuşmanın gerçekleştiği kapak malzemesi, güneş kolektörü cinsi, kolektörlerin sayısı ve ayrıca ortam hava sıcaklığı gibi, güneş şiddeti ve rüzgâr hızı iklim parametrelerinin değişikliğinden etkilendiğini belirtmişlerdir. Fakat çalışmada sadece tasarım parametrelerinin etkisi ve rüzgâr hızı hem pasif hem de aktif güneş damıtma günlük verimi bu çalışmada sunulmuştur. Sonuç olarak düz plaka kolektör ile entegre edilmiş aktif damıtma sisteminin günlük verimi(damıtılmış su kütle miktarını kastediyor) Tgi = Tgo olduğunda 3.08 L ve Tgi ≠ Tgo olduğunda 2.85 L olmaktadır. Yine benzer bir şekilde, pasif güneş durumunda, günlük verim değerleri Tgi = Tgo ve Tg ≠ Tgo olması durumları için sırasıyla 1.14 L, 1.09 L olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada ayrıca kolektör sayısı ve su derinliğinin ekserji ve ısıl verimliliğe etkisi de elde edilmiş ve sunulmuştur. Sonuç olarak aktif güneş damıtma sisteminde güneş kolektör tipleri ve etkileri arasında karşılaştırma yapılmıştır.

Tiwari ve Tiwari (2007) yılında yaptıkları çalışmada, 30° eğimli pasif solar damıtma sisteminin yıllık ve sezonsal performansını farklı su derinlikleri için belirlemişlerdir. Deneyleri Haziran 2004 ile Mayıs 2005 yılları arasında 6 farklı su derinliği için her ayın 6 açık günü için 24 saatlik olarak yapmışlardır. Daha düşük derinliklerde sistemin en yüksek ürünü verdiğini bulmuşlardır. Su derinliğindeki artışın damıtma sisteminin ürününü azalttığını belirtmişlerdir. Ayrıca geliştirdikleri termal modeli yaz ve kış ayları için çeşitli su derinlikleri için saatlik ürün miktarı ile doğrulamışlardır. Farklı su derinliklerindeki üretilen ürünün deneysel değerleri, termal model tarafından elde edilen teorik değerler ile karşılaştırıldığında iyi bir uyum olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca çevre hava hızı, emme katsayısı gibi çeşitli parametrelerin etkisini damıtma havuzunun farklı su derinlikleri için belirlemişlerdir.

Ayav ve Atagündüz (2007) yılında yaptıkları çalışmada, İzmir Teknoloji Enstitüsü'nün Urla kampüsünde kurulmuş olan tek havuzlu güneş enerjili damıtma sistemini teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Damıtma sistemi 38° eğimli cam kapak ve 2100 mm*700 mm boyutlarına sahiptir. Ayrıca ilave güneş enerjisi elde etmek

için damıtma sisteminde alüminyum yansıtıcılar montaj edilmiştir. Damıtma sistemini enerji dengesi eşitliklerini kullanarak modellemişlerdir. Teorik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması sonucunda makul derecede birbiriyle aynı olduğunu göstermişlerdir.

Dayem (2006) yılında yapmış olduğu çalışmada, çoklu buharlaşma ve yoğuşma çevrimine dayalı basit bir güneş enerjili damıtıcı sistemi kurmuş ve hem deneysel hem de sayısal olarak bu sistemin performansını incelemiştir. Pilot tesis (deney düzeneği), Kahire'de ki Mattaria mühendislik fakültesi laboratuarında kurulmuş ve test edilmiştir. Damıtma odası, nemlendirici (evaporatör) ve nem alıcı (kondenser) birimlerini de içermektedir. Bu iki ünite de hava dolaşımı doğal konveksiyon yolu ile yapılmaktadır. Soğuk tuzlu suyun ısısı solar kolektörler ile değiştirilmeden önce, damıtma ünitesi içerisinde ön ısıtmaya tabi tutulmuştur. sistemin performansını değerlendirmek için sayısal bir simülasyon oluşturmuş ve sistem komponentleri için yıllık sıcaklık değişimini ve faydalı ısı kazancını tahmin etmiştir. Sonuçta sayısal ve deneysel çalışmaları karşılaştırmıştır. Çalışmada ele alınan çok etkili damıtma ünitesinin günlük 24 litre su ürettiğini ve önceki çalışmalara göre sistemin performansını kabul edilebilir olduğunu belirtmiştir.

Tiwari vd. (2003) yılında yapmış olduğu çalışmada, güneş enerjili damıtma sistemlerinin bugünkü ve gelecekteki durumlarını incelemişlerdir. Aynı zamanda su kaynaklarını, su talebini, içilebilir su potansiyelini ve arıtma sistemlerini de içeren tarihsel bir gelişimini de açıklamışlardır. Isı ve kütle transferinin geliştirilmesi için çeşitli güneş enerjili damıtma sistem tasarımları tartışmışlardır. Hindistan'da güneş damıtma sistemlerinin bugünkü durumu ve gelecekteki durumları için önerilerde bulunmuşlardır.

Belessiotis ve Delyannis (2001) yılında yapmış oldukları çalışmada yenilenebilir enerji teknolojisi kullanımının iyi bir fırsat ve ilerlemenin gerekli koşulu olduğunu vurgulamışlardır. Buradan yola çıkarak Ege takımadalarında içme suyu ihtiyacını güneş enerjisi ile çalışan damıtma sistemleri ile sağlanıp sağlanamayacağını araştırmışlar ve ön bir ısı analizi yapmışlardır. Kurulması planlanan damıtma sistemlerinin küçük yerleşimler için uygulanabilir olduğu sonucuna varmışlardır.

Tanaka vd. (2000) yüksek üretkenli, çok etkili birleştirilmiş havuz tipi güneş enerjili damıtıcı üzerinde inceleme yapmışlardır. Eğimli çift camlı damıtıcı ile dikey paralel bölümlü damıtıcı birleştirerek yeni bir tasarım oluşturmuşlar. Yaptıkları çalışmada damıtıcının her bir ünitesi için üretim miktarlarını tespit etmişlerdir. En fazla üretimin dikey damıtıcı hücresinde yaklaşık olarak 1,7 kg/m^2 gün olduğunu tespit

etmişlerdir. 5 mm aralıklı 10 adet dikey damıtıcı hücresi kullanılması durumunda günlük toplam 15,4 kg /m^2 üretim olduğunu belirlemişlerdir.

Kumar vd. (2000) yılında yapmış oldukları çalışmada, güneş enerjili damıtma sistemlerinin yıllık performanslarını incelemişlerdir. Damıtılmış su miktarı, su ve cam kapak sıcaklıkları için analitik ifadeleri, tasarım ve iklimsel parametreleri dikkate alarak türetmişlerdir. Sayısal hesaplamalar Delhi iklim koşulları için yapılmıştır (enlem = 28 ° 35 ' Kuzey, boylam = 77 ° 12' Doğu). Bu verilen parametreler için kolektör eğimi 20 ° ve cam kapak eğim 15° olduğunda, yıllık verimin optimum olduğu belirlemişlerdir.

Güneş enerjisi ile çalışan damıtma sistemleri konusunda yapılan çalışmalar Çizelge 2.1. de sınıflandırılmış ve bu çalışmaların özellikleri karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.

Çizelge 2.1. Güneş enerjisi ile çalışan damıtma sistemi uygulamaları (Sampathkumar vd. 2010).

Güneş Enerjili Damıtıcı Tipi	**Yazar ve Test Yeri**	**Özellikler**	**Deney sonuçları**	**Açıklamalar**
Düz levha kolektörlü (Zorlanmış dolaşımlı)	Rai ve diğ. Yeni Delhi, Hindistan	Tipi = Basit tek eğimli güneş enerjili damıtıcı Alan = 1m x 1m Malzeme = FRP Kolektör açısı = 45^0 Su akış hızı= 1.15 kg / dak.	Termosifon modundan % 50 daha fazla verim. Geleneksel basit güneş enerjili damıtıcıdan % 120 daha fazla verim. Maksimum damıtma ürünü 6.75 kg/m^2. Ekonomik açıdan bakıldığında, sirkülasyon pompasının, sabah ve akşam kullanılması gerekmektedir.	Pompa su temini için gereklidir. Aynı zamanda pompayı çalıştırmak için elektrik tüketimide dikkate alınmalıdır. Çalışma esnasında işletme zorlukları medyana gelebilir.
Düz levha kolektörlü (Doğal dolaşımlı)	Badran ve El-Tahaineh Amman, Ürdün	Tipi = tek eğimli güneş enerjili damıtıcı Alan = 1m x 1m Kolektör açısı = 35^0 Yalıtım malzemesi taş yünü ve kalınlığı 6 cm	Geleneksel basit güneş enerjili damıtıcıdan % 36 daha fazla verim. Maksimum damıtma ürünü 3.5 lt/m^2. Optimum açı Ürdün kış sezonu için 10^0 olmaktadır.	Verimlilik zorlanmış dolaşım moduna kıyasla daha azdır. Çalışma sistemimi kolaydır. Çift eğimli güneş enerjili damıtıcı tek eğimliye göre verimi düşüktür.
Aktif çift etkili güneş enerjili damıtıcı	Sanjay Kumar ve Tiwari Yeni Delhi, Hindistan	Tipi = Basit havzalı güneş enerjili damıtıcı Alan = 1m x 1m Damıtıcı havuzun eğim açısı = 15^0 Kolektör uzunluğu = 1m Kolektör açısı =	Aktif mod ile su akışı düzenlendiğinde günlük damıtılmış su kütlesi ortalama 7.5 l/gün olmaktadır. Su akışı düzenlenmeden aktif ve pasif modda damıtılmış su üretimi 2.2 ve 3.9 1 / gün olmaktadır.	İşletme ve bakım zordur. Çift etkili tip, cam kapak üzerinde oldukça düşük ve üniform akışın muhafaza zorlukları nedeniyle günlük su üretimini önemli ölçüde artırmamaktadır.

		45^0 Akış hızı = 40ml / dak İki cam arasındaki boşluk =20 cm Pompa = 0.2HP		
Aktif rejeneratif güneş enerjili damıtıcı	Tiwari ve Sinha Yeni Delhi, Hindistan	Tipi = tek eğimli ve rejeneratif etkili güneş enerjili damıtıcı Damıtıcı alanı = $1m^2$ Kollektör alanı = $2m^2$ Akış hızı = 0.20 kg / s Yalıtım kalınlığı = 0.004m. Isı değiştirici kullanılmıştır.	Yerel saat 13.00 için yapılan ölçümlerde maksimum ürün, aktif rejeneratif etkili, aktif rejeneratif etkisiz, pasif rejeneratif etkili ve pasif rejeneratif etkisiz için sırasıyla 1, 0.7, 0.3, ve 0.02 kg/m^2 saat olarak elde edilmiştir. Termal verim aktif modda pasif moddan daha düşük olmaktadır.	Düz plaka kolektörlü tip ile karşılaştırıldığında bu sistemde daha fazla damıtılmış su üretilmektedir. Kurulum maliyeti yüksek. Tasarım ve çalışma karmaşık. Çalışma ileri teknoloji gerektirir. Isı değiştiricisinde kayıplar görülebilir.
Paralel düz levha kolektör ile birleşik sistem	Yadav ve Prasad Yeni Delhi, Hindistan	Tipi = basit tek eğimli güneş enerjili damıtıcı Alan = 1m x 1m Paralel kolektör uzunluğu = 1m Yalıtım malzemesi; Taş yünü Yalıtım kalınlığı = 0.05m.	Maksimum üretim saat 13.00 da, basit damıtıcıda 0.150 kg/m^2h olurken paralel kolektörlü damıtıcıda 0.250 kg/m^2 h olmaktadır. Maksimum su sıcaklığı 68 ^0C elde edildi.	Düz plaka kolektörlü sistem ile karşılaştırıldığında tasarımı basittir. Düz plaka kolektörlü sistem ile karşılaştırıldığında uygun maliyetli. Düz plaka kolektörlü sistem ile karşılaştırıldığında verimlilik düşüktür.
Dikey güneş enerjili damıtıcı ile düz plaka kolektör birleşik sistem	Kiatsiriroat ve diğ. Bangkok, Tayland	Tipi = Dikey güneş enerjili damıtıcı Alan = 1.52m x0.9m Kolektör alanı $1.4m^2$ Kolektör açısı 15^0 Bakır boru çapı = 0.00925m Bakır boru uzunluğu = 14.4 m	Su akış hızı, 50 kg / saat için buharlaştırıcı plakaların sayısı 5 olarak optimize edilmiştir. Buharlaştırıcı 5 levha tarafından elde edilen günlük ortalama damıtılmış su kütlesi 5 kg/m^2gün dür.	Yalnızca birkaç araştırma bildirilmiştir. Diğer düz levha kolektörlü damıtıcılar ile karşılaştırıldığında kurulum ve çalışma maliyeti daha yüksektir. Sistemi çalıştırmak için pompa gereklidir.
Parabolik yoğunlaştırıcı ile birleşik sistem	Zeinab S.Abdel-Rehim ve diğ. Giza, Mısır	Tipi = tek eğimli güneş enerjili damıtıcı Damıtıcı alanı = $1m^2$ Kolektör 80 cm	Geleneksel damıtıcıda damıtma su üretimi 2 l/gün iken parabolik yoğunlaştırıcı ilave edilmiş sistem de 2.75 l/gün dür. Maksimum verim 15 saat çalışarak %35 elde edilmiştir.	Bu sistem, geleneksel damıtma sisteminden daha ekonomiktir. Pompa ve motor bu çalışmada kullanılmıştır. Diğer sistemden daha fazla

		uzunluğunda ve kalınlık 0.04 cm Bakır boru uzunluğu =2m		sayıda parça içerir.
Parabolik yoğunlaştırıcı ile birleşik çift etkili damıtıcı	Bhagwan Prasad ve Tiwari Yeni Delhi, Hindistan	Tipi = basit havzalı güneş enerjili damıtıcı Alan = 1m x 1m CPC kolektör alanı =1m x 1m Kolektör uzunluğu=1m Zorlanmış dolaşımlı sistem. Akış hızı= 0.0027 kg/sn	Çift etkisi ile maksimum günlük 14,684 kg / gün ürün elde edilmiştir. Üst havza sıcak su atığı nedeniyle toplam saatlik verim ile akış hızı azalır. Güneş takibi, maksimum radyasyon almak için manuel olarak ayarlanabilir.	Düz levha kolektör ile karşılaştırıldığında yoğunlaştırıcı kolektör güneş ışınımını daha fazla aldığından dolayı verim daha yüksektir. Bakım, onarım maliyeti daha yüksektir. Çalışma sistemi çok hassas. Sistem korumasında en önemli faktör cam kapak sıcaklığıdır.
Parabolik yoğunlaştırıcı ile birleşik rejeneratif güneş enerjili damıtıcı	Sanjay Kumar ve Sinha Yeni Delhi, Hindistan	Tipi = Çift eğimli güneş enerjili damıtıcı Damıtıcı alanı= $1m^2$ Yalıtım kalınlığı=0.004 m CPC alanı=$0.086m^2$ Akış hızı=0.05 kg/sn Rüzgar hızı=5m/sn	Yoğunlaştırıcı ile birleşik rejeneratif güneş enerjili damıtıcıda üretilen su miktarı 8.2 l/m^2gün iken düz levha kolektörlü tipte 7.7 l/m^2gün ve geleneksel basit tipte 4.1 l/m^2gün olmaktadır. Düz levha kolektör ile birleşik rejeneratif sistemden parabolik yoğunlaştırıcı ile birleşik rejeneratif sistemin genel ısıl verimi daha yüksektir.	Rejeneratif uygulama verimi daha da yükseltmektedir. Suyun sabit akışı daha fazla karmaşık hale gelir. Su sirkülasyonu için pompa gereklidir.
Vakum tüplü kolektör ile birleşik sistem	Tiwari ve diğ. Yeni Delhi, Hindistan	Tipi = tek eğimli güneş enerjili damıtıcı Damıtıcı alanı= $1m^2$ Damıtıcıdaki su kütlesi= 50 kg Vakum tüp kolektör alanı =$2m^2$ Akış hızı = = 0.035 kg/s	Toplam günlük üretim teorik analiz ile 4 kg/m2 gün olarak hesaplandı. Genel ısıl verim 17.22% çıkmıştır, bu değer düz plaka kolektörlü sistemin veriminden daha yüksek olduğunu gösterir.	Günümüzde vakum tüp kolektörlü sistem düz levha kolektörlü sistemden daha ucuzdur. Aynı zamanda havzada 50 kg su bulunması damıtılmış su kütle üretimi için en iyi seçenek.
Isı borulu sistem	Hiroshi Tanaka ve diğ. Fukuoka, Japonya	Tipi= Dikey çok etkili güneş enerjili damıtıcı Kolektör alanı= 280mm x 570mm Damıtıcı eğim açısı=26^0 Yalıtım malzemesi	Damıtma üretim hızı 0.1 gr / m2 s. Test esnasında elde edilen maksimum sıcaklık 70 ^{0}C.	Diğer güneş kolektörleri ile karşılaştırıldığında nispeten yüksek bir verimlilik sağlar. Kurulum maliyeti yüksektir. Yüksek üretim için en iyi seçenek.

		= Cam yünü Yalıtım kalınlığı = 10mm Hava boşluğu = 24mm		
Güneş havuzu ile birleşik damıtma sistemi	Velmurugan ve diğ. Madurai, Hindistan	Tipi = Kademeli güneş enerjili damıtıcı Alan = 1m x 1m Damıtıcı eğim açısı= $9^0$55' Yalıtım malzemesi = talaş Güneş havuzunun boyutları: Üst katman = 0.9m Alt tabaka = 0.3m Toplam yükseklik = 0.3m	Kanatçık ve süngerler kullanılarak mini güneş havuzu ile birleşik sistemde maksimum verim %80 olmaktadır. Endüstriyel atık, su beslemesi olarak kullanılır.	Geri ödeme süresi 367 gündür. Enerji depolama malzemeleri eklenmesi ile çalışma zorlukları, oluşabilir. Yapısı karmaşıktır. Endüstriyel uygulamalar için en iyi seçenek.
Hibrid PV / T sistem	Shiv Kumar ve Tiwari Yeni Delhi, Hindistan.	Tipi = Geleneksel tek eğimli güneş enerjili damıtıcı Alan = 1m x 1m Damıtıcı eğim açısı=30^0 Damıtıcı malzemesi=GRP Kolektör etkin alanı: $2m^2$ PV modül alanı: 0.55x $1.20m^2$	Pasif geleneksel tip ile karşılaştırıldığında daha yüksek verim elde edildi. Taşınım ve buharlaşma ısı transfer katsayılarının ortalama değerleri pasif geleneksel sisteme göre 3-5 kat daha fazla olmaktadır.	Yüksek sermaye maliyeti (PV modül) Pasif ve hibrit (PV / T) sistemlerin geri ödeme süresi sırasıyla 1,1-6,2 yıl ve 3,3-23,9 yıl arasında değişmektedir.
Çok etkili vakumlu damıtma sistemi	Ahmed ve diğ. KUALALUMPUR, Malezya	Tipi= Çok etkili damıtıcı Kademe sayısı=3 Yalıtım malzemesi = taş ahşap ve Al folyo Pompa acı(tuzlu) su sirkülasyonu için kullanılır.	Maksimum üretim 0.5 bar bir vakum basıncında 14.2 kg / m2 gün olduğu tespit edilmiştir. Emniyet faktörü ve maksimum arıza vs. açısından dikdörtgen olandan silindirik tip çok daha iyidir. Günlük toplam verim geleneksel tipe göre yaklaşık üç kat daha fazla olarak bulunmuştur.	Diğer uygulamalara göre daha yüksek verimlilik. Dikdörtgen tip ile karşılaştırıldığında güvenlik faktörü ve maksimum sapma bakımından silindirik tip çok daha iyi olmaktadır. Bu sistemde üretilen damıtılmış su litresi 0,02544 dolar olmaktadır.
Çok etkili damıtma sistemi	Adel M. Abdel Dayem Mattarria, Mısır	Tipi= Çok etkili güneş enerjili damıtıcı Kolektör alanı = $1.55m^2$ Depolama tankı kapasitesi = 200 l Damıtma bölmesi	Sadece iki buharlaştırıcı ünite kullanılarak damıtılmış su miktarı 60 dakikada 1 l olmuştur. Bu damıtma işlemi nemlendirme ve nem alma sürecine dayanmaktadır.	Küçük birimler (otel, kırsal bölgelerde, hafif sanayi, vb) için uygulanabilirdir. Kurulum ve işletme maliyeti yüksektir. Sistem çalışması için nitelikli işgücü gereklidir.

		boyutu = 186,5x118x160 cm		
Hava kabarcıklı damıtma sistemi	Pandey Yeni Delhi, Hindistan	Tipi = Geleneksel tek eğimli güneş enerjili damıtıcı Damıtıcı alanı = 0.6864m^2 Damıtıcı eğim açısı=10^0 Yalıtım kalınlığı = 4mm Yalıtım malzemesi = Cam yünü	Damıtma üretimi, çevre havasının kabarcıklarından dolayı % 7.1, kurutma işleminden sonra çevre havasının kabarcıklarından dolayı % 33.5, kuru ortam havasının kabarcıkları ve cam kapak soğutma için % 47.5, sadece cam kapak soğutma için % 30.5 artmıştır.	Tasarım ve yapım basit. Hava bolca kullanılabilir. Elektrik motoru sistemi çalıştırmak için gereklidir.
Hibrid güneş enerjili damıtma sistemi	Voropoulos ve diğ. Paraskevi, Attikis, Yunanistan	Tipi = Yeşil ev tipi geleneksel güneş enerjili damıtıcı Kolektör alanı = 5mx2.5m Toplayıcı gözenek alanı = 43m^2 Depolama tankı kapasitesi = 3750 l Su derinliği = 5 cm	Depolama tankı boyutları 1/4, 1/ 2 ve 1 oranında değiştiğinde günlük damıtılan su sırasıyla %36, %57 ve %75 oranında değişmekte ve kullanılan enerji sırasıyla 1990, 3300 ve 5200 MJ olmaktadır.	Damıtılmış ve sıcak su üretimini aynı anda sağlar. Tasarımı ve işletimi basittir. Son kullanıcılar tarafından kolay olarak kabul edilebilir. Evsel uygulamaları için daha uygun
Ön ısıtıcılı aktif güneş enerjili damıtma sistemi	Tiwari ve diğ. Yeni Delhi, Hindistan	Tipi = Geleneksel güneş enerjili damıtıcı Damıtıcı alanı = 1m x 1m Yalıtım kalınlığı = 0.05m	0,00585 kg / s kütle akış hızı ile damıtılmış su üretimi 0.5 kg/m^2 h olmaktadır. Su akışı esnasında su giriş sıcaklığındaki artış damıtılmış su miktarını artırmaktadır.	Tasarımı ve işletimi basit. Esas olarak atık ısı kullanım alanları için uygundur. Geleneksel güneş enerjili damıtıcı ile karşılaştırıldığında üretim hızı daha yüksektir.
Gece çalışabilen aktif damıtma sistemi	Tiwari ve diğ. Yeni Delhi, Hindistan	Tipi= Isı borulu güneş enerjili damıtıcı Damıtıcı alanı = 0.1mx1.1m x0.0127m	Günlük verimi en çok etkileyen damıtma suyunun giriş sıcaklığıdır. Atık sıcak su ile güneşli zamanlarda ısınan su verimi daha da artırmaktadır.	Isı borulu damıtma sistemi aynı iklim şartlarında geleneksel damıtma sisteminden daha verimli olmaktadır. Özellikle sıcak su ihtiyacı olan yerlerde kullanımı daha uygundur.

3.MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Güneş Enerjili Damıtma Sistemlerinin Tarihçesi

Damıtma işlemine, dünya tarihinde ilk olarak M.Ö. 1500 'lü yıllarda Antik Mısır 'da rastlanmaktadır. Daha sonrasında M.Ö. 400 lü yıllarda Antik Yunan'da da damıtma sistemleri tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Bu sistemler tatlı su eldesin den daha çok, bitkisel özler, alkol, yağ, parfüm vb. üretimi için kullanılmışlardır. Şekil 3.1. 'de Ortaçağ zamanından bir damıtma laboratuarı gösterilmektedir.



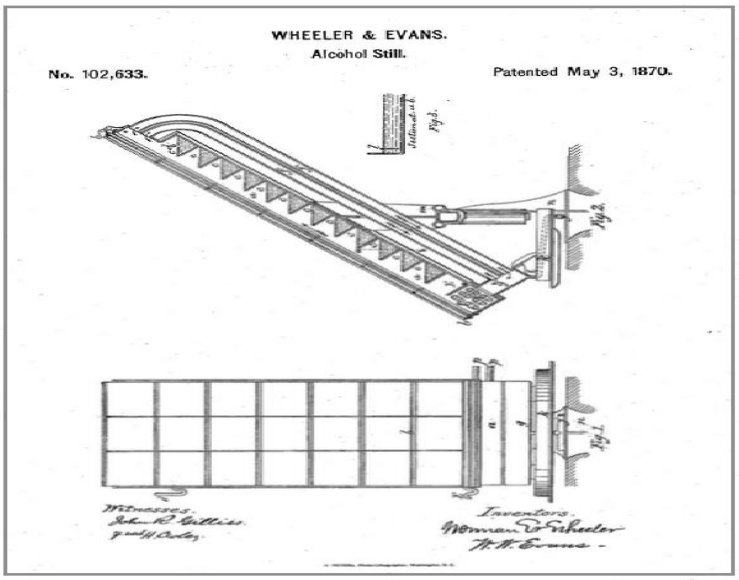
Şekil 3.1. Ortaçağ zamanında bir damıtma laboratuarı (Delyannis, 2003)

Orta Çağda konu ile ilgili çalışmalar devam etmiş ve Giovani Batista Della Porta (1535-1615), adında bilim adamı bu konuda birçok kitap yazmış ve kitapları farklı dillere çevrilmiştir. Şekil 3.2.'de Della Porta'nın güneş damıtma sistemi görülmektedir. Della Porta zamanından yani 1615 yılından 19. Yüzyıla kadar bu alanda önemli bir çalışma olmamıştır.



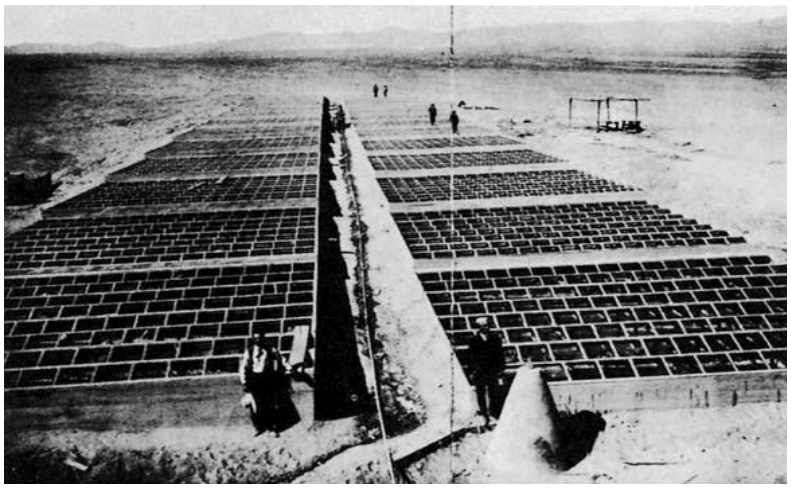
Şekil 3.2. Magiae Naturalis tarafından sunulan Della Porta'nın kitabında ki güneş damıtma cihazı. (Delyannis E., 2003, Nebbia and Nebbia-Menozzi, 1966)

1870 yılında güneş enerjisi ile damıtma konusunda ilk Amerikan patent Wheleer ve Evans'a verilmiştir (Şekil 3.3.). Bu patent deneysel çalışmalara dayalı ve çok detaylıdır. Güneş enerjili damıtma sistemi ve korozyon problemlerinin temel işleyişi hakkında bize şuan bilinen hemen her şey bu patentte tarif edilmiştir.



Şekil 3.3. Güneş enerjili damıtma konusunda Wheleer ve Evans tarafından alınan ilk Amerikan patent (Delyannis,2003 Solar desalination wikipedia, History, Patent)

1872 yılında İsveç 'li mühendis Carlos Wilson tarafından ilk büyük güneş enerjili damıtma sistemi tasarlanmış ve Şili'nin Las Salinas kentinde inşa edilmiştir.

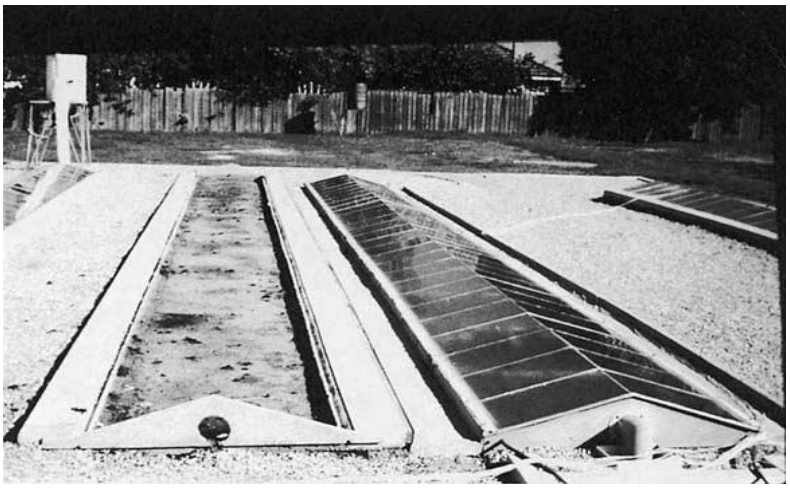


Şekil 3.4. Dünya çapında ilk güneş damıtma tesisi Las Salinas,Şili (Delyannis, 2003)

Bu tesis yakınında, gümüş madeninde çalışan işçilerin tatlı su ihtiyacını karşılamak amacıyla kurulmuştur. Tesis cam levhalar ve ahşap çerçeveler ile

kurulmuştur. Bu tesis 7896 m^2 arazi alanına kurulmuş olup ve 64 bölmeden oluşan 4450 m^2 cam yüzey alanına sahiptir. Bu tesis günde 22,7 m^3 tatlı su üretmektedir. Madenler tükenene kadar yaklaşık 40 yıl bu tesis faaliyet gösterdi.

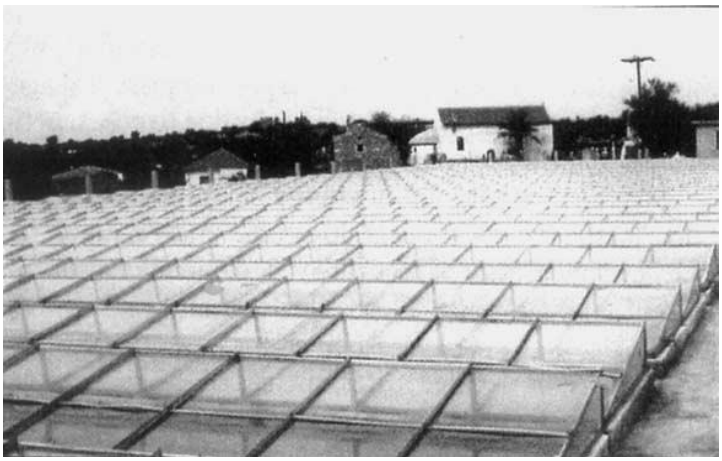
1952 yılında ABD'de içişleri bakanlığı tarafından finanse edilen tuzdan arındırma tanıtım tesislerinin yapılması ve bu çalışmalara destek verilmesi ile ilgili raporlar yayınlamıştır. Bu tesislerden birisi Florida'da Daytona sahilinde kurulmuş ve birçok güneş enerjisi ile çalışan damıtma sistemi test edilmiştir.



Şekil 3.5. OSW güneş enerjili damıtma istasyonu Daytona Sahili, Florida (Delyannis, 2003)

İlerleyen yıllarda birçok küçük kapasiteli güneş damıtma tesisleri inşa edilmiştir. Bunlardan birisi de Kanada'da McGill Üniversitesi tarafından bazı Karayip Adalarına kurulmuştur. California, Berkeley Üniversitesi deniz suyu dönüşüm laboratuvarında işbirliği ile yapılan, güneş enerjisi damıtma ile ilgili birçok çalışmalar yürütülmektedir. Güneş enerjisi ile damıtma üzerinde deneysel çalışmalar yaygınlaşarak hız kazanmıştır ve Ulusal Fizik Laboratuarı, Yeni Delhi, Hindistan ve Merkez Tuz ve Deniz Kimya Araştırma Enstitüsü, Bhavnagar, Hindistan da bu konuda birçok araştırma yapıldı.

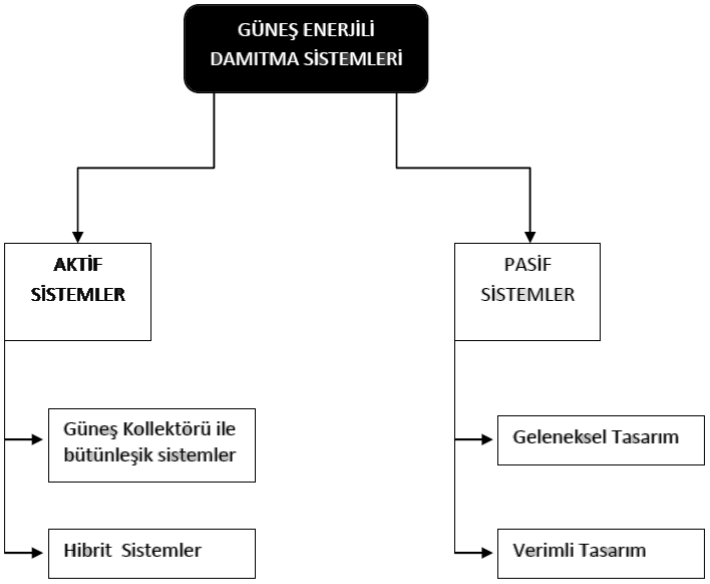
1965 ve 1970 yılları arasında küçük yerleşim yerlerine temiz su sağlamak için dört yunan adası üzerinde güneş enerjili damıtma tesisleri kurulumu yapılmıştır. Şekil 3.6.'da gösterilen damıtma tesis tasarımı Atina Teknik Üniversitesi tarafından yapıldı. Bu sistem kaynak olarak deniz suyu kullanmakta ve tek camdan yapılmıştır. Onların kapasitesi 2044 - 8640 m^3 /gün arasında değişmektedir. Patmos adasında yapılan bu tesis şimdiye kadar yapılmış en büyük güneş damıtma tesisi oldu. Güneş enerjili bu sistem alüminyum çerçeveli, cam kaplı ve asimetrik sera tipinde kurulmuştur (Delyannis, 2003).



Şekil 3.6. Simi Adası (Yunanistan) Güneş enerjili damıtma sistemi (Delyannis, 2003)

3.2. Güneş Enerjili Damıtma Sistemlerinin Sınıflandırılması

Güneş enerjili birçok damıtma sistemi mevcuttur. Bunları aktif ve pasif olarak iki genel başlıkta sınıflandırabiliriz. Bu genel başlıkların alt kademeleri ise sistemin dizayn şekli ve kullanılan ekipmanlara göre farklılık göstermektedir. Şekil 3.7.'de güneş enerjili damıtma sistemlerinin sınıflandırılması gösterilmektedir.

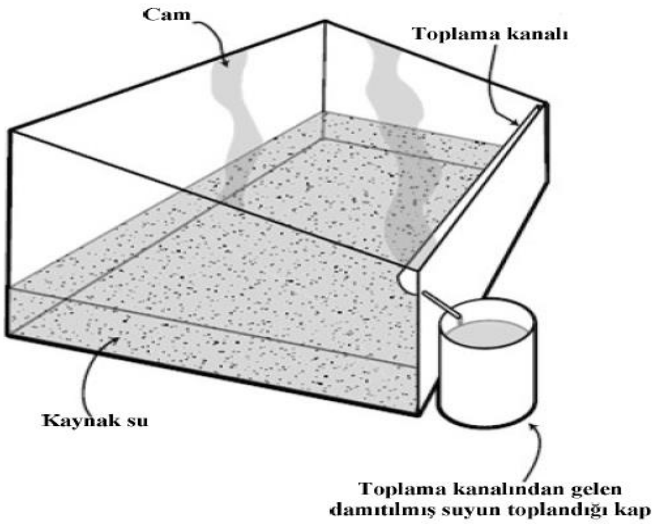


Şekil 3.7. Güneş enerjili damıtma sistemlerinin sınıflandırılması (Muftah, 2014).

3.2.1. Pasif Sistemler

Pasif güneş enerjili damıtma sistemleri doğrudan güneş enerjisi ile çalışan sistemlerdir. Damıtma havzası dışında ekstra bir ekipman yoktur. Aktif sistemlere

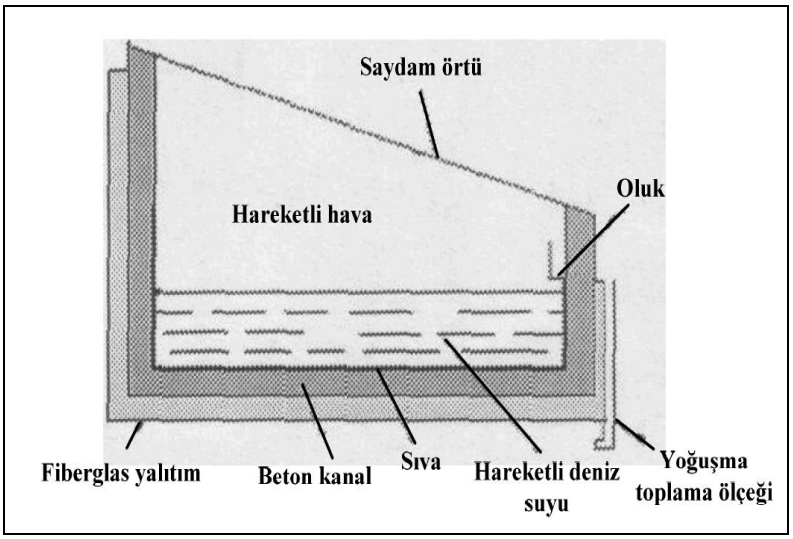
nazaran maliyeti düşüktür ve enerji maliyeti açısından çok iyidir. Fakat bu sistemler güneşin olmadığı zamanlarda çalışmaz yani süreklilik yoktur. Şekil 3.8.' de pasif bir güneş enerjili damıtma sistemi gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Pasif cam örtülü güneş enerjisi ile çalışan damıtma sistemi (Cingiz, 2007).

Pasif Geleneksel tasarımlar:

Bu sistemler geçmişten günümüze kadar süregelen sistemlerdir. Güneş enerjisi ile havza içinde su ısıtılarak buharlaşması ve eğimli cam yüzeyden yoğuşarak tatlı su elde edilmesi prensibine dayanır. Geleneksel tasarım bölümleri Şekil 3.9. 'da gösterilmektedir.



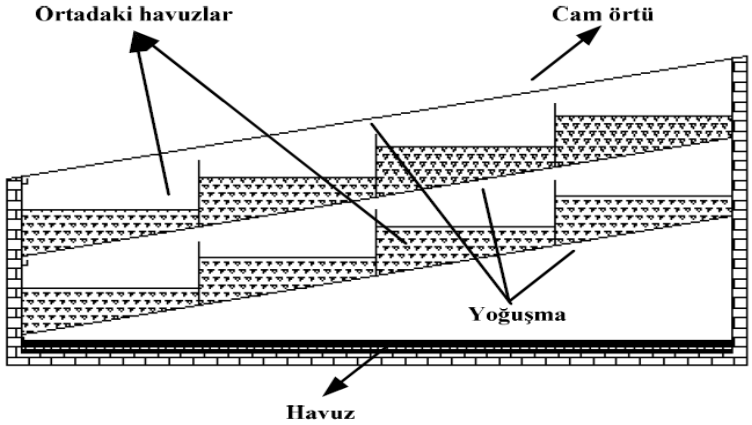
Şekil 3.9. Havuz tipi güneş enerjili damıtma sistemi (Cingiz, 2007)

Su, havuzun tabanında ısınır, buharlaşır ve atıkları geride bırakır. Bu buhar cam örtüde düşük ısıda yoğuşur ve çıkış yeri olarak gösterilen su toplama kanallarından dışarıya alınır.

Pasif verimli tasarımlar:

a.Çok etkili kademeli damıtıcılar;

Şekil 3.10.'da gösterilen ve günümüzde yaygın olarak kullanılan bu tip damıtıcılar, aynı basitliğe sahip olmalarına rağmen, çok özel tipteki çanaklar hariç, diğer damıtıcılardan yaklaşık % 40 -50 daha yüksek verime sahiptirler. Bu sistemlerin diğer sistemlerden farkı, saydam üst örtü ile havuz arasına yerleştirilmiş olan çift katlı havuz bölmeleridir.

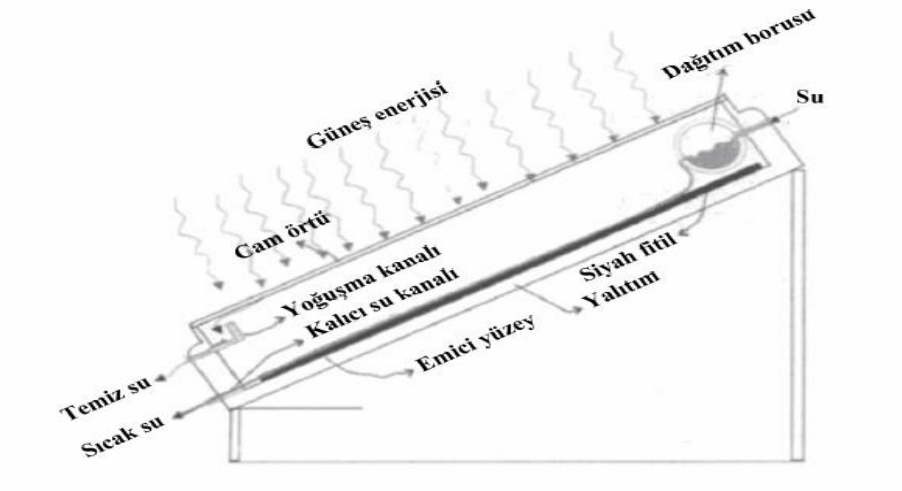


Şekil 3.10. Çok etkili kademeli damıtıcının kesit görünüşü (Cingiz, 2007).

Sistemin çalışma şekli şu şekildedir. Ortada bulunan bölmelerdeki su, ya bölmeler arasında tutucu levhalar yardımıyla sabit olarak tutulmakta, ya da saydam bir plaka üzerinde sürekli olarak akmaktadır. Her iki durumda da, plakanın alt yüzeyi, film halinde yoğuşma elde etmek için, ıslak tutulmasına ve yoğuşan su buharının akış yönünde pürüzsüz olmasına dikkat edilir.

b. Fitilli tip damıtıcılar;

Bu tip damıtıcılarda, havuz tipi damıtıcılardaki tuzlu suyun toplandığı ve buharlaşmanın oluştuğu havuzun yerini su emici fitil almıştır. Bu tip damıtıcılar, havuz tipi damıtıcılara sistem olarak çok benzemekle beraber onlardan en büyük farkları, tuzlu suyun kapiler etkisi ile sıvı emici bir fitile emdirilip bu fitil üstünden buharlaştırılmasıdır. Sistem Şekil 3.11.'de gösterildiği gibi içerik bakımından bir güneş kolektörüne benzetilebilir.

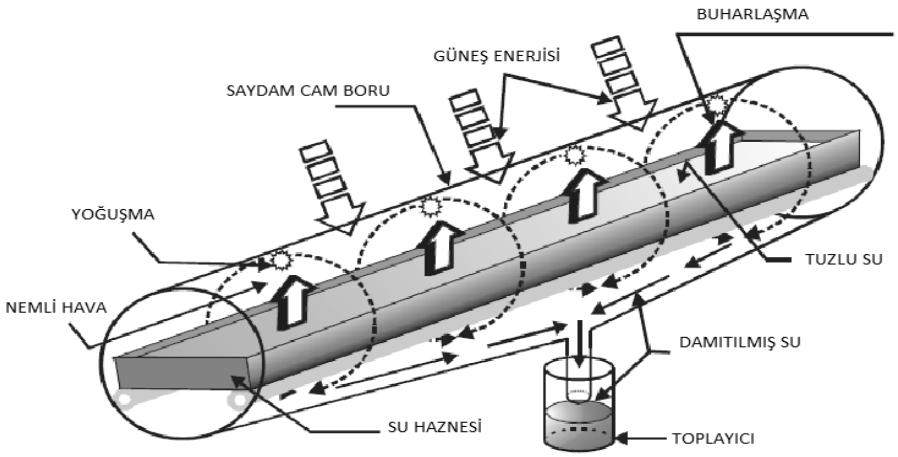


Şekil 3.11. Fitilli damıtıcı kesit görünüşü (Bilgiç, 2008)

Bu sistemin en büyük dezavantajlarından biri, fitilin kirlenmesi ve sağlığa zararlı bakterilerin oluşma riskidir. Bu tür damıtıcılarda özellikle bu konu üstünde durmak ve önlem almak gerekir. Havuz tipi damıtıcılarda örtünün taşınım ve ışınım yolu ile atmosfere atılan suyun yoğuşma gizli ısısından, fitilli tip damıtıcılarda yararlanmak amacıyla çok aşamalı fitilli tip damıtıcılar geliştirilmiştir (Bilgiç, 2008).

c. Isı borulu damıtıcılar;

Yoğuşma bölgesinde yoğuşmayan gazlar, ısı geçişini kötüleştirir. Yoğuşmayan gazları bölgeden uzaklaştırmak için ısı boruları (Şekil 3.12.) düşünülmüş ve sonuçta bu tip sistemler ortaya çıkmıştır. Açık ısı borulu sistemler, açık ısı borularının çalışma sisteminden yararlanılarak, klasik tipte güneş çanaklarında ısı geçişini iyileştirmek ve yoğuşma gizli ısısını değerlendirmek amacıyla geliştirilmişlerdir. Sistem, bir toplayıcı ve buharlaştırıcı bölgesi ile toplayıcıya bağlanmış bir açık ısı borusundan oluşmaktadır.



Şekil 3.12. Isı borulu güneş enerjili damıtıcı (Ahsan, 2012)

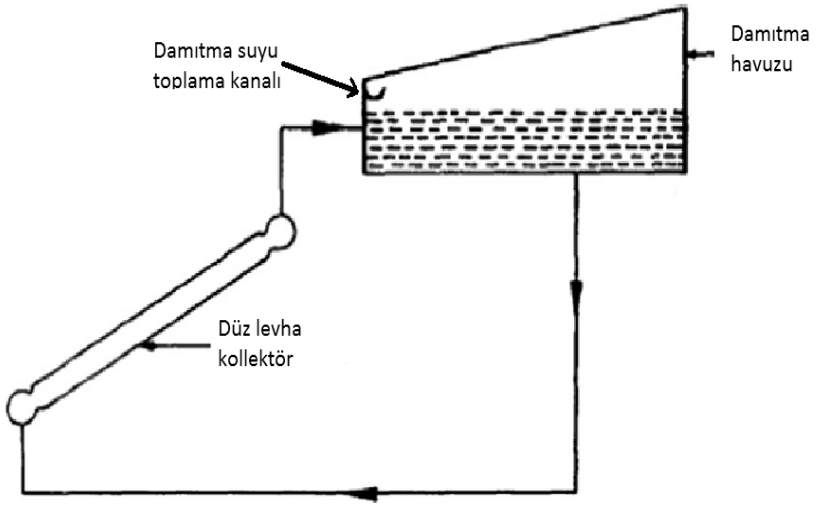
3.2.2. Aktif sistemler

Bu sistemler, güneş enerjisi dışında farklı enerji kaynakları veya güneş kolektörleri ilave edilerek kurulan sistemlerdir. Bu sistemler dizayn edilirken temel amaç güneş enerjisinin yeterli veya hiç olmadığı durumlarda sistem çalışmasını sürdürmektir. Dolayısıyla verimi artırmak ve tüm gün boyunca tatlı su üretmek için tasarlanmışlardır. Bunun yanında yüksek sıcaklıklara ulaşabilen bu sistemler ürettikleri tatlı su miktarı bakımından pasif sistemlere göre daha iyidir. Alan bakımından çok yer kaplamazlar fakat maliyetleri fazladır.

Güneş kolektörü ile bütünleşik sistemler;

a.Düz levha kolektörlü damıtıcılar;

Bu sistemde güneş ışınları yine saydam örtüden geçip, siyah emici yüzey tarafından absorbe edilir. Kolektör içerisindeki ısıtıcı akışkan ısınır. Yüksek ısıya ulaşan bu akışkan pompa yardımıyla veya doğal dolaşımla damıtma havuzu içerisindeki ısı değiştiricisine gönderilir. Isı değiştirici, deniz suyuyla temas halinde olduğu için akışkanın ısısı deniz suyuna verilir ve tuzlu su ısıtılmış olur. Diğer taraftan havuzun içerisine direkt olarak gelen güneş ışınımı sayesinde de su buharlaşır. Oluşan buhar üst cam örtüde yoğuşarak sistem dışına alınır.



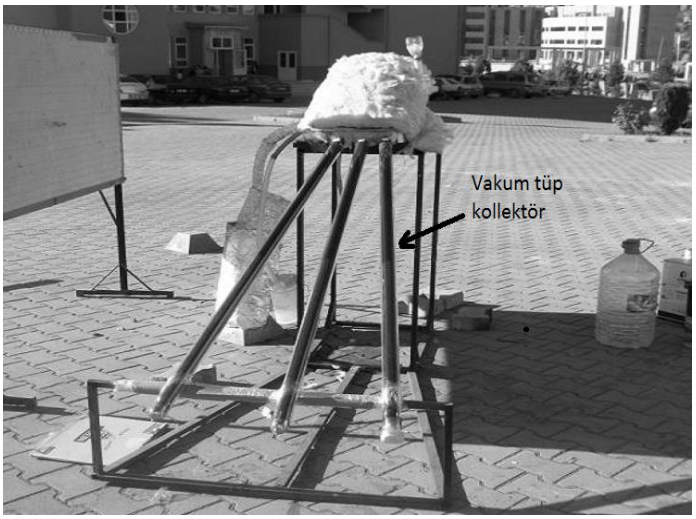
Şekil 3.14. Düz levha kolektörlü damıtıcı (Singh, 1996)

b.Vakum tüp kolektörlü damıtıcılar;

Bu sistemde yukarıda bahsettiğimiz levha kolektörlü sistem ile aynı çalışma prensibine dayanır. Sadece tek fark levha kolektör yerine vakum tüplü kolektör kullanılmaktadır. Bu sistemlerde yüksek sıcaklıklara ulaşmak mümkündür ve 100 °C'de

bile yüksek verimlilikle çalışırlar. Isıl verimi % 40 civarında olduğu görülmüştür (Cingiz, 2007).

Sarıipek (2012) yılında Karabük'te yapmış olduğu yüksek lisans çalışmasında tek eğimli yoğuşma örtüsü(yalıtımsız), tek eğimli yoğuşma örtüsü(yalıtımlı) kullanılarak (Şekil 3.15.) vakum tüplü güneş kolektörü ile ısıtılan suyun damıtılması amacıyla deney çalışmaları yapmıştır.

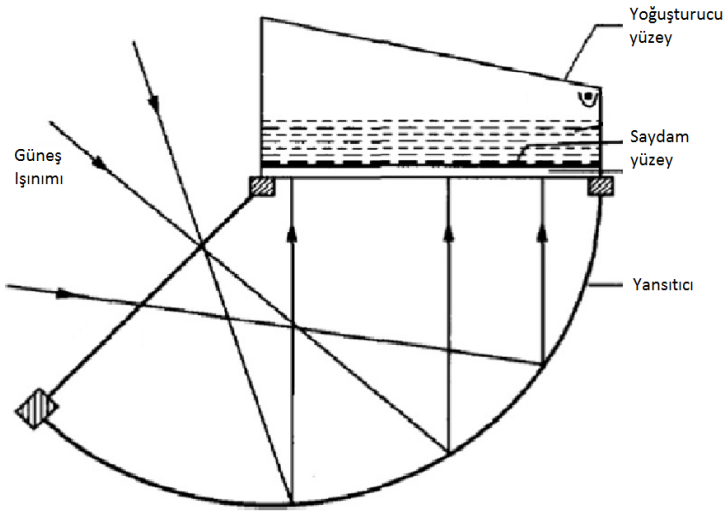


Şekil 3.15. Vakum tüp kolektörlü güneş enerjili damıtıcı (Sarıipek, 2012)

Sarıipek (2012) bu sistemde yaptığı ölçümlere göre; güneş ışınım değeri öğle saatlerine kadar yükseldiği, öğleden sonraki vakitlerde giderek azalmaya başladığını gözlemlemiştir. Depo suyu sıcaklığı giderek yükselmiş akşam 16:00 dan sonra azalmaya başlamıştır. Yoğuşmanın gündüzden daha çok gece saatlerinde oluştuğunu gözlemlemiş gündüz vakitlerine 50 ml gece saatlerinde 125 ml toplamda 175 ml su damıtıldığını belirtmiştir.

c.Parabolik yansıtıcılı damıtıcılar

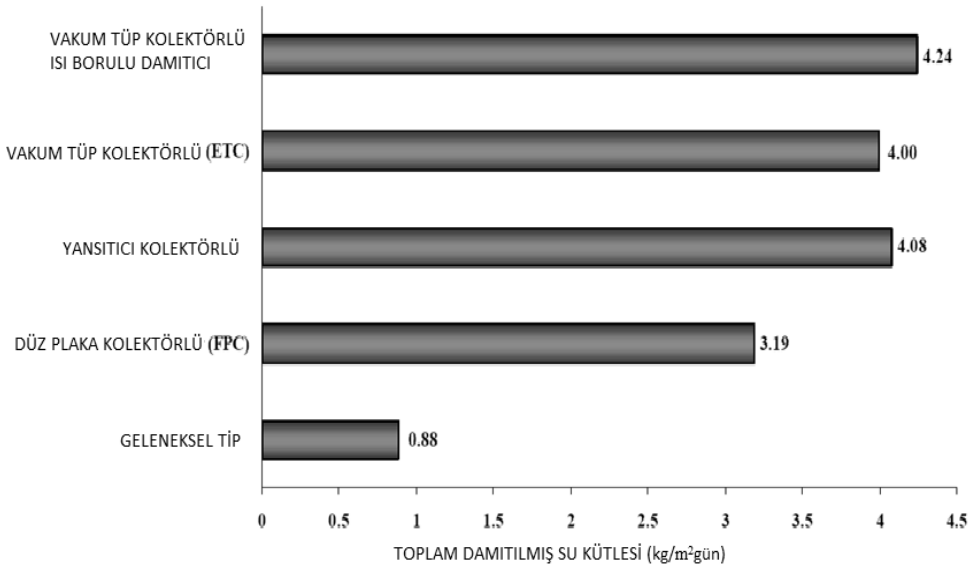
Bu sistemler de çift taraflı güneş ışınımlarına maruz kalır. Bu damıtıcılarda (Şekil 3.16.) alt ve üst kısımları saydam olarak yapılır. Alt kısımdan güneş ışınımlarına maruz kalması için bir yansıtıcı kullanılır. Yansıtıcıdan yansıyan ışınımlar sistemin alttan da ısınmasını sağlar .



Şekil 3.16. Parabolik yansıtıcılı damıtma sisteminin kesit görünüşü (Rubio, 2002)

Damıtma havuzunun tabanında yansıtıcıdan gelen ışınları geçirmesi için saydam cam örtü (Şekil 3.16.) kullanılmıştır. Bu durum ısı kaybına neden olmakta ve sistem gece çalışmamaktadır. Daha önce bahsettiğimiz vakum tüp kolektörlü sistemde ölçümlere göre gece üretimin daha fazla olduğunu söylemiştik burada ise tam tersi bir durum söz konusu olup gündüz üretim fazla gece ise az olmaktadır.

Yukarıda bahsettiğimiz güneş kolektörü ile bütünleşik sistemler için Tiwari vd. 2009 yılında yapmış olduğu çalışmada bu sistemlerin aynı iklim koşullarında günlük damıtılmış su üretim miktarını karşılaştırmıştır. Şekil 3.17.' de görüleceği üzere geleneksel damıtıcıdaki günlük damıtılmış su miktarı en az olmakla birlikte, düz levha kolektörlü damıtıcı vakum tüplü ve yansıtıcı kolektörlü sisteme göre damıtılmış su miktarı yaklaşık bir kg daha azdır. Vakum tüp kolektörlü damıtıcının tatlı su üretimi yansıtıcı kolektörlü damıtma sistemine göre daha azdır. Fakat vakum tüp kolektörlü damıtıcı ısı borulu sistem ile birleştirildiğinde yansıtıcı kolektörlü sistemden daha fazla tatlı su üretimi gerçekleştirdiği görülmektedir.



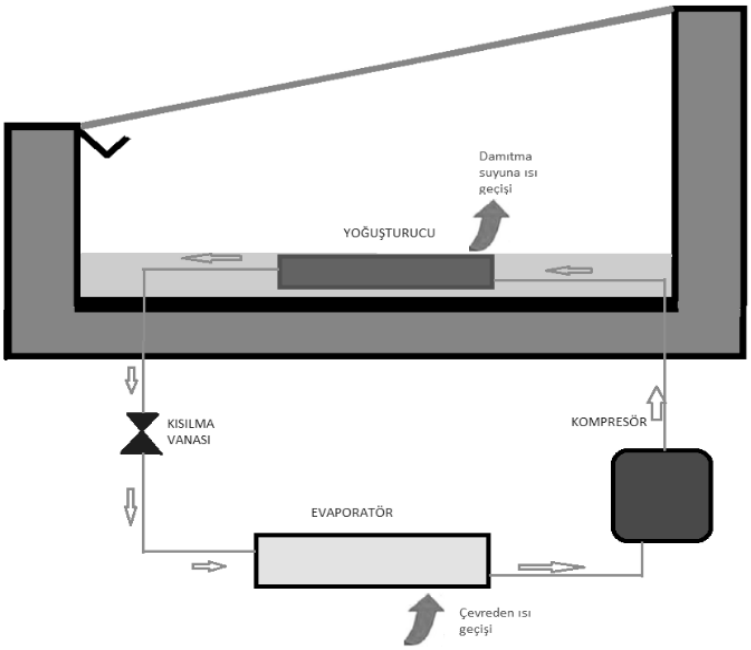
Şekil 3.17. Güneş kolektörü ile bütünleşik sistemlerin pasif geleneksel sistemle karşılaştırılması (Tiwari, 2009)

Hibrit Sistemler:

Güneş enerjili bir damıtma sistemine bazı ilaveler yapılarak elde edilen sistemlerdir. Bu sistemlerin bazıları aşağıdaki gibidir;

- Isı pompası
- Atık ısı geri kazanım ünitesi
- Yağmur suyu toplayıcı
- Elektrikli ısıtıcı
- Ters ozmos
- Elektrodiyaliz vb.

Yukarıda bahsettiğimiz aktif güneş kolektörlü ve pasif sistemlerin dezavantajı, güneş ışığı olmadığı durumlarda çalışmamasıdır. Bu duruma alternatif olarak tüm gün boyunca temiz su üretmek için damıtma sistemlerine güneş enerjisinin yanında ek olarak diğer enerji kaynakları ilave edilebilir. Şekil 3.18.'de gösterilen pasif bir damıtma sistemine ısı pompası ilave edilerek güneş enerjisinin yanında elektrik enerjisi de kullanılmaktadır.



Şekil 3.18. Isı pompası ile birleşik güneş enerjili damıtıcı

Isı pompası entegre edilmiş bir damıtma sisteminde, kompresörde sıkıştırılan akışkan yüksek sıcaklık ve basınçta havuz tabanında bulunan kondensere girerek damıtma suyuna ısı vermektedir ve bu ısı sayesinde yüksek sıcaklığa ulaşan damıtma suyu buharlaşmaktadır. Bu sistem de güneş enerjisinin yeterli ya da hiç olmadığı durumlarda (kış ayları veya gece) damıtma işlemi gerçekleştirilebilir.

3.3. Damıtma Performansını Etkileyen Faktörler

Her iki damıtma sistemi için belirlenen tasarım parametreleri, ortak bileşen olan havuzun verimini etkilemektedir. Damıtma performansını etkileyen parametreler, esas olarak meteorolojik ve havuzun tasarım parametreleri olarak gruplandırılmıştır. Meteorolojik parametreler; güneş ışınımı miktarı, rüzgâr hızı ve çevre hava sıcaklığı ve hava basıncı değerleridir. Havuzun tasarım parametreleri ise; saydam cam örtünün kalınlık ve eğimi, havuz tabanındaki yalıtım malzemesinin kalınlığı, havuzdaki deniz suyunun derinliği ve deniz suyunun sahip olduğu fiziksel özelliklerdir. Ayrıca damıtma performansını etkileyen damıtılacak suyun fiziksel özellikleri ve kolektör sayısı gibi diğer faktörlerde vardır. Tüm bu parametreler; havuzdaki suyun, saydam cam örtünün, havuz tabanının teorik sıcaklık değerlerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Böylece, bir damıtma havuzunun verimini etkileyen esas büyüklüğe (saydam cam örtü ve havuz suyu sıcaklıkları arasındaki fark) ulaşılmaktadır. Bu değer ne kadar büyük olursa, damıtma sisteminin verimi de o kadar yüksek olmaktadır (Tiwari, 2009).

3.4. Damıtma Sisteminde Olması Gereken Özellikler

Sistemi verimini etkileyen tüm bu parametrelerin etkisini tek ve esas bir parametrede toparlayacak olursak; birim havuz yüzeyinden elde edilecek damıtılmış su miktarı, havuz suyu ve saydam cam örtü sıcaklıkları arasındaki farka bağlı olarak değişmektedir. Yukarıda bahsedilen tüm parametreler, bu iki değişkenden birine veya her ikisine etki ettiğinden, verimi etkileyen ana faktör bu sıcaklık farkıdır diyebilmekteyiz. Bundan dolayı; havuz taban ve yan yüzeylerin ısı kaybına karşı iyi derecede yalıtılması, havuzdaki su derinliğinin azaltılması ve temizliğinin sağlanması, cam örtünün dış yüzeyi ile temasta bulunan rüzgâr hızının uygun değere kadar (yaklaşık 5 m/s) artırılması, cam örtünün iç yüzeyinde durgun halde bulunan ve ısı geçişi için direnç oluşturan havaya hareket verilmesi günlük verimin iyileştirilmesi açısından önemlidir.

3.5. Deneysel Sistem

Güneş enerjili damıtma sistemi tasarımı ve deney yapılacak yerin iklim koşulları damıtma verimini etkilemektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda damıtma veriminin en iyi seviyede olması için tasarım parametreleri belirlenmiştir. Damıtma sistemi tasarımında ilk olarak sistemin kurulduğu Konya ili iklim koşulları dikkate alınmıştır ve Çizelge 3.1.'de gösterilen damıtma sistemi parametrelerine göre sistem kurulmuştur.

Çizelge 3.1. Damıtma sistemi tasarım parametreleri.

Malzeme	**Özellik**
Havuz malzemesi	Paslanmaz çelik sac
Havuz malzemesi cidar kalınlığı	0,001[m]
Havuz taban alanı	1,25 [m^2]
Yalıtım malzemesi	Taş yünü
Yalıtım malzemesi kalınlığı	0,05 [m]
Yalıtım malzemesi ısıl iletkenliği	0,04 W/mK
Saydam örtü malzemesi	Temperli cam
Saydam örtü kalınlığı	0,006 [m]
Saydam örtü eğim açısı	10^0
Güneş kollektör cinsi	Selektif yüzeyli düz levha kollektör
Güneş kollektör alanı	2,3 [m^2]
Oluk eğim açısı	5^0

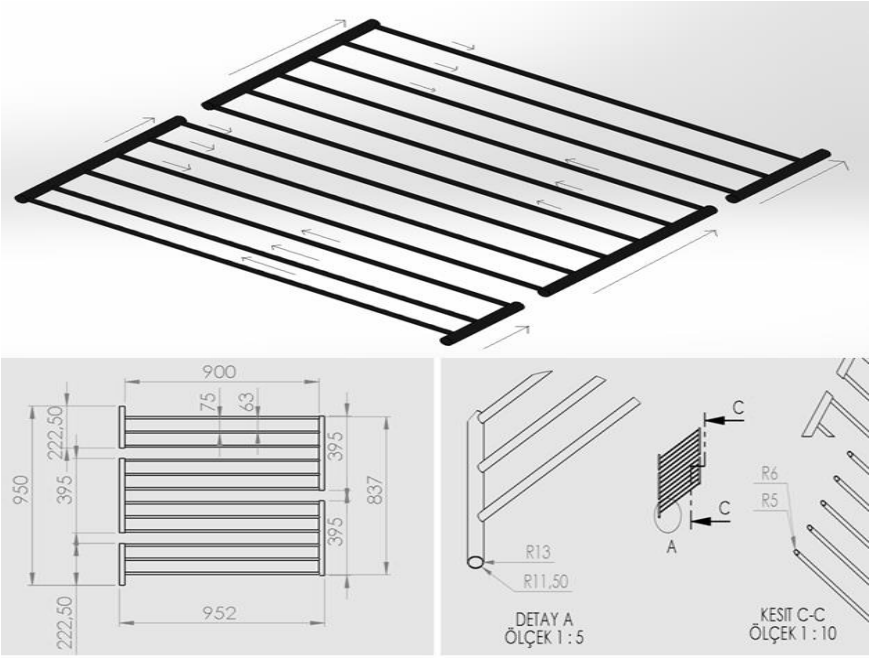
Burada saydam örtü eğim açısı 10^0 ve kollektör eğim açısı 33^0 olarak tasarlanmıştır. Damıtma deney düzeneği kurulum aşamasında ilk olarak paslanmaz çelik sac malzemeden damıtma havuzu iç kısım ve daha sonra tasarlanan havuza uygun ısı değiştiricisi imal edildi. Şekil 3.19. 'da damıtma havuzunun imalat aşamaları gösterilmektedir.



Şekil 3.19. Havuz ve ısı değiştiricisi imalat aşaması

Damıtma havuzu içerisinde bulunan damıtılmış suyun damıtıcı dışına alınmasını sağlayan toplama oluğu 5^0 eğim verilerek kaynakla monte edildi ve su kaçaklarının olmaması için özenle işlenmiştir.

Havuzun yapımından sonra sisteme uygun ısı değiştiricisi tasarlanmıştır. Şekil 3.20.' de üç boyutlu ve teknik çizimi gösterilen kaynak borulu ısı değiştiricisi imal edildi.



Şekil 3.20. Kaynak borulu ısı değiştirici üç boyutlu ve teknik çizimi

Kaynak borulu ısı değiştiricisi 26 mm ve 12 mm dış çapa sahip borulardan oluşmaktadır. Havuz içerisine yerleştirilen bu ısı değiştirici sökülüp takılabilecek şekilde monte edildi bu da havuzun temizlenmesinde kolaylık sağlamıştır.

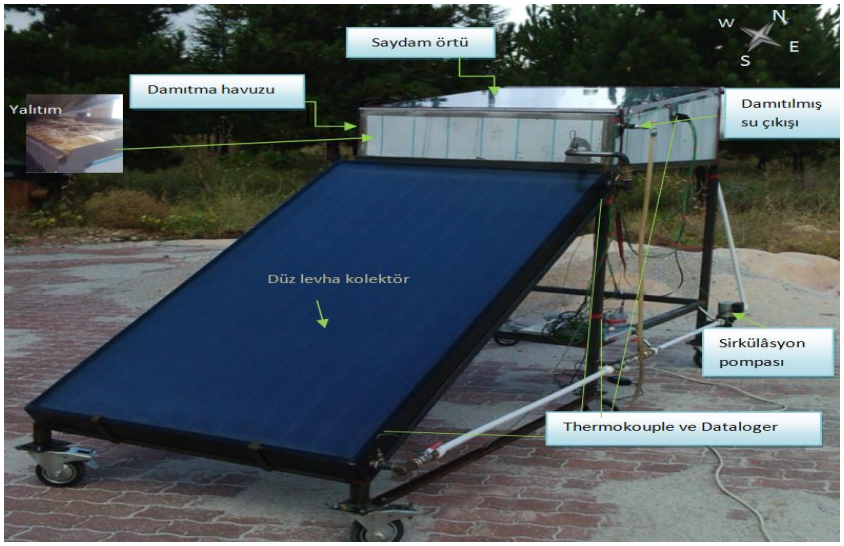
Bir sonraki aşamada damıtma havuzunun dış cidarı kaynakla monte edildi. İki cidar arasına 5 cm kalınlığında taş yünü yalıtım malzemesi yerleştirildi. Şekil 3.21.'de yalıtım malzemesi ve dış cidarın monte edilme aşamaları gösterilmektedir.



Şekil 3.21. Yalıtım malzemesi ve dış cidar monte edilme aşamaları

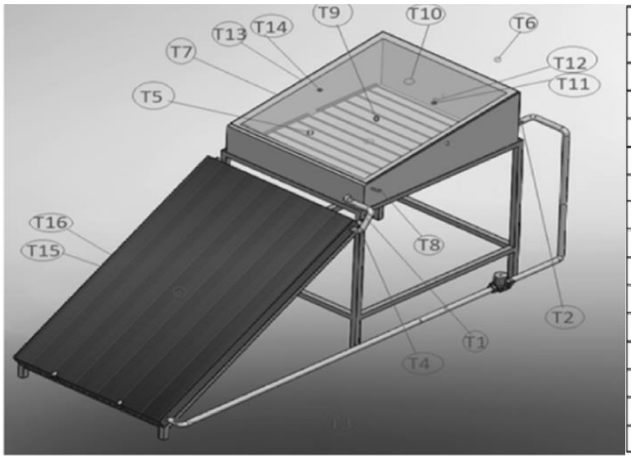
Damıtma sisteminin kurulumu için son aşamada güneş kolektörü ve havuz için profil ayaklar imal edildi ve sistemin boru ve bağlantı aparatları takıldı. Saydam örtü olarak 6 mm kalınlığında temperli cam kullanıldı ve sızdırmazlığı sağlamak için fitiller yerleştirildi. Damıtma havuzunun tüm ekipmanları monte edildikten sonra Selçuk Üniversitesi Alaaddin Keykubat Kampüsünde deney yapılacak yere taşınmıştır. Burada

kollektör ve damıtma havuzunun kontrolleri yapılmıştır ve deneye hazır hale getirilmiştir. Şekil 3.22. ‘de damıtma sisteminin deneye hazır hali gösterilmektedir.



Şekil 3.22. Damıtma sisteminin deneye hazır hali

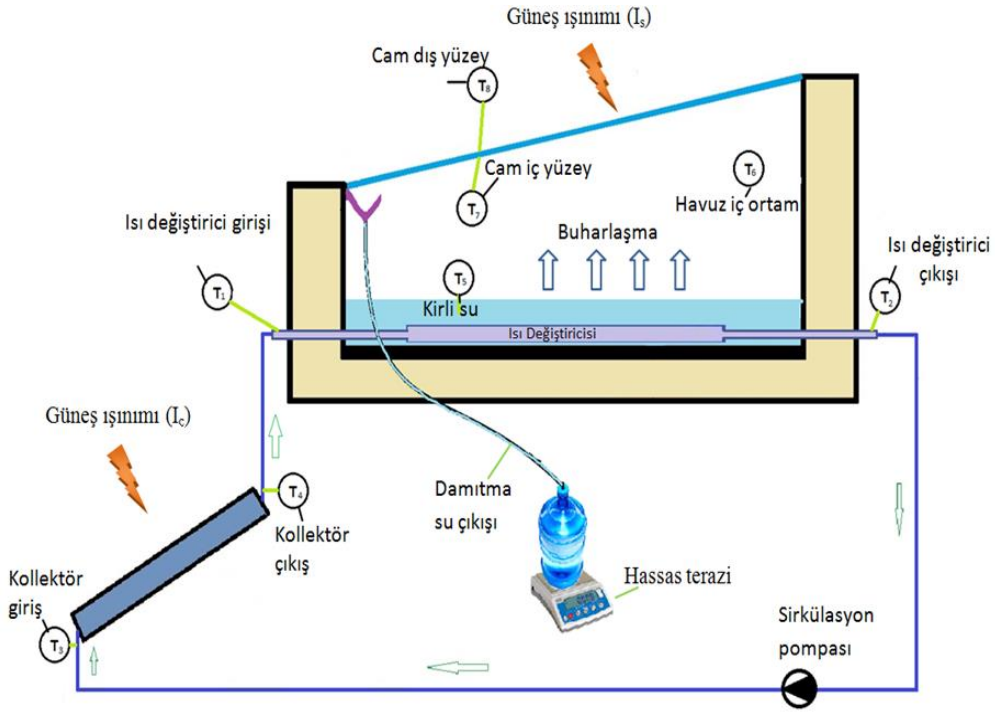
Deney sisteminin analizleri için gerekli olan sıcaklık ölçüm yerleri tespit edilmiş ve termokouple bağlantıları yapılmıştır. Şekil 3.23.’te deney sisteminin sıcaklık ölçüm yerleri gösterilmiştir.



T1	Isı değiştirici giriş sıcaklığı
T2	Isı değiştirici çıkış sıcaklığı
T3	Kollektör giriş sıcaklığı
T4	Kollektör çıkış sıcaklığı
T5	Havuz taban iç yüzey sıcaklığı
T6	Dış ortam sıcaklığı
T7	Havuz taban dış yüzey sıcaklığı
T8	Oluk sıcaklığı
T9	Havuz suyu sıcaklığı
T10	Havuz iç ortam sıcaklığı
T11	Cam iç yüzey sıcaklığı
T12	Cam dış yüzey sıcaklığı
T13	Sağ yan dış yüzey sıcaklığı
T14	Sağ yan iç yüzey sıcaklığı
T15	Kollektör üst yüzey sıcaklığı
T16	Kollektör alt yüzey sıcaklığı

Şekil 3.23. Damıtma deney sistemi sıcaklık ölçüm yerleri

Deney sisteminin 16 farklı yerinden sıcaklık ölçümü yapıldı ve ölçüm değerleri dakikalık olarak dataloger vasıtasıyla kayıt edildi. Bunun yanında sistem verimini hesaplayabilmek için gerekli olan damıtılmış su kütlesi miktarı hassas terazi ile anlık olarak kayıt edildi. Bu anlık kayıt esnasında piranometre ile ışınım ölçümü yapıldı. Şekil 3.24.’te deney düzeneğinin çalışma sistemi gösterilmektedir.



Şekil 3.24. Damıtma deney düzeneğinin çalışma sistemi

Güneş enerjili damıtma sisteminde kolektöre ve damıtma havuzuna gelen güneş ışınımı sayesinde havuz içerisindeki su sıcaklığı artmaktadır. Bu esnada çevre hava ile temasta olan saydam örtü sıcaklığı sabit kalmaktadır. Su yüzeyi ve saydam örtü yüzeyi arasındaki bu sıcaklık farkı sayesinde ısı transferi gerçekleşmektedir. Deney sisteminde kullanılan ölçüm aletleri ve hassasiyetleri Çizelge 3.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.2. Ölçüm aletleri hassasiyetleri.

Ölçme aleti	Ölçüm Unsuru	Doğruluk
Hassas terazi	Damıtılmış su kütlesi	0,05 g
K tipi termakupl	Sıcaklık	0,1 ^{o}C
Piranometre	Işınım	% 1

3.5. Hesaplama Metodolojisi

Damıtma sistemlerinin teorik olarak verim hesabı yapılırken en önemli etkenlerden biri güneş ışınımıdır. Kollektör ve havuz yüzeyleri de farklı açılarda durması gerektiğinden dolayı, ilk olarak eğimli yüzeylere gelen güneş ışınımı belirlenmelidir. Daha sonra sistem verimi, havuzun ve kolektörün eğimli yüzeylerine gelen ışınıma bağlı olarak tespit edilmelidir.

3.5.1. Güneş Işınımı Hesap Metodolojisi

Güneş enerjisi sistemlerinin tasarımı ve analizi için eğimli yüzeylere gelen güneş ışınımının bilinmesi gerekmektedir. Yeryüzüne gelen güneş ışınımı çok sayıda değişkenin fonksiyonudur. Bu faktörler;

- ✓ Astronomik faktörler (güneş sabiti, dünya güneş mesafesi, deklinasyon açısı)
- ✓ Coğrafik faktörler (bulunan yerin enlemi, boylamı ve deniz seviyesinden yüksekliği)
- ✓ Geometrik faktörler (yüzeyin azimut açısı, yüzeyin eğimi, güneş yükseklik açısı, güneşin azimut açısı)
- ✓ Fiziksel faktörler (hava moleküllerinin saçması, atmosferdeki su buharının azalması, tozların saçması, ozon ve karbondioksitin yutması vb.)
- ✓ Meteorolojik faktörler (bulutların tesiri, çevrenin yansıması) olarak sınıflandırılmaktadır.

Belirlenen bu faktörlerin hepsinin tesirini hesaplamak zordur. Bu nedenle, güneş ışınımı hesaplamalarında genellikle ölçülen güneş ışınımı verilerinden yararlanarak geliştirilen ampirik bağıntılar kullanılmaktadır (Solmaz, 2013).

Bu çalışmada, damıtma havuzunun yüzeylerine gelen güneş ışınımı değerleri Durmaz'ın (2007) yapmış olduğu çalışmadaki modellere göre hesaplanmıştır. Durmaz (2007)'a göre, literatürdeki modeller arasından 90^o eğimli yüzeyler için elde edilmiş en uygun modeller aşağıdaki gibidir.

Yatay düzleme gelen saatlik difüz ışınım hesabı için "Orgill ve Hollands" (1977) modeli kullanılmıştır (Durmaz, 2007).

$$k_{t,j} = \frac{I_{top,j}}{I_{0,j}} \tag{3.1}$$

$$I_{0,j} = I_{sc} * f * \cos\theta_z \tag{3.2}$$

$$f = 1 + 0.0033 * \cos\left(\frac{360 * n}{365}\right) \tag{3.3}$$

$$\begin{aligned} k_{d,j} &= 1 - 0.249 k_{t,j} ..... \rightarrow k_{t,j} < 0.35 \\ k_{d,j} &= 1.577 - 1.84 k_{t,j} . \rightarrow 0.35 \le k_{t,j} \le 0.75 \\ k_{d,j} &= 0.177 ..... \rightarrow k_{t,j} > 0.75 \end{aligned} \tag{3.4}$$

$$k_{d,j} = \frac{I_{d,j}}{I_{top,j}} \tag{3.5}$$

Eşitliklerde j alt indisi saati belirtmektedir. Burada, k_t: saatlik berraklık indeksi, f: katsayı, k_d: difüz ışınım oranı, I_d: yatay düzleme gelen saatlik difüz ışınım, I_{top}: yatay düzleme gelen saatlik toplam ışınımı göstermektedir.

Eğik düzleme gelen saatlik difüz ışınım için "Koronakis" (1986) modeli kullanılmıştır.

$$I_{d,\beta,j} = \frac{1}{3} I_{d,j}(2 + \cos\beta) \tag{3.6}$$

Burada β yüzeyin eğim açısıdır.

Eğik düzleme gelen saatlik direkt ışınımın hesabı için "Liu ve Jordan" (1960) modeli kullanılmıştır.

$$I_{b,\beta,j} = I_{b,j} * R_{b,j} \tag{3.7}$$

$$R_b = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} \tag{3.8}$$

Burada, θ ve θ_z sırasıyla geliş açısını ve zenit açısını göstermektedir. Ayrıca, cosθ'nın hesabı için aşağıdaki ifade kullanılmıştır (Duffie ve Beckman, 1980):

(3.9)

$$\delta = 23.45 * \sin\left[\frac{360}{365}(284 + n)\right] \tag{3.10}$$

Burada, n yılın n. gününü göstermektedir. Ayrıca, deklinasyon açısı δ, enlem açısı Φ, yüzeyin eğim açısı β, azimut açısı γ ve saat açısı ω olarak verilmiştir. Deklinasyon açısı yılın günlerine bağlı olarak eşitlik (3.10)'a göre hesaplanmakta, dik yüzeyler için β= 90°, sistemin yönüne bağlı olarak γ, güney için 0°, kuzey için 180°, doğu için -90°, batı için 90° alınabilmektedir. Saat açısı ise ω olup, eşitlik (3.11)'den hesaplanmaktadır.

$$\omega_j = (t_j - 12) * 15 \tag{3.11}$$

Burada t_j yerel saati göstermektedir.

Herhangi bir düzleme güneş ışınlarının ilk gelişi, gün doğuşu veya düzleme paralel geldiği ilk an, son gelişi ise gün batışı veya paralel geldiği son andır. Güneş ışınları yüzeye paralel geldiği zaman ω=90° olduğundan eşitlik (3.9)'dan

$$\begin{aligned} C_1 &= \cos\delta * \sin\beta * \sin\gamma \\ C_2 &= \cos\delta * (\cos\phi * \cos\beta + \cos\gamma * \sin\phi * \sin\beta) \\ C_3 &= \sin\delta * (\sin\phi * \cos\beta - \cos\gamma * \cos\phi * \sin\beta) \\ D^2 &= C_1^2 + C_2^2 - C_3^2 \end{aligned} \tag{3.12}$$

olmak üzere eşitlik (3.16) çözümleri elde edilir.

$$\begin{aligned} H_{1p} &= 2 * \tan^{-1}\frac{C_1 - D}{C_2 - C_3} \\ H_{2p} &= 2 * \tan^{-1}\frac{C_1 + D}{C_2 - C_3} \\ H &= \cos^{-1}(-\tan\delta * \tan(\phi - \beta)) \end{aligned} \tag{3.13}$$

Güneş ışınının düzleme paralel gelme açısı, güneş doğmadan önce veya güneş battıktan sonra olabilir. Bu sebeple, güneş ışınının eğik düzleme paralel geliş saat açısı mutlak değerce gün doğuş saat açısından daha büyükse, ilk geliş saat açısı gün doğuşunda olur. Güneş öğlesinde (ω=0°) güneş geliş açısı θ_0'ın kosinüsü eşitlik (3.9)'dan

$$\cos\theta_0 = C_2 + C_3 \tag{3.14}$$

olarak bulunur. Herhangi bir düzleme güneş ışınının ilk ve son düşüş saat açıları Çizelge 3.3. ile özetlenebilir.

Çizelge 3.3. Eğik düzleme güneşin ilk geliş ve son düşüş saat açıları

		İlk geliş saat açısı,H_1	Son düşüş saat açısı,H_2
$\cos\theta_0>0$	$D^2>0$	$\max(H_{1p},-H)$	$\min(H_{2p},H)$
	$D^2<0$	-H	H
$\cos\theta_0<0$	$D^2>0$	$\max(H_{2p},-H)$	$\min(H_{1p},H)$
	$D^2<0$	Güneş ışını yüzeye gelmez	

Eğik düzlemden saatlik yansıyan ışınım için literatürde sıklıkla kullanılan “Liu ve Jordan” (1962) modeli kullanılmıştır (Solmaz, 2013).

$$I_{r,B,j} = \frac{1}{3} * \lambda * I_{top,j} * (1 - \cos\beta) \tag{3.15}$$

Burada λ yüzey yansıtma oranı olup beton kaplı zeminler için 0.22’dir.

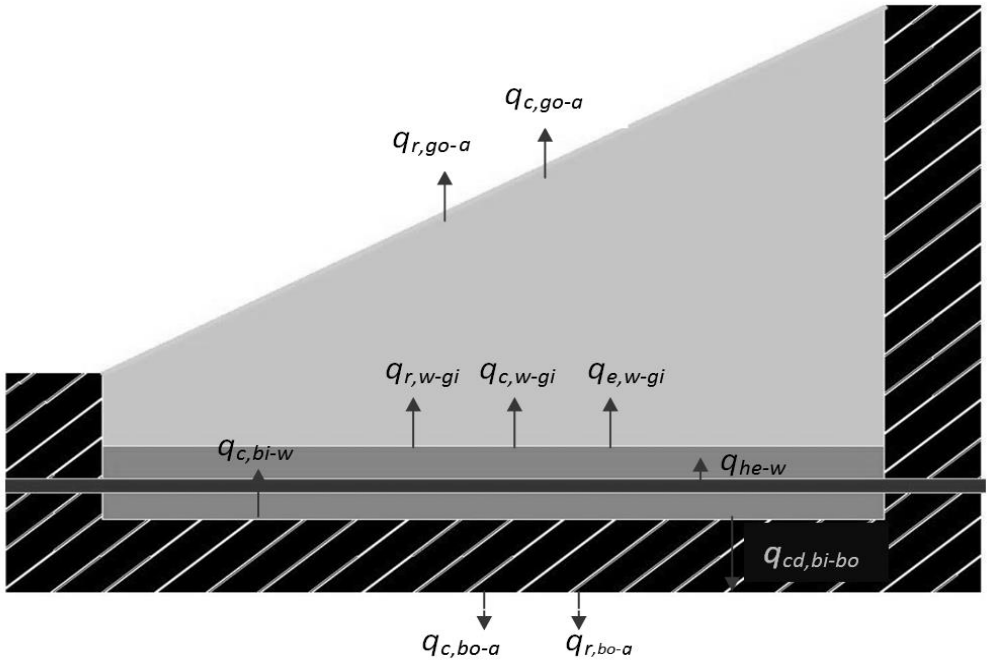
Bu eşitliklerin toplanması ile k yüzeyi için toplam ışınım;

$$I_{k,j} = I_{d,\beta,j} + I_{b,\beta,j} + I_{r,\beta,j} \tag{3.16}$$

eşitliği ile bulunabilir.

3.5.2. Damıtma Sistemi Hesap Metodolojisi

Güneş enerjisi ile çalışan bir damıtma sisteminde enerji analizi yapılırken ilk olarak damıtma havuzu içerisindeki ısı geçişleri tespit edilmelidir. Damıtma havuzunda gerçekleşen ısı geçişleri Şekil 3.25.’te gösterilmektedir.



Şekil 3.25. Damıtma havuzunda gerçekleşen ısı geçişleri

Camdan atmosfere ışınımla gerçekleşen ısı transferi ($q_{r,go-a}$) eşitlik (3.17) ve camdan atmosfere taşınımla gerçekleşen ısı transferi ($q_{c,go-a}$) eşitlik (3.18) ile hesaplanmaktadır (Sampathkumar vd., 2010).

$$q_{r,go-a} = h_{r,go-a}\left(T_{go} - T_a\right) \tag{3.17}$$

$$q_{c,go-a} = h_{c,go-a}\left(T_{go} - T_a\right) \tag{3.18}$$

Burada T_{go} cam dış yüzey sıcaklığını, T_a çevre sıcaklığını ifade etmektedir ve $h_{r,go-a}$ camdan çevreye ışınımla gerçekleşen ısı transferi katsayısını, $h_{c,go-a}$ camdan çevreye taşınımla gerçekleşen ısı transfer katsayısını ifade etmektedir.

Camdan çevreye gerçekleşen toplam ısı transfer katsayısı $h_{t,go-a}$ eşitlik (3.19)'daki gibi hesaplanmaktadır (Tiwari vd., 2009).

$$h_{t,go-a} = 5{,}7 + 3{,}8V_w \tag{3.19}$$

Burada V_w rüzgâr hızını ifade etmektedir.

Su yüzeyinden cama ışınımla gerçekleşen ısı transferi ($q_{r,w-gi}$) eşitlik (3.20)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$q_{r,w-gi} = h_{r,w-gi}\left(T_w - T_{gi}\right) \tag{3.22}$$

Burada T_w su sıcaklığını, T_{gi} cam iç yüzey sıcaklığını, $h_{r,w-gi}$ su yüzeyinden cama ışınımla gerçekleşen ısı transferi katsayısını ifade etmektedir ve eşitlik (3.21) ile hesaplanmaktadır (Sampathkumar vd., 2010).

$$h_{r,w-gi} = \varepsilon_{eff}\sigma\left\{\left(T_w + 273\right)^2 + \left(T_{gi} + 273\right)^2\right\}\left(T_w + T_{gi} + 546\right) \tag{3.21}$$

Burada ε_{eff} etkin yayıcılık, suyun ve camın yayıcılığına bağlı olarak eşitlik (3.22) ile hesaplanır.

$$\varepsilon_{eff} = \frac{1}{\left(1/\varepsilon_g\right) + \left(1/\varepsilon_w\right) - 1} \tag{3.22}$$

Su yüzeyinden cama taşınımla gerçekleşen ısı transferi ($q_{c,w-gi}$) eşitlik (3.23)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$q_{c,w-gi} = h_{c,w-gi} * \left(T_w - T_{gi}\right) \tag{3.23}$$

Burada $h_{c,w-gi}$ su yüzeyinden cama taşınımla gerçekleşen ısı transferi katsayısını ifade etmektedir ve eşitlik (3.24) ile hesaplanmaktadır (Sampathkumar vd., 2010).

$$h_{c,w-gi} = 0{,}884\left[\left(T_w - T_{gi}\right) + \frac{\left(P_w - P_{gi}\right)\left(T_w + 273\right)}{\left(268{,}9 * 10^3 - P_w\right)}\right]^{(1/3)} \tag{3.24}$$

Su yüzeyindeki kısmi buhar basıncı P_w eşitlik (3.25) ve camın iç yüzeyindeki kısmi buhar basıncı P_g eşitlik (3.26) ile hesaplanır (Sampathkumar vd., 2010).

$$P_w = \exp\left[25{,}317 - \left(\frac{5144}{273{,}15 + T_w}\right)\right] \tag{3.25}$$

$$P_{gi} = \exp\left[25{,}317 - \left(\frac{5144}{273{,}15 + T_{gi}}\right)\right] \tag{3.26}$$

Su yüzeyinden cama buharlaşma ile gerçekleşen ısı transferi ($q_{e,w-gi}$) eşitlik (3.27)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$q_{e,w-gi} = h_{e,w-gi} * \left(T_w - T_{gi}\right) \tag{3.27}$$

$h_{e,w-gi}$ su yüzeyinden cama taşınımla gerçekleşen ısı transferi katsayısını ifade etmektedir ve eşitlik (3.28) ile hesaplanmaktadır (Sampathkumar vd., 2010).

$$h_{e,w-gi} = 16{,}273 x 10^{-3} h_{c,w-gi}\left[\frac{P_w - P_{gi}}{T_w - T_{gi}}\right] \tag{3.28}$$

Isı değiştiricisinden suya gerçekleşen ısı transferi (q_{he-w}) eşitlik (3.29)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$q_{he-w} = \dot{m} * c_p * \Delta T \tag{3.29}$$

Burada ısı değiştiricisi içinde hareket eden suyun, kütle debisi $\dot{m}$, özgül ısısı c_p, ısı değiştiricisi giriş ve çıkış sıcaklıklarının farkı ΔT olarak ifade edilmektedir.

Havuz tabanından suya taşınımla gerçekleşen ısı transferi ($q_{c,bi\text{-}w}$) eşitlik (3.30)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$q_{c,bi-w} = h_{c,bi-w} * \left(T_{bi} - T_w\right) \tag{3.30}$$

Burada $h_{c,bi\text{-}w}$ havuz tabanından suya taşınımla gerçekleşen ısı transferi katsayısını ifade etmektedir ve eşitlik (3.31) ile hesaplanmaktadır.

$$h_{c,bi-w} = \frac{\bar{Nu} * k_{dw}}{L_c} \tag{3.31}$$

$\bar{Nu}$ nusselt sayısını ifade etmektedir ve eşitlik (3.32) ve (3.33) ile R_a (Rayleigh) sayısına bağlı olarak hesaplanmaktadır (Sampathkumar vd., 2010).Burada k_{dw} damıtma havuzu içerisindeki suyun ısıl iletkenliği olmaktadır.

$$\bar{Nu} = 0{,}54 R_a^{1/4} \qquad \text{Ra}<10^7 \tag{3.32}$$

$$\bar{Nu} = 0{,}15 R_a^{1/3} \qquad \text{Ra}>10^7 \tag{3.33}$$

R_a sayısı eşitlik (3.34) ile hesaplanmaktadır

$$R_a = \frac{g * \beta * \left(T_{bi} - T_w\right) * L_c^{\,3}}{v^2} \text{Pr}_d \tag{3.34}$$

Burada g; yerçekimi ivmesini, β; hacimsel genleşme katsayısını, T_{bi}; havuzun taban yüzey sıcaklığını, T_w; damıtma havuz suyu sıcaklığını, v; suyun kinematik viskozitesini, L_c; karakteristik uzunluğu ifade etmektedir. Bu eşitlikte diğer bir bilinmeyen Pr_d (Prandtl) sayısı eşitlik (3.35) ile hesaplanmaktadır.

$$\text{Pr}_d = \frac{\mu_{sud} * c_{pd}}{k_{dw}} \tag{3.35}$$

Burada c_{pd}; damıtma havuz suyu özgül ısısını, μ_{sud}; damıtma havuz suyu dinamik viskozitesini k_{dw}; damıtma havuzu içerisindeki suyun ısıl iletkenliğini ifade etmektedir.

Havuz iç kısmından dış kısmına iletimle gerçekleşen ısı transferi ($q_{cd,bi-bo}$) eşitlik (3.36)'daki gibi hesaplanmaktadır. Çelik sac levha çok ince olduğundan levha yüzeyleri (Şekil 3.26.) arası sıcaklık farkı ihmal edilmiştir.



Şekil 3.26. Damıtma havuzunda gerçekleşen iletimle ısı transferi

$$q_{cd,bi-bo} = h_{cd,bi-bo} * (T_{bi} - T_{bo}) \tag{3.36}$$

$h_{cd,bi-bo}$, havuz iç tabanından dış tabanına iletimle gerçekleşen ısı transferi katsayısını ifade etmektedir ve eşitlik (3.37) ile hesaplanmaktadır.

$$h_{cd,bi-bo} = [Li/ki]^{-1} \tag{3.37}$$

Burada L_i yalıtım malzemesi kalınlığını ve k_i yalıtım malzemesi ısıl iletkenliğini ifade etmektedir.

Havuz dış yüzeyinden çevreye gerçekleşen toplam ısı transfer katsayısı ($q_{t,bo-a}$) eşitlik (3.19) 'a benzer şekilde eşitlik (3.38) ile hesaplanmaktadır (Sampathkumar vd., 2010).

$$h_{t,go-a} = 5{,}7 + 3{,}8V_w \tag{3.38}$$

Yukarıdaki eşitlikler yardımıyla damıtma sisteminin deneysel analizi yapılabilmektedir. Fakat aynı ifadeler teorik analiz için yeterli değildir. Teorik analiz için havuz suyu sıcaklığının ve cam yüzey sıcaklığının tespit edilmesi gerekir. Bunun için öncelikle damıtma sisteminin toplam ısı transfer katsayısı bulunmalıdır.

Damıtma sisteminin toplam ısı kayıp katsayısının hesaplanmasında kolaylık sağlamak için sistem iki kısma ayrılmıştır. Birinci kısım üst ısı kayıp katsayısı olarak nitelendirilen cam yüzey kabul edilmiştir. İkinci kısım ise alt ısı kayıp katsayısı olarak nitelendirilen havuz tabanı kabul edilmiştir. Üst ısı kayıp katsayısı eşitlik 3.39 ile hesaplanmaktadır (Sampathkumar vd., 2010).

$$U_{t,top} = \frac{\left(h_{t,w-gi}\right)*\left(h_{t,go-a}\right)}{\left(h_{t,w-gi}\right)+\left(h_{t,go-a}\right)} \tag{3.39}$$

Burada $h_{t,b\text{-}a}$ havuz tabanından atmosfere gerçekleşen toplam ısı transfer katsayısı ifade etmekte ve eşitlik (3.40) ile hesaplanmaktadır (Sampathkumar vd., 2010).

$$h_{t,b-a} = \left[\frac{L_i}{K_i} + \frac{1}{h_{t,bo-a}}\right]^{-1} \tag{3.40}$$

Alt ısı kayıp katsayısı ($U_{t,bottom}$) eşitlik (3.41) ile hesaplanmaktadır. .

$$U_{t,bottom} = \frac{\left(h_{c,bi-w}\right)*\left(h_{t,b-a}\right)}{h_{c,bi-w} + h_{t,b-a}} \tag{3.41}$$

Damıtma havuzunun toplam ısı kayıp katsayısı eşitlik (3.42) ile hesaplanmaktadır.

$$U_{t,lost} = U_{t,top} + U_{t,bottom} \tag{3.42}$$

Damıtma sisteminden elde edilebilecek saatlik damıtılmış su kütlesi eşitlik (3.43) ile hesaplanabilmektedir(Sampathkumar vd., 2010).

$$m_{ew} = \frac{q_{e,w-gi}}{L} * 3600 * A_s \tag{3.43}$$

Burada; A_s damıtma havuz alanını ifade etmektedir, $q_{e,w\text{-}gi}$, su yüzeyinden cama buharlaşma ile gerçekleşen ısı transferidir ve daha önce eşitlik (3.27)'de hesaplanmıştır. Eşitlik (3.43)'te hesaplanan değer güneş enerjili damıtma havuzundan 1 saatte elde edilen damıtılmış su miktarını ifade etmektedir. Buharlaşma gizli ısısı (L) hesap edilirken sistem çalışma sıcaklığı (damıtma havuzu içerisindeki su sıcaklığı) göz önüne alınmalıdır. Sistem çalışma sıcaklığı 70 °C den küçük ise eşitlik (3.44), büyük ise eşitlik (3.45) kullanılmalıdır (Kumar, 2000).

$$L = 3{,}1615 * 10^{6} * \left[1 - \left(7{,}616 * 10^{-4} * T_w\right)\right] \tag{3.44}$$

$$L = 2{,}4935 * 10^{6} \left[\begin{array}{l} 1 - 9{,}4779 * 10^{-4} * T_w + 1{,}3132 * 10^{-7} * \\ {T_w}^{2} - 4{,}7974 * 10^{-9} * {T_w}^{3} \end{array}\right] \tag{3.45}$$

Teorik analiz için damıtılmış su kütlesini hesaplamadan önce sistemin çalışma sıcaklığının belirlenmesi gerekmektedir. Su sıcaklığı eşitlik (3.46) ve cam yüzey sıcaklığı eşitlik (3.47) ile hesaplanmaktadır (Tiwari, 2003).

$$T_w = \frac{f(t)}{\alpha} * \left[1 - \exp(-\alpha t)\right] + \left[T_{wo} * \exp(-\alpha t)\right] \tag{3.46}$$

$$T_g = \frac{\left(h_{t,w-gi}\right) * T_w + \left(h_{t,go-a}\right) * T_a}{\left(h_{t,w-gi}\right) + \left(h_{t,go-a}\right)} \tag{3.47}$$

Burada *f(t)*; toplam ısı transfer katsayısı, ışınım ve çevre sıcaklığına bağlı, *t* zaman aralığında bir fonksiyon olarak pasif ve aktif damıtma sistemleri için farklı olup sırasıyla eşitlik (3.48) ve (3.51) ile ifade edilmektedir. Pasif ve aktif sistem için bu farklılık güneş kolektörünün hesaplamaya katılmasından dolayıdır. Ayrıca α; t zaman aralığında bir fonksiyon olarak pasif ve aktif damıtma sistemi için sırasıyla eşitlik (3.50) ve (3.52)'de verilmiştir (Sampathkumar vd., 2010).

Pasif sistem için;

$$f(t) = \left[\frac{I(t)_s * (\alpha\tau)_{b,eff} + \left(U_{t,lost}\right) * \left(T_a\right)}{\left(W_w\right) * \left(C_w\right)}\right] \tag{3.48}$$

Burada $I(t)_s$ damıtma havuzunun eğik yüzeyine gelen güneş ışınımı, $(\alpha\tau)_{b,eff}$ havuz tabanı efektif yansıtma katsayısı olup eşitlik (3.49) ile hesaplanmıştır.

$$\left(\alpha\tau\right)_{b,eff} = {\alpha'}_b * \frac{h_{c,bi-w}}{h_{c,bi-w} + h_{t,b-a}} + {\alpha'}_w + {\alpha'}_g \frac{h_{t,w-gi}}{h_{t,w-gi} + h_{t,go-a}} \tag{3.49}$$

α'_b : damıtma havuzu tabanı yutma oranı

α'_w : suyun yutma oranı

α'_g ; camın yutma oranı

$$\alpha_p = \left[\frac{U_{t,lost}}{(M_w)*(C_w)} \right] \tag{3.50}$$

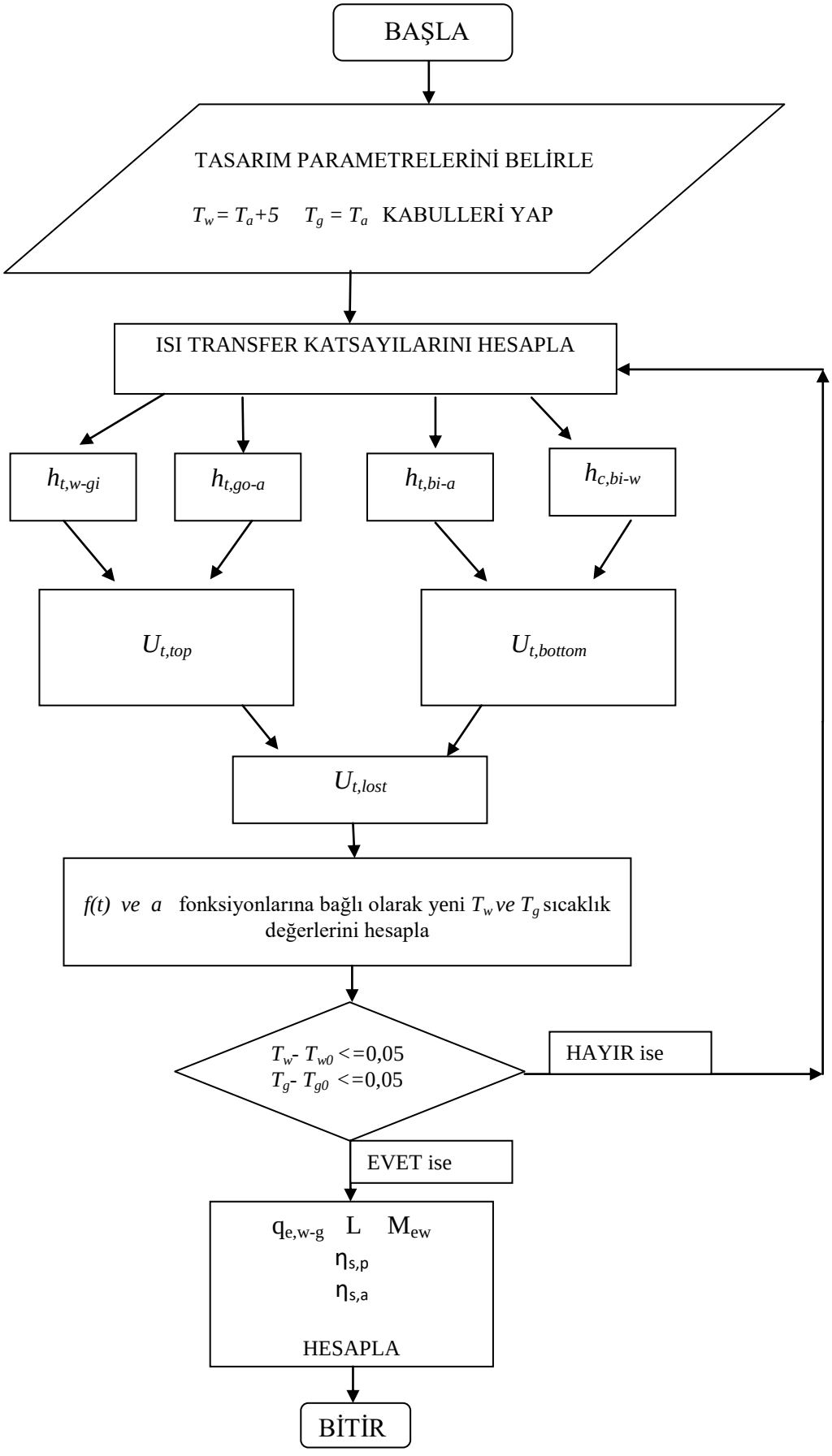
Burada M_w; Havuzdaki damıtılacak su kütlesi, C_w; havuzdaki suyun özgül ısısını ifade etmektedir.

Aktif sistem için f(t) fonksiyonu eşitlik 3.51 ile hesaplanmaktadır.

$$f(t) = \left[\frac{(\alpha\tau)_{b,eff} * A_s * I(t) + \left(F_c * A_c * (\alpha\tau)_{c,eff} * I_c(t)\right) + \left(U_{t,lost} + U_{c,lost} * F_c * A_c\right) * T_a}{(M_w)*(C_w)} \right] \tag{3.51}$$

$$\alpha_a = \left[\frac{U_{t,lost} + \left(U_{c,lost} * F_c * A_c\right)}{(M_w)*(C_w)} \right] \tag{3.52}$$

Damıtma sisteminin parametreleri belirlendikten sonra teorik analiz için bazı kabuller yapılmıştır. Damıtma havuzunun üstünü örten saydam cam örtü kalınlığı düşük değerde olduğundan cam yüzeydeki sıcaklık dağılımının uniform olduğu (cam iç yüzey ve dış yüzey sıcaklıkları eşit), buhar ve su sızdırmazlığının olmadığı kabulleri yapılmıştır. Ayrıca hesaplama yapılırken sistemin çalışma sıcaklığını belirlemek için iterasyon yapılmıştır. İterasyonun ilk adımı için su sıcaklığı çevre sıcaklığından 5^0 fazla kabul edilmiştir. Saydam örtünün sıcaklığı ise çevre sıcaklığına eşit kabul edilmiştir (Karahasanoğlu 2010). Bu değerlere göre yeni su ve cam sıcaklığı hesaplanmıştır. Yeni sıcaklıklara göre ısı transfer katsayıları, damıtılmış su kütlesi ve verim hesaplanmıştır. Şekil 3.27.' de bu teorik analizin algoritması gösterilmektedir.



Şekil 3.27. Teorik analiz algoritması

Damıtma sisteminin veriminin belirlenmesinde, pasif damıtma sistemi için eşitlik (3.53), aktif damıtma sistemi için eşitlik (3.54) kullanılmıştır.

$$\eta_{s,p} = \frac{\sum m_{ew} L}{\sum (I(t)_s * A_s * 3600)} \tag{3.53}$$

$$\eta_{s,a} = \frac{\sum m_{ew} L}{\sum (I(t)_c * A_c * 3600) + \sum (I(t)_s * A_s * 3600)} \tag{3.54}$$

Burada, $I(t)_c$ kollektör yüzeyine gelen ışınım, $I(t)_s$ damıtma havuzuna gelen ışınım, A_c kollektör alanı, A_s damıtma havuz alanı, M_{ew} damıtılmış su kütlesi, L buharlaşma gizli ısısını ifade etmektedir. Yukarıdaki eşitlikler incelendiğinde damıtma verimi, sisteme gelen toplam güneş ışınım enerjisinin ne kadarının buharlaşma enerjisine aktarıldığını ifade etmektedir.

3.5.3. Belirsizlik Analizi

Deneysel çalışmaların tümü, çeşitli nedenlerden dolayı hata içerir. Deneysel çalışmalarda yapılan bu hatalar genellikle üç gurupta toplanabilir. Bunlardan birincisi; deneyi yapan araştırmacının dikkatsizlik ve tecrübesizliğinden ileri gelen hatalardır. Deney tesisatlarında kullanılan ölçme cihazlarının yanlış seçiminden veya ölçme sistemlerinin yanlış tasarımından kaynaklanan hatalar bu gurup içinde düşünülebilir. İkinci gurup hatalar; sabit veya sistematik olarak adlandırılan hatalardır. Bunlar genellikle tekrar edilen okumalarda görülen ve nedenleri çoğunlukla tespit edilemeyen hatalardır. Üçüncü gurup hatalar ise; rastgele hatalardır. Bunlar ise; deneyi yapan kişilerin değişmesinden, deneyi yapanların dikkatlerinin zamanla azalmasından, elektrik geriliminin değişmesinden, ölçme aletlerindeki histerezis olaylarından veya cihazların ısınması nedeniyle elektronik ölçme aletlerinde oluşan salınımlardan kaynaklanabilmektedir.

Deneysel sonuçların geçerliliğinin belirlenebilmesi için mutlaka bir hata analizi yapmak gerekmektedir. Deneylerden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan parametrelere ait hata miktarlarının/oranlarının tespiti için pratikte bir kaç yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler içerisinde, akılcı yaklaşım (commonsense basis) ve belirsizlik analizi (uncertainty analysis) yöntemleri en çok kullanılanlarıdır. Son

yıllardaki çalışmalarda hata analizinde; ilk olarak Kline ve McClintock tarafından ortaya atılan ve diğerlerine göre daha hassas bir yöntem olan belirsizlik analizi yöntemi daha çok tercih edilmektedir (Bilen, 2011).

Belirsizlik analizi yönteminde ise herhangi bir deney tesisatı aracılığı ile tespit edilmesi/hesaplanması gereken büyüklük *R*, bu büyüklüğe etki eden n adet bağımsız değişkenler ise; $x_1, x_2, x_3, ..., x_n$ olduğunda; $R= R(x_1 , x_2 , x_3 ,....., x_n)$ yazılabilir.

Deneylerde etkili olan her bir bağımsız değişkene ait sabit hata miktarları (belirsizlikler); $\pm Wx_1, \pm Wx_2, \pm Wx_3, \ldots \pm Wx_n$, ise, *R* büyüklüğünün sabit hata miktarı (belirsizliği) $\pm W_R$ ise eşitlik (3.55)'deki gibi yazılabilir.

$$w_R = \frac{\partial R}{\partial x_1} w_{x_1} + \frac{\partial R}{\partial x_2} w_{x_2} + \frac{\partial R}{\partial x_3} w_{x_3} + \ldots\ldots + \frac{\partial R}{\partial x_n} w_{x_n} \tag{3.55}$$

Bu durumda, R büyüklüğüne ilişkin maksimum belirsizlik eşitlik (3.56) ile ifade edilir.

$$w_{R_{maks.}} = \left|\frac{\partial R}{\partial x_1} w_{x_1}\right| + \left|\frac{\partial R}{\partial x_2} w_{x_2}\right| + \left|\frac{\partial R}{\partial x_3} w_{x_3}\right| + \ldots\ldots + \left|\frac{\partial R}{\partial x_n} w_{x_n}\right| \tag{3.56}$$

Bu durum, mümkün olabilecek en kötü durum olup, olasılığı en küçüktür. Bu durumu iyileştirebilmek için, Pythagorean Teoremine göre belirsizlik eşitlik (3.57) yazılır.

$$w_R = \pm\left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_{x_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_{x_2}\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_3} w_{x_3}\right)^2 + \ldots\ldots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_{x_n}\right)^2\right]^{1/2} \tag{3.57}$$

Yukarıdaki bağıntı dikkatle incelendiği zaman, belirsizlik analizi yönteminin diğer yöntemlere göre en önemli üstünlüklerinden birinin, deneylerde en büyük hataya neden olan değişkenin hemen tespit edilebilmesinin olduğu görülecektir. Böylece hatayı azaltmak için, söz konusu bu değişkenin ölçümünde kullanılan cihaz üzerine yoğunlaşılabilir. Ayrıca, yukarıdaki bağıntıda yer alan terimlerin eş boyutluluk ilkesi açısından uyumlu olduğuna dikkat edilmelidir.

Deneylerde kullanılan ölçüm cihazlarında meydana gelebilecek belirsizlikler (sabit hata miktarları), bu cihazların kalibrasyonu yapılmak suretiyle belirlenir. Buna

göre; bağımsız değişkenlere (ölçülen parametrelere) ilişkin belirsizlikler bilindiğinden, yukarıdaki bağıntı kullanılmak suretiyle bağımlı değişkenlere (hesaplanan parametrelere) ilişkin belirsizlikler tespit edilebilir (Solmaz, 2013).

Bu bilgiler ışığında ölçüm değerlerine göre tespit edilen damıtma sistemi verimindeki belirsizlikler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

W_{Mew}: damıtılmış su miktarı ölçümünde yapılabilecek toplam hata
W_L: gizli buharlaşma ısısının tespitinde yapılabilecek toplam hata
$W_{I(t)s}$: damıtma havuzuna gelen ışınım tespitinde yapılabilecek toplam hata
$W_{I(t)c}$: kolektöre gelen ışınım tespitinde yapılabilecek toplam hata
W_{As}: damıtma havuzu alanı tespitinde yapılabilecek toplam hata
W_{Ac}: kolektör alanı tespitinde yapılabilecek toplam hata
$W_{\eta p}$: pasif sistemde verim tespitinde yapılabilecek toplam hata
$W_{\eta a}$: aktif sistemde verim tespitinde yapılabilecek toplam hata

Pythagorean Teoremine göre damıtma verim formülündeki her bir değişken için türev alınarak aşağıdaki eşitlikler oluşturulmuştur.

Pasif sistemde verim için belirsizlik ifadesi;

$$\eta_p = \frac{m_{ew} L}{(I(t)_s * A_s * 3600)} \tag{3.58}$$

Damıtılmış su kütlesine göre türev;

$$\frac{\partial \eta_p}{\partial m_{ew}} = \frac{L}{[(I(t)_s * A_s * 3600)]} \tag{3.59}$$

Gizli buharlaşma ısısına göre türev;

$$\frac{\partial \eta_p}{\partial L} = \frac{m_{ew}}{[(I(t)_s * A_s * 3600)]} \tag{3.60}$$

Damıtma havuzuna gelen ışınıma göre türev;

$$\frac{\partial \eta_p}{\partial I(t)_s} = -\frac{m_{ew} * L * A_s * 3600}{[(I(t)_s * A_s * 3600)]^2} \tag{3.61}$$

Damıtma havuz alanına göre türev;

$$\frac{\partial \eta_p}{\partial A_s} = -\frac{m_{ew} * L * I(t)_s * 3600}{\left[(I(t)_s * A_s * 3600)\right]^2} \tag{3.62}$$

Yukarıdaki eşitlikler çözülerek pasif sistemde verim için belirsizlik ifadesi eşitlik (3.63)'deki gibi yazılabilir.

$$W\eta_p = \pm\left[\left(\frac{\partial \eta_p}{\partial m_{ew}} * Wm_{ew}\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_p}{\partial L} * W_L\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_p}{\partial I(t)_s} * W_{I(t)_s}\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_p}{\partial A_s} * W_{A_s}\right)^2\right]^{1/2} \tag{3.63}$$

Pasif sistem için bağıl belirsizlik ifadesi eşitlik (3.64)'deki gibi yazılabilir.

$$\frac{W\eta_p}{\eta_p} * 100 \tag{3.64}$$

Aktif sistemde verim için belirsizlik ifadesi;

$$\eta_a = \frac{m_{ew} L}{(I(t)_c * A_c * 3600) + (I(t)_s * A_s * 3600)} \tag{3.65}$$

Damıtılmış su kütlesine göre türev;

$$\frac{\partial \eta_a}{\partial m_{ew}} = \frac{L}{\left[(I(t)_c * A_c * 3600) + (I(t)_s * A_s * 3600)\right]} \tag{3.66}$$

Gizli buharlaşma ısısına göre türev;

$$\frac{\partial \eta_a}{\partial L} = \frac{m_{ew}}{\left[(I(t)_c * A_c * 3600) + (I(t)_s * A_s * 3600)\right]} \tag{3.67}$$

Kolektöre gelen ışınıma göre türev;

$$\frac{\partial \eta_a}{\partial I(t)_c} = -\frac{m_{ew} * L * A_c * 3600}{\left[(I(t)_c * A_c * 3600) + (I(t)_s * A_s * 3600)\right]^2} \tag{3.68}$$

Damıtma havuzuna gelen ışınıma göre türev;

$$\frac{\partial \eta_a}{\partial I(t)_s} = -\frac{m_{ew} * L * A_s * 3600}{\left[(I(t)_c * A_c * 3600) + (I(t)_s * A_s * 3600)\right]^2} \tag{3.69}$$

Kollektör alanına göre türev;

$$\frac{\partial \eta_a}{\partial A_c} = -\frac{m_{ew} * L * I(t)_c * 3600}{\left[(I(t)_c * A_c * 3600) + (I(t)_s * A_s * 3600)\right]^2} \tag{3.70}$$

Damıtma havuz alanına göre türev;

$$\frac{\partial \eta_a}{\partial A_s} = -\frac{m_{ew} * L * I(t)_s * 3600}{\left[(I(t)_c * A_c * 3600) + (I(t)_s * A_s * 3600)\right]^2} \tag{3.71}$$

Yukarıdaki eşitlikler çözülerek aktif sistem için belirsizlik ifadesi eşitlik (3.78)'deki gibi yazılabilir.

$$W\eta_a = \pm\left[\begin{array}{l}\left(\frac{\partial \eta_a}{\partial m_{ew}} * Wm_{ew}\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_a}{\partial L} * W_L\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_a}{\partial I(t)_c} * W_{I(t)_c}\right)^2 \\ + \left(\frac{\partial \eta_a}{\partial I(t)_s} * W_{I(t)_s}\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_a}{\partial A_c} * W_{A_c}\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_a}{\partial A_s} * W_{A_s}\right)^2\end{array}\right]^{1/2} \tag{3.72}$$

Aktif sistemde verim için bağıl belirsizlik ifadesi eşitlik (3.73)'deki gibidir.

$$\frac{W\eta_a}{\eta_a} * 100 \tag{3.73}$$

Aktif sistem ve pasif sistem verimi için hesaplanan ortalama bağıl belirsizlik sonuçları Çizelge 3.3. 'te gösterilmektedir.

Çizelge 3.3. Sistem Veriminin Ortalama Bağıl Belirsizliği (EK 2'de belirtilen şartlar için)

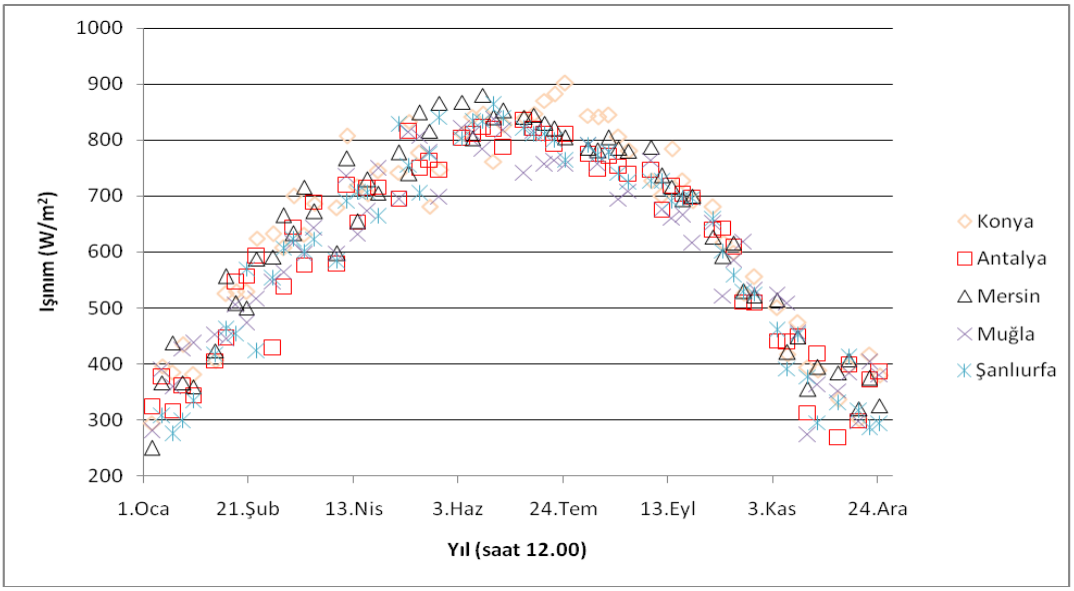
	Aktif sistem	Pasif Sistem
Bağıl Belirsizlik (%)	± 3, 83	± 3,28

Belirsizlik analizi sonuçlarına göre aktif sistemde daha çok parametre (kolektör, ısı değiştiricisi vb.) dikkate alındığı için, bağıl belirsizlik oranı pasif sisteme göre daha fazladır.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Beş Farklı İl İçin Yıllık Damıtma Analizi

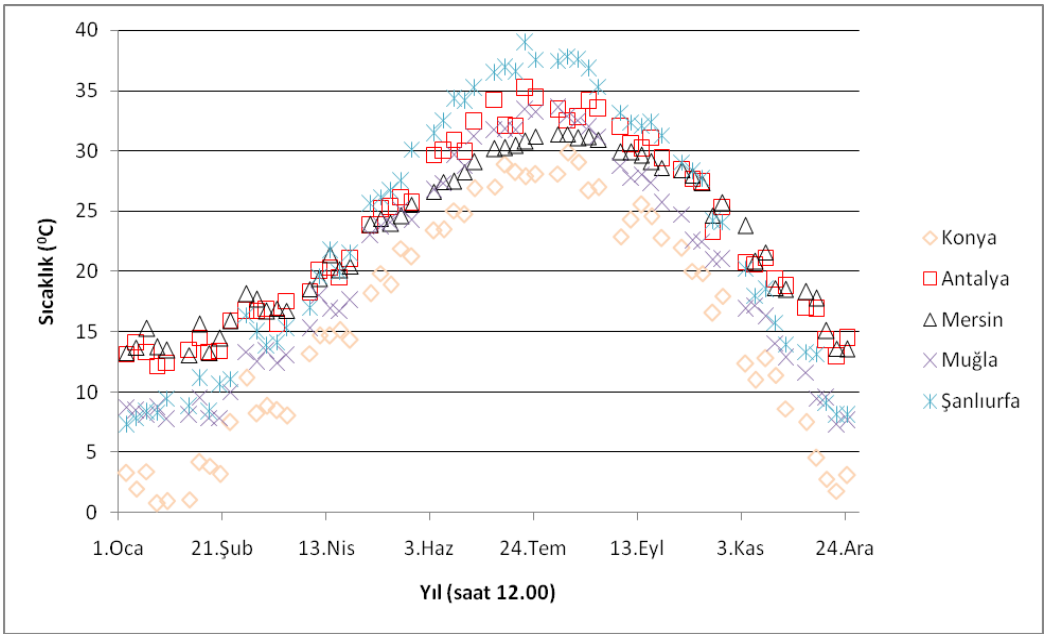
Güneş enerjisi ile çalışan damıtma sistemi analizi için, ilk olarak DMİ Genel Müdürlüğü'nden temin edilen 1997–2008 yılları arasında ki veriler yardımıyla Konya, Mersin, Muğla, Şanlıurfa ve Antalya illeri için teorik analiz yapıldı. Güneş enerjili damıtma sisteminin teorik analizi, beş il için gün doğumundan gün batımına kadar olan zaman içerisinde, her ayın 5, 10, 15, 20 ve 25'inci günlerindeki güneş ışınım ve çevre sıcaklığı değerleri kullanılarak yapıldı. Ayrıca bu analiz için damıtma sistemi tasarım parametrelerinde belirtilen değerler (2,3 m^2 kollektör alanı ve 1,25 m^2 havuz alanı vd.) kullanıldı. Şekil 4.1.'de beş ilin yıl boyunca saat 12.00'da ölçülen ışınım değerleri gösterilmektedir.



Şekil 4.1. İllere göre yıl boyunca ışınım değerleri

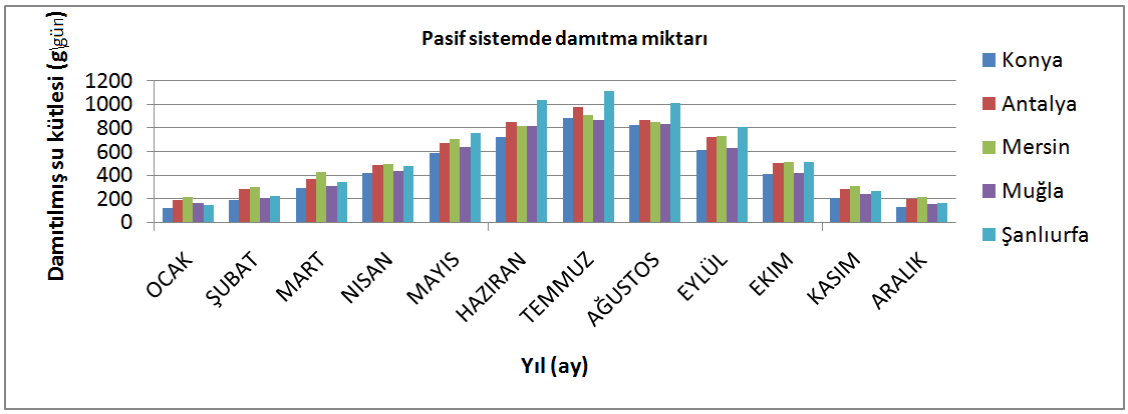
Şekil 4.1.'e göre beş il arasında en yüksek ışınım değerleri, Konya'da 25 Temmuz günü 902 W/m^2, Mersin'de 15 Haziran günü 880 W/m^2, Şanlıurfa'da 20 Haziran günü 862 W/m^2, Muğla'da 20 Haziran günü 836 W/m^2, Antalya'da 5 Temmuz günü 834 W/m^2 olmaktadır.

Damıtma sistemi teorik analizi için gerekli olan bir diğer nicelik sıcaklık değeridir. Şekil 4.2.'de beş ilin yıl boyunca saat 12.00'da ölçülen sıcaklık değerleri gösterilmektedir.

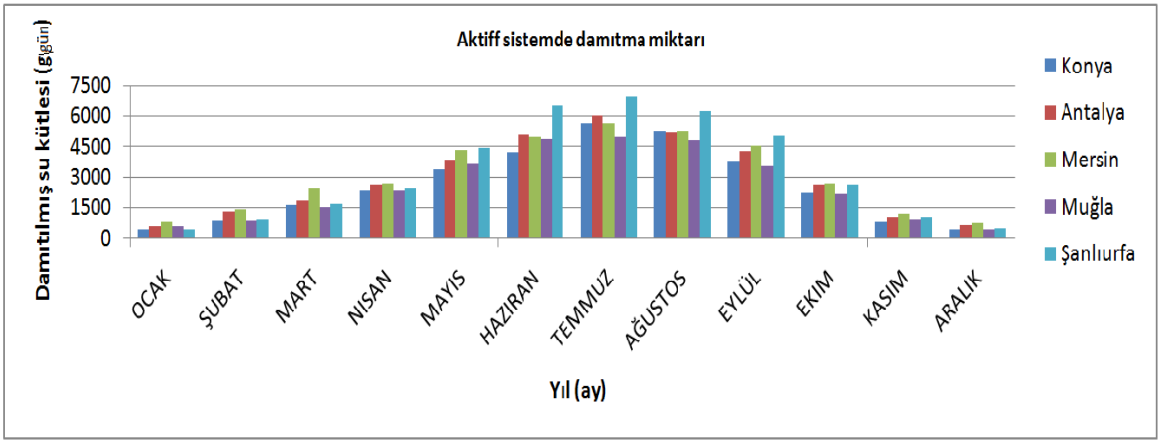


Şekil 4.2. İllere göre yıl boyunca sıcaklık değerleri

Şekil 4.2.'ye göre beş il arasında en yüksek sıcaklık değerleri, Şanlıurfa'da 20 Temmuz günü 39 ^{0}C, Antalya'da 20 Temmuz günü 35 ^{0}C, Muğla'da 5 Ağustos günü 33 ^{0}C, Mersin'de 10 Ağustos günü 32 ^{0}C, Konya'da 10 Ağustos günü 30 ^{0}C, olmaktadır. Şekil 4.1. ve Şekil 4.2.' deki değerler yıllık olarak incelendiğinde ışınım miktarı büyükten küçüğe sırasıyla Mersin, Konya, Şanlıurfa, Antalya ve Muğla şeklindedir. Yıl boyu sıcaklık değerleri ise büyükten küçüğe sırasıyla Antalya, Mersin, Şanlıurfa, Muğla ve Konya şeklindedir. Bu bilgilerin yanında damıtma sisteminin teorik analizi için deneysel sistemin parametreleri kullanıldı. Beş il için aktif ve pasif damıtma sisteminde üretilen günlük damıtılmış su kütlesinin yıl boyu değişimi Şekil 4.3.'te Şekil 4.4.'te gösterilmektedir.



Şekil 4.3. Pasif sistemde illere göre yıl boyunca günlük damıtma miktarı



Şekil 4.4. Aktif sistemde illere göre yıl boyunca günlük damıtma miktarı

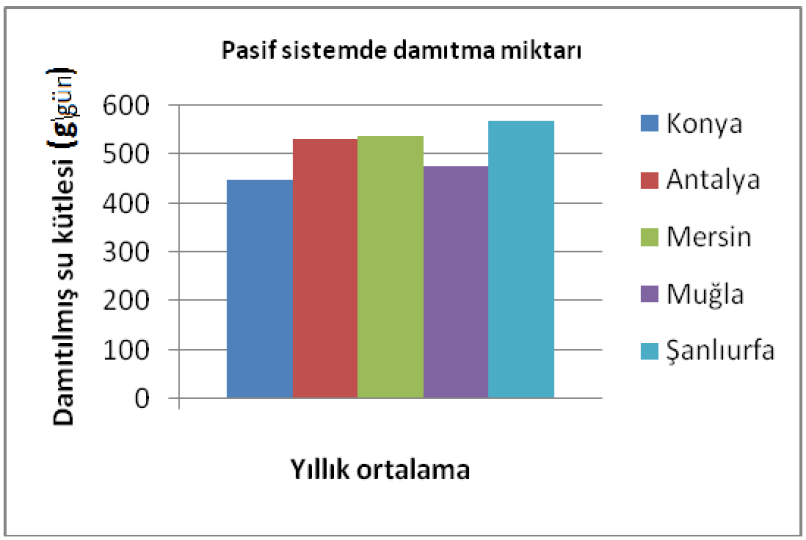
Güneş enerjili damıtma sistemlerinde özellikle yaz aylarında damıtma miktarı ışınım ve sıcaklık değerlerindeki artışa bağlı olarak artmaktadır. Beş il içinde en fazla damıtılmış su üretimi Temmuz ayında gerçekleşmektedir. Konya'da temmuz ayı için günde ortalama üretilen damıtılmış su miktarı pasif sistemde 888 gram, aktif sistemde 5677 gram olmaktadır. Bu değerlere göre aktif sistemde üretilen damıtılmış su miktarı pasif sisteme göre altı kat daha fazladır. Çizelge 4.1.' de aktif ve pasif sistemde beş il için aylık ortalama verim değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. Beş İlin Damıtma Sistemi Veriminin Yüzde Olarak Aylık Değişimi

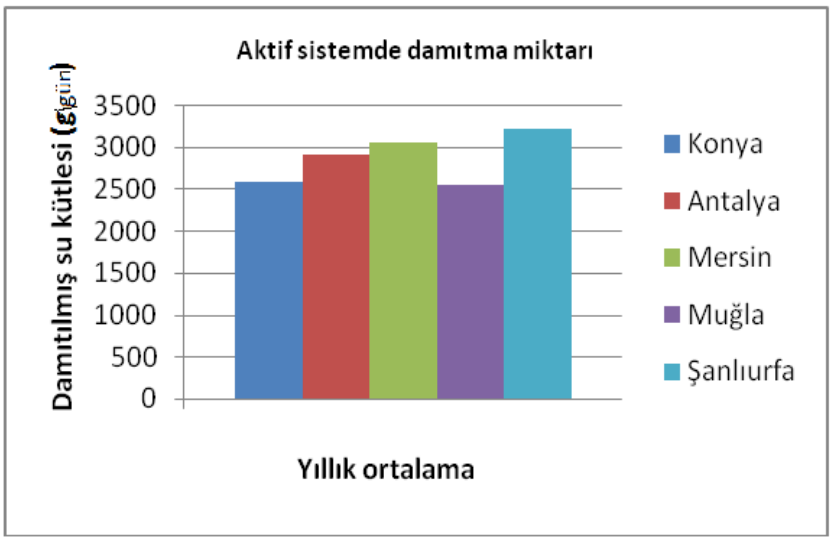
Verim(%)	KONYA		ANTALYA		MERSİN		MUĞLA		ŞANLIURFA	
AY	PASİF	AKTİF	PASİF	AKTİF	PASİF	AKTİF	PASİF	AKTİF	PASİF	AKTİF
OCAK	4,42	3,54	7,15	5,56	6,62	7,70	6,08	5,76	6,09	5,43
ŞUBAT	3,67	4,72	5,73	7,17	5,78	7,76	4,67	5,60	4,89	5,85
MART	4,40	7,06	6,11	8,86	6,20	10,53	5,17	7,49	5,66	8,28
NİSAN	5,58	9,62	6,73	11,35	6,77	11,48	6,07	10,07	6,72	10,94
MAYIS	7,05	12,92	8,25	15,10	8,18	16,06	7,84	14,41	8,94	16,91
HAZİRAN	8,22	15,79	9,60	18,94	9,11	18,36	9,17	18,09	11,00	23,11
TEMMUZ	9,45	19,61	10,82	22,00	10,05	20,58	10,27	19,42	12,11	25,11
AĞUSTOS	9,40	18,68	10,57	19,92	10,13	19,76	10,25	18,85	11,81	23,31
EYLÜL	8,07	14,05	9,78	16,74	9,59	17,33	9,01	14,49	10,37	18,97
EKİM	7,22	9,71	9,18	12,16	9,23	12,51	8,33	10,28	9,13	12,22
KASIM	7,25	5,63	10,40	7,86	8,89	8,16	9,04	6,98	7,77	7,11
ARALIK	6,26	4,01	9,24	6,30	7,62	6,41	6,70	4,20	7,42	5,25

Çizelge 4.1.' deki verim değerlerine göre kış sezonunda (Aralık, Ocak, Şubat) verim en düşük seviyede, yaz sezonunda (Haziran, Temmuz, Ağustos) ise en yüksek seviyededir.

Şekil 4.5’ te ve Şekil 4.6’da aylık değerlerin ortalaması alınarak aktif ve pasif sistemde damıtılmış su kütleleri beş il için sunulmuştur. Bu şekiller yılda ortalama bir günde elde edilebilecek damıtma miktarını ifade etmektedir ve beş il arasında mukayese için kolaylık sağlamaktadır.



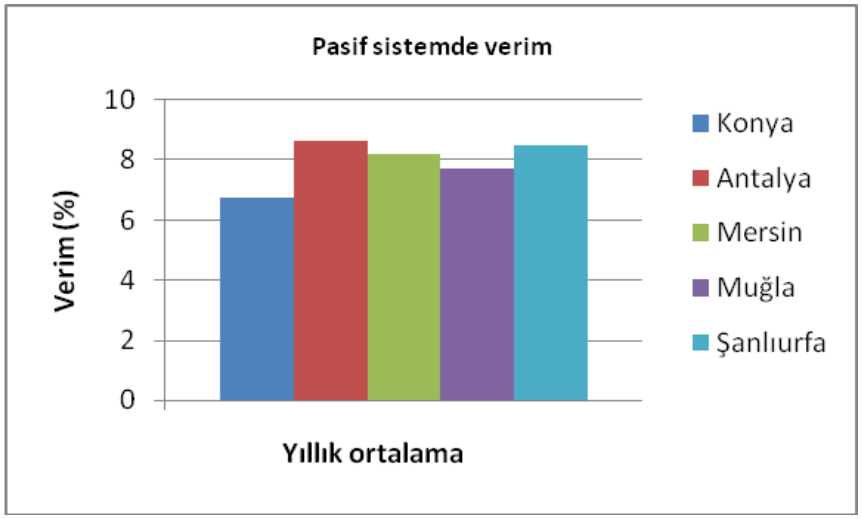
Şekil 4.5. Pasif sistemde illere göre yıllık ortalama günlük damıtma miktarı



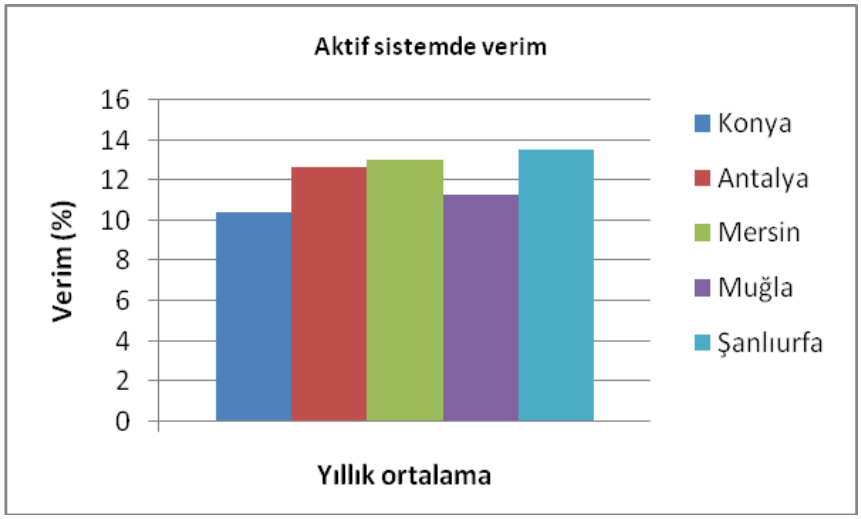
Şekil 4.6. Pasif sistemde illere göre yıllık ortalama günlük damıtma miktarı

Şekil 4.5. ve Şekil 4.6.’ daki değerler incelendiğinde damıtma miktarı pasif sistem için büyükten küçüğe sırasıyla Şanlıurfa, Mersin, Antalya, Muğla ve Konya şeklindedir. Aktif sistem için ise büyükten küçüğe sırasıyla Şanlıurfa, Mersin, Antalya, Konya ve Muğla şeklindedir. Damıtma sistemi analizi için damıtılmış su üretim miktarının yanında damıtma veriminin de incelenmesi gerekmektedir. Şekil 4.7’ de ve

Şekil 4.8'de aylık değerlerin ortalaması alınarak aktif ve pasif sistemde verim beş il için sunulmuştur.



Şekil 4.7. Pasif sistemde illere göre yıllık ortalama verim



Şekil 4.8. Aktif sistemde illere göre yıllık ortalama verim

Bu sonuçlara göre bir damıtma sisteminde yıllık ortalama en fazla verim, pasif sistem de Antalya'da % 8,63, aktif sistemde ise Şanlıurfa'da % 13,54 bulundu. En düşük yıllık ortalama verim, pasif sistem de Konya'da % 6,74, aktif sistemde yine Konya'da % 10,44 bulundu. Yıl boyunca yapılan analizde beş il arasında en yüksek verim, 20 Temmuz'da Şanlıurfa'da pasif sistem için %12,2 ve yine aynı tarihte Şanlıurfa'da aktif sistem için %25,68 olmaktadır. Aktif sistemde güneş kolektörü kullanıldığı için damıtma su sıcaklığı pasif sisteme göre daha fazla olmaktadır. Damıtma miktarının ve verimin aktif sistemde daha yüksek çıkmasının nedeni sıcaklık

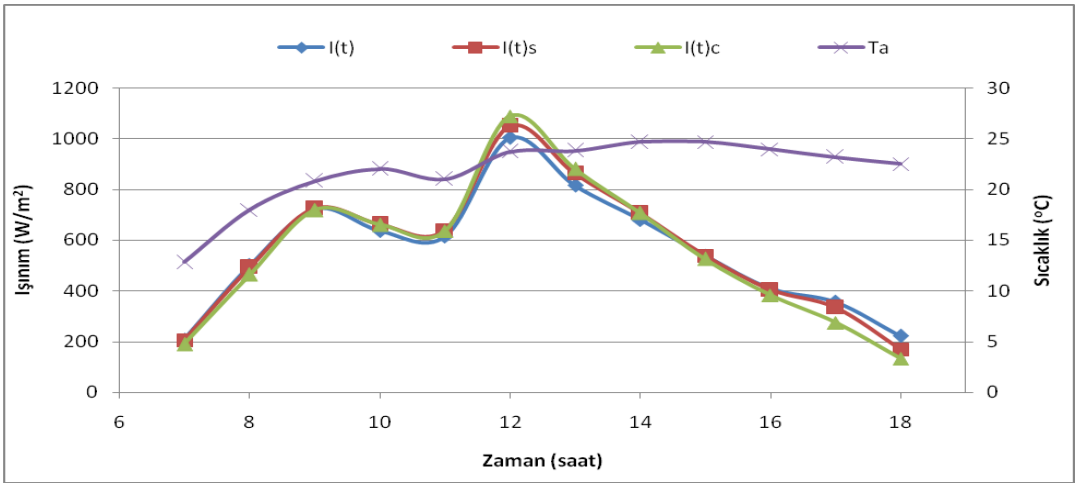
artışına bağlı olarak havuz suyundan cam yüzeye buharlaşma ile gerçekleşen ısı transferi hızının artış göstermesinden dolayıdır.

4.2. Teorik ve Deneysel Sonuçların Aktif ve Pasif Sistemde Karşılaştırılması

Teorik analizin doğruluğunu irdelemek için deneysel analizle karşılaştırılması gereklidir. Aktif ve pasif sistem için ayrı ayrı deneyler yapıldı ve yapılan bu deneylerdeki günlerin 7.00-19.00 saatleri arasındaki ışınım ve sıcaklık değerleri kullanılarak yapılan teorik analizin sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırıldı.

24 Mayıs 2016 tarihli pasif sistem için yapılan deney:

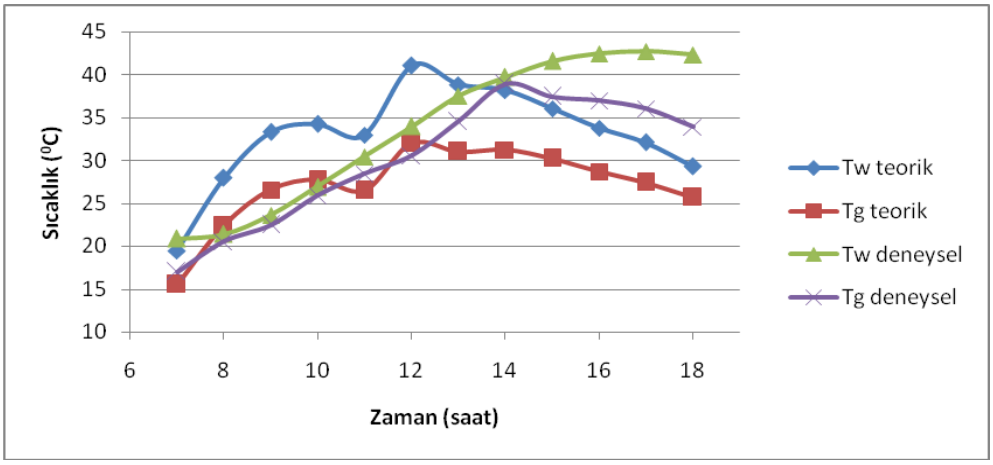
Şekil 4.9.'da 24 Mayıs 2016 tarihli pasif sistem için yapılan deneyde ölçülen ışınım ve sıcaklık değerleri gösterilmektedir.



Şekil 4.9. Sıcaklık ve ışınım değerlerinin saatlik değişimi

Şekil 4.9.'da yatay düzleme gelen maksimum ışınım saat 12.00'da 1003,16 W/m^2 ve maksimum çevre sıcaklığı saat 15.00'da 24,7 ^{0}C olarak ölçülmüştür. Üçüncü bölümde bahsedilen eğimli yüzeylere gelen ışınım eşitlikleri kullanılarak kolektöre ve damıtma havuzuna gelen ışınım hesaplandı. Saat 12.00 'da kolektörün eğimli yüzeyine gelen maksimum ışınım değeri 1089,18 W/m^2, damıtma havuzunun eğimli yüzeyine gelen maksimum ışınım değeri ise 1049,56 W/m^2 olarak hesaplandı.

Damıtma sisteminin teorik analizinde yukarıdaki ışınım ve sıcaklık değerleri kullanılarak, damıtma havuzu içerisindeki su ve cam sıcaklıkları saatlik hesaplanmıştır. Bu sıcaklıklar deneysel sistemde doğrudan ölçüldü. Şekil 4.10.'da teorik ve deneysel su ve cam sıcaklıklarının gün içerisinde saatlik olarak değişimi gösterilmektedir.

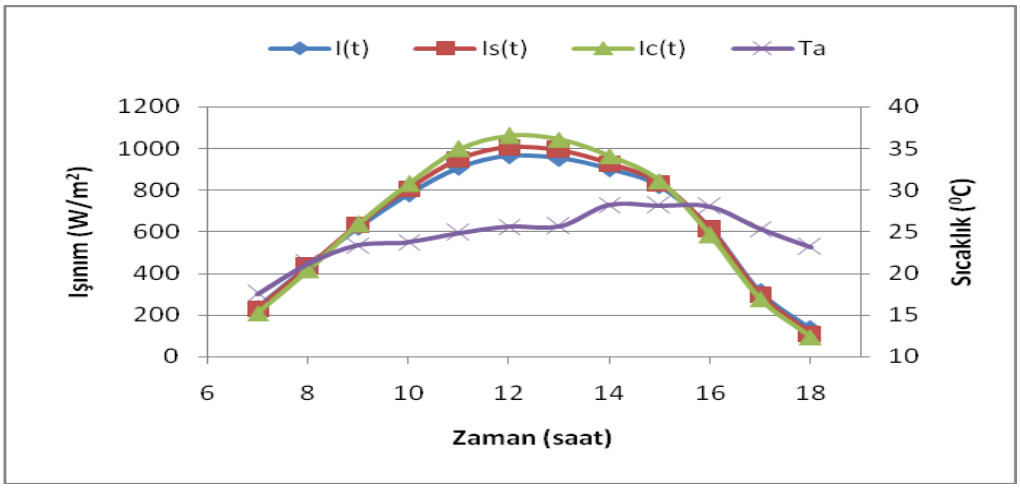


Şekil 4.10. Su ve cam yüzey sıcaklıklarının saatlik değişimi

Pasif sistem için yapılan teorik analizde su sıcaklığı maksimum saat 12.00'da 41,07 ^{0}C, cam sıcaklığı maksimum 32,02 ^{0}C dir. Deneysel sistemde su sıcaklığı maksimum saat 17.00'da 42,73 ^{0}C, cam sıcaklığı ise maksimum 14.00'da 38,89 ^{0}C dir. Şekil 4.10.'a göre teorik su ve cam sıcaklıkları arasındaki fark deneysel sıcaklıklara göre saat 14.00'a kadar daha fazla iken bu saatten sonra deneysel sistemde sıcaklık farkı gittikçe artmaktadır. Bunun nedeni yalıtımlı havuz içerisindeki su sıcaklığı çok az değişim gösterirken cam yüzey sıcaklığı güneş ışınımına ve çevre sıcaklığındaki düşüşe bağlı olarak azalmasından dolayıdır.

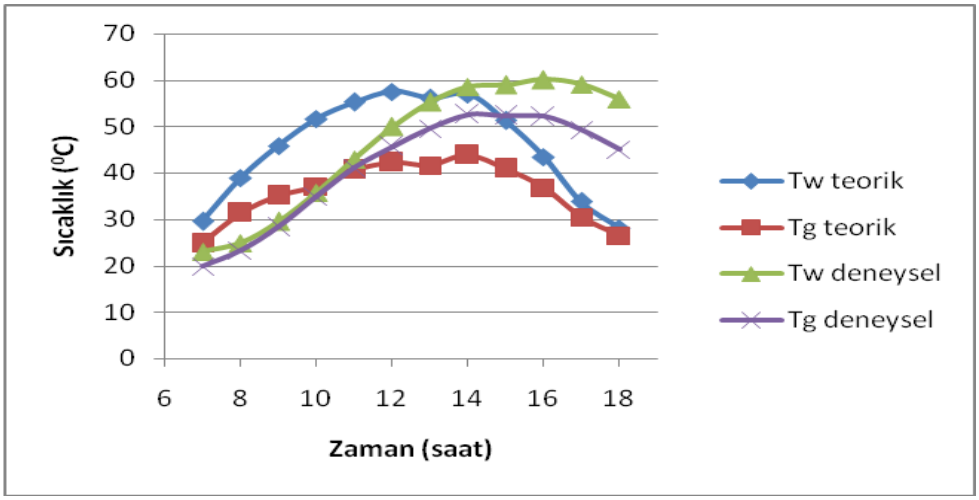
12 Mayıs tarihli aktif sistem için yapılan deney:

Şekil 4.11.'de 12 Mayıs 2016 tarihli aktif sistem için yapılan deney de ölçülen ışınım ve sıcaklık değerleri gösterilmektedir.



Şekil 4.11. Sıcaklık ve ışınım değerlerinin saatlik değişimi

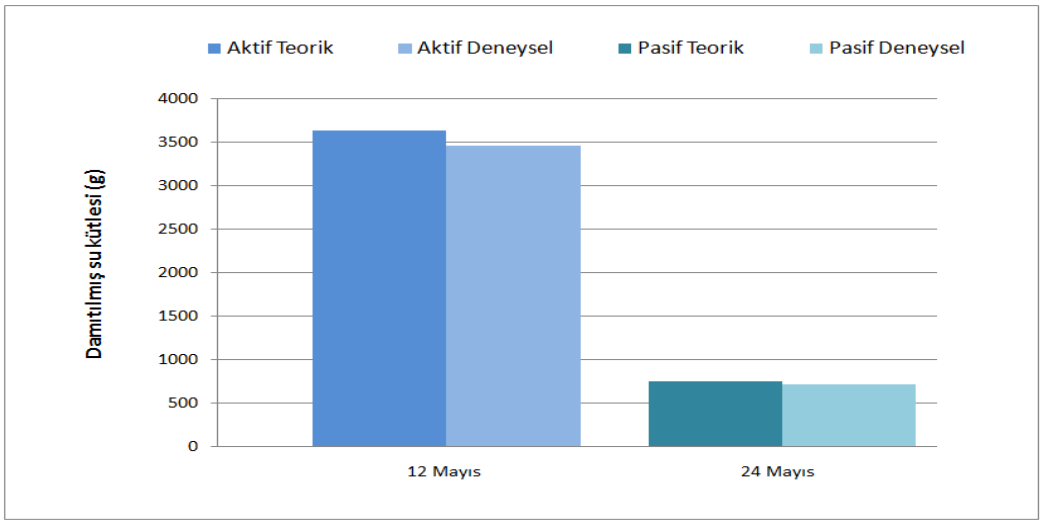
Şekil 4.11.de yatay düzleme gelen maksimum ışınım saat 12.00'da 975,48 W/m^2 ve maksimum çevre sıcaklığı saat 15.00'da 28,11 ^{0}C olarak ölçülmüştür. Saat 12.00 'da kolektörün eğimli yüzeyine gelen maksimum ışınım değeri 1061,64 W/m^2, damıtma havuzunun eğimli yüzeyine gelen maksimum ışınım değeri ise 1007,1 W/m^2 olarak hesaplandı. Gün boyunca, 10^0 eğimli damıtma havuzuna gelen ortalama ışınım yatay düzleme gelen ışınıma göre % 2 oranında ve 33^0 eğimli kolektöre gelen ortalama ışınım yatay düzleme gelen ışınıma göre % 3 oranında fazladır. Şekil 4.12.'de teorik ve deneysel su ve cam sıcaklıklarının gün içerisinde saatlik olarak değişimi gösterilmektedir.



Şekil 4.12. Su ve cam yüzey sıcaklıklarının saatlik değişimi

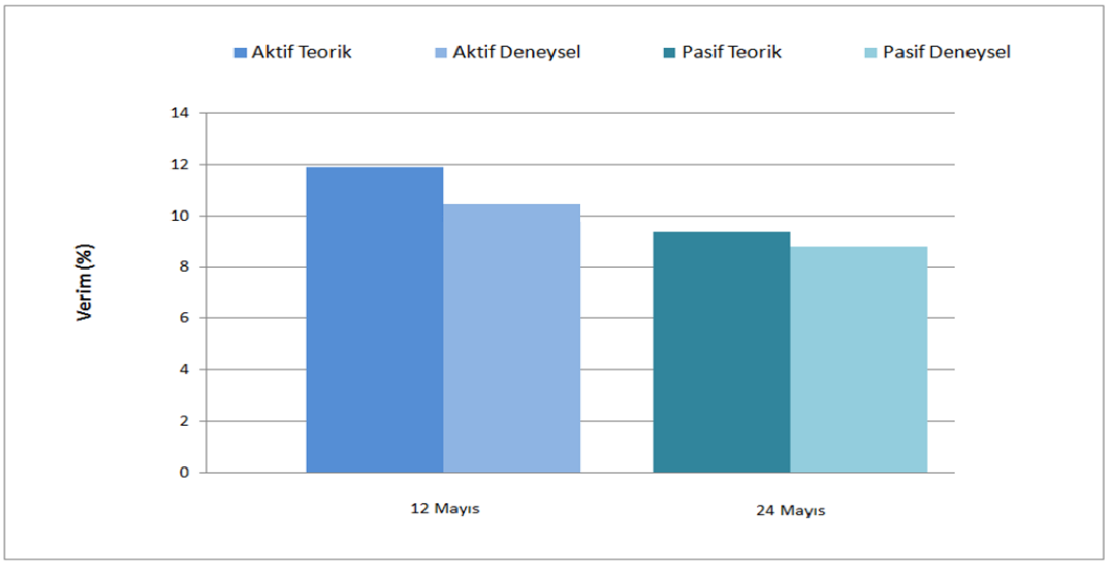
Aktif sistem için yapılan teorik analizde su sıcaklığı maksimum saat 12.00'da 57,56 ^{0}C, cam sıcaklığı maksimum 42,32 ^{0}C dir. Deneysel sistemde su sıcaklığı maksimum saat 16.00'da 60,10 ^{0}C, cam sıcaklığı ise maksimum 15.00'da 52,32 ^{0}C dir. Aktif ve pasif için yapılan deney günlerinde ışınım ve çevre sıcaklık değerleri birbirine yakın olmasına rağmen aktif sistemde maksimum su sıcaklığı pasif sistemdeki sıcaklıktan yaklaşık 18 ^{0}C fazladır. Bu durum güneş kolektörünün sıcaklık artışında önemli bir etkisinin olduğunu göstermektedir.

Pasif ve aktif sistemin teorik ve deneysel sonuçları incelendiğinde farklılık göstermektedir. Bu farkı daha iyi görebilmek için Şekil 4.13.'te aktif ve pasif sistemde günlük üretilen toplam damıtılmış su miktarının karşılaştırılması yapılmıştır.



Şekil 4.13. Günlük toplam damıtılmış su miktarının karşılaştırması

Gün içerisinde toplam damıtılmış su kütlesi pasif sistem için yapılan, teorik analizde 742,90 g olarak hesaplanmıştır, deneysel analizde ise 708,29 g olarak ölçülmüştür, aktif sistem için yapılan, teorik analizde 3629,24 g olarak hesaplanmıştır, deneysel analizde ise 3458,77 g olarak ölçülmüştür. Aktif ve pasif sistemin her ikisinde de teorik damıtma miktarı, hesaplama metodolijisi bölümünde yapılan kabullerden dolayı (cam iç ve dış yüzey sıcaklıkları eşit, buhar ve suz sızdırmazlığı yok) yaklaşık % 5 daha fazla çıkmaktadır. Şekil 4.14.'te günlük toplam damıtma veriminin karşılaştırması gösterilmektedir.



Şekil 4.14. Günlük verimin karşılaştırması

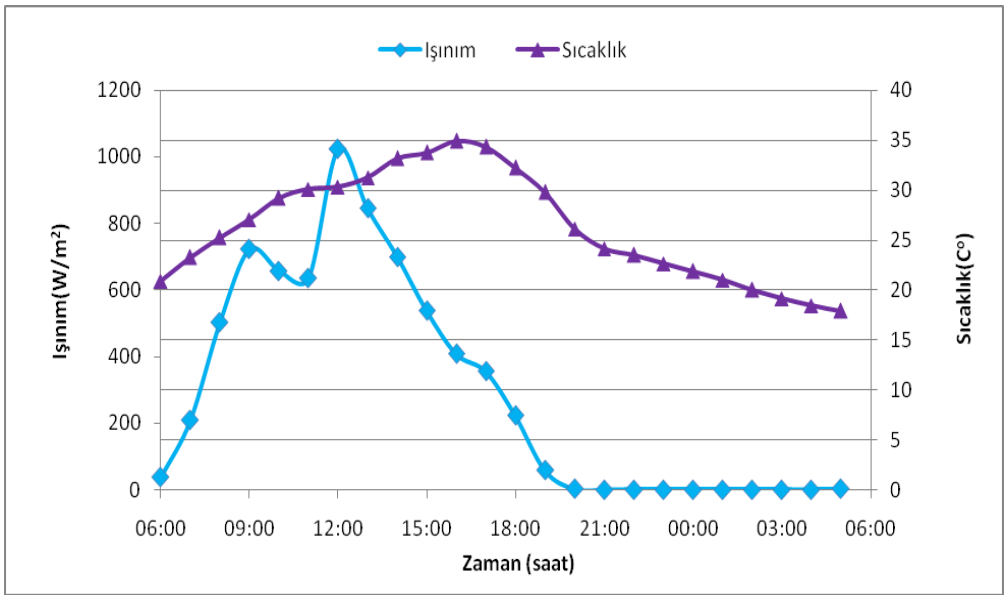
Pasif sistem için yapılan deney sonucunda güneş enerjili damıtma sisteminin günlük verimi % 8,79 ve teorik analizde ise verim % 9,39 olarak bulunmuştur. Aktif sistem için yapılan deney sonucunda ise günlük verim %10,66 ve teorik analizde verim %11,89 olarak bulunmuştur. Bulunan bu sonuçlar Badran (2011)'deki sonuçlar ile benzerdir.

Aktif ve pasif sistem için yapılan teorik ve deneysel karşılaştırmalar incelendiğinde su ve cam yüzeyler arasındaki sıcaklık farkı ile damıtılmış su üretimi ve sistem verimi arasında bir doğru orantı vardır. Su ve cam yüzeyleri arasındaki fark arttıkça iki yüzey arasındaki kısmi buhar basınç farkı artmakta ve yüksek basınçtan alçak basınca buharlaşma ile ısı ve kütle geçişi olmaktadır. Yapılan bu karşılaştırmalara göre teorik analizde akşam saatlerine doğru su ve cam yüzey sıcaklık farkları azalmakta deneysel sistemde ise akşam saatlerine doğru artmaktadır. Bu deneysel sistemdeki artış damıtılmış su üretiminin ışınım olmadığı zamanlarda da devam ettiğini göstermektedir. Kullanılan formüller gereği saatlik olarak ışınım ve sıcaklığa bağlı olarak hesaplanan teorik yöntemde gece gerçekleşen damıtılmış su üretimi tespit edilememektedir. Bunun için sadece deneysel sistemde gece üretimi araştırıldı.

4.3. Gece ve Gündüz Su Üretiminin Deneysel Karşılaştırması

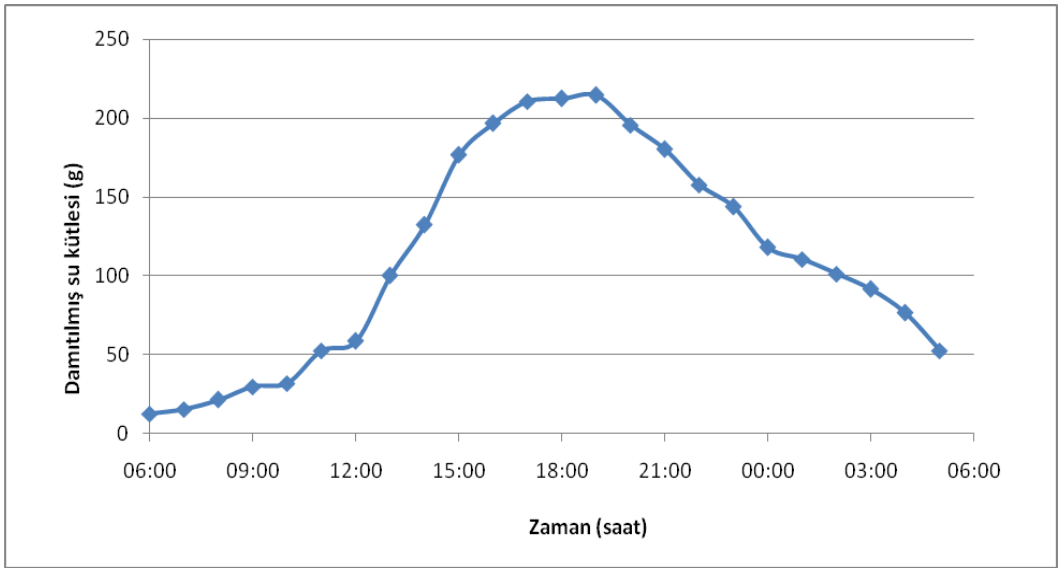
Gece ve gündüz üretilen damıtılmış su miktarları aktif ve pasif sistem de farklı günlerde yapılan deneylerde incelendi. Daha önce gün doğumundan gün batımına kadar 7.00-19.00 (gündüz) saatleri arasında teorik analizle karşılaştırma yapılmıştı, burada ise gece damıtılmış su kütlesi üretimini inceleyebilmek için gün doğumundan ertesi gün doğuma kadar (6.00-5.00 saatleri arasında) 24 saatlik (günlük) analiz yapıldı. Gündüz üretim süresi güneş ışınımının olduğu saatler ve gece üretimi ise ışınımın sıfır olduğu saatler olarak kabul edildi.

Pasif sistem için yapılan deney de ışınım ve sıcaklık değişimleri Şekil 4.15.'te gösterilmektedir.



Şekil 4.15. Sıcaklık ve ışınım değerlerinin saatlik değişimi

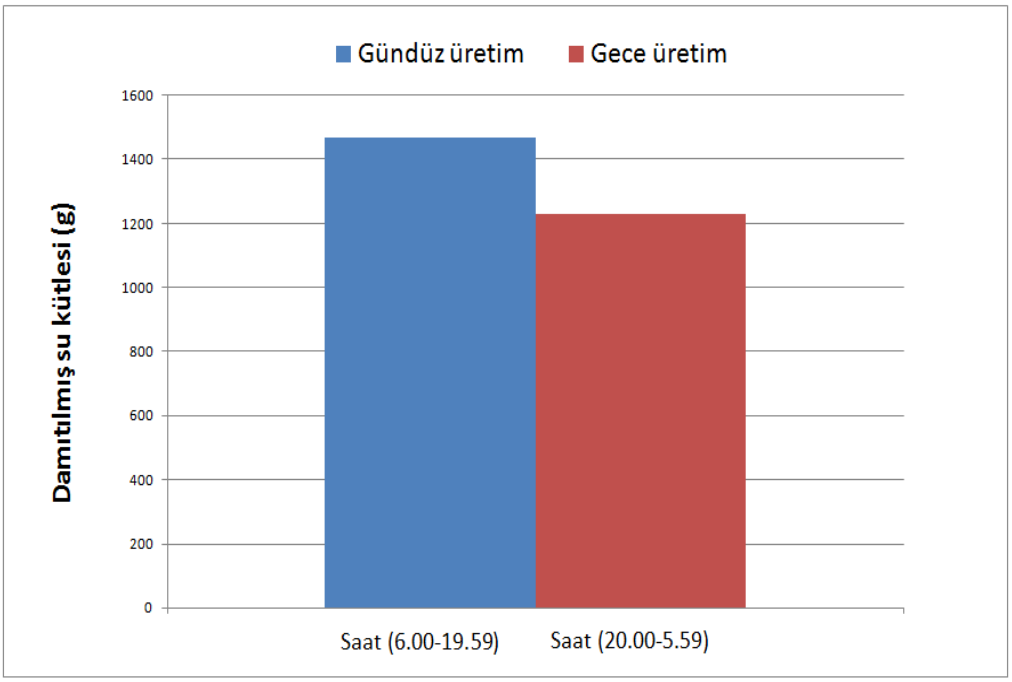
Şekil 4.15. incelendiğinde güneş ışınımı saat 6.00'da başlamış ve 20.00'da sonlanmıştır. Sıcaklık ise saat 16.00'da 34 ^{0}C' ye ulaşmış ve saat sabah 5.00 itibari ile 17 ^{0}C' ye kadar düşmüştür. Bu ışınım ve sıcaklık değerlerine göre saatlik damıtılmış su kütlesi üretimi Şekil 4.16.'da gösterilmektedir.



Şekil 4.16. Damıtılmış su miktarının saatlik değişimi

Damıtılmış su miktarı ölçüm sonuçlarına göre saat 19.00'da maksimum 214 g olmaktadır ve saat 5.00 itibari ile damıtılmış su miktarı 52 grama kadar istikrarlı bir

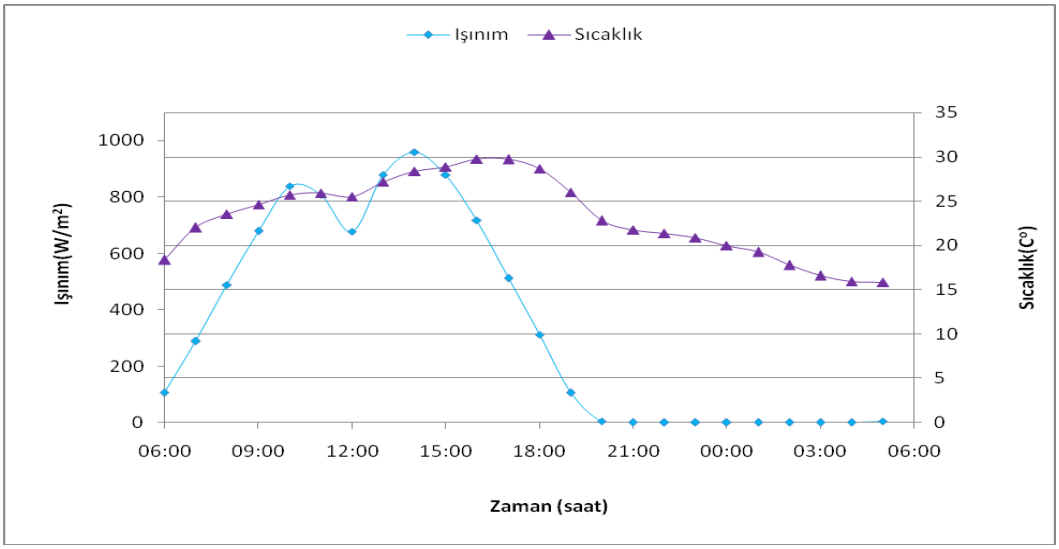
düşüş gerçekleşmiştir. Pasif sistemde gece ve gündüz toplam üretimin karşılaştırması Şekil 4.17'de gösterilmektedir.



Şekil 4.17. Gece ve gündüz damıtılmış toplam su miktarının karşılaştırılması

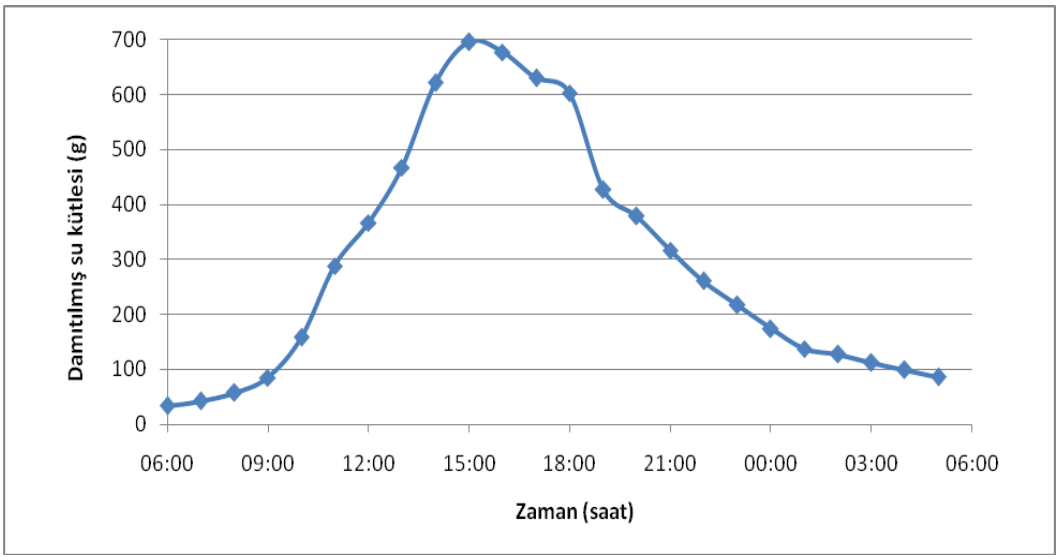
Pasif sistemde yapılan deney sonuçlarına göre gündüz toplam damıtılmış su miktarı 1467,7 g ve gece toplam damıtılmış su miktarı 1229,1 g olarak ölçüldü. Burada toplam gece üretimi, toplam gündüz üretiminin yaklaşık % 83 'ü kadardır.

Aktif sistem için yapılan deney de ışınım ve sıcaklık değişimleri Şekil 4.18.'de gösterilmektedir.



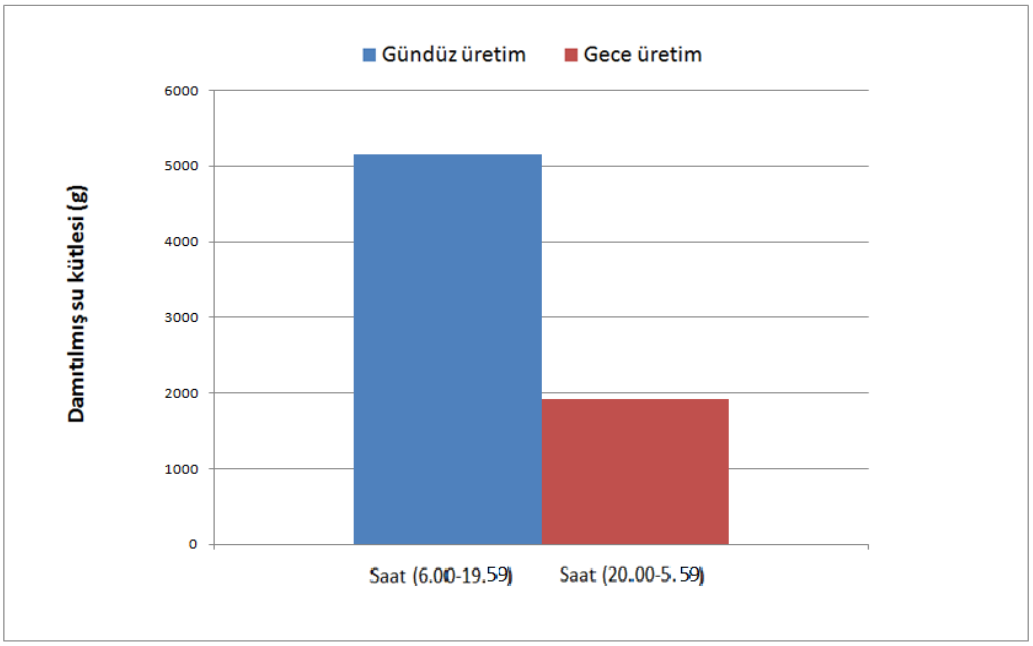
Şekil 4.18. Sıcaklık ve ışınım değerlerinin saatlik değişimi

Bu ışınım ve sıcaklık değerlerine göre saatlik damıtılmış su kütlesi üretimi Şekil 4.19.'da gösterilmektedir.



Şekil 4.19. Damıtılmış su miktarının saatlik değişimi

Aktif sistemde damıtılmış su miktarı ölçüm sonuçlarına göre saat 15.00'da maksimum 696 g olmaktadır ve saat 5.00 itibari ile damıtılmış su miktarı 85 gramdır. Aktif sistemde gece ve gündüz toplam üretimin karşılaştırması Şekil 4.20'da gösterilmektedir.

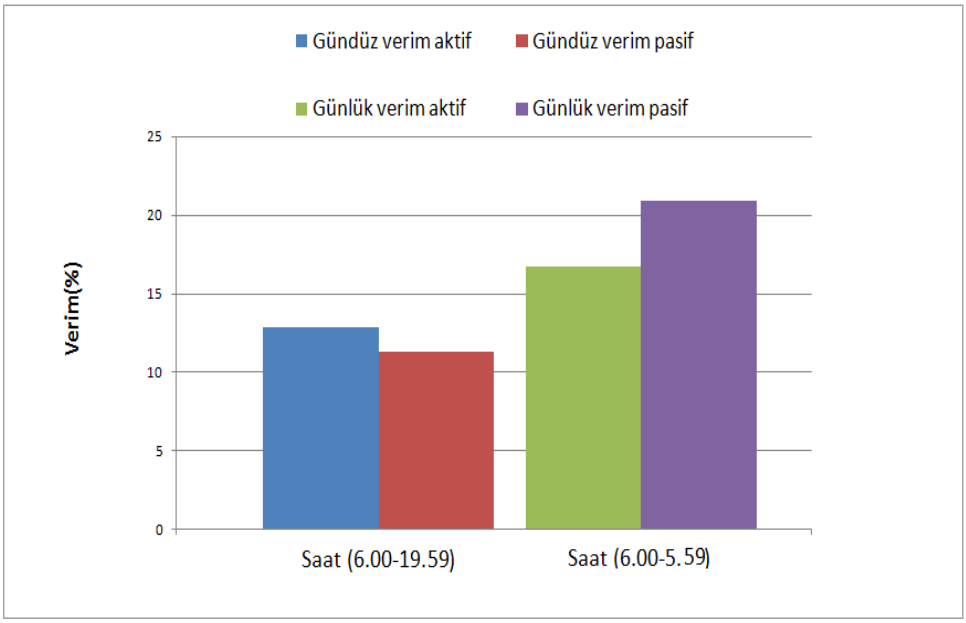


Şekil 4.20. Gece ve gündüz damıtılmış toplam su miktarının karşılaştırılması

Aktif sistemde yapılan deney sonuçlarına göre gündüz toplam damıtılmış su miktarı 5152 g ve gece toplam damıtılmış su miktarı 1908 g olarak ölçüldü. Günlük toplam üretilen damıtılmış su kütlesi ise miktarı 7060 gramdır. Burada toplam gece üretimi, toplam gündüz üretiminin yaklaşık % 37 'si kadardır. Bu oran pasif sistemdeki değere göre oldukça düşüktür.

Aktif ve pasif sistemde yapılan deney sonuçlarına göre gece üretiminin önemli miktarlarda olduğu tespit edilmiştir bu yüzden analizlerde dikkate alınması gereklidir. Özellikle de verim analizi yapılırken gece üretimini hesaba katarak, saatlik analizden ziyade günlük analiz yapılması daha doğru bir sonuç elde etmemizi sağlayacaktır. Çünkü saatlik analizde, saatlik damıtılmış su üretimine göre verim belirlenmektedir. Oysaki gündüz kazanılan güneş ışınımı gecede kullanılmaktadır.

Aktif ve pasif sistem için yapılan deneylerin gündüz ve günlük toplam verimleri Şekil 4.21.'de gösterilmektedir.



Şekil 4.21. Gece ve gündüz damıtılmış toplam su miktarının karşılaştırılması

Verim ifadesi, gece ve gündüz toplam su üretiminde harcanan buharlaşma enerjisinin, gün boyunca gelen toplam güneş ışınım enerjisine oranı şeklinde olmaktadır. Gündüz verim; aktif sistemde % 12,8 ve pasif sistemde % 11,3

bulunmuştur. Günlük verim ise aktif sistemde % 16,7 ve pasif sistemde % 20,9 bulunmuştur. Bu sonuçlara göre gece üretimi hesaba katılmadan yapılan analizde aktif sistem de verim daha yüksek olmaktadır. Ancak gece üretimi dikkate alındığında pasif sistem aktif sisteme göre daha verimlidir. Aktif sistemde verim hesabı yapılırken 2,3 m^2 alana sahip kolektör yüzeyine gelen güneş ışınımı da dikkate alındığı için böyle bir sonuç çıkmaktadır. Sonuç olarak kurulan bu deneysel damıtma sistemine göre yapılan deney analizlerinde pasif sistem daha verimlidir fakat aktif sistem de üretilen damıtılmış su kütlesi miktarı pasif sistemde üretilenin yaklaşık üç katı kadar daha fazla olmaktadır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu tez kapsamında güneş enerjisi ile çalışan geleneksel (pasif) ve aktif damıtma sistemi performansı araştırıldı. Araştırmalar birinci aşamada Konya, Antalya, Mersin, Muğla, Şanlıurfa illeri için teorik olarak yapıldı. Teorik yapılan bu sonuçlara göre damıtılmış su üretim miktarı beş il arasında aktif sistemde en fazla Şanlıurfa'da en az ise Muğla'da gerçekleşmektedir.

İkinci aşamada Konya şartlarında yapılan bu teorik analiz, aktif ve pasif sistemde yapılan deneysel analizlerle karşılaştırıldı. Pasif sistem için yapılan teorik analizde su sıcaklığı maksimum saat 12.00'da 41,07 ^{0}C, cam yüzey sıcaklığı maksimum 32,02 ^{0}C dir. Deneysel sistemde su sıcaklığı maksimum saat 17.00'da 42,73 ^{0}C, cam sıcaklığı ise maksimum 14.00'da 38,89 ^{0}C dir. Aktif sistem için yapılan teorik analizde su sıcaklığı maksimum saat 12.00'da 57,56 ^{0}C, cam sıcaklığı maksimum 42,32 ^{0}C dir. Deneysel sistemde su sıcaklığı maksimum saat 16.00'da 60,10 ^{0}C, cam sıcaklığı ise maksimum 15.00'da 52,32 ^{0}C dir. Damıtılmış su kütlesi pasif sistem için yapılan, teorik analizde 742,90 g olarak hesaplanmıştır, deneysel analizde ise 708,29 g olarak ölçülmüştür, aktif sistem için yapılan, teorik analizde 3629,24 g olarak hesaplanmıştır, deneysel analizde ise 3458,77 g olarak ölçülmüştür. Pasif sistem için yapılan deney sonucunda güneş enerjili damıtma sisteminin günlük verimi % 8,79 ve teorik analizde ise verim % 9,39 olarak bulunmuştur. Aktif sistem için yapılan deney sonucunda ise günlük verim %10,66 ve teorik analizde verim %11,89 olarak bulunmuştur. Deneysel ve teorik sonuçlar karşılaştırıldığında 7.00-19.00 saatleri arasında damıtma sistem verimi incelendiğinde teorik analizde daha yüksek olmakta ve maksimum % 8 'lik bir fark oluşturmaktadır.

Son aşamada yapılan araştırmada ise deneysel sistemde gece üretilen damıtılmış su miktarları ve sistem verimindeki değişim incelenmiştir. Pasif sistemde yapılan deney sonuçlarına göre gündüz damıtılmış toplam su miktarı 1467,7 g ve gece damıtılmış toplam su miktarı 1229,1 g olarak ölçüldü. Aktif sistemde yapılan deney sonuçlarına göre gündüz damıtılmış toplam su miktarı 5152 g ve gece damıtılmış toplam su miktarı 1908 g olarak ölçüldü. Gündüz verim (gece üretimi dikkate alınmadan); aktif sistemde % 12,8 ve pasif sistemde % 11,3 bulunmuştur. Gece üretimi dikkate alınarak hesaplanan günlük verim ise aktif sistemde % 16,7 ve pasif sistemde % 20,9 bulunmuştur. Bu sonuçlara göre gece üretimi damıtma sisteminde ihmal edilemeyecek kadar yüksektir ve

sistem verimini etkilemektedir. Gece üretimi dikkate alınmadan yapılan deneysel ve teorik sonuçların hepsinde güneş kolektörlü aktif sistem daha verimli bulunmuştu fakat gece üretimi hesaba katıldığında pasif sistem veriminin daha yüksek olduğu görülmüştür.

5.2 Öneriler

- Damıtma sistemi verimi bölgeden bölgeye değişiklik göstermektedir bu nedenle kurulacak yerin iklim şartlarına göre önceden teorik analizler yapılmalı sistem bu analiz sonuçlarına göre tasarlanmalıdır.
- Damtılmış su kütlesi üretimini artırmak için güneş enerjisi kollektörü kullanılmalıdır.
- Gece su üretimi maksimum sağlanacak şekilde havuz ve kollektör tasarımı yapılmalıdır ve istenen damıtma miktarına göre sistem dizayn edilmelidir.
- Akademik çalışmalarda kullanılacak damıtma sistemlerinin küçük ve taşınabilir olması deneyler esnasında kolaylık sağlamaktadır.
- Karşılaştırma yapılacak parametreler eş zamanlı olarak yapılmalıdır ve bunun içinde farklı tasarımlarda birden fazla güneş enerjili damıtma sistemi imal edilmelidir.
- Farklı atık su ve sıvıları kullanarak deneyler genişletilmeli ve su analizi yapılmalıdır. Bu yüzden aynı tasarımda birden fazla sistem kurulması eş zamanlı su deneylerini yapabilme olanağı sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

Ahsan, A., Imteaz, M., Rahman, A., Yusuf, B. and Fukuhara T., 2012, Design, fabrication and performance analysis of an improved solar still, *Desalination*, 292, 105–112.

Akbulut, U. ve Kıncay, O., 2011, İstanbul Şartlarında Deniz Suyundan Temiz Su Eldesi, *Tesisat Mühendisliği*, sayı:125, 52-62.

Anaç, H., ve Çeliker A., 2004, Türkiye'nin Su Potansiyeli, *TEAE (Tarımsal Ekonomik Araştırma Enstitüsü)* Sayı:5 Nüsha:7, 1303-8346, Ankara, 1-4.

Anonim, 2015, *Su*, [online], Vikipedi özgür ansiklopedi, http://tr.wikipedia.org/wiki/Su [Ziyaret Tarihi : 8 Şubat 2015].

Anonim, 2015, *Susuzluk çağı 'susuzluk yokluktur'*, [online], Su vakfı, http://www.suvakfi.org.tr/eg_mavi_damla_2.asp [Ziyaret Tarihi : 8 Şubat 2015].

Anonymous, 2014, *su döngüsü* , [online], USGS science for a changing world, http://water.usgs.gov/edu/watercycleturkish.html [Ziyaret Tarihi : 8 Şubat 2015].

Arslan, M., 2012, Experimental investigation of still performance for different active solar still designs under closed cycle mode, *Desalination*, 307, 9–19.

Ayav, P.İ. ve Atagündüz, G., 2007, Theoretical and experimental investigations on solar distillation of IZTECH campus area seawater, *Desalination*, 208, 169–180.

Aybar, H. S., Irani, F. ve Arslan M., 2015, Performance analysis of single and double basin-inclined solar water distillation systems with and without black-fleece wick, *Desalination and Water Treatment*, 1944, 3994–3986.

Badran, O., 2011, Theoretical Analysis of Solar Distillation Using Active Solar Still, *Int. J. of Thermal & Environmental Engineering*, 2,113-120.

Belessiotis, V. ve Delyannis, E., 2001, Water shortage and renewable energies (RE) desalination possible technological applications, *Desalination*, 139, 133-138.

Bilgiç, Y., 2008, Güneş Enerjili Su Damıtma Sistemlerinde Genişletilmiş Yüzeylerin Isı ve Kütle Transferi Üzerindeki Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 24-37.

Bulut, S. ve Ünveren M., 2011, Nemlendirme ve Nem Alma Sistemleri, *HSK Ar-Ge Teknik Bülten, no:8,* 1-4.

Cingiz, Z., 2007, Güneş Enerjisi ile Deniz Suyu Damıtma Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 38-78.

Dayem, A.M.A., 2006, Experimental and numerical performance of a multi-effect condensation–evaporation solar water distillation system, *Energy*, 31, 2710–2727.

Delyannis, E., 2003, Historic background of desalination and renewable energies, *Solar Energy*, 75 , 357-366.

Durmaz, A.F., 2007, Eğik Yüzeylere Gelen Güneş Işınımının Analizi ve Cam Yüzeylerden Geçen Güneş Işınımının Tespiti, Yüksek Lisans Tezi, *Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Şanlıurfa.

Eltawil, M.A. ve Omara, Z.M., 2014, Enhancing the solar still performance using solar photovoltaic, flat plate collector and hot air, *Desalination*, 349, 1–9.

Karahasanoğlu, M.E., 2010, Mersin Şartlarında Deniz Suyundan Temiz Su Eldesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul.

Ketrez, M., Usta, H. ve Çay, Y., 2012, Isı Pompası Destekli Güneş Enerji İle Su Damıtma, *Tesisat Mühendisliği*, 127, 5-8.

Kumar, S., Tiwari, G.N. ve Singh, H.N., 2000, Annual performance of an active solar distillation system, *Desalination*, 127, 79-88.

Muftah, A.F., Alghoul, M.A., Fudholi, A., Abdul-Majeed, M.M. and Sopian, K., 2014, Factors affecting basin type solar still productivity: A detailed review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 430 – 447.

Olgun, K., 2011, Konya İli Yer altı ve Yerüstü Su Potansiyeli, *TMMOB, I. Konya Kent Sempozyumu , DSİ 4.Bölge Müdürlüğü KONYA*, 184-190.

Özey, R., 2010, *Susuzluk Bunalımı*, [online], Marmara Üniversitesi, http://www.ramazanozey.net/rozey/sayfalar/hakkimizda.asp?dil=tr [Ziyaret Tarihi : 8 Şubat 2015].

Özsoy, S., 2009, Su ve yaşam: suyun toplumsal önemi, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 5-10.

Raju, R.V. ve Narayana L.R., 2016, Effect of flat plate collectors in series on performance of active solar still for Indian coastal climatic condition, *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*.

Rubio, C.E., Porta, G.M.A. and Fernandez, Z.J.L., 2002, Thermal performance of the condensing covers in a triangular solar still, *Renewable Energy*, 301, 8–27.

Singh, S.K., Bhatnagar, V.P. and Tiwari, G.N., 1996, Design parameters for concentrator assisted solar distillation system, *Energy Convers Manage*, 247, 37–52.

Sampathkumar, K., Arjunan, T.V., Pitchandi, P. and Senthilkumar, P., 2010, Active solar distillation—A detailed review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*,14, 1503–1526.

Sarıipek, İ., 2012, Güneş Enerjisi ile Dere Suyu Damıtılmasının Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği*, Karabük, 34-50.

Solmaz, Ö., 2013, Güneş Enerjisi Destekli (PV) Çalışan Taşıt Klima Sisteminin Dinamik Performansının Araştırılması, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı*, Konya.

Tanaka, H., Nosoko, T. ve Nagata, T., 2000, A highly productive basin-type-multiple-effect coupled solar stil, *Desalination*, 130, 279-293.

Tiwari, G.N., Dimri, V. ve Chel, A., 2009, Parametric study of an active and passive solar distillation system: Energy and exergy analysis, *Desalination*, 242 , 1–18 .

Tiwari, G.N., Singh, H.N. ve. Tripathi, R., 2003, Present status of solar distillation, *Solar Energy*, 75, 367–373.

Tiwari, K.A. ve Tiwari, G.N., 2007, Thermal modeling based on solar fraction and experimental study of the annual and seasonal performance of a single slope passive solar still: The effect of water depths, *Desalination*, 207, 184–204.

Yousef, H.Z. ve Mousa, K.A., 2004, Modelling and performance analysis of a regenerative solar desalination unit, *Applied Thermal Engineering*, 24, 1061–1072.

EKLER

EK-1 Damıtma Sistemi Teorik Analiz Matlab Program Algoritması

- hewg=16.273*10^(-3)*hcwg*((Pw-Pg)/(Tw(i)-Tg(i)));
- htwg=hrwg+hcwg+hewg;
- htga=5.7+(3.8*ruzgarhizi);
- Ut=(htwg*htga)/(htwg+htga);
- htba=5.7+(3.8*tabanruzgarhizi);
- hb=((Li/ki)+(1/htba))^-1;
- Ub=(hw*hb)/(hw+hb);
- Uls=Ut+Ub;
- alfatoeff=alfab*(hw/(hw+hb))+alfaw+alfag*(htwg/(htwg+htga));
- alfatoeff=0.82;
- Ftpasif=((isinimhavuz*alfatoeff+Uls*Ta)/(Mw*Cw));
- Ftaktif=(((alfatoeff)*isinimhavuz)+(FR*alankolektor*kolektoryansitma*isinimkolektor)+(Uls+Ul*FR*alankolektor)*Ta)/(Mw*Cw);
- alfapasif=(Uls/(Mw*Cw));
- alfaaktif=((Uls+Ul*FR*alankolektor)/(Mw*Cw));
- Twpasifyeni=(Ftpasif/alfapasif)*(1exp(alfapasif*deltazaman))+(Tw0*exp(-alfapasif*deltazaman));
- Twaktifyeni(i)=(Ftaktif/alfaaktif)*(1-exp(-alfaaktif*deltazaman))+(Tw0*exp(-alfaaktif*deltazaman));
- Tgpasifyeni=(htwg*Twpasifyeni+htga*Ta)/(htwg+htga);
- Tgaktifyeni(i)=(htwg*Twaktifyeni(i)+htga*Ta)/(htwg+htga);
- Tw(i+1)=Twaktifyeni(i);
- Tg(i+1)=Tgaktifyeni(i);
- Hata1=abs(Twaktifyeni(i)-Tw(i))
- Hata2=Tgaktifyeni(i)-Tg(i);
- i=i+1
- end
- if Twpasifyeni<=70
- L=3.1615*10^6*(1-(7.616*10^-4*Twpasifyeni));
- else

- L=2.4935*10^6*(1-9.4779*10^-4*Twpasifyeni+1.3132*10^-7*Twpasifyeni^2-4.7974*10^-9*Twpasifyeni^3);
- end
- qewg=hewg*(Twpasifyeni-Tgpasifyeni);
- mew=qewg*deltazaman*damiticialani/L;
- if Tw(i)<=70
- L=3.1615*10^6*(1-(7.616*10^-4*Tw(i)));
- else
- L=2.4935*10^6*(1-9.4779*10^-4*Tw(i)+1.3132*10^-7*Tw(i)^2-4.7974*10^-9*Tw(i)^3);
- end
- TTWW(saat)=Tw(i);
- TTGG(saat)=Tg(i);
- qewg(saat)=hewg*(Tw(i)-Tg(i));
- mew(saat)=qewg*deltazaman*damiticialani/L;
- verimaktif(saat)=qewg/((isinimkolektor*alankolektor)+(isinimhavuz*damiticialani));
- end

EK-2 Belirsizlik Analizi İçin Belirlenen Hatalar

Tartıdan kaynaklanan hata	% 0,5
Olukta biriken sudan kaynaklanan hata	2,5 g
Hortumda biriken sudan kaynaklanan hata	10 g
Fitillerden kaynaklanan hata	5 g
Datalogger sıcaklık ölçümünden kaynaklanan hata	0,25 ^{0}C
Termokouple çiftlerinden kaynaklanan hata	0,1 ^{0}C
Zaman ölçümünden meydana gelebilecek hata	0,01 s
Piranometre ışınım ölçümünde yapılan hata	% 1
Datalogger ışınım ölçümünden kaynaklanan hata	% 2
Alan tespitinden kaynaklanan hata	0,0012 m^{2}

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Hüseyin Ünsal
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Seydişehir - 1990
Telefon : 539 595 7333
Faks : -
e-mail : hsynsl42@gmail.com

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	Enis Şanlıoğlu Lisesi, Seydişehir, Konya	**2007**
Üniversite	:	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi	**2013**
Yüksek Lisans	:	Selçuk Üninversitesi	**Devam ediyor**
Doktora	:	**-**	

UZMANLIK ALANI

Güneş enerjisi ile çalışan damıtma sistemleri

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

ÇALIŞMANIN ADI	*YAYIM YERİ*	*YAYIM TARİHİ*
Güneş Enerjisi ile Çalışan Aktif ve Pasif Damıtma Sistemi Performansının Konya İli Şartlarında İncelenmesi	Ulusal Isı Bilim ve Tekniği Kongresi (Balıkesir)	Eylül 2015
Experimental Study of Performance of Solar Energy Powered Solar Distillation System in Konya	Uluslar Arası Ege Enerji Sempozyumu (Afyon)	Mayıs 2016

IEESE

Experimental Study of Performance of Solar Energy Powered Solar Distillation System in Konya

H. Unsal*, M. Ozgoren*, O. Solmaz,**

*Department of Mechanical Engineering, Engineering Faculty, Selcuk University, Konya, Turkey
**Department of Energy Systems Engineering, HFT Technology Fac. Celal Bayar University, Manisa, Turkey

Abstract

Demand for energy is increasing with every day in Turkey and around the world. Both conventional and renewable energy systems are used to meet this demand, Using conventional systems, industrialization, urbanization, combined with rapid population growth, we are encountered with a serious problem such as environmental pollution. An important part of the pollution occurs from industrial waste waters as well as emissions, It is possible to eliminate of the wastewater by using solar energy as a renewable energy source in unharmful way. Distillation system working according to the principles of evaporation and condensation of water is one of the cheapest and most effective methods to obtain clean water from wastewater or seawater. In this study, a distillation system operating with solar energy in Konya located at Selcuk University Alaeddin Keykubat campus region was established. Performance experiments of the system depending on time during various days were done. In the system, a flat plate solar collector having 2.3 m^2 absorbing area and distillation pool having a 1,25 m^2 were used, Instantaneous performance of the system in September depending on the environmental position along a day between 8:00 AM and 07:00 PM was determined, According to the experiments conducted during the day, mass amount of distilled water is at most 0.405 kg between 4:00 PM. to 5:00 PM, at least 0.028 kg between 8:00 AM to 9:00 AM. It was found to be distilled water as 2,36 kg/day, Besides daily mean system efficiency was around 13%, It was determined that the efficiency was below the average in the morning, above the average in the evening. Finally, it can be stated that distillation system powered by solar energy is an effective method to avoid environmental pollution and no cost requirement except initial cost for the purpose of decreasing of disposal industrial waste water.

© 2016 IEESE. All rights reserved.

ULIBTK'15 20. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi
02-5 Eylül 2015, BALIKESİR

GÜNEŞ ENERJİSİ İLE ÇALIŞAN AKTİF ve PASİF DAMITMA SİSTEMLERİNİN PERFORMANSININ KONYA İLİ ŞARTLARINDA İNCELENMESİ

Hüseyin ÜNSAL*, Muammer ÖZGÖREN, Özgür SOLMAZ*****

*Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü
42030 Selçuklu, KONYA, hsynsl42@gmail.com
** Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü
42030 Selçuklu, KONYA, mozgoren@selcuk.edu.tr
*** Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü
42030 Selçuklu, KONYA, osolmaz@selcuk.edu.tr

Özet: Yenilenebilir güneş enerjisiyle atık su (doğrudan drenaj edilemeyen sular örneğin, zeytinyağı üretimindeki karasu, salamura zeytin üretimindeki tuzlu su ve habitata direk bırakılamayan değerli katı karışım içeren sanayi atıkları) ve/veya deniz suyunun damıtılması yapılabilmektedir. Damıtma sistemi performansını etkileyen parametreler, esas olarak meteorolojik şartlar ve havuzun tasarım parametreleridir. Konya ili güneş enerjisi potansiyeli bakımından öne çıkan iller arasında olup, Karapınar ilçesinin Enerji İhtisas Endüstri Bölgesi olması ile güneş enerjisi uygulamalarının önem kazandığı bir il konumundadır. Bunun yanı sıra dünya kuraklık haritasına göre de ülkemizin en kurak bölgelerinden biridir. Bu sebeplerden dolayı bu çalışmada, atık su ve/veya deniz suyundan temiz su elde etmek amacıyla, aktif ve pasif damıtma sisteminin performansı Selçuk Üniversitesi Kampüs bölgesinde 2011-2014 yılları arasında ölçülen güneş ışınımı ve sıcaklık değerlerinin ortalamaları kullanılarak 23 Temmuz günü için hesaplar saatlik olarak analiz edilmiştir. Sonuçta aktif damıtma sisteminin pasif sistemden daha iyi bir performans sergilediği ve birim alan başına aktif damıtma sisteminin ürettiği su miktarının belirtilen günde en fazla 13:00-14:00 saatleri arasında 0,267 kg ve günlük toplamda ise 1,670 kg, gün içerisinde maksimum verimin ise 13:00-14:00 saatleri arasında %11,8 olduğu hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Damıtma, aktif sistem, pasif sistem, güneş enerjisi.

PERFORMANCE INVESTIGATION OF ACTIVE AND PASSIVE DISTILLATION SYSTEMS POWERED BY SOLAR ENERGY AT KONYA

Abstract: Waste water and/or seawater (directly not to be drained waters such as black (blackish) water in the production of olive oil, salt water in the olive production and industrial solid wastes containing valuable material which cannot be released directly to the habitats) can be distilled with a renewable solar energy. Common components and parameters affecting the performance of a distillation system are mainly meteorological conditions and design parameters of the solar energy system. Konya is among the prominent cities in terms of solar energy potential and also Karapinar region has been declared as the Energy Qualified Industrial Zone. According to drought map of the world. Konya is also one of the driest regions of our country. For these reasons, in this study, in order to obtain fresh water from waste water and/or seawater, the performance of the active and passive distillation systems was hourly analyzed on July 23 using values of solar radiation and ambient temperature measured in Selcuk University Campus Region. Eventually, the amount of water produced active distillation system exhibited a better performance than the passive system and it was calculated to be 0,267 kg/h between from 13:00 to 14:00 PM, 1,670 kg/day and the maximum efficiency during the day was found to be %11,8 between from 13:00 to 14:00 PM.

Keywords: Active distillation system, distillation, passive distillation system, solar energy.