

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÜNEŞ ENERJİLİ SU DAMITMA SİSTEMLERİNDE
GENİŞLETİLMİŞ YÜZEYLERİN ISI VE KÜTLE
TRANSFERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ**

Yusuf BİLGİÇ

Tez Yöneticisi
Prof.Dr.Cengiz YILDIZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2008

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÜNEŞ ENERJİLİ SU DAMITMA SİSTEMLERİNDE
GENİŞLETİLMİŞ YÜZEYLERİN ISI VE KÜTLE
TRANSFERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ**

Yusuf BİLGİÇ

Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu tez, 14.01.2008 tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından **oybirliği** ile **başarılı** olarak değerlendirilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Cengiz YILDIZ

Üye : Prof.Dr. Dursun PEHLİVAN

Üye : Prof Dr. Yaşar BİÇER

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

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanması sırasında gerekli yardımları esirgemeyen Danışman Hocam Prof. Dr. Cengiz YILDIZ'a, Araştırma Görevlisi Dr.Nevin ÇELİK'e, Mesai Arkadaşım İrfan TANGOBAY'a, Gaziantep Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Öğretim Görevlisi Yrd.Doç.Dr. Bahattin KANBER'e, tezimin proje aşamasında beni destekleyen FÜBAP'a Tezimin hazırlanması sürecinde maddi ve manevi desteklerini sürekli üzerimde hissettiğim aileme, eşime ve İşyeri Birim Sorumlusu Arif ÖZMEMİLİ'ye teşekkür ederim.

Yusuf BİLGİÇ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
İÇİNDEKİLER	I
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	IV
TABLolar LİSTESİ.....	VIII
EKLER LİSTESİ	IX
SEMBOLLER	X
ÖZET	XI
ABSTRACT	XII
1.GİRİŞ	1
1.1.Suyun Önemi Ve Kullanımı	1
1.2.Su Kaynakları.....	2
1.3.Su İhtiyacı	3
1.4. Uluslar Arası İlişkiler Bakımından Suyun Önemi	4
2.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	7
3.SUYUN DAMITILMASI VE YÖNTEMLERİ	14
3.1.Çoklu-Safha- Ani Buharlaşmalı Damıtma(Multi-Stage-Flashing) (M.S.F).....	15
3.2.Çoklu-Etkili-Damıtma (Multi-Effect-Desatilation) (M.E.D).....	16
3.3.Buhar Sıkıştırma (Vapour Compression) (VC).....	16
3.4.Dondurarak Damıtma (Freezing)	17
3.5.Ters Osmoz (Reverse Osmoz) (R.O)	18
3.6.Elektrodiyaliz (E.D)	20
3.7.İyon Değişimi (I.E)	20
3.8.Damıtma İşleminde Kullanılan Enerji Kaynakları.....	21
3.8.1.Klasik Enerji Kaynakları.....	21
3.8.1.1.Karbon Bazlı Enerji Kaynakları.....	21
3.8.1.2.Nükleer Enerji Kaynakları	22
3.8.2.Yenilenebilir Enerji Kaynakları	22
3.8.2.1.Güneş Enerjisi	23
3.8.2.2.Rüzgâr Gücü	23
3.8.2.3.Jeotermal Enerji	24
3.8.2.4.Su Gücü	24
4. GÜNEŞ ENERJİLİ DAMITMA SİSTEMLERİ.....	25
4.1.Güneş Enerjili Damıtıcı tipleri	26
4.1.1.Aktif Sistemler	26

4.1.2.Pasif Solar Damıtıcı:	27
4.1.2.1.Konvansiyonel Tek Eğilimli	27
4.1.2.2 Konvensiyonel Çok Eğilimli.....	27
4.1.2.3. Fitilli.....	30
4.1.2.4. Eğik Solar Damıtıcı.....	32
4.1.2.5. Dikey Solar Damıtıcı.....	32
4.1.2.6. Ters Emicili Güneş Enerjili Damıtıcı.....	33
4.2.Damıtıcı Sistemin Bileşenlerinin Özellikleri	34
4.2.1. Saydam Örtünün Özellikleri	34
4.2.2. Havuzun Özellikleri	34
4.2.3-Toplama Oluğu	35
4.2.4. Konumlandırma	35
4.2.4. Konstrüksiyon Özellikleri	35
4.3 Üretkenliği Etkileyen Parametreler.....	36
4.3.1 Rüzgârın Etkisi.....	36
4.3.2.Çevre Sıcaklığının Etkisi	36
4.3.3.Güneş Işınımının Etkisi	36
4.3.4.Isı Kayıp Katsayısının Etkisi	37
4.3.5.Saydam Kapağın Etkisi	37
4.3.6.Tuz Konsantrasyonu	37
4.3.7.Emici Yüzeyin Etkisi	38
4.3.8.İzolasyon Kalınlığının Etkisi.....	38
4.3.9. Havuzadaki Suyun Derinliği	38
5. TEORİK ANALİZ.....	39
6. DENEYSEL ANALİZ.....	45
6.1. Sistemin Tanıtımı.....	45
6.1.1.Güneş Enerjili Damıtıcı :	45
6.1.2.Pyranometre(Cc12).....	48
6.1.3-Sıcaklık Ölçümü	48
6.1.4-Rüzgar Hızı Ölçümü.....	48
6.1.5. Sirkülasyon Pompası.....	48
6.1.6. Pompa Kontrol Ünitesi.....	48
6.1.7. Lüle	50
6.2-Damıtıcının Kurulumu.....	51
6.3-Sistemin Çalışması.....	51

6.4. Hata Analizi	52
6.5. Sistemin Kalibrasyonu	53
6.6. Sistemin Topsuz, Pompalı Çalıştırılması	54
7. DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	56
7.1. Sıcaklık-Zaman Değişimi.....	56
7.2. Üretim Miktarının Zamana Bağlı Olarak Değişimi	65
7.3. Üretim Verimi	69
7.4 Konvensiyonel Sisteme Göre Değişim Miktarı (X).....	73
7.5. Su Seviyesinin Etkisi	74
7.6 Teorik Analiz	75
7.7. Literatür İle Karşılaştırma	76
7.8 Regresyon Analizi.....	76
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	78
KAYNAKLAR	79
ÖZGEÇMİŞ.....	83
EKLER.....	84

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1 Damıtma Süreci	14
Şekil 3.2 Damıtma Prosesi Öncesi Ve Sonrası	14
Şekil 3.3 Arıtma Prosesleri	15
Şekil 3.4 MSF Çalışma Prensibi	16
Şekil 3.5 MED Çalışma Prensibi	17
Şekil 3.6 Buhar Sıkıştırılmalı Sistemin Çalışma Prensibi	18
Şekil 3.8. Ters Osmoz	19
Şekil 3.9. Elektrodializ	20
Şekil 3.10 Su Damıtma İşleminde Kullanılan Enerji Kaynakları	22
Şekil 4.1 Güneş Enerjili Damıtma Yöntemleri	26
Şekil 4.2. Aktif Sistem (Ön Isıtmalı)	28
Şekil 4.4. Tek Havuzlu Ayrı Kondenserli Damıtıcı	28
Şekil 4.3. Farklı Tip Damıtıcılar	29
Şekil 4.5. Kapiler Filmlili Damıtıcı	31
Şekil 4.6. Çok Fitilli Damıtıcı	31
Şekil 4.7. Eğik Güneş Enerjili Su Damıtma Sistemi	32
Şekil 4.8 Ters Emicili Güneş Enerjili Damıtma Sistemi	33
Şekil 5.1. Güneş Enerjili Damıtıcıdaki Isı Geçiş Durumları.....	39
Şekil 6.1 Deneyde Kullanılan Damıtıcı	46
Şekil 6.2 Deneyde Kullanılan Damıtıcılar	46
Şekil 6.3 Genişletilmiş Yüzeyli Damıtıcı	47
Şekil 6.4 Genişletilmiş Yüzeyli Damıtıcı	47
Şekil 6.5 Sirkülasyon Pompası	48
Şekil 6.6 Kumanda Devresi	49
Şekil 6.7 Zaman Rölesi	49
Şekil 6.8 Kontaktör	49
Şekil 6.9 Lüle	50
Şekil 6.10 Sistemin Çalışma Prensibi	52
Şekil 6.11 Sirkülasyon Pompasının Verim Üzerindeki Etkisi	55
Şekil 7.1.a. Hareketsiz sistem için cam sıcaklıkları (Top Sayısı=200).....	56
Şekil 7.1.b. Hareketsiz sistem için taban, top, buhar ve havuz sıcaklıkları (Top Sayısı=200).....	56
Şekil 7.2.a . Hareketsiz sistem için cam sıcaklıkları (Top Sayısı=400).....	57

Şekil 7.2.b. Hareketsiz sistem için taban, top, buhar ve havuz sıcaklıkları (Top Sayısı=400).....	57
Şekil 7.3.a. Hareketsiz sistem için cam sıcaklıkları (Top Sayısı=600).....	58
Şekil 7.3.b Hareketsiz sistem için taban, top, buhar ve havuz sıcaklıkları (Top Sayısı=600).....	58
Şekil 7.4.a. Hareketli sistem için cam sıcaklıkları (Top Sayısı=100).....	59
Şekil 7.4.b. Hareketli sistem için taban, top, buhar ve havuz sıcaklıkları (Top Sayısı=100).....	59
Şekil 7.5.a . Hareketli sistem için cam sıcaklıkları (Top Sayısı=200).....	60
Şekil 7.5.b. Hareketli sistem için taban, top, buhar ve havuz sıcaklıkları (Top Sayısı=200).....	60
Şekil 7.6.a. Hareketli sistem için cam sıcaklıkları (Top Sayısı=300).....	61
Şekil 7.6.b. Hareketli sistem için taban, top, buhar ve havuz sıcaklıkları (Top Sayısı=300).....	61
Şekil 7.7.a Hareketli sistem için cam sıcaklıkları (Top Sayısı=400).....	62
Şekil 7.7.b Hareketli sistem için taban, top, buhar ve havuz sıcaklıkları (Top Sayısı=400).....	62
Şekil 7.8.a Hareketli sistem için cam sıcaklıkları (Top Sayısı=500).....	63
Şekil 7.8.b Hareketli sistem için taban, top, buhar ve havuz sıcaklıkları (Top Sayısı=500).....	63
Şekil 7.9.a Hareketli sistem için cam sıcaklıkları (Top Sayısı=600).....	64
Şekil 7.9.b Hareketli sistem için taban, top, buhar ve havuz sıcaklıkları (Top Sayısı=600).....	64
Şekil 7.10.a Hareketsiz sistem için saatlik üretim (Top Sayısı=200)	66
Şekil 7.10.b Hareketsiz sistem için saatlik üretim (Top Sayısı=400).....	66
Şekil 7.10.c Hareketsiz sistem için saatlik üretim (Top Sayısı=600)	66
Şekil 7.11.a Hareketli sistem için saatlik üretim (Top Sayısı=100)	67
Şekil 7.11.b Hareketli sistem için saatlik üretim (Top Sayısı=200)	67
Şekil 7.11.c Hareketli sistem için saatlik üretim (Top Sayısı=300).....	67
Şekil 7.11.d Hareketli sistem için saatlik üretim (Top Sayısı=400)	68
Şekil 7.11.e Hareketli sistem için saatlik üretim (Top Sayısı=500).....	68
Şekil 7.11.f Hareketli sistem için saatlik üretim (Top Sayısı=600).....	68
Şekil 7.12. Hareketsiz sistemde top sayılarına göre verim değişimi.....	69
Şekil 7.13. Hareketli sistemde top sayılarına göre verim değişimi.....	69
Şekil 7.14.a Hareketsiz sistem için verim (Top Sayısı=200).....	70

Şekil 7.14.b Hareketsiz sistem için verim (Top Sayısı=400)	70
Şekil 7.14.c Hareketsiz sistem için verim (Top Sayısı=600).....	70
Şekil 7.15.a Hareketli sistem için verim (Top Sayısı=100).....	71
Şekil 7.15.b Hareketli sistem için verim (Top Sayısı=200).....	71
Şekil 7.15.c Hareketli sistem için verim (Top Sayısı=300)	71
Şekil 7.15.d Hareketli sistem için verim (Top Sayısı=400).....	72
Şekil 7.15.e Hareketli sistem için verim (Top Sayısı=500)	72
Şekil 7.15.f Hareketli sistem için verim (Top Sayısı=600).....	72
Şekil 7.16 Hareketsiz sistem için değişim oranları	73
Şekil 7.17 Hareketli sistem için değişim oranları	73
Şekil 7.18. Su seviyesinin damıtılmış su miktarı üzerindeki etkisi.....	75
Şekil 7.19. Su seviyesinin verim üzerindeki etkisi	75
Şekil B.1.a Hareketli sistem için cam sıcaklıkları (Top Sayısı=400, $t_{stop}=120$ sn)89	
Şekil B.1.b Hareketli sistem için taban, top, buhar ve havuz sıcaklıkları (Top Sayısı=400, $t_{stop}=120$ sn)	89
Şekil B.2.a Hareketli sistem için cam sıcaklıkları (Top Sayısı=400, $t_{stop}=60$ sn) .90	
Şekil B.2.b Hareketli sistem için taban, top, buhar ve havuz sıcaklıkları (Top Sayısı=400, $t_{stop}=60$ sn)	90
Şekil B.3.a Hareketli sistem için cam sıcaklıkları (Top Sayısı=200, $h=10$ mm)..91	
Şekil B.3.b Hareketli sistem için taban, top, buhar ve havuz sıcaklıkları (Top Sayısı=200, $h=10$ mm)	91
Şekil B.4.a Hareketli sistem için cam sıcaklıkları (Top Sayısı=400, $h=10$ mm)..92	
Şekil B.4.b Hareketli sistem için taban, top, buhar ve havuz sıcaklıkları (Top Sayısı=400, $h=10$ mm)	92
Şekil B.5.a Hareketli sistem için cam sıcaklıkları (Top Sayısı=600, $h=10$ mm)..93	
Şekil B.5.b Hareketli sistem için taban, top, buhar ve havuz sıcaklıkları (Top Sayısı=600, $h=10$ mm)	93
Şekil C.1.a Hareketsiz sistem için duvar sıcaklıkları (Top Sayısı=200)	94
Şekil C.1.b Hareketsiz sistem için duvar sıcaklıkları (Top Sayısı=200)	94
Şekil C.2.a Hareketsiz sistem için duvar sıcaklıkları (Top Sayısı=400)	95
Şekil C.2.b Hareketsiz sistem için duvar sıcaklıkları (Top Sayısı=400)	95
Şekil C.3.a Hareketsiz sistem için duvar sıcaklıkları (Top Sayısı=600)	96
Şekil C.3.b Hareketsiz sistem için duvar sıcaklıkları (Top Sayısı=600)	96
Şekil C.4.a Hareketli sistem için duvar sıcaklıkları (Top Sayısı=100).....	97
Şekil C.4.b Hareketli sistem için duvar sıcaklıkları (Top Sayısı=100)	97

Şekil C.5.a Hareketli sistem için duvar sıcaklıkları (Top Sayısı=200).....	98
Şekil C.5.b Hareketli sistem için duvar sıcaklıkları (Top Sayısı=200)	98
Şekil C.6.a Hareketli sistem için duvar sıcaklıkları (Top Sayısı=300).....	99
Şekil C.6.b Hareketli sistem için duvar sıcaklıkları (Top Sayısı=300)	99
Şekil C.7.a Hareketli sistem için duvar sıcaklıkları (Top Sayısı=400).....	100
Şekil C.7.b Hareketli sistem için duvar sıcaklıkları (Top Sayısı=400)	100
Şekil C.8.a Hareketli sistem için duvar sıcaklıkları (Top Sayısı=500).....	101
Şekil C.8.b Hareketli sistem için duvar sıcaklıkları (Top Sayısı=500)	101
Şekil C.9.a Hareketli sistem için duvar sıcaklıkları (Top Sayısı=600).....	102
Şekil C.9.b Hareketli sistem için duvar sıcaklıkları (Top Sayısı=600)	102
Şekil D.1.a Hareketli Sistem için Üretim (Top Sayısı =400 $t_{sto}=120$ sn).....	103
Şekil D.1.b Hareketli Sistem için Verim (Top Sayısı =400 $t_{sto}=120$ sn)	103
Şekil D.2.a Hareketli Sistem için Üretim (Top Sayısı =400 $t_{sto}=60$ sn).....	104
Şekil D.2.b Hareketli Sistem için Verim (Top Sayısı =400 $t_{sto}=60$ sn)	104
Şekil D.3.a Hareketli Sistem için Üretim $h=10$ mm (Top Sayısı =200).....	105
Şekil D.3.b Hareketli Sistem için Verim $h=10$ mm (Top Sayısı =200).....	105
Şekil D.4.a Hareketli Sistem için Üretim $h=10$ mm (Top Sayısı =400).....	106
Şekil D.4.b Hareketli Sistem için Verim $h=10$ mm (Top Sayısı =400).....	106
Şekil D.5.a Hareketli Sistem için Üretim $h=10$ mm (Top Sayısı =600).....	107
Şekil D.5.b Hareketli Sistem için Verim $h=10$ mm (Top Sayısı =600).....	107
Şekil H.1 Üretkenlik analizi önerile-kalan grafiği.....	121
Şekil H.2 Su sıcaklığı analizi önerile-kalan grafiği	121
Şekil H.3 Cam sıcaklığı analizi önerile-kalan grafiği	122

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1. Suyun Kullanım Alanları [49].....	2
Tablo 1.2. Dünyadaki Suyun Dağılımı [50]	3
Tablo 1.3. Dünyadaki kişi Başına Kullanılabilir Su Potansiyeli [48].....	4
Tablo 1.4. Sağlıklı suya erişen nüfusun toplam nüfusa oranı (%) [49]	4
Tablo 1.5 Havzalar İtibariyle Türkiye'deki Su Potansiyeli [48].....	5
Tablo 6.1 Hata Analizi [43].....	53
Tablo 6.2 Kalibrasyon sonuçları.....	54
Tablo 6.3 Pompanın üretim üzerindeki etkisi.....	54
Tablo 7.1 Su seviyesinin değişiminin üretim üzerindeki etkisi.....	74
Tablo E.1 İklim Şartları.....	108
Tablo F.1 Hareketsiz sistem için üretilen su miktarları.....	111
Tablo F.2 Hareketli sistem için üretilen su miktarları.....	111
Tablo F.3 Hareketli sistem için üretilen su miktarları (t_{stop} değişken).....	111
Tablo F.4 Hareketli sistem için üretilen su miktarları (lüle yüksekliği $h=10$ mm).....	111
Tablo G.1 Hareketsiz sistem için teorik analiz.....	112
Tablo G.2 Hareketli sistem için teorik analiz.....	115

EKLERİN LİSTESİ

Sayfa

EK-A HATA ANALİZİ	84
EK-B LÜLE YÜKSEKLİĞİNİN VE SİRKÜLASYON POMPASININ DEĞİŞİMİ SONUCU ELDE EDİLEN SICAKLIK GRAFİKLERİ	89
EK- C DUVAR SICAKLIKLARI.....	94
EK-D LÜLE YÜKSEKLİĞİNİN VE SİRKÜLASYON POMPASININ DEĞİŞİMİ SONUCU ELDE EDİLEN VERİM VE ÜRETKENLİK	103
EK-E IŞINIM,ÇEVRE SICAKLIKLARI VE RÜZGAR HIZI.....	108
EK-F SU ÜRETİM MİKTARLARI.....	111
EK-G TEORİK ANALİZ.....	112
EK-H REGRESYON ANALİZİ SONUCU ELDE EDİLEN GRAFİKLER VE TABLOLAR	121

SEMBOLLER LİSTESİ

h_w	: Tabandan suya konvektif ısı transfer katsayısı ($W/m^2\text{ }^{\circ}C$)
h_b	: Tabandan ve duvarlardan çevreye tüm ısı transfer katsayısı ($W/m^2\text{ }^{\circ}C$)
h_{lw}	: Su yüzeyinden Cam kapağa toplam ısı transfer katsayısı ($W/m^2\text{ }^{\circ}C$)
h_{lg}	: Cam Kapaktan çevreye konvektif ısı transfer katsayısı ($W/m^2\text{ }^{\circ}C$)
h_{cw}	: Su yüzeyinden Cam kapağa konvektif ısı transfer katsayısı ($W/m^2\text{ }^{\circ}C$)
h_{ew}	: Su yüzeyinden Cam kapağa evoparatif ısı transfer katsayısı ($W/m^2\text{ }^{\circ}C$)
h_{rw}	: Su yüzeyinden Cam kapağa ışıınım ısı transfer katsayısı ($W/m^2\text{ }^{\circ}C$)
T_w	: Su sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T_g	: Cam Kapak sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T_a	: Çevre sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T_b	: Emici Yüzey sıcaklığı ($^{\circ}C$)
m_w	: Havuzdaki su kütlesi (kg)
m_{ew}	: Birim alan başına düşen damıtıcıdaki üretim miktarı (kg/m^2)
m_{th}	: Damıtılmış su miktarı (Teorik) (gr)
m_{ex}	: Damıtılmış su miktarı (Deneysel) (gr)
P_g	: Cam Sıcaklığındaki kısmı buhar basıncı (N/m^2)
P_w	: Su sıcaklığındaki kısmı buhar basıncı (N/m^2)
X	: Değişim miktarı
η	: Verim
A	: Alan (m^2)
n	: Top Sayısı
t	: Zaman (s)
$I(t)$	: Işınım (W/m^2)
L	: Buharlaştırmanın kayıp ısısı ($W/m^{\circ}C$)
V	: Rüzgar Hızı (m/sn)
σ	: Stefan Boltzman Sabiti ($5,67 \times 10^{-8} W/m^2\text{ }^{\circ}K$)
α	: Absorbtivite
1	: Konvensiyonel damıtıcı
2	: Genişletilmiş yüzeyli damıtıcı

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÜNEŞ ENERJİLİ SU DAMITMA SİSTEMLERİNDE GENİŞLETİLMİŞ YÜZEYLERİN ISI VE KÜTLE TRANSFERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Yusuf BİLGİÇ

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

2008, Sayfa:122

Tuzlu sudan içme suyu elde edilmesinde, çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden birisi, tuzlu suyun güneş enerjisiyle damıtılmasıdır.

Bu çalışmada, güneş enerjili bir damıtıcıda genişletilmiş yüzeyin etkisi deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere, iki adet damıtıcı imal edilmiştir. Bu damıtıcılardan birisi geleneksel (konvensiyonel) damıtıcı olup, referans olarak kullanılmıştır. Diğer damıtıcı ise genişletilmiş yüzeyin etkisini incelemek için kullanılmıştır. Deneyler, Elazığ İklim Koşullarında yapılmıştır. Deneylerde, iklim koşulları (Güneş ışınımı, rüzgar hızı, çevre sıcaklığı), Cam örtü sıcaklığı, damıtıcı havuz sıcaklığı, taban sıcaklığı, damıtıcının yan duvar sıcaklıkları ve damıtılmış su miktarları ölçülmüş ve değerlendirilmiştir.

Yüzeyi genişletmek için siyah renge boyanmış 40 mm çapında pin-pon topları kullanılmıştır. Bu topların damıtıcı içerisinde hareketini sağlamak için, tuzlu su, bir sirkülasyon pompası aracılığıyla yandan püskürtülmüştür.

Yapılan deneylerde, topların hareketli ve durgun durumları için üretilen damıtılmış su miktarları karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, genişletilmiş yüzeyin, damıtma sisteminin verimliliğini olumlu yönde etkilediğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjili Su Damıtma, Güneş Enerjisi, Damıtma, Su Damıtma

ABSTRACT

Master Thesis

THE EFFECT OF EXTENDED SURFACES IN THE SOLAR DISTILLATION SYSTEMS ON THE HEAT AND MASS TRANSFER

Yusuf BİLGİÇ

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

2008 Page:122

Various methods are used for obtaining drinking water from salt water. One of these methods is the distillation of the salt water by solar energy.

In this work, the effect of extended surfaces in a solar-still system is investigated theoretically and experimentally. Two distillers are constructed to use in experimental works. One of these distillers is conventional distiller and used as a reference. The other distiller is used to investigate the effect of extended surfaces. The experiments are carried out in Elazığ climate conditions. In the experiments, Climate conditions (Solar radiation, wind speed, ambient temperature), Glass cloth heat, distiller pool heat, base heat, distiller side wall heat and the amount of distilled water are measured and evaluated.

To extend the surfaces, table tennis balls with diameters of 40 mm, which are painted black, are used. To move the balls in the distiller, the salt water is sprayed from sides by a circulating pump.

In the experiments, the amounts of distilled water are compared for stationary and moving balls. Obtained results show that extended surfaces improves the efficiency of distillation system.

Key words: Solar still, Solar energy, Distillation, Water distillation.

1.GİRİŞ

Yeryüzündeki yaşamın en temel kaynağı olan suyun önemi her geçen gün gittikçe artırmaktadır. Son yıllarda başta küresel ısınma olmak üzere bir çok nedenden dolayı su çok değerli bir kaynak olmaktadır. Gezegenimizdeki nüfusun sürekli artması ve su kaynaklarının azalması ile birlikte içme suyu sıkıntısı yaşanmaktadır. Bunun sonucunda su kullanımına yönelik ülkelerarası krizlerin çıkması ise kaçınılmaz olmaktadır. 1992–1997 yılları arasında Birleşmiş Milletler Genel Sekreterliğini yapan Boutros GALİ “Geleceğin savaşları politik nedenlerle değil, su için çıkacaktır.” diyerek konunun önemini vurgulamaya çalışmıştır. Günümüzde ise bir çok uluslararası organizasyonların bu kaynağın önemine dikkat çekmekte ve ileride yaşanacak sıkıntıların önüne geçmek için çeşitli çalışmalar yapmaktadır.

Dünyadaki yer üstü tatlı su kaynakları su gereksinimi yeteri kadar karşılayamaması nedeniyle alternatif kaynaklara yönelinmektedir. Bu kaynakların en başında yeraltı suları gelmektedir. Bununla beraber yağmur sularının kullanımı ve atık suların tekrar geri dönüşümünden de faydalanılmaya çalışılmaktadır. Ancak bu kaynakların da yeterli olmadığı bölgelerde deniz suyu tuz ve tortulardan arıtılarak kullanılmaktadır.

Deniz suyunun arıtılması sürecinde bir çok yöntem kullanılmakta olup, bu yöntemlerde önemli bir enerji kaynağına ihtiyaç bulunmaktadır. Arıtma sürecinde kullanılacak petrol, doğal gaz, elektrik gibi enerji kaynakları hem yüksek maliyete hem de çevre kirliliğine neden olmaktadır. Son yıllarda bu alanda yapılan çalışmalar enerji kaynağı olarak yenilenebilir enerjilerin kullanımını artırmaya yönelik olmuştur. Deniz suyunun bulunduğu bir çok bölge aynı zamanda güneş enerjisinden de maksimum olarak faydalanılabilecek bölgeleri oluşturmaktadır. Bu nedenle buralarda kullanılacak güneş enerjili damıtıcı sistemlerin hem verimi daha yüksek hem de işletme maliyeti çok düşük olacaktır. Ayrıca güneş enerjili damıtıcı sistemlerinin çalışma prensibi diğer damıtıcı sistemlerden daha basit olup, bu sistemlerin kullanımı sırasında ara bir proses gerekli değildir.

1.1. Suyun Önemi Ve Kullanımı

Yeryüzünün en önemli kaynaklarından biri olan su yaşamın temel kaynağı olup, sadece canlıların fizyolojik gereksinimlerinden biri olmayıp, tüm doğal yaşamın temel yapı taşıdır. Su, insan vücudunun % 65-70’ini, kanın % 65-85’ini oluşturmaktadır. Ayrıca bitkilerin canlılıklarını sürdürmelerinin temeli olan fotosentez işlemi su ile gerçekleşmektedir [46].

Su sadece doğal yaşam için değil, aynı zamanda endüstri içinde önemli kaynaklardan biridir. Bu nedenle endüstri kuruluşların inşa aşamasında fizibilite çalışmalarında dikkat edilen en önemli parametre su ve su kaynakları olmaktadır.

Dünyadaki hızlı nüfus artışı, gelişen tarımsal alanlar ve endüstriyel amaçlı su kullanımı suya olan gereksinimi artırmaktadır.

Suya olan gereksinim ile mevcut su kaynakları arasındaki fark gittikçe artmaktadır. Bu nedenle var olan su kaynaklarının doğru kullanılması ve yeni su kaynaklarının bulunması gerekmektedir. Bu noktada deniz ve okyanus sularından faydalanılması söz konusu olmaktadır. Ancak bu kaynaklardaki suyu alternatif su kaynağı olarak kullanabilmesi için içeriğindeki tuz, tortu ve bazı maddelerden arındırılması gereklidir.

Tablo1.1’de suyun kullanım alanlarının dağılımı gösterilmiştir. Burada da görüleceği gibi en fazla su tüketimi tarımsal alanlarda olmaktadır.

Tablo 1.1. Suyun Kullanım Alanları [49]

Kullanım Alanı	Dünya Ortalaması	Gelişmiş Ülkelerde	Gelişmekte Olan Ülkelerde	Az Gelişmiş Ülkelerde
Tarım	67	39	52	86
Endüstri	23	46	38	7
Konut	10	15	10	7

Endüstrideki su tüketimi evsel kullanımlara göre daha fazla olup, Endüstride 1 otomobil üretimi için 300–400 ton, 1 ton çelik üretimi için 240 ton, 1 kg kumaş üretimi için ise 200 litre ; Evsel kullanımda ise banyo yapmak için asgari 50–60 litre, bulaşık ve çamaşır yıkamak için 100–120 litre su kullanılmaktadır [49].

1.2.Su Kaynakları

Dünyanın % 70’i su ile kaplı olup, Bu suyun % 3,5’luk küçük bir kısmı tatlı sudur. Dünyadaki su kaynakları, okyanuslar, denizler, göller, akarsular, buzullar, atmosfer ve yeraltı sularıdır. Tablo 1.2’de görüleceği gibi dünyada bulunan suyun %96,5’i okyanus, denizler ve körfezlerdedir. Burada bulunan suyun tamamı tuzlu sudur. Diğer su kaynaklarındaki oran ise %3,5 olup bu suyun sadece %2,5’lik bir kısmı tatlı sudur. Dünyada bulunan toplam su miktarı yaklaşık 1,4 milyar km³’tür [48].

Tablo 1.2. Dünyadaki Suyun Dağılımı [50]

Su kaynağı	Kilometreküp olarak ifade edilen su hacmi	Milküp olarak ifade edilen su hacmi	Tatlı su yüzdesi	Toplam su yüzdesi
Okyanuslar Denizler ve Körfezler	1,338,000,000	321,000,000	--	96.5
Buz tepeleri, Buzullar ve Kalıcı Kar	24,064,000	5,773,000	68.7	1.74
Yer altı suyu	23,400,000	5,614,000	--	1.7
Tatlı	10,530,000	2,526,000	30.1	0.76
Tuzlu	12,870,000	3,088,000	--	0.94
Toprak nemi	16,500	3,959	0.05	0.001
Zemin buzu ve sürekli don olan toprak	300,000	71,970	0.86	0.022
Göllere	176,400	42,320	--	0.013
Tatlı	91,000	21,830	0.26	0.007
Tuzlu	85,400	20,490	--	0.006
Atmosfer	12,900	3,095	0.04	0.001
Bataklık suyu	11,470	2,752	0.03	0.0008
Nehirler	2,120	509	0.006	0.0002
Biyolojik Su	1,120	269	0.003	0.0001
Toplam	1,386,000,000	332,500,000	-	100

1.3.Su İhtiyacı

Dünyada kişi başına kullanılabilir su potansiyeli Tablo 1.3’de gösterilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi 1995 yılına göre dünya nüfusunun sadece %55 yeterli miktarda suya ulaşmakta, %19’luk bir kısmına ise kişi başına 500 m³’den az su düşmektedir. Bu oranın 2025 yılında ise %48 ile yeterli suya ulaşan olarak değişeceği tahmin edilmektedir [48].

Kabul edilen su yeterlilik miktarı kabul edilen kişi başına 1700 m³ olup günümüzde bu miktarın sadece 400 m³’lük bir kısmını evlerde, geri kalan kısmı ise tarım ve sanayide kullanılmaktadır [48].

Tablo 1.4’te ise sağlıklı suya erişen nüfusun, toplam nüfusa oranı görülmektedir. Bu oranın en düşük olduğu bölge Afrika Ülkeleri ve en yüksek oran ise Sanayileşmiş ülkelerdedir [49].

Tablo 1.3. Dünyadaki kişi Başına Kullanılabilir Su Potansiyeli [48]

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	1.000-1.700	669	12	1.077	15
Su Yeterli	> 1.700	3.091	55	3.494	48
Sınıflandırma Dışı		241	4	296	4
TOPLAM		5.665	100	7.274	100

Tablo 1.4. Sağlıklı suya erişen nüfusun toplam nüfusa oranı (%) [49]

Dünya geneli	82
Sanayileşmiş ülkeler	99
Gelişmekte olan ülkeler	66
Afrika ülkeleri	38
Asya ve Pasifik ülkeleri	63
Latin Amerika ve Karayip ülkeleri	77
Kuzey Afrika ve Orta Doğu ülkeleri	77
Türkiye	93

Ülkemizdeki toplam yerüstü suları yaklaşık 193 milyar m³ olup, bu miktarın ortalama 7 milyar m³'lük kısmı dış ülkelere sınıraşan su olarak gelmektedir [48].

Tablo 1.5'de görüleceği gibi Türkiye'nin havzalar itibarıyla toplam su potansiyeli 186,05 km³'tür. Ülkemizdeki yıllık toplam akış miktarı en fazla Fırat (31,61 km³) ve Dicle (21,33 km³) Havzalarıdır. Bu iki havzadaki toplam miktar, genel toplamın yaklaşık %28,5'ini oluşturur [48].

Ülkemizde kişi başına düşen su miktarı yıllık 1640 m³ olup, bu oranın 2025 yılında 1237 m³'e düşmesi tahmin edilmektedir. Buradan da anlaşılacağı gibi ülkemiz su yönünden zengin bir ülke grubuna girmemektedir [48].

1.4. Uluslar Arası İlişkiler Bakımından Suyun Önemi:

Günümüz dünyasında daha fazla üretmek ve tüketmek için yaşam kaynaklarından biri olan talep gittikçe artırmaktadır. Bunun sonucu olarak su bakımından zengin olan ülkelerle, su bakımından fakir olan ülkeler arasında su kaynakları sık sık tartışılan bir dış politika sorunu olmuştur. Dünyada var olan yaklaşık 35 milyon km³ tatlı suyun düzensiz dağılımı, sınır ötesi

çatışmalara neden olmaktadır. Gelecekte savaşların nedenlerinden birinin su olacağı açıkça görülmektedir [47].

Tablo 1. 5 Havzalar İtibariyle Türkiye'deki Su Potansiyeli [48]

Havza Adı	Yıllık Toplam Akış (km ³)	Tarım Alanı (ha)	Sulanabilir Alan(ha)
Meriç Ergene	1,33	1.095.320	1.077.992
Marmara	8,33	865.704	729.957
Susurluk	5,43	850.046	755.394
Kuzey Ege	2,09	367.479	316.348
Gediz	1,95	667.207	623.403
K.Menderes	1,19	222.437	194.799
B.Menderes	3,03	1.044.296	907.383
Batı Akdeniz	8,93	437.356	406.601
Antalya	11,06	451.224	448.111
Burdur Göller	0,5	251.403	249.484
Akarçay	0,49	364.411	359.938
Sakarya	6,4	2.814.341	2.681.137
Batı K.Deniz	9,93	855.008	640.557
Yeşilırmak	5,8	1.617.206	1.401.213
Kızılırmak	6,48	4.049.796	3.761.142
Konya Kapalı	4,52	2.182.762	2.134.915
Doğu Akdeniz	11,07	438.281	327.790
Seyhan	8,01	764.673	714.014
Asi	1,17	376.240	331.719
Ceyhan	7,18	779.792	713.670
Fırat	31,61	4.293.793	4.111.316
Doğu K.Deniz	14,9	712.575	350.717
Çoruh	6,3	326.220	303.362
Aras	4,63	642.017	641.137
Van Kapalı	2,39	436.485	433.319
Dicle	21,33	1.148.238	1.137.628
TOPLAM	186,05	28.054.310	25.753.586

Günümüzde Afrika, Orta Asya, Ortadoğu ve Amerika kıtalarındaki bazı ülkelerdeki su kullanımı ve kullanım haklarından dolayı şiddetli tartışmalar yaşanmaktadır [47].

Günümüzdeki en önemli su sorununun olduğu bölgelerden birisi Fırat-Dicle havzasıdır. Bu bölgedeki hızlı nüfus artışının gelecek 25 yılda şiddetli tartışmalara sebebiyet vereceği düşünülmektedir. Şu anda ciddi bir su sorunu yaşamayan Kuzey Afrika ve Arap Yarımadası gelecekte kaynak sıkıntısı yaşayacak bölgelerdendir. Çünkü bu bölgelerdeki en önemli su kaynağı fosil su depolarıdır. Gelecek 30–50 yıl içerisinde bu kaynakların kuruyacağı tahmin edilmektedir [47].

Su sıkıntısının önemli derecede etkileyeceği bölgeler arasında Orta Doğuda bulunmaktadır. Bu bölgelerde kişi başına düşen su miktarı yıllık 1300–1400 m³ civarındadır. Ancak bu bölgedeki en önemli sorun bu bölgelerdeki nehirlerin sınır aşan su özelliği taşıması nedeniyle bu suların kullanımı ve kullanım hakları üzerine olan tartışmalardır [47].

2.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatürde güneş enerjili damıtıcılarla ilgili olarak deneysel ve teorik çalışmalar mevcut bulunmaktadır. Çalışmalarda çift cam, su seviyesinin etkisi, rüzgar hızı ve genişletilmiş yüzeylerin etkisi gibi parametreler bulunmaktadır.

Asgarwal ve Tiwari [1] çift yoğuşma hazneli güneş enerjili damıtıcının termal modellemesini yaparak, deneysel olarak karşılaştırmışlardır. Araştırmacılar damıtıcının üzerinde iki kapak kullanarak arada ayrı bir yoğuşma haznesi oluşturmuşlar. Geliştirdikleri bu sistemle konvensiyonel damıtıcıya göre %46'lık daha fazla damıtılmış su elde etmişlerdir.

Çift cam arası soğutmalı güneş enerjili damıtıcılarının modellemesi ve performansları Abu –Arabî ve arkadaşları tarafından incelenmiştir [2]. Bu sistemde çift cam kullanılmış ve bu camların arasından soğuk su akışı sağlanarak alttaki yoğuşturucu camının sıcaklığının düşürülmesi ile üretilen damıtılmış su miktarı artırılmıştır. Sonuçta soğutmalı damıtıcının verimliliğinin konvensiyonel damıtıcıdan %34 daha fazla olduğu görülmüştür.

Toure ve Meukam [3] bir güneş enerjili damıtıcının sayısal modellenmesini yaparak deneysel olarak incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada su derinliği 5 mm den, 60 mm ye artırılınca verimde %19'luk bir düşüş; rüzgâr hızının 0m/s den, 9 m/s ye artmasıyla verimde %10'luk bir artış olduğunu tespit etmişlerdir.

Asgarwal ve Tiwari [4] çift yoğuşma odalı ve konvensiyonel güneş enerjili damıtıcıda konvektif kütle transferini incelemişlerdir. Deneysel verilere lineer regresyon metodunu uygulayarak $Nu=c(Gr*Pr)^n$ denklemlerindeki c ve n değerlerini tespit etmişlerdir.

Al-Hinai Al-nassri ve Yurban [5] çift etkili bir damıtıcı ile tek etkili bir damıtıcıyı parametrik olarak incelemişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada kapak eğiminin kış aylarında arttıkça verimin arttığını; yaz aylarında ise açıyla ters orantılı olduğunu tespit etmişlerdir. Optimum kapak eğimini 23^0 , izolasyon kalınlığını ise 0,1 m olarak bulmuşlardır. Tek etkili güneş enerjili damıtıcıda günlük üretimin $4,15 \text{ kg/ m}^2\text{gün}$ olduğunu, çift etkilide ise bu miktarın %39 artarak $6,1\text{kg/ m}^2\text{gün}$ olduğunu ve en fazla saatlik üretiminin $0,72\text{kg/m}^2$ ile öğleden sonra saat 14:00'de çift etkili güneş enerjili damıtıcıda olduğunu tespit etmişlerdir. Yaptıkları maliyet analizinde tek etkili damıtıcıda $16,3 \text{ \$/m}^3$, çift etkilide ise %15,7'lik bir düşüşle $13,7 \text{ \$/m}^3$ olarak toplam maliyeti bulmuşlardır.

Meakum ve arkadaşları [6] alkolü damıtmak için güneş enerjili bir damıtıcının optimizasyonunu yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada optimum eğim açısını 16^0 olarak tespit etmişlerdir.

Fath [7] çift etkili güneş enerjili damıtıcının performansını incelemiştir. Tek etkili damıtıcıda $4,5 \text{ kg/m}^2$ gün bulduğu üretim miktarı, çift etkilide %50 artarak $6,75 \text{ kg/m}^2$ gün olarak bulmuştur. Çalışmalarında Suudi Arabistan iklim şartlarında güneş ışıınımlarından en fazla etkili olduğu dönemde $10,7 \text{ kg/m}^2$ gün 'lük üretim olarak elde etmişlerdir.

Tiwari, Shukla ve Sinfh [8] aktif ve pasif damıtıcılarda camın iç sıcaklığını dikkate alarak bilgisayar modellemesinin yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlarda $NU=c(Gr*Pr)^n$ denklemindeki c ve n sayılarının camın iç ve dış sıcaklık değişimine göre belirlemişleridir. Çalışmada işletme sıcaklıklarının içteki ısı transfer katsayısı üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu göstermişlerdir.

Tripathi ve Tiwari [9] güneş ışınlarının bölünerek kullanılmasıyla bir güneş damıtıcısının performansını değerlendirmişlerdir. Bu çalışmada güneş bölüntüsü hesaplarken Autocad 2000 kullanılmıştır. Kuzey duvarının yüksekliğinin 21,5 cm den 101,5 cm ye artmasıyla ortalama güneş fraksiyonun 0,19'dan 0,33'ye arttığını tespit etmişlerdir. (1000mm x 1000mm) Kuzey duvarının yüksekliğini 101,5 cm ve genişliğini 100 cm olarak damıtıcının genişliği 100 cm den 1000 cm ye arttırıldığında ortalama fraksiyonun 0,09'dan 0,01'e düştüğünü tespit etmişlerdir.

Aboul –enein, El –sebah ve El bialy [10] tek havuzlu damıtıcıda havuzun derinliğini ele alarak çalışma yapmışlardır. Buna göre 3 mm cam kalınlığı, 15^0 cam açısı, 0,075 m izolasyon kalınlıklı ve 1m^2 'lik yüzey alanını optimum değer olarak tespit etmişlerdir. Yapılan çalışmada 50^0 lik cam açısında yaz ve kış aylarındaki üretimin eşit olduğunu belirlemişlerdir.

Hamdan, Musa ve Yubran [11] tek, çift ve 3 havuzlu damıtıcının performansını incelemişlerdir. Kullandıkları damıtıcı piramit şeklinde olup $0,95 \times 0,95 \text{ m}^2$ ve $950 \times 950 \times 150 \text{ mm}^3$ 'lük alt yüzeyi 1,25 mm siyah çelikten imal edilmiştir. Maksimum üretim 3 havuzluda 4.896 g/m^2 , çift havuzluda 4.610 g/m^2 ve tek havuzluda 3.693 g/m^2 olarak bulunmuştur. Maksimum etkinliği ise üçlü damıtıcıda %44, ikilide %42 ve teklide ise %32 olarak tespit etmişlerdir.

El-Sebaai [12] 3 havuzlu güneş enerjili damıtıcının ısı performansını incelemiştir. Yaptığı deneysel çalışmada ilk havuzda 3,990, ikinci havuzda 4,130 ve üçüncü havuzda 4,515 kg/m^2 gün olmak üzere toplamda $12,635 \text{ kg/m}^2$ gün'lük bir üretim elde etmiştir. Havuzdaki su kütlelerinin miktarlarının değişiminde su kütlesi ile üretilen damıtılmış su arasında ters orantı olduğunu gözlemlemiştir. Rüzgâr hızının artmasıyla toplam üretkenliğin arttığını belirlemiştir.

El-Bahi ve İnan [13] ayrı yoğuşturuculu paralel çift camlı güneş enerjili damıtıcının analizini yapmışlardır. Kullandıkları sistemde 20 kg su kullanılmıştır. Havuz yüzey alanı 1 m^2 olup, 0,35 mm lik çelik sacdan imal edilmiştir. Toplam üretim yoğuşturucu soğutulmaksızın 4 kg/m^2 gün iken soğutulduğunda %50lik bir artışla 6 kg/m^2 gün olduğunu tespit etmişlerdir.

Abu-Hiyleh ve Mousa [14] güneş enerjili damıtıcının cam yüzeyini ince bir su tabakası ile soğutulmasını incelemişlerdir. Bu şekilde bir soğutmanın verim üzerinde %20 civarında bir artış sağladığını tespit etmişlerdir.

Rubio-Cerda, Porta-Gandara ve Fernandez Zayas [15] bir üçgen güneş damıtıcısındaki yoğunlaştırıcı kapakların ısı performansını üzerinde çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmada kapak ve su sıcaklığındaki farkın artmasıyla saatlik üretimin arttığını gözlemişlerdir. Sıcaklık farkı 0 dan 20 C⁰ye değiştiğinde, üretimde 0 dan 1,25kg/m² saat'e değişmiştir.

El-Sebaii [16] güneş damıtıcısında bazı tasarımlar üzerinde rüzgâr hızının etkisini incelemiştir. Yaptığı çalışmada 5 farklı parametre dikkate alınmıştır. Bunlar aynalı çift eğimli tek havuzlu, aynasız çift eğimli tek havuzlu, tek eğimli tek havuzlu, tek eğimli çift havuzlu ve dik damıtıcı şeklindedir.

El-Swity ve Metias [17] çift ışınlı güneş enerjili damıtıcının performansını incelemişlerdir. Araştırmacıların yaptıkları deney sonucunda yaz aylarında saat 13:00'daki üretim miktarı çift ışınlı sistemde 606,7 l/m² iken klasik sistemde 383,5 l/m² olarak bulunmuşlardır.

Namprakai ve Hirunlabh [18] bir havuz güneş enerjili damıtıcı yardımıyla etil alkolü damıtmışlardır ve kütle transferini incelemişlerdir.

Farklı tabakalardan imal edilmiş olan askılı emici yüzeyli tek havuzlu güneş enerjili damıtıcının yıl boyunca performansı El-sebaii [19] ve arkadaşları tarafından incelenmiştir. Yaptıkları çalışmada havuz tabanından belli yüksekliklerde konumlandırılacak şekilde ayarlanabilen ayrı bir perdelemeli emici yüzey kullanmışlardır. Yaptıkları deneyler sonucunda alüminyumda % 20, bakırda % 17,2 ve paslanmaz çelikte % 15,2 günlük üretkenliği tespit etmişlerdir. Mika kullanıldığı zaman üretkenliğin bakıra göre yaklaşık % 23 daha fazla olduğunu, askılı emicili damıtıcının konvansiyonel sistemden %42 daha fazla üretken olduğu tespit edilmiştir.

El-Hinai, El- Nassri Yurban [20] basit bir güneş enerjili damıtıcının üretimi üzerinde iklimin, tasarımın ve işletme parametrelerinin etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmalarını 23° kapak eğim açısı 0,1 m izolasyon kalınlığına sahip bir damıtıcı kullanmışlar. Maksimum üretimi Saat 13:50'de 0,5kg/m² saat olarak tespit etmişler. En fazla üretim 6,78 kg/m² gün olarak Haziran ayında, en az üretim ise 3,17 kg/m² gün olarak Aralık ayında olduğunu belirlemişlerdir. Çevre sıcaklığı 23 °C den 33 °C ye çıktığında üretim %8,2 olarak artmıştır. Optimum izolasyon kalınlığını 0,1m olduğunu, havuzun emici yüzeyi olarak asfalt kullanıldığında ise maksimum performansı 4,26 kg/m² gün olarak bulunmuşlardır.

El-Sebaei, Aboul-Enein ve El-Bialy [21] askılı emici yüzeyin kullanıldığı tek havuzlu güneş enerjili damıtıcıyı incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada delik alanın günlük üretim üzerindeki etkisinin ters orantılı olduğunu, delik alanı $0,00 \text{ m}^2$ den $0,20 \text{ m}^2$ ye artarken üretilen damıtılmış su miktarı $5,177$ 'de $4,099 \text{ kg/m}^2$ gün düşmüştür. Üretkenlik için asılı perdenin optimum konumunun tuzlu suyun ortasında olması gerektiğini ifade etmişlerdir.

Yüzen delikli siyah plakanın kullanıldığı güneş enerjili damıtıcı; Nafey [22] ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir. Güneş enerjili damıtıcıda delikli siyah plakanın kullanılmasıyla 3 cm su derinliğinde $\%15$, su derinliğinin 6 cm olması durumunda $\%40$ üretkenlik artışı olduğunu tespit etmişlerdir.

Yanarthanan Chandrasekaran ve Kumar [23] cam kapak üzerinde su akışlı tip güneş damıtıcısının performansını incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada cam üzerinde su akıntısının kapak sıcaklığında önemli bir sıcaklık düşüşünü sağladığı ve buradaki akış hızının $1,5 \text{ m/s}$ olması durumunda elde edilen damıtılmış su miktarında önemli bir artış olduğunu tespit etmişlerdir.

Patel ve Arkadaşları [24] güneş enerjili damıtıcıdaki arıtma işleminde foto katalizörlerin etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmalarında konvansiyonel havuz tip güneş enerjili damıtıcıların verimlerini artırmak için CuO , PbO_2 , MnO_2 gibi farklı iletkenlerden yararlanmışlardır. Kullanılan fotokatalizörlerin hem su kalitesini hem de damıtılmış su miktarını artırdığı görmüşlerdir. Fotokatalizörlü sistemde 3 saatlik süre içinde yaklaşık olarak CuO 'de 340 ml , PbO_2 'de 325 ml MnO_2 'de 290 ml ve fotokatalizörsüz durumda 130 ml damıtılmış su elde etmişlerdir.

Fath ve Arkadaşları [25] tek eğilimli ve piramit biçimli güneş enerjili damıtıcıların ısı ve ekonomik analizlerini yapmışlardır. Tek eğilimli damıtıcının piramit şeklindeki damıtıcıya göre daha düşük bir verime sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Yıllık maliyet piramitte $0,126 \text{ LE/L}$, Tek eğilimli damıtıcıda ise $0,113 \text{ LE/L}$ olarak belirlemişlerdir.

Tanaka, Nosoko ve Nagata [26] 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 $1,7 \text{ kg m}^{-2}\text{gün}^{-1}$ olduğunu tespit etmişlerdir. 5 mm aralıklı 10 adet dikey damıtıcı hücresi kullanılması durumunda günlük toplam $15,4 \text{ kg m}^{-2}\text{gün}^{-1}$ üretim olduğunu belirlemişlerdir.

Zurigat ve Abu-Arabi [27] yeniden üretimli güneş enerjili damıtıcının modellemesini ve performansını incelemişlerdir. İnceleme yaptıkları damıtıcıda çift cam kullanmışlar ve camlar arasında ince bir su tabakası geçirerek iki etki elde etmişlerdir. İlk etki havuzdaki su buharının

camda yoğuşmasıyla bir miktar ısı kaybetmesi ve bu ısıнын ikinci etkideki ince su tabakasına aktarılmasıdır. Bu sayede hem havuzdaki suyun ve ilk camın sıcaklıkları arasındaki fark artacak hem de yoğuşmayla kaybolan ısıнын yeniden kullanılmasını sağlamışlardır. Bu şekildeki bir damıtıcının üretkenliğinin konvensiyonel sistemden yaklaşık olarak %20 daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir.

Abdel-Rehim ve Lasheen [28] güneş enerjili damıtma sistemi için iki değişiklik yapmışlardır. İlk değişiklikte damıtıcının verimini artırmak için havuzun tabanına 13,5 mm çapında cam toplardan bir tabaka döşemişlerdir. İkinci değişiklik ise havuzdaki su içerisinde dönen bir mil yerleştirmişlerdir. Sistemlerin üretkenliğinin mukayesesinde paketlenmiş>dönen milli sistem>konvensiyonel sistem şeklinde olduğunu gözlemişlerdir. Üretkenliğin aylara göre değişiminin ise Temmuz>Haziran>Mayıs şeklinde olduğunu gözlemlemişlerdir

Shukla ve Sorayan[29] bir güneş damıtıcısının ısıl modellemesini yapıp deneysel sonuçlarla doğrulamışlardır. Kullandıkları damıtıcı çoklu-fitilli bir sistemdir. Dunkle tarafından kullanılan $NU=c(Gr*Pr)^n$ denklemindeki c ve n sabitlerinin değerlerini incelemişlerdir. Dunkle(1961) c=0,075 ve n=1/3 olarak kullanmıştır. İç cam sıcaklıklı c ve n sabitlerini tek eğilimli çoklu-fitilli damıtıcıda c=0,0777 n=0,0378, çift eğilimli çoklu fitil damıtıcıda (doğu) c=0,0656 n=0,0334 , (batı) c=0,0765 n=0,343 olarak tespit etmişlerdir.

Rahim [30] yatay olarak konumlandırılmış güneş enerjili damıtıcı da ısı enerjisini depolamak için yeni bir metot üzerinde çalışmıştır. Yapılan çalışmada havuz içerisindeki suyun üzerinde yüzen siyaha boyanmış alüminyum bir plaka kullanarak daha fazla ısı depolanmasını sağlamıştır. Ortalama verimi % 57, maksimum verimi ise % 62 olarak tespit etmiştir.

Haddad, Al-Nimr ve Magableh [31] güneş enerjili soğutma sisteminin kullandığı güneş enerjili damıtıcının performansı incelemişlerdir. Damıtıcıda elde edilen buharın yoğuşması sırasında aradaki sıcaklık farkını artırmak için güneş enerjisinden faydalanılarak yoğuşturucu yüzeyi soğutmuşlardır. Işınım miktarının ve çevre sıcaklığı gibi parametrelerin sistem üzerindeki etkisi incelemişlerdir. Çevre sıcaklığının artmasıyla, yoğuşma miktarı arasında doğru orantılı bir artış olduğunu görmüşlerdir. Cam kapağa gelen anlık güneş ışıınım miktarı 200 w/m²'den 1000 w/m² ye artınca yoğuşma miktarı 10 saat sonra 0,9'dan 2,5 kg'a artmıştır.

Suneya ve Tiwari [32] güneş enerjili damıtıcıda yoğuşturucu yüzeyden su akışının iç ısı transferi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Su akışlı durumdaki buharlaşma ısı transferi katsayısının akışsız durumdan daha düşük olduğunu gözlemlemişlerdir. Buharlaşma ısı transferi katsayısının su derinliği ile ters orantılı olarak değiştiğini belirlemişlerdir.

A.Rahim [33] yatay güneş enerjili damıtıcının verimini artırmak için ayrı bir kap aracılığıyla buharın tahliyesini sağlamışlardır. Fan açıldığı zaman zorlanmış taşınım ile buhar damıtıcının dışında yoğuşmakta, fan kapalı olduğu durumda ise geleneksel doğal yoğuşma ile

damıtılmış su elde etmişlerdir. Doğal yoğunlaşmada verimin % 19,41 zorlanmış yoğunlaşmada ise % 31,1 olduğunu gözlemlemiştir. Ayrıca arka duvarda ısı emici bir düzenek kullanarak %28 lik bir üretim artış elde etmiştir.

Tripathi ve Tiwari [34] aktif damıtıcıda su derinliğinin iç ısı ve kütle transferi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Aktif sistemdeki verimin pasif sistemden daha yüksek olduğunu ve su derinliğinin azalmasıyla ısı transferi ve kütle transferi üzerinde üretilecek su miktarını artıracak şekilde bir etkisi olduğunu tespit etmişlerdir.

Tiwari ve Suneya [35] ters emicili bir güneş damıtıcısının performansı üzerinde çalışmışlardır. Normal sistemde maksimum üretim $0,39 \text{ kg/m}^2$ saat iken, ters emicili sistemde üretimin $0,80 \text{ kg/m}^2$ saat olduğunu belirlemişlerdir. Buharlaşma ısı transferi katsayısının 1 cm derinlikte $30 \text{ W/m}^2\text{C}^0$ ve 10 cm derinlikte $15 \text{ W/m}^2\text{C}^0$ olarak maksimum noktayı tespit etmişlerdir

Suneya veTiwari [36] ters emicili çift havuzlu güneş enerjili damıtıcıda su derinliğinin performans üzerindeki inceledikleri çalışmalarında alttaki havuzdaki su kütlesinin toplam kütleyle oranının artmasıyla yıllık üretimin azaldığını; üstteki havuzdaki su kütlesinin toplam kütleyle oranının azalmasıyla yıllık üretimin arttığını gözlemlemiştir.

Suneya ve Tiwari [37] ters emicili 3 etkili güneş enerjili damıtıcıyı incelemişlerdir. En alttaki havuzun su kütlesinin artmasıyla günlük üretim artmıştır. Ters emicili sistemin etkinliğinin konvensiyonel sistemden % 30 daha yüksek olduğunu; etki sayısı bir olduğunda $4,2\text{kg/m}^2$, iki olduğunda $6,4\text{kg/m}^2$ ye, üçte ise $11,8\text{kg/m}^2$ olduğunu gözlemlemiştir.

El-Bahi ve İnan [38] minimum eğimli güneş enerjili damıtıcıya bağlı dış yoğunlaştırıcılı sistemi incelemişlerdir. Konvensiyonel sisteme göre % 70 lik bir artış ile üretimin 7 l/m^2 gün olarak tespit etmişlerdir.

Dyebedian ve Abou Rayan [39] güneş enerjili bir damıtıcı üzerinde teorik olarak inceleme yapmışlardır. Eş sıcaklık dağılımı ve eş nemliliği grafikler üzerinde göstermiştir. Yüksek sıcaklık konsantrasyonuna sahip bir bölge ve bu bölgenin durgun bir bölge gibi olduğunu göstermişlerdir. En alttaki kısımda bir ters hızın olduğunu yaptıkları çalışmalarda tespit etmişlerdir.

Kumar Tiwari ve singh [40] bir aktif damıtıcıda maksimum üretim için cam kapağının optimum açısını 15^0 , kolektörün optimum açısını 20^0 olarak tespit etmişlerdir.

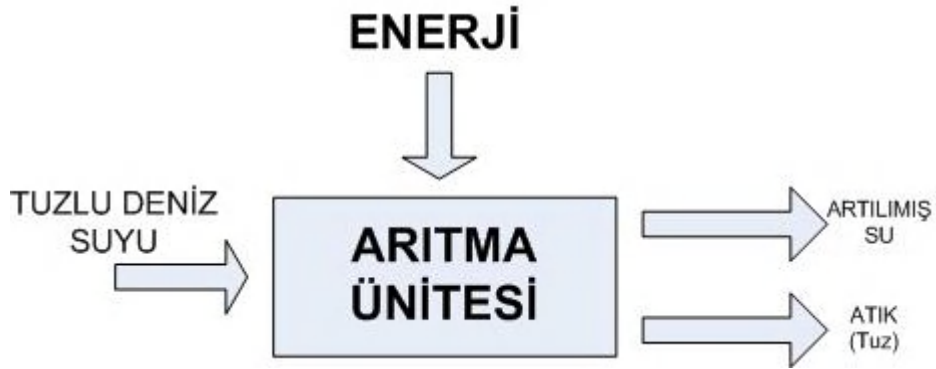
El-sabah [41] dikey bir güneş enerjili damıtıcıyı incelemiş ve sonuçta en ve boy uzunluklarının artmasıyla üretkenliğinin arttığını ve optimum alanın $3,5\text{m}^2$ olduğunu tespit etmiştir. Rüzgar hızının yatay sistemlerde de artmasıyla bir artış sağladığını tespit etmişlerdir.

Suneya ve Tiwari [42] ters emicili bir damıtıcının yüksek üretiminin Runge-Kutta metodu kullanarak sayısal optimizasyonunu hesaplamışlardır. Yaptıkları çalışmada etki

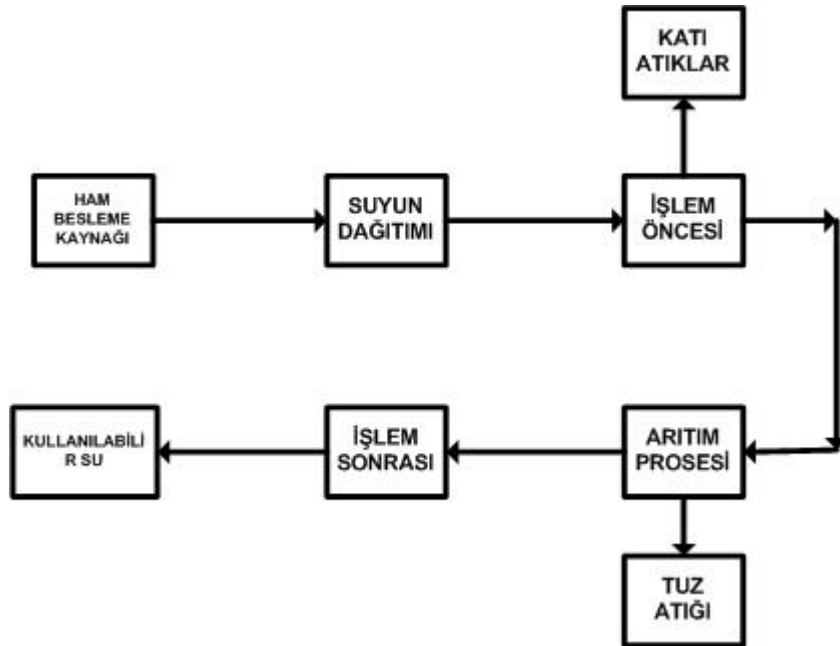
sayılarının artışının günlük üretimi artırdığını, su derinliğinin artmasının üretkenlikle ters orantılı olduğunu tespit etmişlerdir.

3.SUYUN DAMITILMASI VE YÖNTEMLERİ

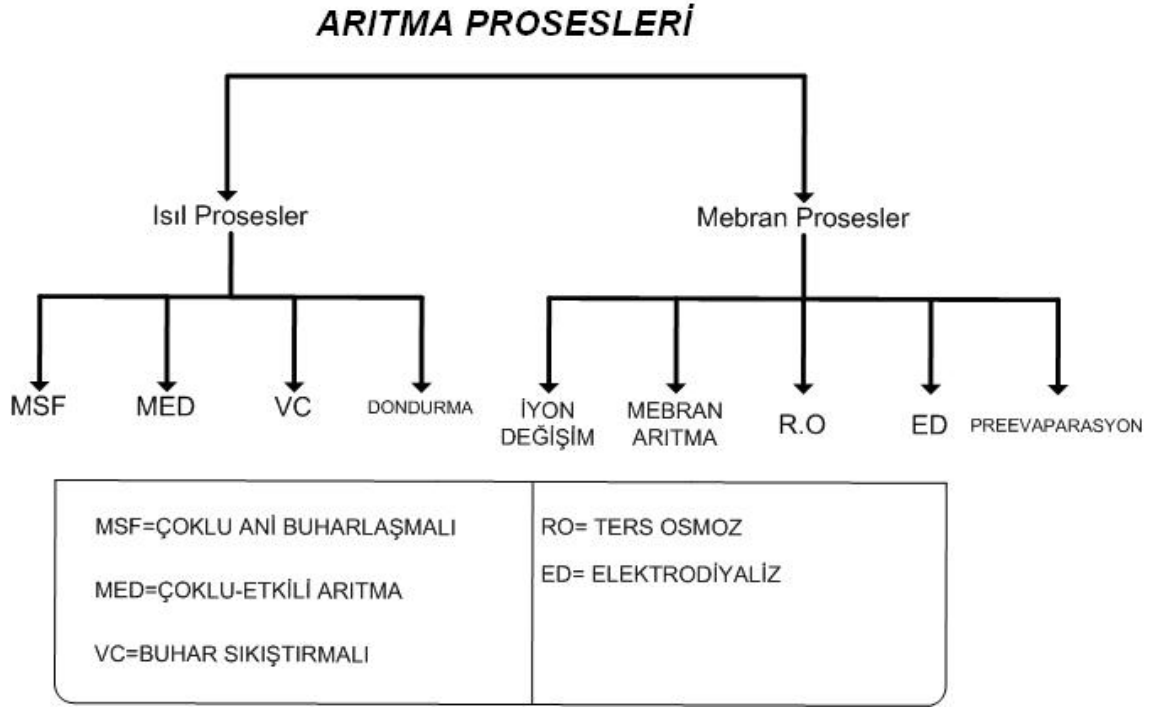
Suyun damıtılması için birçok yöntem geliştirilmiş olup, bu yöntemlerin birbirine göre avantaj ve dezavantajları mevcuttur. Ancak temel prensip olarak Şekil 3.1’de görüldüğü gibi tuzlu su girişinin olduğu arıtma ünitesine enerji verilerek tuzlu suyun tuzdan arıtılmış olarak sistemi terk etmesi şeklindedir. Damıtma yöntemlerinde en fazla kullanılan yöntem ise tuzlu suyun buharlaştırıldıktan sonra yoğuşarak tuzdan arındırılması yöntemidir. Mevcut yöntemlerdeki temel enerji ısı enerjisidir. Ancak iyon değişimi ve elektrodiyaliz yöntemlerinde moleküllerin yapısından faydalanılmakta olup, her iki yöntemde de sistemler belli miktarda enerji kullanmaktadır. Bu durum için en önemli olan iki nokta kullanılan enerjinin maliyeti ve çevreye olan zarardır.



Şekil 3.1 Damıtma süreci [51]



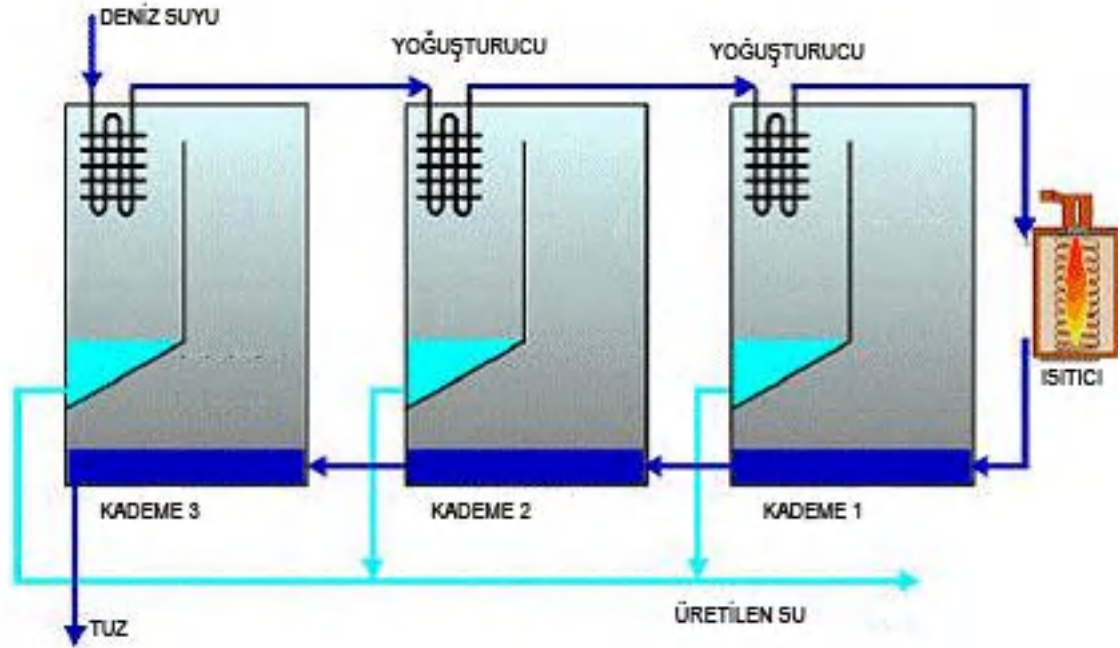
Şekil 3.2 Damıtma Prosesi Öncesi ve Sonrası [51]



Şekil 3.3 Arıtma Prosesleri

3.1. Çoklu Safhalı Ani Buharlaşmalı Sistemler (Multi-Stage-Flashing) (MSF)

Bu sistem ilk olarak 1950lerde kullanılmaya başlanmıştır. Bu prosesde buhar ve deniz suyu birden fazla odadan geçerek arıtma süreci tamamlanır. 4 ile 40 civarında oda kullanılır. İlk olarak beslenme suyu yüksek basınç altında ısıtılır. Bu sıcak buhar diğer bölümlere basıncı düşürülerek gönderilirken her bölümdeki soğuk suyun geçtiği yoğuşturuculara temas ederek, ısısının bir miktarını buraya bırakarak yoğunlaşır. Bu işlem son bölüme kadar bu şekilde devam eder. Her bölümden geçtiğinde bir miktar buhar yoğunlaşarak su haline dönüşür. En son bölümde sistemden damıtılmış su ve tuz yoğunluğu yüksek su olarak ayrılarak damıtma işlemi tamamlanmış olur [51].



Şekil 3.4 MSF Çalışma Prensibi [51]

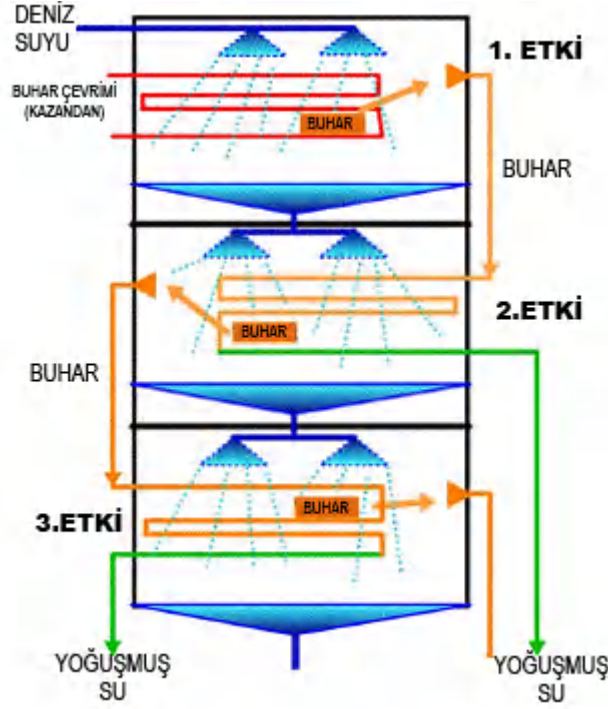
3.2.Çok-Etkili-Arıtma (Multi-Effect-Desalination)(MED)

Prensip olarak çalışması MSF ye benzer. Bu sistemde ilk tankta soğuk deniz suyu kazandan gelen kızgın buhar taşıyan uzun tüplerin üzerine püskürtülmek suretiyle ani buhar elde edilir. Elde edilen bu buhar bir sonraki tanka uzun tüpler aracılığıyla gönderilirken, buhar haline dönüşmeyen su da bir sonraki tanka gönderilmek üzere 1. tankın altında toplanılır. 2. tanktaki buhar içeren tüplerin üzerine 1.tankta buharlaşmamış su püskürtülerek bu suyunda bir kısmının ani buharlaşması sağlanır. Buhar tüplerinin içinde bir miktar yoğuşma gerçekleşir ve bu yoğuşma sonucu elde edilen arıtılmış su bu tüpten tahliye edilir. Bu tankta elde edilen buhar bu tüplerle 3.tanka yönlendirilir. Bu işlem son tanka kadar devam ederek sonuçta tuz ve damıtılmış su olarak iki kısma ayrılır. Bu sistemlere “uzun dikey tüp arıtma” (long tube vertical) arıtmada denilir [51].

3.3.Buhar Sıkıştırılmalı (Vapour Compression) (VC)

Bu sistemlerde bir ısı kaynağı kullanılarak buhar elde edilir. Elde edilen buhar bir kompresör yardımıyla sıkıştırılır. Sıkıştırma sonucunda buharın basıncı ve sıcaklığı artar. Gelen deniz suyu sıkıştırılmış olan buharın soğutulması için kullanılır. Buharın soğutulmasıyla birlikte

bu sırada gelen deniz suyundan da elde edilen buharda sistemde tekrar kullanılmak üzere kompresöre yollanır. Deniz suyunun soğutulmasıyla yoğuşan buhardan elde edilen su sistemden tahliye edilir. Tahliye edilen su sistemden çıkarken bir ısı değıştirgecinden geçerek sisteme giriş yapan suyun sıcaklığının artırılması sağlanır [51].



Şekil3.5 MED Çalışma Prensibi [51]

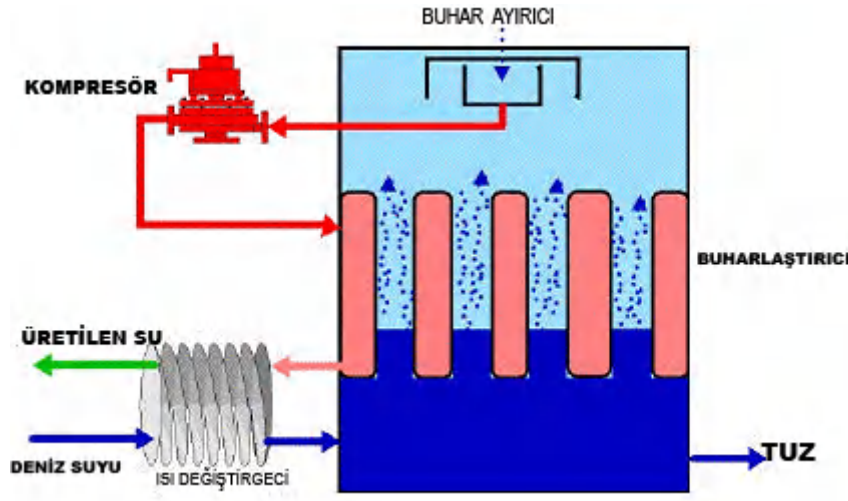
3.4. Dondurarak damıtma:

Buzun yapısı inorganik iyonların ve organik moleküllerin bağlanması için pek elverişli değildir. Bu nedenle, sulu bir çözeltinin dondurulması sonucunda elde edilen buz, çözeltiden daha saftır. Deniz suyunun dondurularak tuzdan arıtılması yöntemi de bu temele dayanır.

Bu yöntemde, tuzlu su, hava basıncının yaklaşık 0,004 atm olduğu bir tankın içine püskürtülür. Suyun bir bölümü, (düşük basınç nedeniyle) buharlaşırken püskürtülen suyun geri kalanından ısı alır. Böylece, ısı veren su kısmen buza dönüşür. Bu yolla oluşan buz kristalleri herhangi bir çözünmüş tuz içermez ve tatlı su ile "yıkandıktan" sonra saf su elde etmek için eritilebilir [45].

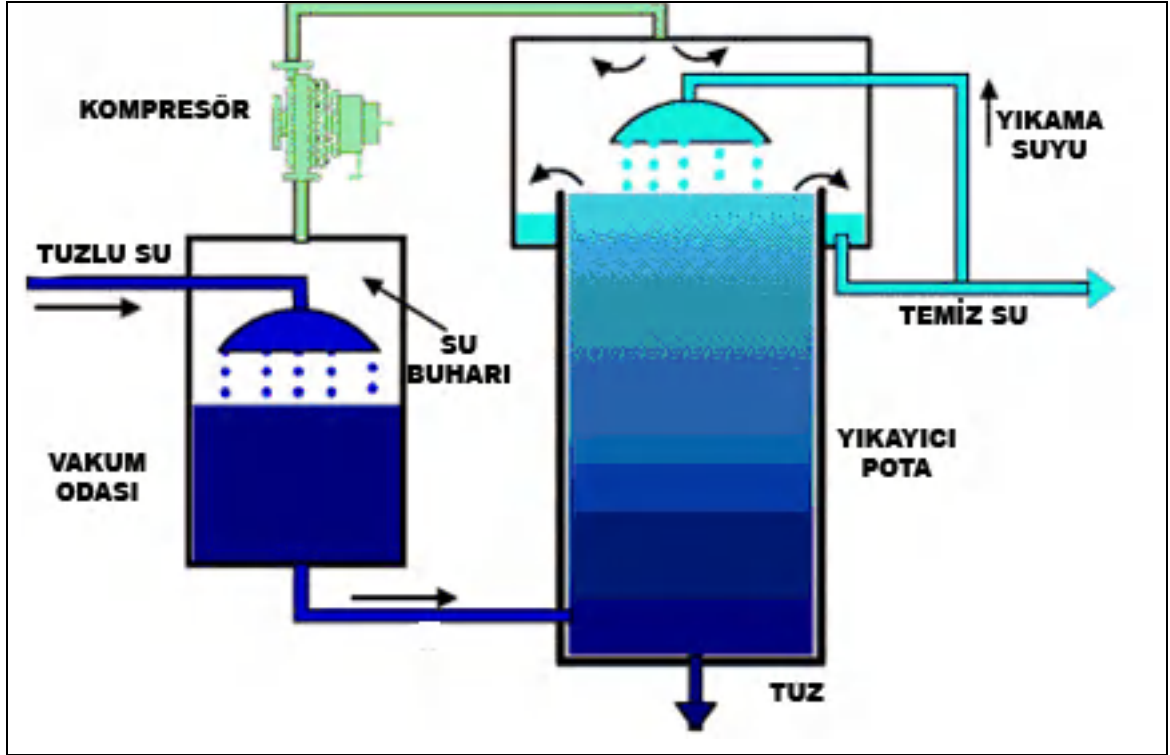
3.5.Ters Osmoz

Osmoz terimi, çözelti halindeki bir sıvının kendiliğinden yarı geçirgen bir zardan geçmesi olayını tanımlar. Bu yolla farklı konsantrasyonlara sahip iki çözelti çözöldüğü sıvıdan ayrılır. Bu yarı geçirgen membranlar çok ince bir materyalden oluşmaktadır. İdeal şartlarda bu membran, çözeltiyi inorganik ve organik maddelerden, kolloitlerden, bakterilerden, istenmeyen moleküllerden ve ayrıca iyonlarından ayırarak saf çözelti haline getirir. Çözelti akışı daima seyreltilmiş saf çözeltiye doğru gerçekleşmektedir. Bu akış ozmotik basıncın dengelendiği ana kadar sürmektedir. Bu an çözelti akışının membranın iki yönünde de gerçekleştiği zaman dilimidir. Bu olayda seyreilmeye ulaşma isteği ile, konsantre çözeltide meydana gelen hacim artmasının yol açtığı hidrostatik yüksek basınç arasında dinamik bir denge söz konusudur.



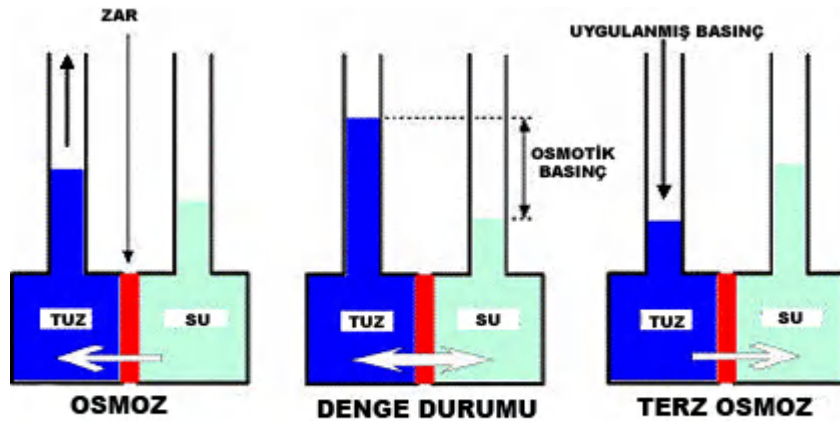
Şekil 3.6 Buhar Sıkıştırırmalı sistemin Çalışma Prensibi [51]

Bu hidrostatik yüksek basınç çeşitli konsantrasyonlara sahip çözeltiler arasındaki ozmotik basınç farkına eşittir. Ozmotik basınç iki çözelti arasındaki konsantrasyon farkına bağlıdır [45].



Şekil 3.7. Vakum Dondurma sistemlerinin Çalışma Prensibi [51]

Ters ozmozda, tıpkı ozmoz olayındaki gibi farklı konsantrasyonlara sahip iki çözelti, yarı geçirgen bir membranla ayrılmıştır. Konsantre çözelti tarafına dışarıdan ozmotik basınçtan daha yüksek bir basınç uygulanırsa olay tersine döner ve bu duruma ters ozmoz denir. Bu durumda sıvı, çözelti konsantrasyonunun yüksek olduğu taraftan membran içinden geçerek alçak olan tarafa doğru akar. Membran içinden geçen bu çözeltiye permead adı verilir. Basınç uygulanan taraftaki çözünmüş maddeler belli bir maksimum değere kadar yükselir. Meydana gelen yüksek konsantrasyonlu bu çözeltiye konsentrat adı verilir [45].



Şekil 3.8. Ters Osmoz [51]

Bu yöntemin uygulamaya geçtiği ilk zamanlarda iyon değiştiricisi olarak silikat doğal ürünleri kullanılmıştır. Daha sonra sentetik maddeler kullanılmaya başlanmış ve iyon değiştirici sistemlerde oldukça başarılı sayılabilecek teknolojik gelişmeler yaşanmıştır. Bugün kullanılan iyon değiştiricilerin ana maddesi polistirel ve poliakrilit yani polimerizasyon maddeleridir. Bu maddeler kompakt ve yüksek sıcaklıklarda şekil bozulmasına karşı dayanıklı bir yapıya sahiptirler [45].

3.8. Damıtma İşleminde Kullanılan Enerji Kaynakları

Damıtma proseslerinde kullanılan enerji kaynakları klasik kaynaklar ve yenilenebilir enerji kaynakları olmak üzere iki grup altında incelemek mümkündür.

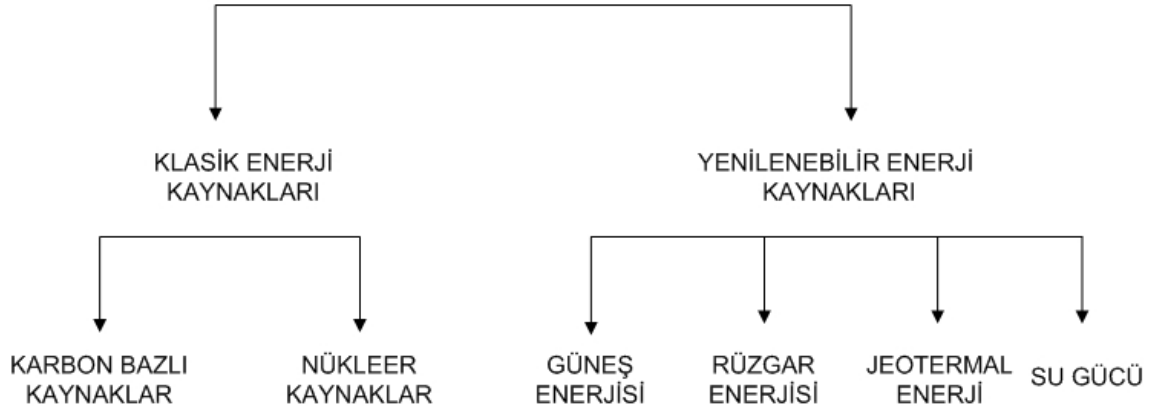
3.8.1. Klasik Enerji kaynakları

Klasik Enerji kaynakları karbon bazlı enerji kaynakları ve nükleer kaynaklardır. Burada kullanılan enerji kaynakları damıtma sürecinde direk olarak kullanılacağı gibi elektrik enerjisine veya mekanik enerjiye de dönüştürölerek kullanılabilir.

3.8.1.1. Karbon Bazlı Enerji Kaynakları

Bu tür enerji kaynakları kömür, petrol ve doğalgaz gibi karbon içerikli maddelerdir. Bu maddelerden enerji elde etmek için bunların yanması gerekmektedir. Yanma sonucu oluşacak ısı enerjisi termik santrallerde elektrik enerjisine çevrilerek kullanılacağı gibi damıtma proseslerinin bazılarında ısı kaynağı olarak da kullanılmaktadır.

SU DAMITMA İŞLEMİNDE KULLANILAN ENERJİ KAYNAKLARI



Şekil 3.10 Su Damıtma işleminde Kullanılan Enerji Kaynakları

3.8.1.2 Nükleer Enerji Kaynakları

Nükleer enerji, uranyum gibi ağır radyoaktif atomların bir nötron çarpması ile daha küçük atomlara bölünmesi (fisyon) veya hafif radyoaktif atomların birleşerek daha ağır atomlar meydana gelmesi(füzyon) sonucu ortaya çıkan enerjidir. Bu enerji kaynağı elektrik enerjisinin üretilmesinde kullanılmaktadır.

Klasik yöntemlerde kullanılan iki enerji kaynağı da önemli düzeyde çevre kirliliğine neden olmaktadır. Ayrıca bu enerji kaynaklarının pahalı olması da arıtma prosesinin işletme maliyetini artırmaktadır.

3.8.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Bu enerji kaynakları başta güneş olmak üzere rüzgar, jeotermal ve su gücüdür. Bu kaynaklardan elde edilen enerji, klasik kaynaklardan elde edilen enerjiye göre işletme maliyeti çok düşüktür. Bu enerji kaynakları aynı zamanda çevre kirliliği üzerinde de çok önemli bir etkiye sahip değildir.

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte büyük bir enerji talebi olmuştur. Günümüzde bu enerjinin büyük bir kısmı fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Bu şekilde elde edilen enerji hem pahalı hem de çevre kirliliğine neden olduğundan yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep artırmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından en fazla kullanılanı güneş enerjisi olup, onu su rüzgâr ve jeotermal enerji takip etmektedir.

3.8.2.1. Güneş Enerjisi

Güneşin dünyadan uzaklığı yaklaşık olarak 150×10^6 km civarında olup dış yüzeyi 6000 K sıcaklığındadır. Güneşin yaydığı elektromanyetik dalgaların boyu 3,0 Mm dan 0,25Mm arasında olup hız $2,9979 \times 10^8$ m/sn dir [44].

Su damıtma işlemlerinde kullanılan termal ve mebran yöntemlerde enerji olarak fosil yakıtlarından elde edilen enerji kullanıldığı gibi bu proseslerin ya direk kendisinde ya da ara işlemlerde yenilebilir enerji kaynakları kullanılabilir. Mesela buhar sıkıştırımlı damıtma işleminde güneş enerjisinden faydalanarak suyun ısıtılması için kullanılacağı gibi güneş enerjisinin-güneş pili- aracılığıyla- elektrik enerjisine çevrilerek kompresörün buharı sıkıştırması amacıyla kullanılabilir. Aynı şekilde güneş enerjisi direk olarak suyun buharlaştırma ve yoğunlaştırma prensibi ile çalışan damıtma proseslerinde de kullanılabilir [44].

Güneş enerjisi damıtma proseslerinde 3 temel enerji şekliyle kullanılır. Elektrik ısı ve mekanik şekillerinde kullanılır. Güneş enerjisi yardımıyla elde edilen ısı enerjisi direk olarak MED ve MSF sistemlerinde suyun ısıtılarak buhar elde edilmesi işlemlerinde kullanılır.

Güneş enerjisi mekanik enerjiye dönüştürülerek ters osmoz ve elektrodializ yöntemlerinde sıkıştırma ve hareketli bölümlerinde kullanılır.

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi iki şekilde elde edilmektedir. Bunlardan ilki güneş pili ile dönüşümdür. Diğer yöntem ise Güneş enerjisinin ısı enerjisine dönüşümü daha sonra da bu ısınn elektrik enerjisine dönüşümüyle elde edilir. Her iki şekilde elde edilen elektrik enerjisi de ters osmoz ve elektrodializde kullanılabilir. Burada elektrik enerjisi mekanik enerjiye dönüştürülerek bu sistemlerdeki mekanik kısımların harekete dönüşümünde kullanılır.

3.8.2.2. Rüzgâr gücü

Rüzgârın kinetik enerjisi basınç üretiminde ve elektrik üretiminde kullanılır. Rüzgâr gücünden elde edilen enerji elektrik ve mekanik enerji olmak üzere iki şekilde kullanılmaktadır. Rüzgâr tribünlerinden aracılığıyla elde edilen elektrik enerjisi, elektrodializ ve ters osmoz proseslerinde kullanılabilir. Rüzgârdan elde edilen mekanik enerji direk olarak ters osmoz yönteminde kullanılabilir. Rüzgâr tribünlerinden elde edilen mekanik enerji aynı zamanda yeraltından yer üstüne suyu taşımak için de kullanılır.

3.8.2.3. Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji yer kürenin derinliklerine var olan ısı enerjisinin açığa çıkarılması ile elde edilir. Çekirdekte 4200 °C sıcaklığına sahiptir.. Jeotermal kaynaklar çok eski tarihlerden beri bilinmektedir. Burada elde edilen sıcak su birçok alanda kullanılmaktadır. Günümüzde kullanım alanı ve kullanım da artmaktadır. Buhar/buhar su karışımı (150-350 °C) arasında 300-3000 metreden elde edilir. Elde edilen bu buhar elektrik ve ısı enerjisi olarak damıtma proseslerinde kullanılır. Elektrik enerjisi olarak ters osmoz ve elektrodializ yöntemlerinde, ısı enerjisi olarak ısıl proseslerde kullanılabilir [51].

3.8.2.4. Su Gücü

Sudan elde edilen enerji su tribünleri aracılığıyla direk mekanik enerji veya elektrik enerjisi olarak kullanılmaktadır. Direk mekanik enerji olarak su değirmenleri şeklinde eski zamanlardan beri kullanılmaktadır. Günümüzde elektrik enerjisinin elde edilmesinde çok önemli bir yere sahiptir. Türkiye’de elde edilen elektrik enerjisinin % 29’u hidroelektrik santrallerinden elde edilmektedir. Hidroelektrik santrallerini % 90–95 civarı nehirlerin önüne setler çekilerek barajlardan elde edilir ve geri kalan kısım ise direk nehirlerdeki akışlardan elde edilir [44].

Su gücünden elde edilen mekanik enerji damıtma proseslerinde basıncın sağlanmasında kullanılır. Bu sistem ters osmoz yönteminde kullanılabilir. Elde edilen elektrik enerjisi ise elektrodializ ve ters osmoz proseslerinde kullanılabilir.

4. GÜNEŞ ENERJİLİ DAMITMA SİSTEMLERİ

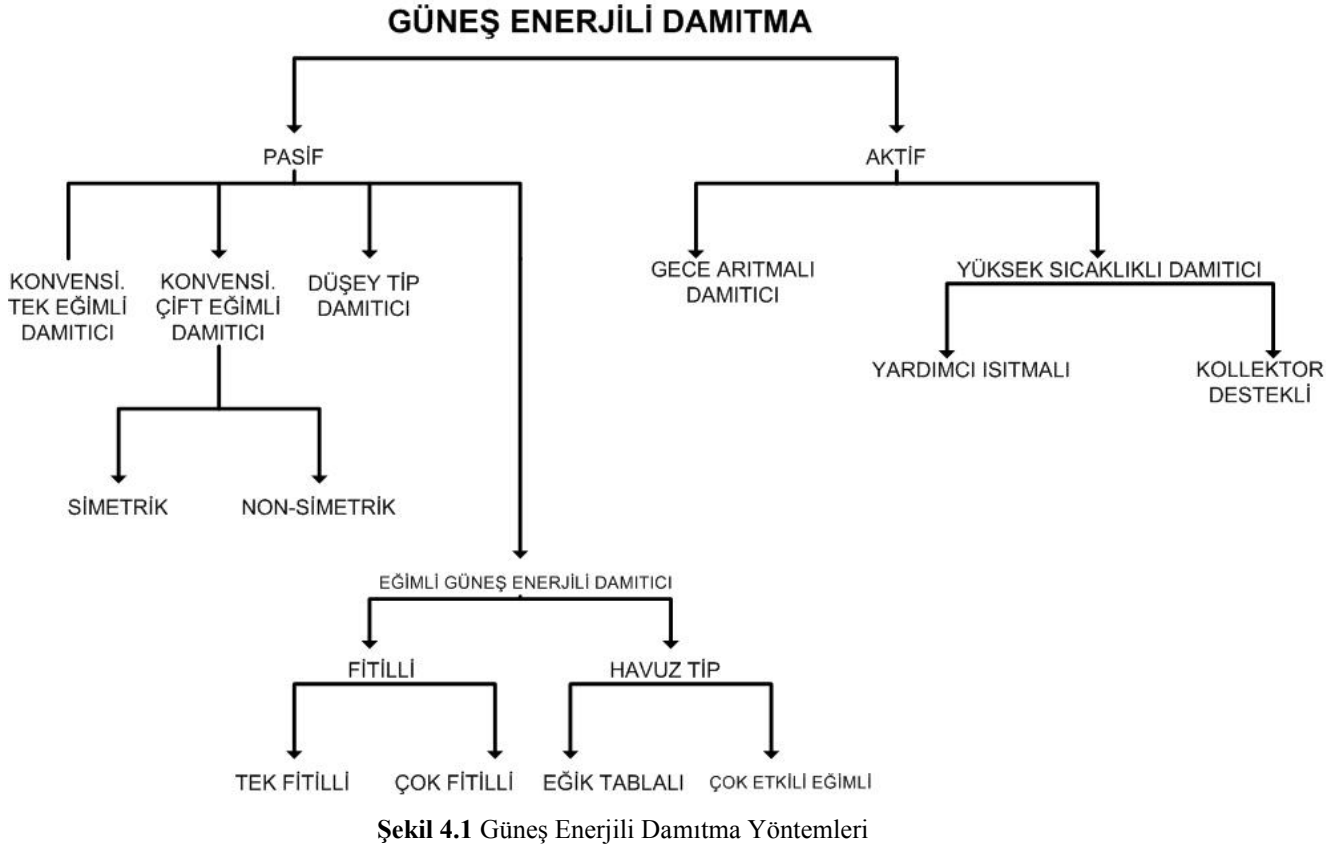
Güneş enerjisi ile su arıtılması eski Yunanlılar ve Romalılar tarafından bilinen bir işlemdir. 1551 yılında Adam Loncier, 1589 yılında Nebia ve Menozzi tarafından yazılan ve işlemli bilgiler içeren dokümanlar mevcuttur. Güneş enerjili su damıtma olanaklarına ait ilk referanslar İtalyan Nicolo GHEZZİ tarafından 1742 yılında yazılmıştır [44].

Modern güneş enerjili damıtıcılar 1872 yılında Kuzey Şili’de Las Salinas yakınlarında büyük bir havuz tipi damıtıcının inşasıyla başlamıştır. Bir İsveçli mühendis Carlos Nilson tarafından dizayn edilen 4700 m²’lik cam kapaklı damıtıcı uzun seneler boyunca nitrat işleme tesisi olarak hizmet verilmiştir. Harding tarafından tarif edilen orijinal havuz tipi damıtıcı 61 m uzunluğunda 1,4 m genişliğinde ahşap bölmelerden inşa edilmiştir. Bu damıtıcıda bir metre kare buharlaşma yüzeyinden günde 5 kg su elde edildiği bilinmektedir [44].

Güneş enerjili damıtıcılar üzerine ikinci çalışma süreci 2. Dünya Savaşı sırasında Amerika Deniz ve Hava Kuvvetlerinde acil durum ve kurtarma botları ile kullanılmak için düşünülen Dr.Maria Telkes tarafından geliştirilen plastik damlatıcılar ile başlamıştır. Bu üniteler bir keçe tampon içeren şişebilen bir plastik kılıf ve plastik kılıfa bağlı bir toplayıcı şişeden oluşmuştur. Tuzlu suyu emen keçe tampona gelen güneş enerjisi buhar oluşumuna neden olur. Plastik kılıfın içinde oluşan bu buhar daha sonra yoğunlaşarak alt kısımdaki toplama şişesine damlar [44].

İkinci Dünya Savaşı ve bunu takip eden on yıl süresince dünyanın bir çok yerinde yaşanan büyük kuraklıklar su kaynakları problemini çok popüler hale getirmiştir. ABD’de Kaliforniya Eyaleti ve Ulusal Çevre Avrupa’da Avrupa Ekonomik İşbirliği Organizasyonu tuzlu suyun arttırılması için araştırmalar yapılmasına ilişkin programı kabul etmiştir Mahrum bölgelerdeki ailelerin ihtiyaçlarını karşılayabilecek 50 m²’den küçük alanlı küçük damıtıcılar üzerindeki araştırmalar yapılmıştır. Daha büyük damıtıcılar üzerindeki çalışmalar ABD İç İşleri Bakanlığı Tuzlu Su Ofisi tarafından desteklenmiş ve daha çok Daytona Beach Florida Güneş Enerjisi Araştırma İstasyonunda yürütülmüştür. Aktif çalışmalar bir çok üniversite endüstride merkezlenmiştir. Özellikle ilk yatırım maliyetini düşürmek ve verimliliklerini artırmak için değişik tipte birçok damıtıcı test edilmiş fakat damıtıcılar diğer damıtma sistemleriyle ekonomik olarak rekabet edecekleri bir düzeye getirilememiştir. Güneş enerjisi ile damıtma konusunda çalışmalar su problemini çözebilmek için Yunanistan, Cezayir, Avustralya, Pakistan ve Hindistan gibi birçok ülkede devam etmektedir. Bütün bu programların ortak amacı büyük kapasiteli damıtıcılar geliştirmektir. Bilinen en büyük güneş enerjili havuz tipi damıtıcı 40 m³/günlük maksimum kapasite ile Yunanistan’ın Patmos şehrinde bulunmaktadır [44].

Yüksek kapasitelerde klasik arıtma metotları güneş enerjili damıtıcılara göre daha efektif olduklarından gerek ABD de gerekse diğer ülkelerde bu alandaki çalışmalara 1970'e kadar ara vermiştir. Çalışmalar Avustralya'da CSRIO örgütü tarafından devam ettirilmektedir. Bu örgüt çalışmalarını kurak bölgelerdeki damıtıcı maliyetlerinden azaltılması üstüne yoğunlaştırmıştır [44].



4.1.Güneş Enerjili Damıtıcı Tipleri

Güneş enerjisi ile yapılan damıtma sistemleri başlıca 2 kısımda incelenebilir. Sisteme su akışının sürekli olmadığı “pasif” , akışın sürekli olduğu sisteme ise “aktif” sistemler denir.

4.1.1.Aktif Sistemler

Bu tür sistemlerdeki temel amaçlardan birisi damıtıcı içerisinde bulunan tuzlu suyun sıcaklığının düşüşünü engellemektir.

Bu sistemde tüm sistemin günlük damıtmadaki etkisi, yoğuşmadan dolayı oluşan atık ısının kullanılması ve su derinliğinin azalmasıyla artırılabilir. Bir başka deyişle yoğuşturucu ve

buharlaştırıcı yüzey arasındaki artan sıcaklık farkı pasif güneşin günlük damıtma miktarını artırır [8].

Bu durum yoğuşturucu yüzeyin sıcaklığındaki azalış ya da buharlaştırıcı yüzeyin sıcaklığındaki artış ya da her iki durumun kombinasyonundan elde edilir. Dış kaynaktan havuza aktarılan termo-enerji buharlaştırıcı yüzeyin sıcaklığını artırır. Dış kaynaktan termal enerji ile beslenme düzenlenmesi iki şekilde olur [8].

A-Gece Üretimi:

Konvensiyonel tip güneş enerjili damıtıcıda gün içerisinde havuzdaki su kütesinde depolanmış olan ısı enerjisinin, güneş ışığının olmadığı gece saatlerinde buharlaşma için kullanılması olur. Bu durumun gerçekleşmesi için su derinliğinin mümkün olduğu kadar fazla olması gerekir. Çünkü su miktarı ile depolanan ısı enerjisi miktarı arasında bir doğru orantı mevcuttur [8].

B-Ön Isıtmalı Su Uygulaması:

Ön ısıtmalı su uygulamasında havuzun içerisine sabit akışlı sıcak su ile beslenmesi söz konusudur. Bu sistemlerde bir damıtıcı ve sistemi sıcak su ile besleyen kolektörler vardır. Havuz suyu sabit miktarlarda kolektöre gider, burada sıcaklığı artarak tekrar havuza geri döner. Bu döngü sırasında damıtıcıdan elde edilen damıtılmış suyun sistemden ayrılması ile birlikte meydana gelecek su seviyesindeki azalma sisteme dışarıdan soğuk su takviyesiyle sağlanmaktadır. Bu durumda havuz suyunun sıcaklığında bir azalma olacaktır. Bu sıcaklık düşüşünün önüne geçileceği gibi havuz suyunun sıcaklığının da artması sağlanacaktır. Bu işlem güneş ışığının olduğu zaman içerisinde sürekli devam etmektedir (Şekil 4.2) [8].

4.1.2. Pasif Solar Damıtıcı:

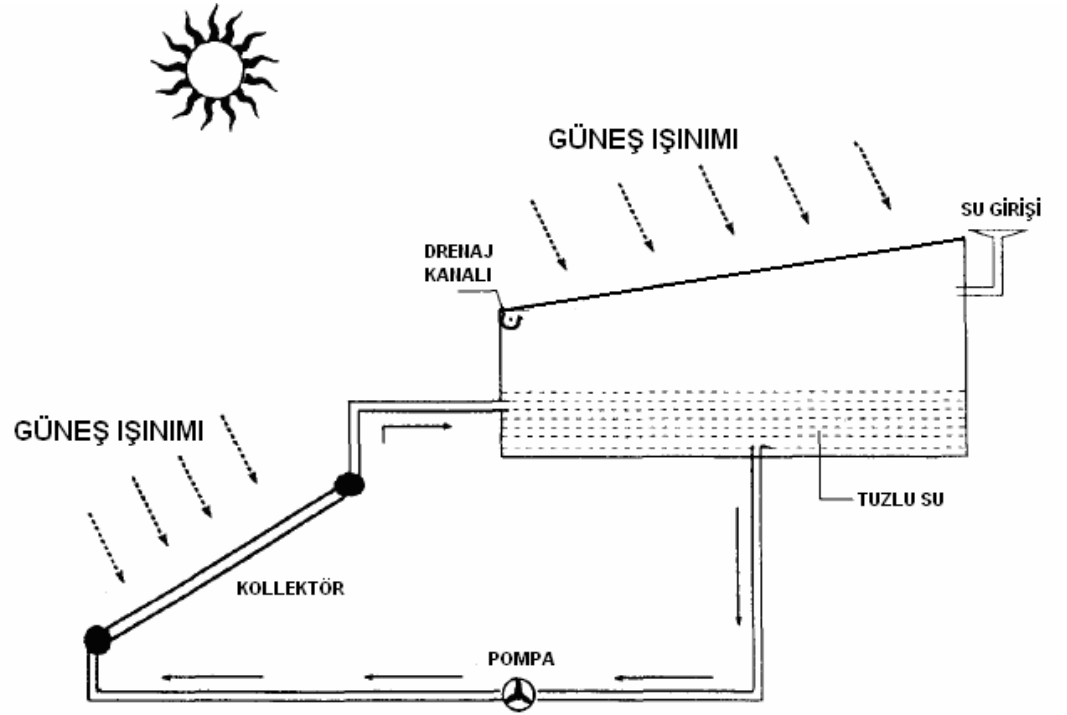
4.1.2.1.Konvansiyonel Tek Eğilimli Damıtıcı

Bu damıtıcılar Şekil 4.3.a da görüldüğü gibi tek eğime sahiptirler. Bu sistemlerde eğilim olduğundan yoğuşma yüzey alanı daha azdır ve toplama kanalı tek taraflı olup, yoğuşan akış da eğim yönünde olacaktır.

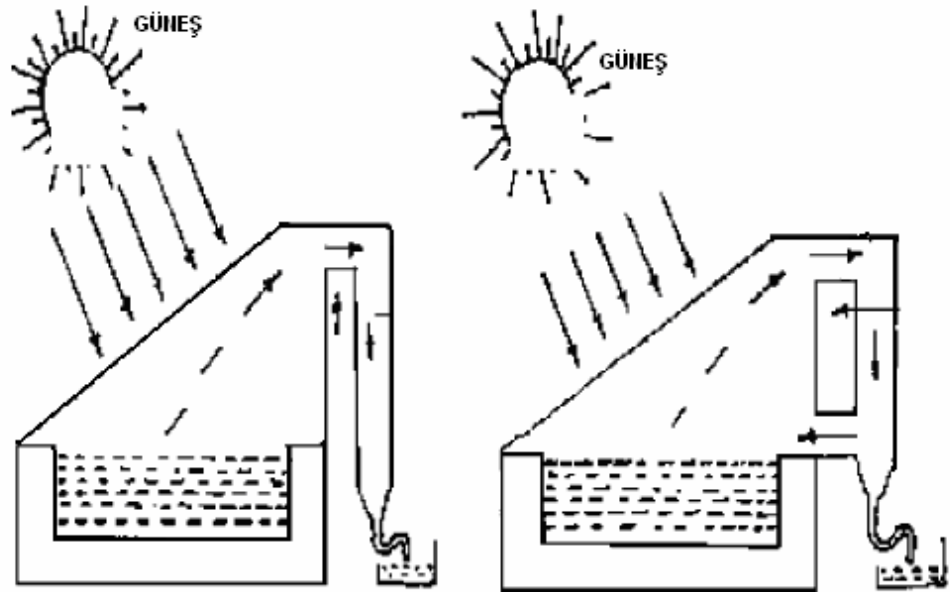
4.1.2.2 Konvensiyonel Çok Eğilimli Damıtıcı

Bu damıtıcılarda yoğuşturucu yüzeyinde yani üst kapakta 2–4 tane eğim bulunmaktadır. Yoğuşan buharın akış yönü eğim yönünde olmakta ve eğim sayısı kadar toplama kanalı bulunmaktadır. Bu sistemlerde yoğuşan buhar miktarı tek eğimliye göre daha fazladır. Bu sistemler simetrik ve simetrik olmayan olmak üzere 2 kısma ayrılır (Şekil 4.3.e).

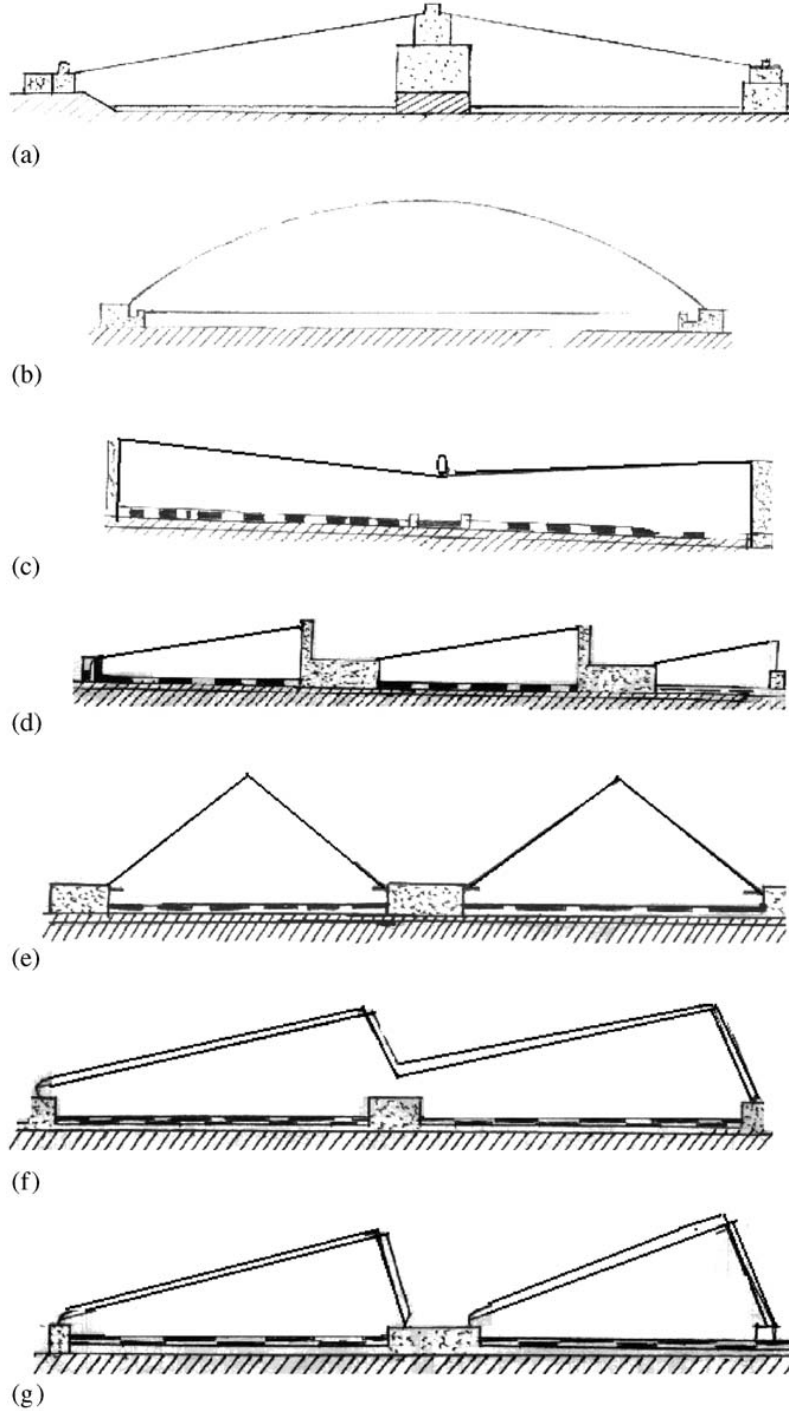
Simetrik olanlarda eğim doğu batı hizasında yerleştirilmekte ve yönlendirme şartları serbesttir. Sistem maksimum ışıını alacak şekilde konumlandırılır ve büyük bir üretim sağlarlar.



Şekil 4.2. Aktif sistem (Ön Isıtmalı) [8]



Şekil 4.4. Tek Havuzlu ayrı kondenserli damıtıcı [33]



Şekil 4.3. Farklı Tip Damıtıcılar a)Simetrik Çift Eğimli Damıtıcı b)Simetrik Plastik Örtü c)Simetrik V tipi Plastik Örtülü d)Tek Eğimli e)Çift Eğimli f) Simetrik olmayan Çift Eğimli (Birleşik) g) Simetrik olmayan Çift Eğimli (Ayrık) [52]

4.1.2.3. Fitilli Damıtıcı

Bu tip damıtıcılarda, havuz tipi damıtıcılardaki tuzlu suyun toplandığı ve buharlaşmanın olduğu 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 [44].

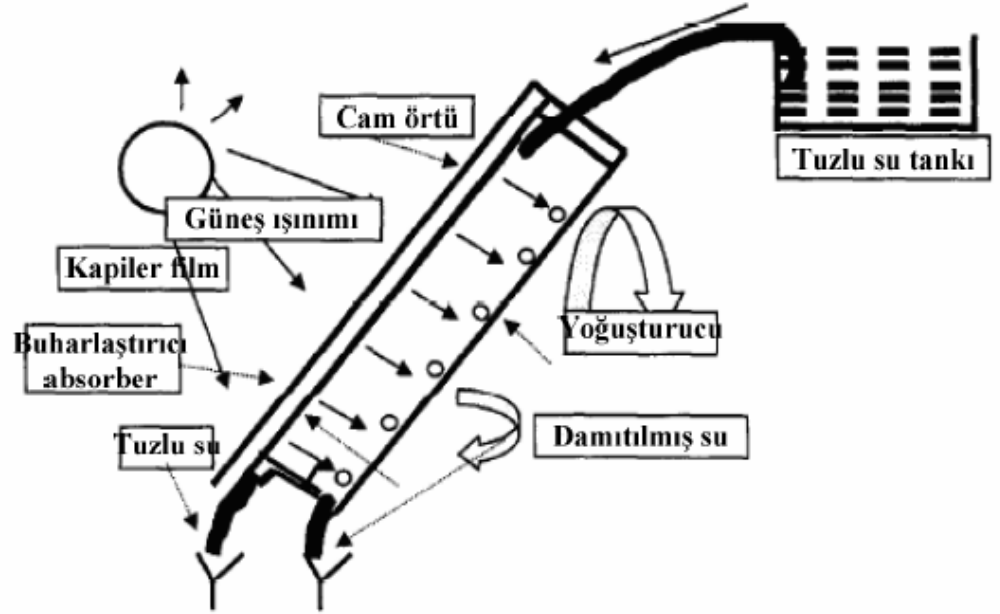
Sistem içerik bakımından bir güneş kolektörüne benzetilebilir. Tahtadan, metalden, plastikten veya betondan bir kap yapılarak bu kabın tabanı ısıya ve suya karşı yalıtılır. Bu ısı ve su yalıtımının üstüne sistemin esasını teşkil eden buharlaşmanın olacağı güneş ışıını bakımından siyah renkte sıvı emici özelliğı olan fitil veya keçe ve bu sistemin üstüne havuz sisteminde olduğu gibi saydam bir örtü (cam, plastik) yerleştirilir. Sisteme maksimum güneş ışıını alabilecek şekilde eğim verilerek yönlendirmesi yapılır. Ayrıca, sistem içinde oluşan hacmin eğim verildikten sonraki en üst noktasında damıtılacak suyun fitile damıtılmak üzere toplanacağı kollektör şeklinde bir oluk oluşturulur. Fitilin uçları bu kolektör içindeki damıtılacak su içerisine daldırılır. Sıvı, kapiler etkisiyle fitil tarafından emilerek eğimin oluşturduğu yerçekimi etkisiyle üst noktadan alt noktaya doğru tamamen fitil üstüne yayılır. Fitil tarafından yutulan güneş ışıını etkisiyle, fitil tarafından emilen su buradan buharlaşır. Bundan sonra, aynı havuz tipi damıtıcılarda belirtilen olaylar tekrarlanarak, sonuçta saydam örtü üstünde yoğunlaşan su dışarıya ürün olarak alınır. kapiler etkisiyle sıvı fitil üzerinde ancak sınırlı boyda yayılabilir ve bu tamamıyla fitil üzerinden olan buharlaşmaya ve dolayısıyla fitil üzerine gelen güneş ışıını miktarına bağlıdır. Bu edenle, fitil artan boylarda (her bir parça diğerinden daha uzun) birkaç katman halinde düzenlenir ve katmanlar arasına su yalıtımı yapılarak, her fitil katmanının güneşe maruz kalan kendi yüzey alanını beslemesi sağlanmış olur [44].

Bu damıtıcılar havuz tipi damıtıcılarla karşılaştırıldığında, toplam verimlerinin daha yüksek, çıkış kapasitelerinin daha iyi olduğu görülür. Bunun nedenleri olarak sistemin absorbe edebildiğı net güneş ışıınının daha fazla olması, fitil-su sisteminin yansıtma oranının daha düşük olması, sistemin termik eylemsizliğinin daha düşük seviyede olması dolayısıyla suyun ısıtılması için daha az enerji harcanması şeklinde belirtilebilir [44].

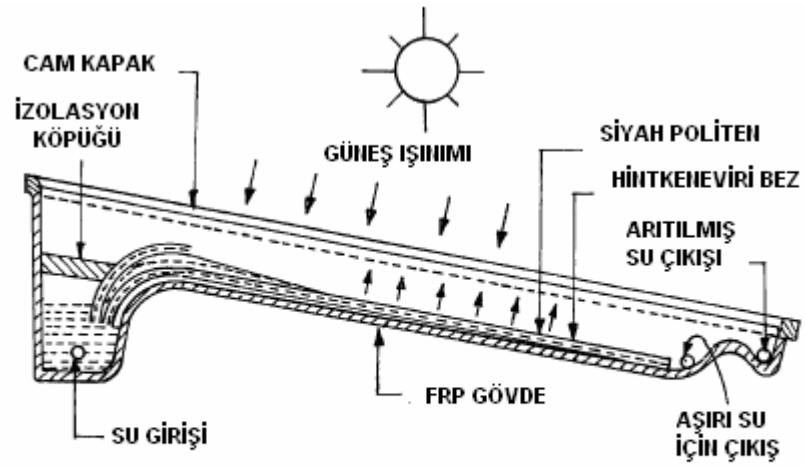
Bu sistemin en büyük dezavantajlarından biri, fitilin kirlenmesi ve sağlığa zararlı bakterilerin oluşma riskidir. Bu tür damıtıcılarda özellikle bu konu üstünde durmak ve önlem almak gerekir [44].

Havuz tipi damıtıcılarda örtünün taşınım ve ışıını yolu ile atmosfere atılan suyun yoğunlaşma gizli ısısından, fitilli tip damıtıcılarda yararlanmak amacıyla çok aşamalı fitilli tip damıtıcılar geliştirilmiştir [44].

Bu tip bir damıtma sistemi ile çok daha yüksek verim ve kapasiteler elde edilebilmektedir. Yapılan deneyler sonucunda üç aşamalı fitilli bir damıtıcıdan, normal bir fitilli damıtıcıya göre 1,9 kat daha fazla damıtık su elde etmek mümkün olabilmektedir [44].



Şekil 4.5. Kapiler Filmlili Damıtıcı [52]

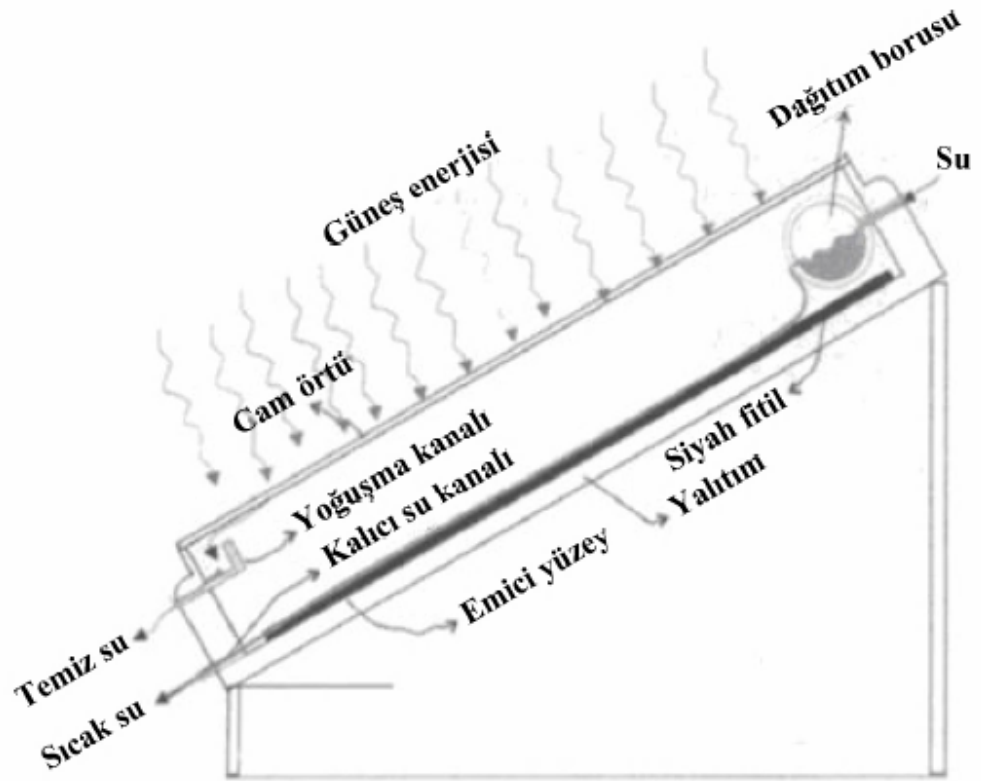


Şekil 4.6. Çok Fitilli Damıtıcı [53]

4.1.2.4. Eğik Güneş Enerjili Damıtıcı

Güneş enerjili damıtma sistemlerinde su seviyesi ne kadar az olursa elde edilecek damıtılmış su miktarı da o kadar fazla olacaktır. Ayrıca sisteme gelen güneş ışınımı miktarı da damıtma miktarı ile doğru orantılıdır. Bu iki durumun sağlanması için eğik güneş enerjili damıtıcılar kullanılır [52].

Eğik tabla güneş enerjili damıtıcıda çok fazla damıtılmış su elde etmek için maximum ışıma maruz kalması gerekir. Bu nedenden şekil 4.7’de gösterildiği gibi damıtıcının havuz yüzeyi eğik olarak imal edilir. Bu damıtıcılar da su yüzeyi minimum yapılıır. Sistemde cam kapak ise su yüzeyine paralel olarak yerleştirilir [52].



Şekil 4.7. Eğik Güneş Enerjili Su damıtma Sistemi [52]

4.1.2.5 Dikey Güneş Enerjili Damıtıcı

Damıtıcının yerleştirileceği yüzey alanın maliyetinin yüksek olduğu bölgelerde bu tür damıtıcıların kullanılması uygundur. Konvansiyonel veya eğik tablalı damıtıcıların

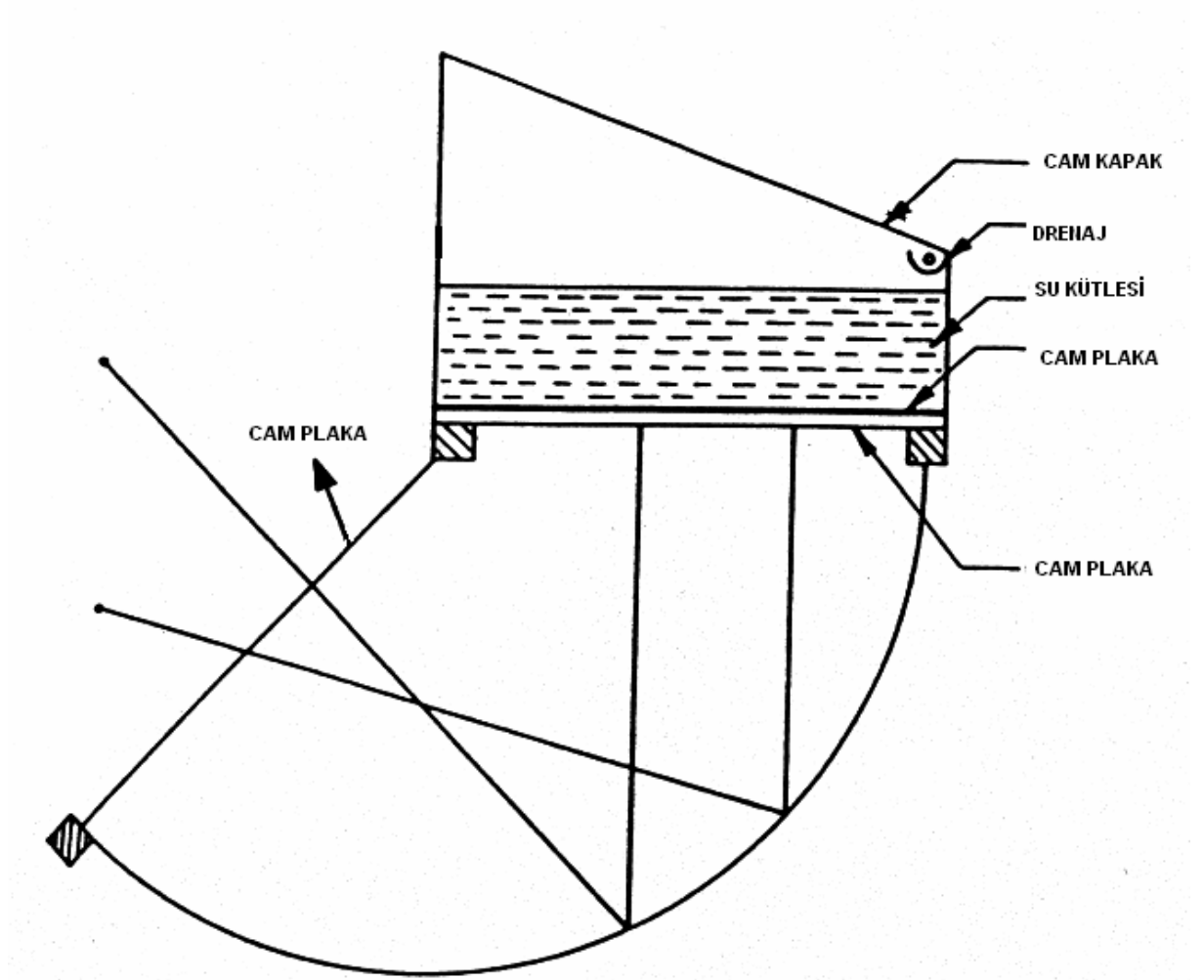
bileşenlerinin yatay konumda kullanıldıklarından çok geniş bir alan kaplamaktadırlar. Bu ise alan maliyetini artırmaktadır.

Bu damıtıcılarda akış yer çekimi kuvveti sayesinde olmaktadır. Siyah emici yüzey ve cam kapak düşey konumdadır.

Dikey damıtıcıların tek taraflı, çift taraflı ve çok taraflı tipleri vardır. Çift taraflı tipinde her iki tarafında da cam yüzey vardır ve her iki taraf da güneş ışınımına maruz kalır. Akış halindeki su ısının artmasıyla buharlaşma ıslak yüzeyden başlar. Bu buharlaşan su her iki cam yüzeyde yoğunlaşır ve drenaj olukları yardımıyla damıtıcının dışına çıkar [41].

4.1.2.6. Ters Emicili Güneş Enerjili Damıtıcı

Bu sistemler de çift taraflı güneş ışınımına maruz kalır. Bu damıtıcılarda alt ve üst kısımları saydam olarak yapılır. Alt kısımdan güneş ışınımına maruz kalması için bir yansıtıcı kullanılır. Yansıtıcıdan yansıyan ışınlar sistemin alttan da ısınmasını sağlar [35].



Şekil 4.8 Ters emicili Güneş Enerjili Damıtma Sistemi [35]

4.2. Damıtıcı Sistem Bileşenlerinin Özellikleri

4.2.1. Saydam Örtünün Özellikleri

- Kullanılacak olan saydam örtünün en önemli özelliği üzerine gelen güneş ışınımını yansıtmadan tamamen geçirmesidir. Absorbe etme özelliğinin minimum olmasına özen göstermelidir. Çünkü gelen ışınımı bir kısmını yansıtmadan Absorbe ettiği zaman yüzey sıcaklığının artmasına neden olacaktır. Bu sıcaklık artışı ile su sıcaklığı ve örtü sıcaklığı fark azalacağından yoğuşma miktarının azalmasına neden olur.
- Örtü dış şartlara ve güneş ışınımına dayanıklı olmalıdır. Yüksek rüzgâr hızında fiziksel bozulmalar olmamalıdır. Ayrıca uzun zaman güneş ışınımına maruz kalacağından dolayı güneş ışınımı kimyasal ve fiziksel yapısında bozulmaya neden olmamalıdır. Yüksek sıcaklıklarda özelliği bozulmamalıdır.
- Yoğuşmaya imkân vermeli ve yoğuşan buharın su haline geldikten sonra toplama kanalına ulaşmasına engel olacak şekilde emicilik özelliği olmamalıdır.
- Örtünün ısı iletkenliği iyi olmalıdır. Bu şekilde yüzeydeki sıcaklığın düşük olması sağlanır.
- Kullanılan örtü malzemesi kolay işlenebilmeli temini kolay ve maliyetinin yüksek olmaması gerekir.
- Örtüye kirlenmeler (toz gibi) kolayca etkili olmamalıdır.

Yukarıdaki özellikleri göz önüne alındığında en uygun örtü malzemelerinin cam, mika gibi malzemeler olduğu görülmektedir. Camın kullanılmasındaki en önemli dezavantaj darbelere ve dış koşullara karşı çok fazla dayanıklı olmamasıdır. Ayrıca maliyeti fazladır. Mika gibi plastik malzemelerin dezavantajı ise iyi bir iletken olmaması, sıcaklık ve güneş ışınımına bağlı olarak özelliklerinin kolayca bozulmasıdır [44].

4.2.2. Havuzun Özellikleri

- Havuzun iç yüzeyleri güneş ışınımını mümkün olduğunca fazla absorbe edebilmesi için emicilik özelliği en fazla olan siyah renkte olmalıdır.
- Havuzda kullanılan malzemenin suya ve sıcaklığa bağlı olarak fiziksel ve kimyasal özelliklerini bozmamalıdır. Korozyona karşı dayanıklı olmalıdır.
- Malzeme olarak insan sağlığını bozacak kimyasallar oluşturmamalıdır.

- Havuzun malzeme maliyeti düşük olmalı, temini zor olmamalı, kolay işlenmeli ve nakliyatında zorluk yaşanmaması için çok fazla ağır olmamalıdır.
- Havuzun dışından ısı kaybı olmaması için dış tarafta gerekli yalıtım yapılmalıdır.
- Havuza su girişi ve çıkışı için gerekli tedbirler alınmalıdır
- Buhar kaçakları ve basınç düşümüne neden olmamak için havuzda sızdırmazlık sağlanmalıdır [44].

4.2.3.Toplama Oluğu

- Düşük maliyetli dayanıklı ve kolay temin edilen malzemelerden seçilmelidir.
- Güneş ışınımına maruz kalarak damıtılan suyun tekrar buharlaşmasına engel olunmalıdır.
- Damıtılmış suyun damıtıcıdan dışarı alınması için oluğa uygun eğim verilerek suyun doğal akışı sağlanmalıdır.
- Malzeme olarak insan sağlığını bozacak kimyasal maddeler içermemelidir [44].

4.2.4. Konumlandırma

- Konvansiyonel güneş damıtıcılarında tabla düz olduğundan konumlandırılırken sistemin güneş ışınlarının geliş açısı 90 derece olacak şekilde oluşması zordur. Bu nedenle alt tablanın eğik olduğu eğik güneş enerjili damıtıcılar kullanılır. Ancak konvansiyonel damıtıcılarda güneş yönünde ve ışınımına en fazla şekilde maruz kalacak şekilde konumlanması sağlanmalıdır.
- Yerleştirilen damıtıcının fiziksel darbelerden ve titreşim olan yerlerden uzak tutulması sağlanmalıdır. Bu durumlarda damıtıcının yoğunlaştırıcı yerlerde yoğunlaşan buhardan elde edilen suyun toplama kanallarına ulaşmadan tekrar sistemin içine geri dönmesine neden olacaktır.
- Damıtıcının beton, toprak veya talaş gibi bir yalıtım özelliği olan malzemeler ile kaplanarak havuzun dış ortamdan yalıtılması sağlanmalıdır.
- Gölgelemeye izin vermeyecek şekilde konumlanmalıdır [44].

4.2.4. Konstrüksiyon Özellikleri

- Taşınması için gerekli elemanlar kullanılmalı (taşıma kolu, alt kısmına montajlanmış tekerlek gibi) ayrıca taşıma için mümkün olduğunca hafif olmalıdır.

- Bakımın kolay olması için uygun yerlerden sökölüp - takılabilecek özelliğe sahip olmalı
- Standartlara uygun olmalı işletme ve ilk yatırım maliyeti düşük olmalıdır.
- Güneş ışınlamalarının gölgelenmesi izin vermeyecek şekilde yüksekliği seçilmeli fraksiyona dikkat edilmelidir
- Sızdırmazlık sağlanmalı, dış tarafında sızdırmalara karşı bağlantı yerleri iyi bir şekilde kapatılmalıdır. Bu işlemi yaparken sökölüp-takılma özelliği göz önüne tutulmalıdır [44].

4.3. Üretkenliği etkileyen parametreler

4.3.1. Rüzgârın etkisi

Rüzgâr hızının damıtıcının üretkenliğinde önemli bir etkisi vardır. Rüzgârın hızının artması saydam örtüden çevreye taşınım ile ısı transferini artıracaktır. Bu artışla birlikte saydam örtüdeki yoğunlaşma oranı artacaktır. Bu rüzgâr hızındaki artışın çok yüksek olması durumunda su sıcaklığını düşüreceğinden dolayı üretkenlikte azalmaya neden olur. Rüzgârın en verimli olduğu yön yoğunlaşma yüzeyine paralel olan yöndür.

Toure ve Meukam 0 m/sn'den 9 m/sn'ye artışla verimde %10'luk bir artış olduğunu gözlemlemişlerdir [3].

El-Sebai 3 havuzlu bir damıtıcıda yaptıkları çalışmada yaz mevsimi için hızın 10 m/sn, kış aylarında ise 8 m/sn den yüksek hızlarda üretkenliğinin üzerinde bir değişiklik olmadığını gözlemlemişlerdir [12].

4.3.2. Çevre sıcaklığının etkisi

Çevre sıcaklığının azalması cam örtü ve su sıcaklığı arasındaki farkın artışına neden olacağından yoğunlaşma miktarının da artmasını sağlayacaktır. Bunun yanında çevre sıcaklığının artması sistemdeki tüm sıcaklığın artışına da neden olacağından üretkenlik de artacaktır.

Al-Hinai ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarında çevre sıcaklığının 20C⁰ olması durumunda üretkenliğin 0,465 kg/m²h 40C⁰ de ise 0,532 kg/m²h olarak belirlemişlerdir. Buradanda görüleceği gibi çevre sıcaklığının artması cam ve buhar sıcaklıkları arasındaki farkı azaltsa da tüm sistemin sıcaklığını arttırdığından sistemin üretkenliği artmaktadır [29].

4.3.3. Güneş ışınlamalarının etkisi

Güneş ışınlamalarının artmasıyla su sıcaklığını arttıracığından üretkenlik artacaktır.

4.3.4. Isı kayıp katsayısının etkisi

Isı kaybının fazla olması su sıcaklığında azalmaya neden olacağından buharlaşmada azalacak ve sonuçta üretkenlik düşecektir.

4.3.5.Saydam kapağın etkisi

Saydam kapağın üretkenlik üzerindeki etkisi sıcaklık ve üretilen malzeme olmak üzere iki kısımda incelenebilir.

Örtünün eğim açısı gelen ışıının yansıtma oranını etkileyen bir parametredir. Açının artışı ile yansıtma oranı artarak emici yüzeye gelen ışıının miktarı azalarak su sıcaklığında azalmaya neden olacaktır. Ancak örtünün eğim açısı yoğunlaşan suyun toplama oluklarına yönelmesi bakımından çok önemlidir. Düşük eğim açılarında örtü üzerinde yoğunlaşan su, toplama oluğuna ulaşmadan tekrar havuzun içine damlamaya neden olur. El-Hinai 5⁰ ile 40⁰ arasındaki farklı açılarını incelemiş ve optimum açının 23⁰ olduğunu belirlemiştir. Üretkenliğin 5⁰ de 3,95 kg/m² gün, 23⁰de ise yaklaşık 4,15kg/m² gün olduğunu gözlemlemiştir [5].

Saydam kapağın sıcaklığının yoğunlaşmada önemli bir etkisi vardır. Sıcaklık farkının artmasıyla birlikte yoğunlaşan su miktarı artar. Bu sıcaklık farkını artırmak için Suneya ve Tiwari kapak üzerinden soğuk su akıtmışlardır. Yaptıkları çalışmada sudan yoğunlaştırıcı kapağa buharlaşma ısı transfer katsayısının (hew) 'in akışsız sistemde maksimum 27,5w/m²C⁰ akışlı sistemde ise 24, 5w/m²C⁰ olduğunu belirlemiştir [32].

Abu – Arabi ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada ise konvansiyonel sisteme göre %34'lük bir artış elde etmişlerdir [2].

Saydam kapakta kullanılacak malzemenin gelen ışıını yansıtmayarak tamamen geçirmesi istenir. Bunun için uygun malzeme camdır.

4.3.6.Tuz Konsantrasyonu

Tuz konsantrasyonun artması damıtılan su miktarında düşüşe neden olmaktadır. Çünkü bu artış suyun buharlaşması üzerinde olumsuz bir etki oluşturmakta buharlaşan su miktarının azalması da üretkenliği düşürmektedir.

4.3.7.Emici yüzeyin etkisi

Emici yüzeyin siyah renkte ve maksimum büyüklükte olması gerekmektedir. Al-hinai ve arkadaşları yaptıkları deneylerde maksimum üretimi $4,26 \text{ kg/m}^2$ gün ile asfaltta elde etmişler, minimum üretimi ise $4,12 \text{ kg/m}^2$ gün ile bakırda elde etmişlerdir [10].

4.3.8.İzolasyon kalınlığının etkisi

İzolasyon kalınlığı, kayıp ısı miktarı açısından önem taşımaktadır. Al-hinai ve arkadaşları optimum kalınlığı 0,1 m olarak tespit etmişlerdir.0,01m kalınlığında üretkenlik $3,05 \text{ kg/m}^2$ gün iken 0,1 m kalınlıkta $3,4 \text{ kg/m}^2$ gün olarak gözlemlemişlerdir [20].

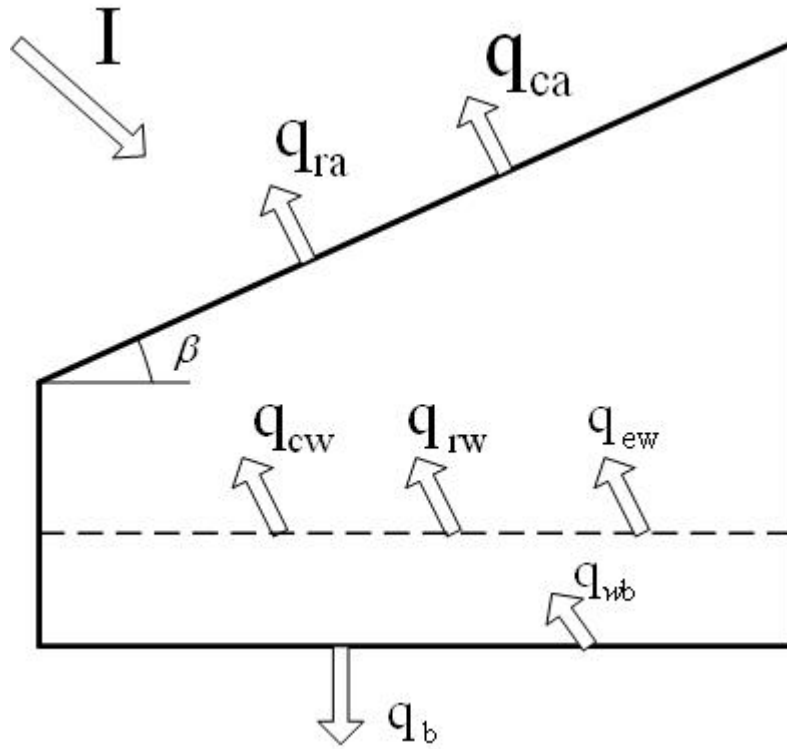
4.3.9. Havuzdaki Suyun derinliği

Su derinliğinin artmasıyla üretkenliğin düştüğü yapılan çalışmalar sonucunda görülmüştür. Toure ve Meukam su derinliğinin 5 mm'den 60 mm'ye çıkmasıyla üretkenliğin %19 düştüğünü gözlemlemişlerdir [3].

5. TEORİK ANALİZ

Bir güneş enerjili damıtıcıda üretilen damıtılmış su miktarı öncelikle güneş ışınlam miktarına bağlı olup, daha sonra diğer faktörlerden etkilenir. Bu tip damıtıcılarda temel enerji kaynağı güneş enerjisidir. Damıtıcıya gelen ışınlamın bir miktarı emici yüzey tarafından emilerek suyun buharlaşmasında kullanılır. Bir kısmı uzaya geri yansırken, bir kısmı da ısı kayıplarından dolayı dış ortama tekrar geri döner.

Teorik analiz için şekil 5.1’ de gösterilen konvensiyonel tip güneş enerjili bir damıtıcı sistem dikkate alınmıştır. Buna göre ısı geçiş miktarları hesaplanmıştır [40].



Şekil 5.1. Güneş Enerjili Damıtıcıdaki Isı Geçiş Durumları

Su yüzeyinden saydam örtüye ısı geçişi taşınım ve ışınlama ile olmaktadır. Ayrıca su yüzeyinden buharlaşmaya bağlı olarak bir ısı geçişi vardır.

Su yüzeyinden örtüye ışınlama ile geçen ısı miktarı (Q_{rw}) aşağıdaki denklemle hesaplanabilir.

$$Q_{rw} = h_{rw} (T_w - T_g) \quad (5.1)$$

Bu denklemdeki h_{rw} su yüzeyinden örtüye ışıınım ile ısı geçiş katsayısı olarak tanımlanmakta olup,

$$h_{rw} = \epsilon_{eff} \sigma [(T_w + 273)^4 - (T_g + 273)^4] / (T_w - T_g) \quad (5.2)$$

şeklinde hesaplanır.

Su yüzeyinden örtüye taşınım ile geçen ısı miktarı (Q_{cw}) ;

$$Q_{cw} = h_{cw} (T_w - T_g) \quad (5.3)$$

denklemlle hesaplanır. Bu denklemdeki h_{cw} su yüzeyinden örtüye taşınım ile ısı geçiş katsayısı olarak tanımlanmakta olup ,

$$h_{cw} = 0,884 [(T_w - T_g) + (P_w - P_g) (T_w + 273) / (268,9 \times 10^3 - P_w)]^{1/3} \quad (5.4)$$

şeklinde hesaplanır.

Su yüzeyinden buharlaşma ve yoğuşma ısı geçişi (Q_{ew}),

$$Q_{ew} = h_{ew} (T_w - T_g) \quad (5.5)$$

denklemlle hesaplanır.

$$h_{ew} = 16.273 \times 10^{-3} h_{cw} (P_w - P_g) / (T_w - T_g) \quad (5.6)$$

Saydam örtüden dış orta ısı geçişi taşınım ve ışıınım olmak üzere iki şekilde olmaktadır. Saydam örtüden dış ortama taşınım ile ısı geçiş miktarı (Q_{ca}),

$$Q_{ca} = h_{ca} (T_g - T_a) \quad (5.7)$$

denklemden elde edilir.

Saydam örtüden dış ortama ışıınım ile ısı geçiş miktarı (Q_{ra}),

$$Q_{ra} = h_{ra} (T_g - T_a) \quad (5.8)$$

şeklinde hesaplanır.

Emici yüzeyden havuz suyuna ısı geçiş miktarı (Q_{wb}),

$$Q_{wb} = h_w (T_b - T_w) \quad (5.9)$$

denklemlle hesaplanır.

Damıtıcı duvarlarından ve tabandan olan toplam ısı kaybı miktarı (Q_b),

$$Q_b = h_b (T_w - T_a) \quad (5.10)$$

denklemden elde edilir.

havuzun iç enerji değişimi miktarı (Q_w) aşağıdaki şekilde hesaplanır

$$Q_w = (MC)_w dT_w/dt \quad (5.11)$$

Yukarıdaki denklemler esas alınarak damıtıcının ısıl denge durumu için cam yüzeyindeki, su kütesindeki ve havuz çizgisindeki denge durumları ayrı ayrı incelenmelidir.

Cam Yüzeyindeki Denge Durumu:

$$\alpha_g I + Q_{ew} + Q_{cw} + Q_{rw} = Q_{ca} + Q_{ra} \quad (5.12)$$

$$\alpha_g I + [(h_{rw} + h_{cw} + h_{ew}) (T_w - T_g)] = [(h_{ca} + h_{ra}) (T_g - T_a)] \quad (5.13)$$

Su yüzeyinden örtüye toplam ısı geçiş katsayılarını aşağıdaki gibi kısaltabiliriz.

$$h_{lw} = h_{wr} + h_{cw} + h_{ew} \quad (5.14)$$

cam yüzeyden çevreye toplam ısı geçiş katsayılarını aşağıdaki gibi kısaltırsak,

$$h_{lg} = h_{ca} + h_{ra} \quad (5.15)$$

denklemini elde ederiz. (5.14) ve (5.15) denklemlerini (5.13) denkleminde yerine yazarsak

$$\alpha_g I + [h_{lw} (T_w - T_g)] = [h_{lg} (T_g - T_a)] \quad (5.16)$$

denklemini elde edilir.

Su kütesindeki ısıl denge:

$$\alpha_w I + Q_{wb} = Q_w + Q_{ew} + Q_{cw} + Q_{rw} \quad (5.17)$$

$$\alpha_w I + h_w (T_b - T_w) = (MC)_w \frac{dT_w}{dt} + h_{lw} (T_w - T_g) \quad (5.18)$$

denklemini gösterilir.

Havuz çizgisindeki ısıl denge durumu aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\alpha_b I = Q_{wb} + Q_b \quad (5.19)$$

$$\alpha_b I = h_w (T_b - T_w) + h_b (T_b - T_a) \quad (5.20)$$

(5.16) denkleminde $\alpha_g = 0$ alınırsa;

$$T_g = \frac{h_{lg} T_a + h_{lw} T_w}{h_{lg} + h_{lw}} \quad (5.21)$$

Elde edilmiş olur. Aynı şekilde (5.18) denkleminde $\alpha_g=0$ alınırsa;

$$h_w(T_b - T_w) = (MC)_w \frac{dT_w}{dt} + h_{1w}(T_w - T_g) \quad (5.22)$$

Elde edilir. (5.20) nolu denklemden;

$$T_b = \frac{\alpha_b I + h_w T_w + h_b T_a}{h_w + h_b} \quad (5.23)$$

elde edilir.

(5.21), (5.22), (5.23) denklemlerinin çözümü için

$$\frac{dT_w}{dt} + aT_w = f(t) \quad (5.24)$$

$$a = \frac{U_L}{(MC)_w} \quad (5.25)$$

$$f(t) = \frac{h'_w \alpha_b I + U_L T_a}{(MC)_w} \quad (5.26)$$

$$h'_w = \frac{h_w}{h_w + h_b} \quad (5.27)$$

$$U_L = U_B + U_t \quad (5.28)$$

$$U_b = \frac{h_w h_b}{h_w + h_b} \quad (5.29)$$

$$U_t = \frac{h_{1w} h_{1g}}{h_{1w} + h_{1g}} \quad (5.30)$$

Denklem 5.24'ün çözümünden;

$$T_w = \frac{f(t)}{a} [1 - \exp(-a\Delta t)] + [T_{w0} \exp(-a\Delta t)] \quad (5.31)$$

$$q_{ew} = h_{ew}(T_w - T_g) \quad (5.32)$$

Saatlik olarak konvensiyonel damıtıcıda elde edilen damıtılmış su miktarı aşağıdaki denklemle hesaplanır.

$$m_{ew} = \frac{h_{ew}(T_w - T_g)3600}{L} \quad (5.33)$$

Saatlik olarak genişletilmiş yüzeyli damıtıcıda elde edilen su miktarı hesaplanırken genişletilmiş yüzeyin üzerindeki su tabakası ve havuzdaki su olmak üzere iki kısımda ele alabiliriz.

$$s_1 = \frac{\pi R^2}{4} n \quad (5.34)$$

$$s_2 = A - s_1 \quad s_3 = 2\pi r^2 n \quad (5.35)$$

$$m_{ew} = \frac{h_{ewu}(T_{wu} - T_g)3600}{L_{wu}} * s_3 + \frac{h_{ewl}(T_{wl} - T_g)3600}{L_{wl}} * s_2 \quad (5.36)$$

Bu denklemlerde s_1 (Topların Dairesel Alanı), s_3 (Topların Yüzey Alanı) genişletilmiş yüzeyin kapladığı alana bağlı bir katsayıdır. s_2 ise havuzdaki su alanına bağlı katsayıdır. 100 top için örnek verecek olursak $s_1 = 0,1256$, $s_2 = 0,8744$ tür. 600 top için ise $s_1 = 0,7536$, $s_2 = 0,2464$ ' tür

$$M_{ew} = \sum_{i=1}^{24} m_{ew} \quad (5.37)$$

L buharlaşma kayıp ısı olup, aşağıdaki denklemle hesaplanır. [40]

$$L=3,1615 \times 10^6 (1-7,1616 \times 10^{-4} T) \quad (5.38)$$

$$P_w = \exp[25,317-5144/(T_w+273,5)] \quad (5.39)$$

$$P_g = \exp[25,317-5144/(T_g+273,5)] \quad (5.40)$$

Sistemin Verimi (η)

$$\eta = \frac{m_{ew} \cdot L}{I \cdot 3600} \quad (5.41)$$

6. DENEYSEL ANALİZ

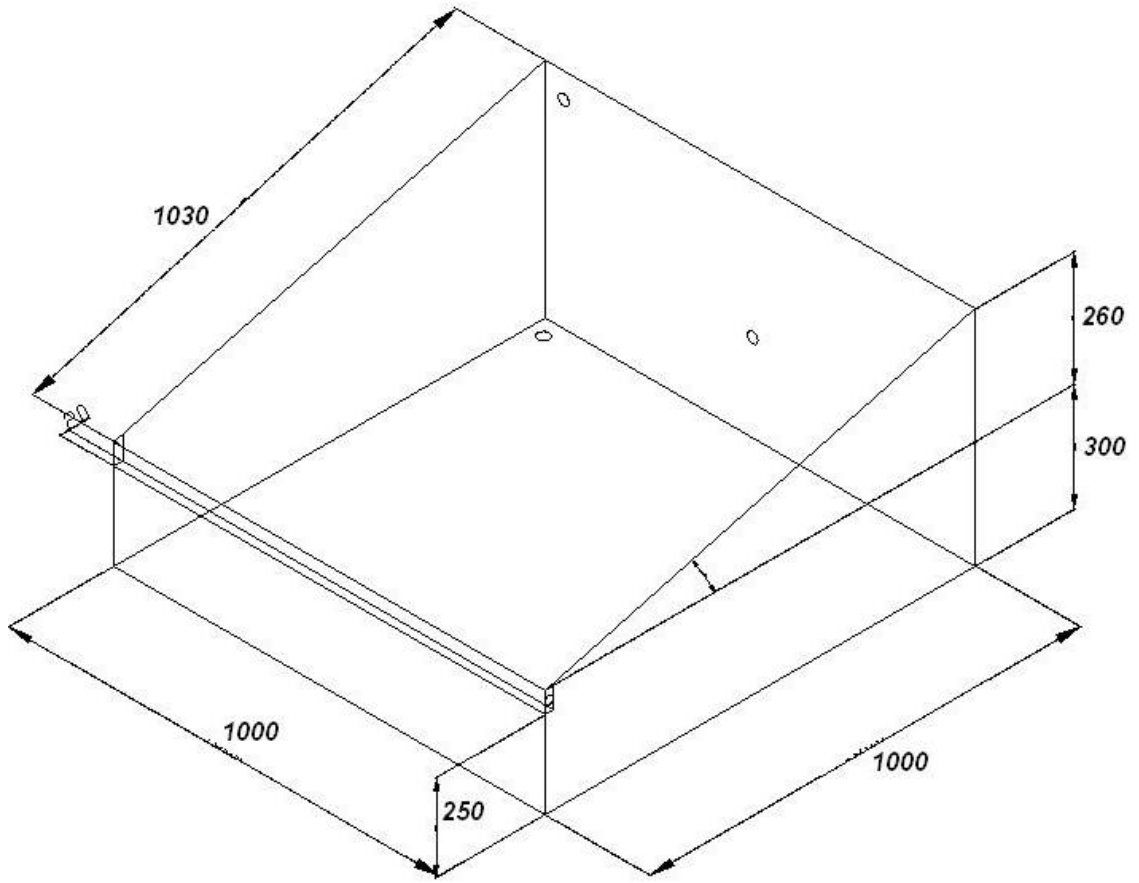
Bu çalışmada bir damıtıcı sistem içerisinde tuzlu suyun buharlaştırılması ve buharlaşan suyun cam kapakta yoğunlaşarak toplama kanalları aracılığı ile damıtıcının dışında toplanması amacıyla yönelik yeni tip bir damıtıcı geliştirilmiştir.

24 saatlik süreçte üretilecek tatlı su miktarının maksimum seviyeye çıkartılması için damıtıcı üzerindeki ısı transferi yüzey alanı genişletilmeye çalışılmıştır. Bu deney sırasında imalat yönünden birbirinin eşleniği olan 2 damıtıcı kullanılmıştır. Bu damıtıcılardan birincisi konvensiyonel sistemdir. Diğeri ise üzerinde parametrik değişiklikler yapılacak olan damıtıcıdır.

6.1. Sistemin Tanıtımı

6.1.1. Güneş enerjili damıtıcı :

Bu çalışmada tek havuzlu ve tek eğimli tip iki adet damıtıcı kullanılmıştır. Deneyde kullanılan damıtıcılar 1000x1000mm alan ölçüsüne sahiptir. Damıtıcı kasası galvanizli sacdan yapılmıştır. İzolasyon için 10mm kalınlığında izocam kullanılmıştır. Kapak olarak kullanılan camların kalınlığı 3 mm olup kapak eğim açısı 35 derecedir. Kapaklardan sızdırmazlığı sağlamak için cam fitili kullanılmıştır. Ayrıca camdan toplama oluğunun arka tarafına sızmaları önlemek için bu kısım sıvı conta ile kapatılmıştır. Yoğuşan buharın toplanması için 2 cm genişliğinde ve 20mm yüksekliğinde 5 derece eğim açısına sahip toplama kanalı kullanılmıştır. Kanalin güneşle temasının engellemek için kanalın dışa bakan tarafı alüminyum bantla kapatılmıştır. Damıtıcının iç kısmı suya ve ısıya dayanıklı siyah renkte boya ile boyanmıştır. Genişletilmiş yüzey için güneş boyası ile boyanmış 100-200-300-400-500-600 adet top kullanılmıştır. Genişletilmiş yüzeyli damıtıcıda hareketi sağlamak için geliştirilmiş lüle sistemi kullanılmıştır.



Şekil 6.1 Deneyde Kullanılan Damıtıcı



Şekil 6.2 Deneyde Kullanılan Damıtıcılar



Şekil 6.3 Genişletilmiş Yüzeyli Damıtıcı



Şekil 6.4 Genişletilmiş Yüzeyli Damıtıcı

6.1.2.Pyranometre(CC12)

Işınım şiddetinin tespiti için Kipp and zonen marka (CC12) piranometre kullanılmıştır. Pyranometre sisteme paralel bir eğimle yerleştirilmiş ve 30 dk'lık zaman dilimleri arasında ölçümler yapılmıştır.

6.1.3.Sıcaklık ölçümü

Sıcaklık ölçümü Elimko marka dijital termometre ve kanal seçici ile yapılmıştır. K tipi demir konstant 5 mm'lik ısı çifti ile sıcaklık ölçümü yapılmıştır.

6.1.4.Rüzgar Hızı Ölçümü

Anlık rüzgâr hızını ölçmek için Lutron AM-4201 marka anometre kullanılmıştır. $\pm 0,1$ 'lik hassasiyete sahip olan bu cihazda kullanılan sensor fan şeklinde olup fanın dönmesiyle birlikte rüzgâr hızı dijital ekranda okunmaktadır.

6.1.5. Sirkülasyon pompası

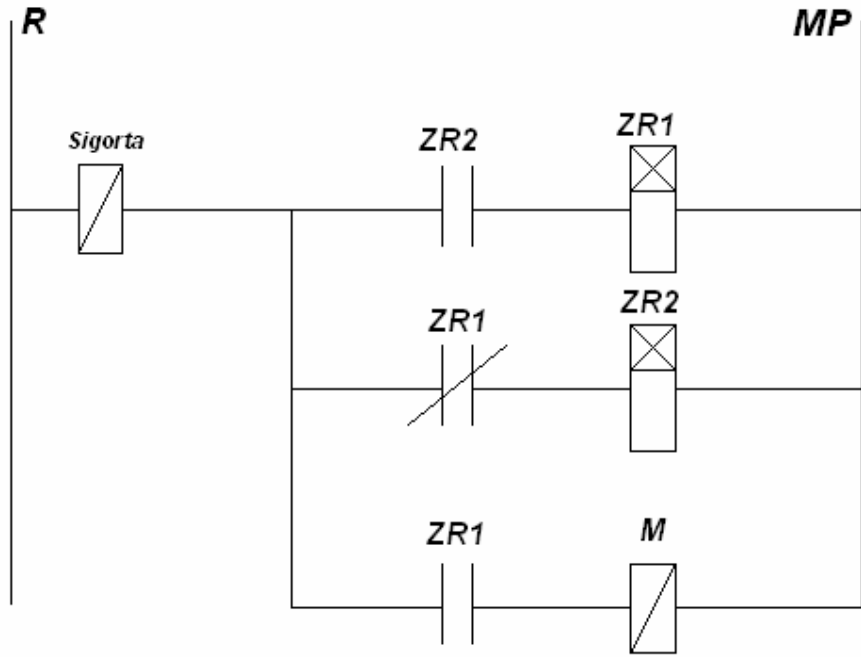
Damıtıcı içerisinde toprakların hareket ettirmek için sirkülasyon pompası kullanılmıştır. Şekil 6.5 'de gösterilen 25 W gücünde Vestel Marka Çamaşır makinelerinde atık su tahliye pompası kullanılmıştır.



Şekil 6.5 Sirkülasyon Pompası

6.1.6. Pompa Kontrol Ünitesi

Pompanın otomatik olarak durma ve çalışma zamanını ayarlamak için şekil 6.6'de gösterilen kumanda devresi kullanılmıştır.



Şekil 6.6 Kumanda Devresi

Bu devrede ZR1 ve ZR2 olarak gösterilen devre elemanları çok fonksiyonlu zaman röleleridir. Bu röleler 1 sn – 30 saat arasında ayarlama yapılabilmektedir. Şekil 6.7 ‘de kullanılan Zaman rölesi gösterilmiştir.



Şekil 6.7 Zaman Rölesi

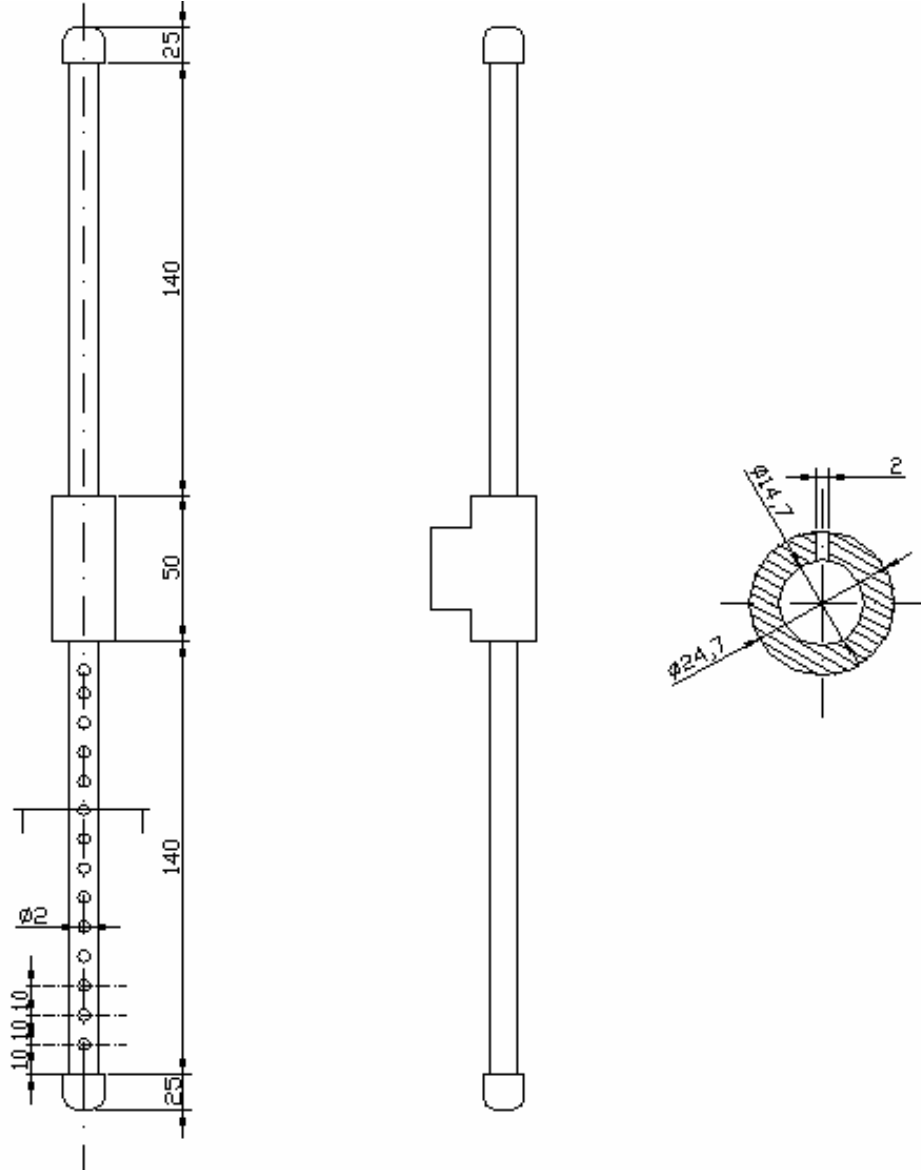
Devrede M harfi ile gösterilen devre elemanı ise kontaktör olup şekil 6.8’de gösterilmiştir.



Şekil 6.8 Kontaktör

6.1.7. Lüle

Topların hareketini sağlamak için Şekil 6.9 ‘da gösterilen aparat kullanılmıştır. Bu aparat ½’’ lik Polipropilen borunun iki ucu kör tapa ile kapatılmış olup, 1 cm aralıklarla 2 mm çapında delikler açılmıştır. Geliştirilen lüle su seviyesinde ve su seviyesinin üstünde montajı yapılmıştır.



Şekil 6.9 Lüle

6.2.Damıtıcının kurulumu

Damıtıcı Fırat Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde bulunan terasa kurulmuştur. Elazığ'ın coğrafi konumu 39:14E 38:41N ve rakım 1096 m'dir.Damıtıcı 25 cm yüksekliğindeki demirden yapılmış ayaklar üzerine yerleştirilmiştir. Damıtıcının 4 kenar duvarında, tabanda, havuz suyunda, havuzun buhar olan kısmından, camın üstünden ve altından 18 noktaya ısı çift bağlanmış ayrıca bir tane de çevre sıcaklığını ölçmek için kullanılmıştır.

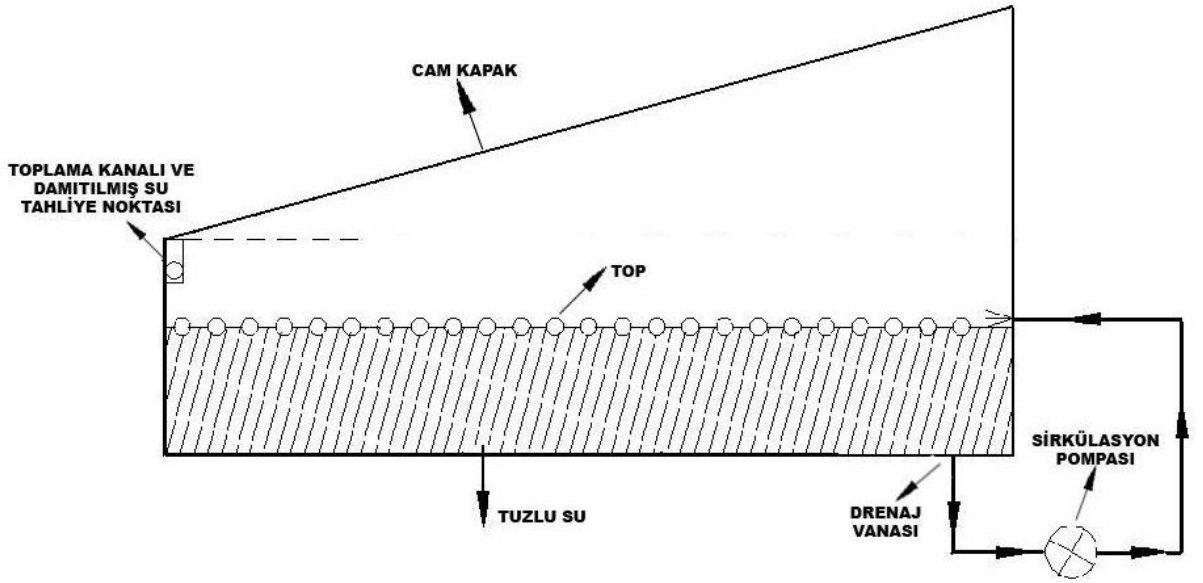
Toplama kanallarından çıkan damıtılmış su miktarını ölçmek için ise 5000 mm'lik mezür çıkış noktalarına yerleştirilmiştir. Damıtıcı güneye doğru konumlandırılmıştır.

6.3.Sistemin çalışması

Konvensiyonel sistemde 10 cm yüksekliğinde 100 kg su kullanılmıştır. Güneş ışınımını absorbe eden yüzey yardımıyla damıtıcıda bulunan tuzlu su buharlaşmakta daha sonra yoğunlaştırıcı cam yüzeyine çarparak yoğunlaşan su cam yüzeyindeki eğimden dolayı toplama kanalına doğru akmaktadır. Toplama kanalına toplanan su kanaldaki 5 derecelik eğime bağlı olarak çıkış noktasına doğru ilerlemektedir ve damıtılmış su buradan mezura dökülmektedir.

Topların kullanıldığı sistemde her bir deney için 100'er adet top sayıları artırılarak deneyler yapılmıştır. Sistem en fazla 600 top almaktadır. Bu sistemde toplar hacminin yarısına kadar suya batmaktadır. Suyu batan bu topların hareket ettirmek için bir sirkülasyon pompası kullanılmıştır. Pompa zaman roleleri tarafından kontrol edilen bir kontrol ünitesine bağlanmıştır. Böylece pompa 90 saniye durmakta ve 10 saniye çalışmaktadır. Pompa drenaj vanasından damıtıcıdaki sıcak suyu tekrar topların yan tarafına püskürterek toplarda dairesel ve öteleme hareketi oluşmasını sağlamaktadır. Sistemde kullanılan pompa 25 W gücündedir. Topların üzerine suyu püskürtmek için üzerinde 1 mm'lik delikler açılmış bir püskürtücü kullanılmıştır. Sirkülasyon devresinin ısı kaybını engellemek için hortum ve boruların etrafı cam yünü ile kaplanmıştır.

Bu işlemler devam ederken sistem ile ilgili olarak her 30 dakikalık süreçte ölçü aletlerindeki bilgiler (Pyranometre, mezur, dijital termometre) kaydedilmiştir.



Şekil 6.10 Sistemin Çalışma Prensibi

6.4. Hata Analizi

Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçların doğruluğunun tespiti, sonuçlar kadar önemlidir. Bu sonuçların doğruluğunu etkileyen en önemli etkenlerden birisi ölçüm aletlerinden kaynaklanan hatalardır. Bu hatanın nedeni ölçüm aletlerinin imalatından ve elektronik sistemin salınımindan kaynaklanabilmektedir.

Diğer bir hata nedeni deney setinin kurulumu ve imalatından dolayı ortaya çıkan hatalardır. Bu hatanın en düşük seviyeye indirilmesi için kurulumunda ve imalatında dikkatli davranılması gerekmektedir. Bu hata miktarının tespiti daha önce yapılmış olan çalışmalar ve tecrübe ile sağlanabilir.

Bir başka hata nedeni ise deneyi yapan kişiden kaynaklanan hatadır. Bu hatayı önleyebilmek için deneyi yapan kişinin deney konusunda yeterli tecrübeye sahip olması gerekir.

Bu çalışmada yapılan ölçümler sonucu meydana gelebilecek hataların analizi Ek-A da gösterilmiştir. Bu analizin sonucu Tablo 6.1’de gösterilmiştir.

Tablo 6.1 Hata Analizi [43]

Hatayı Oluşturan Parametre	Birim	Toplam hata
Üretilen su miktarı		
W _m	ml	±4,062
Rüzgâr Hızı		
W _V	m/s	±0,1
Zaman		
W _{ts}	dk	±0,1000004
W _{tm}	dk	±0,1000004
W _{tv}	dk	±0,1000004
W _{tl}	dk	±0,1000004
Havuzdaki su Miktarı		
W _M	m ³	±0,001122
Emici Yüzey Alanı		
W _A	m ²	±0,001005
Sıcaklık		
W _{Tt}	°C	±0,38
W _{TH}	°C	±0,38
W _{Tca}	°C	±0,38
W _{tcu}	°C	±0,38
W _{Tsad}	°C	±0,38
W _{Tsod}	°C	±0,38
W _{Tod}	°C	±0,38
W _{Tad}	°C	±0,38
W _{Ttop}	°C	±0,38
W _{Tçe}	°C	±0,38

6.5. Sistemin kalibrasyonu

Deneysel çalışmaya başlamadan önce sistemlerin birbirine göre hata oranını tespit etmek için iki sisteme 100 kg tuzlu su koyularak 09:00-17:00 saatleri arasında üretilen su miktarları ölçülmüştür. Bu ölçüm sonucunda 1 numaralı kolektörde 1349 gram su elde edilirken 2 numaralı kolektörde 1332 gram su elde edilmiştir. Yani 1 numaralı kolektörden 2 numaralı kolektöre göre % 1,2762 daha fazla su elde edilmiştir. Elde edilen su miktarlarının zamana göre değişimi Tablo 6.2’de gösterilmiştir.

Tablo 6.2 Kalibrasyon sonuçları

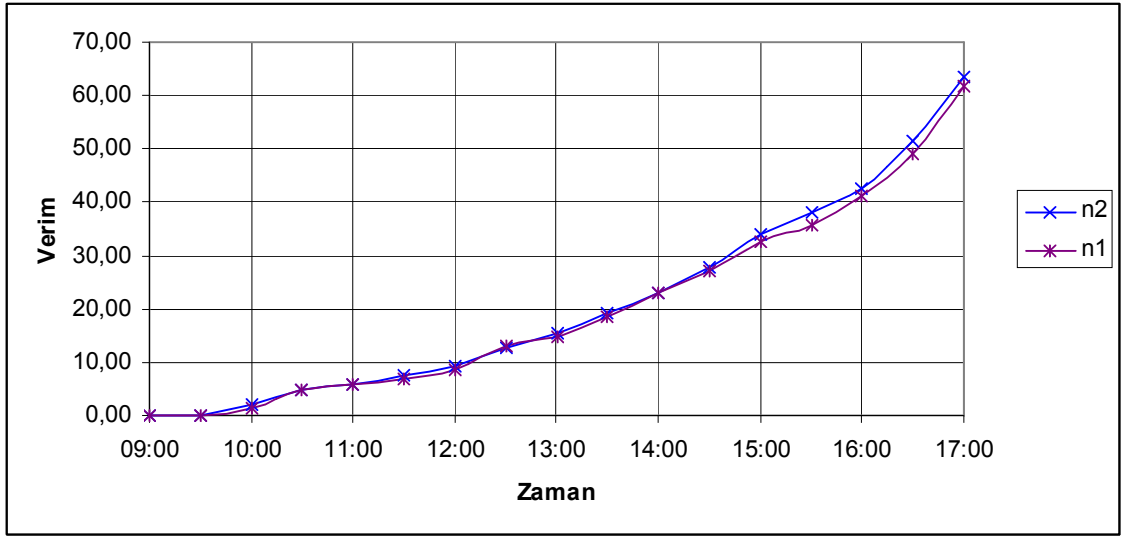
Zaman	Işınım	m1	m2
09:00	648	0	0
09:30	767	0	0
10:00	895	8	10
10:30	980	26	24
11:00	1036	33	34
11:30	1038	38	38
12:00	1037	45	47
12:30	1037	70	67
13:00	1031	84	81
13:30	1027	100	98
14:00	994	120	116
14:30	945	133	131
15:00	866	148	146
15:30	757	143	144
16:00	602	140	141
16:30	486	133	130
17:00	368	128	125
Toplam		1349	1332

6.6. Sistemin Topsuz, Pompalı Çalıştırılması

Geniştirilmiş yüzeyli damıtıcıda pompanın üretim üzerindeki etkisini belirlemek için damıtıcıya top koymadan sadece pompa çalıştırılarak 09:00-17:00 saatleri arasında ölçüm yapılmıştır. Ölçüm sonuçları tablo 6.3’de gösterilmiştir.

Tablo 6.3 Pompanın üretim üzerindeki etkisi

zaman	güneş	su1	su2	verim1	verim2
09:00	625	0	0	0,00	0,00
09:30	700	0	0	0,00	0,00
10:00	797	9	7	1,90	1,48
10:30	898	25	26	4,69	4,88
11:00	971	34	33	5,90	5,72
11:30	998	44	41	7,43	6,92
12:00	990	54	50	9,19	8,51
12:30	979	74	75	12,73	12,90
13:00	973	89	85	15,41	14,71
13:30	961	109	105	19,10	18,40
14:00	920	126	125	23,07	22,89
14:30	844	139	136	27,74	27,14
15:00	772	156	150	34,04	32,73
15:30	684	155	145	38,17	35,71
16:00	572	145	140	42,70	41,23
16:30	459	140	134	51,37	49,17
17:00	350	132	128	63,52	61,60
TOPLAM		1431	1380		

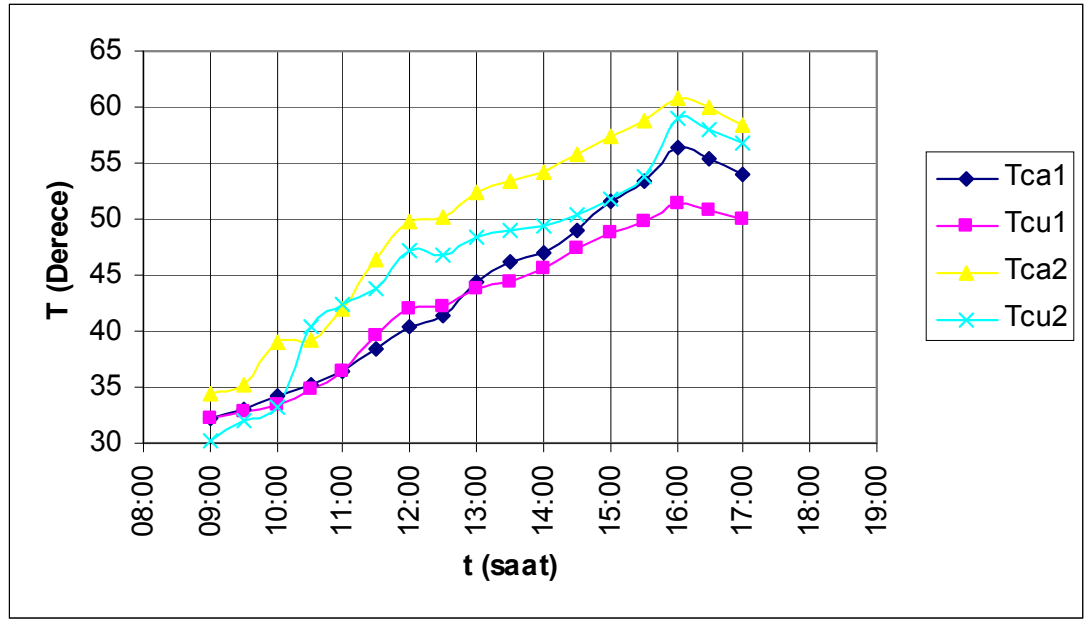


Şekil 6.11 Sirkülasyon Pompasının verim üzerindeki etkisi

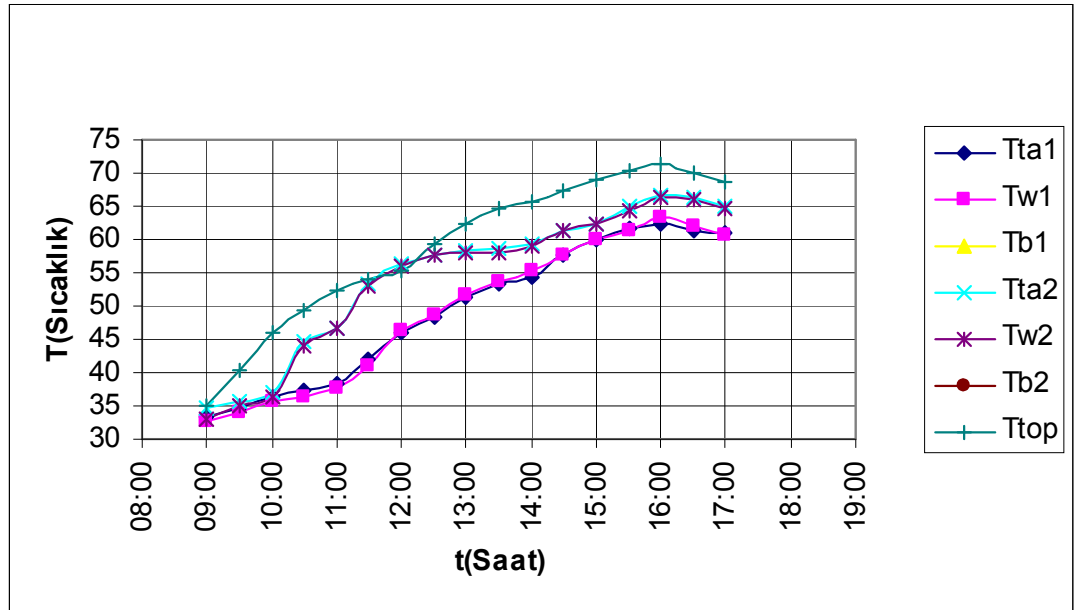
7. DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

7.1. Sıcaklık-Zaman Değişimi:

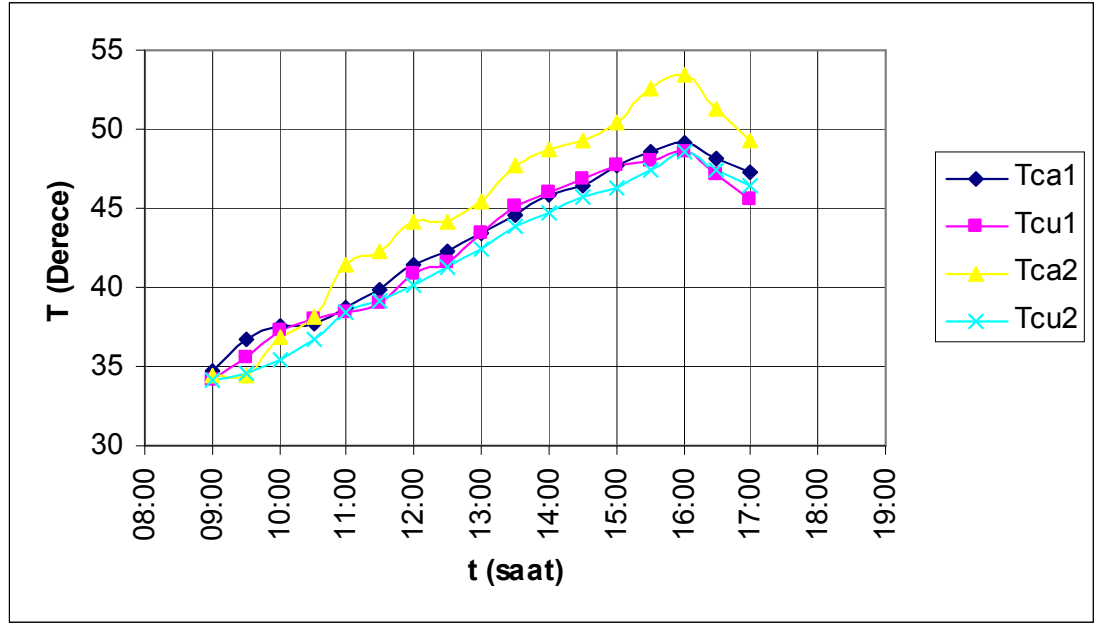
Yoğuşturucu Cam alt yüzey , cam üst yüzey sıcaklıkları, dört duvar ve taban sıcaklığı, su sıcaklığı, buhar sıcaklığı, olmak üzere her bir damıtıcı için dokuz farklı noktadan sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Ayrıca çevre sıcaklığı ve topların sıcaklıklarının da ölçümü yapılmıştır. Hareketli ve hareketsiz sistemlerde elde edilen sıcaklık değerleri top sayısına ve zamana bağlı olarak grafiklere aktarılmıştır.



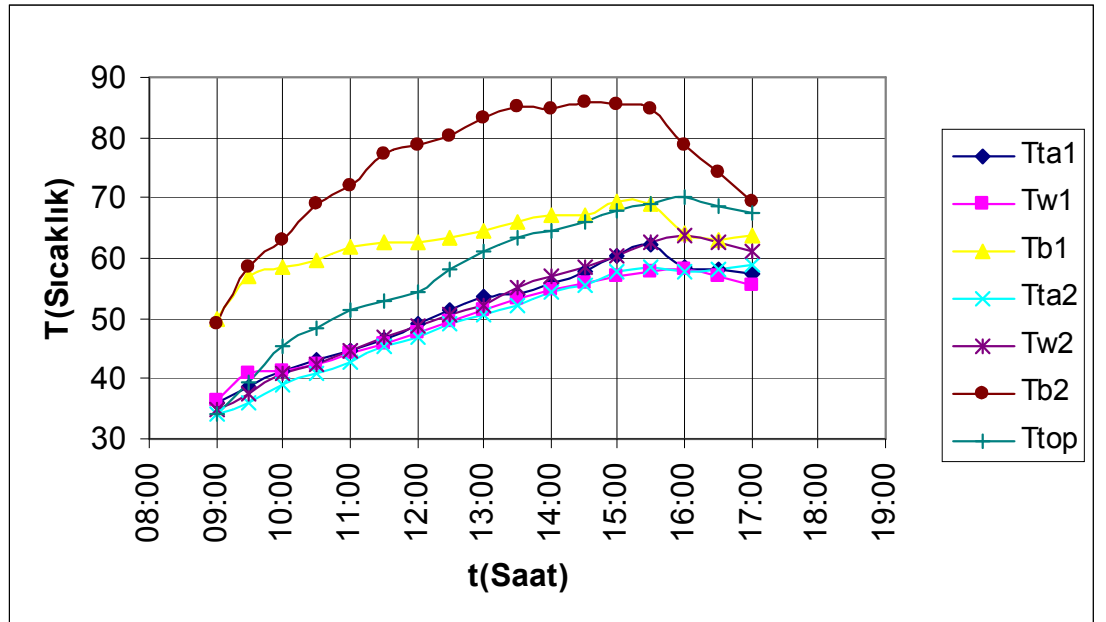
Şekil 7.1.a. Hareketsiz sistem için cam sıcaklıkları (Top Sayısı=200)



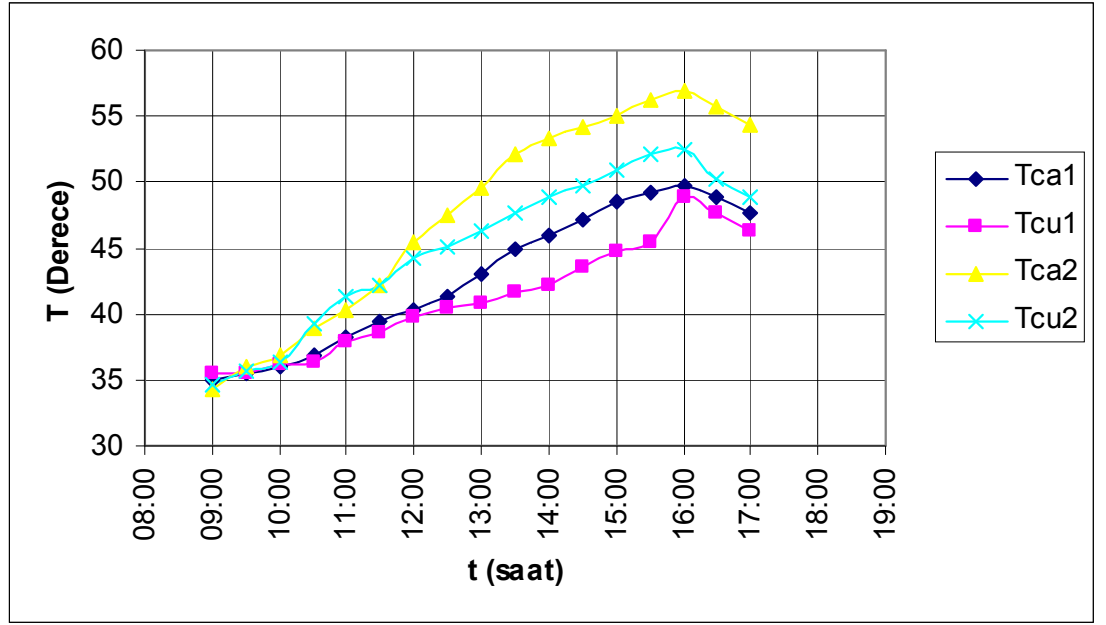
Şekil 7.1.b. Hareketsiz sistem için taban, top, buhar ve havuz sıcaklıkları (Top Sayısı=200)



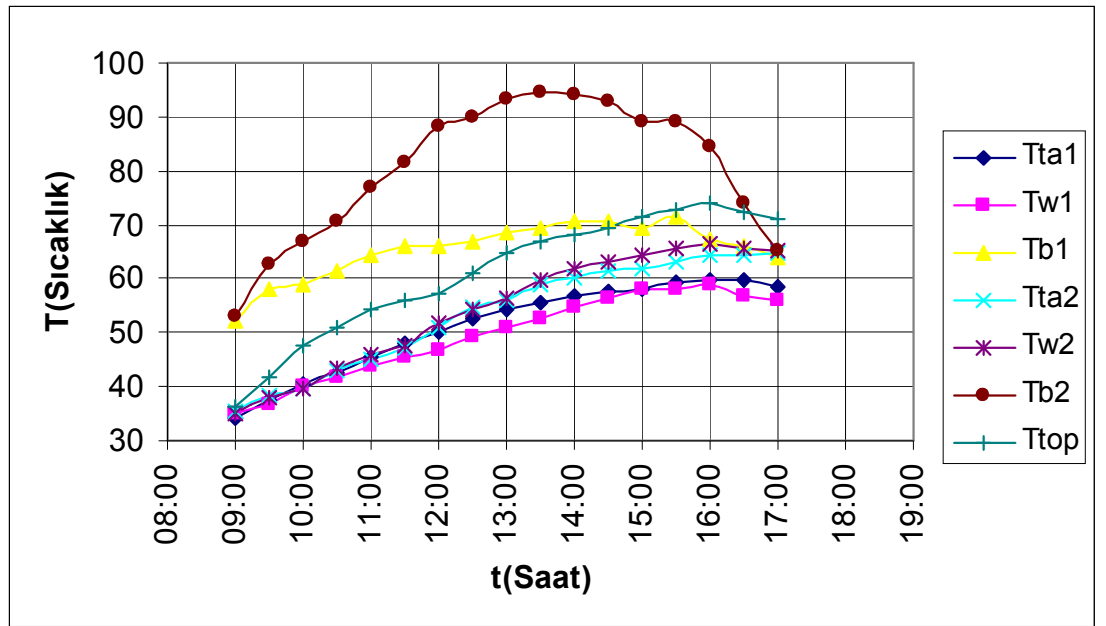
Şekil 7.2.a . Hareketsiz sistem için Cam sıcaklıkları (Top Sayısı=400)



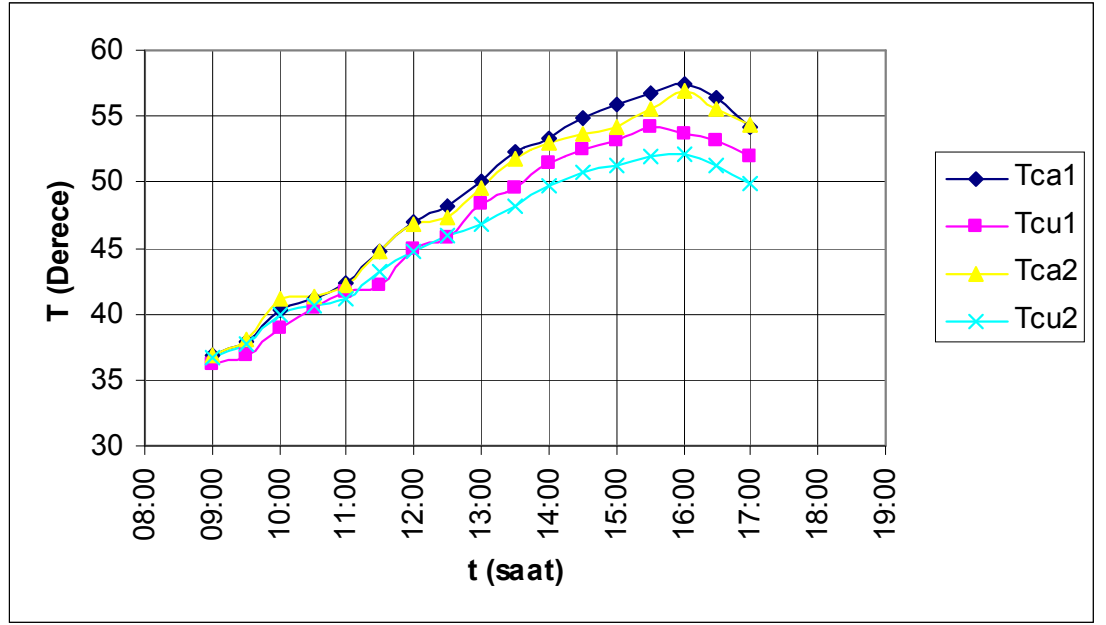
Şekil 7.2.b. Hareketsiz sistem için taban, top, buhar ve havuz sıcaklıkları (Top Sayısı=400)



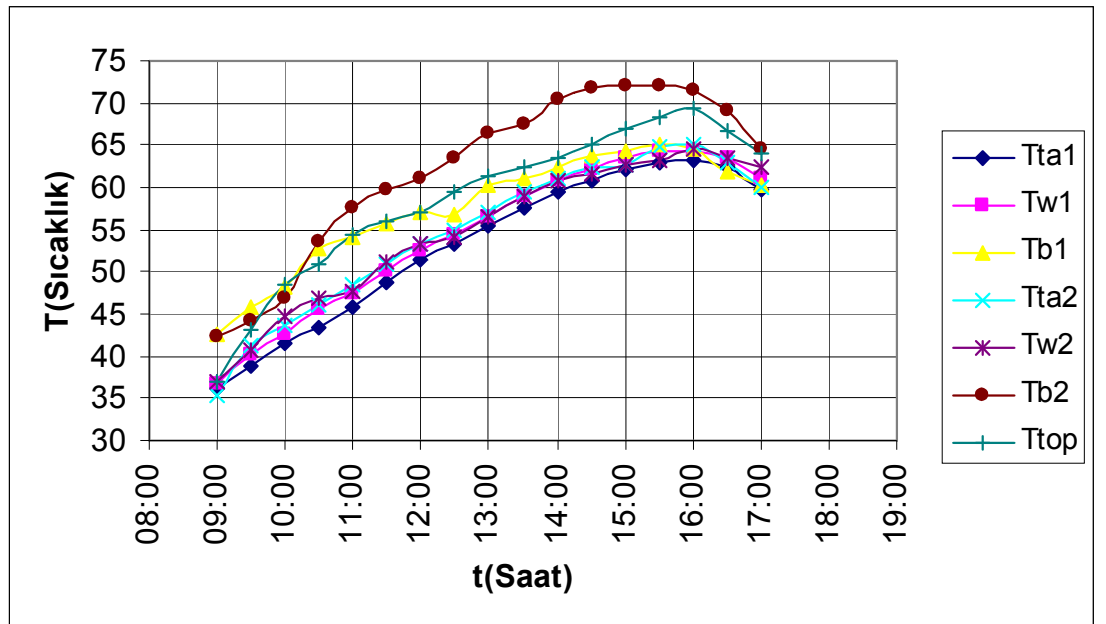
Şekil 7.3.a. Hareketsiz sistem için Cam sıcaklıkları (Top Sayısı=600)



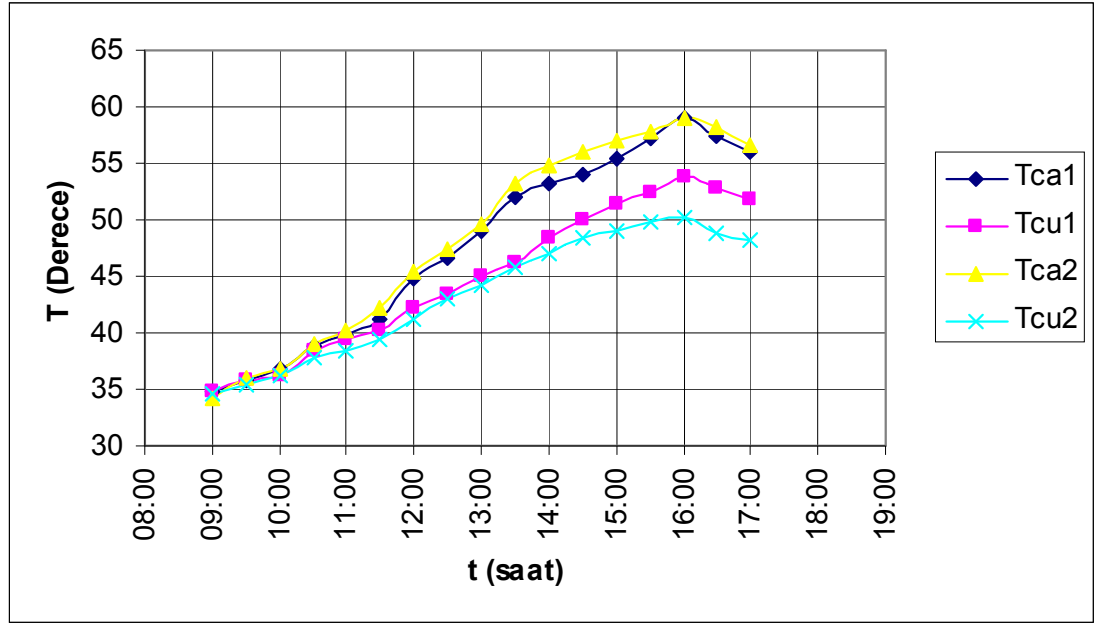
Şekil 7.3.b Hareketsiz sistem için taban, top, buhar ve havuz sıcaklıkları (Top Sayısı=600)



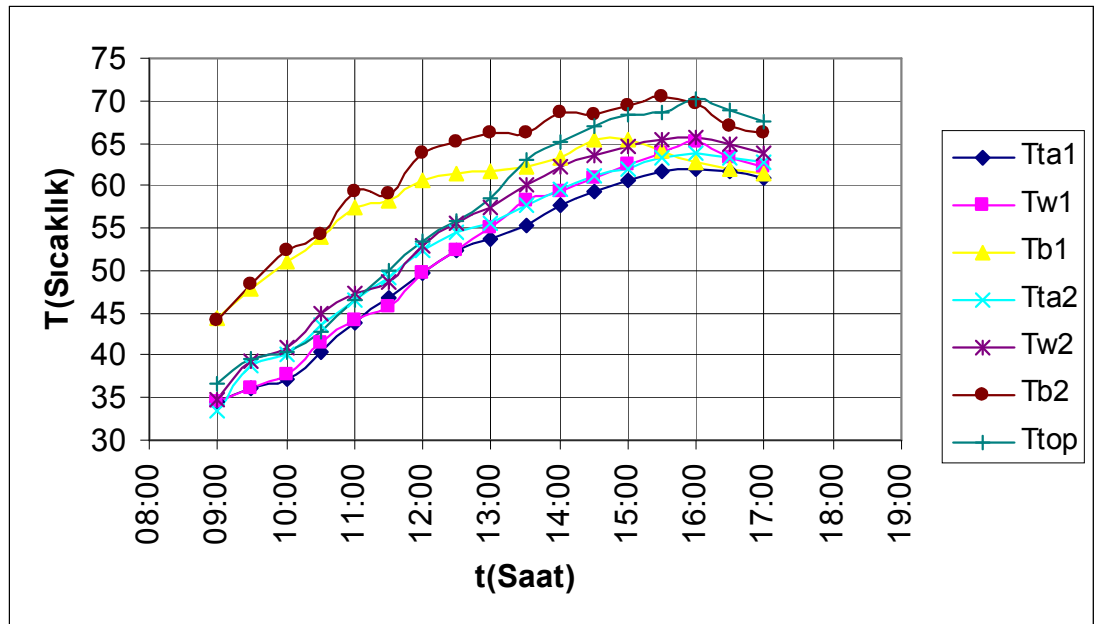
Şekil 7.4.a. Hareketli sistem için cam sıcaklıkları (Top Sayısı=100)



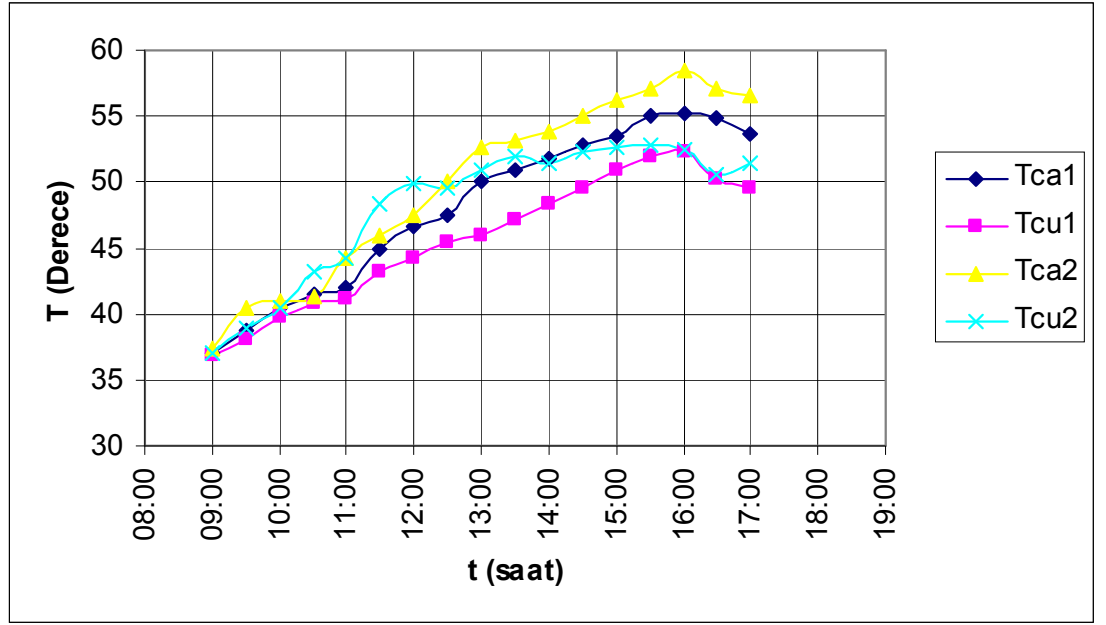
Şekil 7.4.b. Hareketli sistem için taban, top, buhar ve havuz sıcaklıkları (Top Sayısı=100)



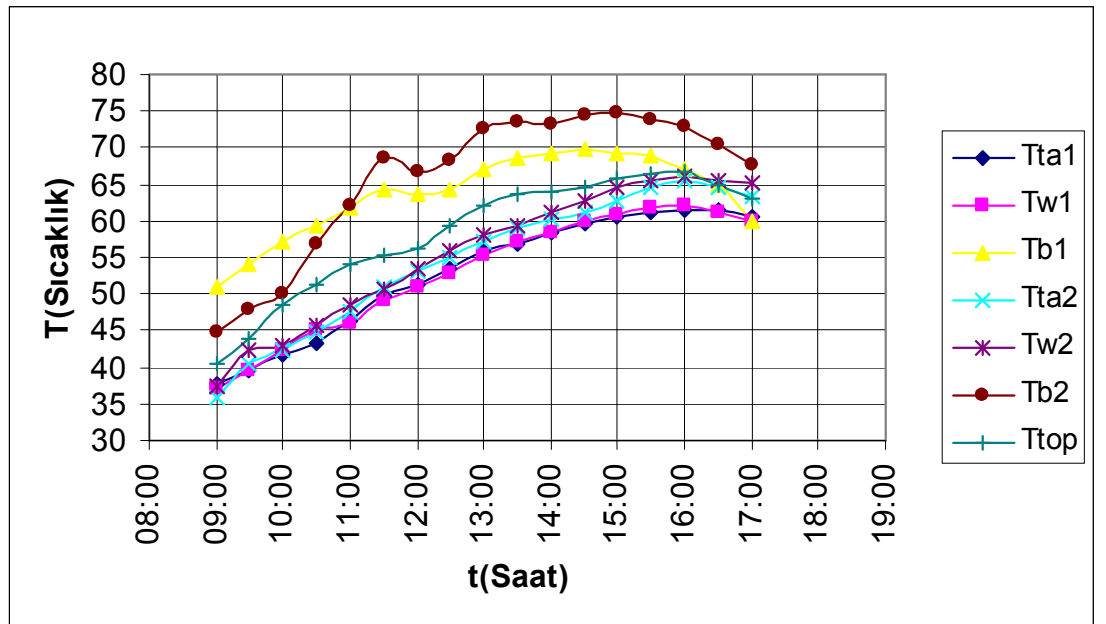
Şekil 7.5.a . Hareketli sistem için Cam sıcaklıkları (Top Sayısı=200)



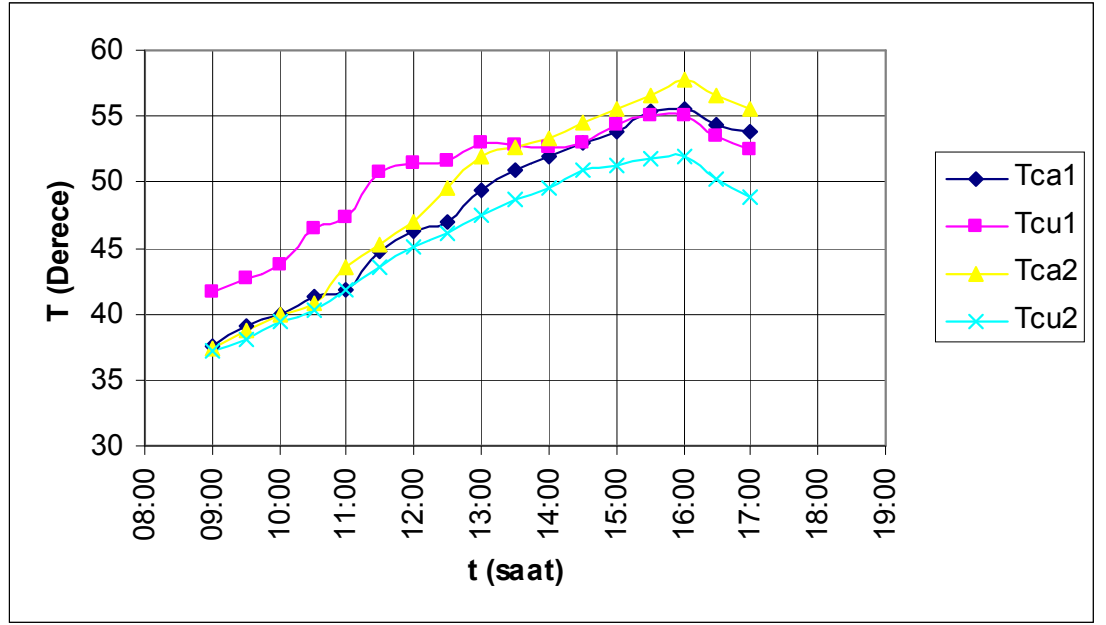
Şekil 7.5.b. Hareketli sistem için taban, top, buhar ve havuz sıcaklıkları (Top Sayısı=200)



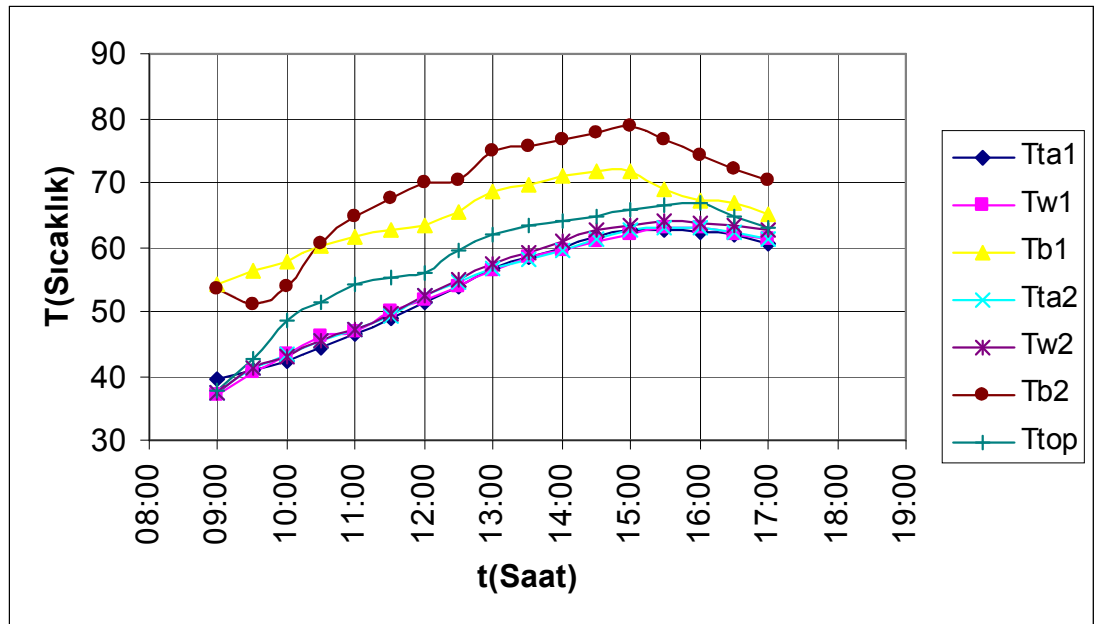
Şekil 7.6.a. Hareketli sistem için Cam sıcaklıkları (Top Sayısı=300)



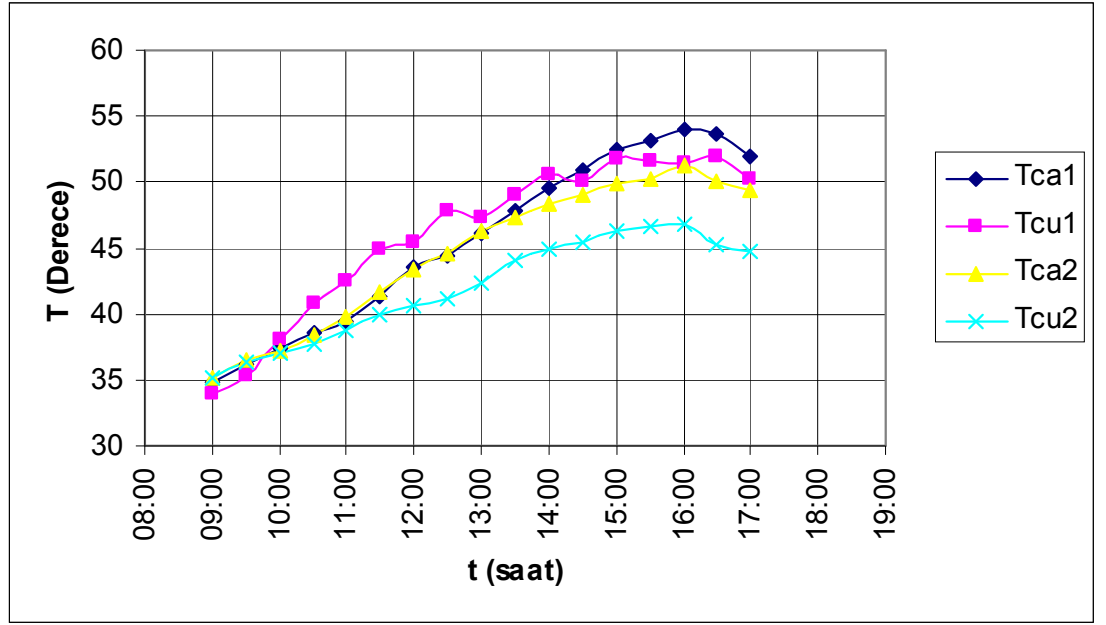
Şekil 7.6.b. Hareketli sistem için taban, top, buhar ve havuz sıcaklıkları (Top Sayısı=300)



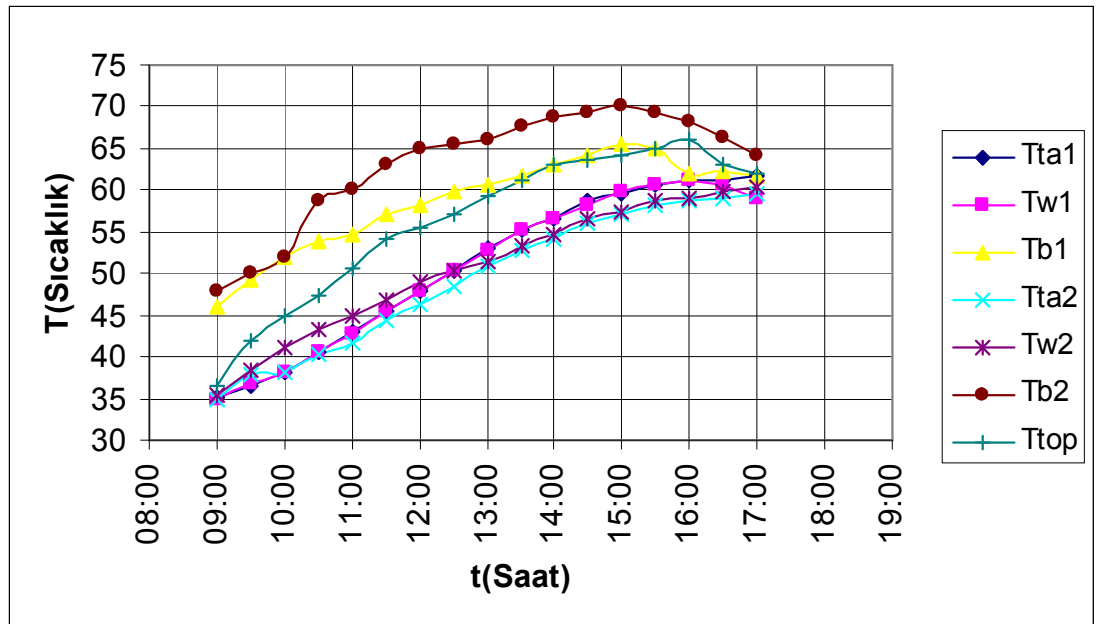
Şekil 7.7.a Hareketli sistem için Cam sıcaklıkları (Top Sayısı=400)



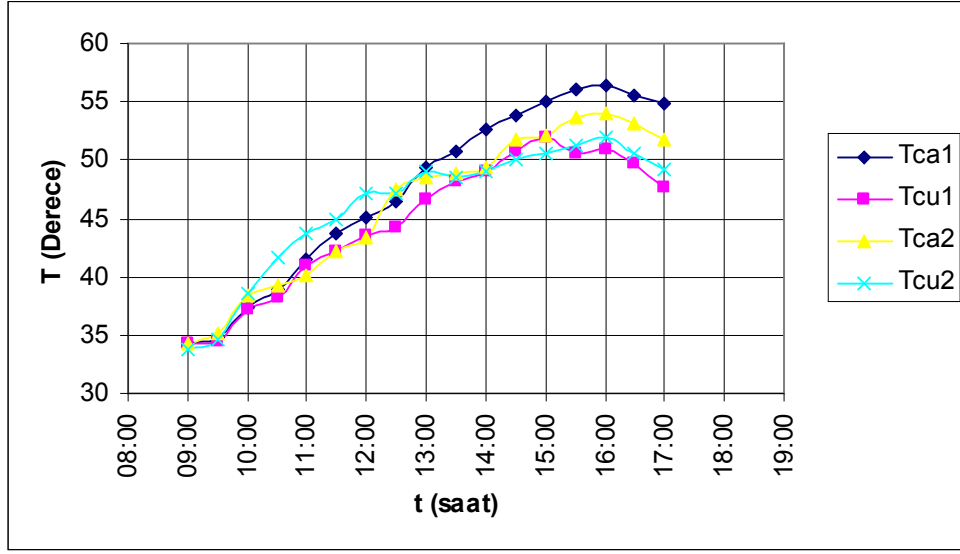
Şekil 7.7.b Hareketli sistem için taban, top, buhar ve havuz sıcaklıkları (Top Sayısı=400)



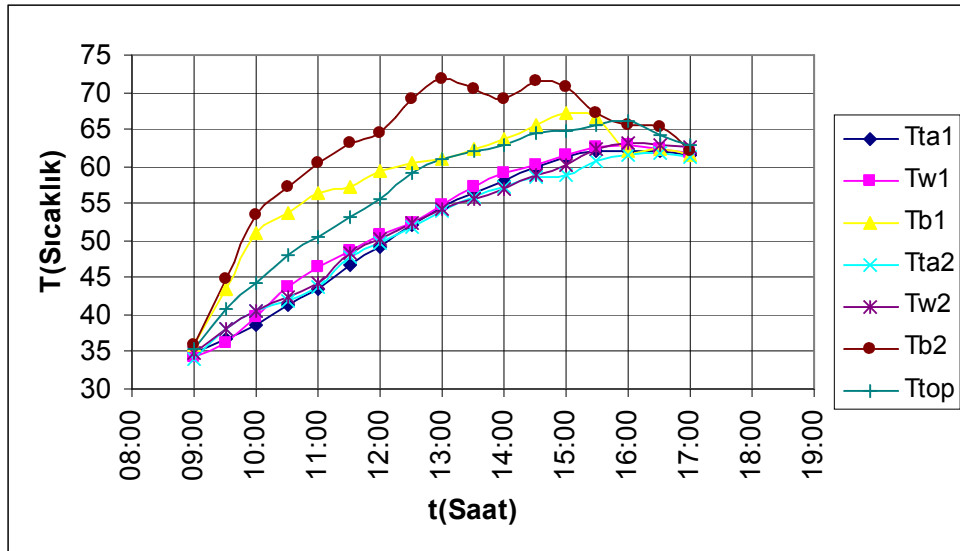
Şekil 7.8.a Hareketli sistem için Cam sıcaklıkları (Top Sayısı=500)



Şekil 7.8.b Hareketli sistem için taban, top, buhar ve havuz sıcaklıkları (Top Sayısı=500)



Şekil 7.9.a Hareketli sistem için Cam sıcaklıkları (Top Sayısı=600)



Şekil 7.9.b Hareketli sistem için taban, top, buhar ve havuz sıcaklıkları (Top Sayısı=600)

Yoğuşturucu Camın alt ve üst yüzey sıcaklıkları (T_{ca1} , T_{ca2} , T_{cu1} , T_{cu2}) şekil (a)'larda gösterilmiştir. Cam sıcaklıkları saat 16:00-16:30'a kadar artış göstermekte daha sonra düşmektedir. Damıtıcı sistemlerde cam sıcaklıklarının su üretimi üzerinde ters orantılı bir etkisi olduğu bilinmektedir. Şekil.7.1.a şekil.7.2.a, şekil.7.3.a'da görüleceği gibi topların hareket etmediği durumda cam altı sıcaklıkları (T_{ca2}) diğer sıcaklıklardan daha yüksektir.

Taban sıcaklığı (T_{ta}), Su sıcaklığı (T_w), buhar sıcaklığı (T_b) şekil 7.1.(b), şekil 7.2.(b), şekil 7.3.(b)'de de gösterilmiştir. Buhar sıcaklığı topların hareketsiz olduğu durumda konvensiyonel sisteme göre çok daha fazla olduğu ve bu sıcaklığın top sayısı ile birlikte arttığı

görülmektedir. Bunun nedeni topların ısını büyük bir kısmını suya değil de damıtıcının içindeki buhara vermesinden kaynaklanmaktadır. Topların hareket etmesiyle bu sıcaklık farkı düşüş göstermektedir. Taban ve su sıcaklıkları konvensiyonel sistemle karşılaştırıldığında birbirine yakın değerler göstermektedir.

Sistemin su püskürtücünün yüksekliğinin değişimi ve durma süresinin değişimine bağlı olarak değişen sıcaklık grafiklerini Ek-B’de gösterilmiştir

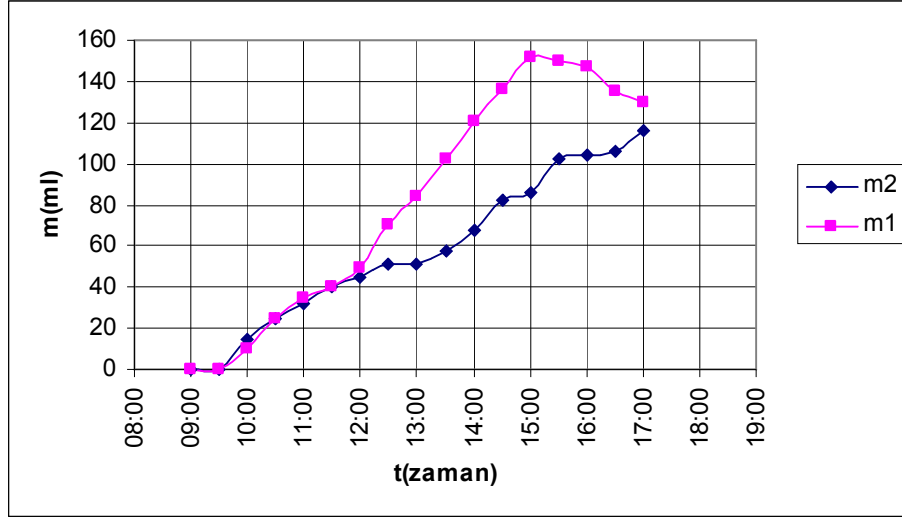
Duvar sıcaklıklarının değişimi Ek-C’de gösterilmiştir. Duvar sıcaklıkları arasında çok büyük bir fark oluşmamaktadır. Damıtıcının duvar sıcaklıkları da saat 16:00-16:30 arasında düşmeye başlamıştır.

7.2. Üretim Miktarının zamana bağlı olarak değişimi

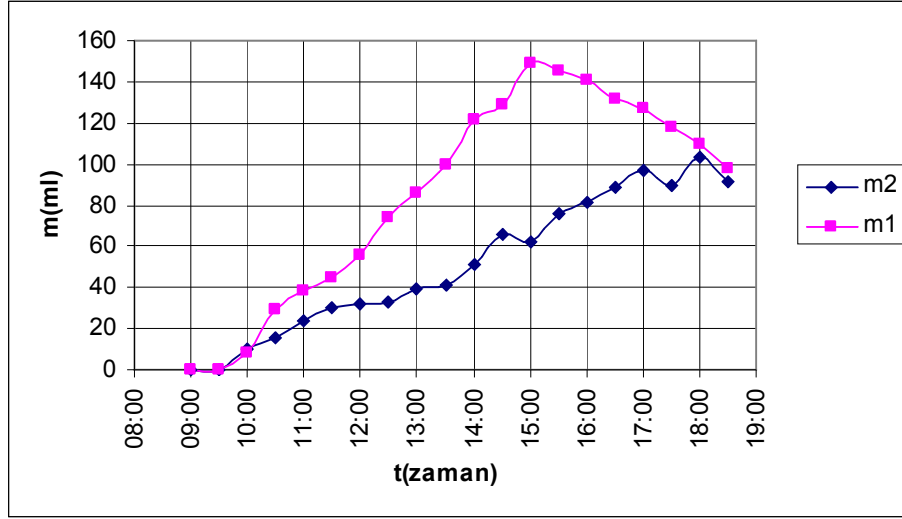
Damıtıcılarda üretilen su miktarlarının zamana bağlı olarak değişimi grafiklere aktarılmıştır (Şekil 7.10 – Şekil 7.11). Topların hareketsiz olduğu durumda üretim miktarı konvensiyonel sisteme göre daha düşüktür. Bu düşüş miktarı top sayısı ile orantılı olarak atmaktadır. Bunun nedeni topların hareketsiz olmasından dolayı damıtıcıda topların kapladığı alan kadar bir bölümde buharlaşma olmamasından kaynaklanmakta olup, bu durum damıtıcı içindeki buhar miktarını da düşürmektedir. (Şekil 7.10.a , b , c)

Aynı şekilde topların hareket etmesi durumunda konvensiyonel sisteme göre bir artış görülmektedir. Buradaki artış da top sayısının artışı ile orantılıdır. Topların belli zaman dilimleri içerisinde hareket etmesiyle birlikte üzerlerinde ince bir film tabakası oluşacak şekilde su tabakası olmakta, bu durum ise sistemde buharlaşma miktarının artmasına neden olacaktır. Bu artış miktarı hem top sayısı ile hem de pompanın bekleme süresi ile bağıntılı bulunmaktadır. Top sayısının artması buharlaşma miktarını artırmaktadır.

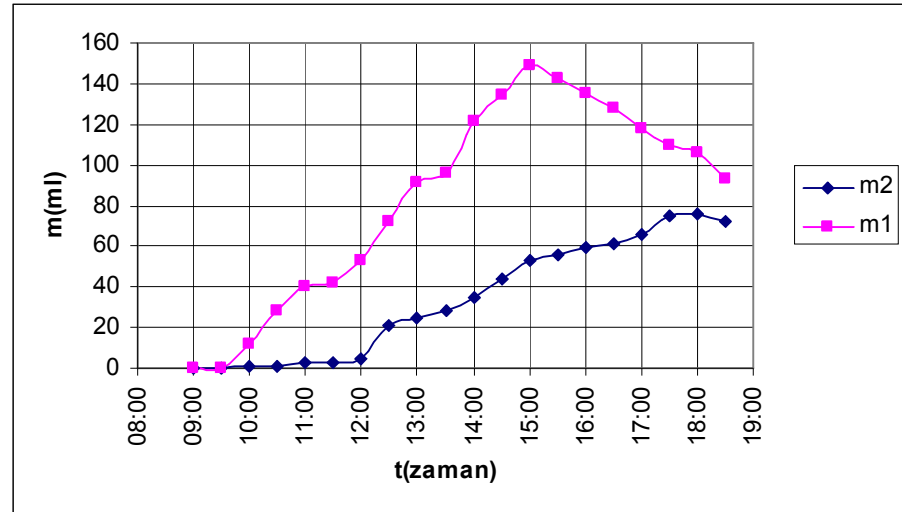
Grafiklerde de görüldüğü gibi üretim miktarı saat 14:30-15:30’ a kadar artış göstermekte daha sonra düşmektedir.



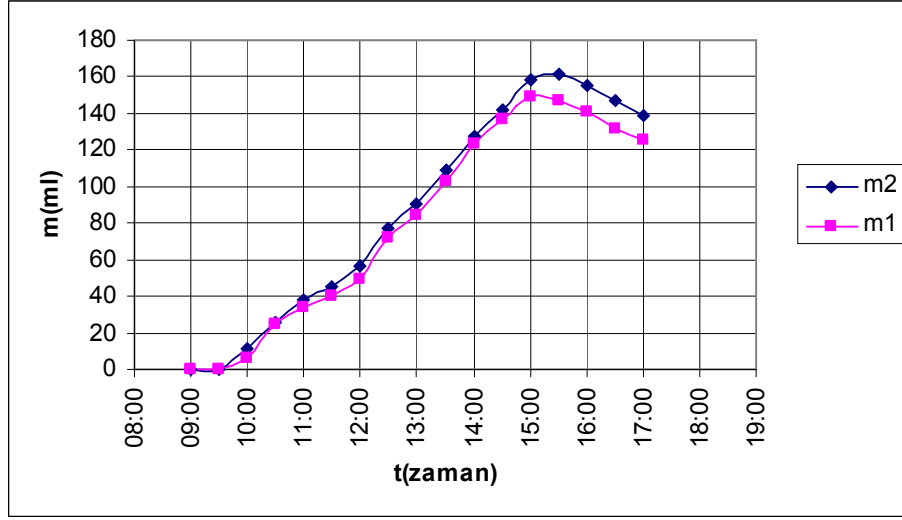
Şekil 7.10.a Hareketsiz sistem için saatlik üretim (Top Sayısı=200)



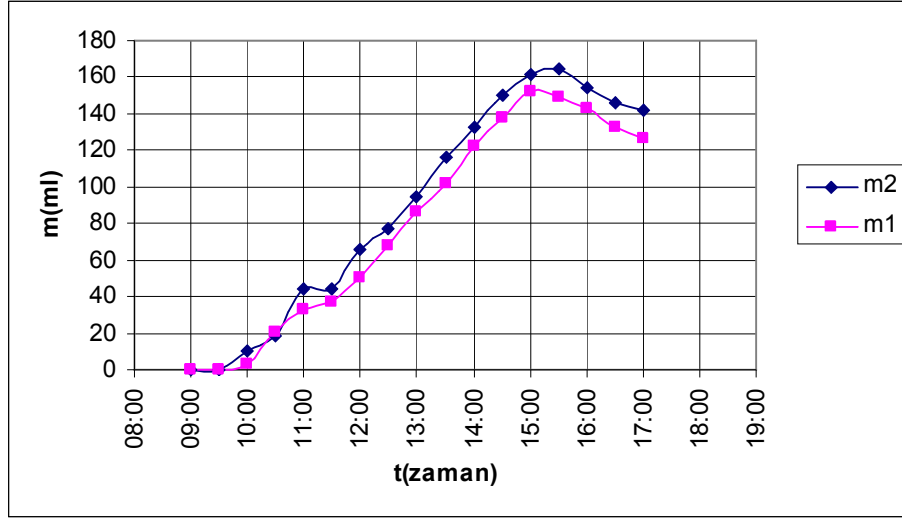
Şekil 7.10.b Hareketsiz sistem için saatlik üretim (Top Sayısı=400)



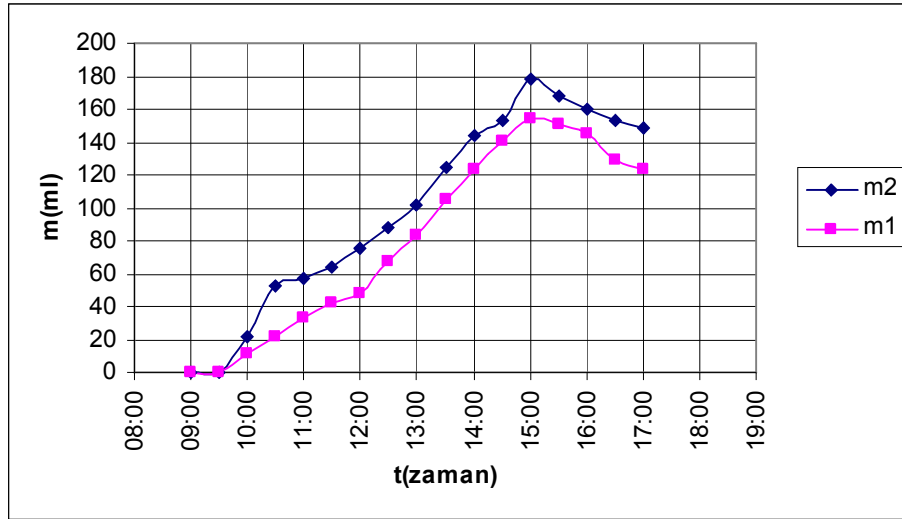
Şekil 7.10.c Hareketsiz sistem için saatlik üretim (Top Sayısı=600)



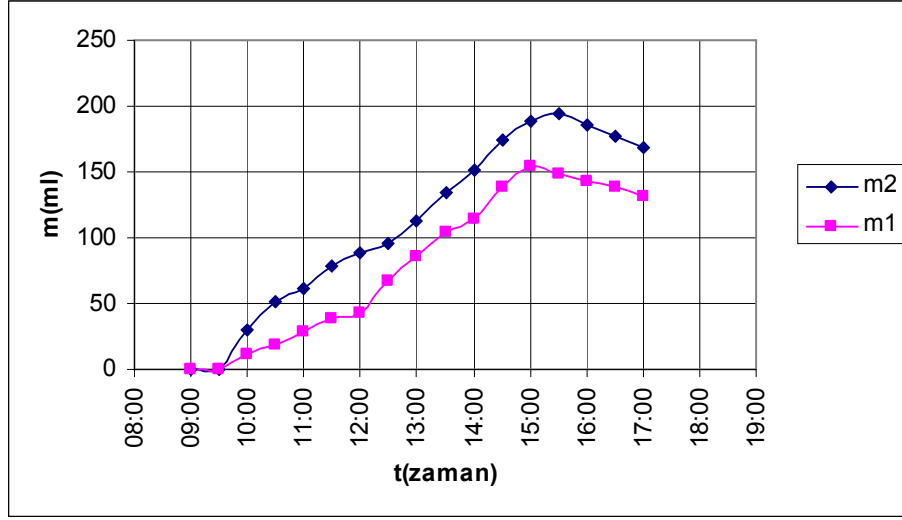
Şekil 7.11.a Hareketli sistem için saatlik üretim (Top Sayısı=100)



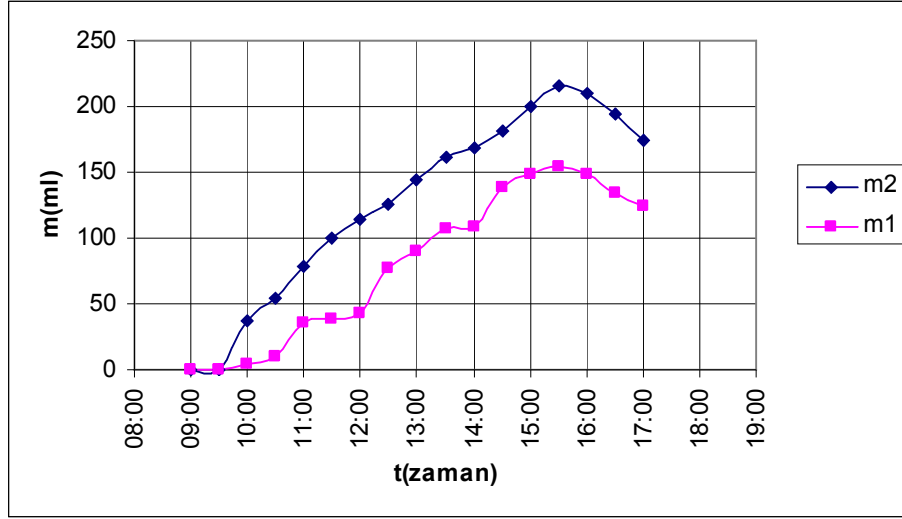
Şekil 7.11.b Hareketli sistem için saatlik üretim (Top Sayısı=200)



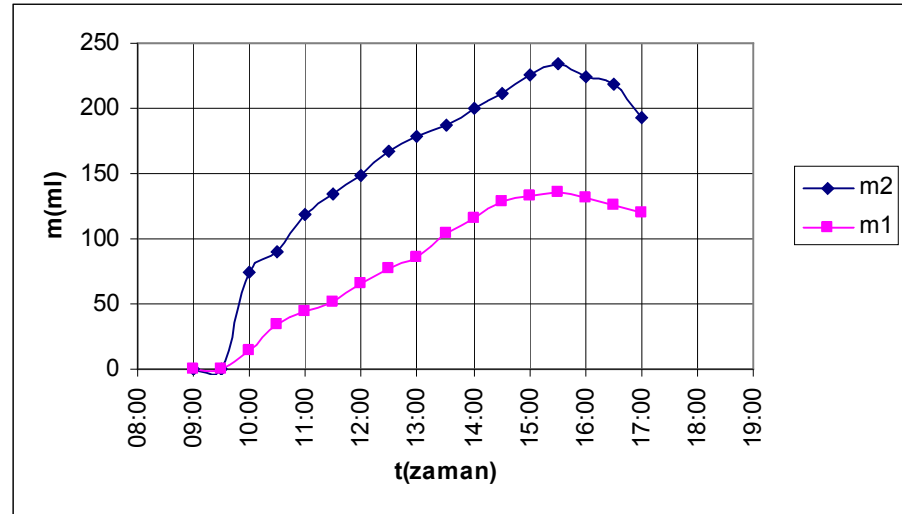
Şekil 7.11.c Hareketli sistem için saatlik üretim (Top Sayısı=300)



Şekil 7.11.d Hareketli sistem için saatlik üretim (Top Sayısı=400)



Şekil 7.11.e Hareketli sistem için saatlik üretim (Top Sayısı=500)



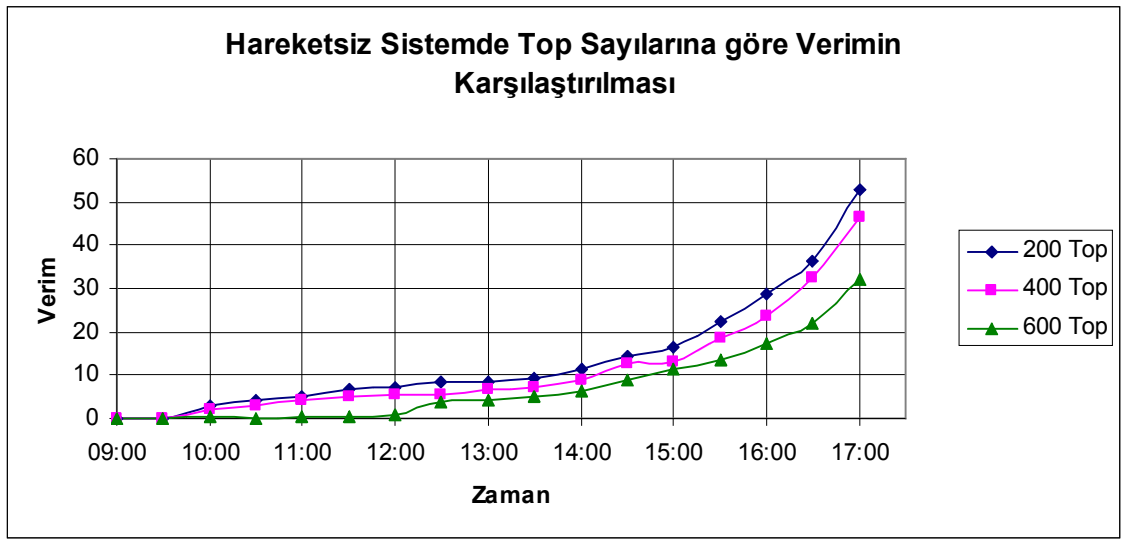
Şekil 7.11.f Hareketli sistem için saatlik üretim (Top Sayısı=600)

7.3. Üretim Verimi

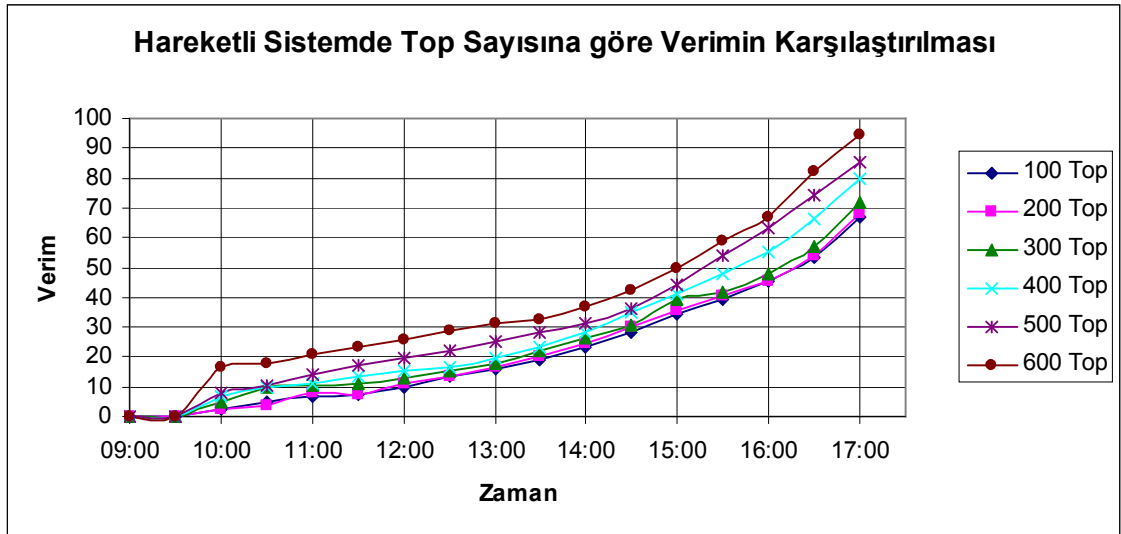
Üretim verimi güneş ışınımına, üretilen temiz su miktarına ve kayıp ısı miktarına bağlı bir parametredir.

Yapılan deneyler sonucu elde edilen verimlerini gösterir grafikler şekil 7.12- şekil 7.15’de görülmektedir. Topların hareketsiz olduğu durumda verim konvensiyonel sisteme göre düşüktür. Topların hareket ettirilmesi ile birlikte konvensiyonel sisteme göre verim artmaktadır.

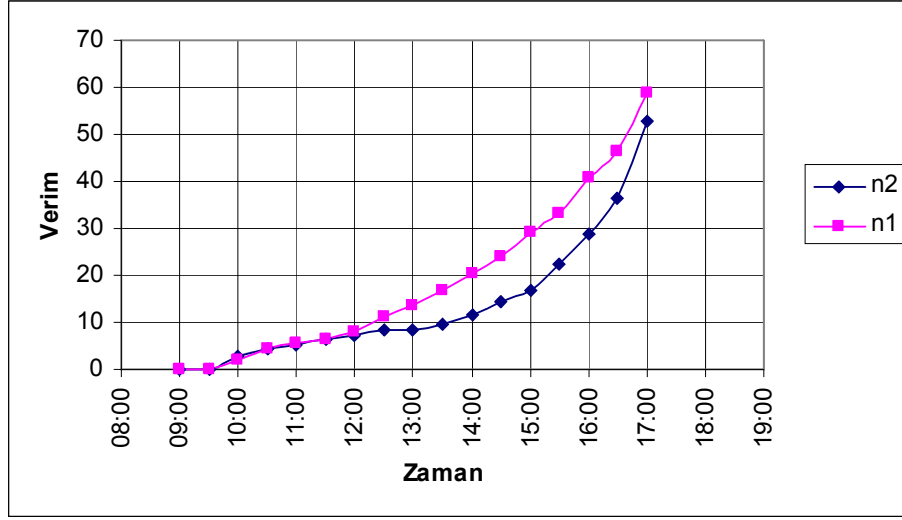
Topların hareketsiz olduğu durumda verim top sayısı ile düşmektedir. (Şekil 7.12) Topların hareket ettiği durumda verim top sayısının artması ile birlikte artmaktadır. Bu durum şekil 7.13’de görülmektedir.



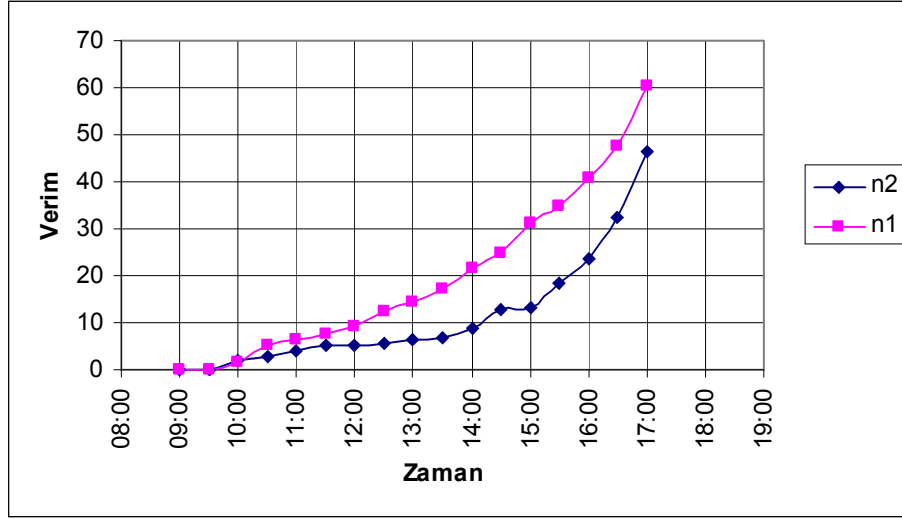
Şekil 7.12. Hareketsiz sistemde top sayılarına göre verim değişimi



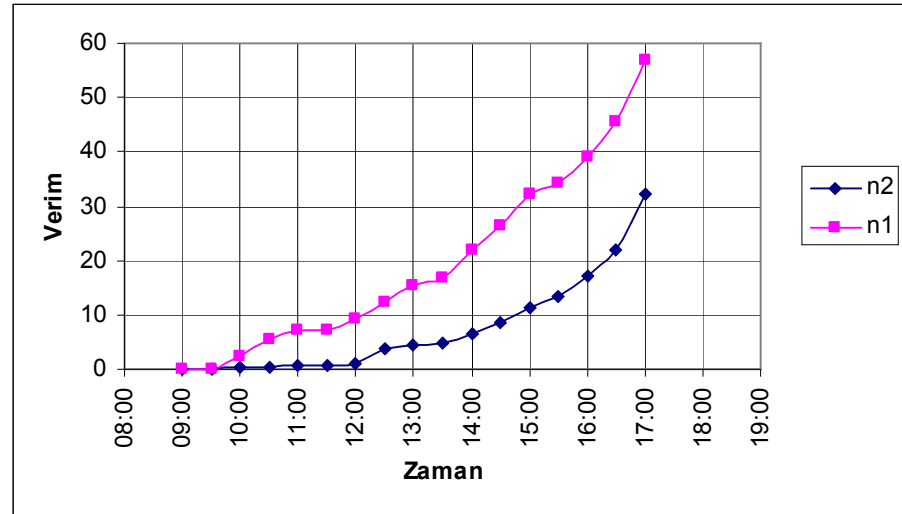
Şekil 7.13. Hareketli sistemde top sayılarına göre verim değişimi



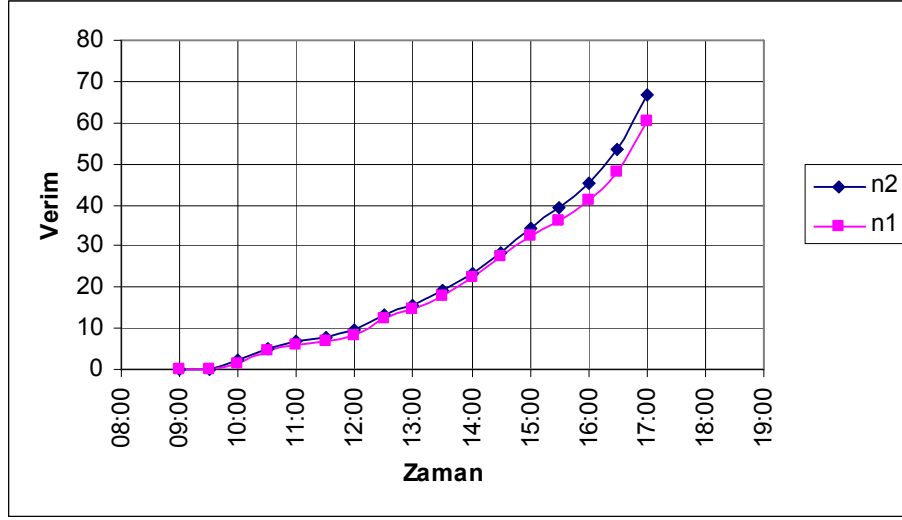
Şekil 7.14.a Hareketsiz sistem için verim (Top Sayısı=200)



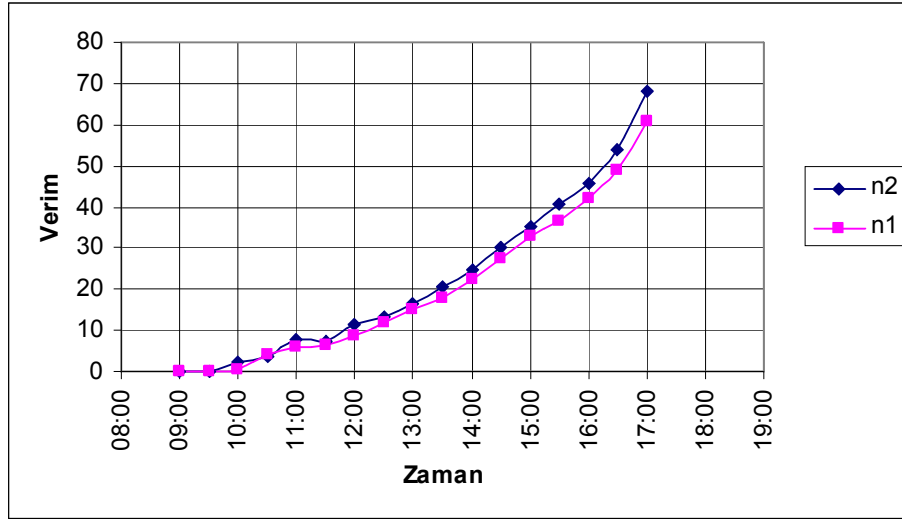
Şekil 7.14.b Hareketsiz sistem için verim (Top Sayısı=400)



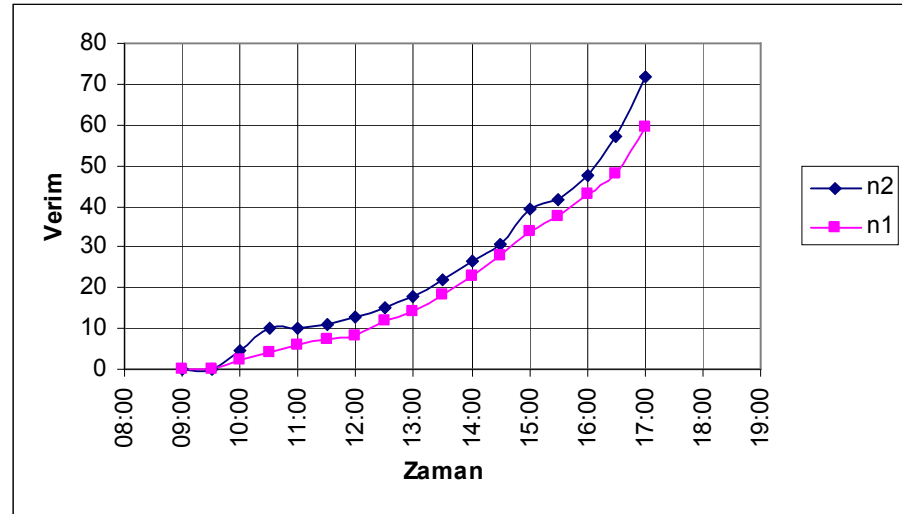
Şekil 7.14.c Hareketsiz sistem için verim (Top Sayısı=600)



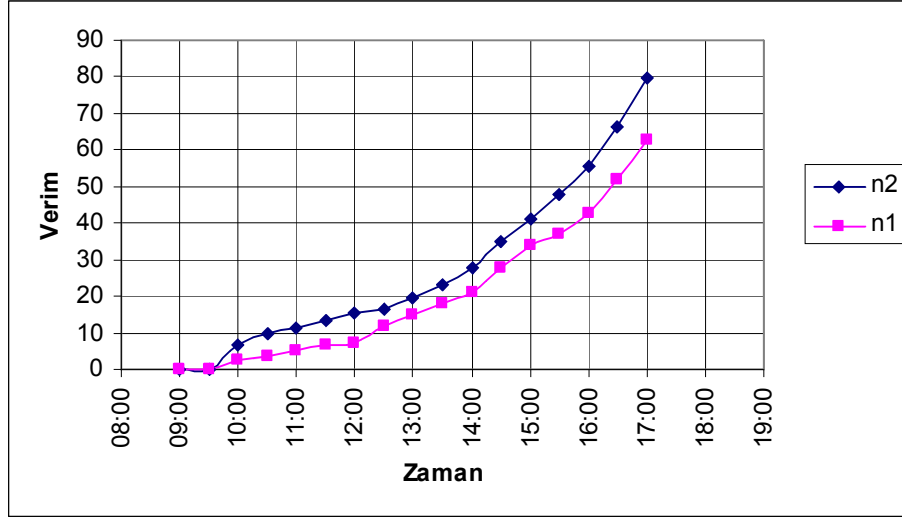
Şekil 7.15.a Hareketli sistem için verim (Top Sayısı=100)



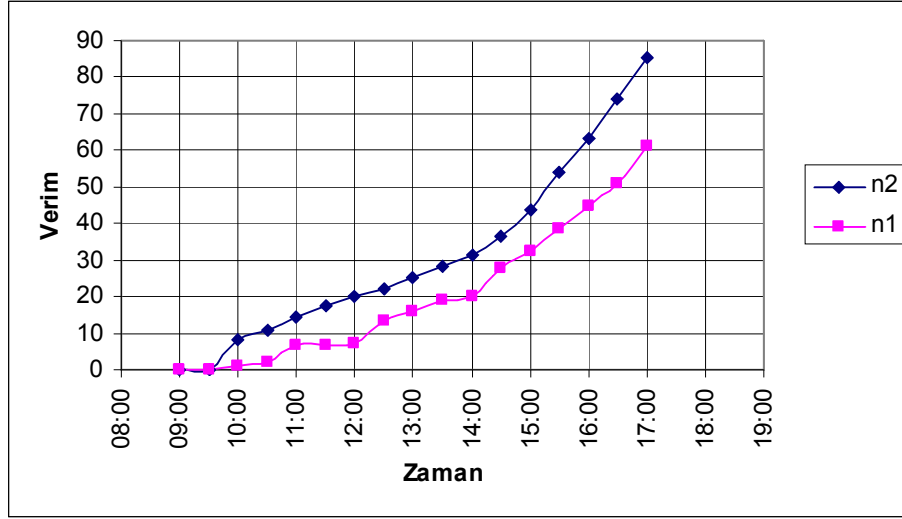
Şekil 7.15.b Hareketli sistem için verim (Top Sayısı=200)



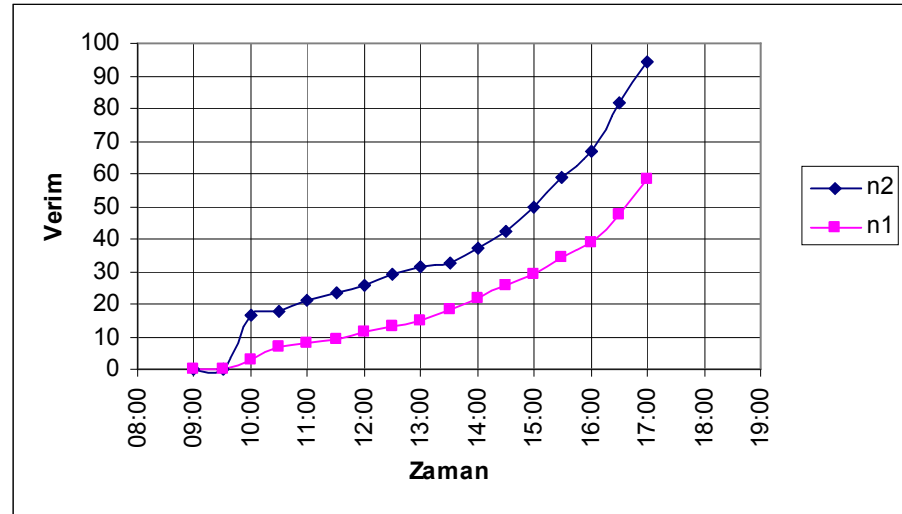
Şekil 7.15.c Hareketli sistem için verim (Top Sayısı=300)



Şekil 7.15.d Hareketli sistem için verim (Top Sayısı=400)



Şekil 7.15.e Hareketli sistem için verim (Top Sayısı=500)



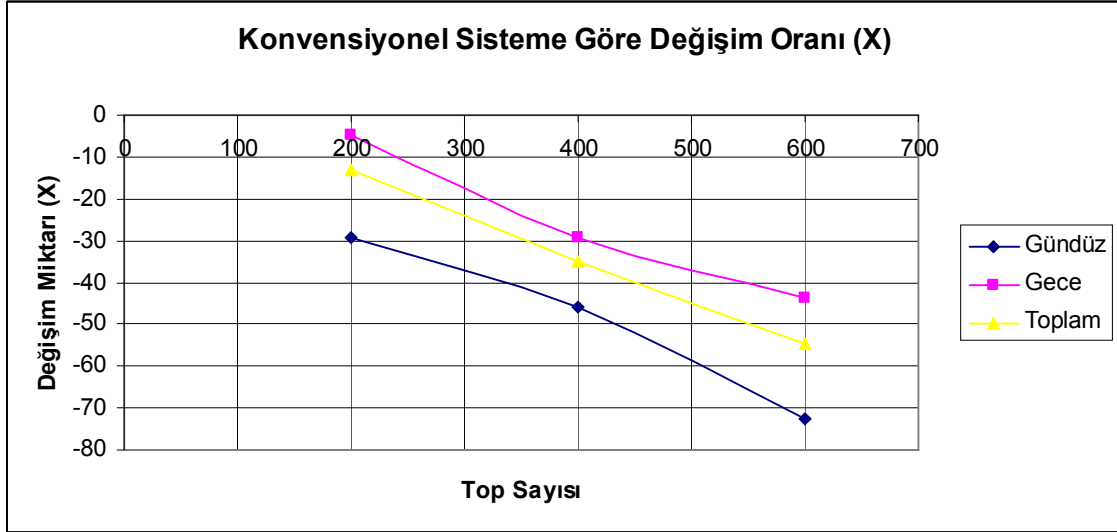
Şekil 7.15.f Hareketli sistem için verim (Top Sayısı=600)

7.4 Konvensiyonel Sisteme Göre Değişim Miktarı (X)

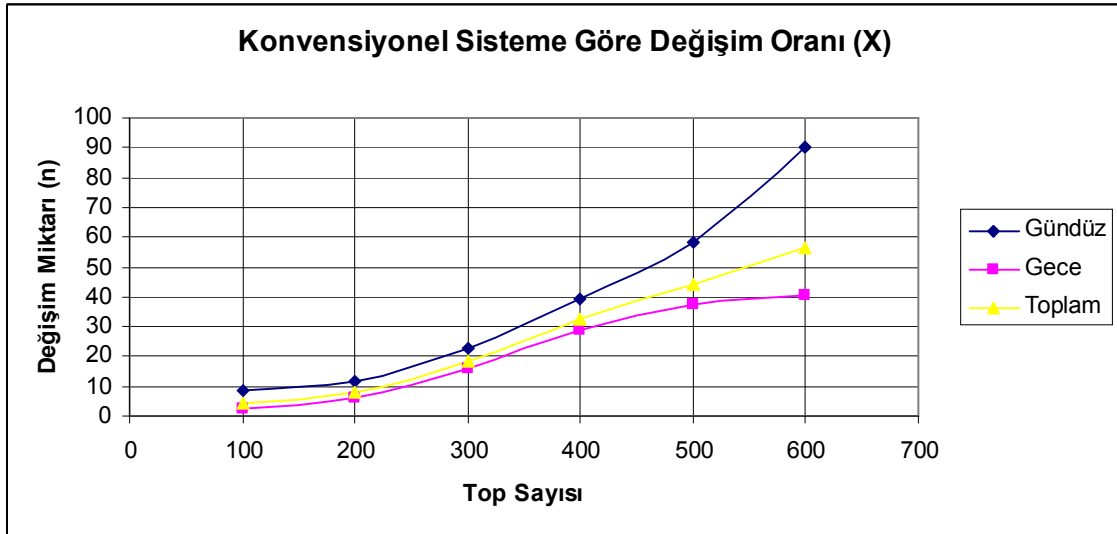
Geniştirilmiş yüzeyli damıtıcının, konvensiyonel sisteme göre değişimini “X” şeklinde boyutsuz bir sayı ile tanımlayabiliriz. Bu sayı ;

$$X = [(m_2 - m_1) / m_1] * 100 \quad (\%) \quad (7.1)$$

Formülü ile hesaplanır.



Şekil 7.16 Hareketsiz sistem için değişim oranları



Şekil 7.17 Hareketli sistem için değişim oranları

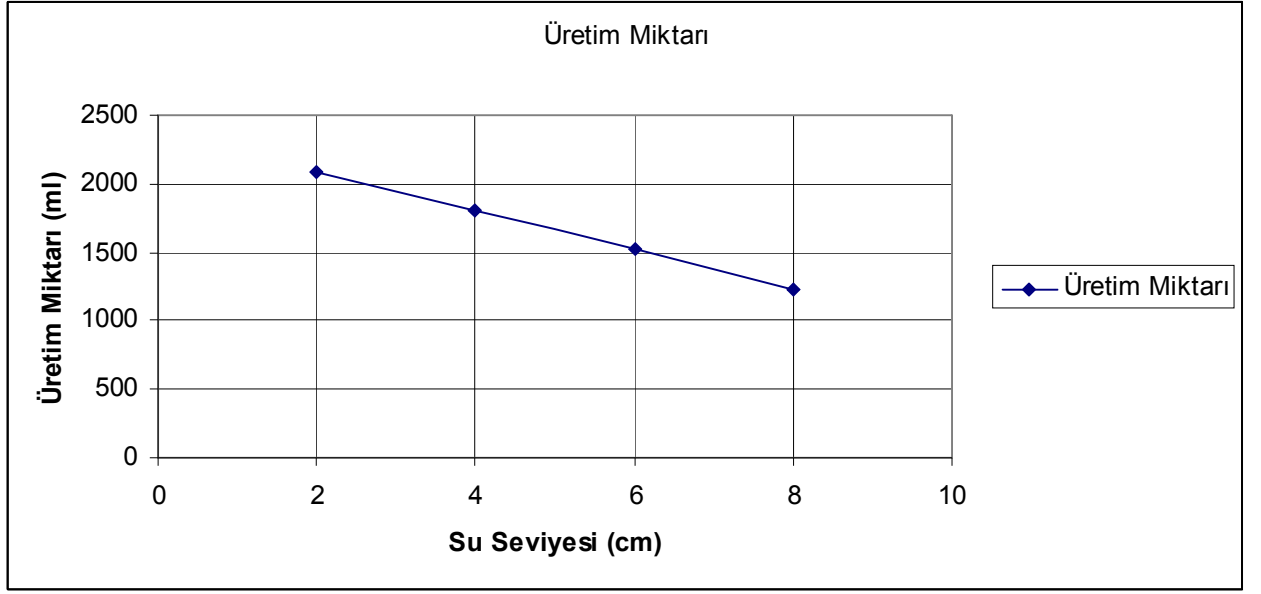
Şekil 7.16 ve 17’de Geniştirilmiş yüzeyli sistemin Konvensiyonel sisteme göre değişim oranları gösterilmiştir. Burada hareketsiz sistem konvensiyonel sisteme göre düşüklük göstermekte olup, en fazla düşüş gündüz olmaktadır. Düşüş miktarı top sayısı ile doğru orantılıdır. Geniştirilmiş yüzeyli damıtıcıda ise top sayısı ile birlikte bu oran artmıştır. Bu sistemde ise en fazla artış gündüz olmaktadır. Hareketsiz sisteme benzer olarak değişim miktarı top sayısı ile doğru orantılı olduğu görülmektedir.

7.5. Su Seviyesinin Etkisi

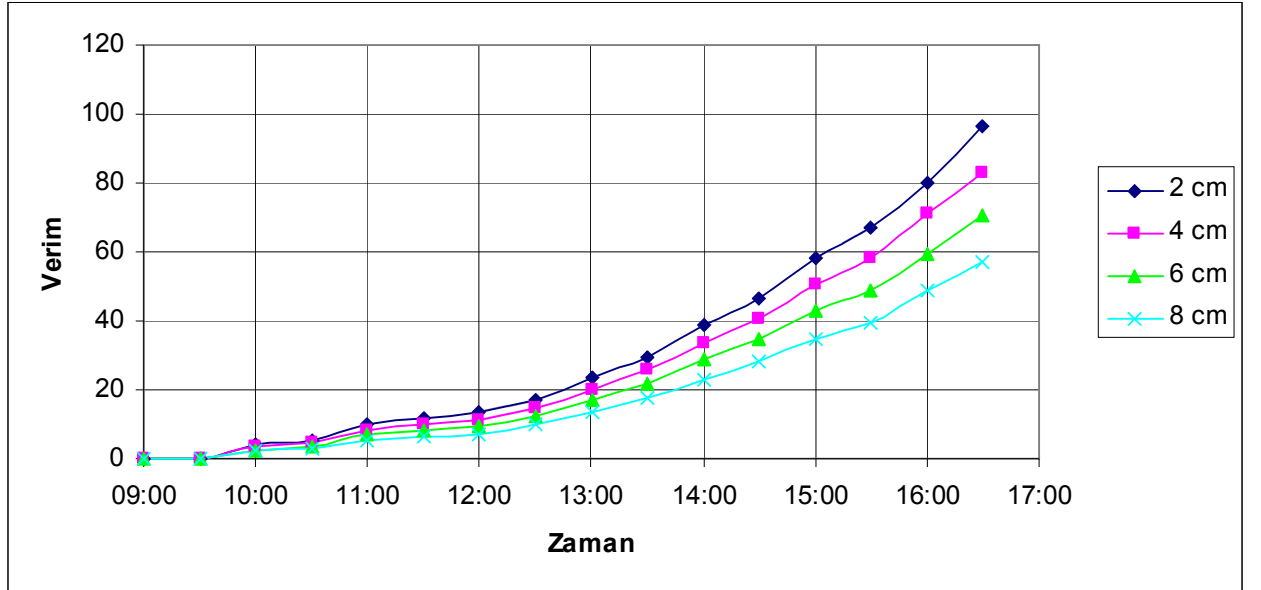
Güneş enerjili damıtma sistemlerinde damıtıcıda buluna tuzlu su miktarının üretim üzerinde olan etkisini tespit etmek için yapılan deney sonucunda su seviyesinin düşmesi ile birlikte damıtılmış su üretiminde ve verim üzerinde artırıcı bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Su seviyesi 2, 4, 6 ve 8 cm için ölçümler yapılmıştır.

Tablo 7.1 Su seviyesinin değişiminin üretim üzerindeki etkisi

Zaman	Işınım	m2	m4	verim2	verim4
09:00	515	0	0	0,00	0,00
09:30	623	0	0	0,00	0,00
10:00	743	18	14	4,26	3,31
10:30	814	25	21	5,39	4,53
11:00	931	54	45	10,19	8,49
11:30	952	63	54	11,62	9,96
12:00	994	76	63	13,43	11,13
12:30	989	97	84	17,23	14,92
13:00	975	129	112	23,24	20,18
13:30	924	156	135	29,65	25,66
14:00	892	198	171	38,99	33,67
14:30	820	216	189	46,27	40,48
15:00	732	243	211	58,31	50,63
15:30	611	234	202	67,27	58,07
16:00	474	216	192	80,04	71,14
16:30	352	193	166	96,30	82,83
17:00		175	153		
TOPLAM		2093	1812		
Zaman	Işınım	m6	m8	verim6	verim8
09:00	514	0	0	0,00	0,00
09:30	620	0	0	0,00	0,00
10:00	742	11	9	2,60	2,13
10:30	815	17	13	3,66	2,80
11:00	928	37	29	7,00	5,49
11:30	950	44	35	8,13	6,47
12:00	990	52	41	9,23	7,27
12:30	980	70	57	12,55	10,22
13:00	972	94	75	16,99	13,55
13:30	921	113	91	21,55	17,35
14:00	889	145	117	28,65	23,12
14:30	817	161	130	34,61	27,95
15:00	728	178	144	42,94	34,74
15:30	608	170	137	49,11	39,58
16:00	470	159	130	59,42	48,58
16:30	347	139	113	70,36	57,20
17:00		130	106		
TOPLAM		1520	1227		



Şekil 7.18. Su seviyesinin damıtılmış su miktarı üzerindeki etkisi



Şekil 7.19. Su seviyesinin verim üzerindeki etkisi

7.6 Teorik analiz

Yapılan deneysel çalışmada teorik analiz bölümünde yapılan formülasyona göre teorik analiz yapılmıştır. Analiz yapılırken deneysel çalışmada ölçülen sıcaklıklar kullanılmıştır. Analiz sonucu elde edilen veriler Tablo 7.2’de gösterilmiştir. Teorik analiz ile deneysel çalışma sonucu elde edilen verilerin ölçüm yapılan zaman dilimine göre değişimleri Ek-G ‘ de sunulmuştur.

Tablo 7.2 Teorik analiz

Özellik	Top Sayısı	mth1	mex1	mth2	mex2
Hareketsiz	200	1512,8	1386	1139,5	981
	400	1395,3	1381	836,8	747
	600	1371,4	1363	489,9	461
Hareketli	100	1462,8	1368	1862,5	1484
	200	1484	1364	1950,5	1523
	300	1470,4	1380	1986,4	1691
	400	1489,7	1366	2064,4	1892
	500	1428,1	1365	2656,3	2162
	600	1543,5	1369	2763,7	2607

7.7. Literatür ile karşılaştırma

Dizayn edilen genişletilmiş yüzeyli güneş enerjili damıtıcının performansını karşılaştırmak için literatürde verilen damıtıcılardan beş tanesi seçilmiştir. El-Sebaî [21] ve arkadaşları yaptıkları çalışmada askılı emici yüzey kullanarak bir damıtıcı geliştirmişler ve konvensiyonel sistemden yaklaşık % 22,8 daha fazla damıtılmış su elde etmişlerdir. Aggawall [1] çift yoğunlaşma hazneli bir damıtıcı geliştirmiş ve bu tip bir damıtıcıda konvensiyonel sisteme göre % 46 daha fazla üretkenlik olduğunu tespit etmişlerdir. El-Bahi ve İnan [38] ayrı yoğunlaştırıcı bir damıtıcı geliştirmişler ve konvensiyonel sisteme göre % 70 daha fazla üretim elde etmişlerdir. Fath [7] çift etkili güneş enerjili damıtıcı ile konvensiyonel sisteme göre % 50 üretkenliği artırmıştır. Rahim [33] yaptığı çalışmada geliştirdiği damıtıcı ile yaklaşık % 62 daha fazla bir üretkenlik elde etmiştir. Bu çalışmada 600 top kullanarak hareketli sistem için konvensiyonel sistemden % 56,23 daha fazla üretkenlik elde edilmiştir.

7.8 Regresyon Analizi

DeneySEL çalışmalar sonucu elde edilen verilere göre çeşitli ampirik denklemler önerilmektedir. Bu denklemlerin elde edilmesi için kullanılan istatistiki yöntemlerden biriside regresyon analizidir. Bu çalışmada regresyon analizi için Statistica 7.0 programı kullanılmıştır.

Üretilen Su Miktarı için kullanılan parametreler:

I = Işınım Miktarı (W/m^2)

I_{max} = Gün İçindeki Maximum Işınım (W/m^2)

- V = Rüzgar Hızı (m/sn)
 V_{ort} = Ortalama Rüzgar Hızı (m/sn)
 n = Top Sayısı
 t = Ölçüm yapılan Zaman Dilimi (sn)
 t_{stop} = Sirkülasyon pompasının bekleme süresi (sn)
 m_T = Toplam Tuzlu Suyun Kütlesi (gr)
 m = Damıtılmış su miktarı (gr)
 R = Korelasyon katsayısı

$$m = n^{0,29675} * \left(\frac{V_{ort}}{V}\right)^{-0,0061} * \left[0,29103 * \left(\frac{t}{t_{stop}}\right)^{0,86317} + (-0,714815) * \left(\frac{I_{max}}{I}\right)^{2,85315} \right] \quad (7.2)$$

$$R^2 = 0.9435 \quad R=0.9713$$

Sıcaklıklar için kullanılan parametreler:

- I = Işınım Miktarı (W/m²)
 I_{max} = Gün İçindeki Maximum Işınım (W/m²)
 V = Rüzgar Hızı (m/sn)
 V_{ort} = Ortalama Rüzgar Hızı (m/sn)
 n = Top Sayısı
 t = Ölçüm yapılan Zaman Dilimi (sn)
 $t_{bekleme}$ = Sirkülasyon pompasının bekleme süresi (sn)
 T_a = Çevre Sıcaklığı (C⁰)
 T_w = Su sıcaklığı (C⁰)
 T_g = Cam sıcaklığı (C⁰)

$$T_g = T_a^{0,0202} * n^{-0,04216} * \left(\frac{V_{ort}}{V}\right)^{-0,0039} * \left[0,00707 * \left(\frac{t}{t_{stop}}\right)^{1,44575} + 47,5951 * \left(\frac{I_{max}}{I}\right)^{-0,26759} \right] \quad (7.3)$$

$$R^2 = 0.9154 \quad R=0.9567$$

$$T_w = T_a^{-0,04951} * n^{-0,03217} * \left(\frac{V_{ort}}{V}\right)^{-0,00260} * \left[0,0261 * \left(\frac{t}{t_{stop}}\right)^{1,3021} + 61,0846 * \left(\frac{I_{max}}{I}\right)^{-0,3297} \right] \quad (7.4)$$

$$R^2 = 0.9644 \quad R=0.9820$$

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada tek havuzlu ve tek eğimli bir güneş enerjili damıtıcıdan elde edilen damıtılmış su miktarını artırmak için genişletilmiş yüzeyli bir damıtıcı geliştirilmiştir. Deneyler Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında Elazığ iklim koşullarında yapılmıştır. 09:00 ve 17:00 saatleri arasında 30 dakikalık aralıklarla ölçüm yapılmış ve grafiklere aktarılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar kullanılarak genişletilmiş yüzeyli damıtıcı için yoğunlaştırucu cam yüzey alt sıcaklığı, su sıcaklığı ve üretim miktarları için regresyon analizi yapılmış olup, ampirik denklemler elde edilmiştir.

Sistemde yüzeyi genişletmek için 40 mm çapında toplar kullanılmıştır. Bu topların hareketli ve hareketsiz durumları incelenmiş olup, aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- i. Hareketsiz sistemde 200-400-600 adet top kullanılarak deneyler yapılmıştır. Buhar sıcaklığının ve yoğunlaştırucu cam altı sıcaklıklarının diğer sıcaklıklardan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Üretkenliğin ve verimin top sayısı artıkça düştüğü tespit edilmiştir. 200 top kullanıldığı durumda maksimum verim % 52, 600 top kullanıldığında ise maksimum verimin %32'ye düştüğü tespit edilmiştir.
- ii. Hareketli sistemde 100-200-300-400-500-600 adet top kullanılarak deneyler yapılmıştır. Top sayısının artmasıyla üretkenlik ve verimin arttığı tespit edilmiştir. Topların hareket etmesiyle su sıcaklığının artması sağlanmıştır. Ayrıca hareketli olan topların kütle transferi üzerinde olumlu bir etki yaparak buharlaşmanın da artmasını sağlamıştır. Yapılan deneyler sonucunda 100 top kullanılması durumunda maksimum verimin % 66, 600 top kullanılması durumunda ise maksimum verimin % 94 olduğu tespit edilmiştir. Bu sistemde elde edilen maksimum üretimin 600 top kullanıldığı durumda 6763 gr/m^2 olduğu tespit edilmiştir.
- iii. Su yüksekliğinin üretkenlik ve verim üzerinde etkisini incelemek için 8 cm – 6 cm ve 4 cm – 2 cm su yüksekliğinde iki deney yapılmıştır. Deneyler sonucunda su yüksekliğinin azalmasıyla damıtılmış su miktarının arttığı görülmüştür.
- iv. Damıtma işleminde üretkenliğin sabah saatlerinde minimum olduğu, 15:00-16:00 saatleri arasında maksimum olduğu tespit edilmiştir.

İleriki zamanlarda bu ve benzeri konuda yapılacak çalışmalarda yüzeyi genişletmek için kullanılan topun farklı malzemelerden ve farklı büyüklüklerden seçilerek deneylerin yapılması durumunda üretkenlik ve verim üzerinde olumlu etki yapacağı düşünülmektedir. Ayrıca sistemde kullanılan sirkülasyon pompası için enerji kaynağı olarak güneş pili kullanılması damıtıcının işletme maliyetini azaltacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Aggarwall, Shruti and Tiwari G.N. , 1999, Thermal modelling of a double condensing chamber solar stil: an experimental validation Energy Conversion & Management 40 97-114
- [2] Abu-Arabi, Mousa and Zurigat , Yousef, 2002 , Modeling and performance analysis of a solar desalination unit with double- glass cover cooling, Desalination 143 , 173-182
- [3] Toure, Siaka and Meukam, Pierre , 1997 , A numerical model and experimental investigation for a solar still in climatic conditions in Abidjan (CÔTE D'IVOIRE) Renewable Energy ,. Vol.11.no.3.pp.319-330
- [4] Aggarwall, Shruti and Tiwari G.N, 1998 , Convective mass transfer in a double-condensing chamber and a conventional solar stil, Desalination 115 , 181-188
- [5] Al-Hinai, Hilal & Al-Nassri,M.S & Jubran, B.A., 2002 , Parametric investigation of a double-effect solar stil in comparison with a single-effect solar still, Desalination 150 , 75-83
- [6] Meukam, Pierre & Njomo, Donatien & Gbane, Aboudramane & Toure , Saika, 2004 , Experimental optimization of a solar still: application to alcohol distillation, Chemical Engineering and Processing 43 , 1569-1577
- [7] E.S. Fath, Hassan, 1997 , High performance of a simple design , two effects, solar distillation unit ,Energy Conversion & Management ,. Vol.38,no.18, pp.1895-1905.
- [8] Tiwari,G.N.& Shukla, S.K. & Singh,L.P., 2003, Computer modeling of passive / active solar stills by using inner glass temperature, Desalination 154 , 171-185
- [9] Tripathi R., Tiwari G.N. , 2004, Performance Evaluation of a solar stil by using the concept of solar fractination, Desalination 169, 69-80
- [10] Aboul-Enein,S. & El-Sebah,A.A. and El-Bialy, E., 1998 , Investigation of a single –basin solar stil with deep basins, Renewable Energy , ,Vol.14,Nos.1-4,pp.299-305
- [11] Hamdan,M.A. & Musa,A.M. &Jubran,B.A., 1999 , Performance of solar stil under Jordanian climate, Energy Conversion & Management 40 , 495-503
- [12] El- Sebah, A.A., 2005, Thermal performance of a triple-basin solar still, Desalination 174 , 23-37
- [13] El-Bahi,A.& Inan,D., 1999, Analysis of a parallel double glass solar still with separate condenser, Renewable Energy 17 , 509-521

- [14] Abu-Hijleh A/K Bassam and A.Mousa, Hasan, 1997, Water film cooling over the glass cover of a solar still including evaporation effects, Renewable Energy ,, Vol.22,no.1,pp.43-48
- [15] Rubio-Cerda, Eduardo & A.Porta-Gándara, Miguel & L.Fernández-Zayas, José, 2002, Thermal performance of the condensing covers in a triangular solar still, Renewable Energy 27 , 301-308
- [16] El-Sebaii,A.A., 2000, Effect of wind speed on some designs of solar stills Energy Conversion & Management 41 , 523-538
- [17] El-Swify, M.E. & Metias, M.Z., 2002, Performance of double exposure solar still, Renewable Energy 26 , 531-547
- [18] Namprakai, P. And Hirunlabh, J., 1997 , Ethyl alcohol distillation in a basin solar still, Renewable Energy ,,Vol.11,no.2,pp.169-175
- [19] El-Sebaii A.A., Aboul-Enien S., Ramadan M.R.I., El-Bialy E., 2000, Year-round performance of a modified single-basin solar stil with mica plate as a suspended absorber, Energy 25 , 35-49
- [20] Al-Hinai, Hilal & Al-Nassri, M.S & Jubran, B.A.,, 2002, Effect of climatic,design and operational parameters on the yield of a simple solar still, Energy Conversion & Management 43 , 1639-1650
- [21] El-Sebaii A.A., Aboul-Enien S., El-Bialy E., 2000, Single-basin solar still with baffle suspended absorber, Energy Conversion &Management 41 , 661-675
- [22] Nafey,A.Safwat & Abdelkader, M.& Abdelmotalip,A.& Mabrouk, A.A., 2002, Enhancement of solar still productivity using floating perforated black plate, Energy Conversion & Management 43 , 937-946
- [23] Janarthanan,B.& Chandrasekaran,J.& Kumar,S., 2006, Performance of floating cum tilted-wick type solar stil with the effect of water flowing over the glass cover, Desalination 190 , 51-62
- [24] Patel, Suresh G.& Bhatnagar, Shilpi & Vardia, Jitendra& Ameta, Suresh C., 2006, Use of photocatalysts in solar desalination,Desalination 189 , 287-291
- [25] Fath, H.E.S.,& El-Samanoudy, M. & Fahmy, K.& Hassabou, A., 2003, Thermal –economic analysis and comparison between pyramid-shaped and single-slope solar stil configurations Desalination 159 , 69-79
- [26] Tanaka, H.& Nosoko,T.& Nagata, T. , A highly productive basin-type-multiple-effect coupled solar still Desalination 130 (2000) 279-293

- [27] Zurigat , H.Yousef, Abu-Arabi, K. Mousa , 2004, Modelling and performance analysis of a regenerative solar desalination unit Applied Thermal Engineering 24 , 1061-1072
- [28] El-Sebaili A.A., Aboul-Enien S., El-Bialy E., 2000, Single-basin solar still with baffle suspended absorber, Energy Conversion & Management 41 , 661-675
- [29] Shukla, S.K. & Sorayan, V.P.S., 2005, Thermal modeling of solar stills: an experimental validation Renewable Energy 30 , 683-699
- [30] Rahim, N.H.A., 2003, New method to store heat energy in horizontal solar desalination still Renewable Energy 28 , 419-433
- [31] Haddad, O.M. & Al-Minr, M.A. & Maqableh, 2000 , Enhanced solar still performance using a radiative cooling system Renewable Energy 21 , 459-469
- [32] Suneja, Sangeeta & Tiwari G.N., 1999 , Effect of water flow on internal heat transfer solar distillation, Energy Conversion & Management 40 , 509-518
- [33] Rahim, Nabil Hussain A., 1999 , Utilisation of new technique to improve the efficiency of horizontal solar desalination still Desalination 138 820019 121-128
- [34] Tripathi, Rajesh & Tiwari, G.N., 2005, Effect of water depth on internal heat and mass transfer for active solar distillation, Desalination 173 , 187-200
- [35] Tiwari, G.N. and Suneja, Sangeeta, 1998 , Performance evaluation of an inverted absorber solar still, Energy Conversion & Management, Vol.39, No. 4, pp.173-180
- [36] Suneja, Sangeeta & Tiwari, G.N., 1999, Effect of water depth on the performance of an inverted absorber double basin solar still, Energy Conversion & Management 40 , 1885-1897
- [37] Suneja, Sangeeta & Tiwari, G.N., 1999, Parametric study of an inverted absorber triple effect solar still, Energy Conversion & Management 40 , 1871-1884
- [38] El-Bahi, A. & Inan, D., 1999, A solar still with minimum inclination , coupled to an outside condenser Desalination 123 , 79-83
- [39] Djebedjian, Berge & Abou Rayan, Magdy, 2000, Theoretical investigation on the performance prediction of solar still, Desalination 128 , 139-145
- [40] Kumar Sanjeev & Tiwari, G.N. & Singh, H.N., 2000, Annual performance of an active solar distillation system, Desalination 127 , 79-88
- [41] El-Sebah, A.A., 1998, Parametric study of a vertical solar still, Energy Conversion & Management , Vol.39, No.13, pp.1303-1315

- [42] Suneja, Sangeeta & Tiwari ,G.N., 1998, Optimization of number of effects for higher yield from an inverted absorber solar stil using the Runge-Kutta method, Desalination 120 , 197-209
- [43] Kavak Akpınar E., 2006, Deneysel çalışmalardaki hata analizine bir örnek: kurutma deneylerindeki hata analizi, Mühendis ve Makine, 46, 540, 41-50
- [44] Bezak O. , 1992, Su damıtma işleminde güneş enerjisinden yararlanma ve güneş enerjili havuz tipi damıtıcıların incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-35
- [45] Can. M, Etemoğlu A., Avcı A, 2002, Deniz suyundan tatlı su elde edilmesinin teknik ve ekonomik analizi, Uludağ Üniversitesi Mimarlık-Mühendislik Fak. Dergisi, 7,1,147-160
- [46] www.911.org.tr/Dosyalarim/erozyon/_Suyun_OnemiEkolojik_Sorunlar.pdf (Aralık-2007)
- [47] Çeliker S.A, Anaç Hakan, 2004, 21. yy'da Su Kıtlığı, T.E.A.E-Bakış, 5,6,1-4
- [48] Çeliker S.A, Anaç Hakan,2004,Türkiyenin Su Potansiyeli,T.E.A.E-Bakış,5,6,1-4
- [49] Yılmaz S.,2003, Su ticareti yapılabilen değerli bir metadır,İstanbul İKK Ölçü Dergisi <http://www.antimai.org/mkl/sy03ikkolcu.htm> (Aralık 2007)
- [50] <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycle/turkish.html> (Aralık 2007)
- [51] Desalination for water supply FR/R0013, 2006,Foundation for water Research, U.K www.fwr.org (Mart 2006)
- [52] Phadatare M.K. , Verma S.K, 2006, Development in solar still: A review, Renewable & Sustainable Energy Reviews, 1-24
- [53] Tiwari G.N, Singh H.N Tripathi R, 2003, Present status of solar distillation, Solar Energy,367-373

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Elazığ'da doğdu. İlk,orta ve lise öğrenimi Elazığ'da tamamladı. 2000 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünde lisans öğrenimine başladı. 2004 yılında bu okuldan mezun olduktan sonra aynı yıl Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisansa başladı.

EK-A

HATA ANALİZİ [43]

Üretilen tatlı su miktarının ölçümünden kaynaklanan hatalar

- (a1) Mezurdan kaynaklanan hata = $\pm 2,5\text{ml}$
- (b1) Okumadan kaynaklanan hata = $\pm 2\text{ml}$
- (c1) Mezura toplama kanalı arasındaki mesafeden kaynaklanan hata = $\pm 2,5\text{ml}$

Hız ölçümündeki hata

- (a2) Anemometrenin hassasiyetinden kaynaklanan hata = $\pm 0,1\text{m/s}$

Zaman ölçümünden kaynaklanan hata

- (a3) Zaman ölçerin titreşiminden kaynaklanan hata = $\pm 0,0003\text{ dk}$,
- (b3) Peryodik olarak sıcaklık değerinin alınmasında yapılan hata = $\pm 0,10\text{ dk}$.
- (c3) Peryodik olarak üretim miktarının ölçümünde yapılabilecek ortalama hata = $\pm 0,10\text{ dk}$.
- (d3) Peryodik olarak hava hızının ölçümünden yapılabilecek ortalama hata = $\pm 0,10\text{ dk}$.
- (e3) Peryodik olarak ışıyım ölçümünden yapılabilecek ortalama hata = $\pm 0,10\text{ dk}$.

Damıtıcıda bulunan tuzlu su miktarında meydana gelecek hata

- (a4) Su yüksekliğini tespitinde kullanılan cetvelinden kaynaklanabilecek hata = $\pm 0,001\text{m}^3$
- (b4) Yüzeylerden dolayı oluşabilecek ortalama hata = $\pm 0,0005\text{m}^3$
- (c4) Su ve deney düzeneğinin titreşiminden kaynaklanabilecek ortalama hata = $\pm 0,0001\text{m}^3$

Emici yüzeylerdeki yüzey alanına bağlı hatalar

- (a5) Emici yüzey pürüzlülüğünden meydana gelecek ortalama hata = $\pm 0,001\text{m}^2$
- (b5) Pinpon toplarının veya kola kutularının çarpmalarına bağlı olarak oluşacak ortalama hata = $\pm 0,0001\text{m}^2$

Sıcaklık ölçümünden yapılan hatalar

- (a6) Termokouple çiftlerinden kaynaklanan hata = $\pm 0,25-0,5^{\circ}\text{C}$
- (b6) Dijital termometreden kaynaklanan hata = $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$
- (c6) Bağlantı elemanları ve noktalardan kaynaklanan hata = $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$
- (d6) Tabandaki sıcaklık ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata = $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$
- (e6) Havuzdaki sıcaklık ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata = $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$
- (f6) Cam altındaki sıcaklık ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata = $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$
- (g6) Cam üstündeki sıcaklık ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata = $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$
- (h6) İç buhardaki sıcaklık ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata = $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$
- (y6) Sağ duvardaki sıcaklık ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata = $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$
- (k6) Sol duvardaki sıcaklık ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata = $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$
- (l6) Ön duvardaki sıcaklık ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata = $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$
- (m6) Arka duvardaki sıcaklık ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata = $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$
- (n6) Toplardaki sıcaklık ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata = $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$
- (o6) Çevre sıcaklık ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata = $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$

Üretilen Su Miktarının Ölçümünde Ortaya Çıkan Toplam Hataların Analitik İfadeleri

Üretilen su miktarının ölçülmesinde (m) meydana gelecek toplam hata (W_m) aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$W_m = [(a_1)^2 + (b_1)^2 + (c_1)^2]^{1/2}$$

$$W_m = [(2,5)^2 + (2)^2 + (2,5)^2]^{1/2}$$

$$W_m = 4,062 \text{ ml}$$

Rüzgâr Hızının Ölçümünde Ortaya Çıkan Toplam Hataların Analitik İfadeleri

Rüzgâr hızının ölçülmesinde (V) meydana gelecek toplam hata (W_V) aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$W_V = [(a_2)^2]^{1/2}$$

$$W_V = [(0,1)^2]^{1/2}$$

$$W_V = 0,1 \text{ m/s}$$

Zaman Ölçümünde Ortaya Çıkan Toplam Hataların Analitik İfadeleri

Deneylerde periyodik olarak okunan sıcaklık değerlerinin tespitinde (ts) zaman bakımından meydana gelebilecek toplam hata miktarı aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$W_{ts}=[(a_3)^2+(b_3)^2]^{1/2}$$

$$W_{ts}=[(0,0003)^2+(0,10)^2]^{1/2}$$

$$W_{ts}=0,1000004 \text{ dk}$$

Deneylerde periyodik olarak okunan su miktarlarının tespitinde (tm) zaman bakımından meydana gelebilecek toplam hata miktarı aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$W_{tm}=[(a_3)^2+(c_3)^2]^{1/2}$$

$$W_{tm}=[(0,0003)^2+(0,10)^2]^{1/2}$$

$$W_{tm}= 0,1000004 \text{ dk}$$

Deneylerde periyodik olarak okunan hava hızının tespitinde (tv) zaman bakımından meydana gelebilecek toplam hata miktarı aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$W_{tv}=[(a_3)^2+(d_3)^2]^{1/2}$$

$$W_{tv}=[(0,0003)^2+(0,10)^2]^{1/2}$$

$$W_{tv}= 0,1000004 \text{ dk}$$

Deneylerde periyodik olarak okunan güneş ışınımının tespitinde (tı) zaman bakımından meydana gelebilecek toplam hata miktarı aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$W_{ti}=[(a_3)^2+(e_3)^2]^{1/2}$$

$$W_{ti}=[(0,0003)^2+(0,10)^2]^{1/2}$$

$$W_{ti}= 0,1000004 \text{ dk}$$

Damıtıcının havuzunda bulunan tuzlu su miktarının tespitinde Ortaya Çıkan Toplam Hataların Analitik İfadeleri

Damıtıcının havuzunda bulunan tuzlu su miktarının ölçülmesinde (M) meydana gelecek toplam hata (WM) aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$WM=[(a_4)^2+(b_4)^2+(c_4)^2]^{1/2}$$

$$WM=[(0,001)^2+(0,0005)^2+(0,0001)^2]^{1/2}$$

$$WM=0,001122 \text{ m}^3$$

Emici Yüzeyinin alanının tespitinde Ortaya Çıkan Toplam Hataların Analitik İfadeleri

Emici Yüzeyinin alanının miktarının ölçülmesinde (A) meydana gelecek toplam hata (WA) aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$WA=[(a5)^2+(b5)^2]^{1/2}$$

$$WA=[(0,001)^2+(0,0001)^2]^{1/2}$$

$$WA=0,001005 \text{ m}^2$$

Sıcaklık ölçüsünün tespitinde Ortaya Çıkan Toplam Hataların Analitik İfadeleri

Taban sıcaklığının (Tt) ölçülmesinde yapılabilecek toplam hata (WTt) aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$WTt=[(a6)^2+(b6)^2+(c6)^2+(d6)^2]^{1/2}$$

$$WTt=[(0,25)^2+(0,1)^2+(0,1)^2+(0,25)^2]^{1/2}$$

$$WTt= 0,380 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Havuz sıcaklığının (TH) ölçülmesinde yapılabilecek toplam hata (WTH) aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$WTH=[(a6)^2+(b6)^2+(c6)^2+(e6)^2]^{1/2}$$

$$WTH=[(0,25)^2+(0,1)^2+(0,1)^2+(0,25)^2]^{1/2}$$

$$WTH= 0,380 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Cam kapağın alt kısmının sıcaklığının (Tca) ölçülmesinde yapılabilecek toplam hata (WTca) aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$WTca=[(a6)^2+(b6)^2+(c6)^2+(f6)^2]^{1/2}$$

$$WTca=[(0,25)^2+(0,1)^2+(0,1)^2+(0,25)^2]^{1/2}$$

$$WTca= 0,380 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Cam kapağın üst kısmının sıcaklığının (Tcu) ölçülmesinde yapılabilecek toplam hata (WTcu) aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$WTcu=[(a6)^2+(b6)^2+(c6)^2+(g6)^2]^{1/2}$$

$$WTcu=[(0,25)^2+(0,1)^2+(0,1)^2+(0,25)^2]^{1/2}$$

$$WTcu= 0,380 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Buhar sıcaklığının (Tb) ölçülmesinde yapılabilecek toplam hata (WTb) aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$WTb=[(a6)^2+(b6)^2+(c6)^2+(h6)^2]^{1/2}$$

$$WTb=[(0,25)^2+(0,1)^2+(0,1)^2+(0,25)^2]^{1/2}$$

$$WTb= 0,380 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Sağ duvarın sıcaklığının (Tsad) ölçülmesinde yapılabilir toplam hata (WTsad) aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$WT_{sad} = [(a_6)^2 + (b_6)^2 + (c_6)^2 + (j_6)^2]^{1/2}$$

$$WT_{sad} = [(0,25)^2 + (0,1)^2 + (0,1)^2 + (0,25)^2]^{1/2}$$

$$WT_{sad} =$$

Sol Duvarın sıcaklığının (Tsod) ölçülmesinde yapılabilir toplam hata (WTsod) aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$WT_{sod} = [(a_6)^2 + (b_6)^2 + (c_6)^2 + (k_6)^2]^{1/2}$$

$$WT_{sod} = [(0,25)^2 + (0,1)^2 + (0,1)^2 + (0,25)^2]^{1/2}$$

$$WT_{sod} = 0,380 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Ön Duvar sıcaklığının (Tod) ölçülmesinde yapılabilir toplam hata (WTod) aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$WT_{od} = [(a_6)^2 + (b_6)^2 + (c_6)^2 + (l_6)^2]^{1/2}$$

$$WT_{od} = [(0,25)^2 + (0,1)^2 + (0,1)^2 + (0,25)^2]^{1/2}$$

$$WT_{od} = 0,380 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Arka Duvar sıcaklığının (Tad) ölçülmesinde yapılabilir toplam hata (WTad) aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$WT_{ad} = [(a_6)^2 + (b_6)^2 + (c_6)^2 + (m_6)^2]^{1/2}$$

$$WT_{ad} = [(0,25)^2 + (0,1)^2 + (0,1)^2 + (0,25)^2]^{1/2}$$

$$WT_{ad} = 0,380 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Top sıcaklığının (Ttop) ölçülmesinde yapılabilir toplam hata (WTtop) aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$WT_{top} = [(a_6)^2 + (b_6)^2 + (c_6)^2 + (n_6)^2]^{1/2}$$

$$WT_{top} = [(0,25)^2 + (0,1)^2 + (0,1)^2 + (0,25)^2]^{1/2}$$

$$WT_{top} = 0,380 \text{ } ^\circ\text{C}$$

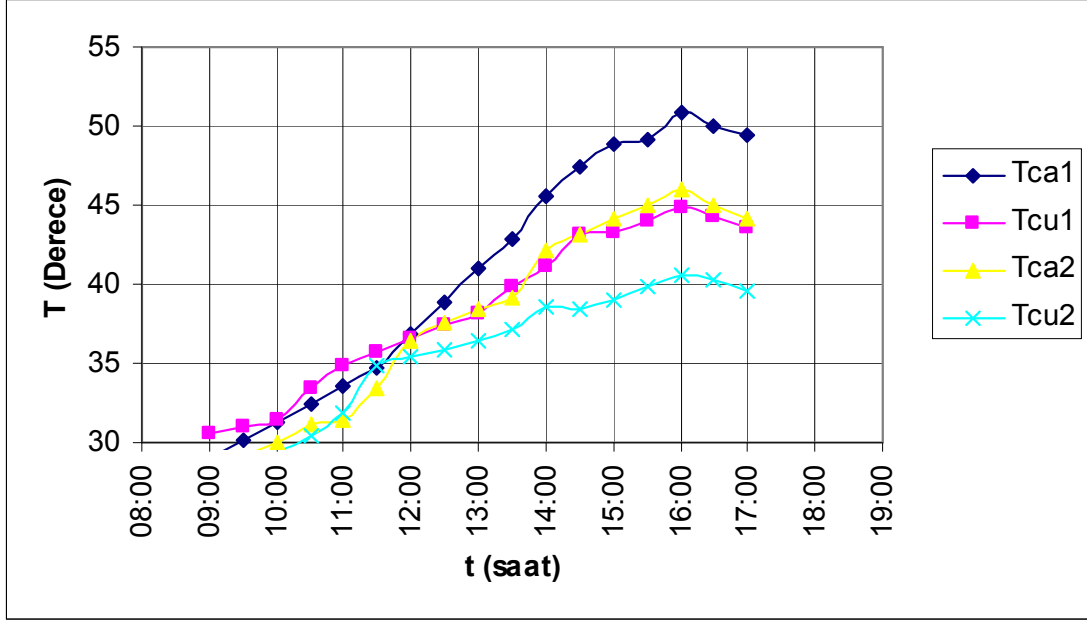
Çevre sıcaklığının (Tçe) ölçülmesinde yapılabilir toplam hata (WTçe) aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$WT_{çe} = [(a_6)^2 + (b_6)^2 + (c_6)^2 + (o_6)^2]^{1/2}$$

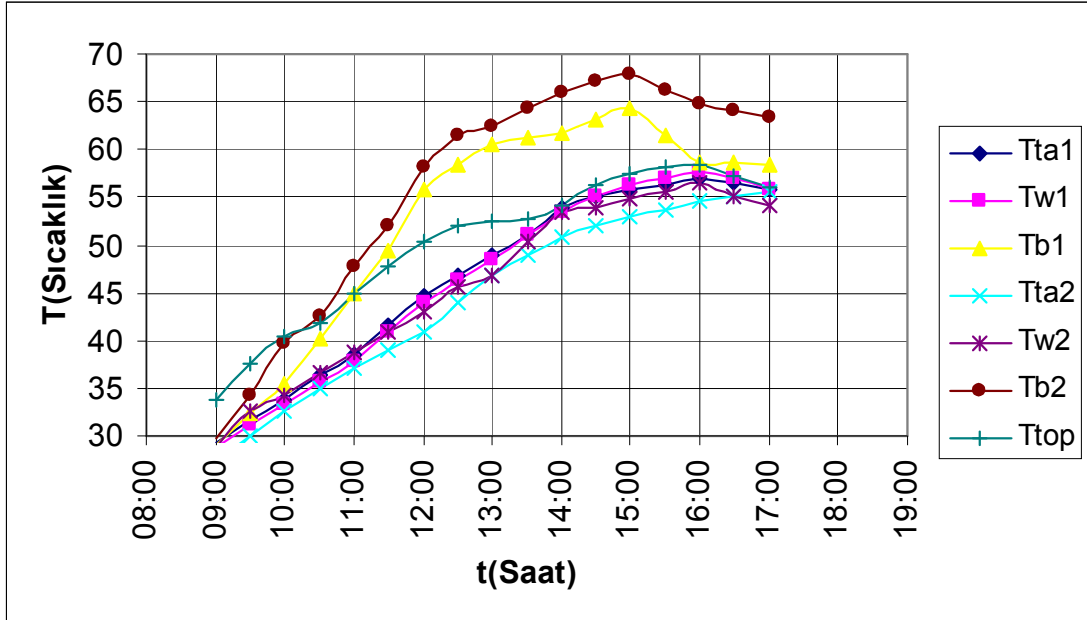
$$WT_{çe} = [(0,25)^2 + (0,1)^2 + (0,1)^2 + (0,25)^2]^{1/2}$$

$$WT_{çe} = 0,380 \text{ } ^\circ\text{C}$$

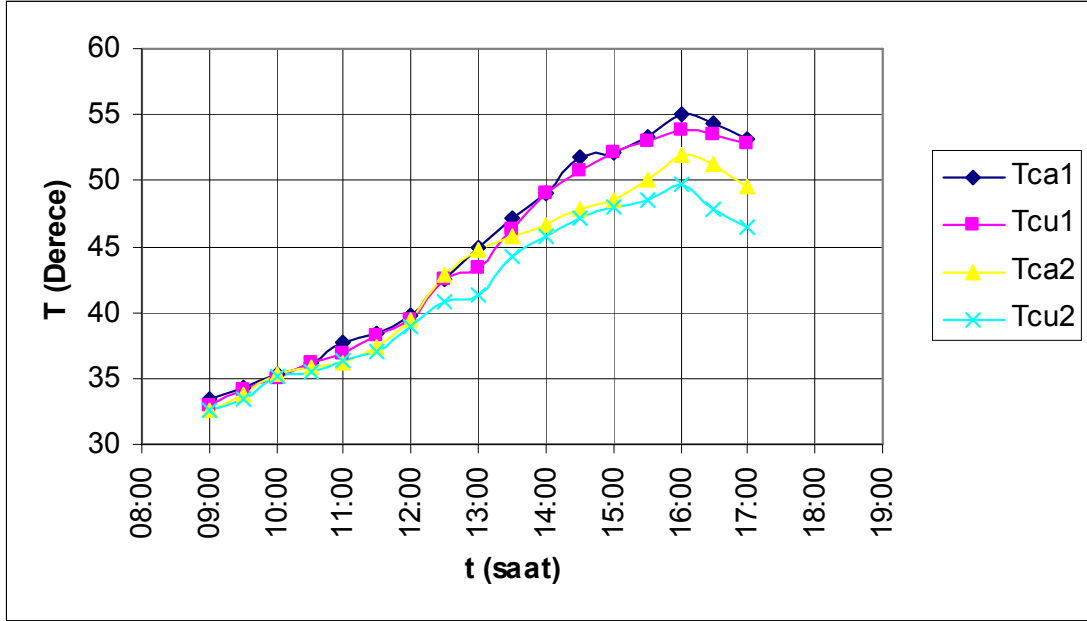
**EK- B LÜLE YÜKSEKLİĞİNİN VE SİRKÜLASYON POMPASININ DEĞİŞİMİ
SONUCU ELDE EDİLEN SICAKLIK GRAFİKLERİ**



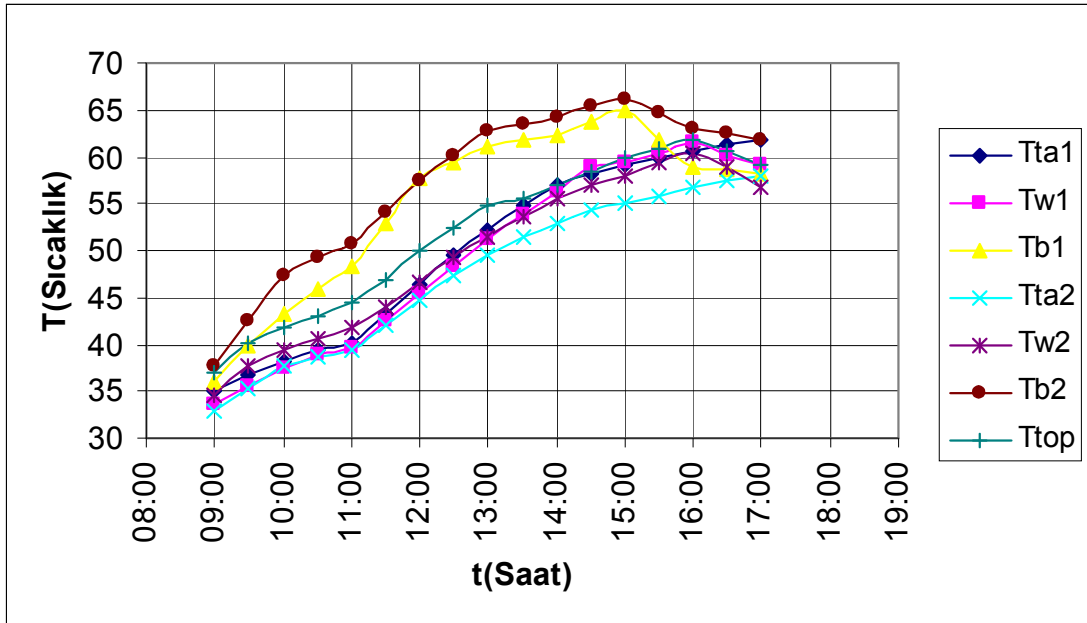
Şekil B.1.a Hareketli sistem için cam sıcaklıkları (Top Sayısı=400, $t_{stop}=120$ sn)



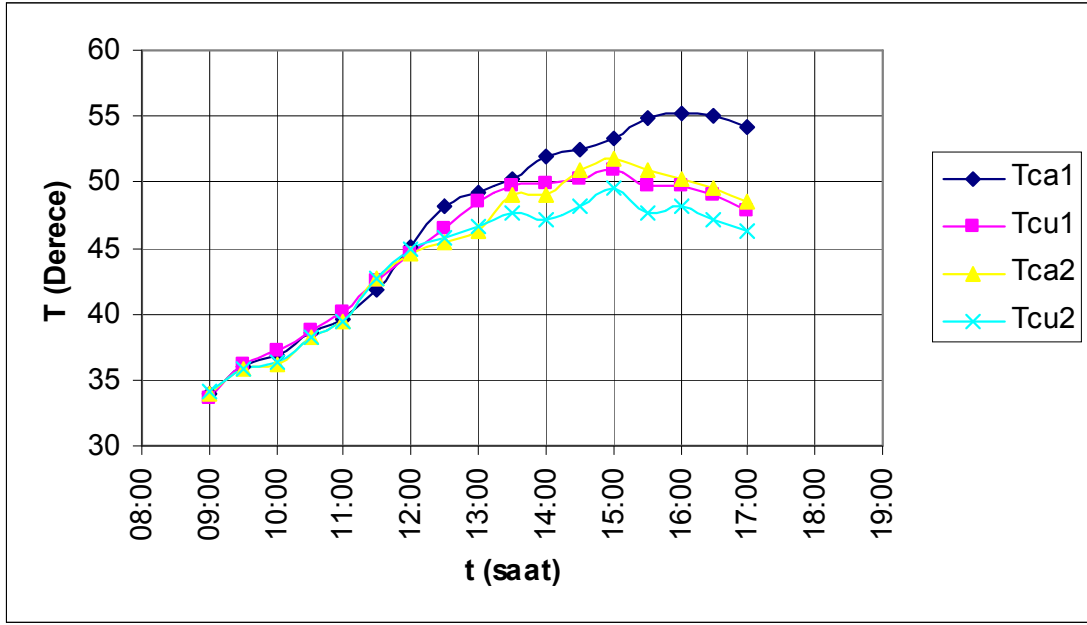
Şekil B.1.b Hareketli sistem için taban, top, buhar ve havuz sıcaklıkları (Top Sayısı=400, $t_{stop}=120$ sn)



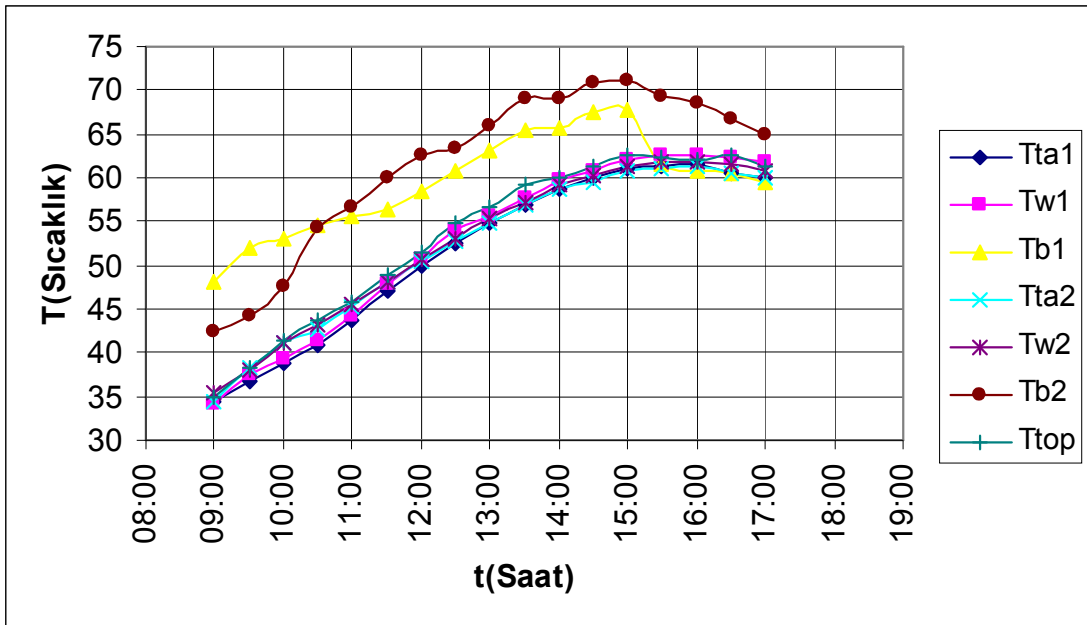
Şekil B.2.a Hareketli sistem için cam sıcaklıkları (Top Sayısı=400, $t_{\text{stop}}=60$ sn)



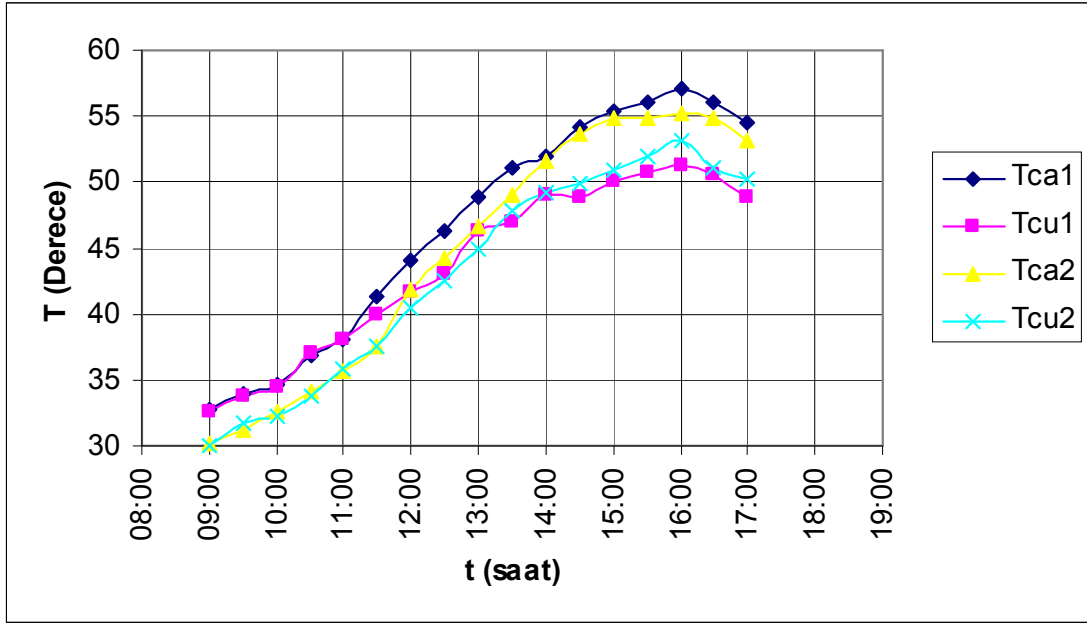
Şekil B.2.b Hareketli sistem için taban, top, buhar ve havuz sıcaklıkları (Top Sayısı=400, $t_{\text{stop}}=60$ sn)



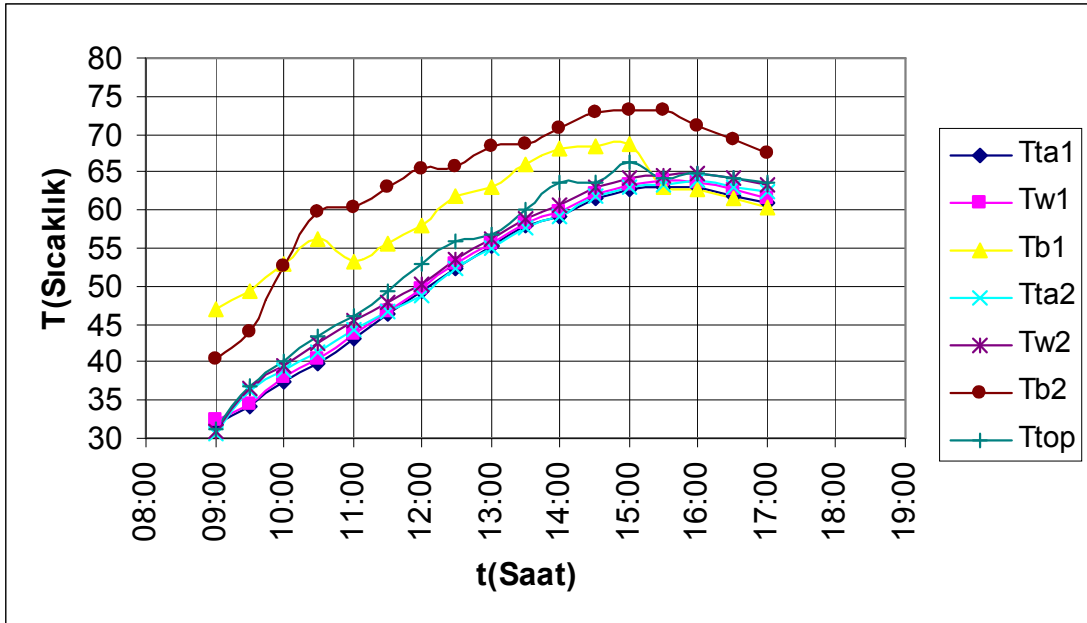
Şekil B.3.a Hareketli sistem için cam sıcaklıkları (Top Sayısı=200, h=10 mm)



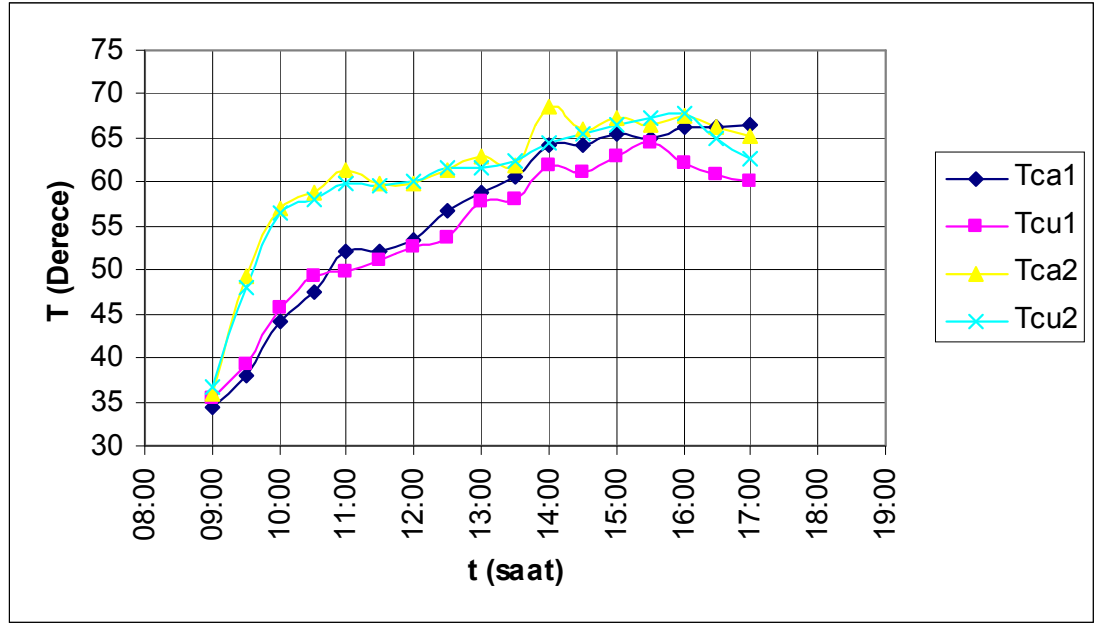
Şekil B.3.b Hareketli sistem için taban, top, buhar ve havuz sıcaklıkları (Top Sayısı=200, h=10 mm)



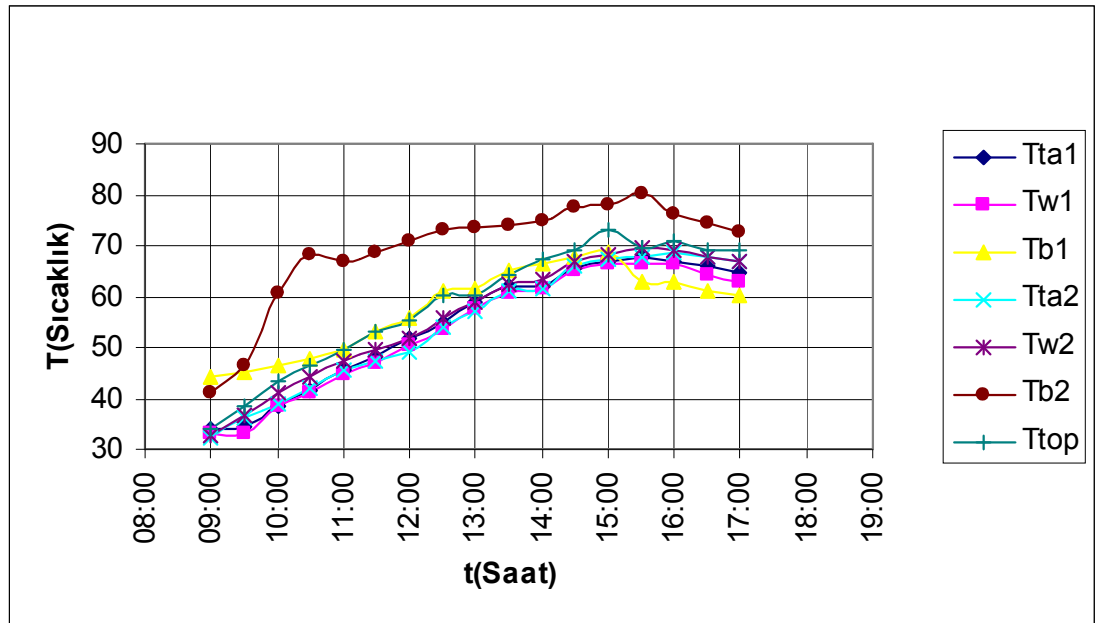
Şekil B.4.a Hareketli sistem için cam sıcaklıkları (Top Sayısı=400, h=10 mm)



Şekil B.4.b Hareketli sistem için taban, top, buhar ve havuz sıcaklıkları (Top Sayısı=400, h=10 mm)

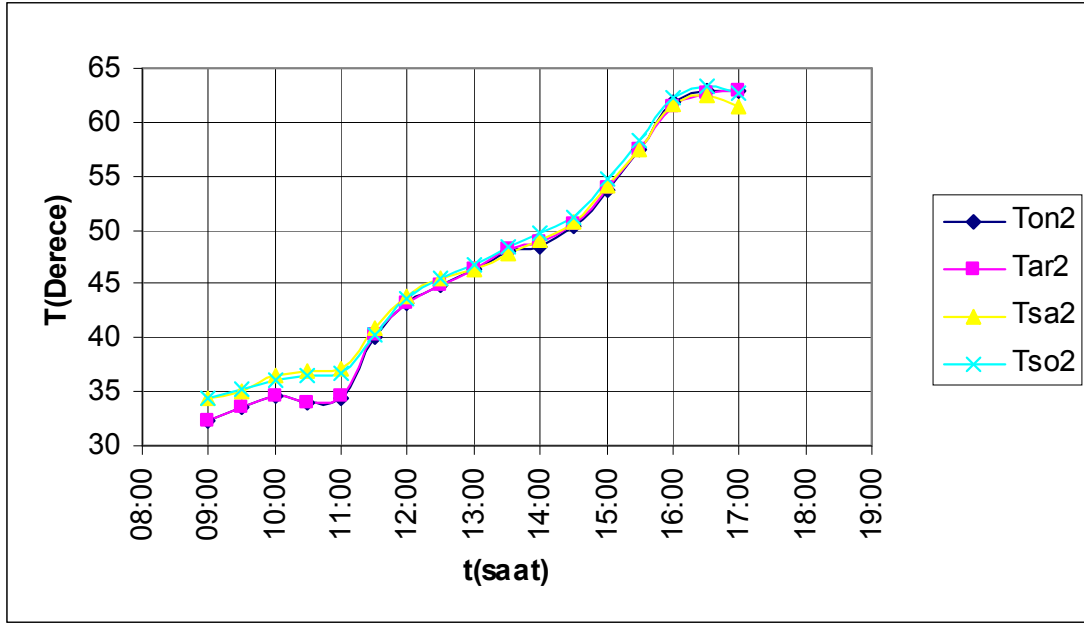


Şekil B.5.a Hareketli sistem için cam sıcaklıkları (Top Sayısı=600, h=10 mm)

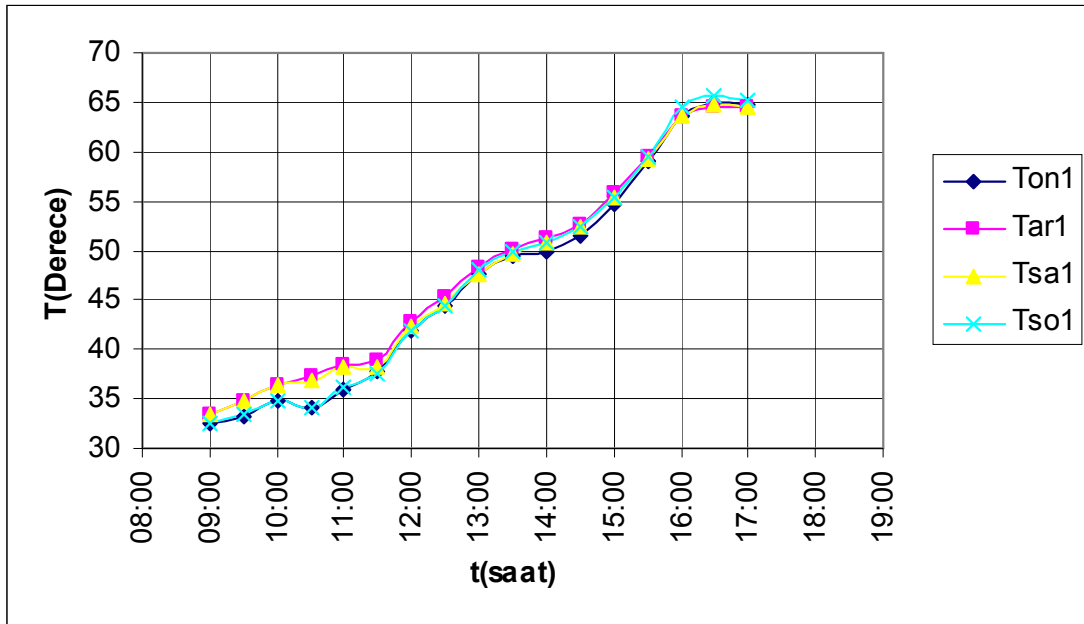


Şekil B.5.b Hareketli sistem için taban, top, buhar ve havuz sıcaklıkları (Top Sayısı=600, h=10 mm)

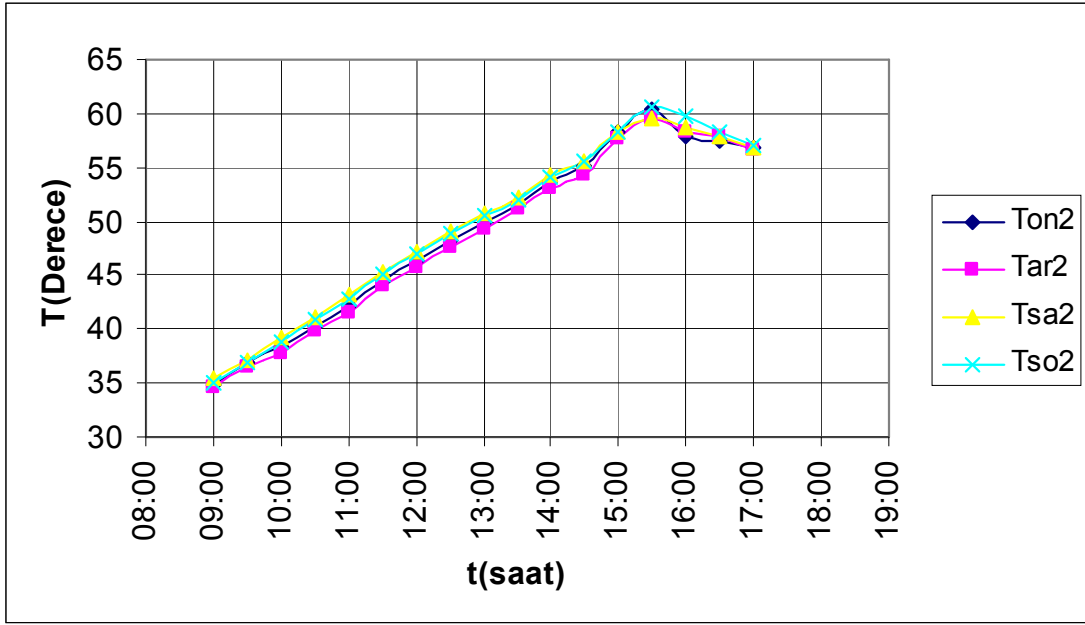
EK- C DUVAR SICAKLIKLARI



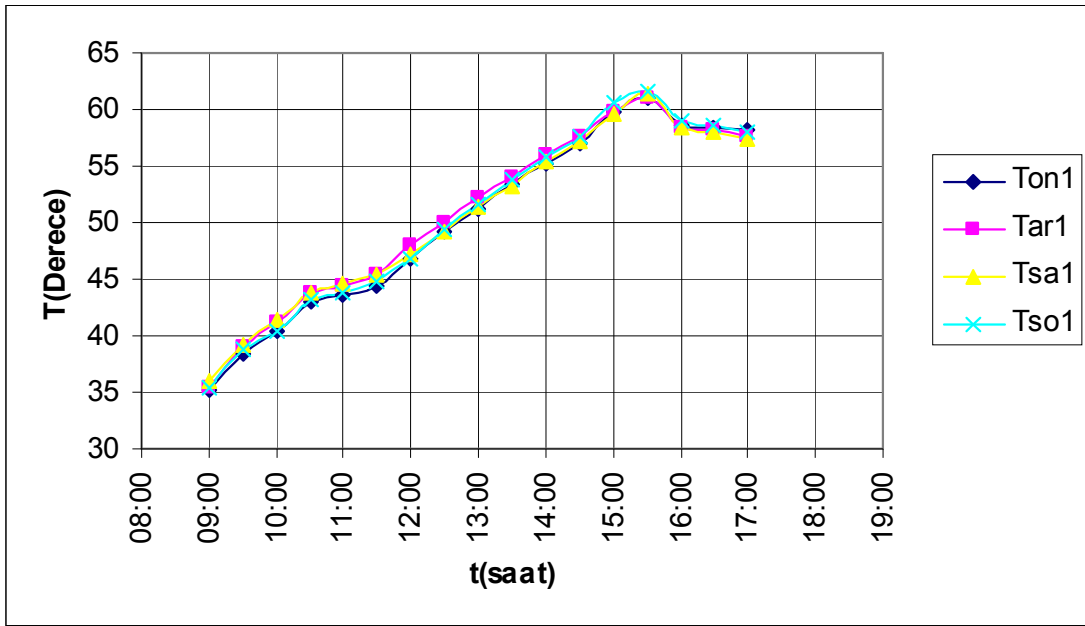
Şekil C.1.a Hareketsiz sistem için duvar sıcaklıkları (Top Sayısı=200)



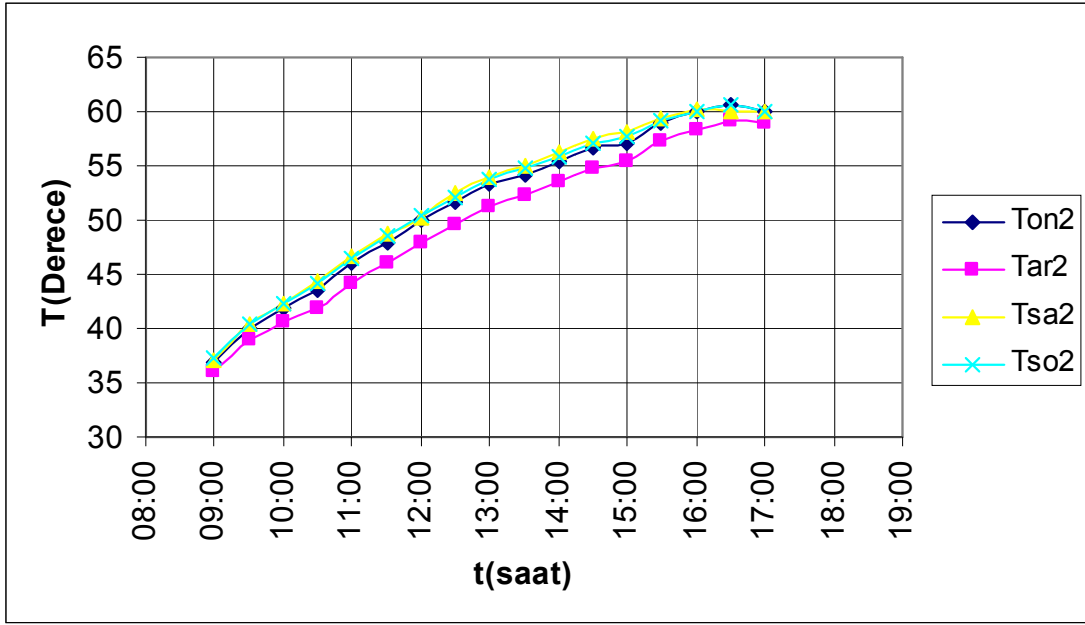
Şekil C.1.b Hareketsiz sistem için duvar sıcaklıkları (Top Sayısı=200)



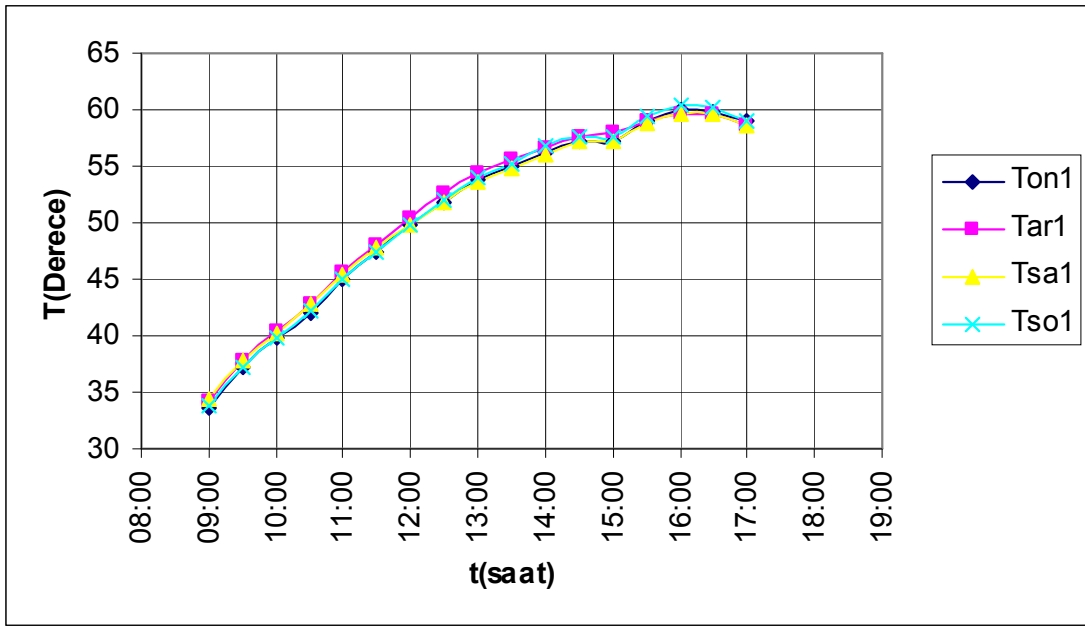
Şekil C.2.a Hareketsiz sistem için duvar sıcaklıkları (Top Sayısı=400)



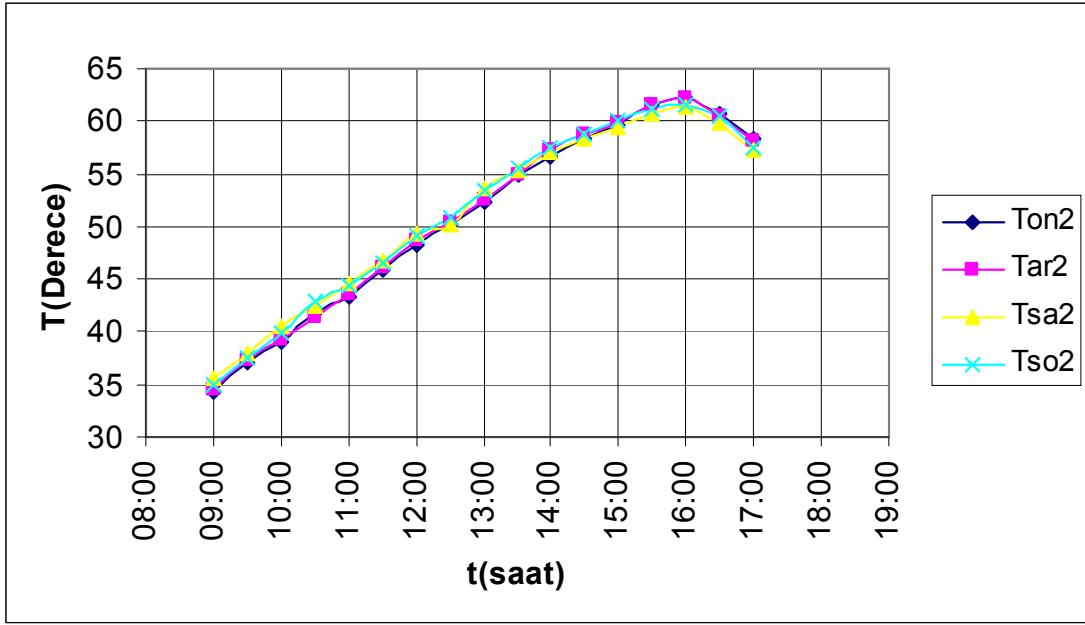
Şekil C.2.b Hareketsiz sistem için duvar sıcaklıkları (Top Sayısı=400)



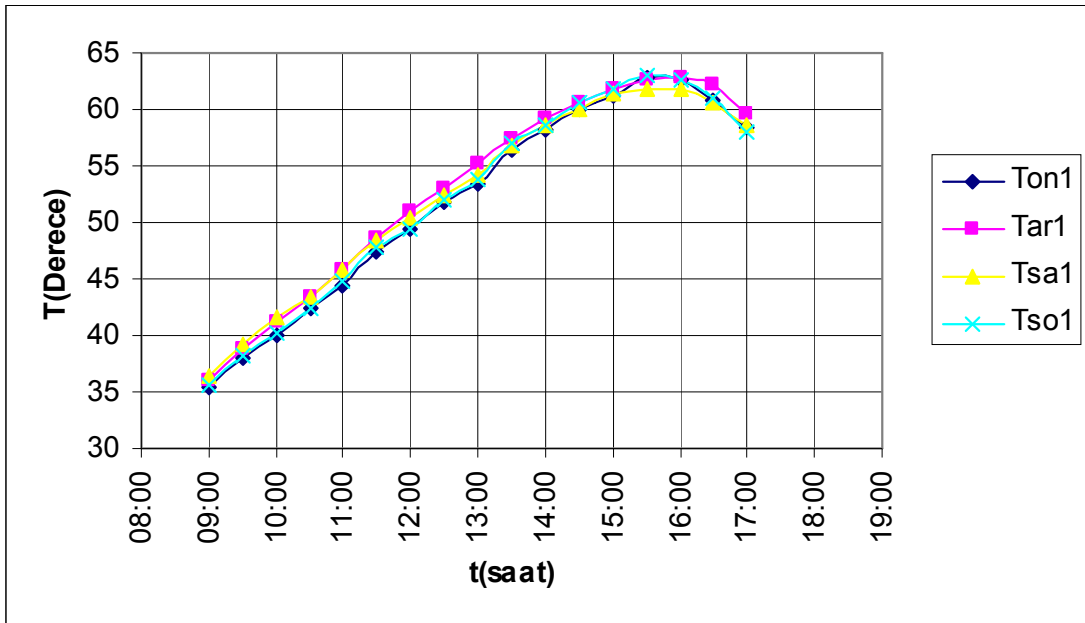
Şekil C.3.a Hareketsiz sistem için duvar sıcaklıkları (Top Sayısı=600)



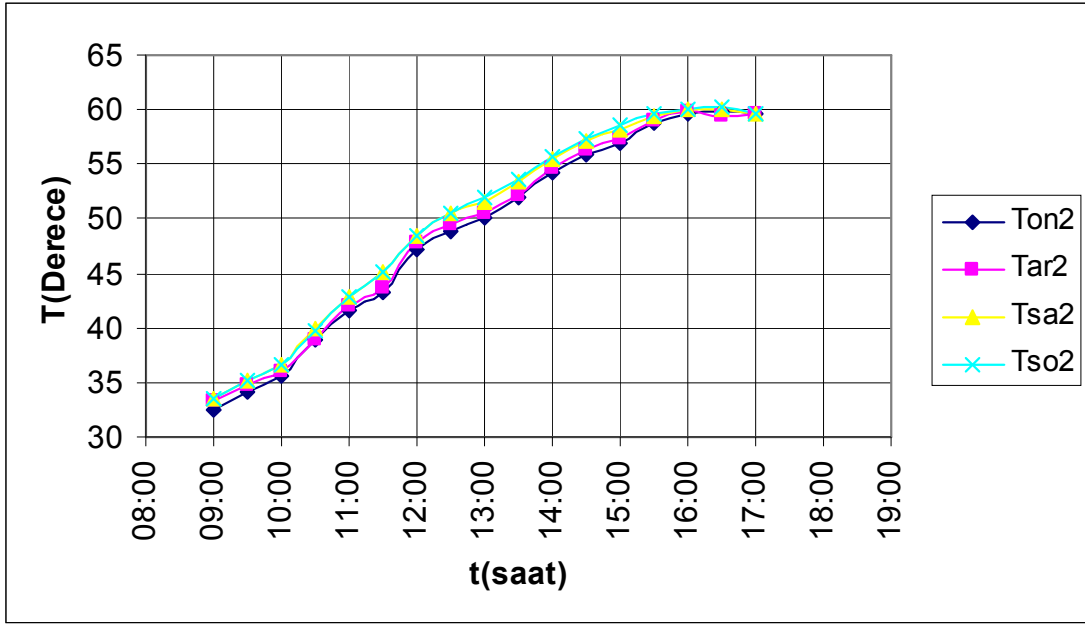
Şekil C.3.b Hareketsiz sistem için duvar sıcaklıkları (Top Sayısı=600)



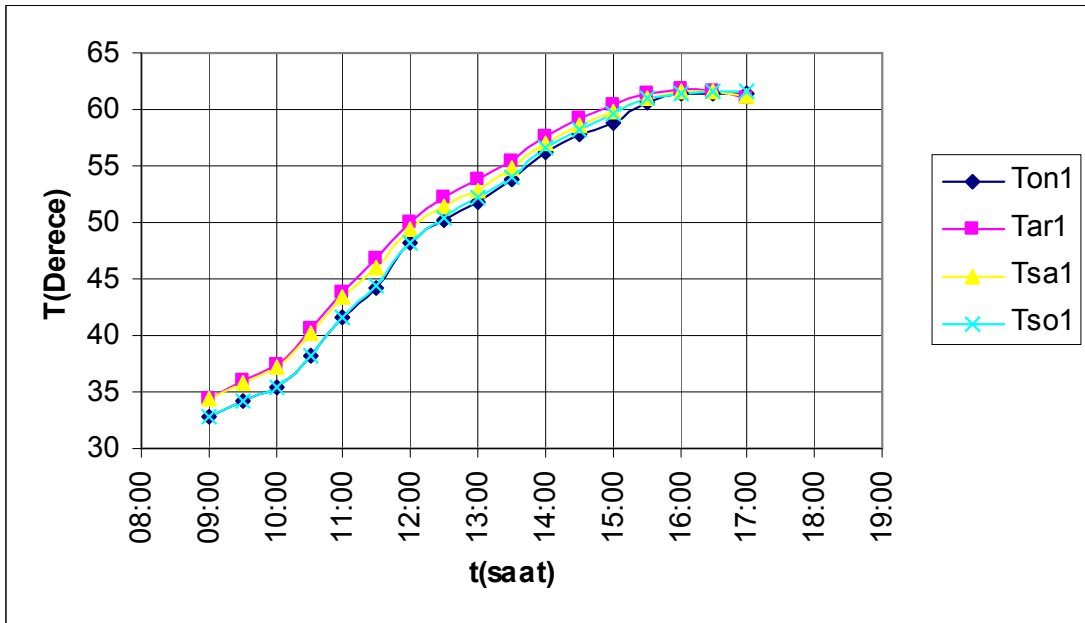
Şekil C.4.a Hareketli sistem için duvar sıcaklıkları (Top Sayısı=100)



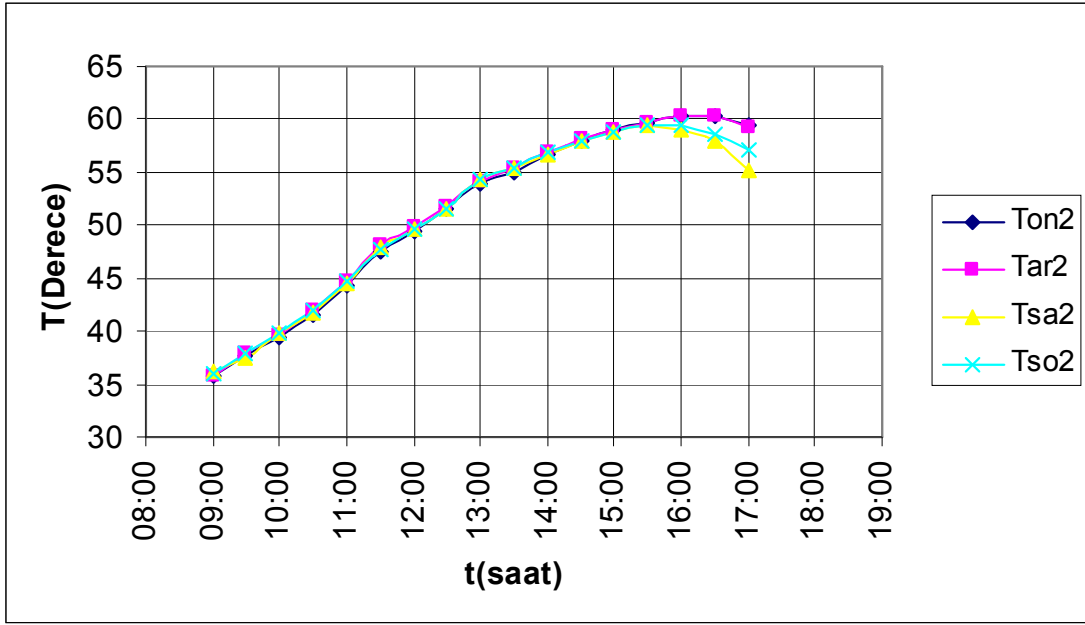
Şekil C.4.b Hareketli sistem için duvar sıcaklıkları (Top Sayısı=100)



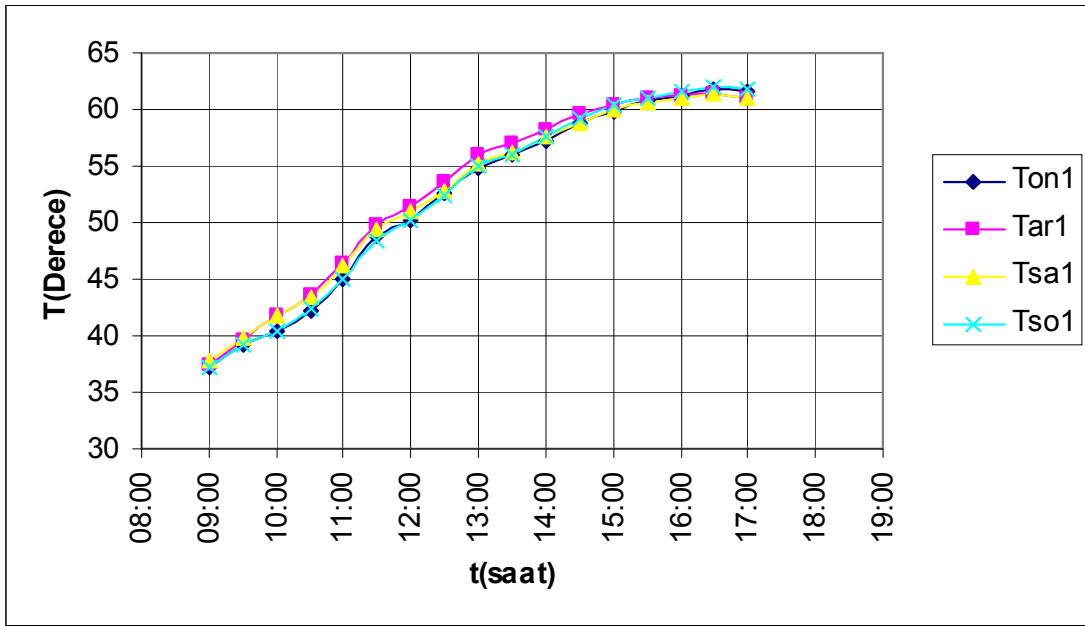
Şekil C.5.a Hareketli sistem için duvar sıcaklıkları (Top Sayısı=200)



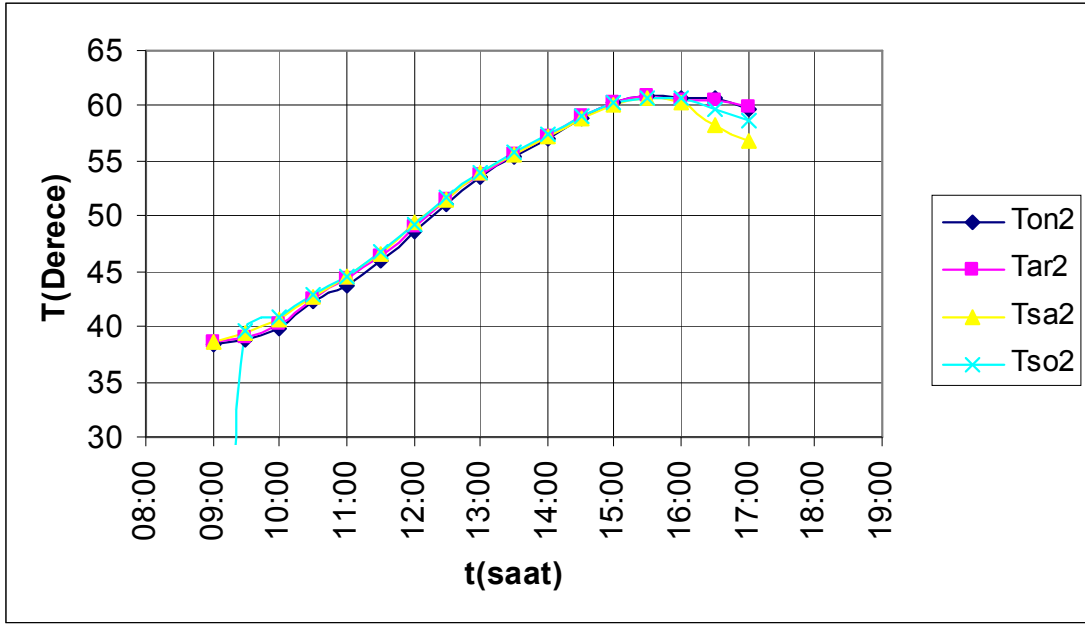
Şekil C.5.b Hareketli sistem için duvar sıcaklıkları (Top Sayısı=200)



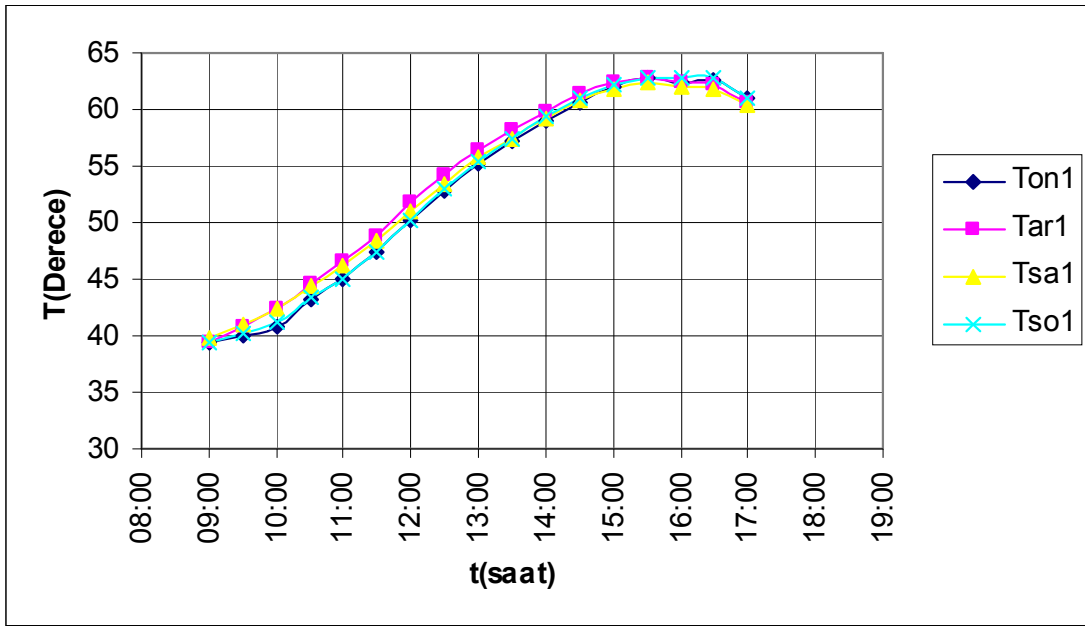
Şekil C.6.a Hareketli sistem için duvar sıcaklıkları (Top Sayısı=300)



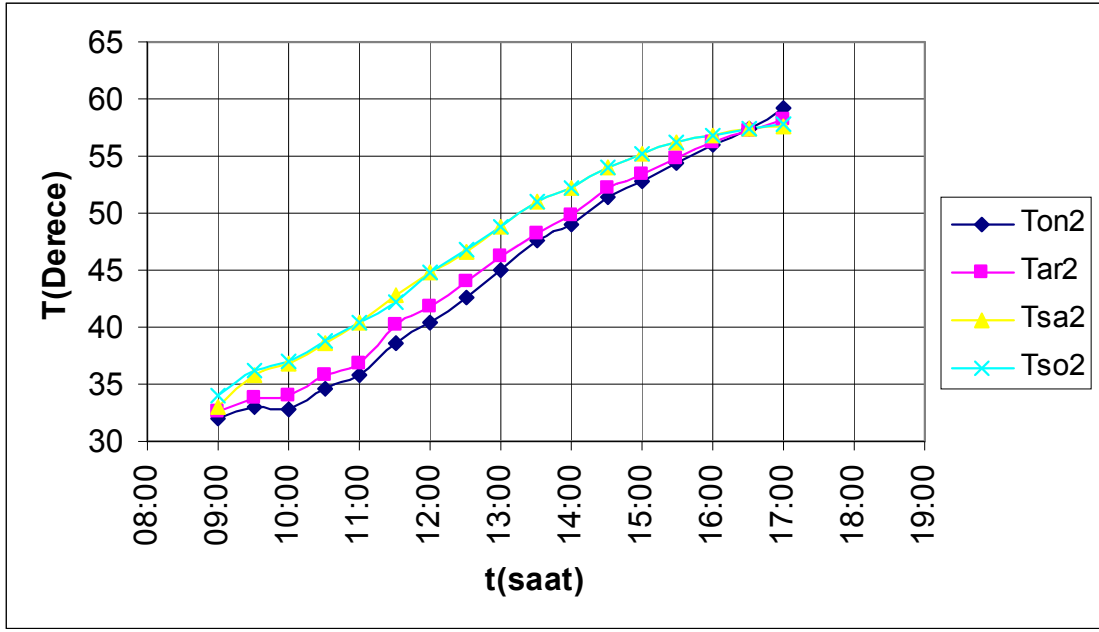
Şekil C.6.b Hareketli sistem için duvar sıcaklıkları (Top Sayısı=300)



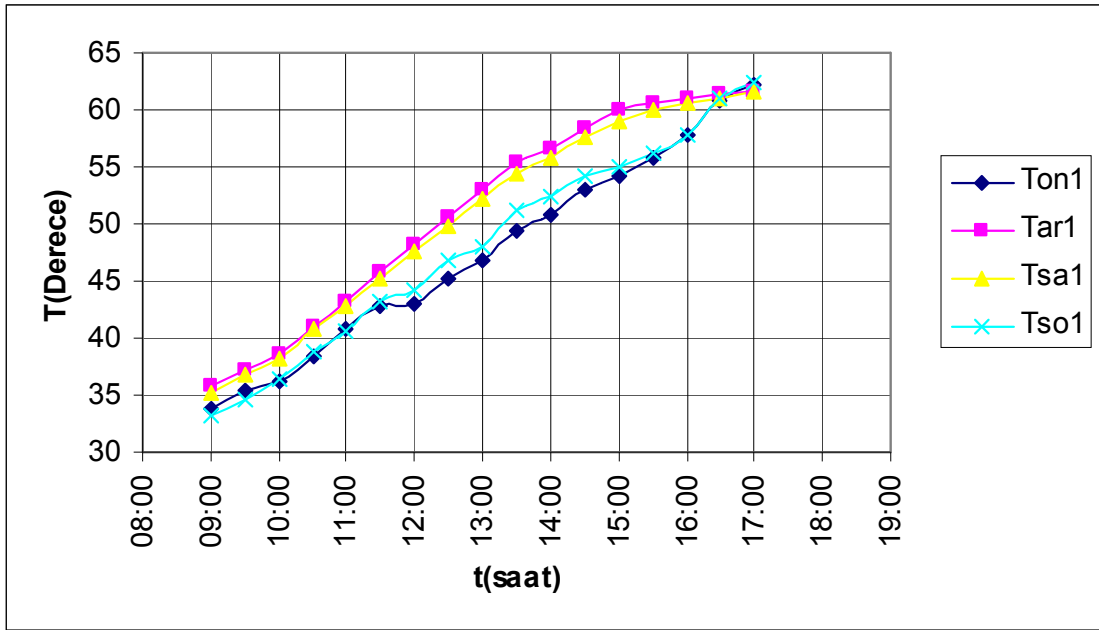
Şekil C.7.a Hareketli sistem için duvar sıcaklıkları (Top Sayısı=400)



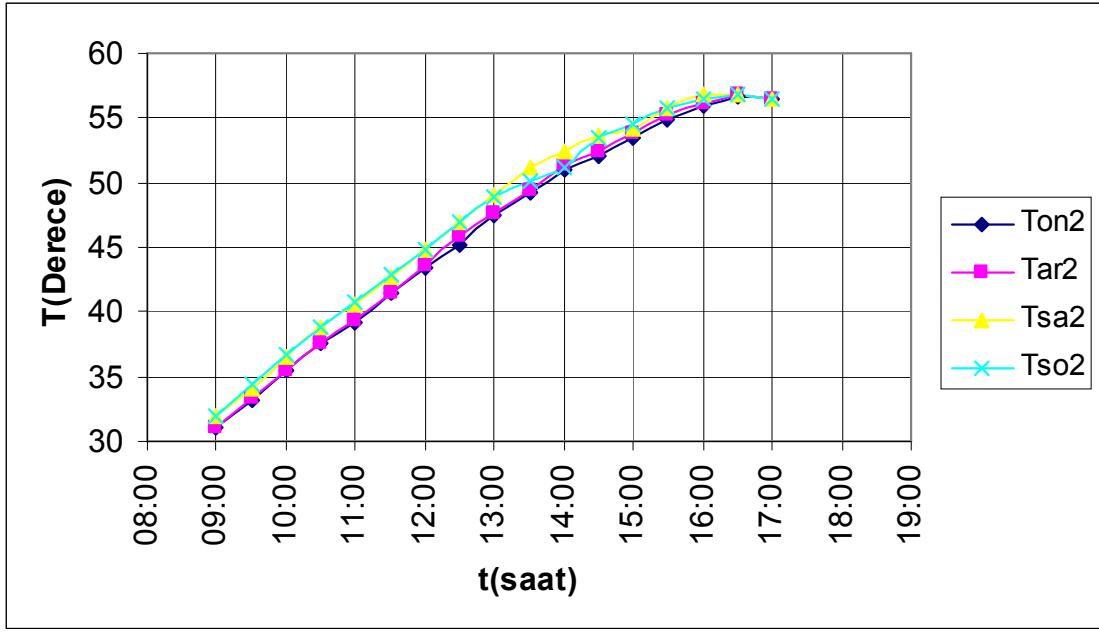
Şekil C.7.b Hareketli sistem için duvar sıcaklıkları (Top Sayısı=400)



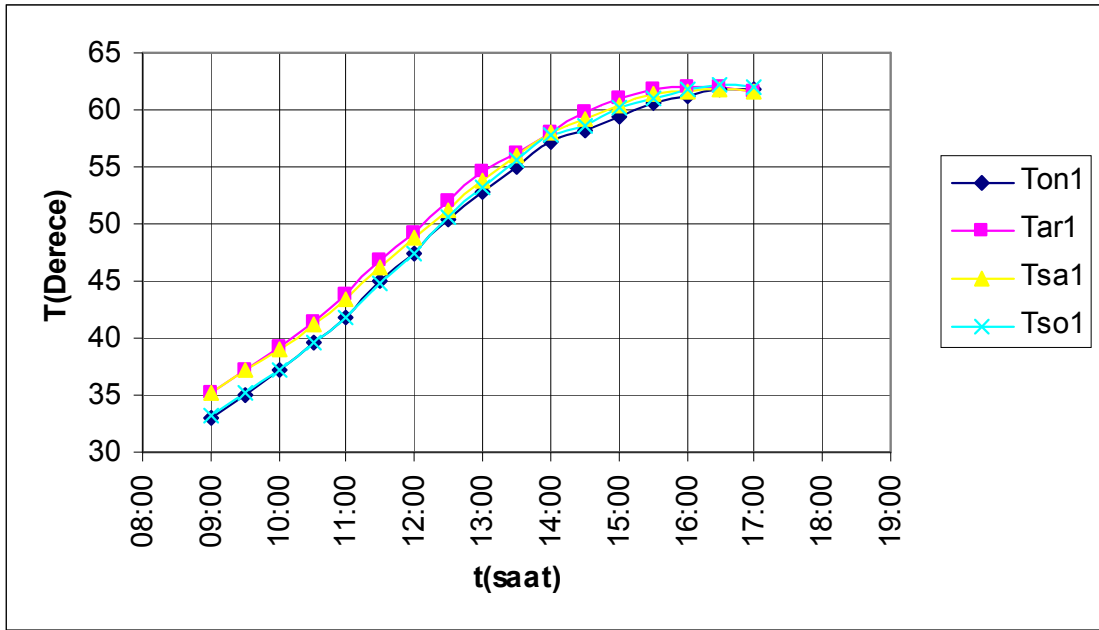
Şekil C.8.a Hareketli sistem için duvar sıcaklıkları (Top Sayısı=500)



Şekil C.8.b Hareketli sistem için duvar sıcaklıkları (Top Sayısı=500)

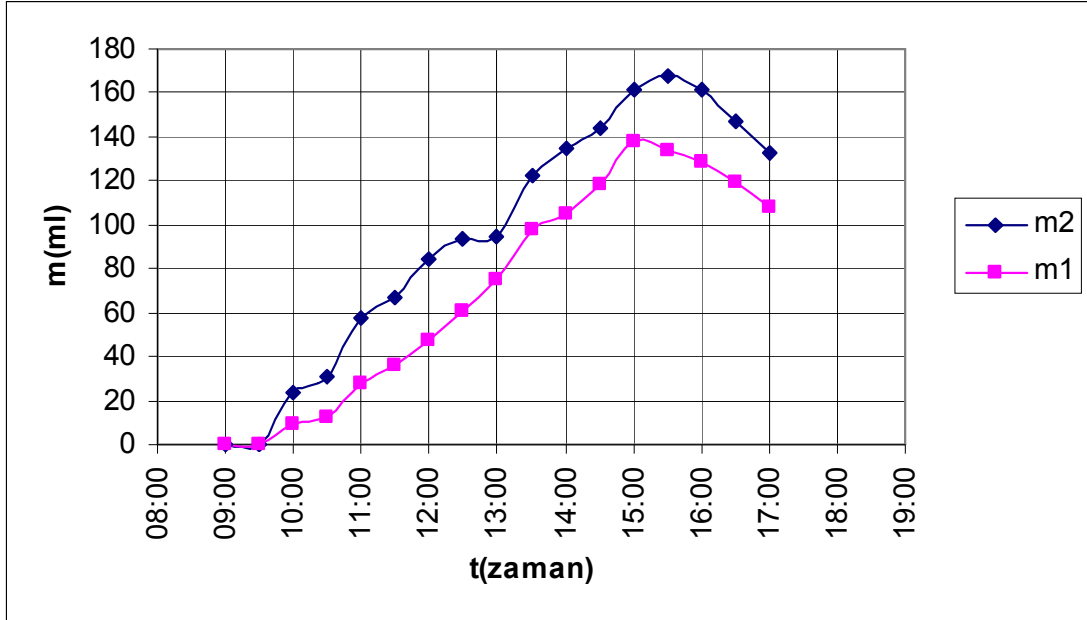


Şekil C.9.a Hareketli sistem için duvar sıcaklıkları (Top Sayısı=600)

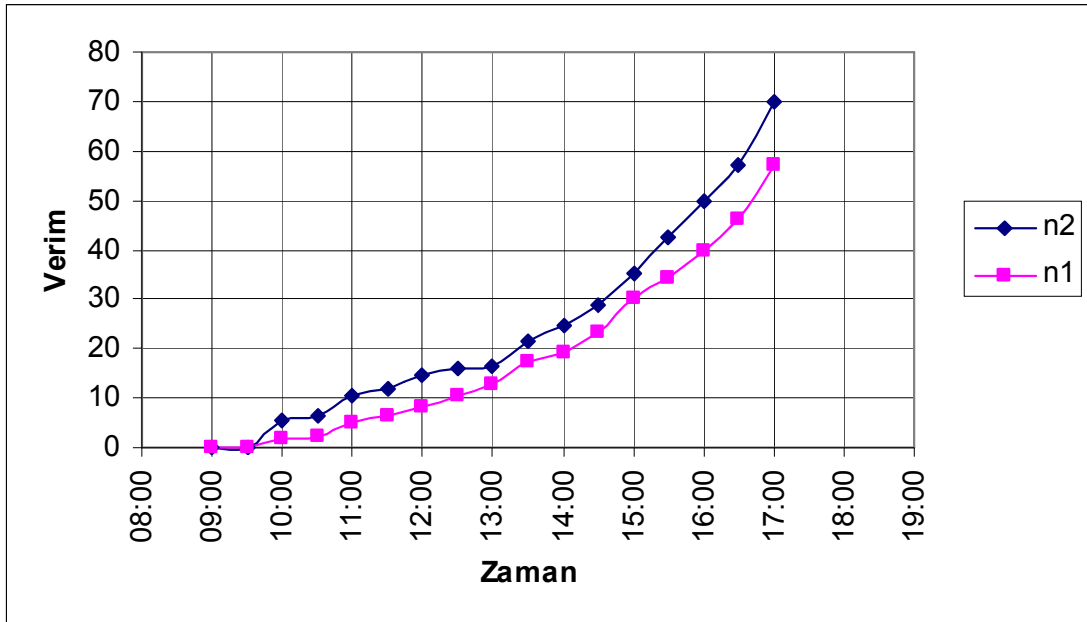


Şekil C.9.b Hareketli sistem için duvar sıcaklıkları (Top Sayısı=600)

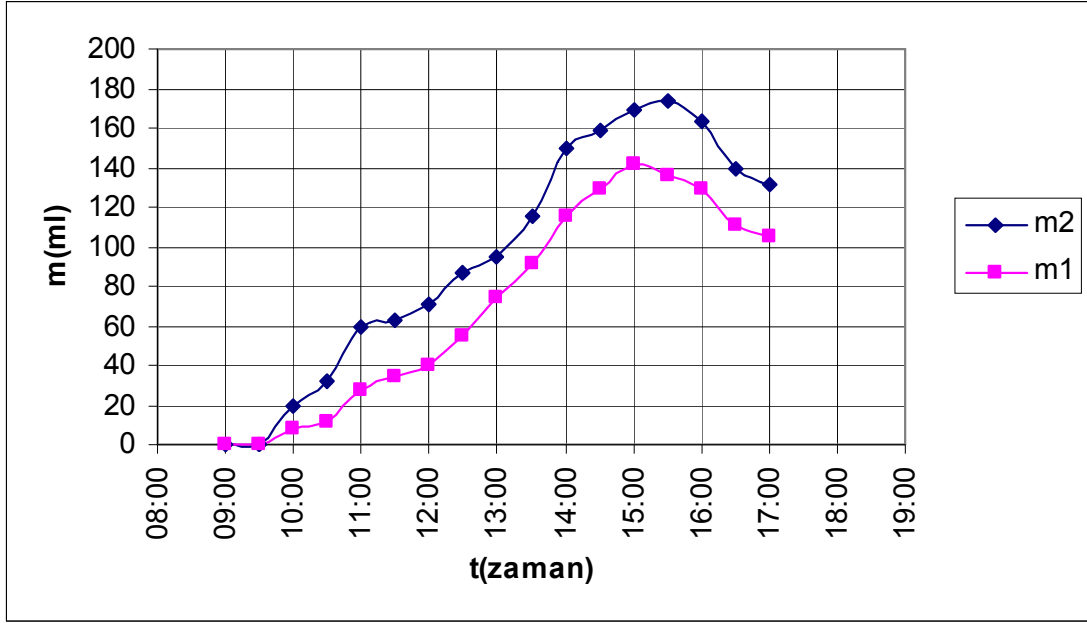
**EK- D LÜLE YÜKSEKLİĞİNİN VE SİRKÜLASYON POMPASININ DEĞİŞİMİ
SONUCU ELDE EDİLEN VERİM VE ÜRETKENLİK**



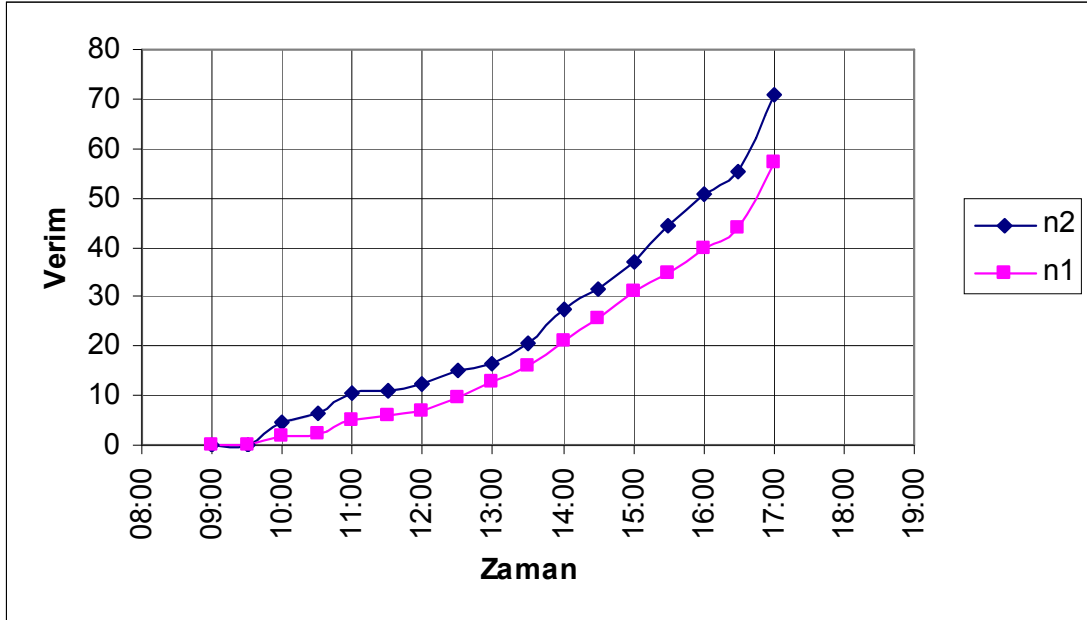
Şekil D.1.a Hareketli Sistem için Üretim (Top Sayısı =400 t_{sto} =120 sn)



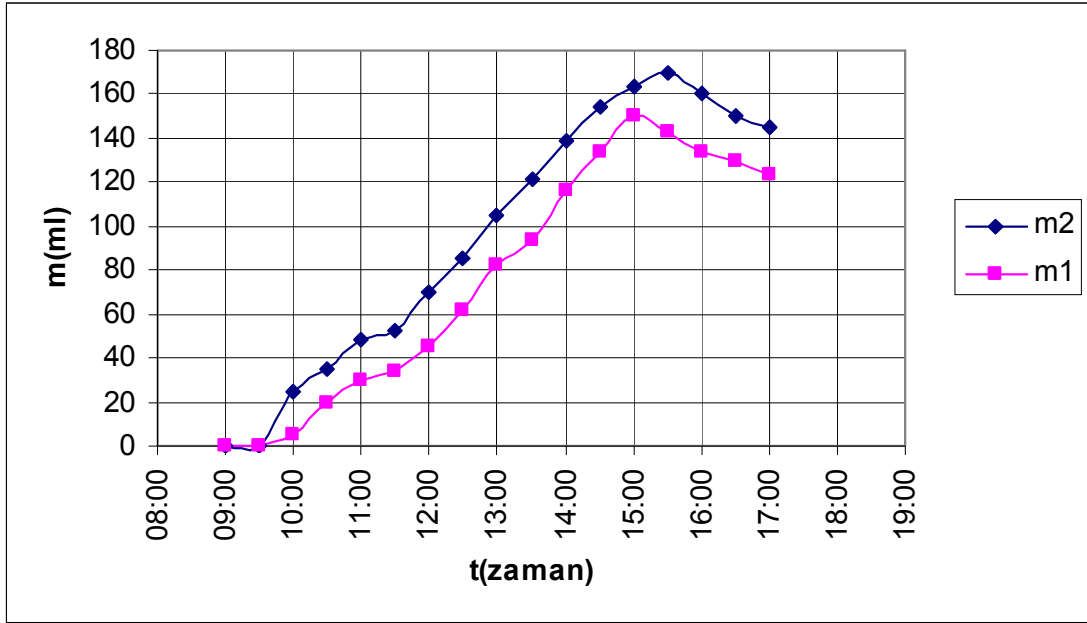
Şekil D.1.b Hareketli Sistem için Verim (Top Sayısı =400 t_{sto} =120 sn)



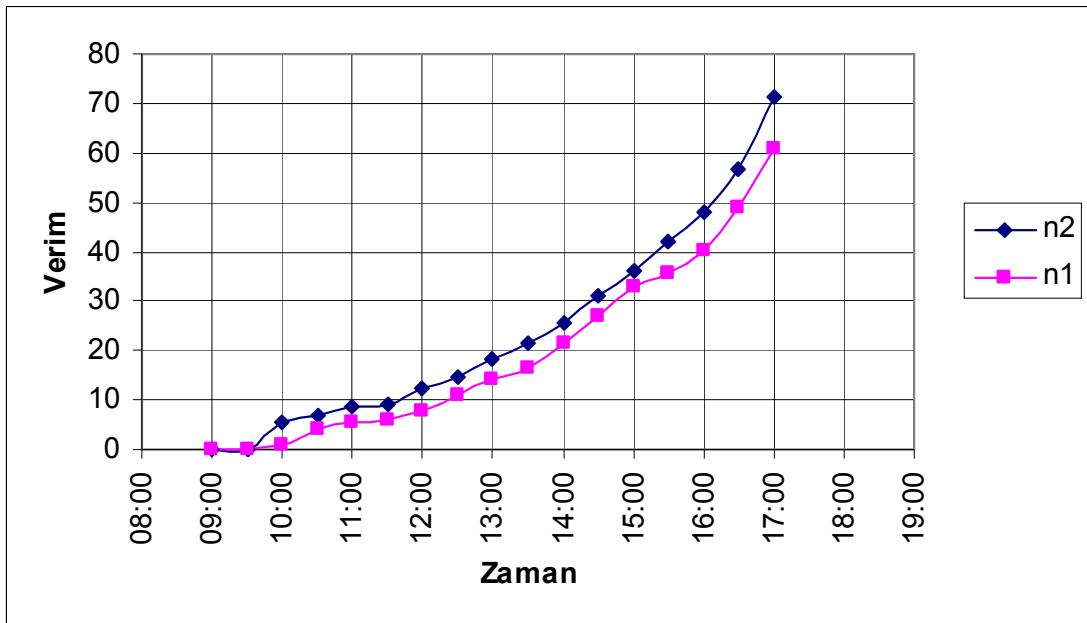
Şekil D.2.a Hareketli Sistem için Üretim (Top Sayısı =400 t_{sto} =60 sn)



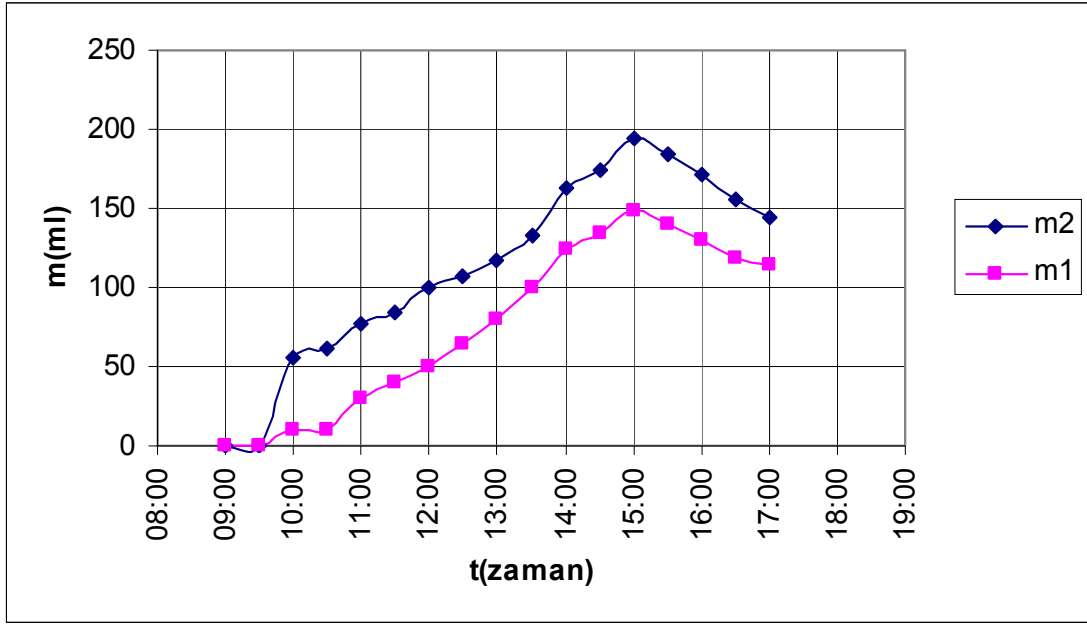
Şekil D.2.b Hareketli Sistem için Verim (Top Sayısı =400 t_{sto} =60 sn)



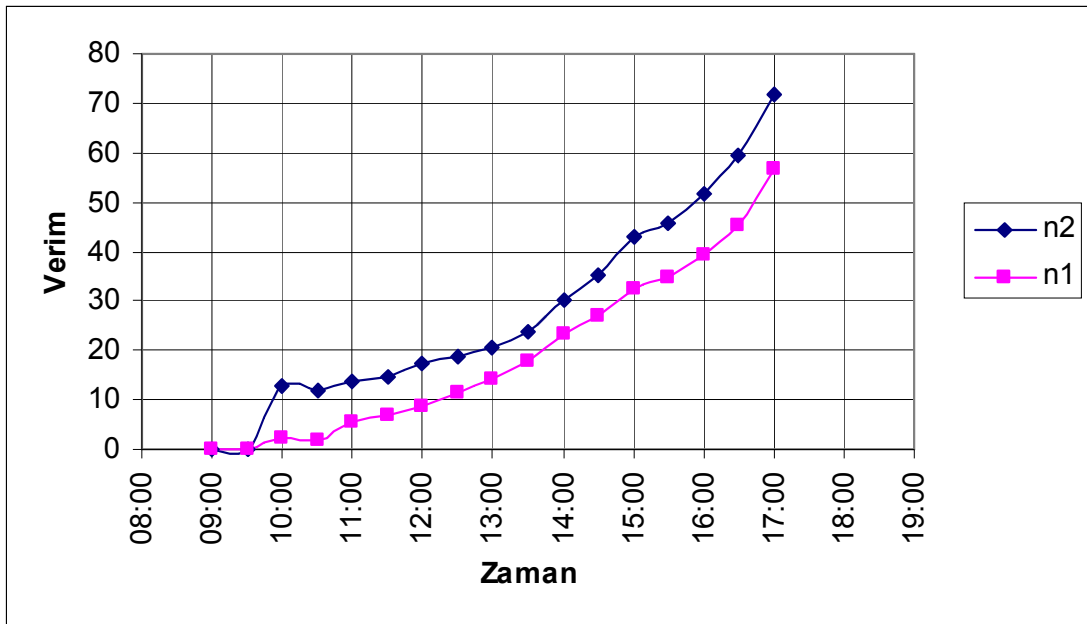
Şekil D.3.a Hareketli Sistem için Üretim $h=10$ mm (Top Sayısı =200)



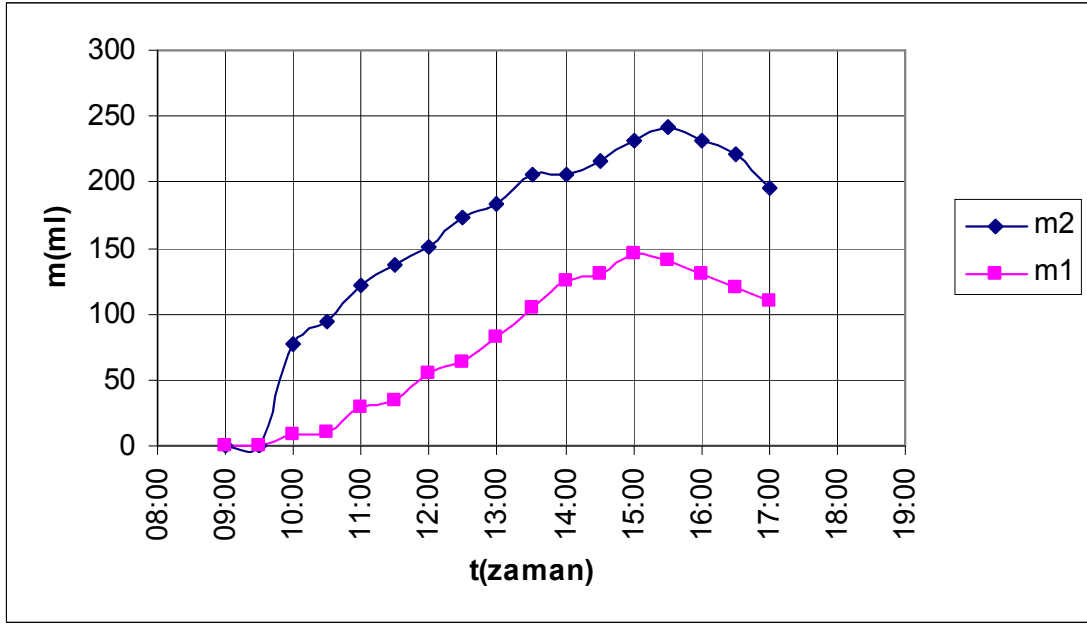
Şekil D.3.b Hareketli Sistem için Verim $h=10$ mm (Top Sayısı =200)



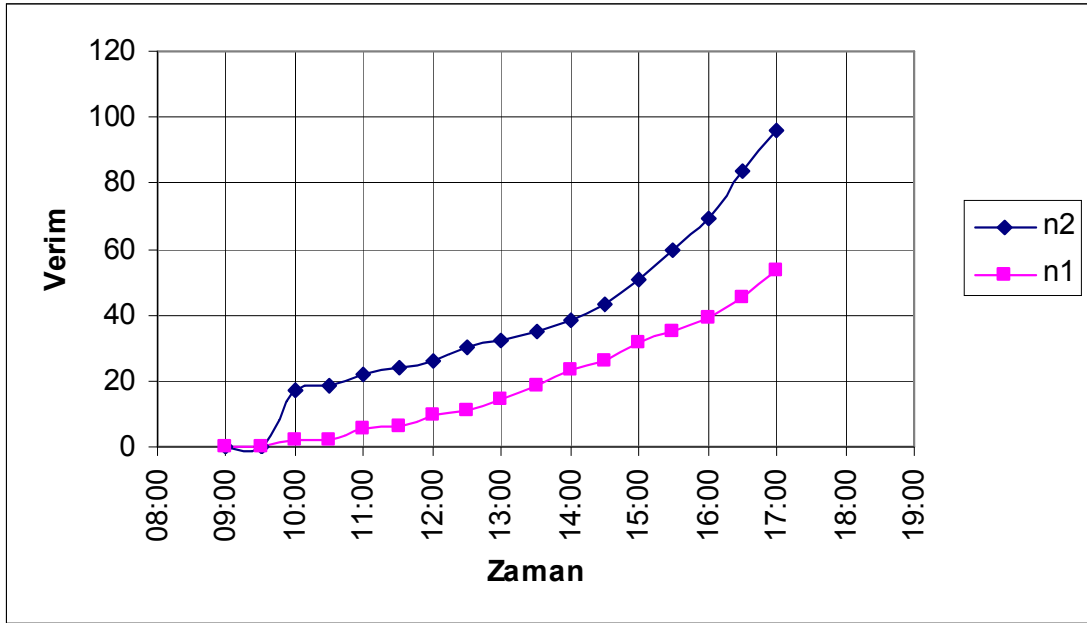
Şekil D.4.a Hareketli Sistem için Üretim $h=10$ mm (Top Sayısı =400)



Şekil D.4.B Hareketli Sistem için Verim $h=10$ mm (Top Sayısı =400)



Şekil D.5.a Hareketli Sistem için Üretim $h=10$ mm (Top Sayısı =600)



Şekil D.5.b Hareketli Sistem için Verim $h=10$ mm (Top Sayısı =600)

EK –E İŞİNİM,ÇEVRE SICAKLIKLARI VE RÜZGAR HIZI

Tablo E.1 İklim Şartları

	09.07.2207			11.07.2007			13.07.2007		
Zaman	Tçev	İşinım	Rüzgar Hızı	Tçev	İşinım	Rüzgar Hızı	Tçev	İşinım	Rüzgar Hızı
09:00	28,1	649	0	33,2	641	0,4	31,5	640	0,4
09:30	28,6	768	0	33,8	753	0,3	32	716	0,9
10:00	29,1	896	0,3	34,4	853	0,3	32,5	802	0,5
10:30	29,5	981	0,3	34,9	962	0,3	33	891	0,9
11:00	29,9	1037	0,2	35,4	1006	0,5	33,5	951	0,6
11:30	30,3	1039	0,3	35,8	1012	0,6	33,9	975	0,4
12:00	30,7	1038	0,2	36,2	1012	0,8	34,3	979	0,6
12:30	30,9	1038	0,4	36,4	1003	0,4	34,5	981	1,2
13:00	31,1	1032	0,8	36,6	998	0,3	34,7	982	1,6
13:30	31,2	1028	0,8	36,7	989	1,1	34,8	963	0,6
14:00	31,3	995	0,7	36,8	955	0,2	34,9	925	1,6
14:30	31,2	946	0,3	36,7	874	1,1	34,8	850	1,8
15:00	31,1	867	0,6	36,6	797	1	34,7	775	1,3
15:30	30,9	758	1,5	36,4	693	0,6	34,5	695	0,3
16:00	30,7	603	0,3	36,2	575	0,5	34,3	577	1,8
16:30	30,3	487	0,8	35,8	462	0,3	33,9	468	1,3
17:00	30,2	369	0,4	35,2	351	0,6	33,6	346	1,2

	22.07.2007			30.07.2007			23.07.22007		
Zaman	Tçevre	İşinım	Rüzgar Hızı	Tçevre	İşinım	Rüzgar Hızı	Tçevre	İşinım	Rüzgar Hızı
09:00	34,1	623	1,2	31,9	622	0	32,8	623	1,5
09:30	34,7	698	0,4	32,5	693	0	33,4	694	0,4
10:00	35,3	795	0,3	33,1	790	3	34	792	1
10:30	35,8	895	1	33,6	900	19	34,5	898	1,6
11:00	36,3	968	0,6	34,1	952	30	35	950	0,1
11:30	36,7	995	1,4	34,5	990	34	35,4	983	1,5
12:00	37,1	987	1,5	34,9	985	45	35,8	981	0,4
12:30	37,3	976	1	35,1	975	62	36	975	1,4
13:00	37,5	970	0	35,3	965	78	36,2	972	1,8
13:30	37,6	958	0,4	35,4	957	93	36,3	955	0,4
14:00	37,7	917	1,9	35,5	910	111	36,4	912	1,4
14:30	37,6	841	1,1	35,4	838	125	36,3	840	0,4
15:00	37,5	770	1,3	35,3	767	138	36,2	760	1
15:30	37,3	682	1,9	35,1	680	135	36	676	1,5
16:00	37,1	570	1,3	34,9	565	130	35,8	563	2,2
16:30	36,7	458	1,5	34,5	452	121	35,4	450	1,7
17:00	36,2	349	0,4	34	348	115	35	348	0,9

(Tablo E.1 devam ediyor)

	24.07.2007			27.07.2007			28.07.2007		
Zaman	Tçevre	Işınım	Rüzgar Hızı	Tçevre	Işınım	Rüzgar Hızı	Tçevre	Işınım	Rüzgar Hızı
09:00	37,3	620	0	35,9	618	0	30,4	619	0
09:30	37,9	702	1,1	36,5	700	0	30,9	702	0
10:00	38,5	782	1,3	37,1	779	0,5	31,4	781	0,4
10:30	39,1	888	0,4	37,6	868	0,4	31,9	873	0,2
11:00	39,7	946	0,2	38,1	948	0,4	32,4	950	0,4
11:30	40,2	975	0,08	38,6	970	0,8	32,8	970	1,1
12:00	40,7	981	0,03	39,1	980	0,7	33,2	982	0,8
12:30	40,9	971	0,6	39,3	969	0,8	33,4	970	1,3
13:00	41,1	970	0,6	39,5	960	0,9	33,6	960	0,6
13:30	41,2	962	0	39,6	957	1	33,7	958	0,7
14:00	41,3	910	1,3	39,7	905	0,3	33,8	909	0,6
14:30	41,2	837	1,3	39,6	835	1	33,7	837	0,2
15:00	41,1	767	1,1	39,5	763	0,4	33,6	765	1
15:30	40,9	675	1,8	39,3	670	0,8	33,4	668	1,4
16:00	40,7	562	1,8	39,1	558	0	33,2	560	0,4
16:30	40,2	445	0,7	38,6	440	0,4	32,8	445	1,2
17:00	39,6	353	0	38,1	342	0,3	32,1	343	1,2

	03.08.2007			04.08.2007			05.08.2007		
Zaman	Tçevre	Işınım	Rüzgar Hızı	Tçevre	Işınım	Rüzgar Hızı	Tçevre	Işınım	Rüzgar Hızı
09:00	35,2	593	0	38,4	594	0	34	592	0,2
09:30	33,1	682	2,1	32,4	680	2,8	24,1	680	0,3
10:00	32,9	755	3,5	33,1	757	0,8	25,7	756	0,5
10:30	32,9	865	4,3	32,9	863	0,7	32,9	861	0,3
11:00	31,1	940	4,3	31,1	940	0,3	31,1	938	0,2
11:30	32,5	978	4,4	32,5	975	0	32,5	977	0,5
12:00	37,4	973	3,5	35,3	970	1,2	25,6	970	0,6
12:30	38,4	972	3,4	36,5	968	0,2	27	964	0,6
13:00	40,7	964	3,4	39,2	960	0,4	30,1	961	0,8
13:30	39,7	950	3,4	39,4	945	1,4	31,5	942	0,7
14:00	42,9	905	2,4	45,4	900	0,6	40,3	903	0,6
14:30	43	835	2,4	40,1	836	1,8	29,6	837	0,2
15:00	61,2	762	2,1	43,4	760	0,4	18	763	0,8
15:30	40,2	673	3,4	41,3	670	1,8	34,8	671	0,5
16:00	39,9	560	3,5	42,8	555	0,8	38,1	558	0,4
16:30	41,2	443	3,1	40,7	440	0,6	32,6	441	0,2
17:00	38,8	340	3,2	38,5	339	0,5	30,6	341	0,6

Tablo E.1 devam ediyor)

	14.08.2007			15.08.2007		
Zaman	Tçevre	İşinım	Rüzgar Hızı	Tçevre	İşinım	Rüzgar Hızı
09:00	33,8	592	0,4	35,4	590	0,3
09:30	34,4	682,6	0,3	36	680,1	0,6
10:00	35	773	0,2	36,6	770	0,4
10:30	35,5	857,2	0,2	37,1	856,2	0,1
11:00	36	941	0,1	37,6	942	0,8
11:30	36,4	964,9	0,2	38,1	964,9	0,5
12:00	36,8	989	0,3	38,6	988	0,8
12:30	37	986,6	0,3	38,8	985,6	1,1
13:00	37,2	984	0,2	39	983	0,7
13:30	37,3	950,6	0,3	39,1	949,1	0,6
14:00	37,4	917	0,2	39,2	915	0,5
14:30	37,3	846,2	0,2	39,1	842,7	0,9
15:00	37,2	775	0,3	39	770	0,7
15:30	37	661,4	0,4	38,8	655,4	1
16:00	36,8	548	0,4	38,6	541	0,8
16:30	36,4	433,6	0,3	38,1	425,6	0,7
17:00	36,2	319	0,4	37,4	310	0,9

EK- F SU ÜRETİM MİKTARLARI

Tablo F.1 Hareketsiz sistem için üretilen su miktarları

	200			400			600		
	m2	m1	X	m2	m1	X	m2	m1	X
gündüz	981	1386	-29,22	747	1381	-45,91	461	1672	-72,43
gece	2587	2721	-4,92	1916	2710	-29,3	1513	2689	-43,73
toplam	3568	4107	-13,12	2663	4091	-34,91	1974	4361	-54,74

Tablo F.2 Hareketli sistem için üretilen su miktarları

	100			200			300		
	m2	m1	X	m2	m1	X	m2	m1	X
GÜNDÜZ	1484	1368	8,48	1523	1364	11,66	1691	1380	22,54
GECE	2750	2681	2,57	2838	2670	6,29	3124	2695	15,92
TOPLAM	4234	4049	4,57	4361	4034	8,11	4815	4075	18,16
	400			500			600		
	m2	m1	X	m2	m1	X	m2	m1	X
GÜNDÜZ	1892	1356	39,53	2162	1365	58,39	2607	1369	90,43
GECE	3368	2619	28,6	3675	2680	37,13	4156	2960	40,41
TOPLAM	5260	3975	32,33	5837	4045	44,3	6763	4329	56,23

Tablo F.3 Hareketli sistem için üretilen su miktarları (t_{stop} değişken)

	120 sn			60 sn		
	m2	m1	X	m2	m1	X
gündüz	1626	1217	33,61	1629	1209	34,74
gece	2895	2160	34,03	2910	2200	32,27
toplam	4521	3377	33,88	4539	3409	33,15

Tablo F.4 Hareketli sistem için üretilen su miktarları (lüle yüksekliği $h=10$ mm)

	200			400			600		
	m2	m1	X	m2	m1	X	m2	m1	X
gündüz	1603	1302	23,12	1925	1296	48,53	2774	1290	115,04
gece	3120	2540	22,83	3430	2500	37,20	4020	2510	60,16
toplam	4723	3842	22,93	5355	3796	41,07	6794	3800	78,79

EK-G TEORİK ANALİZ

Tablo G.1 Hareketsiz sistem için teorik analiz

	200					
Zaman	hcw2	hcwt	Hew2	hewt	mth2	mex2
09:00	-1,0623	1,2769	-4,9906	6,5223	0	0
09:30	0,9483	1,6117	4,8768	8,9914	0	0
10:00	-1,1859	1,1213	-6,8593	6,9679	5,1	15
10:30	1,8287	1,5188	12,7669	10,0246	32,7	25
11:00	1,8472	1,7001	14,5218	13,0018	36,6	32
11:30	2,1192	1,6024	21,1249	14,5440	72,3	40
12:00	2,1223	1,6422	24,2701	17,3260	77,9	45
12:30	2,0511	1,9314	23,4906	21,6441	68	51
13:00	2,0969	2,0378	26,2673	25,2541	77,4	51
13:30	2,0046	2,4410	25,6706	34,0488	65,3	58
14:00	2,0431	2,5718	27,1533	38,0161	71,6	68
14:30	2,1350	2,6397	30,7301	42,0341	88	82
15:00	2,1128	2,6483	32,0364	44,4702	86,1	86
15:30	2,2177	2,5762	36,1467	44,8520	107	102
16:00	2,2210	2,5737	38,9306	47,9477	110,2	104
16:30	2,2799	2,4887	39,2026	44,3952	121,5	106
17:00	2,2821	2,4832	37,0657	41,8593	119,8	116
TOPLAM					1139,5	981
	400					
Zaman	hcw2	hcwt	Hew2	hewt	mth2	mex2
09:00	0,7201	1,2769	3,5229	6,5223	0	0
09:30	1,4033	1,7268	7,3242	9,5511	0	0
10:00	1,5579	1,5579	9,2951	9,2951	10,3	10
10:30	1,6371	1,7009	10,4943	11,0322	13,2	16
11:00	1,4891	1,8056	10,7353	13,7253	9,8	24
11:30	1,6899	2,0800	13,0681	17,4325	16,9	30
12:00	1,7226	2,2617	14,4591	21,3190	19,1	32
12:30	1,9523	2,4548	17,1830	24,4962	32,4	33
13:00	2,0221	2,5940	18,9643	28,1905	38,6	39
13:30	2,0980	2,8164	21,9111	35,4909	47,3	41
14:00	2,2257	2,9146	24,8475	39,1332	61,8	51
14:30	2,3038	3,0327	26,7859	43,0477	72,2	66
15:00	2,3993	3,0703	29,7203	45,6569	87,3	62
15:30	2,4529	2,9950	33,3322	46,7506	99,1	76
16:00	2,4814	3,0677	35,0520	50,2767	105,4	81
16:30	2,5525	3,0659	33,9042	46,8490	114,9	89
17:00	2,5362	3,0617	31,2297	43,8488	108,5	97
TOPLAM					836,8	747

(Tablo G.1 Devam ediyor)

	600					
Zaman	hcw2	hcwt	Hew2	hewt	mth	mex
09:00	0,8244	1,2957	4,0330	6,6028	0	0
09:30	1,2458	1,4774	6,8295	8,3536	0	0
10:00	1,4024	1,4987	8,1333	8,8164	3,3	1
10:30	1,6833	1,5315	11,2713	9,9941	7,5	1
11:00	1,8395	1,8616	13,4342	13,6596	11,3	3
11:30	1,8015	2,0484	14,0955	16,8995	10,9	3
12:00	1,9459	2,1141	17,9639	20,2337	16,3	5
12:30	2,0416	2,1763	20,9082	22,9404	20,8	21
13:00	2,0626	2,2707	23,0389	26,4998	22,6	25
13:30	2,2136	2,5162	28,0440	34,0862	31,7	28
14:00	2,3217	2,6080	31,5626	37,8116	39,5	35
14:30	2,4067	2,7392	34,1694	42,0016	46,3	44
15:00	2,4379	2,7819	36,1155	44,5821	49,5	53
15:30	2,4822	2,7483	38,5926	45,3267	54,1	56
16:00	2,5082	2,8387	40,1844	48,9451	57	59
16:30	2,5227	2,7826	39,0101	45,6527	57,6	61
17:00	2,5741	2,7615	38,2033	42,8667	61,5	66
TOPLAM					489,9	461

	200			
	Hcw1	Hew1	mth1	mex1
09:00	0,6482	2,8596	0,5	0
09:30	1,2489	5,9535	7,3	0
10:00	1,3495	6,8617	10,4	10
10:30	1,3202	7,0367	9,9	25
11:00	1,3089	7,3631	9,9	35
11:30	1,5422	9,8592	20,9	40
12:00	1,9576	14,7345	60	49
12:30	2,0975	17,0883	82,9	70
13:00	2,1572	20,0437	99,9	84
13:30	2,2054	22,3378	114,1	102
14:00	2,2747	24,1608	132,2	121
14:30	2,3562	27,5291	159,2	136
15:00	2,3757	30,5869	171,7	152
15:30	2,3543	32,3428	170,1	150
16:00	2,3093	35,0656	163,7	147
16:30	2,2780	33,1566	152,7	135
17:00	2,2704	31,2275	147,4	130
TOPLAM			1512,8	1386

(Tablo G.1 Devam ediyor)

	400			
	Hcw1	Hew1	mth1	mex1
09:00	1,1481	5,8636	5,5	0
09:30	1,5976	9,5116	22,9	0
10:00	1,5200	9,3011	19,1	8
10:30	1,6962	10,7529	30,4	29
11:00	1,8001	12,1724	40,2	38
11:30	1,8561	13,3163	47,1	45
12:00	1,9080	14,8744	55,4	56
12:30	2,0013	16,4665	69,2	74
13:00	2,0771	18,2640	83,3	86
13:30	2,1975	20,7838	108,5	100
14:00	2,2272	22,3255	118,1	122
14:30	2,2812	23,6255	132,1	129
15:00	2,2850	24,8941	136,3	149
15:30	2,3007	26,0342	142,6	145
16:00	2,2907	26,3534	141,3	141
16:30	2,2542	24,7557	129,7	132
17:00	2,1927	23,0203	113,6	127
TOPLAM			1395,3	1381
	600			
	Hcw1	Hew1	mth	mex
09:00	-0,4543	-2,2600	0,1	0
09:30	1,0460	5,4953	3,9	0
10:00	1,5646	8,9745	20,6	12
10:30	1,7011	10,4189	30	28
11:00	1,7950	11,8650	39,1	40
11:30	1,8408	12,9401	45	42
12:00	1,9348	14,3660	56,8	53
12:30	2,0489	16,4270	74,8	72
13:00	2,0909	18,1503	84,9	91
13:30	2,1166	19,8696	93,1	96
14:00	2,2288	22,4374	118,7	122
14:30	2,2840	24,3130	134,5	134
15:00	2,3194	26,3619	147,6	149
15:30	2,2925	26,4846	142	143
16:00	2,3033	27,2850	146,4	135
16:30	2,1993	24,5968	118,6	128
17:00	2,1976	23,3673	115,3	118
TOPLAM			1371,4	1363

Tablo G.2 Hareketli sistem için teorik analiz

	100					
	hcw2	hcwt	hew2	hewt	mth2	mex2
09:00	0,4584	0,4584	2,4946	2,4946	0,1	0
09:30	1,4111	1,7471	8,6519	11,3355	16,8	0
10:00	1,5799	2,0062	11,3932	15,7244	30,2	11
10:30	1,8162	2,2194	13,7761	18,5161	52,3	26
11:00	1,8252	2,4418	14,3465	22,4140	61,1	38
11:30	1,9491	2,4007	17,5702	24,1335	77,3	45
12:00	1,9986	2,3682	19,7311	25,4555	86,1	57
12:30	2,0278	2,5291	20,5441	28,9085	97,6	77
13:00	2,0942	2,5488	23,4463	31,7157	113,4	91
13:30	2,1635	2,4987	26,7273	33,2276	128,4	109
14:00	2,2389	2,5244	29,3770	35,2527	147,9	128
14:30	2,2539	2,6060	30,5587	38,1594	157,2	142
15:00	2,3376	2,7417	32,8305	42,2083	186,5	158
15:30	2,2890	2,7748	33,3871	44,9867	179,6	161
16:00	2,3064	2,7938	35,5128	47,6673	188,5	155
16:30	2,3020	2,6325	33,7828	41,4207	174,5	147
17:00	2,3082	2,4699	32,3427	35,8070	165	139
TOPLAM					1862,5	1484
	200					
	hcw2	hcwt	hew2	hewt	mth2	mex2
09:00	0,8244	1,2957	4,0330	6,6028	3,3	0
09:30	1,4619	1,5075	8,2463	8,5646	16	0
10:00	1,5848	1,5284	9,4571	9,0339	21,4	10
10:30	1,8256	1,5611	12,5729	10,2349	37,8	19
11:00	1,9665	1,8834	14,7699	13,8837	58,5	44
11:30	1,9366	2,0677	15,5767	17,1381	64,7	44
12:00	2,0740	2,1338	19,6712	20,5142	89,1	66
12:30	2,1663	2,1959	22,7850	23,2511	110	77
13:00	2,1908	2,2901	25,1226	26,8437	124,3	95
13:30	2,1338	2,4560	27,7439	34,1264	135,1	116
14:00	2,2198	2,5290	31,1425	37,8108	160,3	133
14:30	2,2657	2,6328	33,5073	42,0020	182,9	150
15:00	2,2879	2,6694	35,3633	44,5767	194,3	162
15:30	2,3252	2,6583	37,1119	45,3480	202,8	165
16:00	2,2342	2,7114	36,7804	48,8718	192,6	154
16:30	2,2179	2,6318	35,3709	45,4070	178,3	146
17:00	2,2454	2,6214	33,9410	42,7277	179,1	142
TOPLAM					1950,5	1523

(Tablo G.2 Devam ediyor)

	300					
	hcw2	hcwt	hew2	hewt	mth2	mex2
09:00	0,4595	1,4872	2,5601	8,9332	6,6	0
09:30	1,2301	1,5436	8,2259	10,7355	13,8	0
10:00	1,2571	2,0342	8,6587	15,9846	33,1	22
10:30	1,6673	2,2547	12,3566	19,0706	62,1	53
11:00	1,6966	2,2894	14,2387	21,8229	70,9	57
11:30	1,7831	2,2639	16,3023	22,8992	76,6	64
12:00	1,9633	2,2250	19,7960	23,7166	90,4	75
12:30	1,9533	2,3279	21,8004	28,0464	104	88
13:00	1,9790	2,3956	24,4670	32,1346	118,9	102
13:30	2,0510	2,4938	26,2721	34,9505	140,7	125
14:00	2,2141	2,4900	30,0073	35,7486	164,1	144
14:30	2,2591	2,4677	32,2853	36,7911	171,1	153
15:00	2,3683	2,5022	35,9810	39,0681	198,4	178
15:30	2,3768	2,4925	37,3545	40,0830	200,9	168
16:00	2,3494	2,4053	38,4817	39,8059	186,8	160
16:30	2,3876	2,3105	37,6027	35,8623	180,3	153
17:00	2,4065	2,1584	37,2367	31,8952	167,7	149
TOPLAM					1986,4	1691
	400					
	hcw2	hcwt	hew2	hewt	mth2	mex2
09:00	0,4595	0,6631	2,5601	3,7116	0,4	0
09:30	1,3634	1,6019	8,6123	10,4803	18,7	0
10:00	1,4925	2,1218	10,0769	16,2903	51,6	30
10:30	1,6879	2,2952	12,2328	19,1748	76,7	51
11:00	1,6041	2,3307	12,9338	21,9484	82,8	62
11:30	1,7362	2,3074	15,3602	23,0591	88,5	78
12:00	1,8840	2,2714	18,2686	23,9210	95,4	89
12:30	1,9073	2,3729	20,6192	28,2524	115,9	96
13:00	1,9312	2,4405	23,1381	32,3602	133,5	113
13:30	2,0886	2,5361	26,3245	35,1382	165,9	134
14:00	2,2139	2,5331	29,3406	35,9538	181,1	152
14:30	2,2909	2,5128	32,2245	37,0381	190,4	174
15:00	2,2910	2,5473	33,5514	39,3244	199,9	188
15:30	2,2757	2,5389	34,3390	40,3711	198,4	194
16:00	2,1073	2,4565	32,4032	40,1956	164,8	186
16:30	2,2181	2,3639	33,1222	36,2728	159,6	177
17:00	2,2104	2,2558	31,7685	32,6950	140,8	168
TOPLAM					2064,4	1892

(Tablo G.2 Devam ediyor)

	500					
	hcw2	hcwt	hew2	hewt	mth2	mex2
09:00	0,5734	1,0731	2,9000	5,5712	2,8	0
09:30	1,2274	1,7673	6,8715	10,7795	24,7	0
10:00	1,5743	2,0075	9,5473	13,3588	46,7	37
10:30	1,7028	2,1287	11,1458	15,3906	63,1	54
11:00	1,7520	2,3108	12,2523	18,5645	89,7	79
11:30	1,7729	2,4503	13,5645	22,2085	117,9	100
12:00	1,8402	2,4564	15,3213	23,7946	126	115
12:30	1,8771	2,5229	16,4757	25,9724	144	126
13:00	1,8254	2,5790	17,0209	28,7261	159	144
13:30	1,9503	2,6737	19,5376	31,9561	192,5	162
14:00	1,9978	2,7551	20,9350	34,7977	221,3	169
14:30	2,1395	2,7558	23,7136	35,6644	233,7	181
15:00	2,1648	2,7533	24,9737	36,7256	238,1	200
15:30	2,2518	2,7997	26,7688	38,2251	261,2	216
16:00	2,2099	2,8268	27,1439	40,3561	270,3	210
16:30	2,3916	2,6755	29,1373	35,0521	237,8	195
17:00	2,4782	2,6051	30,1716	32,7860	227,5	174
TOPLAM					2656,3	2162
	600					
	hcw2	hcwt	hew2	hewt	mth2	mex2
09:00	0,8244	1,0402	4,0330	5,1625	3,1	0
09:30	1,4397	1,7601	7,7672	10,0726	28,2	0
10:00	1,2822	1,8193	7,8774	12,1932	33,8	75
10:30	1,5025	2,1303	9,8486	15,9270	67,8	90
11:00	1,6412	2,2768	11,4445	18,3994	93,2	118
11:30	1,8945	2,3492	15,1654	21,0611	117,1	135
12:00	1,9846	2,4564	17,0212	23,7946	145,9	149
12:30	1,8030	2,5001	17,6634	28,5609	162,5	167
13:00	1,9422	2,5860	20,3016	31,3562	193,6	179
13:30	2,0613	2,6490	22,3083	33,0315	218,6	187
14:00	2,1460	2,6862	24,1899	34,5642	236,9	200
14:30	2,1433	2,6837	26,4727	37,5087	244,3	212
15:00	2,2471	2,6676	28,7710	37,6474	246,2	226
15:30	2,3563	2,6483	32,5025	39,0402	251,9	234
16:00	2,3946	2,6843	33,7884	40,4722	268,4	224
16:30	2,4272	2,5493	33,5097	36,1919	225,3	218
17:00	2,5098	2,5456	33,5855	34,3617	226,9	193
TOPLAM					2763,7	2607

(Tablo G.2 Devam ediyor)

	100			
	hcw1	hew1	mth1	mex1
	-			
09:00	0,5771	-3,1185	0,4	0
09:30	1,3382	8,0905	11,4	0
10:00	1,3557	9,1502	12,9	6
10:30	1,6787	12,3583	32,1	25
11:00	1,7795	13,9834	42,1	34
11:30	1,8207	16,0098	49,3	40
12:00	1,8731	18,2005	58,3	49
12:30	1,9848	20,6657	76,1	72
13:00	2,0364	23,0779	87,9	84
13:30	2,0952	26,1378	102,8	103
14:00	2,1938	29,0681	126,7	123
14:30	2,2310	31,3662	138,7	137
15:00	2,2860	33,8140	155,8	149
15:30	2,2818	34,8475	156,5	147
16:00	2,2359	34,6152	145,1	141
16:30	2,2278	33,2030	141	132
17:00	2,1842	29,6549	125,7	126
TOPLAM			1462,8	1368
	200			
	hcw1	hew1	mth1	mex1
	-			
09:00	0,5718	-2,8104	0,3	0
09:30	1,0766	5,7775	4,4	0
10:00	1,2069	6,8363	7,2	3
10:30	1,5729	10,1958	22,8	21
11:00	1,7660	12,4915	38,3	33
11:30	1,8034	13,5866	43,3	37
12:00	1,9155	17,1501	60,9	50
12:30	2,0392	20,1393	82,5	68
13:00	2,0878	22,9846	95,7	86
13:30	2,1373	26,6715	111,3	102
14:00	2,1696	28,5085	120,8	122
14:30	2,2508	30,9513	142,4	138
15:00	2,3000	33,6173	158,9	152
15:30	2,2900	35,5369	159,6	149
16:00	2,2708	37,6142	157,9	143
16:30	2,2121	34,1039	138,8	133
17:00	2,2220	32,7181	138,9	127
TOPLAM			1484	1364

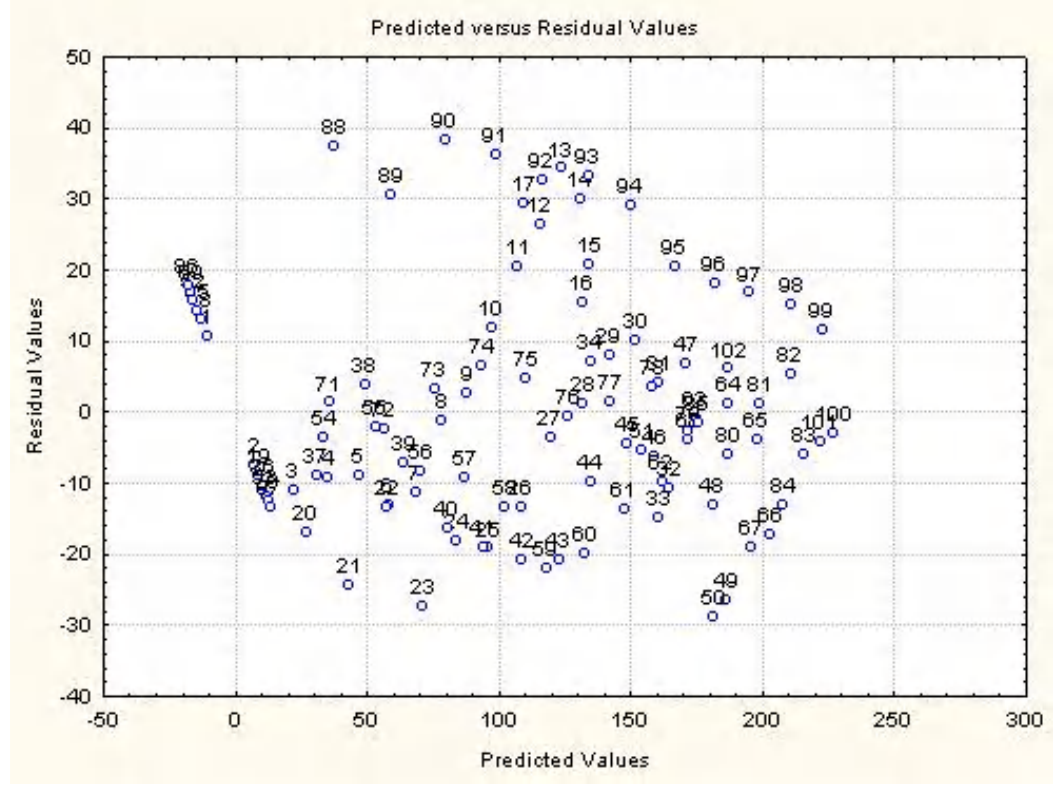
(Tablo G.2 Devam ediyor)

	300			
	hcw1	hew1	mth1	mex1
09:00	0,4589	2,5206	0,1	0
09:30	1,2188	7,5395	8	0
10:00	1,4306	9,8342	16,2	11
10:30	1,6950	12,6760	33,7	22
11:00	1,7639	13,6457	40,3	33
11:30	1,8095	15,9447	48,1	42
12:00	1,8555	17,6823	55,6	48
12:30	1,9748	19,9560	73,4	68
13:00	2,0249	22,8969	85,8	83
13:30	2,1515	25,8170	112,3	105
14:00	2,1976	27,4387	124,4	124
14:30	2,2687	29,8375	144,3	141
15:00	2,3030	31,3020	155,2	154
15:30	2,2900	32,8018	155	151
16:00	2,2831	32,8988	153,5	145
16:30	2,2198	31,1425	135,9	129
17:00	2,1993	29,5011	128,6	124
TOPLAM			1470,4	1380
	400			
	hcw1	hew1	mth1	mex1
09:00	-	-	-	-
09:00	0,7857	-4,3772	1,3	0
09:30	1,1219	7,0038	5,8	0
10:00	1,5239	10,3370	20,7	11
10:30	1,7070	12,7381	34,6	19
11:00	1,7751	13,7028	41,3	29
11:30	1,8318	16,0732	50,4	38
12:00	1,8882	17,8815	59,4	43
12:30	2,0234	20,2384	80,5	67
13:00	2,0926	23,3300	97,2	86
13:30	2,1515	25,8170	112,3	104
14:00	2,1796	27,3219	120,6	114
14:30	2,2601	29,7825	142,3	138
15:00	2,2772	31,1333	148,8	155
15:30	2,2538	32,5348	145,9	149
16:00	2,2558	32,6950	146,6	143
16:30	2,2565	31,4116	144,5	138
17:00	2,2342	30,2851	137,5	132
TOPLAM			1489,7	1366

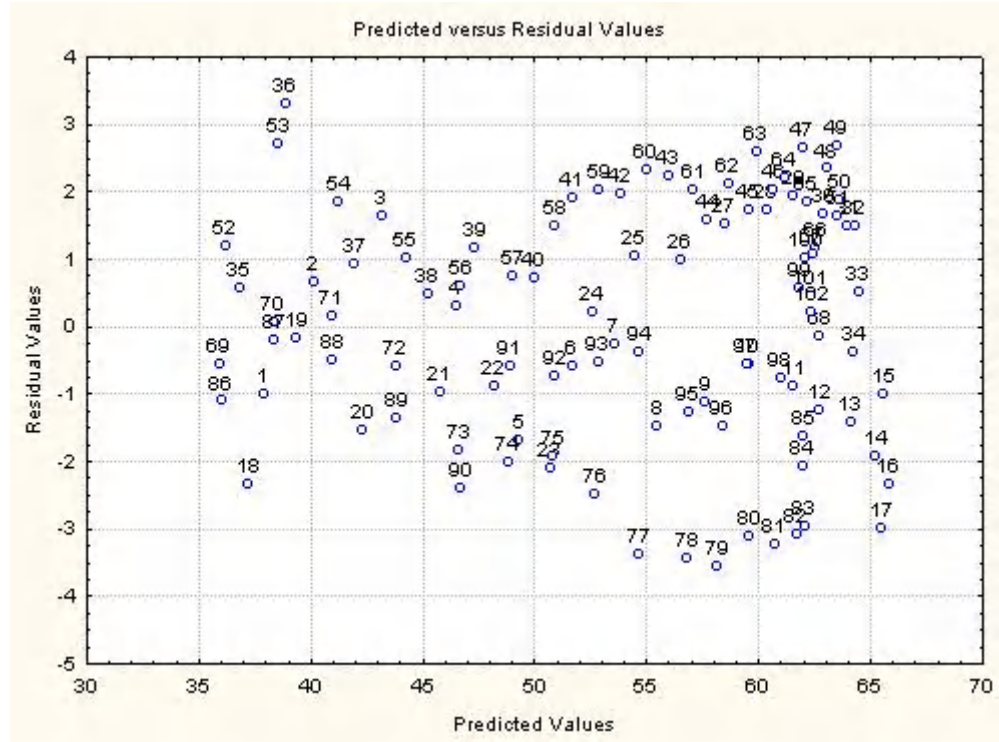
(Tablo G.2 Devam ediyor)

	500			
	hcw1	hew1	mth1	mex1
09:00	0,5723	2,8401	0,3	0
09:30	1,1564	6,3386	5,9	0
10:00	1,1874	6,9001	6,9	5
10:30	1,4487	9,1317	16,1	10
11:00	1,6490	11,2164	28,4	36
11:30	1,7575	13,2365	39,1	39
12:00	1,8175	15,1297	47,4	43
12:30	2,0084	18,0353	73,7	77
13:00	2,1146	20,8102	95,1	90
13:30	2,1926	23,5609	114,9	107
14:00	2,1908	25,1226	118,2	108
14:30	2,2561	27,6667	136,9	139
15:00	2,2735	29,5975	144,9	148
15:30	2,3158	31,0994	157,9	155
16:00	2,3023	31,8687	156,2	149
16:30	2,2840	31,0377	150,2	134
17:00	2,2434	28,4881	136	125
TOPLAM			1428,1	1365
	600			
	hcw1	hew1	mth1	mex1
09:00	0,4531	2,1903	0,1	0
09:30	1,3176	6,8920	9,7	0
10:00	1,5033	9,0932	18,2	14
10:30	1,8144	12,4668	41,9	35
11:00	1,8752	14,5179	51,5	45
11:30	1,8685	15,9048	53,6	52
12:00	1,9967	18,4008	73,1	66
12:30	2,0378	20,0388	82,1	77
13:00	2,0370	22,4632	86,8	86
13:30	2,1571	25,6191	112,9	104
14:00	2,2030	28,4848	127,5	116
14:30	2,2232	30,0726	134,7	128
15:00	2,2368	31,8321	140,8	133
15:30	2,2657	33,5073	150,4	136
16:00	2,2623	33,9295	150,3	131
16:30	2,2800	33,3198	153,5	126
17:00	2,2968	32,7033	156,4	120
TOPLAM			1543,5	1369

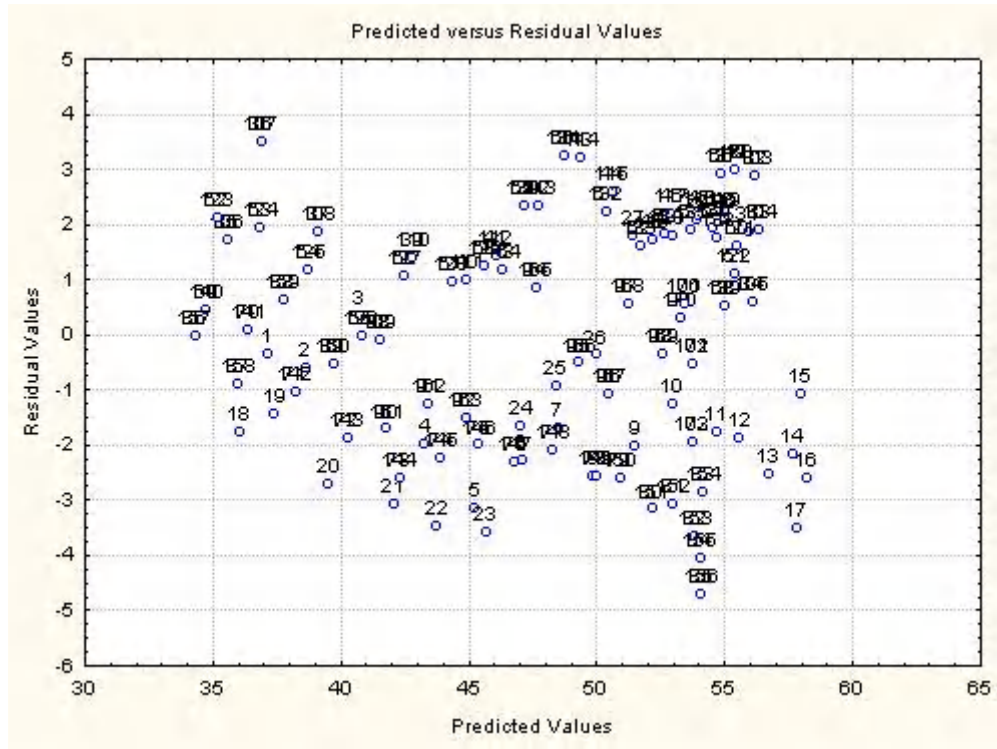
EK –H REGRESYON ANALİZİ SONUCU ELDE EDİLEN GRAFİKLER VE TABLOLAR



Şekil H.1 Üretkenlik analizi önerile-kalan grafiği



Şekil H.2 Su sıcaklığı analizi önerile-kalan grafiği



Şekil H.3 Cam sıcaklığı analizi önerile-kalan grafiği