

**TERMOELEKTRİK MODÜLLÜ İÇME SUYU
SOĞUTMA SİSTEMİNİN TASARIMI,
İMALATI VE DENEYSEL
İNCELENMESİ**

**2010
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ**

Mustafa ERCAN

**TERMOELEKTRİK MODÜLLÜ İÇME SUYU SOĞUTMA
SİSTEMİNİN TASARIMI, İMALATI VE
DENEYSEL İNCELENMESİ**

Mustafa ERCAN

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

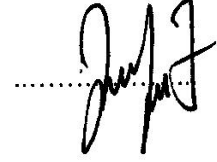
KARABÜK

Haziran 2010

Mustafa ERCAN tarafından hazırlanan “TERMOELEKTRİK MODÜLLÜ İÇME SUYU SOĞUTMA SİSTEMİNİN TASARIMI, İMALATI VE DENEYSEL İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Sezayi YILMAZ

Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 14/06/2010

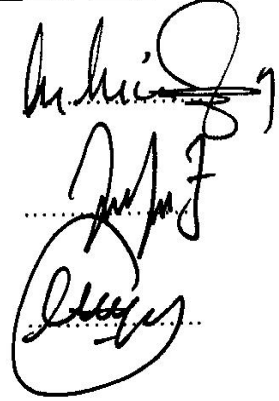
Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

Başkan : Prof. Dr. Hikmet DOĞAN (GÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Sezayi YILMAZ (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. İlhan CEYLAN (KBÜ)

İmzası



...../...../2010

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

Doç. Dr. Süleyman GÜNDÜZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



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

Mustafa ERCAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TERMOELEKTRİK MODÜLLÜ İÇME SUYU SOĞUTMA SİSTEMİNİN TASARIMI, İMALATI VE DENEYSEL İNCELENMESİ

Mustafa ERCAN

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Sezayi YILMAZ

Haziran 2010, 49 sayfa

Bu çalışmada termoelektrik modüller kullanılarak, 3 ℓ su deposu bulunan içme suyu soğutucusu tasarlanarak imal edilmiş ve deneysel olarak incelenmiştir. Soğutucu da kullanılan termoelektrik modüller Tec1-12706 serisi olup 4 adet modül kullanılmıştır. Modüllerin soğuk yüzeyleri doğrudan içme suyu ile temaslı hale getirilmiş olup, sıcak yüzeyden ısının atılmasında ısı ceketleri kullanılmıştır. Modüller birbirine paralel bağlanmış olup 12 Volt DC gerilim uygulanmıştır. Her bir modülün çektiği akım değerleri (4 A) ve sıcaklıklar ölçülmüştür. Deneysel sonuçta sistemin performansı %32 olarak belirlenmiştir. Depo içindeki 20 °C sıcaklığındaki 3 ℓ su 33 dakika içerisinde 13 °C' ye kadar düşürülmüştür.

Anahtar Sözcükler : Termoelektrik, soğutma, ısı değiştiriciler, sulu soğutma.

Bilim Kodu : 626.11.01

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

THE DESIGN, MANUFACTURING AND EXPERIMENTAL ANALYSIS OF DRINKING WATER COOLING SYSTEM WITH THERMOELECTRICAL MODULES

Mustafa ERCAN

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Education

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Sezayi YILMAZ

June 2010, 49 pages

In this study, water cooler which uses thermoelectrical modules and has 3 ℓ water chamber, is designed, manufactured, and analyzed experimentally. Thermoelectrical modules which are used in the cooler belong to Tec1-12706 serial the number of modules is 4. Cold surfaces of the modules are directly contacted to drinking water. Water jackets are used for discharging of heat from hot surfaces of modules. Modules are parallel connected to each other, and 12 V DC voltage is applied to them. The value of current and temperature for each module are measured. As a result of the experiments, the performance of the system is determined as %32. 3 ℓ water's temperature decreased from 20 °C to 13 °C in 33 minutes.

Key Words : Thermoelectric, cooling, heat exchangers, watery cooling.

Science Code : 626.11.01

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle alıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Sezayi YILMAZ' a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Yabancı makalelerin tercüme edilmesinde desteklerini esirgemeyen sevgili kardeőim Makine Mühendisi Mesut ERCAN' a, maddi ve manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için sevgili babam Hikmet ERCAN' a ve sevgili annem Zeliha ERCAN' a bütün kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
BÖLÜM 1.	1
GİRİŞ	1
1.1. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ.....	4
1.2. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI	5
BÖLÜM 2.	6
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	6
2.1. TERMOELEKTRİK MODÜL	14
2.1.1. Termoelektrik Modülde Meydana Gelen Isı Transferleri	16
2.2. TERMOELEKTRİK KURAMLAR	17
2.2.1. Joule Kanunu	17
2.2.2. Seebeck Etkisi	18
2.2.3. Peltier Etkisi	19
2.2.4. Thomson Etkisi.....	20
BÖLÜM 3.	22
MATERYAL VE METOD	22

	<u>Sayfa</u>
3.1. TERMOELEKTRİK MODÜLLÜ İÇME SUYU SOĞUTUCUSU	22
3.2. SİSTEMİN ELEMANLARI VE ÖZELLİKLERİ	23
3.2.1. Su Çanağı ve Damacana	23
3.2.2. Termoelektrik Modüller	23
3.2.3. Su Bloğu (Isı Ceketini).....	24
3.2.4. Su Deposu.....	25
3.2.5. Dranaj Haznesi.....	26
3.2.6. Sulu Soğutma Devresi ve Özellikleri.....	27
3.2.7. Elektrik Bağlantısı.....	28
3.3. TERMOELEKTRİKLİ İÇME SUYU SOĞUTUCUSU VERİM HESABI....	29
BÖLÜM 4.	31
DENEYLERİN SONUÇLARI VE TARTIŞMA	31
4.1. DENEY SİSTEMİ VE DENEYLERİN YAPILIŞI.....	31
4.2. DENEY SONUÇLARI.....	33
4.3. TARTIŞMA	35
BÖLÜM 5.	37
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	37
KAYNAKLAR.....	39
ÖZGEÇMİŞ.....	41
EK AÇIKLAMALAR A. SOĞUTUCUNUN BİTMİŞ RESİMLERİ.....	42
EK AÇIKLAMALAR B. SU SOĞUTUCUSU DENEY SONUÇLARI.....	45

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Termoelektrik modülün yapısı.....	14
Şekil 2.2. Termoelektrik modülün jeneratör olarak çalışması.....	16
Şekil 2.3. Termoelektrik modül yüzeylerinde oluşan ısı transferi.....	16
Şekil 2.4. Seebeck olayını açıklayan devre	18
Şekil 2.5. Peltier olayını açıklayan devre.....	19
Şekil 2.6. Thomson olayını açıklayan devre	20
Şekil 3.1. Termoelektrik modüllü su soğutucusunun kısımları.....	22
Şekil 3.2. Su sebili, su çanağı ve sebinin kapağı.....	23
Şekil 3.3. Termoelektrik modül katalog değerleri	24
Şekil 3.4. Termoelektrik modülün depo üzerindeki yerleşimi	24
Şekil 3.5. Depo ön, yan kesiti ve ölçüleri	25
Şekil 3.6. Bakır levhanın depo üzerindeki konumu.....	26
Şekil 3.7. Sulu soğutma devresi.....	27
Şekil 3.8. Elektrik bağlantı şeması	28
Şekil 4.1. Sıcaklık ölçümü yapılan noktalar.....	32
Şekil 4.2. Akım ve gerilim ölçümü	32
Şekil 4.3. Depo suyu sıcaklığı ve soğutma suyu sıcaklığı grafik eğrisi.....	34
Şekil 4.4. Enerji denge diyagramı.....	34
Şekil EK. A.1. Sulu soğutma devresi elemanları ve ısı değiştiricileri görüntüsü	43
Şekil EK. A.2. Termoelektrik modüllü içme suyu soğutucusunun arka görüntüsü ..	44
Şekil EK. A.3. Termoelektrik modüllü içme suyu soğutucusunun ön görüntüsü	44

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Sulu soğutma sisteminde kullanılan malzemeler	28
Çizelge EK B.1. Birinci deney sonuçları	46
Çizelge EK B.2. İkinci deney sonuçları.....	46
Çizelge EK B.3. Üçüncü deney sonuçları.....	47
Çizelge EK B.4. Dördüncü deney sonuçları	47
Çizelge EK B.5. Beşinci deney sonuçları	48
Çizelge EK B.6. Altıncı deney sonuçları.	48
Çizelge EK B.7. Aritmetik ortalama sonucu elde edilen değerler.....	49

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

V	: Gerilim (Volt)
ℓ	: Litre
I	: Akım (A)
D/D	: Devir/Dakika
P	: Güç (W)
PV	: Fotovoltaik
Q	: Isı (W)
ΔT	: Sıcaklık Farkı (T_2-T_1) (K, °C)
ΔV	: Potansiyel Farkı (V_2-V_1) (V)
η_{sistem}	: Sistemin Verimi
$\eta_{T,E}$: Termoelektrik Modülün Verimi
Q_C	: Çekilen Enerji (J)
Q_V	: Verilen Enerji (J)
Q_P	: Pompa Gücü (J)
Q_F	: Fan Gücü (J)
m	: Kütle (kg)
c_p	: Suyun Özgül ısısı (kJ/kg°C)
n	: Adet
α	: Seebeck Katsayısı ($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)
Q_j	: Joule Kaynaklı Isı Miktarı (W)
Q_P	: Peltier Kaynaklı Isı Miktarı (W)
Q_T	: Thomson Kaynaklı Isı Miktarı (W)
π	: Peltier Katsayısı
α_τ	: Thomson Olayında Meydana Gelen Termoelektrik Motor Kuvveti

KISALTMALAR

TE	: Termoelektrik Modül
TC	: Termoçift
DC	: Doğu Akım
AC	: Alternatif Akım
CFC	: Kloroflorokarbon
HCFC	: Hidrokloroflorokarbon
HFC	: Hidroflorokarbon
termoemk	: Termo Elektro Motor Kuvveti ($V/^{\circ}C$)
emk	: Elektro Motor Kuvveti (μV)
J	: Joule
S	: Seebeck
T	: Thomson
P	: Peltier
K	: Kondenser
T	: Soğutma suyu deposu
P	: Pompa
F	: Fan
C	: Isı değiştiricisi

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Bir maddenin veya bir ortamın sıcaklığını, onu çevreleyen hacim sıcaklığının altına indirmek ve orada muhafaza etmek için ısının ortamdaki çekilmesi işlemine “soğutma” denir. En eski ve en ilkel soğutma şekli soğuk bölgelerde doğanın meydana getirdiği buz kütlelerinin ve kar tabakalarının muhafaza edilip soğutulmak istenen mekana koyularak yapılan ısı çekme işlemidir. Buzu kullanarak yapılan soğutma yönteminden M.Ö. 1000 yıllarından 1880’ li yıllara kadar geniş ölçüde yararlanılmıştır. Mısırlıların, geceleri gökyüzünü görecekteki şekilde yerleştirilen toprak kap içindeki sıvıların soğutulabileceği tespit edilmiştir. Bu soğutma şekli, gökyüzünün karanlıktaki sıcaklığını mutlak sıfır (-273 °C) seviyesinde olmasından ve ışınım (radyasyon) yolu ile ısının gökyüzüne iletilmesinden yararlanılarak gerçekleştirilmektedir. Buz ve kar ile soğutma şeklinin zaman ve bulunduğu yer bakımından pratik ve ucuz soğutma sağlayamayacağı için mekanik araç ve cihazlarla soğutma üzerine araştırmalar yapılmaya başlanmıştır. 1775 yılında Dr. William Cullen eline eter sürdüğünde meydana gelen buharlaşma sonucu elinin serinlediğini hissederek ilk mekanik soğutmanın temelini atmıştır. Dr. William bu olaya dayanarak 1775 yılında vakum prensibine dayanan buz yapma makinesi imal etmiştir. Bu çalışmanın devamı olarak 1834 yılında Jakop PERKINS adında Amerikalı bir mühendis Londra’ da eter ile çalışan pistonlu soğutma makinesi tasarlamıştır. Bunun üzerine 1858’ de Fransız Ferdinand CARRE absorpsiyon sistemini bulmuştur. 1886’ da mühendis Windhausen CO₂ gazı ile çalışan soğutma sistemi yaparak -80 °C düşük sıcaklık elde etmiştir.

Bu araştırmalardan sonra soğutma endüstrisi hızla gelişerek;

- a-) 1910 yılında J.M. Larsen şirketi tarafından ilk küçük buzdolabı,
- b-) 1918 yılında Kelvinatör şirketi tarafından ilk otomatik buzdolabı,

- c-) 1930 yılında R-12 gazı bulunarak CFC soğutucusu,
- d-) 1935 yılında R-22 soğutucu akışkanı bulunarak HCFC kökenli akışkan,
- e-) 1989 yılında R-134 A ve R-123 soğutucu akışkanları bulunarak HFC kökenli ,
- f-) 1990 yılında R-22 ve R-502 yerine kullanılmak üzere ikili ve üçlü alternatif soğutucu akışkan bulunmuştur.

Soğutma endüstrisinin gelişmesine paralel olarak çeşitli soğutma sistemleri de gelişmektedir. Bu sistemleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- a-) Buhar sıkıştırmalı soğutma sistemleri,
- b-) Absorbsiyonlu soğutma sistemleri,
- c-) Sterling soğutma sistemleri,
- d-) Ejektör soğutma sistemleri,
- e-) Hava soğutma sistemleri,
- f-) Vorteks tüpü ile soğutma sistemi,
- g-) Paramagnetik soğutma sistemi,
- h-) Termoakustik soğutma sistemi,
- ı-) Termoelektrik soğutma sistemi.

Soğutmanın günümüzde çok önemli bir yeri olduğu aşikardır. Evlerde ve işyerlerinde kullanılan buzdolapları gıdaların bozulmadan saklanmasında, klima cihazlarının ortamı soğutmada, soğuk hava depolarının marketlerde kullanılması, chiller soğutma cihazlarının fabrikalarda üretimde kullanılması, bilgisayarlarda fanlı soğutmanın kullanılması, ameliyat odalarının soğutulması; soğutmanın hayatımızda ne kadar yaşamsal bir önemi olduğunu göstermektedir. Bununla beraber günlük yaşantıda kullanılan içme sularının bilhassa yaz aylarında soğutulmaya ihtiyaç duyulması su soğutmasının da önemini göstermektedir. Mısırlılar geceleri gökyüzünü görecektir şekilde yerleştirilen toprak kap içindeki sıvıların soğutulabileceğini tespit etmişlerdir. Bu yöntem ilk defa bir su soğutmasına örnek teşkil etmektedir. Teknolojik çalışmalar geliştikçe buhar sıkıştırmalı soğutma sistemi bulunduktan sonra, içme sularının pratik olarak soğutulması için su sebili denen soğutma cihazları üretilmeye başlanmıştır. Bu cihaz; kompresör, yoğuşturucu (kondenser), fan, kurutucu (drayer), kılcal boru ve buharlaştırıcı (evaporatör) kısımlarından oluşmaktadır.

Bu cihazdaki buharlaştırıcı (evaporatör) sacdan yapılmış bir depo etrafına sarılan sarmal bakır borulardan oluşmaktadır. Depo içine giren su kademeli olarak dolaşarak akmaktadır. Soğutucu akışkan, borular içinde depo etrafında dönüp, depo içinde dolaşan sudan ısı çekerek soğutma işlemini gerçekleştirmektedir. Bu cihazlar soğutmanın yanı sıra ısıtma işlemi de yapmaktadır. Isıtma işlemi rezistans sayesinde yapılır. Bu cihazlar fabrikada, ofiste, evde kullanılmak üzere her mekana konulabilirler. Su soğutucuları kendi imal tiplerine göre 2 litreden, 65 litreye kadar soğutma tankı hacmine sahiptir. Boyutları kullanılan mekana göre farklılık gösterir. Soğuk su ihtiyacı yüksek olan fabrika, yemekhane gibi yerlerde 65 litrelik su sebilleri, ofis, ev ve büro gibi soğuk su ihtiyacı az olan yerlerde ise 2 litrelik su sebilleri kullanılır. Son yıllarda yeni üretilen cihazlarda çevreye zararsız R-134a gazı kullanılmaktadır. Saatte 2 litre soğuk su üretme kapasitelerine sahip ve +4 °C' ye kadar soğutma sağlayabilirler. Soğutmada tükettikleri elektrik güç ise en az 95 W, en fazla 300 W olarak değişmektedir. Su soğutucuları kendi aralarında kullanma yerlerine ve imal usullerine göre kendi aralarında fabrika tipi, büro tipi, endüstriyel tip olarak ayrılmaktadır. İçme suyu soğutma cihazlarının evsel kullanımında son zamanlarda piyasada su sebilli buzdolapları da yaygınlaşmıştır. Su sebilinin dolap bünyesine yerleştirilmesinden meydana gelen çok amaçlı buzdolapları içme suyu soğutmasında yüksek performansta kullanılabilirler.

Teknolojik çalışmaların gelişmesiyle insanlık portatif, taşınabilir, pratik ve sessiz cihazlara gereksinim duymaktadır. Bu anlamda bilgisayar örneğini ele almak gerekirse; bilgisayar ilk piyasaya çıktığı yıllarda son derece hantal, kaba, yavaş çalışan bir cihazdı. Teknolojinin gelişmesiyle boyutları küçüldü ama yaptığı işlem ve hızı artırıldı. Son yıllarda artık neredeyse cebe sığacak dizüstü bilgisayarlar geliştirildi. Soğutma sektörü de teknolojinin gelişmesinden yararlanarak insanlık konforunu yükseltecek şekilde değişimler göstermiştir. Mini araç soğutucuları, taşınabilir organ nakil dolapları, elbise soğutucusu, kask soğutucusu, otomobil koltuk soğutucuları, vücut ısısını düşüren soğutucular, taşınabilir soğutucu dolapları örnekler arasında yer almaktadır. Su soğutma cihazları bu gelişmeler karşısında biraz geride kalmış gürültülü ve hantal çalışan su sebilleri kullanılmaya devam edilmiştir.

Su sebillerinin gürültülü çalışması, boyutlarının büyük olması, gaz salınımıyla ozon tabakasına zarar vermesi ve arıza halinde onarımı zor ve maliyeti yüksek olduğu için bu tez çalışmasında termoelektrik modüllü içme suyu soğutucusu tasarlanarak imal edilmiştir. Tasarlanarak imal edilen içme suyu soğutucusu deneysel olarak analiz edilmiştir.

1.1. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ

İnsan vücudunda bütün temel fonksiyonlar su ile gerçekleşmektedir. Vücudun; çocuklarda %70, yetişkinlerde %60, yaşlılarda %50' si sudan oluşmaktadır. İnsan vücudundaki suyun %20 oranında azalması insan hayatının sona ermesine neden olmaktadır. Suyun insan yaşamı açısından; besinlerin sindirilmesi, toksinlerin vücuttan dışarı atılması, ısı dengesinin düzenlenmesi, kan akışkanlığının sağlanması, böbreklerin düzgün çalışmasının sağlanması, kolay nefes almanın sağlanması gibi önemli işlevleri vardır. Yetişkin bir insanın sağlıklı şekilde yaşamını sürdürebilmesi için günlük kaybettiği su miktarı kadar 2,5-3 litre su tüketmesi gerekir. İçme suyunun tüketiminin artması içinde suyun fiziksel özelliklerinin belli standartlarda olması gerekir [1]. Bu özellikler suyun tadı, kokusu, rengi, sıcaklığı ve yumuşaklığıdır. İçme suyunun ağızda belli bir tat bırakması ve lezzet vermesi için su sıcaklığının belli aralıklarda olması gerekir. TSE standartlarına göre bu değer en az 12 °C sıcaklıkta olması gerekmektedir [2].

Suyun soğuk mekanlarda saklanarak soğutulması eskiden bu yana süregelen bir alışkanlıktır. Fakat iklimsel koşulların değişmesi, kışların daha ılıman geçmesi ve pratik içme suyu soğutucu cihazların üretilmesiyle bu tip soğutma şekilleri geçerliliğini yitirmiştir. Artık; su soğutma cihazları ya da buzdolapları bu ihtiyacı karşılamaktadır. Buzdolaplarında su soğutması esnasında içeriye giren havanın kokusu ve fiziksel özellikleri nedeniyle, sağlıklı ve hijyenik bir soğutma yapamamaktadır. Soğutulan su kokulu olmakta ve tadında bozukluk meydana gelmektedir. Bundan dolayı su soğutma ihtiyacının karşılanması su soğutucu sebiller vasıtasıyla yapılması sıhhi yönden avantaj sağlamaktadır.

Piyasada yaygın olarak kullanılan su sebilleri kompresör, yoğuşturucu (kondenser), buharlaştırıcı (evaporatör), kurutucu (drayer), kılcal boru elemanlarından oluşmaktadır. Sistemdeki bu elemanlar su soğutucusuna hantal, kaba ve gürültülü çalışma özelliği katmaktadır. Kompresör veya diğer elemanlarda meydana gelebilecek en ufak arızanın giderilmesi kolay olmamaktadır. Sorunun giderilmesi için servis maliyeti, onarım maliyeti ve servis süresi hesaba katılınca bu cihazların çokta konforlu olmadığı meydana çıkmaktadır.

Bu kusurları ortadan kaldırmak amacıyla, 4 adet termoelektrik modülleri 3 litrelik soğutma deposu etrafına yerleştirilerek termoelektrik modüllü içme suyu soğutucusu tasarlanmıştır. Tasarlanan bu soğutucu ile kompresörsüz olduğu için sessiz çalışan, sistemdeki elemanların kolay imal edilebildiği için üretimi kolay olan, atık gazlar ile çevreye zarar vermeyen, termoelektrik modülden başka bozulabilir herhangi bir elemanı olmayan portatif bir su soğutucusu imal edilmiştir.

1.2. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI

Termoelektrik modüllerin soğutma özelliğinden yararlanarak, 3 litre su deposuna sahip ofis tipi su soğutucusu tasarlanıp imal edilmesi çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Tasarlanan su soğutucusu sessiz, pratik, karışık düzenden arındırılmış sade bir su soğutucusu olma özelliği taşımaktadır. Bu sistemde bir işyeri veya evde 4 kişilik bir ailenin soğuk içme suyu ihtiyacını karşılayacak su sebili tasarlanmıştır. Sebil 20 °C sıcaklıktaki suyu 12 °C' ye kadar soğutacaktır. Su soğutucusunun piyasada başka bir örneği olmamakla birlikte, diğer su sebillerine alternatif olma özelliğindedir.

Soğuk su ihtiyacı kişi başına günlük 3 litre olduğu düşünülürse ortalama 4 kişilik bir aile için 12 litrelik bir su kapasitesi ihtiyacı ortaya çıkar. Günde, cihazın bu kapasiteyi 4 defada soğutması düşünülmektedir. Dolayısıyla soğutucu depo kapasitesi 3 litre alınmıştır. Çalışma içme suyu soğutucusunun atölye ortamında imal edilip, deneysel sonuçlarının alınmasını ve bu sonuçlara göre sistem veriminin hesabını, sistem içindeki termoelektrik modüllerin soğutma veriminin hesabını kapsamaktadır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Usta ve Kırmacı (2002), bu çalışmalarında termoelektrik modülün etkilerini teorik olarak inceleyip ve termoelektrik soğutma etkisinin kullanımının yaygınlaştırılmasına yönelik deneysel çalışma yapmışlardır. Yapılan deneysel çalışmada 40 x 40 mm ve 4 mm kalınlığında bir termoelektrik modül kullanılmıştır. Bu modül boyutları 50 x 60 x 50 mm olan ve dış ortamla yalıtılmış kutuya alttan yerleştirilmiştir. Modüllerin ısınan yüzeylerini fan ile soğutmaya çalışmışlardır. Kutu içerisine 125 g su doldurulmuş, suyun soğutulması gözlenerek soğutma etkinliği ve akım ile volt arasındaki ilişki incelenmiştir. Prototip olarak tasarlanan termoelektrik soğutma sistemi için uygun akım olan optimum akım bulunmuştur. Fazla akım verilmesiyle termoelektrik modül bir ısıtıcı rezistans gibi çalıştığı görülmüştür. Termoelektrik soğutma, soğutma süreci boyunca hareketli parçaların olmaması nedeni ile geleneksel buhar sıkıştırımlı kompresörlü soğutuculardan daha sessiz çalışmaktadır. Ayrıca termoelektrik modül de açığa çıkan ısının sıcak yüzeyden, iyi bir ısı uzaklaştırıcı veya devre oluşturulup uzaklaştırılırsa, soğuk yüzey sıcaklığı daha düşük sıcaklığa ulaşacağı görülmüştür. Sonuç olarak 125 g su 12 dakika içinde 18 °C' den 6 °C' ye kadar soğutulmuştur. Soğutma sisteminin COP' si düşük olduğu ancak elektrik enerjisinin kolay sağlandığı ortamlarda kullanımı uygun olduğu elde edilmiştir [3]. Bu çalışmaya benzer bir çalışma yapan Yavuz vd. (2010), bu çalışmasında 1,5 litre hacmindeki hazne içerisine 1 kg su doldurup, 40 x 40 x 3,8 mm boyutunda termoelektrik modül vasıtasıyla soğutma yapmışlardır. Modülün diğer yüzeyindeki kanatçıkları üç farklı hava debisi ile soğutularak sistem performansına etkisi incelemiştir. Su 1 saat içinde 25 °C' den 12 °C' ye kadar soğutulmuştur. Yüksek hava debisi, modülün performansını arttırmasına rağmen daha fazla fan gücü harcanmasına neden olduğundan sistemin toplam performansını düşürdüğü anlaşılmıştır. Termoelektrik modüllü sistemlerin soğutulması için sisteme hava veya su sağlayan pompa ve fan gibi akışkan sirkülasyon elemanlarının gereğinden fazla

güçlerde seçilmesi sistemin enerji tüketimini artırdığı ve artan enerji tüketiminin belirli bir değeri aşması da sistem performansının düşmesine sebep olduğu tespit edilmiştir [4].

Dişlitaş ve Ahıska (2003), bu çalışmasında yenilenebilir enerji kaynaklarından jeotermal enerjiyi doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren termoelektrik jeneratör kullanarak sistem test etmiş ve performans analizi yapmıştır. Termoelektrik modüllerin yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı jeotermal ve soğuk su akışıyla elde edilmiştir. Jeneratörle sıcaklık farkına bağlı olarak değişen DC gerilim elde edildiğinden, elektrik enerjisinin istenen DC ve AC değerlerinde alınabilmesi amacıyla sistemde akü, regüle devresi ve DC/AC dönüştürücü kullanılmıştır. Sistemin jeotermal su girişinde kullanılan selonoid valf ile termoelektrik modüllerin ısıtılan yüzeylerinin sıcaklık kontrolü sağlanmıştır. Tasarımda mikrodenetleyici kullanılarak sistemin kontrol sinyalleri düzenlenmiştir. Laboratuvar şartlarında termoelektrik jeneratörün yüklü ve yüksüz testleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar sistemin kullanılabilirliğini göstermiştir [5]. Atık ve Gür (2009), bu çalışmalarında güneş enerjisinden yararlanarak yoğunlaştırılmalı güneş enerjisi sistemi ve termoelektrik (TE) jeneratör kullanarak elektrik üretimi yapmışlardır. Güneş enerjisinden yüksek sıcaklık elde etmek amacıyla aynalarla odaklama yapılarak ışınım şiddeti yoğunlaştırılmıştır. TE modüllerin bir yüzeyi yoğunlaştırılan ışınım ile ısıtılmakta, diğer yüzeyi ise doğal sirkülasyonla dolaşan su tarafından soğutulmaktadır. Dört adet aynı tip TE modülün seri olarak bağlandığı sistemde üretilen elektriğin devreye bağlanan bir dış direnç üzerindeki gerilimi ölçülerek güç değeri hesaplanmıştır. Sonuç olarak yapılan sistemle, havanın çok açık olmadığı; yani ışınım şiddetinin düşük olduğu günde yapılan ölçümlerde elde edilen verim değerleri % 1,043 olarak hesaplanmıştır. Bu değer güneş pillerinin veriminden düşük olmasına rağmen ümit vericidir. Sıcak yüzeyin ısı kaybının önlenmesi, güneş takip sistemi eklenmesi, soğuk yüzeyin daha iyi soğutulması, daha büyük aynalar ve yoğunlaştırma oranı kullanılması gibi yapılacak bazı iyileştirmelerle bu verimin daha da arttırılabileceği kanısına varılmış oldu [6].

Aruğaslan (2008) ise, bu projesinde prototip modülün elektriksel doğru akım güç kaynağı peltier element tarafından, Peltier ve Seebeck etkileri sayesinde iki farklı

metal farklı sıcaklıklara tabi tutarak sıcaklık farkı ile bir gerilim üretmiştir. Termoelektrik modül ile sıcaklık farkıyla gerilim elde edilerek, kapasitif ısı duyargası ve alıcı-verici ile, sıcaklık duyumunun kablosuz olarak taşınımını hedeflemiştir. Modülde yüksek sıcaklık duyumu hedeflenmesi sebebiyle eşik değeri, peltier elementin verileri doğrultusunda seçilmiştir. Modülü çalıştıracak potansiyel enerji için en az sıcaklık farkına ulaşması gerekmektedir. Bugüne kadar yapılan sıcaklık duyum devrelerinde sıcaklık ölçümü kablolu olarak gerçekleştirilmiştir. Projede sıcaklık farkının peltier element kullanılarak elektriksel enerjiye dönüştürülmesi ve bu enerji ile modülün kablosuz olarak çalıştırılması amaçlanmıştır. Devrenin DC beslemesi peltier element tarafından sağlanmaktadır. Kurulmuş olan basit deneysel düzenekler sayesinde peltier elementin sıcaklık farklılıklarına karşılık gelen elektriksel performansı gözlemlenmiştir [7].

Astrain et al. (2003), yaptıkları çalışmada termoelektrik soğutmada peltierin sıcak yüzeyinden çıkan ısının dağıtımını için faz farklı termosifon prensibine dayanan bir cihaz hazırlamışlardır. Cihaz yarı deneysel formüllere ve akışkanlar mekaniği modellemesine dayanarak yapılan analitik hesaplamalar sonucu tasarlanmıştır. Deneysel en iyileme safhasında $0,110 \text{ m}^2\text{K/W}$ lık ısı direncine sahip olan ve $40 \times 40 \text{ mm}$ lik peltierin ısını dağıtan, ısı direncinde %36' lık iyileşmeye sahip olan bir termosifon prototipi oluşturulmuştur. Bu konvensiyonel kanatçıklı ısı dağıtıcısına sahip prototipin yorumlanmasında, faz değişkenli termosifon kullanılmasının COP' yi %32' lere kadar arttırdığı deneysel olarak kanıtlanmıştır. Sonuç olarak bu faz değişkenli termosifonlar peltierin sıcak yüzeyi ile çevre arasındaki ısı direncini ticari kanatçıklı ısı alıcısına göre 293 K çevre sıcaklığında % 23,8, 308 K çevre sıcaklığında ise % 51,4 düşürmüştür; en iyileştirilmiş kanatçıklı ısı alıcısına göre 293 K' de %13,8, 308 K' de %45 düşürmüştür. Termoelektrik soğutucudaki faz değişkenli bir termosifonun COP' yi 293 K' de % 26, 303 K' de % 36,5 arttırdığı deneysel olarak kanıtlanmıştır [8].

Chung et al. (2003), yaptıkları projede alan emisyonu geliştirilmiş termoelektrik tipli soğutucu tasarlamış ve teorik olarak analizini etmişlerdir. Soğuk kaynaktan sıcak kaynağa “n” ve “p” tipi taşıyıcılarla enerji taşınımını sağlamak için elektriksel alan ve ayarlanmış akım kullanan termoelektrik soğutucu cihazı tasarlamışlardır. Bu cihaz

standart “n” ve “p” kanallı katı hal termoelektrik soğutucuları ile iki elemanlı alan emisyon cihazının katı hal ısısız iletimini ortadan kaldırmak için her iki kanalın içine yerleştirilmesi ile imal edilmiştir. Sonuç olarak bu cihaz bir soğutucu için kompakt, güvenilirlik, uzun ömür, düşük maliyet, düşük güç tüketimi ve düşük bakım maliyeti gerekliliklerini tatmin ettiği anlaşılmıştır [9].

Riffat and Ma (2003), yaptıkları çalışmada termoelektrik cihazların temel bilgilerini vermiş ve bu uygulama alanlarını gözden geçirmişlerdir. Bu termoelektrik cihazların uygulamalardaki beklentilerini ayrıca ele almışlardır. Küçük kapasiteli termoelektrik soğutucu uygulamaları en yaygın olan kullanım alanlarıdır. Fakat, yüksek kapasiteli termoelektrik soğutucuları ve güç üreticileri uygulamaları düşük verimlilik yüzünden kısıtlanmıştır. Buna rağmen, enerji maliyetleri ve üretim ile CFC salınımı konusundaki çevresel ayarlamalar bu alana olan ilgiyi yeniden canlandırmıştır [10]. Bulut ise (2005), yaptığı çalışmasında Riffat and Ma çalışmasına benzeyen termoelektrik soğutma teorisi, uygulama alanları, tasarım ve seçiminde etkili olan elektriksel ve ısıl parametreler hakkında bilgi vermiştir. Sonuç olarak Termoelektrik cihazlar güç üretimi ve soğutma uygulamalarında kullanılmaktadır. Termoelektrik soğutucular askeri ve uzay çalışmalarında, hassas ölçüm aletlerinde, tıbbi, endüstriyel ve ticari cihazlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Büyük soğutma yüklerinde kullanılmamaları, düşük COP değerleri ve göreceli yüksek maliyetleri temel dezavantajları olarak durmaktadır. Ancak, yakın gelecekte, evsel uygulamalar için ısı pompası ve iklimlendirme amaçlı termoelektrik soğutma sistemlerinin pazarda rekabete gireceği tahmin edilmektedir [11]. Yalçınkaya (2008) ise çalışmasında peltier yarı iletken malzemesinin teknik karakteristiklerini inceleyerek ısıtma ve soğutma ile beraber, elektrik üretim yöntemlerini belirlemek, en verimli çalışma modlarının ve kullanım alanlarının tespitini sağlamak amacıyla bir çalışma yapmıştır. Peltier malzemesinin ısınan ve soğuyan yüzeylerdeki sıcaklık değerlerinin girişe uygulanan gerilimin oranına, malzemenin boyutlarına, kullanım alanlarına, dış faktörlere göre kapasite değişimi inceleyerek tasarım şartlarını oluşturmuştur [12]. İnan vd. (2005), geliştirdikleri ısı iletim katsayısı cihazı ile ısı konusundaki uygulamalı fizik deneylerinin laboratuvar ortamında yapılmasını amaçlamışlardır. Cihaz çeşitli ısı yalıtım, yapı, kaplama malzemeleri ve özellikle tuğla kiremit vb. cisimlerin ısı katsayısının ölçülmesine yönelik endüstriyel değer taşımaktadır. Katı

cisimlerin ısı iletim katsayısının hesaplanmasında, peltierin ısıtma özelliği ve soğutma özelliği kullanılarak, ısı iletim katsayısı ölçümü yapılacak, katının cisim yüzeyi ısıtılır. Cismin diğer yüzünden yapılan deneysel ölçüm sonuçlarına göre, ısı iletim katsayısı tespit edilir. Cihaz; donanım ve yazılım olmak üzere iki bölümden oluşur. Donanım; cam yünü ile izole edilen bir kutu, peltier termo soğutucu, sürücü devreleri, kontrol ve ölçüm sistemlerinden oluşur. Cihaz özellikle 30-120 °C ölçüm aralığı içinde tuğla, kiremit, vb. katı cisimlerin ısı iletim katsayılarını ölçmek için kullanılabilir. Cihazın üretiminin mümkün olması ve maliyetinin düşük olması en büyük avantajıdır [13].

Atik ve Çakır (2006), yaptıkları çalışmada elektrik enerjisinin bulunmadığı yerlerde soğutma yapabilmek için elektrik enerjisi ihtiyacını güneş pilinden alan termoelektrik soğutucu imal etmişlerdir. Dış ölçüleri 29 x 29 x 29 cm ebatlarında olan kabinin ısı kazancını karşılayan termoelektrik modül ve termoelektrik modülün elektrik enerjisi ihtiyacını sağlayabilen güneş pilli sistem (fotovoltaik) seçimi yapılmıştır. Yapılan sistem farklı dış şartlarda deneysel olarak çalıştırılmış rejim haline gelmesi gözlemlenmiştir. Termoelektrik soğutucunun soğutma tesir katsayısı (STK) ve güneş pilinin verimini bulmak için; kabin iç ve dış sıcaklıkları, termoelektrik modülün sıcak ve soğuk yüzey sıcaklıkları, güneş pilinden çekilen akım ve gerilim ile güneş ışınım şiddeti değerleri ölçülmüştür. Yapılan deneylerde; 17,80 °C dış sıcaklık ve 775 W/m² ışınım şiddetinde kabin içi sıcaklık 4,90 °C' ye kadar düştüğü görülmüştür. Termoelektrik soğutucu için STK 0,90 ve güneş pilinin verimi ise % 10 dolaylarında olmuştur. Sistem maliyeti oldukça yüksektir. Burada en büyük payı enerji maliyeti, yani güneş pili almaktadır. Bu sistem şebeke geriliminin olmadığı yerler için uygundur. Ayrıca Türkiye' de yaygın olmayan güneş pilleri ve termoelektrik soğutma için örnek bir uygulamadır [14].

Yılmaz (2008) ise yaptığı çalışmasında 3,5 l iç hacme sahip bir soğutucu haznesini TEC1-12706 termoelektrik modül ile soğutmuştur. Bunun için gerekli olan elektrik enerjisini şebekeden sağlamaktadır. Termoelektrik modülün sıcak yüzeyinden ısının atılmasında hava ve su soğutmalı olmak üzere farklı iki yöntem uygulamıştır. Her iki yöntemde de modüle farklı gerilim değerleri uygulayarak ortam, soğutucu iç sıcaklıkları ve modülün çektiği akım değerleri ölçülmüştür. Sonuçlardan sistemlerin

verimleri hesaplanarak mukayese edilmiştir. 8 Volt gerilim uygulamasında, hava ile soğutmada, soğutucu iç sıcaklığı 6 °C, su ceketli soğutmada 1 °C, sistem verimleri sırasıyla %36 ve %30 olarak belirlenmiştir. 12 Volt gerilim uygulamasında ise soğutucu iç sıcaklıkları, 3,6 °C ve -1,5 °C ve verimleri de %31 ve %21 olarak bulunmuştur. Sonuç olarak, her iki sistemde de gerilim değeri arttıkça, termoelektrik modüllerin çektiği akım değerleri ve soğutma gücü artmakta, kabin sıcaklıkları ve verim değerleri ise düşmektedir. 8 Voltluk gerilim değerinde hava soğutmalı modül uygulamasında sistem verimi %36 olarak, aynı gerilim değerinde su soğutmalı modül de ise %30 olarak hesaplanmıştır. Gerilim değeri 12 Volta çıkartıldığında sistem verim değerleri ise sırasıyla %31 ve %21 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak termoelektrik soğutmalı kabinde, modüllerin yüzey soğutulmasında kullanılan hava ve su soğutma uygulamaları karşılaştırıldığında, su soğutmalı sistem daha fazla soğutma gücü üreterek kabin sıcaklığını -1,5 °C kadar düşürmüştür. Ancak, sistemin verimi hava soğutmalı sisteme göre daha düşüktür. Bunun birinci nedeni soğutma gücünün artmasından dolayı akım değerinin yükselmesi, ikinci nedeni ise su soğutma uygulamasında kullanılan su pompasının çektiği akım değerinin, hava fanının çektiği akım değerinden yaklaşık 15 kat daha büyük olması olarak yorumlanmıştır. Öneri olarak, soğutma kabini uygulamalarında düşük sıcaklık değerleri isteniyorsa modüller su ile soğutulmalıdır. Ancak su dolaşım pompasının akım değerleri düşürülmelidir. Bunu düşürmenin yolu su debisini azaltmakla mümkündür. Su debisi azaltıldığında ise su sıcaklığı yükselecektir. Su dolaşım hattı üzerine mini bir soğutma kulesi uygulaması yapılarak bu sorun da ortadan kaldırılabilir [15]. Min ve Rowe (2006) yaptıkları benzer çalışmada, belirli sayıda termoelektrik soğutucu prototiplerini incelemiş ve soğutma performanslarını (COP), ısı pompalama kapasitesini hesaplamıştır. Termoelektrik soğutucunun performans katsayısı tipik çalışma sıcaklığı olan 5 °C' de ve çevre sıcaklığı olan 25 °C' de 0,3-0,5 değerleri arasında bulunmuştur. Termoelektrik soğutucunun soğutma performansındaki potansiyel iyileştirme oranı bir soğutucu modelinin çalıştırılmasıyla ve deneysel dataların alınmasıyla incelenmiştir. Sonuç olarak, performans katsayısında (COP) yükselme olmasının ısı dönüştürücülerinin ısısal ara yüzlerindeki, verimliliğindeki ve modül temas dirençlerindeki iyileştirmeye bağlı olarak mümkün olduğunu göstermiştir. Bu çalışmanın sonucunda; öncelikle DC 12 Volt ve ayarlanabilir akım uygulanarak sıcak ve soğuk yüzeylerde termokupl aracılığıyla ölçülen sıcaklık

değerlerinin ve zamana göre değişimi incelenmiştir. Uygulanan akım şiddeti arttıkça modül yüzeylerinde sıcaklık farkı da artmaktadır. Uygulanan gerilim ise sıcaklık dağılımında ikinci etken olmaktadır. Burada termoelektrik modüllerin her iki kenarındaki sıcaklık farkının artması sıcak yüzeyden alınan ısının o bölgeyi kısa sürede terk etmesine bağlı olmaktadır. Bu amaçla sıcak kenar tarafına ısı aktarımını hızlandırmak için fan konmuştur. Kısa süreli dahi olsa fanların durması sıcaklık artışını hızlandırmakta dolayısıyla modüller için bu durum tehlikeli olmaktadır. Gerilimin birden kesilmesi durumunda soğuk kenar sıcaklığı hızla sıcak kenardan aktarılan ısıyla dengeye gelmektedir. Termoçiftlerin (TC) çalışma prensiplerine uygun olarak TE modüller de, aynen TC elemanları gibi, sıcaklık farkından gerilim üretebilirler. Modül sıcak yüzeyinin bir ısı kaynağıyla irtibatlandırılması ve soğuk yüzeyinin de ortam ısısında tutulması ile gerilim kaynağı olarak kullanılabilir [16].

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından belirlenen standartlarına göre kanın saklanacağı koşullar 2 °C ile 10 °C arasında olması gerekmektedir. Ahıska vd. (2008), yaptıkları çalışmalarında bu standartlara uygun olarak ısıtma ve soğutma yapabilen mikro denetleyici kontrollü taşınabilir termoelektrik tıp kiti cihazının elektronik kontrol devrelerini geliştirmişlerdir. Cihazın iç sıcaklık kontrolü iki farklı yöntemle yapılmış ve kontrol sonuçları karşılaştırılmıştır. Birinci yöntemde analog duyargalı, ikinci yöntemde ise dijital duyargalı devre kullanılarak cihazın sıcaklık kontrolü gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırma sonuçlarına göre Dijital Sıcaklık Duyargalı (Sensörlü) Kontrol Sistemi (DSSKS) ile yapılan soğutma ve ısıtma işleminin daha fazla enerji tasarrufu sağladığı görülmektedir [17].

Yavuz ve Yılmaz (2008), yapmış oldukları çalışma tasarımı ve prototip imalatı, gerçekleştirilen kondenzasyonlu kurutma sistemi termoelektrik modüllü nem yoğunlaştırıcı sistem olup bu sistemin genel avantajı kurutma işleminde çevrim havasının egzoz havası olarak dışarı atılmadan neminin yoğunlaştırılarak tekrar çevrime dahil edilmesi esasına dayanır. Bu yöntem ile asıl amaçlanan enerji tasarrufudur. Ayrıca kurutma periyotlarındaki parametrelerin istenen aralıklarla kontrol edilebileceği görülmüş oldu. Kurutma işleminin kontrolü için uygun ölçme kontrol ve yazılım programları bilgisayar ile sistematik otomatik kontrolü sağlanmış

oldu. Kurutma esnasındaki nem ve sıcaklık değişimleri, kurutulacak numunenin ağırlık değişimleri gibi sayısal veriler bilgisayar ekranında izlenmiş ve değişken değerlere göre sistem bilgisayar kontrollü olarak çalıştırılmıştır. Deneyler sonucunda 32 °C ve % 90 bağıl nemli kurutma havasından, termoelektrik modüllerle yapılan nem çekme uygulamasında, 100 W'lık güç harcaması ile saatte 193 g nem çekilebileceği tespit edilmiştir [18].

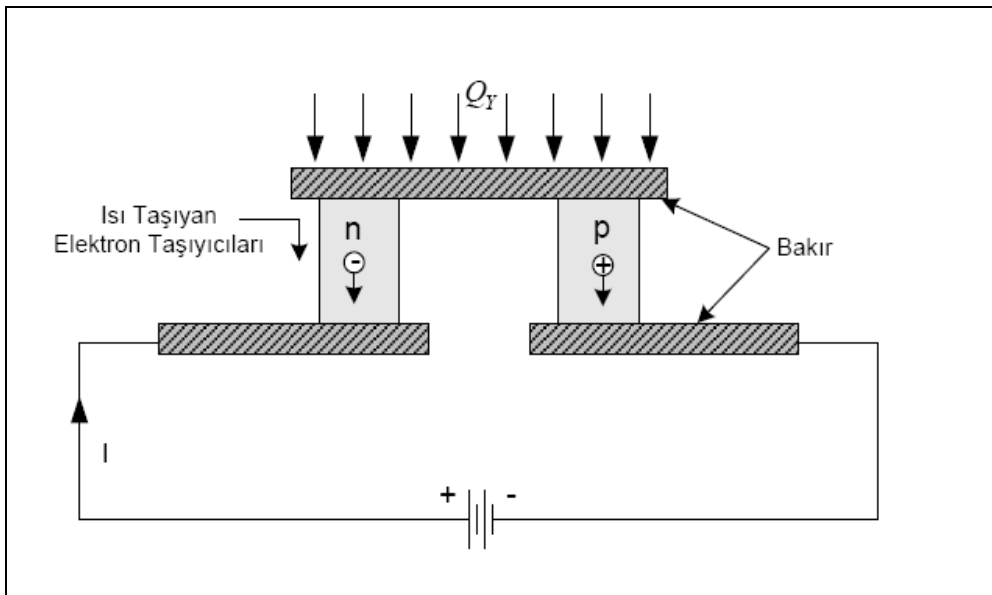
Ciylan ve Yılmaz (2009), yapmış oldukları sistemde günümüzde hızla yaygınlaşan termoelektrik modüllerin, basit, güvenilir ve evrensel manada, dinamik parametrelerinin belirlenmesine yönelik mikro denetleyici kontrollü taşınabilir bir test sistemi tasarlamış, gerçekleştirmiş ve denemişlerdir. Bu amaçla, öncelikle mevcut matematiksel analiz modeli basitleştirilerek, en az sayıda parametreyle en doğru sonuçların elde edilmesine imkan sağlayacak şekilde değiştirmeler yapmışlardır. Sonuçta modülün dinamik parametrelerini çok daha doğru ölçülebilen ve bunu sadece modülün ısınan yüzey sıcaklığı, modül çalışma gerilimi ve akımı ile modülün termoelektrik değerlerine dayalı olarak çıkartmaya yarayan yeni bir model elde etmişlerdir. Bu modele dayanarak tasarlanan test sisteminin güvenilir olduğu bir dizi deneyle test edilmiş ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Sonuç olarak, termoelektrik modüllerin diğer sistemlere olan üstünlükleri düşünülecek olursa önümüzdeki yıllarda kullanım alanlarının daha da artacağı açıktır. Bu kadar yaygın kullanım alanına sahip termoelektrik modüllerin kolayca test edilebilmeleri için gerçekleştirilen termoelektrik test sistemi; mikro denetleyici kontrollü, termokupllü, LCD göstergeli, hafızalı, bilgisayar bağlantılı, taşınabilir, pratik ve güvenilir bir sistem olup, her çeşit termoelektrik modülün testini 5-10 dakikalık bir süre içerisinde kolayca yapabilen bir sistem olma özelliğini taşımaktadır. Melcor firması tarafında üretilen ve bütün parametreleri bilinen standart termoelektrik modül üzerinde yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre termoelektrik test sisteminin güvenilir bir sistem olduğu tespit edilmiştir [19].

Atik (2009), çalışmasında termoelektrik (TE) soğutucu tasarımının enerji ve ekonomik yönden analizini yapmıştır. Bu amaçla tasarlanan sistem eşit sıcaklık farkı altında eşit soğutma gücünü sağlamaktadır. Yedi farklı tipte TE modül kullanılan çalışmada modül sayıları dolayısıyla modüllerin çalışma şartları değiştirilmiş; ayrıca

elektrik enerjisi fiyatının deęiřimi de dūřunūlmūřtur. Būtin alıřma durumlarında birim soęutma gūcū için yatırım, enerji ve toplam maliyet deęerleri hesaplanılarak karřılařtırılmıřtır. Termoekonomik olarak en uygun (optimum) alıřma řartı her modūl tipi ile deęiřmekle beraber, maksimum gūcūn elde edildięi maksimum akım deęeri ile optimum akım deęerleri arasında bir deęere denk gelmektedir. Termodinamik optimum nokta ile termo ekonomik optimum noktanın farklı olduęu gōrūlmektedir. Sonuç olarak, bu çalıřmada TE soęutucu tasarımınnın enerji ve ekonomik yōnden analizi yapılmıřtır. Bu amaçla tasarlanan sistemler eřit sıcaklık farkı altında eřit soęutma gūcūnū saęlamaktadır. Yedi farklı tipte TE modūlūn için yapılan hesaplamalarda, çalıřma řartları dolayısıyla modūl sayıları deęiřtirilerek hesaplamalar yapılmıřtır. Her bir durum için birim soęutma maliyeti; yatırım ve enerji maliyet deęerleri toplanarak bulunmuřtur. En uygun (optimum) alıřma řartı her modūl tipi ile deęiřmekle beraber, maksimum akım deęeri ile optimum akım deęerleri arasında bir deęere karřılık gelmektedir [20].

2.1. TERMOELEKTRİK MODūL

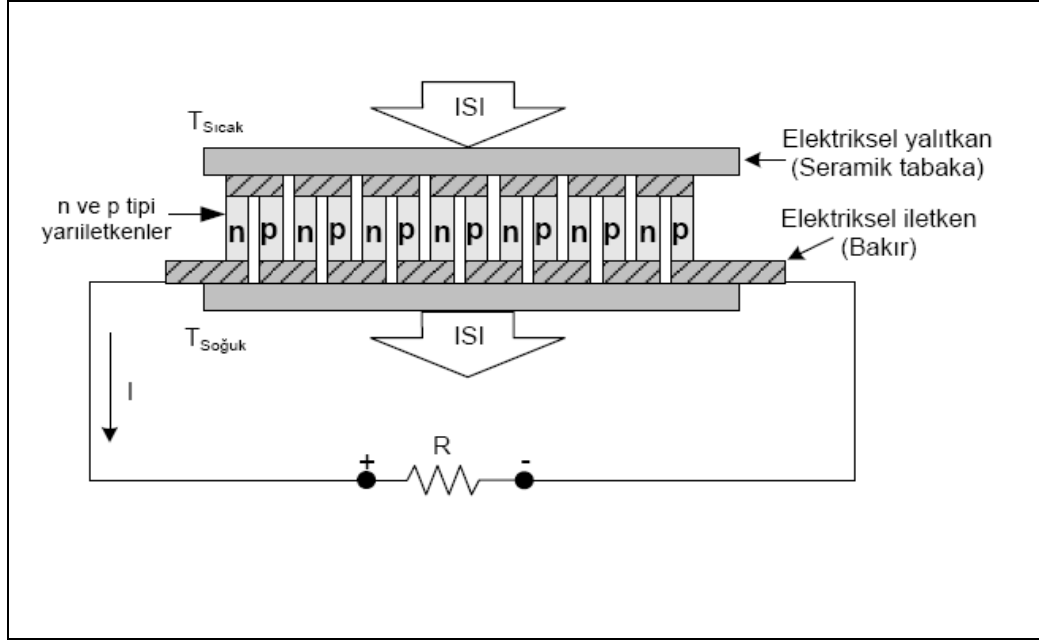
Bir termoelektrik modūl termoelementlerin elektriksel olarak seri ve termal olarak paralel baęlanmasından oluřur. Bir termoelektrik modūlūn iç yapısı Őekil 2.1' de gōsterilmiřtir.



Őekil 2.1. Termoelektrik modūlūn yapısı [21].

Termoelement “n” ve “p” tipi yarıiletkenlerin bir bakır iletken ile elektriksel olarak seri bağlanmasıyla oluşur. Buradaki “n” tipi yarıiletken termoelementin negatif, “p” tipi ise termoelementin pozitif kollarını tanımlamaktadır. Bir termoelementin çalışma prensibini ele alacak olur isek; termoelemente DC bir gerilim uygulandığında, yük taşıyıcıları, enerji seviyesi düşük olan üstteki bakırdan yarıiletkene geçeceklerdir. Bakır ile yarıiletken arasında mevcut olan enerji duvarını aşmak için elektron ve delikler bakırın örgüsünden enerji sağlayacaktır. Böylece üstteki bakırın sıcaklığı düşecektir. Alttaki bakırda ise yüksek enerji seviyesinden düşük enerji seviyesine geçen yük taşıyıcıları sahip oldukları fazla enerjiyi alttaki iletkene aktararak ısınmasına neden olacaktır. Bu geçiş sırasında soğuyan yüzeyden ısı emilirken soğuk yüzeyin sıcaklığı düşecek, ısının pompalandığı sıcak yüzeyin sıcaklığı ise artacaktır. Devreye uygulanan akımın yönü değiştirildiğinde ise pompalanan ısının akış yönü de değişecektir ve soğuyan yüzey ısınırken ısınan yüzey de soğuyacaktır.

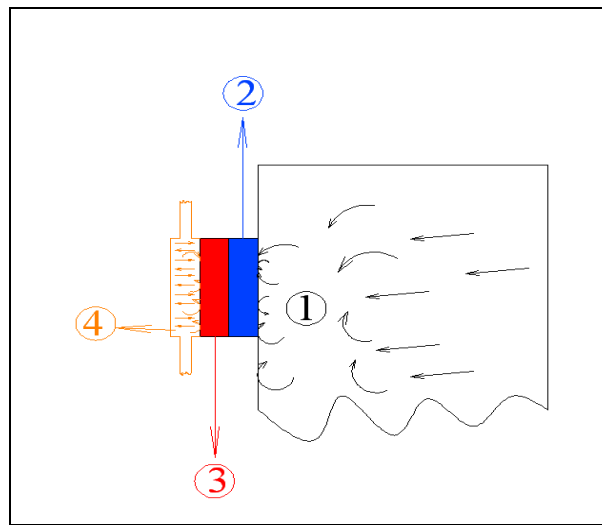
Onlarca termoelement elektriksel olarak seri, termal olarak paralel bağlanarak kullanım amacına göre çeşitli büyüklüklerde tasarlanan termoelektrik modüller, hareketli parçası olmayan küçük birer ısı pompasıdır. Termoelektrik modüller genelde alan sınırlamasının olduğu, güvenilirliğin önemli olduğu ve zararlı soğutucu gazların kullanılmasının istenmediği ortamlarda tercih edilirler. Termoelektrik soğutucu, DC gerilimle çalışmakla beraber akım yönünün değiştirilmesiyle soğutma veya ısıtma rejimine kolayca geçebilmektedir. Soğutma, termoelektrik modülün bir yüzeyindeki ısının diğer yüzeye taşınmasıyla gerçekleşmektedir. Termoelektrik modüller sadece soğutma veya ısıtma amaçlı değil aynı zamanda enerji üretiminde de kullanılmaktadır. Eğer termoelektrik modülün iki yüzeyi arasında sıcaklık farkı meydana getirilirse, modülde meydana gelen Seebeck olayından dolayı, modül bir DC güç kaynağı gibi davranır. Şekil 2.2’ de bir modülün jeneratör olarak çalışması gösterilmiştir. Mevcut olan güneş pillerinden farklı olarak termoelektrik jeneratörler yüksek derecede akım ve orta derecede gerilim üretebilmektedir.



Şekil 2.2. Termoelektrik modülün jeneratör olarak çalışması [21].

2.1.1. Termoelektrik Modülde Meydana Gelen Isı Transferleri

Termoelektrik modüllerin uygulandığı alanı soğutabilmesi için oradan ısı çekmesi gerekmektedir. Bu olay sırasında meydana gelen Şekil 2.3’ de gösterildiği gibi ısı transferleri gerçekleşmektedir.



Şekil 2.3. Termoelektrik modül yüzeylerinde oluşan ısı transferi

Termoelektrik modül su soğutma amaçlı kullanılacak olduğu zaman 1 no ile ifade edilen akışkan (su) ile depo yüzeyi arasında taşınım ile ısı transferi meydana gelir. Sıcak olan ortamdaki soğuk olan yüzeye doğru ısı akışı gerçekleşir. Yüzey ile 2 no ile ifade edilen termoelektrik modülün soğuk yüzeyi arasında iletim ile ısı transferi gerçekleşir. Dolayısıyla sıcak olan yüzeyden soğuk olan yüzeye yine ısı akışı gerçekleşmektedir. Eğer modülün sıcak yüzeyi şekildeki gibi sulu soğutma devresi ile soğutuluyor ise termoelektrik modülün sıcak yüzeyindeki ısı, su bloğundan geçen soğuk su ile atılır. 3 nolu yüzey ile 4 nolu yüzey arasında ise su bloğunun yüzeyi açık olduğu için içinden geçen su direkt termoelektrik modülün sıcak yüzeyine çarpacağı için taşınım ile ısı transferi gerçekleşir. Sıcak yüzey fan ile soğutulacak olsaydı hava akımı olacağı için radyasyon ile ısı transferi gerçekleşecektir.

2.2. TERMOELEKTRİK KURAMLAR

Termoelektrik modüle DC gerilim verildiğinde soğutucunun çalışmasıyla beraber meydana gelen enerji dönüşümleri vardır. Bu dönüşümler P. Joule, Seebeck, Peltier ve Thomson tarafından bulunmuş ve kendi isimleriyle adlandırılmıştır.

2.2.1. Joule Kanunu

James Prescott Joule'un elektrik enerjisinin ısı enerjisine dönüşümünü ifade eden ve kendi adı ile isimlendirilen kanuna göre, akım taşıyan bir iletken, direnci ve içinden geçen akımın karesiyle orantılı olarak ısını arttırır.

Bir elektrik devresinde birim zamanda ortaya çıkan, Joule etkisi kaynaklı ısı miktarı;

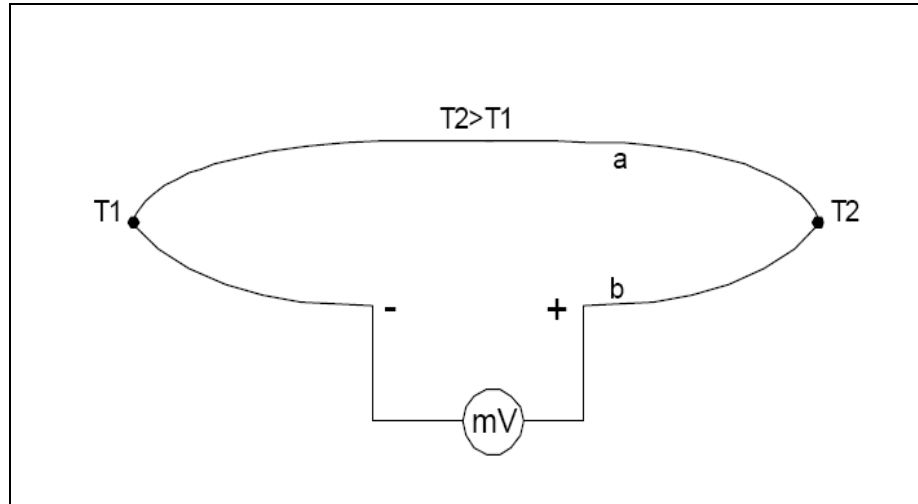
$$Q_j = I^2 \cdot R \quad (2.1)$$

ile ifade edilir. Burada, devreden geçen I akımının etkisi ile ortaya çıkan toplam, Joule etkisi kaynaklı ısı yükünü, I devreden geçen akım miktarını, R ise devrenin elektrik akımına gösterdiği toplam direnç miktarını ifade etmektedir [21].

2.2.2. Seebeck Etkisi

Alman fizikçi Thomas J. Seebeck 1820’ de, farklı metallere yapılmış iki tel parçasının uçlarının birleştirilerek bir kapalı devre meydana getirildiğinde ve metallere birleşim noktaları arasında bir sıcaklık farkı oluşturulduğunda, iletken uçlarında sıcaklık farkıyla doğru orantılı bir gerilim meydana geldiğini bulmuştur. Böyle bir devre “termokupl” olarak adlandırılır.

Şekil 2.4’ de gösterildiği üzere a ve b gibi farklı maddelerden oluşan ve temas uçları arasında sıcaklık farkı ($\Delta T = T_2 - T_1$) getirildiğinde bu uçlar arasında potansiyel farkı (ΔV) meydana gelir.



Şekil 2.4. Seebeck olayını açıklayan devre [21].

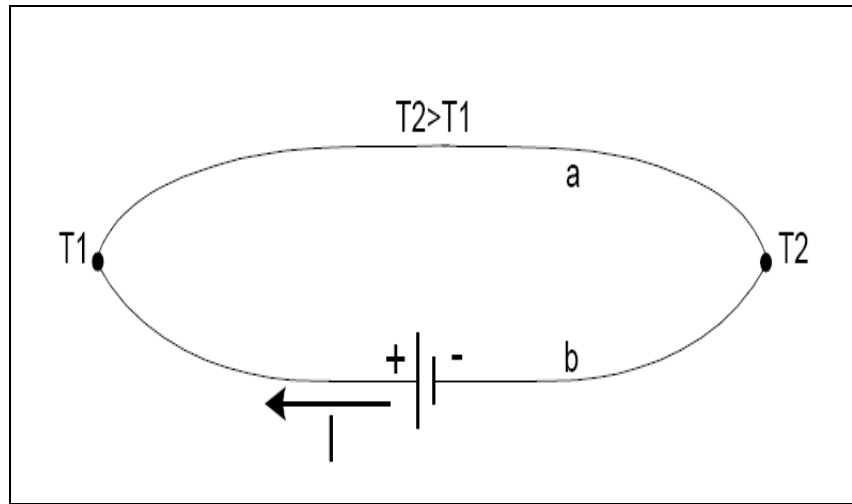
$$Q_V = \alpha \cdot \Delta T \quad (2.2)$$

Burada α , Seebeck katsayısını veya termoemk’ yı ifade eder. Birimi $V/^\circ C$ ’ dır. α ’ nın değeri, devreyi oluşturan maddelerin özelliklerine bağlıdır. Örneğin bakır ve konstandan yapılan bir termokupl için $\alpha = 40 \mu V/^\circ C$ ’ dır. Yani bu termokupl her $1^\circ C$ sıcaklık farkı için $40 \mu V$ ’ luk bir emk üretir. Yarıiletkenlerde bu değerler çok daha yüksektir. α ’ nın değeri $100 \mu V/^\circ C$ ’ dan büyük olan yarıiletkenlere termoelektrik yarıiletkenler denir. Yarıiletkenlerin tipine göre α ’ nın işareti değişmektedir. “n” Tipi yarıiletkenler için α negatif, “p” tipi yarıiletkenler için ise

pozitifdir. Metallerde Seebeck olayı, termokupl veya ısı algılayıcısı gibi, termoelektrik yarıiletkenlerde ise jeneratör gibi kullanılır [21].

2.2.3. Peltier Etkisi

1834’de Fransız fizikçi Jean C. A. Peltier (1785–1845), Seebeck etkisinin tersi bir durum keşfetti. Eğer termokupl içerisinde bir akım geçerse, Joule ısısı ile birlikte bir eklem noktasından ötekisine ısı transferi sağlayacak şekilde bir ucun sıcaklığı düşerken ötekisinin sıcaklığı yükselir. Joule ısısından farklı olarak ortaya çıkan bu ısıya Peltier ısısı denir. Açığa çıkan ısı miktarı, uygulanan akım şiddetiyle orantılıdır ve yönü akım yönünün değiştirilmesi ile değişir. Peltier olayını açıklayan devre Şekil 2.5’ de gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Peltier olayını açıklayan devre [21].

Birim zamanda üretilen Peltier ısısı (Watt olarak);

$$Q_p = \pi \cdot I \quad (2.3)$$

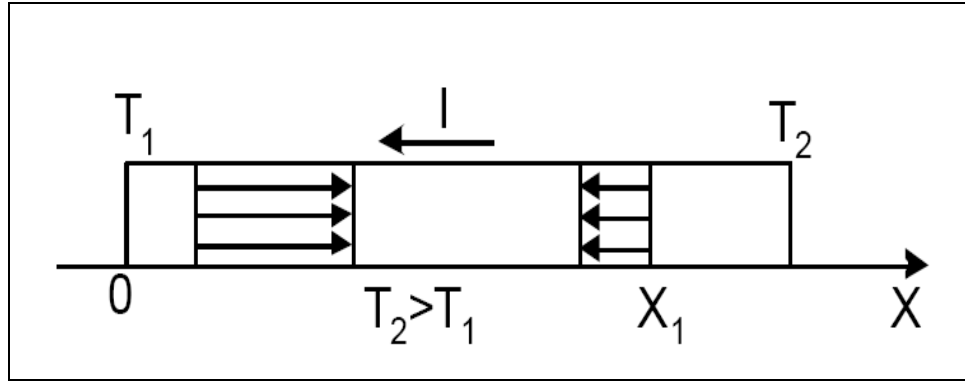
olarak ifade edilmiştir. Burada π , Peltier katsayısını ifade eder [21].

2.2.4. Thomson Etkisi

İskoç bilim adamı William Thomson (daha sonraları Lord Kelvin olarak anılacaktır), 1856'da termoemk ile Peltier katsayısı arasındaki bağıntıyı kaydetmiştir.

$$\alpha = \frac{\pi}{T} \quad (2.4)$$

Buna ek olarak kendi ismini taşıyacak olan yeni bir olayın hipotezini ortaya atmıştır. Bu olay 1867'de Leru tarafından deneysel olarak kanıtlanmıştır. Thomson olayı şöyle açıklanabilir. Şekil 2.6'de görüldüğü gibi, akım taşıyan bir iletkenin herhangi iki noktası arasında bir sıcaklık farkı varsa akım yönüne göre iletkende Joule ısısına ek olarak Thomson ısısı (Q_T) açığa çıkmaktadır.



Şekil 2.6. Thomson olayını açıklayan devre [21].

Birim zamanda ortaya çıkan Thomson ısısı, akım şiddeti (I) ve sıcaklık farkı (ΔT) ile doğru orantılıdır.

$$Q_T = I \cdot \alpha_T \cdot \Delta T \quad (2.5)$$

$$\Delta T = T_2 - T_1 \quad (2.6)$$

İki farklı metalden oluşan bir devre için Thomson termoemk' ları arasındaki ilişki;

$$\alpha_T = (\alpha_{Ta} - \alpha_{Tb}) \frac{T_2 - T_1}{T_2} \quad (2.7)$$

şeklinde verilmiştir. Buradaki α_τ Thomson olayında meydana gelen termoemk' dır. Formüldeki $\alpha_{\tau a}$ ve $\alpha_{\tau b}$ sayıları farklı malzemelerden oluşan devreyi ifade etmek için kullanılmaktadır [21].

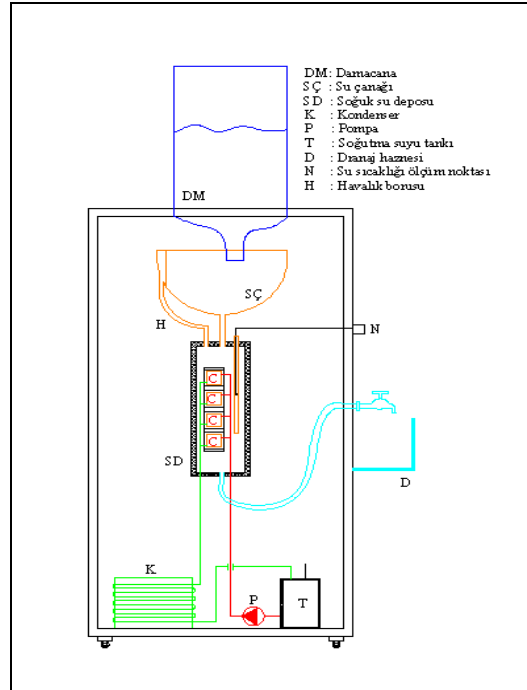
BÖLÜM 3

MATERYAL VE METOD

3.1. TERMOELEKTRİK MODÜLLÜ İÇME SUYU SOĞUTUCUSU

Termoelektrik modüller ve su bloklarının depo üzerine sabitlenmesinden meydana gelen soğutucu ticari amaçlı kullanılması için su sebili görünümünde tasarlandı. Tasarım soğutma amaçlı olduğu için sadece su soğutması yapabilmekte ve tamamen atölye ortamında imal edilmiştir. Su soğutucusu 4 kişilik bir ailenin günlük 12 litre içme suyunu karşılamaya yönelik olarak tasarlandı.

Termoelektrik modüllü su soğutucusu şu ana elemanlardan oluşmaktadır. Su deposu, su çanağı, soğutucu modüller, modül su soğutma devresi, elektriksel bağlantı ve drenaj haznesinden oluşmaktadır. (Şekil 3.1)



Şekil 3.1. Termoelektrik modüllü su soğutucusunun kısımları

3.2. SİSTEMİN ELEMANLARI VE ÖZELLİKLERİ

3.2.1. Su Çanağı ve Damacana

Su çanağı, damacanadan akan suyun toplanarak depoya akmasını sağlayan sert plastik malzemeden yapılmış bir elemandır. Üzerinde iki adet çıkış ucu vardır. Bunlardan birisi suyun akışını sağlar, 12 mm çapındaki plastik hortum ile depoya bağlanır. Diğeri ise 8 mm çapında plastik hortum ile depoya bağlanır, atmosfere açık bir uçtur (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Su sebili, su çanağı ve sebilin kapağı

3.2.2. Termoelektrik Modüller

Soğutma cihazında Tec1-12706 tipinde 4 adet Termoelektrik modül kullanılmıştır. Modüller bakır şerit üzerinde depoya bir blok halinde yapıştırılmıştır. Modüller birbirine elektriksel anlamda paralel olarak bağlanmıştır. Modüllerin ısınan

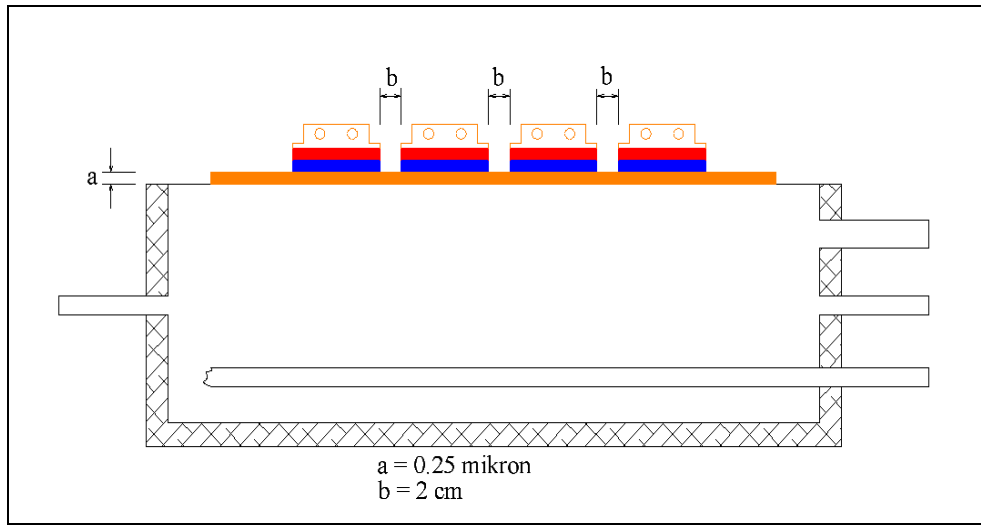
yüzeylerinden ısılarını atabilmeleri için su blokları kullanılmıştır. Termoelektrik modüllerin katalog değerleri Şekil 3.3’ de gösterilmiştir.

Part	V_{max} (VDC)	I_{max} (A)	Q_{max} (W)	Size (mm) LxBxH	Min.Fansink Size (mm)
TEC1-12706	15.4	6.0	51.4	40x40x3.8	60x60x40

Şekil 3.3. Termoelektrik modül katalog değerleri

3.2.3. Su Bloğu (Isı Ceketi)

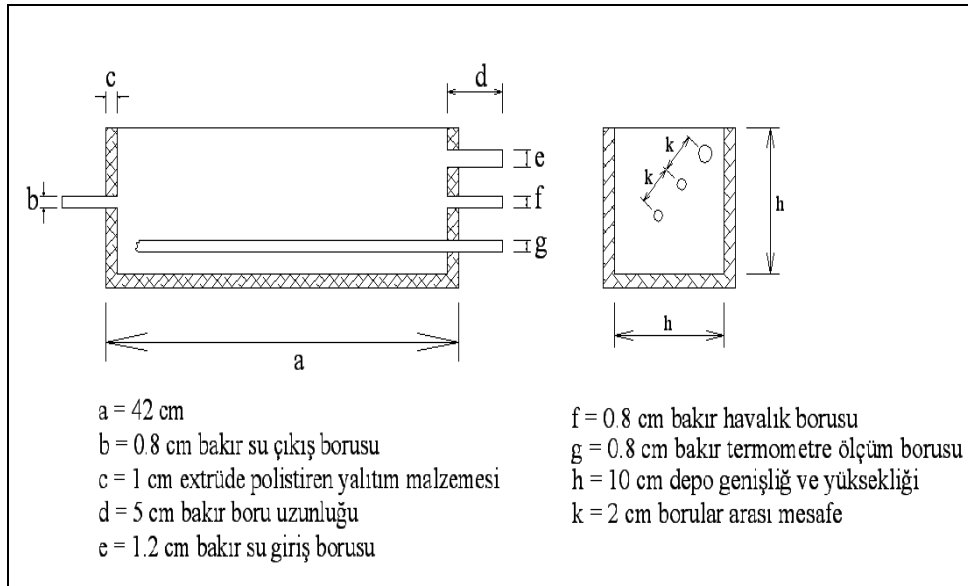
Su blokları sulu soğutma sistemlerde kullanılan, genellikle ısı iletim katsayısı yüksek olduğu için bakır malzemeden yapılan, termoelektrik modülün sıcak yüzeyini soğutmak için kullanılan elemandır. Soğutucuda kullanılan su blokları bakır malzemeden, atölye ortamında oksijen-gaz ile kaynak yapılarak imal edilmiştir. Bir yönünde su girişi diğer yönünde su çıkışı bulunmaktadır. Su bloklarının boyutları 30x30x5 mm, kanat mesafesi 5 mm, bakır malzemenin kalınlığı ise 1 mm’ dir. Su blokları modüllerin ısınan yüzeyine, genellikle otomotiv sanayinde kullanılan sızdırmaz macun ile yapıştırılmıştır. Su bloklarının depo üzerindeki yerleşimi Şekil 3.4’ te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Termoelektrik modüllerin depo üzerindeki yerleşimi

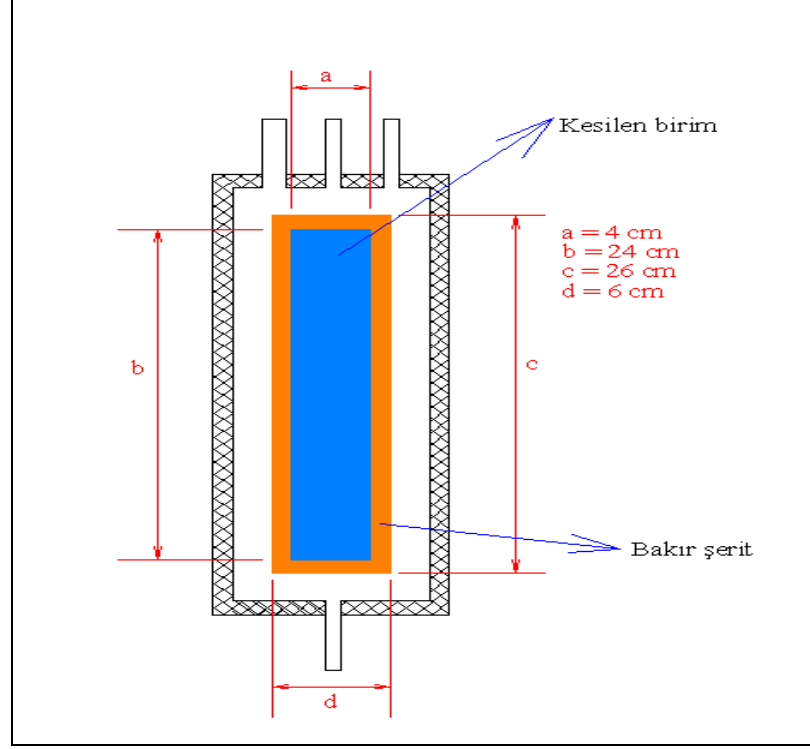
3.2.4. Su Deposu

Depo, su çanağından gelen suyun depolandığı bölümdür. Termoelektrik modüller soğutma işlemini bu hazne üzerinde yapmaktadır. Depo kapasitesi 3 l olup, paslanmaz çelikten yapılmıştır. Üzerinde su girişi, havalık ve termometre için ölçüm ucu vardır (Şekil 3.5). Ölçüm noktası depo sonuna kadar inen bir bakır borunun son kısmının kaynakla tıkanmasıyla yapılmıştır. Bunun içine ince yağ, su ya da ısıyı iyi iletecek bir akışkan konulup termometrenin duyargası buna batırılmaktadır. Diğer boru uçları ise bakır borulardan imal edilip depo üzerine kaynatılmıştır. En alt noktasında su çıkışı için bir bakır boru daha bulunmaktadır. Depo, üç yan yüzeyinde 1 cm kalınlığında extrüde polistiren yalıtım malzemesi ile dış ısı kazançlarına karşı yalıtılmıştır. Bu malzemenin ısı iletim katsayısı oldukça düşük olmakla beraber 0,035 W/mK' dir. Yalıtım malzemesinin üzerine de alüminyum folyo sarılmıştır.



Şekil 3.5. Depo ön, yan kesiti ve ölçüleri

Depoya termoelektrik modülleri yerleştirmek için öncelikle deponun ön yüzeyinden 4x24 cm ebatlarında bir kesit kesilerek çıkartıldı. Bunun yerine 6x26 cm ebatlarında bakır malzemeden 0,25 µ kalınlığında levha yapıştırıldı. Sızdırmaz yapıştırıcı malzeme olarak izo oto sıvı conta kullanıldı. Şekil 3.6' da depo üzerindeki kesilen kısım ve bakır şeritli kısım görülmektedir.



Şekil 3.6. Bakır levhanın depo üzerindeki konumu

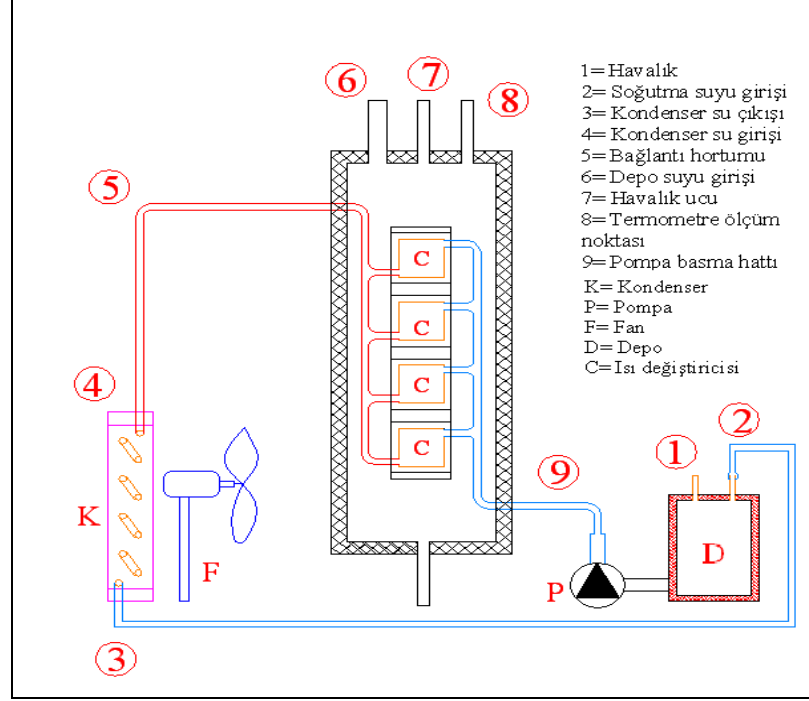
Termoelektrik modüllerin soğuk olan yüzeylerine ısı iletim macunu sürülerek bakır levhanın üzerine yapıştırılmıştır. Termal iletkenliği 1,5 W/mK ve sıcaklık dayanımı -40; +250 °C' dir. Burada amaç; ısı iletim macunu modülün soğuk yüzeyi ile bakır levha arasında iyi bir ısı iletken olup suyun daha çabuk ve etkin soğumasını sağlamaktır. Su blokları içinden akış halinde olan su direkt modülün sıcak yüzeyine temas ettiği için etkin bir soğutma yapabilmektedir.

3.2.5. Dranjaj Haznesi

Musluktan akan suların toplanmasını sağlamak ve iki adet su bardağı koyabilmek için, 15x5 cm ebatlarında sert plastikten üretilmiştir. Altındaki tahliye çıkışıyla atık giderine bağlanabilmektedir.

3.2.6. Sulu Soğutma Devresi ve Özellikleri

Modüllerin ısınan yüzeylerini soğutmak için tasarlanan sulu soğutma devresi pompa, kondenser, fan ve kondenser soğutma suyu deposundan oluşmaktadır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Sulu soğutma devresi

Sulu soğutma devresinin görevi; termoelektrik modüllerin ısınan yüzeylerine yapıştırılan su bloklarına suyu basınçlandırarak dolaştırmak, sıcak yüzeyden ısıyı atarak modülü soğutmaktır. Bu soğutma esnasında su ısınacak ve tekrar devrede soğutma etkisi yapması için soğuması gerekecektir. Bu soğutma işlemi fanlı kondenser tarafından yapılacaktır. Şekil 3.7' de sulu soğutma devresinin elemanları gösterilmektedir. Suyun depolanmasını sağlamak için su tankı kullanılmıştır. Pompa, suyu devreye basınçlandırmak için kullanılmıştır. Devrede depo üzerinde bulunan su blokları, modülün ısınan yüzeyini soğutma maksadıyla yapıştırılmış ve içinden su akışı sağlanmıştır. Isınan suyun soğuması için kondenser ve aksel fan kullanılmıştır. Kondenserden soğuyarak çıkan su tekrar 1 l/d debile ile depoya dönmektedir. Suyun dolaşımını sağlayan tüm bağlantılarda iç çapı 4 mm serum hortumu kullanılmıştır (Şekil 3.7).

Çizelge 3.1. Sulu soğutma sisteminde kullanılan malzemeler

Sulu Soğutma Sisteminde Kullanılan Malzemeler	
Kondenser	Bakır borulu, alüminyum kanatlı, yüzey alanı 25x21 cm
Eksenel Fan	Gücü 10 W
Termoelektrik Modül	12 V, 4 A
Su Tankı	1,2 l galvanizli sac, 1 cm ekstrüde polistren yalıtımlı
Su Blokları	30x30x5 mm ebatlarında, bakır
Dolaşım Pompası	Gücü 34 W
Bağlantı Elemanı	İç çapı 4 mm serum hortumu

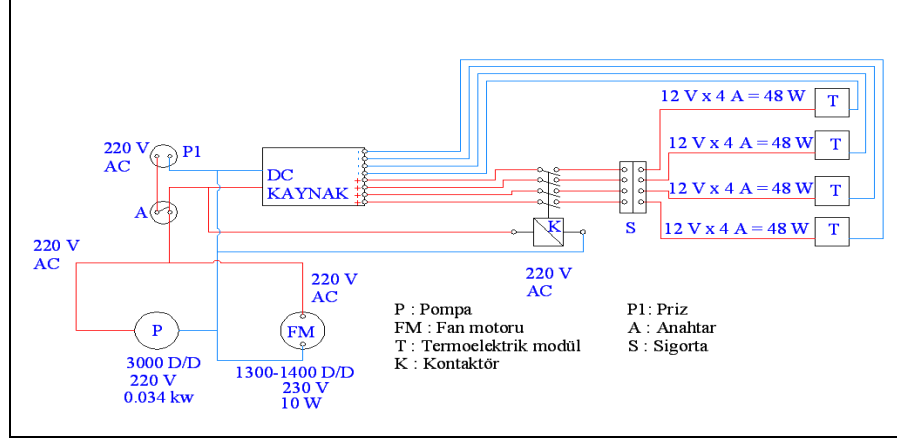
Su blokları birbirine Tickelman (eşit kol) kuralına göre bağlanmıştır (Şekil 3.7' de ceketlerin bağlantısı görülmektedir). Bu kuraldaki amaç her cekete eşit debide su gitmesini sağlamaktır. Sulu soğutma sistemi elemanlarının bitmiş resimleri Ek A.1' de verilmiştir.

Kondenser de su soğutma sırasında ısı transferleri olmaktadır. Su bloklarından sıcak halde çıkarak kondensere gelen su öncelikle boru çeperlerine taşınma yoluyla ısı transferi gerçekleştirir. Boru yüzeyi ve kanatçıklar birbirine kenetli şekilde birleştirildiği için burada iletim yoluyla ısı geçişi meydana gelir. Kanatçıklar üzerinden ise fanın çektiği hava sayesinde ışıyım yoluyla ortama ısı transferi sağlanır.

3.2.7. Elektrik Bağlantıları

Su soğutucusunun elektrik enerjisi şehir şebekesinden sağlanmaktadır. Priz vasıtasıyla gelen 220 V AC, anahtarın kapanmasıyla pompa ve fanı çalıştırmakta ve aynı zamanda güç kaynağına enerji gitmesini sağlamaktadır. Şekil 3.8' de elektrik bağlantı şemasında görüldüğü gibi 220 V AC güç kaynağına gelmektedir. Güç kaynağından her bir termoelektrik modül için ayrı ayrı 12 V DC kablo çıkarak kontaktörün kontaklarına gelmektedir. Kontaktör 220 V AC akımla çalışmakta ve enerji geldiğinde kontaklarını açıp 12 V DC geçişini sağlamaktadır. Kontaktör kullanılmasının nedeni anahtar kapanınca 4 adet termoelektrik modülün aynı anda çalışmasını ve anahtar açılınca modüllerin aynı anda durmasını sağlamak içindir.

Kontaklardan çıkan her kablo aşırı akım tehdidinde karşı kullanılan 10 A otomobil sigortalarına sonrada modüllere bağlanmıştır. Tamamlanan su soğutucunun bitmiş görüntüsü EK A.2 ve EK A.3' de verilmiştir.



Şekil 3.8. Elektrik bağlantı şeması

3.3. TERMOELEKTRİKLİ İÇME SUYU SOĞUTUCUSU VERİM HESABI

Termoelektrik modüllü ani su soğutma cihazında verim iki türdür. Bunların birincisi sistemin tümünün oluşturduğu sistem verimi ve sistem içindeki Termoelektrik modüllerin oluşturduğu verim hesaplanır. Öncelikle sistem verimi hesaplanır iken;

$$\eta_{\text{sistem}} = \frac{Q_a}{Q_v} \quad (3.1)$$

$$Q_a = m \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (3.2)$$

$$Q_v = Q_{T.E} + Q_F + Q_P \quad (3.3)$$

$$Q_{T.E} = n \cdot V \cdot I \quad (3.4)$$

Q_F = Birim zamanda fanın kullandığı enerji miktarı

Q_P = Birim zamanda pompanın kullandığı enerji miktarı

şeklinde hesaplanır. Fakat sistemde I ve V değerleri Şekil 4.2' deki gibi ölçüldüğü için sistemin Q_V değeri Eş. 3.5' den;

$$Q_V = n.V.I \quad (3.5)$$

hesaplanır. Buradaki sonuç tüm sisteme verilen elektriksel gücü verecektir. Bu bağlamda termoelektrik modüllerin sistem içindeki soğutma etkisinin verimini hesaplamak için ise;

$$\eta_{T.E} = \frac{Q_a}{Q_{T.E}} \quad (3.6)$$

Eş. 3.3' deki $Q_{T.E}$ çekilerek Eş. 3.7' deki gibi;

$$Q_{T.E} = Q_V - (Q_P + Q_F) \quad (3.7)$$

formülünden bulunur. Bu eşitlik Eş. 3.6' da $Q_{T.E}$ ifadesinin yerine konularak verim hesaplanır. Eşitliklerde;

Q_a : Sudan çekilen ısı miktarı (J/s)

Q_V : Birim zamanda sistemde kullanılan enerji miktarı (J/s)

$Q_{T.E}$: Birim zamanda termoelektrik modüllerin kullandığı enerji miktarı (J/s)

m: Su miktarı (kg/s)

c_p : Suyun özgül ısısı (kJ/kg°C)

ΔT : Sıcaklık farkı ($T_{ilk} - T_{son}$) (°C)

anlamına gelir.

BÖLÜM 4

DENEYLER, SONUÇLARI VE TARTIŞMA

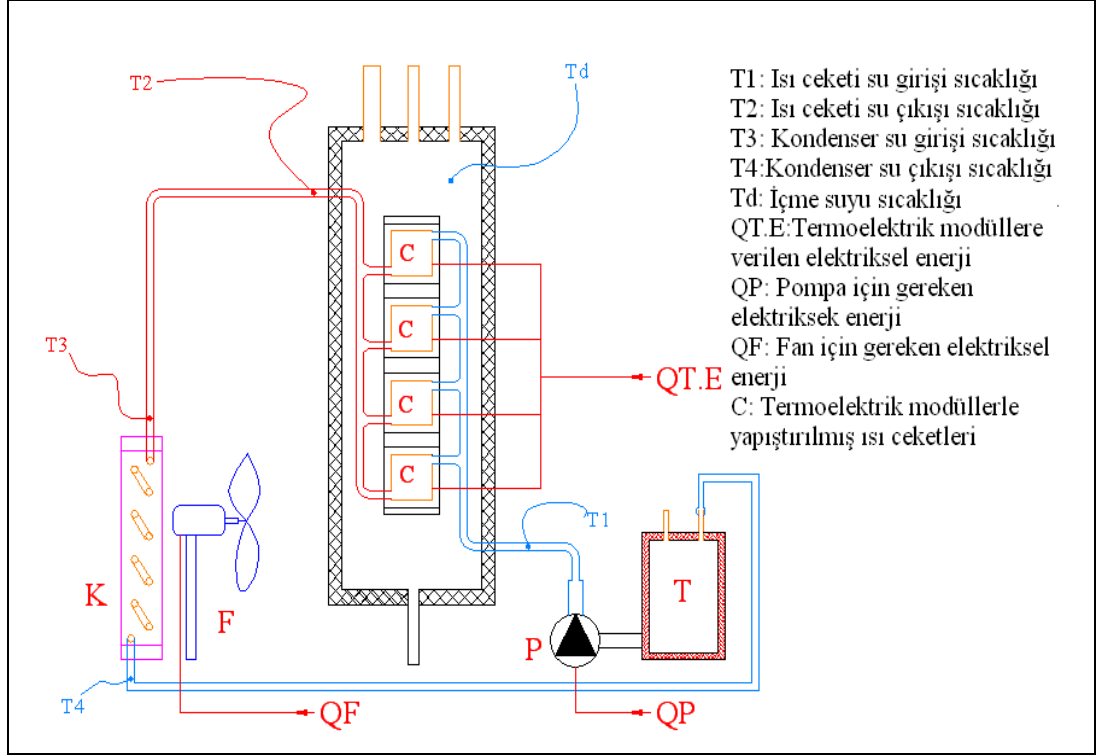
4.1. DENEY SİSTEMİ VE DENEYLERİN YAPILIŞI

İmalatı yapılan cihazın su deposuna 3 ℓ su doldurularak deney şartlarına hazırlanmıştır. Deneyler atmosfere kapalı atölye ortamında 22 °C dış ortam sıcaklığında yapılmıştır. Sonuçların kararlı olması için deneyler 6 farklı günde yapılmıştır. Cihazın Şekil 4.1’ de gösterilen 5 farklı noktasından sıcaklık değişimleri ve fan motoru, pompa ve termoelektrik modülden oluşan sistemin çektiği gerilim ve akım değerleri ölçülmüştür. Sıcaklık değişimleri termokupllu avometre ile ölçülmüştür. “K” tipi termokupl kullanılmıştır. Sistemin çektiği akım ve gerilim avometre ile ölçülmüştür.

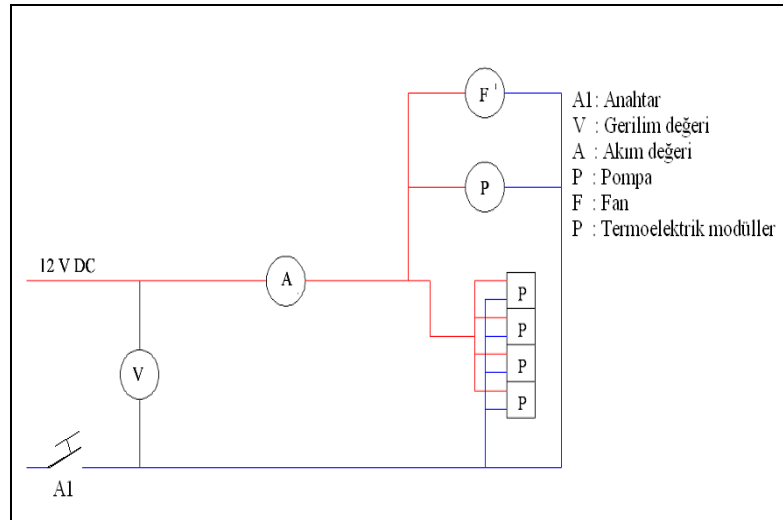
Sistemin çektiği akım değeri, uygulanan gerilim, içme suyu depo sıcaklığı ve termoelektrik modül devresi soğutma suyu sıcaklıkları 3’ er dakikalık aralıklarla simetrik olarak ölçülmüştür. Ölçümler içme suyunun sabit kaldığı noktaya kadar devam etmiştir. Sistemdeki akım ve gerilim ölçüm devresi Şekil 4.2’ de görülmektedir.

Sistemin çalışmaya başlamasıyla modülün soğuk yüzeyi depo içindeki sudan ısı çekecek ve su sıcaklığını düşürecektir. Modülün ısınan yüzeyindeki su bloklarından geçen su, ısıyı alarak su bloğundan çıkıp kondensere ulaşmaktadır. Dolayısıyla su sıcaklığında bir değişim meydana gelecektir. Kondensere gelen su fan yardımıyla soğutulacak ve ısınıp kondenserden dışarı atarak terk edecektir. Bu evrede su sıcaklığında bir daha değişim daha olmaktadır. Kondenserden çıkan su depoya dönerek pompa ile tekrar sisteme gönderilmektedir. Dolayısıyla soğutma suyu deposundaki, su blokları giriş ve çıkış noktalarındaki, kondenser giriş ve çıkış

noktalarındaki su sıcaklıkları belirli aralıklarla ölçülmüş, değişimleri gözlemlenmiştir.



Şekil 4.1. Sıcaklık ölçümü yapılan noktalar



Şekil 4.2. Akım ve gerilim ölçümü

4.2. DENEY SONUÇLARI

Sistemde depo suyu sıcaklığı 20 °C başlangıç sıcaklığından ve 22 °C ortam sıcaklığında 6 farklı günde deney alındı. Deneylede termoelektrik modüllere uygulanan gerilim ve akım değerleri sabit tutulmuştur. Gerilim değeri 12 V, akım değeri 4 A olarak ayarlanmıştır. Termoelektrik modüllerin sıcak yüzeylerinden geçen soğutma suyu debisi her bir modül için eşit kol devresi ile sabit tutulmuştur. Deneyleler 33 dakika boyunca alınmıştır.

Sonuçların daha kararlı olması için farklı günlerde ve zaman aralıklarında yapılan deneylelerde görülmüştür ki T_d , T_1 , T_2 , T_3 , T_4 sıcaklıkları 6 farklı günde birbirinin simetriği olarak elde edilmiştir. Elde edilen bu değerlerin çizelgeleri sırasıyla EK B.1, EK B.2, Ek B.3, EK B.4, EK B.5, EK B.6' da verilmiştir. Bu nedenle yapılan 6 deneyin her 3 dakika aralığının aritmetik ortalaması alınarak yeni bir çizelge elde edilmiştir. Aşağıda T_d sıcaklığının aritmetik ortalaması hesaplanmıştır.

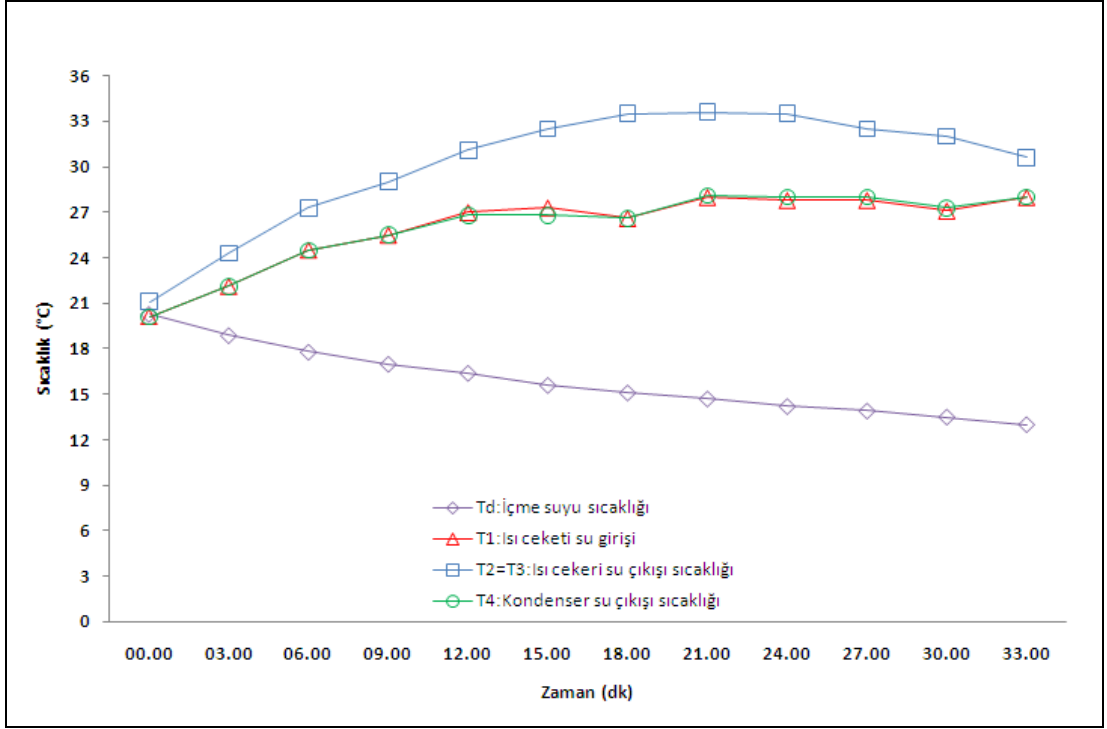
3. dakikadaki depo suyu sıcaklık (T_d) değişimi aritmetik ortalaması Eş. 4.1' deki gibi bulunur;

$$A.O_3 = \frac{T_{d1} + T_{d2} + T_{d3} + T_{d4} + T_{d5} + T_{d6}}{6} \quad (4.1)$$

Eş. 4.1 kullanılarak 3. dakika için T_d sıcaklığının aritmetik ortalaması aşağıdaki gibi hesap edilir;

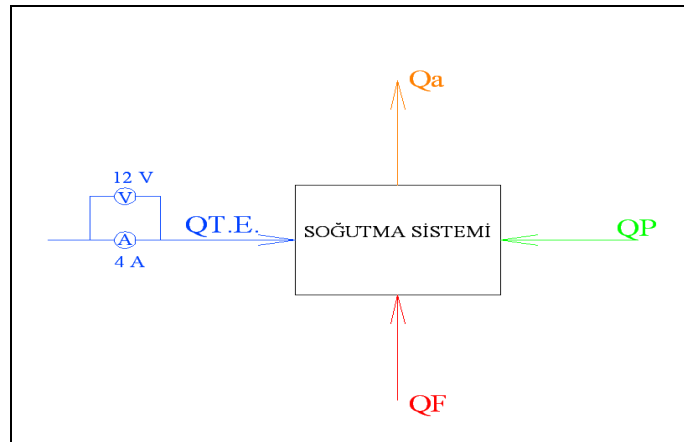
$$A.O_3 = \frac{19,2 + 19,2 + 18,5 + 18 + 19 + 19,5}{6} = 18,9 \text{ °C} \quad (4.2)$$

Bu işlem her dakika aralığı için ve her sıcaklık noktası için yapılmış ve 33 dakika sonundaki değerlerin aritmetik ortalaması alınarak yeni bir çizelge oluşturulmuştur. Çizelge, EK B.7' de verilmiştir. Deney sonuçları göstermektedir ki başlangıçta 20,3 °C' de olan depo suyu sıcaklığı 33. dakika sonunda 13 °C' e kadar soğutulmuştur. Elde edilen sıcaklıklar Şekil 4.3' de grafiksel olarak ifade edilmiştir. T_2 ve T_3 noktaları arasındaki mesafe çok yakın olduğu için sıcaklıklar birbirine eşit kabul edilmiştir.



Şekil 4.3. Depo su sıcaklığı ve soğutma suyu sıcaklığı grafik eğrisi

Bu sonuçlara göre soğutma sistemi kararlı bir şekilde çalışarak suyu soğutmaktadır. Cihaz çalışırken sisteme verilen enerjiler ve sistemden elde edilen enerjiler vardır. Bu enerji çeşitleri sistemden alınan soğutma enerjisi ve elektrik ile çalışan elemanlara verilen elektriksel enerjidir. Bu enerji türleri Şekil 4.4’ de ifade edilmiştir.



Şekil 4.4. Enerji denge diyagramı

Diyagramda $Q_{T.E}$. Termoelektrik modülün elektriksel gücü, Q_a sistemden alınan soğutma enerjisi, Q_p pompanın çalışmasından doğan elektriksel güç, Q_f fanın çalışmasından doğan elektriksel güç olarak tanımlanır.

Enerji denge diyagramı baz alınarak sistem verimi Eş. 3.1' den:

m : Soğutucunun soğuttuğu su miktarı = 3 kg/s

c_p : Suyun özgül ısısı = 4,18 kJ/kg°C

ΔT : $T_{ilk} - T_{son} = 20,3 - 13 \text{ °C} = 7,3 \text{ °C}$

n : Kullanılan termoelektrik modül adedi = 4 adet

V : Sistemin çektiği gerilim = 12 V

I : Sistemin çektiği akım = 4 A

$Q_p = 34 \text{ W} = 34 \text{ J/s}$

$Q_f = 10 \text{ W} = 10 \text{ J/s}$

şeklindedir. Bu bağıntılar kullanılarak sistemin verimi;

$$\eta_{\text{sistem}} = \frac{3 \text{ kg/s} \cdot 4,18 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot 7,3^\circ\text{C}}{4 \cdot 12 \text{ V} \cdot 4 \text{ A}} = \frac{91,542 \text{ kJ/33.60s}}{192 \text{ J/s}} = \frac{46,23 \text{ J/s}}{192 \text{ J/s}} = 0,24 \sim 0,25 \quad (4.3)$$

olarak hesaplanır. Termoelektrik modüllerin sistem içindeki soğutucu verimi ise Eş. 3.6' dan;

$$\eta_{T.E} = \frac{46,23 \text{ J/s}}{192 \text{ J/s} - (34 \text{ J/s} + 10 \text{ J/s})} = 0,31 \sim 0,32 \quad (4.4)$$

olarak hesaplanır.

4.3. TARTIŞMA

Usta ve Kırmacı çalışmalarında kapalı bir kutu içindeki 125 g durgun haldeki suyu termoelektrik modül ile soğutmayı amaçlamışlardır. Termoelektrik modülün sıcak yüzeyini fan ile soğutmuşlardır. 125 g su 12 dakika içinde 18 °C' deki su sıcaklığını 12 °C' ye düşürmüştür. Yavuz ise 1,5 l hacmindeki kutuya 1 kg su koyarak su sıcaklığında 1 saat içinde 25 °C' den 12 °C' ye kadar soğuma elde etmiştir. Modülün

sıcak yüzeyini ise fan ile değişken debiler kullanarak soğutmaya çalışmıştır. Bu çalışmalarda görülmektedir ki; su deposu kapasiteleri küçük olduğundan dolayı yapılan çalışmalar su soğutucusu amaçlı kullanılamaz. Bu çalışmalar 1 ℓ su deposu kapasitesine göre yapılmış ve elde edilen verimler bunların su soğutucusu olarak kullanılamayacağını göstermektedir. Tasarımı yapılan termoelektrik modüllü içme suyu soğutucusu ise 3 litre suyu 33 dakika içinde 20 °C su sıcaklığını 13 °C' ye kadar düşürmüştür. Modülün ısınan yüzeyinde ısı değiştiricisi kullanılarak, fanlı soğutmaya nazaran daha etkin soğutma gerçekleştirilmiştir. Sistem 3 ℓ su soğutma deposuna sahiptir. Aynı zamanda sistem su sebili olarak tasarlanıp imal edildiği için ticari anlamda pazarlanabilirliğe ve üretilebilirliğe sahiptir. Diğer çalışmalardan en belirgin farkları şunlardır; tam anlamıyla su sebili olarak tasarlanmış olması, depo kapasitesinin diğerlerinden 3 katı büyüklüğünde olması, soğutma süresinin daha kısa olması ve soğutma performansının daha yüksek olmasıdır.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Termoelektrik modüllü içme suyu soğutma sisteminin tasarımı, imalatı yapılmış ve deneysel olarak incelenerek sistem verimi ve sistem içindeki termoelektrik modüllerin soğutucu verimi hesaplanmıştır. Termoelektrik modüllerin literatürdeki verimleri %25 olarak tespit edilmektedir. Uygulanan soğutma sisteminde modüllerin verimleri %32 olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla modüllerin soğutucu verimi böyle bir sistemin uygulamada başarılı olduğunu göstermektedir. Sistemin verimi ise % 25 olarak hesaplanmıştır. TSE standartlarına göre şebeke suyu sıcaklığı 20-25 °C olmalıdır. TSE standartlarına göre en uygun içme suyu sıcaklığı ise 12 °C olmalıdır. Bu nedenle tasarlanan içme suyu soğutucusu ile 3 l kapasitesindeki su en fazla 20,3 °C' den en az 13 °C' ye kadar 33 dakikalık bir zaman zarfı içinde soğutulmuştur. Bu sonuç itibariyle TSE standartlarının vermiş olduğu değere 1 °C farkla yaklaşmış olduk. 33. Dakikadan sonra sistem sabit sıcaklıkta 13-14 °C' de seyir etmektedir. Zaman içinde dalgalanmalar olsa da bunlar ihmal edilebilecek küçük değerlerdir. Tasarlanan içme suyu soğutucusu piyasada benzeri olmamak ile birlikte sessiz, sağlıklı, portatif, estetik ve ergonomik kullanım sunmaktadır. Su sıcaklığının daha düşük sıcaklıklara düşürülebilmesi için sisteme aynı kapasitede bir adet termoelektrik modül ilave edilmelidir.

Sistemin atölye ortamında düzenlenmesinden dolayı bazı olumsuzluklar mevcuttur. Bu olumsuzlukları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

a-) Daha iyi yalıtım yapılarak, ısı kaybının önlenmesiyle verim daha da artacaktır.

b-) Termoelektrik modüllerin depo üzerine yapıştırılmasına alternatif olarak peltierlerin soğuk yüzeyine alüminyum kanatçık yapıştırıp sızdırmazlık sağlanarak

depo içine su ile doğrudan teması sağlandığında sisteme alternatif bir çalışma olabilir.

c-) Sistemin mekanik özelliklerinden çok sağlık yönündeki mahzurları ele alınacak olursa; bakır levha su ile temas ettiğinde zehirleme özelliği doğurmaktadır. Bakırı kalaylayarak tekrar depo üzerine konumlandırmak sağlık yönünden daha faydalı olabilmektedir.

Sonuç olarak sistemin yukarıda belirttiğimiz negatif yönleri giderildiği zaman, son derece sağlıklı, estetik, hantal görünümünden arındırılmış, makul bir yatırım fiyatı olan portatif termoelektrik modüllü içme suyu soğutucusu meydana gelmektedir.

KAYNAKLAR

1. İnternet: İstanbul Büyükşehir Belediyesi İstanbul su ve kanalizasyon idaresi “Günlük içme suyu ihtiyacı ve içme suyu fiziksel özellikleri” <http://www.iski.gov.tr/Web/statik.aspx?KID=1001155> (2010).
2. Karaman, A., “Ters osmoz sistemi ve içme suyunda kullanımı”, *Alarko Carrier Yayınları*, İstanbul, 1-2 (2000).
3. Usta, H. ve Kırmacı, V., “Termoelektrik etkiler ve soğutma etkinliğinin uygulanması”, *Teknoloji*, 3 (4): 65-71 (2002).
4. Yavuz, C., Özkaymak, M. ve Kaya, M., “Termoelektrik modüllü su soğutucusunda farklı hava debilerinin sistem performansına etkileri”, *New World Sciences Academy*, 5 (2): 131-143 (2010).
5. Dişlitaş, S. ve Ahıska, R., “Jeotermal termoelektrik jeneratör”, *Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi*, Kayseri, 305-312 (2003).
6. Gür, S. ve Atik, K., “Yoğunlaştırıcı güneş kolektörleri ve termoelektrik jeneratörler kullanılarak elektrik üretimi”, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük, 2-4 (2009).
7. Aruğaslan, E., “Termal elektrik kaynaklı kablosuz yüksek sıcaklık duyum devresi”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 8-19 (2008).
8. Astrain, D., Vian, J.G. and Dominguez, M., “Increase of COP in the thermoelectric refrigeration by the optimization of heat dissipation”, *Applied Thermal Engineering*, 23 (17): 2183-2200 (2003).
9. Chung, M., Miskovsky, N.M., Cutler, P.H., Kumar, N. and Patel, V., “Theoretical analysis of a field emission enhanced semiconductor thermoelectric cooler”, *Solid-State Electronics*, 47 (10): 1745-1751 (2003).
10. Riffat, S.B. and Ma, Xiaoli., “Thermoelectrics: a review of present and potential applications”, *Applied Thermal Engineering*, 23 (8): 913-935 (2003).
11. Bulut, H., “Termoelektrik sistemleri”, *Soğutma Dünyası*, 31: 9-16 (2005).

12. Yalçınkaya, G., “Termoelektrik modül ile soğutma ve deneysel elektrik üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, **Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kütahya, 1-28 (2008).
13. İnan, S., Kara, İ. ve Koyun, A., “Peltier termo elektrik soğutucu kullanılarak katı cisimlerin ısı iletim katsayısının ölçülmesine yönelik cihaz tasarımı, yapılması ve endüstriyel uygulaması”, **23. Fizik Kongresi**, Muğla, 1276-1280 (2005).
14. Atik, K. ve Çakır, H., “Doğrudan bağlantılı fotovoltaik soğutma sistemi”, **Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi**, 3 (3): 33-37 (2006).
15. Yavuz, C. ve Yılmaz, S., “Kondenzasyonlu kurutma fırınında termoelektrik modüllü nem alma ünitesi uygulamasının deneysel olarak incelenmesi”, **10th International Combustion Symposium**, Sakarya, 191-197 (2008).
16. Min, G. and Rowe, D.M., “Experimental evaluation of prototype thermoelectric domestic-refrigerators”, **Applied Energy**, 83 (2): 133-152 (2006).
17. Ahıska, R., Fidan, U. ve Dişlitaş, S., “Farklı sıcaklık kontrol sistemlerinin termoelektrik tıp kitinin performansına etkisi”, **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, Ankara, 23 (2): 441-447 (2008).
18. Yılmaz, S., “Termoelektrik modüllü soğutucuda farklı soğutma uygulamalarının sistem performansına etkilerinin deneysel olarak incelenmesi”, **Teknoloji**, 11 (1): 39-44 (2008).
19. Cıylan, B. ve Yılmaz, S. “Design of a thermoelectric module test system using a novel test method”, **International Journal of Thermal Sciences**, 46 (7): 717-725 (2007).
20. Atik, K., “Termoelektrik soğutucu tasarımında termoeconomik optimizasyon”, **5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)**, Karabük, 1-3 (2009).
21. Cıylan, B., “Termoelektrik modüller için mikrodenetleyici kontrollü yeni bir test sisteminin tasarımı ve gerçekleştirilmesi”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 4-12 (2009).

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa ERCAN 1986 yılında Bulgaristan' ın Kırcalı ilçesinde doğdu. Ülkede Türklere karşı yürütölen olumsuz politika karşısında 1989 yılında tüm ailesiyle birlikte Türkiye' ye göç ederek Kocaeli' ye yerleşti. İlk ve orta öğrenimini aynı şehirde 1993-1994 eğitim-öğretim yılında Zübeyde Hanım İ.Ö.O' da başlayarak, 2000-2001 öğretim yılında tamamladı. 2001-2002 eğitim-öğretim yılında Gebze Sarkuysan Lisesine başlayarak 2003-2004 eğitim-öğretim yılında mezun oldu. 2004-2005 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Teknik Eğitim Faköltesi Makine Eğitimi Tesisat Öğretmenliğı Anabilim dalında öğrenime başlayıp 2007-2008 yılında iyi derece ile mezun oldu. 2008 yılı Temmuz ayında Asır Doğalgaz taahhüt şirketinde proje çizimcisi olarak iş hayatına başladı. 2009 yılı Güz döneminde Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim dalına yüksek lisans yapmak için başvurdu ve kabul edildi. Şu an mezuniyet çalışmalarını yürütmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

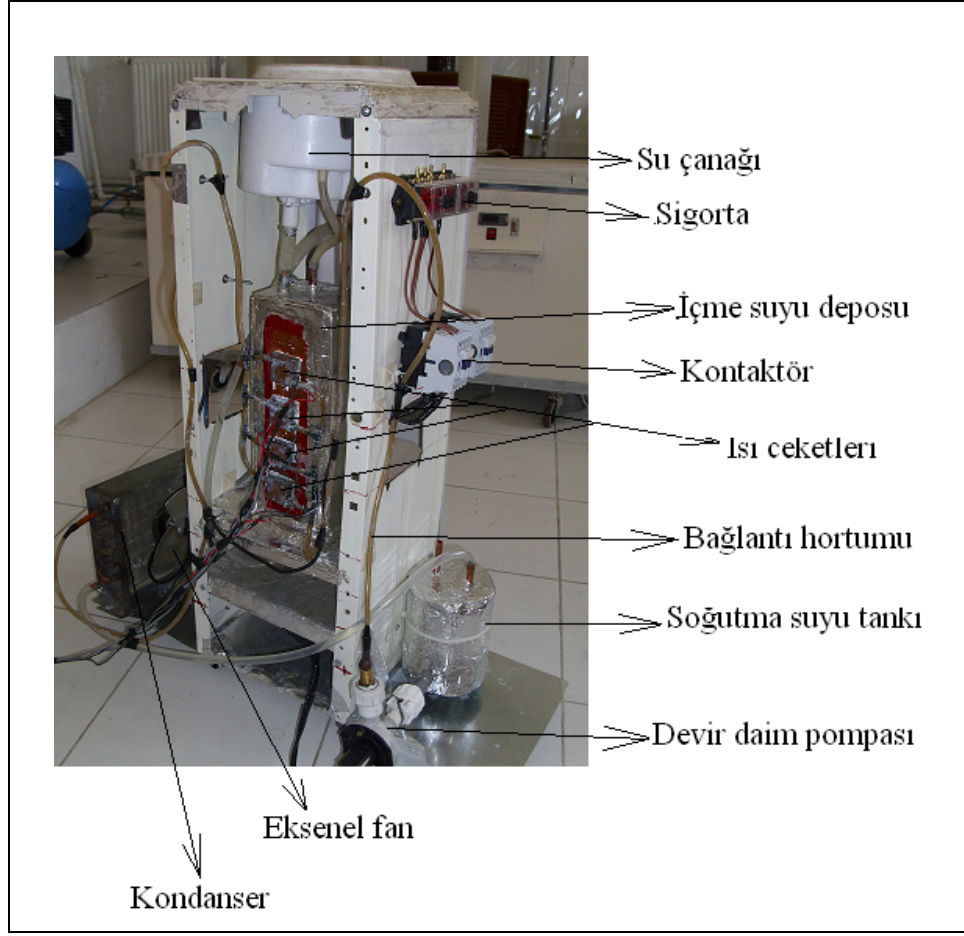
Adres : Gaziler mahallesi 1753 sokak No:11
Gebze-Kocaeli
Tel : (542) 459 06 92
E-posta : Mercan2090@gmail.com

EK AÇIKLAMALAR A.

SOĞUTUCUNUN BİTMİŞ RESİMLERİ



Şekil EK A.1. Sulu soğutma devresi elemanları ve ısı değiştiricileri görüntüsü



Şekil EK A. 2. Termoelektrik modüllü içme suyu soğutucusunun arka görüntüsü



Şekil EK A. 3. Termoelektrik modüllü içme suyu soğutucusunun n görüntüsü

EK AÇIKLAMALAR B.

SU SOĞUTUCUSU DENEY SONUÇLARI

Çizelge EK B.1. Birinci deney sonuçları

Zaman (Dakika)	T _d (°C)	T ₁ (°C)	T ₂ =T ₃ (°C)	T ₄ (°C)
00:00	20,6	21	21	21
03:00	19,2	22	24	22
06:00	18	24	26	24
09:00	17,3	25	28	25
12:00	16,4	27	31	27
15:00	14,5	28	33	28
18:00	13,8	27	33	27
21:00	13,3	29	35	29
24:00	13	28	34	28
27:00	12,3	28	33	28
30:00	12	27	31	27
33:00	12,2	28	30	28

Çizelge EK B. 2. İkinci deney sonuçları

Zaman (Dakika)	T _d (°C)	T ₁ (°C)	T ₂ =T ₃ (°C)	T ₄ (°C)
00:00	20	20	21	20
03:00	19,2	21	24	21
06:00	18,5	24	26	24
09:00	17,7	25	28	25
12:00	16,3	28	30	27
15:00	16	29	33	28
18:00	16,3	27	33	27
21:00	15,9	29	35	29
24:00	15,3	28	34	28
27:00	15	28	33	28
30:00	14,7	27	34	27
33:00	14,3	28	30	28

Çizelge EK B. 3. Üçüncü deney sonuçları

Zaman (Dakika)	T _d (°C)	T ₁ (°C)	T ₂ =T ₃ (°C)	T ₄ (°C)
00:00	20	20	21	20
03:00	18,5	22	24	22
06:00	16,3	24	26	24
09:00	15,9	25	28	25
12:00	15,4	27	31	27
15:00	15,0	29	33	28
18:00	14,6	27	33	27
21:00	14,7	29	35	29
24:00	14,0	28	34	28
27:00	13,8	28	33	28
30:00	13,4	27	32	27
33:00	13,0	28	30	28

Çizelge EK B. 4. Dördüncü deney sonuçları

Zaman (Dakika)	T _d (°C)	T ₁ (°C)	T ₂ =T ₃ (°C)	T ₄ (°C)
00:00	20	19	21	19
03:00	18	22	24	22
06:00	17,3	25	29	25
09:00	16,5	27	31	27
12:00	16,2	26	33	26
15:00	15,7	25	34	25
18:00	15	27	36	27
21:00	14,6	29	33	29
24:00	14	28	35	28
27:00	14,4	28	33	28
30:00	13,7	27	32	27
33:00	13,0	28	30	28

Çizelge EK B. 5. Beşinci deney sonuçları

Zaman (Dakika)	T _d (°C)	T ₁ (°C)	T ₂ =T ₃ (°C)	T ₄ (°C)
00:00	20	20	21	20
03:00	19	23	25	23
06:00	18,4	25	29	25
09:00	17,5	26	30	26
12:00	16,7	28	32	28
15:00	15,9	27	31	26
18:00	14,8	27	34	27
21:00	14	26	34	26
24:00	13,7	28	32	28
27:00	13	29	31	29
30:00	12,5	28	33	28
33:00	12	28	34	28

Çizelge EK B. 6. Altıncı deney sonuçları

Zaman (Dakika)	T _d (°C)	T ₁ (°C)	T ₂ =T ₃ (°C)	T ₄ (°C)
00.00	21,5	21	22	21
03.00	19,5	23	25	23
06.00	18,5	25	28	25
09.00	17,6	25	29	25
12.00	17,4	26	30	26
15.00	16,9	26	31	26
18.00	16,3	25	32	25
21.00	16,0	26	30	27
24.00	15,7	27	32	28
27.00	15,0	26	32	27
30.00	14,8	27	30	28
33.00	13,6	28	30	28

Çizelge EK B. 7. Aritmetik ortalama sonucu elde edilen değerler

Zaman (Dakika)	T _d (°C)	T ₁ (°C)	T ₂ =T ₃ (°C)	T ₄ (°C)
00.00	20.3	20.1	21.1	20.1
03.00	18.9	22.1	24.3	22.1
06.00	17.8	24.5	27.3	24.5
09.00	17	25.5	29	25.5
12.00	16.4	27	31.1	26.8
15.00	15.6	27.3	32.5	26.8
18.00	15.1	26.6	33.5	26.6
21.00	14.7	28	33.6	28.1
24.00	14.2	27.8	33.5	28
27.00	13.9	27.8	32.5	28
30.00	13.5	27.1	32	27.3
33.00	13	28	30.6	28